

KTA 3204
Reaktordruckbehälter-Einbauten
Fassung 2017-11

Frühere Fassungen der Regel: 1984-03 (BAnz. Nr. 205a vom 27. Oktober 1984)
 1998-06 (BAnz. Nr. 236a vom 15. Dezember 1998, Berichtigungen BAnz. Nr. 129 vom 13. Juli 2000 und BAnz. Nr. 136 vom 22. Juli 2000)
 2008-11 (BAnz. Nr. 15a vom 29. Januar 2009)
 2015-11 (BAnz. vom 29. April 2016)

Inhalt

	Seite
Grundlagen	3
1 Anwendungsbereich	3
2 Begriffe	4
3 Anforderungsstufen	5
4 Vorprüfung	9
5 Dokumentation	9
5.1 Allgemeingültige Anforderungen	9
5.2 In die Dokumentation aufzunehmende Unterlagen	10
6 Konstruktion und Festigkeitsnachweis	21
6.1 Konstruktion	21
6.2 Festigkeitsnachweis	24
7 Werkstoffe und Werkstoffprüfung	45
7.1 Geltungsbereich	45
7.2 Voraussetzungen für die Lieferungen	45
7.3 Prüfungen der Werkstoffe	46
7.4 Kennzeichnung der Erzeugnisse	53
8 Herstellung	55
8.1 Allgemeingültige Festlegungen	55
8.2 Anforderungen an den Hersteller	55
8.3 Fertigungsverfahren	56
8.4 Wärmebehandlung	61
8.5 Mängelbeseitigung	61
8.6 Verfahrensprüfungen für Schweißen, Hochtemperaturlöten, Hartauftragsschweißen und thermisches Spritzen	62
8.7 Arbeitsprüfungen	74
8.8 Prüfungen während der Fertigung	74
8.9 Anforderungen an die zerstörungsfreien Prüfungen und Bewertung der Prüfergebnisse	76
9 Betriebsüberwachung und Prüfungen	78
9.1 Geltungsbereich	78
9.2 Prüfzeitpunkte	78
9.3 Inspektionen	78
9.4 Schwingungsmessungen	79
9.5 Schwingungsüberwachung	80
9.6 Überwachung auf lose Teile	80

Werkstoffanhang W 1: Austenitische, nichtrostende Stähle	88
Werkstoffanhang W 2: Nickellegierungen	98
Werkstoffanhang W 3: Nichtrostender austenitischer Feinguss	108
Werkstoffanhang W 4: Schweißzusätze, Lote und Pulver für thermisches Spritzen	111
Werkstoffanhang W 5: Maschinenelemente	117
Werkstoffanhang W 6: Sonstige Werkstoffe	123
Anhang A: Stabilitätsanalyse	128
Anhang B: Grenztragfähigkeitsanalyse	137
Anhang C: Spannungsverhältnismethode	138
Anhang D: Experimentelle Methoden	144
Anhang E: Prüfung auf Heißrissanfälligkeit (Ring-Segment-Probe)	148
Anhang F: Prüfung auf Heißrissanfälligkeit (Zylinderprobe)	150
Anhang G: Bestimmungen, auf die in dieser Regel verwiesen wird	151
Anhang H: Literaturangaben	155
Anhang I: Änderungen gegenüber der Fassung 2015-11 und Erläuterungen (informativ)	156

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) In den Sicherheitsanforderungen an Kernkraftwerke werden in Nr. 3.1 unter anderem hohe Anforderungen an die Qualität und Zuverlässigkeit der Fertigung, die Verwendung qualifizierter Werkstoffe, die Sicherstellung und Erhalt der Qualitätsmerkmale bei der Fertigung sowie die Durchführung von wiederkehrenden Prüfungen in dem sicherheitstechnisch notwendigen Umfang gefordert. Anforderung Nr. 5 fordert Nachweise zur Sicherheit der Anlage. In Nr. 6 (4) wird unter anderem die Aufstellung und Anwendung von Werkstoff-, Bau- und Prüfvorschriften sowie die Dokumentation der Qualitätsüberwachung gefordert. Die Regel KTA 3204 dient zur Konkretisierung von Maßnahmen zur Erfüllung dieser Forderungen im Rahmen ihres Anwendungsbereichs. Hierzu werden auch eine Vielzahl im Einzelnen aufgeführter Regeln aus dem konventionellen Bereich der Technik, insbesondere DIN-Normen, mit herangezogen.

(3) Die sicherheitstechnischen Anforderungen an die Reaktordruckbehälter-Einbauten ergeben sich aus den Forderungen nach

- a) sicherer Abschaltbarkeit der Anlage,
- b) ausreichender Wärmeabfuhr,
- c) sicherem Schließen der Isolationsventile (SWR).

(4) Durch Einhaltung der in dieser Regel getroffenen Festlegungen zu

- a) Anforderungsstufen,
- b) Vorprüfung,
- c) Dokumentation,
- d) Konstruktion und Festigkeitsnachweis,
- e) Werkstoffe und Werkstoffprüfung,
- f) Herstellung,
- g) Betriebsüberwachung und Prüfungen

ist sichergestellt, dass die genannten sicherheitstechnischen Anforderungen an die Reaktordruckbehälter-Einbauten während der Betriebszeit der Anlage erfüllt werden.

(5) Übergeordnete Maßnahmen der Qualitätssicherung bei der Herstellung der Reaktordruckbehälter-Einbauten sind in KTA 1401 festgelegt.

1 Anwendungsbereich

(1) Diese Regel ist anzuwenden

- a) auf die Reaktordruckbehälter-Einbauten (RDB-Einbauten) von Leichtwasserreaktoren sowie auf die Werkzeuge und Hilfsmittel, die zum Einbau, Ausbau und zum Abstellen von Bauteilen und Baugruppen der Reaktordruckbehälter-Einbauten eingesetzt werden,
- b) für Schweißnähte zwischen den RDB-Einbauten und Pufferungen oder Plattierungen auf dem RDB,
- c) für Lastanschlagpunkte an RDB-Einbauten,
- d) für direkte Anschweißnähte der RDB-Einbauten am RDB, die außerhalb der Abstandsgrenze nach (3) liegen

(Bild 1-1a) und keine drucktragende Wand der DFU darstellen.

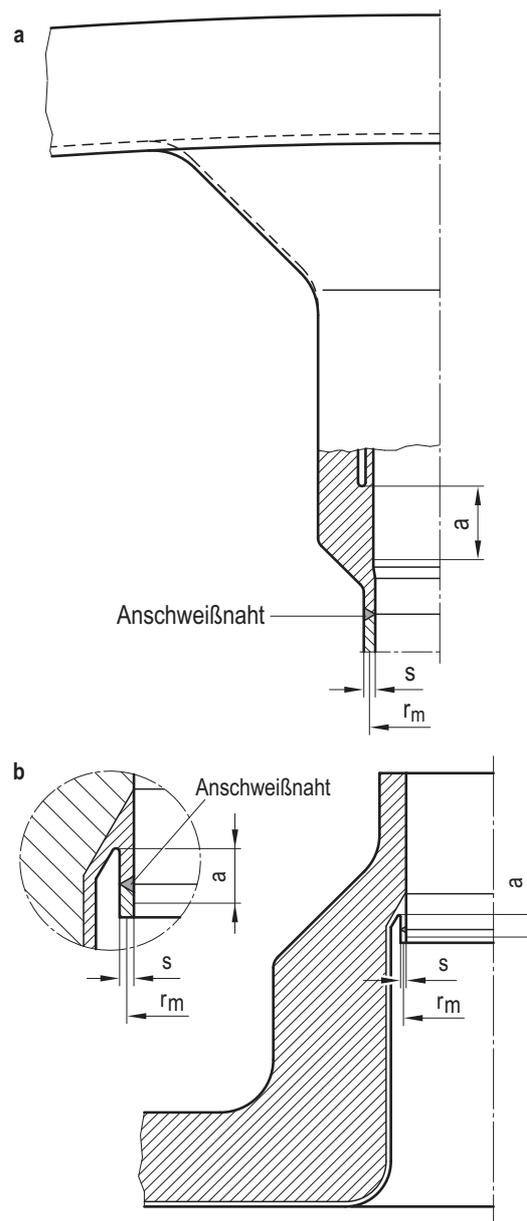


Bild 1-1: Direkte Anschweißnähte von RDB-Einbauten am RDB (Beispiele)

(2) Diese Regel gilt nicht

- a) für Bauteile des Reaktorkerns, der Kerninstrumentierung, der Steuerelemente und deren Antriebe,
- b) für Lastaufnahmeeinrichtungen,
- c) für Anschweißteile aus Vergütungsstahl am Reaktordruckbehälter,
- d) für direkte Anschweißnähte der RDB-Einbauten am RDB, die innerhalb der Abstandsgrenze nach (3) liegen (**Bild 1-1b**) oder eine drucktragende Wand der DFU darstellen,
- e) für die Schweißnähte zwischen Abstellvorrichtung und Absetzbecken.

Hinweis:

Direkte Anschweißnähte der RDB-Einbauten am RDB, die innerhalb der Abstandsgrenze nach (3) liegen oder eine drucktragende Wand der DFU darstellen, und die Anschweißteile aus Vergütungsstahl am RDB sind in KTA 3201.3 und KTA 3201.4, die Schweißnähte zwischen Abstellvorrichtung und Absetzbecken in KTA 2502, die Lastaufnahmeeinrichtungen in KTA 3902 und KTA 3903 geregelt.

(3) Die Abstandsgrenze a als Bewertungskriterium für die Zuordnung der jeweiligen Anschweißnaht nach (1) oder (2) ist nach folgender Formel zu ermitteln:

$$a = 0,5 \cdot \sqrt{r_m \cdot s}, \quad (1-1)$$

mit

r_m : mittlerer Krümmungsradius der verschweißten Bauteile

s : Dicke der verschweißten Bauteile.

2 Begriffe

Hinweis:

Die Begriffe zum Festigkeitsnachweis sind in Abschnitt 6.2.1 aufgeführt.

(1) Anlagelieferer für kerntechnische Anlagen (A)

Anlagelieferer für kerntechnische Anlagen ist derjenige, der von einem Betreiber oder zukünftigen Betreiber zur Planung und Lieferung einer kerntechnischen Anlage oder von Anlagenteilen dieser kerntechnischen Anlage beauftragt wurde.

(2) Baugruppe

Baugruppe ist ein aus Bauteilen bestehender Teil einer Komponente.

(3) Bauteil

Bauteil ist der aus Erzeugnisformen hergestellte kleinste Teil einer Baugruppe.

(4) Befestigungselemente mit Gewinde

Befestigungselemente mit Gewinde sind solche, die im Allgemeinen keine Restdichtkraft zu übertragen brauchen (z. B. Schrauben, Bolzen, Muttern).

(5) Bestimmungsgemäßer Betrieb

Unter bestimmungsgemäßem Betrieb werden Betriebszustände oder Betriebszustandsänderungen, bestehend aus normalen und anomalen Betriebsfällen verstanden.

(6) Betreiber

Betreiber ist der für den Betrieb einer Anlage Verantwortliche.

(7) Betriebsfälle, anomale

Anomale Betriebsfälle sind Betriebsvorgänge, die bei Fehlfunktion von Anlagenteilen oder Systemen (gestörter Zustand) ablaufen, soweit hierbei einer Fortführung des Betriebes sicherheitstechnische Gründe nicht entgegenstehen.

(8) Betriebsfälle, normale

Normale Betriebsfälle sind Betriebsvorgänge, für die die Anlage bei funktionsfähigem Zustand der Systeme (ungestörter Zustand) bestimmt und geeignet ist.

(9) Brennelementwechsel

Brennelementwechsel ist die Gesamtheit aller Arbeiten, die zum Umsetzen oder Ersatz bestrahlter oder defekter Brennelemente, die aus dem Kern entfernt werden sollen, notwendig sind.

(10) Erzeugnisform

Erzeugnisform ist die Form, zu der Werkstoffe verarbeitet wurden, z. B. Bleche, Schmiedeteile und Gussstücke.

(11) Fertigung

Fertigung ist die Durchführung aller Arbeiten, die für die Erstellung einer Komponente erforderlich sind.

(12) Festigkeitsnachweis

Festigkeitsnachweis ist ein Nachweis für ein Bauteil oder eine Komponente unter Anwendung der allgemein anerkannten,

technischen Verfahren, dass die während ihrer Betriebszeit auftretenden Beanspruchungen ertragen werden können.

(13) Funktionsfähigkeit

Funktionsfähigkeit ist die Eignung eines Systems oder eines Systembestandteils (z. B. Komponente, Teilsystem, Strang) einschließlich erforderlicher Hilfs-, Versorgungs- und Energiesysteme, die vorgesehenen Aufgaben zu erfüllen.

(14) Hersteller (H)

Hersteller ist derjenige, der aufgrund einer Beauftragung den Auftragsgegenstand (z. B. Erzeugnisform, Bauteil, Baugruppe, Komponente) in eigener Verantwortung fertigt und prüft.

(15) Integritätsnachweis

Integritätsnachweis ist der analytische oder experimentelle Nachweis, dass die sicherheitstechnischen Anforderungen (z. B. hinsichtlich Festigkeit, Bruchsicherheit, Dichtheit) an die Komponente erfüllt werden.

(16) Komponente

Komponente ist ein nach baulichen oder funktionellen Gesichtspunkten abgegrenzter Teil eines Systems, der noch selbständige Teilfunktionen erfüllt.

(17) Lastanschlagpunkt (LAP)

Lastanschlagpunkt ist das Verbindungselement zwischen Lastaufnahmeeinrichtung und Last und ist

- integraler Bestandteil der Last oder
- angeschraubt oder
- angeschweißt.

(18) Oberflächenprüfung, progressive

Progressive Oberflächenprüfung ist eine Eindringprüfung im Zuge des Schweißnahtaufbaus.

Hinweis:

Siehe auch Abschnitt 8.9.1 (4).

(19) Raumtemperatur

Der Temperaturbereich für Raumtemperatur beträgt bei den in dieser Regel festgelegten mechanisch-technologischen Prüfungen $(23 \pm 5) ^\circ\text{C}$.

(20) Repräsentative Stellen, Bauteile oder Komponenten

Repräsentativ sind solche Stellen, Bauteile oder Komponenten, deren wiederkehrende Prüfung unter Berücksichtigung von Werkstoff, Konstruktion, Fertigungsqualität sowie Beanspruchungsart, -höhe und -häufigkeit auch für andere Stellen, Bauteile oder Komponenten eine ausreichend gleichwertige sicherheitstechnische Aussage ermöglicht.

(21) Sachverständiger (S)

Sachverständiger für Prüfungen nach dieser Regel ist der nach § 20 des Atomgesetzes (AtG) von der Genehmigungs- oder Aufsichtsbehörde zugezogene Sachverständige.

(22) Schweißprozess

Ein Schweißprozess ist eine spezielle Schweißmethode, die die Berücksichtigung verschiedener metallurgischer, elektrischer, physikalischer, chemischer oder mechanischer Grundsätze erfordert.

(23) Schweißverfahren

Ein Schweißverfahren ist ein vorgeschriebener Ablauf von Tätigkeiten, der zur Herstellung einer Schweißung zu befolgen ist, einschließlich der(s) Schweißprozesse(s), der Hinweise auf die Werkstoffe, die Schweißzusätze, die Vorbereitung, die Vorwärmung (falls notwendig), Verfahren und die Überwachung des Schweißens sowie die Wärmenachbehandlung (falls entscheidend) und die notwendigen eingesetzten Einrichtungen.

(24) Störfälle

Störfälle sind Abweichungen vom bestimmungsgemäßen Betrieb, bei deren Eintritt der Betrieb der Anlage aus sicherheitstechnischen Gründen nicht fortgeführt werden kann:

- a) **Notfälle (NF)**
Notfälle sind Störfälle, die eine sehr geringere Eintrittswahrscheinlichkeit haben.
- b) **Schadensfälle (SF)**
Schadensfälle sind Störfälle, die eine extrem geringe Eintrittswahrscheinlichkeit haben oder es sind postulierte Lastfälle.

(25) Unterlieferant

Unterlieferant ist derjenige, der den Auftragsgegenstand (z. B. Erzeugnisform, Maschinenelemente, Bauteil, Baugruppe) aufgrund einer Beauftragung durch einen Hersteller in eigener Verantwortung oder in Verantwortung des Herstellers herstellt und prüft.

(26) Vorprüfung

Vorprüfung ist die sicherheitstechnische Beurteilung der konstruktiven Gestaltung, der Festigkeitsberechnung, der verwendeten Werkstoffe, der Herstellungsverfahren, des Prüfplanes, des Aufbaues von Schaltungen, der Durchführbarkeit von wiederkehrenden Prüfungen, der Wartungs- und Reparaturzugänglichkeit und der verwendeten Geräte für die Betriebsüberwachung an Hand der für die Herstellung erstellten Pläne, schriftlichen Anweisungen, Zeichnungen und Berechnungen in Bezug auf die in der Genehmigung und in Regeln enthaltenen Anforderungen.

(27) Zulässigkeitskriterien bei der zerstörungsfreien Prüfung

Zulässigkeitskriterien bei der zerstörungsfreien Prüfung sind die Summe aller Festlegungen, anhand derer entschieden wird, ob eine Anzeige aus einer zerstörungsfreien Prüfung ohne weitere Maßnahmen als zulässig zu bewerten ist (Anforderungen der Prüfanweisung sind erfüllt) oder ob weitere Maßnahmen erforderlich sind. Die Zulässigkeitskriterien beinhalten sowohl quantitative Festlegungen in Form von Zulässigkeitsgrenzen (z. B. Amplitudenhöhe, Anzeigenausdehnung, Häufigkeit, Ab-

stände zwischen Anzeigen), als auch beschreibende Festlegungen (z. B. lineare oder runde Anzeige, Anzeige an der Oberfläche oder im Volumen, Anhäufung von Anzeigen).

3 Anforderungsstufen

(1) Den Komponenten, Baugruppen und Bauteilen der Reaktordruckbehälter-Einbauten sind gemäß ihren unterschiedlichen Aufgaben und Funktionen Anforderungsstufen zugeordnet (siehe **Tabelle 3-1**).

(2) Komponenten, Baugruppen und Bauteile der Anforderungsstufe „AS-RE 1“ sind solche, die entsprechend ihren Aufgaben und Funktionen die Abschaltbarkeit und Nachkühlbarkeit sicherstellen. Die Integrität und Funktionsfähigkeit dieser Komponenten, Baugruppen und Bauteile ist für den bestimmungsgemäßen Betrieb (Stufen A und B) und für Störfälle (Stufen C und D) nachzuweisen.

(3) Komponenten, Baugruppen und Bauteile der Anforderungsstufe „AS-RE 2“ sind solche, die entsprechend ihren Aufgaben und Funktionen nicht unmittelbar an der Sicherstellung der Abschaltbarkeit und Nachkühlbarkeit beteiligt sind. Die Integrität und Funktionsfähigkeit dieser Komponenten, Baugruppen und Bauteile ist für den bestimmungsgemäßen Betrieb (Stufen A und B) nachzuweisen. Ein Versagen dieser Komponenten, Baugruppen und Bauteile darf jedoch die sichere Abschaltbarkeit und Nachkühlbarkeit nicht beeinträchtigen.

(4) Komponenten, Baugruppen und Bauteile der Anforderungsstufe „AS-RE 3“ sind solche mit untergeordneten Aufgaben und Funktionen sowie Zubehör. Sie sind hinsichtlich der Anforderungen wie folgt unterteilt:

- a) Für Komponenten, Baugruppen und Bauteile der Anforderungsstufe „AS-RE 3 innerhalb des RDB“ gelten die Anforderungen wie für Komponenten, Baugruppen und Bauteile der Anforderungsstufe „AS-RE 2“, siehe (3).
- b) Für Komponenten, Baugruppen und Bauteile der Anforderungsstufe „AS-RE 3 außerhalb des RDB“ gelten die allgemeinen Normen und Regeln der Technik.

Anforderungsstufen	Aufgaben und Funktionen	Komponenten, Baugruppen und Bauteile für Druckwasserreaktoren (DWR) ¹⁾ (siehe Bild 3-1)	Komponenten, Baugruppen und Bauteile für Siedewasserreaktoren (SWR) ¹⁾ (siehe Bild 3-2)
AS-RE 1	Tragen des Reaktorkerns Zentrierung der RDB-Einbauten Führung der Steuerelemente Zuführung von Kühlwasser (SWR)	Unterer und oberer Rost Untere und obere Tragplatte Stützen und Schutzrohre für Steuerstabführungseinsätze Tragwerkszylinder Steuerstabführungseinsätze und Stifte Untere und obere Gitterplatte Kernbehälter (KB) Überströmvorrichtung Zentrierungs- und Fixierungselemente am RDB	Kernmantel Rückströmraumabdeckung Oberes Kerngitter Unteres Kerngitter Steuerstabführungsrohre/ Steuerelementführungsrohre Thermoschutzrohre
AS-RE 2	Führung und Verteilung des Kühlmittels Halterung und Schutz der Instrumentierung Trennung des Dampf-Wasser-Gemisches (SWR) Halterung und Schutz von Bauteilen der RDB-Einbauten und von Brennelementen Aufnahme der Last des Bauteils	Deck- und Stauplatte Führung und Trageplatte für Kerninstrumentierung Strömungsverteiler Kernumfassung (KU) Stützen Niederhaltung der RDB-Einbauten Brennelement-Zentrierstifte Lastanschlagpunkte	Dampfabscheider Schutzrohre für Instrumentierung (Kernflussmessgehäuserohr) Speisewasserverteiler Kernfluteinrichtung Dampftrockner Lastanschlagpunkte
AS-RE 3	Halterung von Proben Wegbegrenzung der RDB-Einbauten Ein- und Ausbringung sowie Abstellung der RDB-Einbauten Führung der RDB-Einbauten	Probenhalter Abstellvorrichtungen Ein- und Ausbauvorrichtungen Hilfseinrichtungen Führungs-, Zentrierungs-, und Wegbegrenzungselemente	Deckelsprüheinrichtung Führungsschienen Probenhalterung Abstellvorrichtungen Ein- und Ausbauvorrichtungen Hilfseinrichtungen
<p>¹⁾ Bei Verbindung zweier Bauteile unterschiedlicher Anforderungsstufe ist die Verbindung folgender Anforderungsstufe zuzuordnen:</p> <p>a) bei Schweißnähten der jeweils höheren AS der zu verbindenden Bauteile, b) bei Verbindungselementen der AS des zu befestigenden Bauteils.</p> <p>Hinweis: Bei Verbindung von Bauteilen der RDB-Einbauten an den RDB siehe Abschnitt 1 (2).</p>			

Tabelle 3-1: Zuordnung der Aufgaben und Funktionen von Komponenten, Baugruppen und Bauteilen zu den Anforderungsstufen der Reaktordruckbehälter-Einbauten (AS-RE)

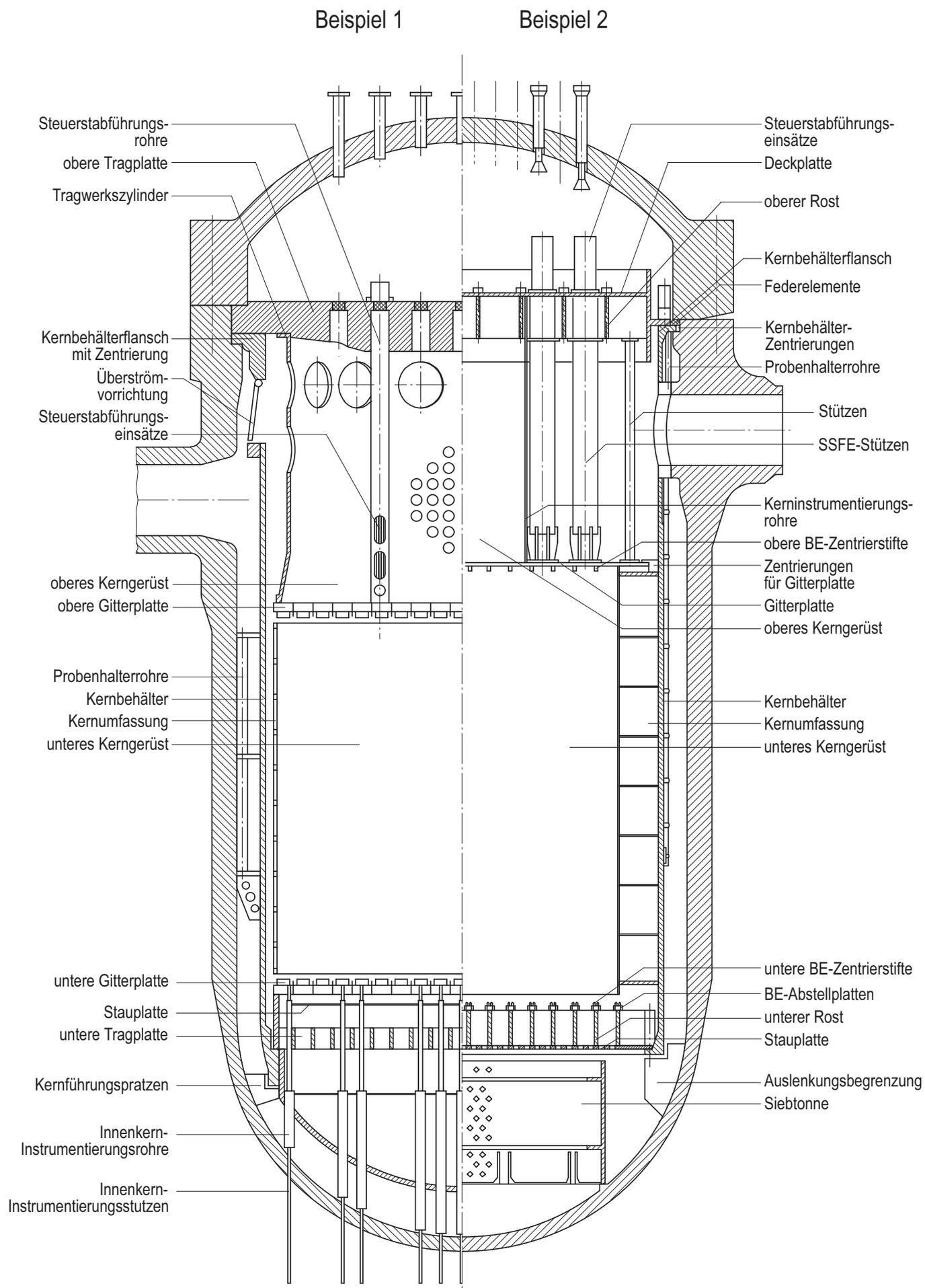


Bild 3-1: Darstellung typischer RDB-Einbauten (DWR)

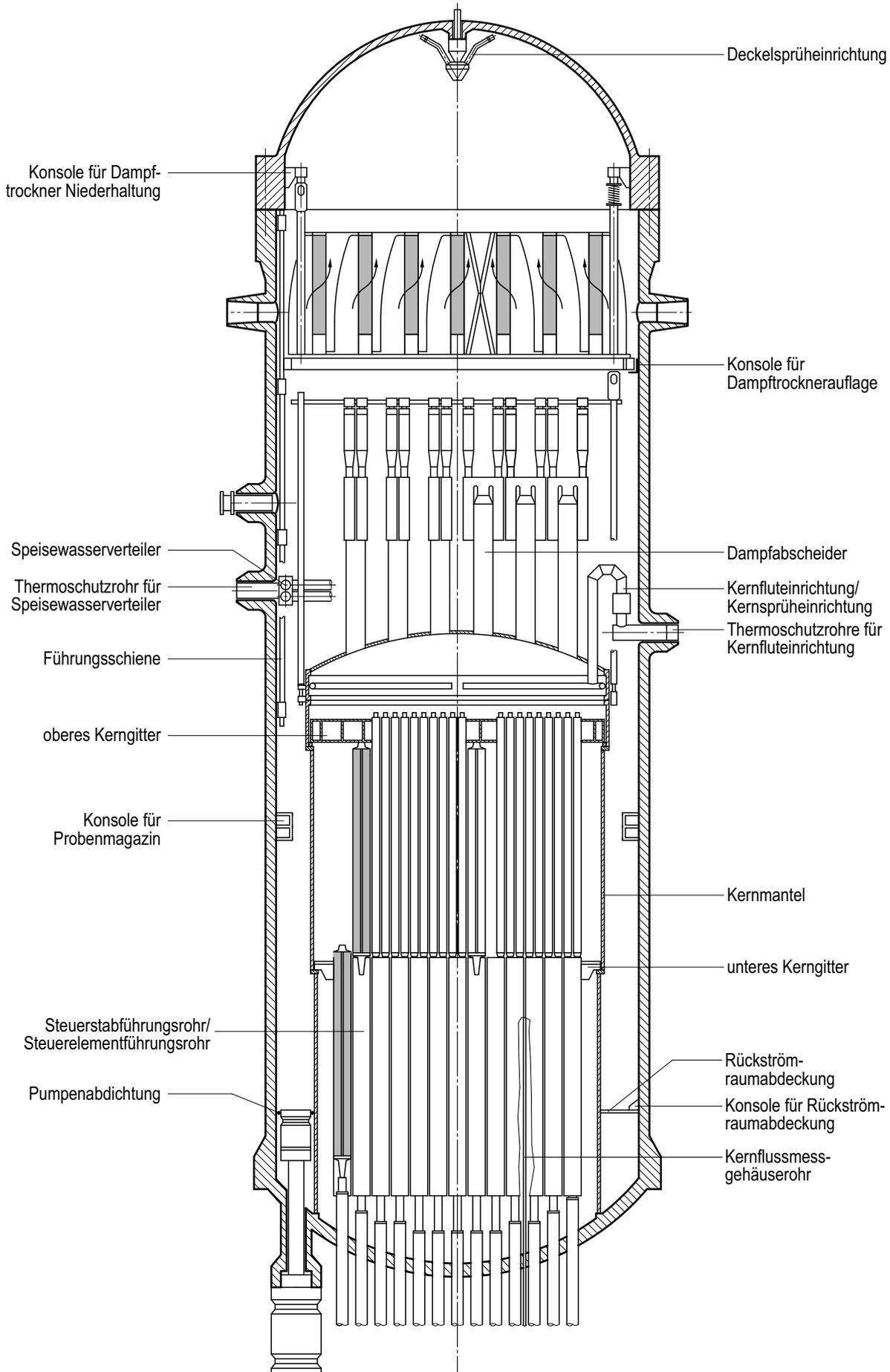


Bild 3-2: Darstellung typischer RDB-Einbauten (SWR)

4 Vorprüfung

Für die Herstellung der Reaktordruckbehälter-Einbauten muss vor Beginn des jeweiligen Schritts die nach **Tabelle 4-1**

angegebene und jeweils zutreffende Unterlage mit dem geforderten Vermerk der Vorprüfung vorliegen.

Lfd. Nr.	Vorprüfungsunterlagen	Anforderungsstufen								
		AS-RE 1			AS-RE 2			AS-RE 3		
		Vorprüfung durch								
		H	A	S	H	A	S	H	A	S
1	Herstellung der jeweiligen Erzeugnisform nach Abschnitt 7	keine Vorprüfung erforderlich								
2	Herstellung des jeweiligen Bauteils									
	a) Übersichtszeichnung, Baugruppenzeichnungen	—	X	X	—	X	X	—	X	X
	b) Prüffolgeplan mit Inhaltsverzeichnis	X	X	X	X	X	—	—	—	—
	c) Werkstoffliste	X	X	X	X	X	—	X	X	—
	d) Schweißplan (Schweißanweisung) / Lötplan ¹⁾	X	X	X	X	X	X ²⁾	X ²⁾	—	—
	e) Wärmebehandlungsplan	X	X	X	X	X	—	—	—	—
	f) Schweißstellenplan	X	—	—	X	—	—	—	—	—
	g) Prüfanweisungen für die zerstörungsfreien Prüfungen	X	X	X	X	X	—	X	X	—
	h) Messplan gemäß Tabelle 8-6, Punkt 4	X	X	X	X	X	—	—	—	—
	i) Fertigungszeichnung / Einzelteilzeichnung	X	X	—	X	X	—	X	X	—
	j) Reinigungsplan	X	X	—	X	X	—	—	—	—
	k) Nachweis des freien Steuerstabweges, Toleranzbetrachtung	—	X	X	—	X	X	—	X	X
	l) Reinigungs- und Anstrichvorschrift	—	—	—	—	—	—	X	X	—
3	Einbau der jeweiligen Baugruppe/Bauteile									
	a) Festigkeitsnachweis	—	X	X	—	X	X	X	X	—
	b) Messplan gemäß Tabelle 8-6, Punkte 4.3 und 4.4	X	X	X	X	X	X	X	X	X
	c) Prüfprogramm für den Funktionstest gemäß Tabelle 8-6, Punkt 5	—	—	—	—	—	—	X	X	X
4	Inbetriebsetzung des Primärkreislaufs Alle Unterlagen, die nach Abschnitt 9 (Betrieb und Prüfung) bis zu diesem Zeitpunkt gefordert werden	X	X	X	X	X	X	—	—	—
5	Nukleare Inbetriebsetzung der Anlage Restliche Unterlagen für den Festigkeitsnachweis nach Abschnitt 6 auf der Basis der gemessenen Belastungen beim Probebetrieb	X	X	X	X	X	X	—	—	—

1) Für die Vorprüfung ist dem Schweißplan oder Lötplan die schriftliche Stellungnahme des Sachverständigen zur Verfahrensprüfung nach Abschnitt 8.6 beizufügen.
2) Nur für im Kraftfluss liegende Nähte
A : Anlagelieferer
H : Hersteller
S : Sachverständiger

Tabelle 4-1: Festlegungen und Unterlagen zur Vorprüfung

5 Dokumentation

5.1 Allgemeingültige Anforderungen

- (1) In die Dokumentation sind alle technischen Unterlagen gemäß Abschnitt 5.2 aufzunehmen. Sie sind zu den dort genannten Zeitpunkten in Teilschritten zusammenzustellen.
- (2) Bei Änderungen ist die Dokumentation zu aktualisieren.
- (3) Geänderte und erneut nach Abschnitt 4 vorgeprüfte Unterlagen sind dabei mit einem Revisionsvermerk zu versehen. Reparaturpläne sind als solche zu kennzeichnen.
- (4) Bei Abweichungen sind der geprüfte Tolerierungsantrag und die Unterlage, die die Abweichung beschreibt, mit derselben Registriernummer in die Dokumentation aufzunehmen.

(5) Das Zusammenwirken der verschiedenen technischen Unterlagen der Dokumentation ist im **Bild 5-1** schematisch dargestellt.

(6) Es sind Formblätter für einzelne dieser Unterlagen zu verwenden, wobei der Inhalt als verbindliche Forderung, die formulärmäßige Ausführung als Empfehlung anzusehen ist (Muster siehe **Formblätter 5-1 bis 5-6**).

(7) Jede Zusammenstellung von Dokumentationsunterlagen nach **Bild 5-1** muss auf Vollständigkeit und aktuellen Stand geprüft sein.

Hinweis:
Einzelheiten über Art und Dauer der Aufbewahrung sind in KTA 1404 geregelt.

5.2 In die Dokumentation aufzunehmende Unterlagen**5.2.1** Bauteile innerhalb des Reaktordruckbehälters

Für Bauteile innerhalb des Reaktordruckbehälters sind die in **Tabelle 5-1** angeführten Unterlagen in die Dokumentation aufzunehmen.

5.2.2 Bauteile außerhalb des Reaktordruckbehälters

Für Bauteile außerhalb des Reaktordruckbehälters sind die in **Tabelle 5-2** angeführten Unterlagen in die Dokumentation aufzunehmen.

Art der technischen Unterlage	Querverweis (siehe Abschnitt, Tabelle)	Bemerkungen zu der technischen Unterlage	Zeitpunkt, zu dem die technische Unterlage zusammenzustellen ist
Zu Konstruktion (Abschnitt 6.1)			
Übersichtszeichnung	Tabelle 4-1 lfd. Nr. 2 a)	mit Stücklisten (mit Zuordnung zur AS-RE); Ist-Zustand der Bauteile/Baugruppen ist vollständig darzustellen	vor Einbau der jeweiligen Baugruppe/Bauteile
Baugruppenzeichnung		Keine	
Werkstoffliste	Tabelle 4-1 lfd. Nr. 2 c)	Keine	
Einzelteilzeichnung	Tabelle 4-1 lfd. Nr. 2 i)	soweit erforderlich zur Darstellung des Ist-Zustandes	
Zu Festigkeitsnachweis (Abschnitt 6.2)			
Berichte	6.2.5 a); Tabelle 4-1 lfd. Nr. 3 und 5	Keine	vor Einbau der jeweiligen Baugruppe/Bauteile und vor nukleare Inbetriebsetzung der Anlage
Zu Werkstoffe (Abschnitt 7)			
Abnahmeprüfzeugnis	—	Keine	vor Herstellung des jeweiligen Bauteils
Kontrollblatt für Werkstoffprüfungen		Jede einzelne Position der RDB-Einbauten ist im Kontrollblatt über Werkstoffprüfungen (Formblatt 5-6) einzutragen. Anstelle der Nennung von einzelnen Prüfungen ist die Angabe des zugehörigen Werkstoffblattes zulässig.	
Zu Herstellung (Abschnitt 8)			
Prüffolgeplan	Tabelle 4-1 lfd. Nr. 2 b)	keine	vor Einbau der jeweiligen Baugruppe/Bauteile
Umstempelbescheinigung	8.8.2	soweit in Tabelle 8-6 gefordert	
Reparatur-Prüffolgeplan	8.5.2; Tabelle 4-1 lfd. Nr. 2 b)	keine	
Schweißplan	8.3.1.2; Tabelle 4-1 lfd. Nr. 2 d)		
Reparatur-Schweißplan	8.5.2		
Schweißprotokoll	8.3.1.5.2	Sammelprotokoll ist zulässig	
Lötplan	8.3.2.1; Tabelle 4-1 lfd. Nr. 2 d)	keine	
Reparatur-Lötplan	8.3.2.1		
Lötprotokoll	8.3.2.3	Sammelprotokoll ist zulässig	
Protokoll der Fertigungsprüfung	8.8.5	Keine	
Protokoll der Warmumformung	8.3.4.4		
Protokoll der zerstörungsfreien Prüfung	8.8.5		
Prüfanweisungen für die zerstörungsfreien Prüfungen	7.3.5.8.1; Tabelle 4-1 lfd. Nr. 2 g)		
Wärmebehandlungsplan	8.4.1; Tabelle 4-1 lfd. Nr. 2 e)		
Protokoll der Wärmebehandlung	8.4.3		

Tabelle 5-1: Umfang der Dokumentation für Bauteile innerhalb des Reaktordruckbehälters (Fortsetzung siehe nächste Seite)

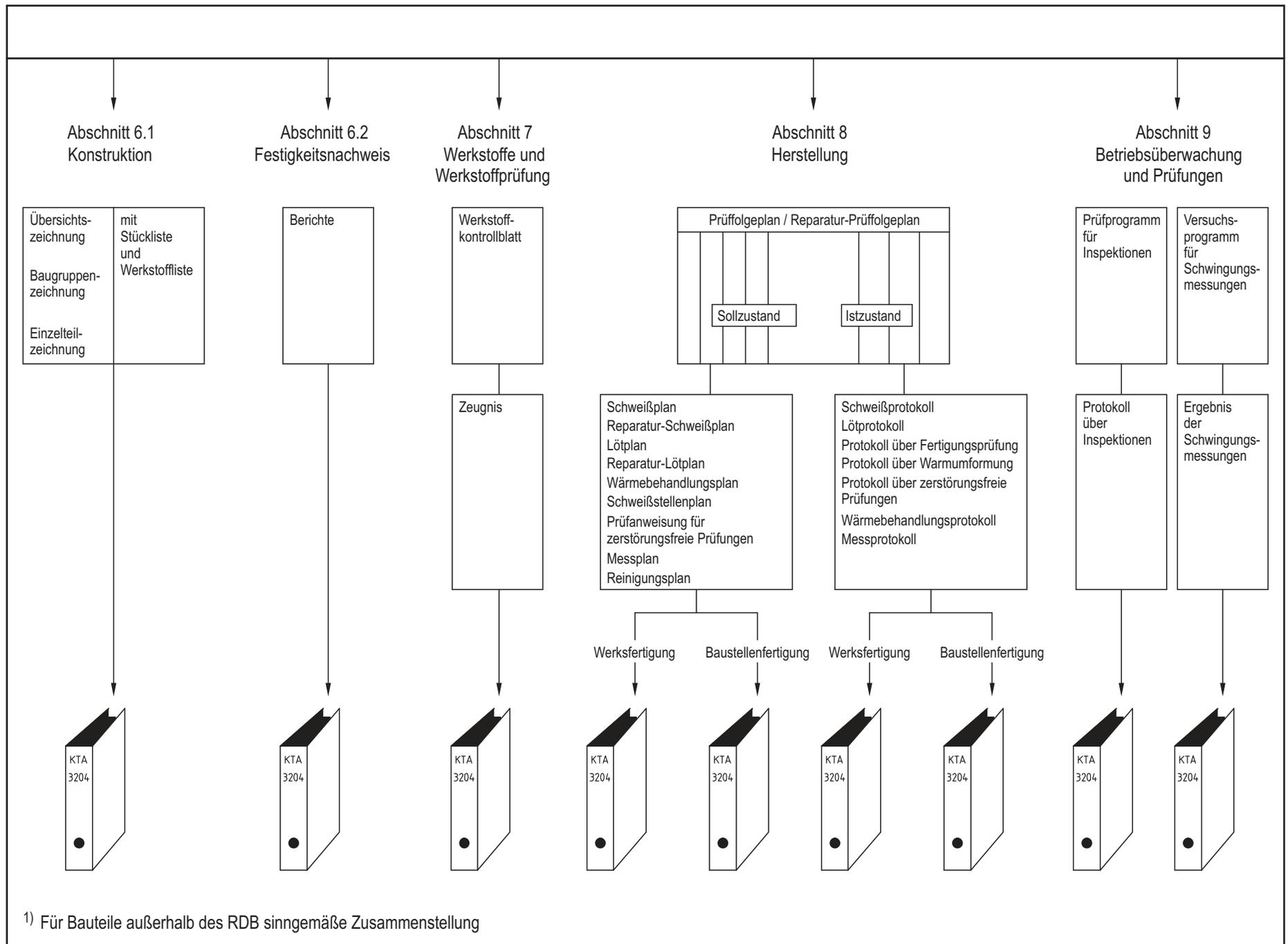
Art der technischen Unterlage	Querverweis (siehe Abschnitt, Tabelle)	Bemerkungen zu der technischen Unterlage	Zeitpunkt, zu dem die technische Unterlage zusammenzustellen ist
Zu Herstellung (Abschnitt 8)			
Schweißstellenplan	Tabelle 4-1 lfd. Nr. 2 f)	Keine	vor Einbau der jeweiligen Baugruppe/Bauteile
Messplan	8.8.4; Tabelle 4-1 lfd. Nr. 2 h) und 3 b)		
Maßprotokoll	8.8.5		
Reinigungspläne	8.3.5.1.2; Tabelle 4-1 lfd. Nr. 2 j)	Keine	vor Einbau der jeweiligen Baugruppe/Bauteile
Protokoll der Dokumentationsfreigabe	8.8; Tabelle 8-6		
Zu Betrieb und Prüfung (Abschnitt 9)			
Prüfprogramm für Inspektionen und Prüfhandbuch	9.3.1; 9.3.3; Tabelle 4-1 lfd. Nr. 4	keine	siehe Tabelle 9-1, B, D, F und G
Protokoll der Inspektion	9.3.5		nach Durchführung der Inspektion
Versuchsprogramm für Schwingungsmessungen	9.4.3.1 (1); 9.4.3.2 (1); Tabelle 4-1 lfd. Nr. 4		vor Durchführung der Messungen
Ergebnis der Schwingungsmessungen	9.4.3.1 (3); 9.4.3.2		siehe Tabelle 9-1, A, C und E

Tabelle 5-1: Umfang der Dokumentation für Bauteile innerhalb des Reaktordruckbehälters (Fortsetzung)

Art der technischen Unterlage	Querverweis (siehe Abschnitt, Tabelle)	Bemerkungen zu der technischen Unterlage	Zeitpunkt, zu dem die technische Unterlage zusammenzustellen ist
Übersichtszeichnung	Tabelle 4-1 lfd. Nr. 2 a)	mit Stücklisten und Angaben zur Schweißnahtausführung	vor Einbau der jeweiligen Baugruppe / Bauteile
Einzelteilzeichnung	Tabelle 4-1 lfd. Nr. 2 i)	soweit erforderlich zur Darstellung des Ist-Zustandes	
Bericht der Festigkeitsberechnung	6.2.5; Tabelle 4-1 lfd. Nr. 3 a)	Keine	
Abnahmeprüfzeugnis der Werkstoffe	—	Zusammenstellung der Zeugnisse	
Schweiß- und Lötplan	Tabelle 4-1 lfd. Nr. 2 d)	nur für im Kraftfluss liegende Nähte	
Protokoll der Schweißnahtprüfung	8.8.5	keine	
Messplan	8.8.5; Tabelle 4-1 lfd. Nr. 2 h)		
Maßprotokoll	8.8.5		
Reinigungs- und Anstrichvorschrift	Tabelle 4-1 lfd. Nr. 2 l)		
Prüfprogramm für Funktionsprüfung	8.8.4; Tabelle 4-1 lfd. Nr. 3 c)		
Protokoll der Funktionsprüfung	8.8.5		
Protokoll der Dokumentationsfreigabe	8.8; Tabelle 8-6		

Tabelle 5-2: Umfang der Dokumentation für Bauteile außerhalb des Reaktordruckbehälters

Bild 5-1: Schematische Darstellung des Zusammenwirkens der verschiedenen Dokumentationsunterlagen für Bauteile innerhalb des RDB ¹⁾



1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
Prüf-Nr.	Anforderungen nach	Beschreibung	Prüfzeitpunkt	Prüfart	Prüfung durch	Nachweis-Schlüssel	Doku.-Ablage	Durchführungsvermerk	Nachweise	Bemerkungen	Hersteller:	
											Anlage/Projekt:	
											Komponente:	
											KKS/AKZ/Typ, Antrieb, DN:	
											Spezifikation:	
											Klasse:	
											Prüfgruppe:	
											Auftrags-Nr.:	
											Bestell-Nr.:	
											Werk-Nr./Index-Nr.:	
											Zeichnungs-Nr.:	
											WL-Nr.:	
											STL-Nr.:	
											SP-Nr.:	
Hersteller:								Freigabe		Prüfvermerk des Sachverständigen gemäß § 20 ATG		Dokumentationsfreigabe
Rev.	Datum	Erstellt von	Geprüft QST	Grund der Revision				Freigabe		Prüfvermerk des Sachverständigen gemäß § 20 ATG		Hersteller
00												
01												
02												
03												
04												
											Prüffolgeplan	
											PFP-Nr.:	
											Sachverständiger	
											Seite:	
											von:	

MUSTER

Formblatt 5-2: Prüffolgeplan

MUSTER

Skizze/Schweißfolge/Aufbau der Schweißung/Abmessungen							Bemerkungen							(15) Grundwerkstoff, Werkstoffuntergruppe nach DIN CEN ISO/TR 15608		(16) Hersteller:	
														Pos.	Normbezeichnung		
																Anlage/Projekt:	
																Komponente:	
														Nachfolgende Wärmebehandlung		Spezifikation:	
														Arbeitsprüfung		Klasse, Prüfgruppe:	
														Schweißerprüfung		EG:	
Schweißfolge	Schweißverfahren	Schweißposition	Schweißzusätze und Hilfsstoffe				Schweißdaten							Schweißnahtart		KKS/AKZ/Typ, Antrieb, DN:	
			Hersteller und Bezeichnung	Abmessungen [mm]	Pulver Hersteller und Bezeichnung	Schutzgas [l/min] DIN EN ISO 14175	Stromart	Stromstärke Grundstrom/Pulsstrom [A]	Geschwindigkeit [mm/min]	Pendelbreite [mm]	Drahtgeschwindigkeit Heißdraht [mm/min]	Vorwärm-/Haltetemperatur [°C]	Lagenzahl				
	Verfahrensprüfungs-Nr.					Formiergas [l/min] DIN EN ISO 14175	Polung der Elektrode	Spannung [V]	Ausziehlänge [mm] Pulsfrequenz [Hz]	Pendelfrequenz [1/min]	Kalt Draht [m/min]	Zwischenlagentemperatur [°C]		Schweißstellenliste		Zeichnungs-Nr.:	
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)	(14)	Schweißstellenkennzeichnung		Auftrags-Nr.:	
														Schweißnahtvorbereitung		Bestell-Nr.:	
														Ausarbeiten der Wurzel		Werk-Nr./Index-Nr.:	
														Trocknung Elektroden/Pulver (Temperatur, Zeit)		PFP-Nr.:	
																WL-Nr.:	
(17)	Hersteller:											Prüfvermerk des Sachverständigen gemäß § 20 AtG		Schweißplan			
Rev.	Datum	Erstellt von	Geprüft QST	Grund der Revision				Freigabe						SP-Nr.:			
00																	
01																	
02																	
03														Seite:			
04														von:			

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17			
Schweißstellenkennz.	Skizze der Schweißnaht	Position nach Zeichnung	Grundwerkstoffbezeichnung	Schweißverfahren	Schweißposition	Schweißzusätze Hersteller Bezeichnung Abmessung	Trockn.: Temp. und Zeit	Schweißdaten	Vorwärmtemperatur Brennschneiden [°C]	Vorwärmtemperatur Schweißen [°C]	Vorwärmtemperatur Fugen [°C]	Zwischenlagen- temperatur [°C]	Nachfolgende Wärmebehandlung	Schweißfolge zum Nahtaufbau	Verfahrensprüfungs-Nr. geforderte Schweißerprüfung Arbeitsprüfungs-Nr.	Rev.	00	01	02
		Pos. mit Pos.														Datum	Hersteller		
																Geprüft QST			
																Freigabe			
																Prüfvermerk des Sachverständigen gemäß § 20 AtG			
																Hersteller:			
																Anlage/Projekt:			
																Komponente:			
																EG:			
																KKS:			
																Zugehörige WL-Nr.:			
																Zeichnungs-Nr.:			
																Auftrags-Nr.:			
																Werk-Nr./Index-Nr.:			
																Zugehörige PFP-Nr.:			
																Schweißplan			
																SP-Nr.:			
																Seite:	von:		

MUSTER

Formblatt 5-3b: Schweißplan (Schweißanweisung)

Dauer der Schweißung von bis					
Schweißplan-Nr.: Bezeichnung der Schweißstelle: Grundwerkstoff: Arbeitsprüfungs-Nr.: Verfahrensprüfungs-Nr.:					
MUSTER					
Verwendete Schweißgeräte:					
Verfahren	Masch.-Typ	Masch.-Nr.:	Besondere Vorrichtungen		
Verwendete Schweißzusätze:					
Schweißfolge	Verfahren	Bezeichnung	Abmessung	Los-Nr.	Chargen-Nr.
Ausarbeiten der Wurzel durch:					
PFP-Nr.:	Legende:		Auftrags-Nr.:		
Fertigungs- schritt-Nr.:			Projekt:		
Registrier-Nr.:	Hersteller:		Komponente:		
			Schweißprotokoll		
			SPK-Nr.:	Seite: von:	

Skizze		Prüf-Nr.	Wärmebehandlungsdiagramm			Mitlaufende Grundwerkstoff- und Arbeitsprüfstücke	5
1	2		3			4	Hersteller: Anlage/Projekt: Komponente: KKS/AKZ/Typ, Antrieb, DN: Spezifikation: Klasse: Prüfgruppe: Auftrags-Nr.: Bestell-Nr.: Zeichnungs-Nr.: Werk-Nr./Index-Nr.: PFP/WPP-Nr.: SP-Nr.:
MUSTER							
Hersteller:							Wärmebehandlungsplan
Rev.	Datum	Erstellt von	Geprüft QST	Grund der Revision	Freigabe	Prüfvermerk des Sachverständigen gemäß § 20 AtG	
00							
01							
02							
03							
04							
							WBP-Nr.:
							Seite:
							von:

6 Konstruktion und Festigkeitsnachweis

6.1 Konstruktion

6.1.1 Allgemeingültige Festlegungen

Die Konstruktion muss so erfolgen, dass Reaktordruckbehälter-Einbauten

- a) funktionsgerecht,
- b) beanspruchungsgerecht,
- c) werkstoffgerecht,
- d) herstellungsgerecht (prüf- und fertigungsgerecht),
- e) instandhaltungsgerecht,
- f) betriebsgerecht

sind, auch unter Berücksichtigung der Wechselwirkung dieser Faktoren.

6.1.2 Toleranzen

Für alle in den Zeichnungen nicht mit Toleranzen angegebenen Maße gelten DIN ISO 2768-1 und DIN ISO 2768-2 (Genauigkeitsgrad: mittel) sowie DIN EN ISO 13920 (Genauigkeitsgrad: C).

6.1.3 Form- und Lageabweichungen

- (1) Form- und Lageabweichungen sind nach DIN EN ISO 1101 anzugeben.
- (2) Die Größen von Form- und Lageabweichungen sind vom Anlagenlieferer vorzugeben.

6.1.4 Oberflächen

- (1) Oberflächengüten sind nach DIN EN ISO 1302 Reihe 2 anzugeben.
- (2) Der Mittenrauwert R_a ist auf $10 \mu\text{m}$ zu beschränken.
Hinweis:
Die einzuhaltenden Mittenrauwerte werden vom Anlagenlieferer festgelegt.

6.1.5 Verbindungselemente

- (1) Es dürfen nur gesicherte, nicht risseempfindliche Verbindungselemente (z. B. Befestigungselemente mit Gewinde, Muttern und Stifte) verwendet werden.
- (2) Austenitische Verbindungselemente mit Gewinde für regelmäßig zu lösende Befestigungselemente müssen gerollte Gewinde oder Gewindeausführungen mit zusätzlichem Spitzen- und Flankenspiel sowie gerundete Kanten aufweisen.

6.1.6 Schweißverbindungen

- (1) Für Bauteile innerhalb des Reaktordruckbehälters ergeben sich in Abhängigkeit von den durchgeführten zerstörungs-

freien Prüfungen und den Anforderungen an die Schweißverbindung die Schweißnaht- und Ermüdungsfaktoren gemäß **Tabelle 6-1**.

(2) Die Schweißverbindungen werden den Nahtgruppen A bis F zugeordnet (siehe **Tabelle 8-3**). Die Festlegung von Schweißverbindungen hat unter Berücksichtigung der **Tabellen 6-1** und **8-3** zu erfolgen.

(3) Für Bauteile außerhalb des Reaktordruckbehälters sind die Normen und Regeln der konventionellen Technik anzuwenden.

(4) Nachfolgend sind die Anwendungsbereiche der Schweißverbindungen beschrieben. Beispiele für ihre Anwendung sind in **Bild 6-1** und **Bild 6-2** angegeben.

a) Nahtgruppen A1, A2 und B1

Diese Nahtgruppen werden z. B. als Stumpf-, Längs- oder Rundnähte und als T-Stöße, Eckstöße oder Stützeinschweißungen angewandt. Die Prüfung der Decklage muss beidseitig erfolgen. Für die Bewertung hinsichtlich des Schweißnaht- und Ermüdungsfaktors gilt die Zeile 1 aus **Tabelle 6-1**.

b) Nahtgruppen A3 und B2

Für die Anwendung gelten die Festlegungen aus a). Für die Bewertung hinsichtlich des Schweißnaht- und Ermüdungsfaktors Zeile 2 aus **Tabelle 6-1**. Erfüllen diese Nahtgruppen wurzelseitig die Anforderungen gemäß Abschnitt 8.3.1.4 nicht, so gilt Zeile 1 aus **Tabelle 6-1**.

c) Nahtgruppe C

Diese Nahtgruppe wird für Stumpfnähte angewandt, sofern die Bedingungen

$$a_{\min} \geq 1/8 s_2 \text{ und } s_2 \leq s_1$$

erfüllt sind (s_1 : größere Wanddicke; s_2 : kleine Wanddicke; a_{\min} : Mindestnahtdicke).

Die Prüfung der Decklage muss beidseitig erfolgen.

Für ihre Bewertung hinsichtlich des Schweißnaht- und Ermüdungsfaktors gilt Zeile 3 aus **Tabelle 6-1**.

d) Nahtgruppe D

Diese Nahtgruppe wird z. B. als T-Stoß, Eck-Stoß oder Stützeinschweißung angewandt.

Die Prüfung der Decklage muss beidseitig erfolgen. Für die Bewertung hinsichtlich des Schweißnaht- und Ermüdungsfaktors gilt Zeile 4 aus **Tabelle 6-1**.

e) Nahtgruppen E und F

Diese Nahtgruppen werden z. B. als T-Stoß, Schräg-Stoß, Eck-Stoß oder Stützeinschweißung angewandt.

Für die Bewertung hinsichtlich des Schweißnaht- und Ermüdungsfaktors gelten die Zeilen 5 bis 7 aus **Tabelle 6-1**.

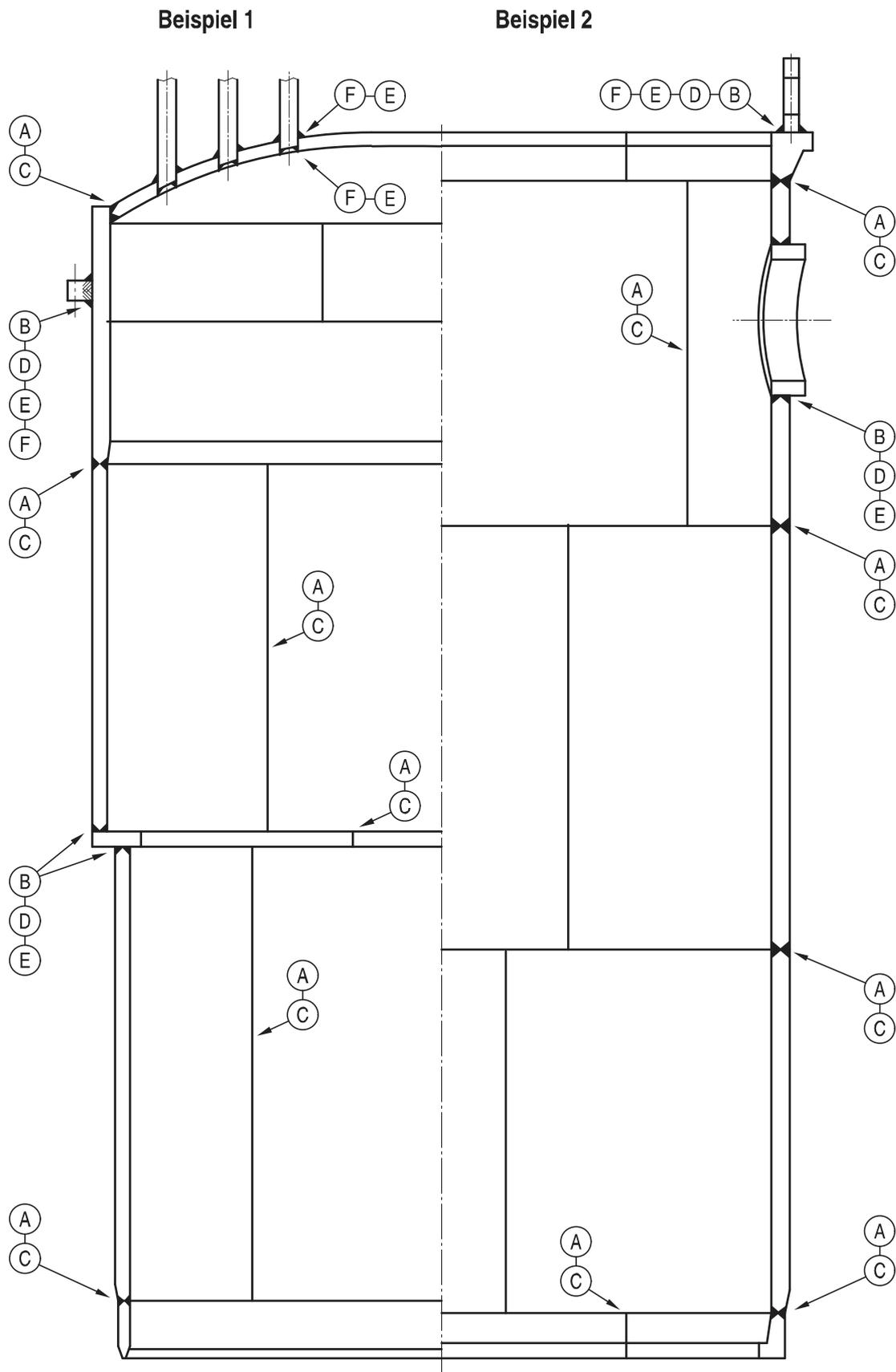


Bild 6-1: Darstellung typischer Lagen von Nahtarten der Nahtgruppen A bis F (siehe Abschnitt 6.1.6 und **Tabelle 8-3**)

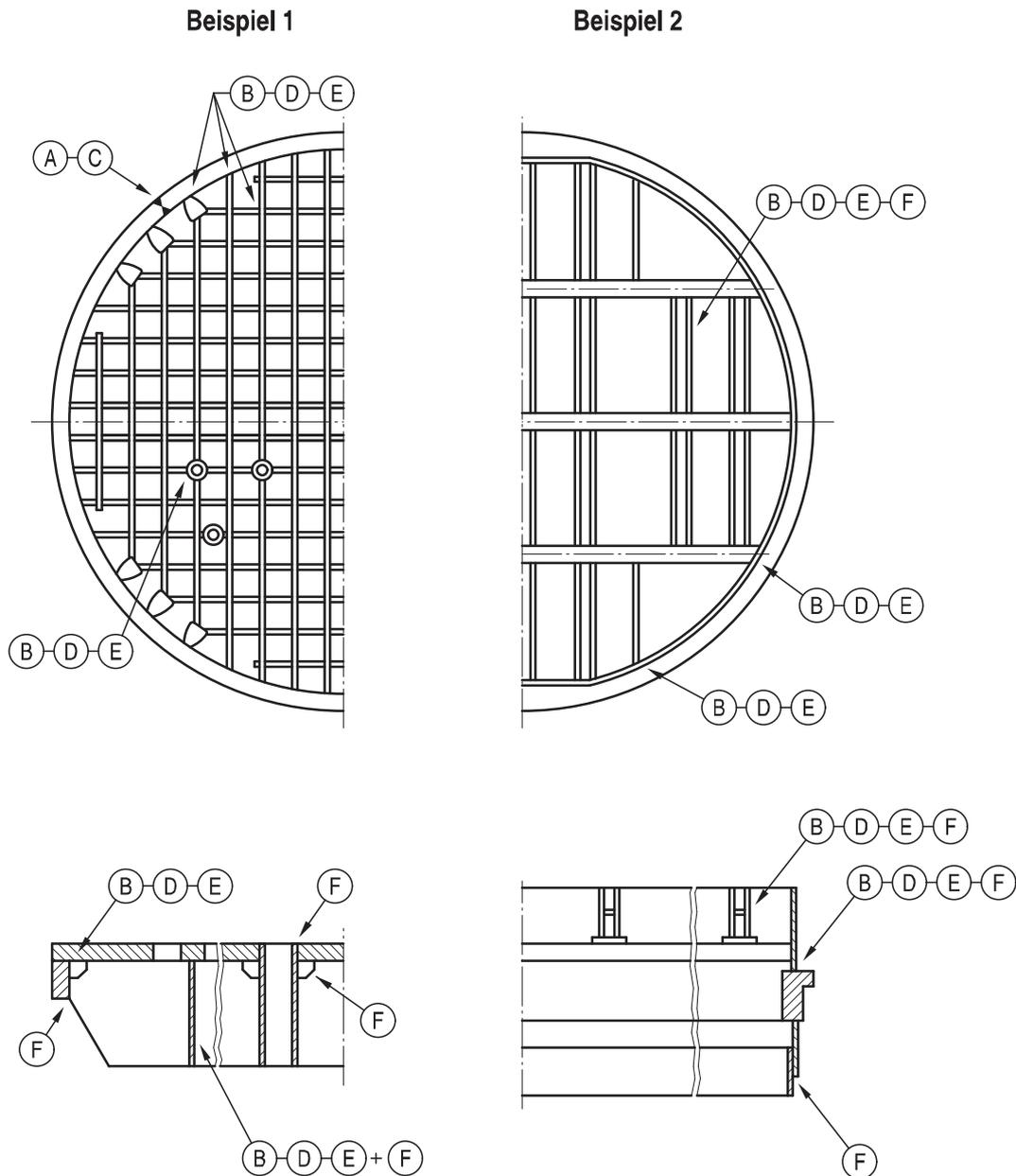


Bild 6-2: Darstellung typischer Lagen von Nahtarten der Nahtgruppen A bis F (siehe Abschnitt 6.1.6 und **Tabelle 8-3**)

Zeile	Nahtgruppe nach Tabelle 8-3	Prüfung									
		RT der fertigen Naht PT der Decklage		PT, progressiv		PT der Wurzel- und Decklage		PT der Decklage		VT der Decklage	
		n	f	n	f	n	f	n	f	n	f
1	Nahtgruppe A1, A2 und B1	1,0	1,0	0,9	1,0	0,75	1,0	0,65	1,0	0,5	1,0
2	Nahtgruppe A3 und B2	1,0	2,0	0,9	2,0	0,75	2,0	0,65	2,0	0,5	2,0
3	Nahtgruppe C	—	—	0,45	4,0	0,4	4,0	0,35	4,0	0,25	4,0
4	Nahtgruppe D	—	—	0,8	4,0	0,7	4,0	0,6	4,0	0,4	4,0
5	Nahtgruppe E Nahtgruppe F, Kehlnaht	—	—	0,55	4,0	0,45	4,0	0,4	4,0	0,35	4,0
6	Nahtgruppe F, Doppelkehlnaht	—	—	0,8	4,0	0,7	4,0	0,6	4,0	0,4	4,0
7	Nahtgruppe F, unterbrochene Kehlnaht	—	—	0,45	4,0	0,4	4,0	0,35	4,0	0,3	4,0

RT : Durchstrahlungsprüfung
 PT : Eindringprüfung nach dem Farbeindringverfahren
 VT : Sichtprüfung
 n : Schweißnahtfaktor
 f : Ermüdungsfaktor

Tabelle 6-1: Schweißnahtfaktoren und Ermüdungsfaktoren für Schweißnähte der Nahtgruppen A bis F

6.2 Festigkeitsnachweis

6.2.1 Begriffe

(1) Allgemeine Struktur-Diskontinuität

Eine allgemeine Struktur-Diskontinuität ist eine geometrische oder werkstoffmäßig bedingte Diskontinuität, welche die Spannungs- oder Dehnungsverteilung über die gesamte Wanddicke eines Schalenabschnitts beeinflusst. Allgemeine Diskontinuitätsspannungen sind solche Anteile der tatsächlichen Spannungsverteilung, welche infolge reiner Biege- und Membrankräfte resultierende Kraftgrößen ergeben, wenn sie über die Wanddicke integriert werden.

Hinweis:

Beispiele: Boden-Schale- und Flansch-Schale-Verbindungen, Stützen und Übergänge von Wanddicken oder Werkstoffen.

(2) Beanspruchungen

Beanspruchungen bestehen in Spannungen oder Verzerrungen oder in der Kombination von Spannungen und Verzerrungen. Ihre Bewertung erfolgt als Vergleichsspannung oder Vergleichsdehnung oder deren Schwingbreite. Im Falle eines linear-elastischen Zusammenhangs sind Spannungen und Verzerrungen zueinander proportional. Bei elastischen Verfahren der Spannungsanalyse gemäß Abschnitt 6.2.4.2.2 und bei der Ermüdungsanalyse gemäß Abschnitt 6.2.4.2.3 ist dieser proportionale Zusammenhang auch oberhalb der Proportionalitätsgrenze des Werkstoffs zugrunde zu legen (fiktive Spannungen).

Die Beanspruchungen treten entweder als (vorwiegend) ruhende Beanspruchungen, als Wechselbeanspruchungen oder dynamische Beanspruchungen auf.

(3) Beanspruchungsgrenze

Eine Beanspruchungsgrenze ist ein maximal zulässiger Spannungs- oder Dehnungswert.

(4) Beanspruchungsstufe

Eine Beanspruchungsstufe ist eine festgelegte Kategorie von Beanspruchungsgrenzen zur Absicherung gegen verschiedene Versagensarten.

Hinweis:

Beispiele für die Absicherung gegen Versagensarten: Begrenzung der plastischen Deformationen, Vermeidung des Versagens infolge fortschreitender Deformation und Ermüdung.

(5) Biegespannung

Eine Biegespannung ist die über dem betrachteten Querschnitt proportional zum Abstand von der neutralen Achse linear veränderliche Spannung, bei Flächentragwerken der linear veränderliche Anteil der über der Wanddicke verteilten Spannung.

(6) Deformation (= resultierende Verformung)

Unter Deformationen sind die Integrale der Verzerrungen zu verstehen. Sie stellen die Änderungen der Geometrie der Komponente, des Bauteils oder der idealisierten Struktur infolge von Belastungen dar. Deformationen können durch Verschiebungen und daraus abgeleitete Größen (z. B. Verdrehungen) beschrieben werden. Sie müssen gegebenenfalls beschränkt werden, damit die Funktionsfähigkeit der Komponente und ihrer Nachbarkomponenten nicht beeinträchtigt wird.

(7) Einspielen (= shakedown)

Einspielen (shakedown) bedeutet das Ausbleiben eines weiter-schreitenden Zyklus einer plastischen Verformung, wenn man Einflüsse des Kriechens ausschließt. Eine Struktur spielt sich ein, wenn sich nach einigen Zyklen der Lastaufbringung die Verformung stabilisiert und eine fortgesetzte Strukturverformung elastisch bleibt.

(8) Interaktionsgleichung

Eine Interaktionsgleichung ist eine Gleichung, die verschiedenartige Beanspruchungen, wie Biegung und Zug oder Biegung, Zug und Schub, im Verhältnis der vorhandenen zur zulässigen

Beanspruchung bewertend zusammenfasst. Die Summe muss stets kleiner als 1,0 sein.

Hinweis:

Siehe dazu auch Abschnitt C 2.

(9) Lastfall

Unter einem Lastfall sind Zustände oder Zustandsänderungen der Systeme zu verstehen, die aus den spezifizierten Ereignissen der Gesamtanlage resultieren und in der Komponente zu Belastungen führen.

(10) Lastfallklasse

Unter Lastfallklassen versteht man eine Zuordnung von Lastfällen in systembezogenen Unterlagen zu bestimmten Klassen, z. B. normale Betriebsfälle.

(11) Örtliche Struktur-Diskontinuität

Eine örtliche Struktur-Diskontinuität ist eine geometrische oder werkstoffmäßig bedingte Diskontinuität, welche die Spannungs- oder Dehnungsverteilung über einen Teil der Wanddicke beeinflusst. Die Spannungsverteilung, welche durch eine örtliche Struktur-Diskontinuität hervorgerufen wird, verursacht nur örtlich begrenzte Arten von Verformungen oder Dehnungen und hat keinen merklichen Einfluss auf die sich durch Diskontinuitäten ergebenden Schalendeformationen.

Hinweis:

Beispiele: Kleine Rundungsradien, kleine Befestigungen und nicht durchgeschweißte K- und V-Nähte sowie diesen entsprechende Nahtformen.

(12) Primärspannung (primäre Spannung)

Eine Primärspannung ist eine Normal- oder Schubspannung, welche durch eine aufgeprägte Belastung erzeugt wird und zur Erfüllung der Gleichgewichtsbedingungen für Kräfte und Momente benötigt wird. Hinsichtlich des Festigkeitsverhaltens ist ihr wesentliches Merkmal, dass nach Beginn der Plastifizierung des Querschnitts bei einer Steigerung der äußeren Lasten die Verformungen zunächst überproportional zunehmen. Nach einer weiteren unzulässigen großen Steigerung der äußeren Lasten treten Verformungen auf, die sich nicht mehr selbst begrenzen. Eine allgemeine primäre Membranspannung ist so verteilt, dass als Folge einer Plastifizierung keine wesentliche Spannungsumlagerung zu benachbarten Bereichen stattfindet.

Hinweis:

Beispiele: Allgemeine Membranspannung (P_m) in einer rotations-symmetrischen Zylinder- oder Kugelschale unter einer Druckdifferenzbelastung oder infolge verteilter Nutzlasten, Biegespannung (P_b) im zentralen Bereich eines ebenen Deckels infolge einer Druckdifferenzbelastung.

(13) Ratcheting (fortschreitende Deformation)

Ratcheting ist eine schrittweise fortschreitende inelastische Verformung oder Dehnung einer Komponente, die wechselnden mechanischen Spannungen, thermischen Spannungen oder einer Kombination von beiden unterworfen ist.

(14) Ring-Schalenquerschnitt

Der Ring-Schalenquerschnitt ist der aus versteifenden Strukturteilen und mittragendem Schalenabschnitt zusammengesetzte äquivalente Querschnitt gleicher Steifigkeit, wie sie die Originalschale mit der Verstärkung liefert.

(15) Sekundärspannung (sekundäre Spannung)

Eine Sekundärspannung (Q) ist eine Spannung, die bei mechanischer oder thermischer Belastung infolge

- a) geometrischer Unstetigkeiten,
- b) unterschiedlicher elastischer Konstanten (z. B. Elastizitätsmodulen) sowie
- c) unterschiedlicher Wärmedehnungen

entsteht. Die grundlegende Eigenschaft einer Sekundärspannung ist, dass sie sich selbst begrenzt. Örtliches Plastifizieren und geringe Formänderungen können die Folge eines Auftre-

tens dieser Spannung sein. Ein Versagen infolge einer einmaligen Lastaufbringung ist nicht zu erwarten. Für die linear-elastische Analyse werden nur Spannungen aus dem linearisierten Verlauf der Spannungsverteilung zu den Sekundärspannungen gezählt.

Hinweis:

Beispiele: Allgemeine Temperaturspannungen; Biegespannung an einer allgemeinen Struktur-Diskontinuität.

(16) Spannungsgrenzen

Spannungsgrenzen sind Zulässigkeitsgrenzen für die vorhandenen Beanspruchungen der Struktur.

Hinweis:

Grundlegende Spannungsgrenzen sind P_m , $P_m + P_b$ und $P_m + P_b + Q$ gemäß den **Tabellen 6-5** und **6-6**.

(17) Spannungs-Konzentrationsfaktor

Der Spannungs-Konzentrationsfaktor ist jener Faktor, mit dem die zutreffenden Nennspannungsanteile multipliziert werden müssen, um die Gesamtspannung zu erhalten. Die Bestimmung darf entweder theoretisch oder experimentell erfolgen.

(18) Spannungsspitzen

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.

Hinweis:

Beispiele: Spannung einer örtlichen Struktur-Diskontinuität; Oberflächenspannung infolge Temperaturschock; Temperaturspannung in einem Bauteil, hervorgerufen durch eine Plattierung; Spannung, hervorgerufen durch die Abweichung der tatsächlichen Temperaturverteilung von der äquivalenten linearen Temperaturverteilung.

(19) Spannungsverhältnismethode

Die Spannungsverhältnismethode ist eine Methode zur plastischen Analyse der Maximallast mittels Zusammensetzungen von Spannungsverhältnissen, welche ein Werkstoff mit Verfestigungsverhalten ertragen kann.

Hinweis:

(1) Siehe dazu auch Abschnitt 6.2.4.2.7.

(2) Zusammensetzungen von Spannungsverhältnissen sind von Nutzen, da die tatsächliche Stützziffer als Funktion des Querschnitts und die Art und Größe verschiedener Spannungsfelder bei der Bestimmung dieser Last berücksichtigt werden können.

(20) Spannungszyklus (= Lastspiel)

Ein Spannungszyklus ist der Vorgang, in dem die wechselnde Spannungsdifferenz, ausgehend von einem Anfangswert, einen algebraischen Maximalwert und einen algebraischen Minimalwert durchläuft, bis sie wieder den Anfangswert erreicht. Auch dynamische Vorgänge sind als Spannungszyklen zu berücksichtigen.

Hinweis:

(1) Siehe dazu auch Abschnitt 6.2.4.2.2.2.

(2) Ein einziger Betriebszyklus kann zu einem oder mehreren Spannungszyklen führen.

(21) Streckgrenzenverhältnis

Das Streckgrenzenverhältnis ist der Quotient aus 0,2 %-Dehngrenze ($R_{p0,2}$), dividiert durch die Zugfestigkeit (R_m).

(22) Temperaturspannung (Wärmespannung)

Eine Temperaturspannung ist eine infolge ungleichförmiger Temperaturverteilung oder unterschiedlicher Temperaturendeckungskoeffizienten hervorgerufene Spannung, die sich selbst das Gleichgewicht hält. Eine Temperaturspannung wird in einem Festkörper dann erzeugt, wenn ein Werkstoffvolumen behindert wird, die infolge einer Temperaturänderung sich ergebende Größe und Form anzunehmen. Bei der Ermittlung zulässiger Spannungen werden zwei Arten von Temperaturspannungen unterschieden, je nachdem, in welchem Volumen oder in welcher Fläche eine Formänderung auftritt:

- a) Eine **allgemeine Temperaturspannung** ist mit einer Formänderung der Struktur verbunden, in der sie auftritt. Wenn eine solche Temperaturspannung unter Vernachlässigung von Spannungskonzentrationen eine bestimmte Grenze überschreitet, kann die elastische Spannungsanalyse falsche Werte liefern und aufeinanderfolgende Temperaturzyklen können eine Zunahme der Formänderung bewirken. Aus diesem Grunde wird diese Spannungsart als Sekundärspannung in **Tabelle 6-4** klassifiziert.

Hinweis:

Beispiele: Spannung infolge

- a) einer axialen Temperaturverteilung in einer zylindrischen Schale,
- b) einer Temperaturdifferenz zwischen einem Stutzen und der Schale, an der er befestigt ist,
- c) einer radialen Temperaturverteilung in einer zylindrischen Schale.

- b) Eine **örtliche Temperaturspannung** ist mit einer fast vollständigen Unterdrückung einer unterschiedlichen Ausdehnung verbunden und verursacht somit keine bedeutenden Formänderungen. Solche Spannungen sind nur zur Beurteilung der Werkstoffermüdung zu berücksichtigen und werden aus diesem Grunde in **Tabelle 6-4** als Spannungsspitzen (peak stresses) klassifiziert. Bei der Bestimmung örtlicher Temperaturspannungen ist das Verfahren von Abschnitt 6.2.4.2.2.7 (5) b) zu benutzen.

Hinweis:

Beispiele: Die Spannung durch lokale Temperaturüberhöhung in einer Behälterwand; die Spannungsdifferenz zwischen der tatsächlichen und der äquivalenten linearen Spannung infolge einer radialen Temperaturverteilung in einer zylindrischen Schale.

(23) Trapezspannung

Eine Trapezspannung ist eine fiktive, an der neutralen Faser oder bei Dehnung Null auftretende Spannung, die sich durch die Überführung der nicht linearen Spannungs-Dehnungs-Kurve in eine trapezförmige Spannungs-Dehnungs-Kurve ergibt.

Hinweis:

Siehe dazu auch Abschnitt C 4.1.

6.2.2 Kennzeichnung der Lastfälle

6.2.2.1 Allgemeingültige Festlegungen

- (1) Für die Baugruppen der Reaktordruckbehälter-Einbauten sind alle Lastfälle gemäß Abschnitt 6.2.2.2 zu klassifizieren.
- (2) Für die Baugruppen ist jedem Lastfall eine Beanspruchungsstufe gemäß Abschnitt 6.2.2.3 zuzuordnen.

6.2.2.2 Klassifikation der Lastfälle

(1) Die Lastfälle sind einer der in **Tabelle 6-2** aufgeführten Lastfallklassen zuzuordnen.

(2) Den Lastfallklassen sind hinsichtlich des Integritätsnachweises folgende Beanspruchungsstufen zugeordnet:

- a) Bestimmungsgemäßer Betrieb:
 - aa) Normale Betriebsfälle (NB) sind der Beanspruchungsstufe A zugeordnet,
 - ab) Anomale Betriebsfälle (AB) sind der Beanspruchungsstufe B zugeordnet.
- b) Störfälle:
 - ba) Notfälle (NF) sind der Beanspruchungsstufe C zugeordnet,
 - bb) Schadensfälle (SF) sind der Beanspruchungsstufe D zugeordnet.

Hinweis:

Eine differenziertere Erläuterung ist beispielsweise in KTA 3201.2 Abschnitt 3.2 enthalten.

6.2.2.3 Beanspruchungsstufen

6.2.2.3.1 Allgemeingültige Festlegungen

(1) Vom Anlagenlieferer sind die Belastungsanteile den Beanspruchungsstufen zuzuordnen, wobei die Integrität der Bauteile in jeder Beanspruchungsstufe sicherzustellen ist.

(2) Die zugehörigen Beanspruchungsgrenzen sind im Abschnitt 6.2.4 festgelegt. Die Einteilung in Beanspruchungsstufen für jede Anforderungsstufe zeigt die **Tabelle 6-3** beispielhaft.

6.2.2.3.2 Ermittlung der Beanspruchungen

Die Ermittlung der Beanspruchungen hat im Rahmen einer Strukturanalyse gemäß Abschnitt 6.2.4 zu erfolgen.

a) Stufen A und B

Für die den Stufen A und B zugeordneten Lastfälle ist die Zulässigkeit der Vergleichsspannungen und Vergleichsspannungsschwingbreiten hinsichtlich der fortschreitenden Deformation und Ermüdung gemäß den Abschnitten 6.2.4.2.2.3 und 6.2.4.2.2.9 nachzuweisen.

b) Stufe C

Bei der Stufe C sind nur die Belastungen zu berücksichtigen, die primäre Spannungen hervorrufen. Außerdem ist für die der Stufe C zugeordneten Lastfälle die Zulässigkeit der Vergleichsspannungsschwingbreiten hinsichtlich der fortschreitenden Deformation und Ermüdung gemäß den Abschnitten 6.2.4.2.2.3 und 6.2.4.2.2.9 nachzuweisen. Die Beanspruchungsgrenzen der Stufe C erlauben plastische Deformationen.

c) Stufe D

Bei der Stufe D sind nur die Belastungen zu berücksichtigen, die primäre Spannungen hervorrufen. Dabei dürfen größere plastische Deformationen auftreten.

6.2.3 Belastungen

6.2.3.1 Allgemeingültige Festlegungen

(1) Die ermittelten Belastungen sind für jedes Bauteil, eingeteilt in Anforderungsstufen, gemäß der **Tabelle 6-3** zu erfassen und vom Anlagenlieferer zusammenzustellen.

(2) Die aus den Belastungen resultierenden Spannungen und gegebenenfalls Verformungen sind im Rahmen der Strukturanalyse zu ermitteln und zu beurteilen.

6.2.3.2 Wirkung der Belastungen

Die Belastungen können unmittelbar auf die Komponente und Bauteile wirken und die entsprechenden Beanspruchungen hervorrufen. Sie können aber auch mittelbar wirken, z. B. bei Temperaturtransienten im Kühlmittel, die instationäre Temperaturfelder in der Komponente hervorrufen, woraus Spannungen infolge behinderter Temperaturexpansion entstehen.

6.2.3.3 Mechanische Belastungen

Als mechanische Belastungen sind zu berücksichtigen:

- a) Belastungen aus dem Kühlmittel, verursacht durch dessen stationäre und instationäre Druckdifferenzen, Strömung, Schwingungsanregungen,
- b) Belastungen aus den Reaktordruckbehälter-Einbauten selbst, verursacht z. B. durch deren Eigengewicht, Vorspannkräfte und
- c) Belastungen aus den Nachbarkomponenten, verursacht z. B. durch das Eigengewicht der Brennelemente, Schwingungsanregungen des Reaktordruckbehälters und der Brennelemente infolge Erdbeben.

6.2.3.4 Thermische Belastungen

Als thermische Belastungen sind zu berücksichtigen:

- a) Belastungen aus dem Kühlmittel, verursacht durch dessen stationäre und instationäre Temperaturen,
- b) Belastungen aus den Reaktordruckbehälter-Einbauten selbst durch ungleichförmige Aufheizung und behinderte Wärmedehnungen infolge der durch γ -Absorption erzeugten Wärme und
- c) Belastungen aus Nachbarkomponenten, verursacht z. B. durch aufgezwungene Verschiebungen und Verformungen, unterschiedliche sowie behinderte Temperaturexpansionen.

Lastfallklassen		Lastfälle lfd. Nr.	Häufigkeit
Bestimmungsgemäßer Betrieb	Normale Betriebsfälle (NB) Stufe A	(werden anlagenbezogen festgelegt)	(wird anlagenbezogen lastfallspezifisch festgelegt)
	Anomale Betriebsfälle (AB) Stufe B		
Störfälle	Notfälle (NF) Stufe C		
	Schadensfälle (SF) Stufe D		

Tabelle 6-2: Beispiel der Klassifizierung der Lastfälle

a) Belastungsanteile der Anforderungsstufe AS-RE 1									
Beanspruchungsstufen	Gewicht	Strömungsbelastung	Druckdifferenz	Temperatur	Vorspannkkräfte	Schwingungsbelastungen für Normalbetrieb	Bemessungserdbeben ¹⁾	Flugzeugabsturz und chemische Explosion	Hydrodynamische Belastungen infolge Kühlmittelverlust-Störfällen
Stufe A	X	X	X	X	X	X			
Stufe B	X	X	X	X	X	X			
Stufe C	X	X	X	(X)	X	X			
Stufe D	X	[X]	[X]		X	[X]	X (BEB)	X	X
b) Belastungsanteile der Anforderungsstufen AS-RE 2 und AS-RE 3 innerhalb des RDB									
Beanspruchungsstufen	Gewicht	Strömungsbelastung	Druckdifferenz	Temperatur	Vorspannkkräfte	Schwingungsbelastungen für Normalbetrieb	Bemessungserdbeben ¹⁾	Flugzeugabsturz und chemische Explosion	Hydrodynamische Belastungen infolge Kühlmittelverlust-Störfällen
Stufe A	X ²⁾	X	X	X	X	X			
Stufe B	X	X	X	X	X	X			
Stufe C									
Stufe D									
c) Belastungsanteile der Anforderungsstufe AS-RE 3 außerhalb des RDB									
Beanspruchungsstufen	Gewicht	Strömungsbelastung	Druckdifferenz	Temperatur	Vorspannkkräfte	Schwingungsbelastungen für Normalbetrieb	Bemessungserdbeben ¹⁾	Flugzeugabsturz und chemische Explosion	Hydrodynamische Belastungen infolge Kühlmittelverlust-Störfällen
Stufe A	X ³⁾								
Stufe B									
Stufe C									
Stufe D									

1) Siehe KTA 2201.4
2) Bei Lastanschlagpunkten ist ein Lastüberhöhungsfaktor von 1,8 anzuwenden.
3) Einschließlich spezifizierter Nutzlasten.
(X) : Nur für Ermüdungsnachweis.
X : Werden nicht miteinander überlagert (Ausnahme Druckwelle vom Maschinenhaus).
[X] : Nur in Kombination mit EVA-Belastungen.
BEB : Bemessungserdbeben

Tabelle 6-3: Beispiele für die Zuordnung der Belastungsanteile zu den Beanspruchungsstufen

6.2.4 Strukturanalyse

6.2.4.1 Allgemeingültige Festlegungen

(1) Mit der Strukturanalyse muss nachgewiesen werden, dass die Reaktordruckbehälter-Einbauten allen Belastungen gemäß den in Abschnitt 6.2.2.3 aufgeführten Beanspruchungen standhalten. Hierbei sind als Belastung alle Einwirkungen auf die Komponente oder das Bauteil anzunehmen, die Beanspruchungen und Verformungen in diesen hervorrufen.

(2) Im Rahmen der Strukturanalyse sind die Beanspruchungen und erforderlichenfalls die Verformungen der zu untersuchenden Komponente infolge von Belastungen unter Einhaltung der Randbedingungen und unter Berücksichtigung der gegenseitigen Beeinflussung ihrer einzelnen Bauteile zu ermitteln.

(3) Hierbei ist zu beachten, dass die Genauigkeit der ermittelten Größen von der Güte der geometrischen Idealisierung der Komponente oder des Bauteils, von der Genauigkeit der Annahme über Belastungen, Randbedingungen und Werkstoffeigenschaften sowie von der Eignung des gewählten Berechnungsverfahrens und der Art seiner Durchführung abhängt.

(4) Die Ermittlung der Beanspruchungen und erforderlichenfalls der Verformungen darf analytisch oder experimentell oder in Kombination rechnerisch und experimentell erfolgen. Für den Umfang der Nachweisführung gilt Abschnitt 6.2.5. In den nachfolgenden Abschnitten 6.2.4.2 und 6.2.4.3 sind die Methoden für die Durchführung des Festigkeitsnachweises aufgeführt. Es genügt, wenn der Festigkeitsnachweis nach einer Methode erbracht wird.

(5) Die so ermittelten Beanspruchungen und Verformungen sind hinsichtlich ihrer Zulässigkeit folgendermaßen zu überprüfen:

- Bauteile der Anforderungsstufe AS-RE 1 gemäß den Abschnitten 6.2.4.2 oder 6.2.4.3,
- Bauteile der Anforderungsstufe AS-RE 2 und AS-RE 3 innerhalb des Reaktordruckbehälters gemäß den Abschnitten 6.2.4.2 oder 6.2.4.3; Befestigungselemente mit Gewinde der Anforderungsstufe AS-RE 2 sind wie Bauteile (Abschnitte 6.2.4.2.2.3 und 6.2.4.2.2.4) zu werten, sofern eine Sicherstellung der Restvorspannkraft nicht maßgebend ist,

c) Bauteile der Anforderungsstufe AS-RE 3 außerhalb des Reaktordruckbehälters gemäß den für sie zutreffenden Normen und Regeln der Technik.

Hinweis:

Dies sind z. B. KTA 3902, KTA 3205.1.

6.2.4.2 Analytische Nachweise

6.2.4.2.1 Allgemeingültige Festlegungen

(1) Unter analytischen Nachweisen wird der rechnerische Nachweis der Lastabtragung verstanden. Dieser darf auch nach den Methoden der elementaren Festigkeitsberechnung erfolgen.

(2) Die Analysen dürfen auf der Basis eines elastischen oder elastisch-plastischen Werkstoffverhaltens durchgeführt werden.

(3) Die analytischen Nachweise dürfen durch die in Abschnitt 9.4 geregelten Schwingungsmessungen ersetzt werden.

6.2.4.2.2 Spannungsanalyse

Durch eine Spannungsanalyse mit Spannungskategorisierung und Spannungsbegrenzung ist nachzuweisen, dass nur zulässige Spannungen und Verformungen auftreten.

6.2.4.2.2.1 Spannungskategorien

(1) Die Spannungen sind in Abhängigkeit von der erzeugenden Ursache und ihrer Auswirkung auf das Festigkeitsverhalten des Bauteils in die Spannungskategorien Primärspannungen, Sekundärspannungen und Spannungsspitzen einzuteilen und in unterschiedlicher Weise zu begrenzen.

(2) Die Spannungen sind diesen einzelnen Spannungskategorien zuzuordnen. Erscheint die Zuordnung zu einer der genannten Spannungskategorien nicht eindeutig, ist die Auswirkung einer plastischen Verformung auf das Tragverhalten im Falle einer angenommenen Steigerung der vorgesehenen Belastung als maßgebend für die Zuordnung anzusehen.

Beispiele für die Zuordnung zu Spannungskategorien siehe **Tabelle 6-4**.

Behälterteil	Ort	Spannung hervorgerufen durch	Art der Spannung	Kategorie	Struktur-Störstelle	
					allgemein	örtlich
Zylinder- oder Kugelschale	Ungestörter Bereich	Druckdifferenz	Membranspannung	P_m	Nein	Nein
			Spannungsänderung senkrecht zur Schalenmittelfläche	Q	Ja	Nein
		Axialer Temperaturgradient	Membranspannung	Q	Ja	Nein
			Biegespannung	Q	Ja	Nein
	Verbindung mit Boden oder Flansch	Druckdifferenz	Membranspannung	$Q, (P_m)^1$	Ja	Nein
			Biegespannung	$Q, (P_b)^1$	Ja	Nein
Beliebige Schale oder Boden	Beliebiger Schnitt durch den gesamten Behälter	Äußere Kraft oder Moment oder Druckdifferenz	Mittelwert der Membranspannung über den gesamten Behälterschnitt (Spannungskomponenten senkrecht zur Schnittebene)	P_m	Nein	Nein
			Biegeanteil über den gesamten Behälterschnitt (Spannungskomponente senkrecht zur Schnittebene)	P_m	Nein	Nein
	In der Nähe von Stützen oder anderen Öffnungen	Äußere Kraft oder Moment oder Druckdifferenz	Membranspannung	Q	Ja	Nein
			Biegespannung	Q	Ja	Nein
			Spannungskonzentration an Hohlkehle oder Ecke	F	Ja	Ja
	Beliebig	Temperaturdifferenz zwischen Boden und Mantel	Membranspannung	Q	Ja	Nein
			Biegespannung	Q	Ja	Nein
	Gewölbter oder kegeliger Boden	Im Bereich der Rotationsachse	Druckdifferenz	Membranspannung	P_m	Nein
Biegespannung				P_b	Nein	Nein
Im Bereich der Krempe oder Verbindung zum Mantel		Druckdifferenz	Membranspannung	Q^2	Ja	Nein
			Biegespannung	Q	Ja	Nein
Ebener Boden	Im Bereich der Rotationsachse	Druckdifferenz	Membranspannung	P_m	Nein	Nein
			Biegespannung	P_b	Nein	Nein
	Verbindung zum Mantel	Druckdifferenz	Membranspannung	Q	Ja	Nein
			Biegespannung	Q	Ja	Nein

Tabelle 6-4: Klassifikation von Spannungen für einige typische Fälle (Fortsetzung siehe nächste Seite)

Behälterteil	Ort	Spannung hervorgerufen durch	Art der Spannung	Kategorie	Struktur-Störstelle		
					allgemein	örtlich	
Gelochter Boden	Regulärer Steg in einem regelmäßigen Lochfeld	Druckdifferenz oder äußere Kraft oder Moment	Membranspannung (Mittelwert über Stegquerschnitt)	P_m	Nein	Nein	
			Biegespannung (Mittelwert über Stegbreite aber veränderlich über Wandstärke)	P_b	Nein	Nein	
			Spannungskonzentration	F	Nein	Ja	
	Einzelner oder von der normalen Anordnung abweichender Steg	Druckdifferenz oder äußere Kraft oder Moment	Membranspannung (Mittelwert über Stegquerschnitt)	Q	Ja	Nein	
			Biegespannung (Mittelwert über Stegbreite aber veränderlich über Wandstärke)	F	Ja	Ja	
			Spannungskonzentration	F	Ja	Ja	
Stützen	Querschnitt senkrecht zur Stützenachse	Druckdifferenz oder äußere Kraft oder Moment	Mittelwert der Membranspannung über den Stützenquerschnitt (Spannungskomponente senkrecht zur Schnittebene)	P_m	Nein	Nein	
			Äußere Kraft oder Moment ²⁾	Biegung über den Stützenquerschnitt	P_m	Nein	Nein
	Stützenwand	Druckdifferenz	Allgemeine Membranspannung	P_m	Nein	Nein	
			Örtliche Membranspannung	Q	Ja	Nein	
			Biegung	Q	Ja	Nein	
		Unterschiedliche Wärmedehnung	Spannungskonzentration	F	Ja	Ja	
			Membranspannung	Q	Ja	Nein	
			Biegespannung	Q	Ja	Nein	
	Plattierung	Beliebig	Unterschiedliche Wärmeausdehnung	Spannungskonzentration	F	Ja	Ja
				Membranspannung	Q	Ja	Nein
Biegespannung				Q	Ja	Nein	
Beliebig	Beliebig	Radiale Temperaturverteilung ³⁾	Äquivalenter linearer Anteil ⁴⁾	Q	Ja	Nein	
			Abweichung von äquivalenten linearen Spannungsverläufen	F	Ja	Ja	
Beliebig	Beliebig	Beliebig	Spannungskonzentration durch Kerbwirkung	F	Ja	Ja	

1) Diese Klassifikation ist nur zulässig, wenn die Spannungen im Flansch ohne Unterstützung durch den Mantel innerhalb der zulässigen Grenzen liegen. Falls dies nicht der Fall ist, gelten die eingeklammerten Kategorien.

2) In dünnwandigen Behältern muss die Möglichkeit des Einbeulens und unzulässiger Deformationen untersucht werden.

3) Es ist zu untersuchen, ob die Gefahr des Versagens infolge fortschreitender Deformation besteht.

4) Der äquivalente lineare Anteil ist definiert als die lineare Spannungsverteilung, die das gleiche Biegemoment erzeugt wie die tatsächliche Spannungsverteilung.

Tabelle 6-4: Klassifikation von Spannungen für einige typische Fälle (Fortsetzung)

6.2.4.2.2.2 Spannungsüberlagerung

Für jeden Lastfall sind, wie im Folgenden dargestellt, die gleichzeitig wirkenden Spannungen für jede Spannungs-kategorie gesondert oder für verschiedene Kategorien gemeinsam zu addieren. Aus diesen Spannungssummen ist für die Primärspannungen die Vergleichsspannung, für die Summe aus Primär- und Sekundärspannungen oder für die Summe aus Primärspannungen, Sekundärspannungen und Spannungsspitzen jeweils die Vergleichsspannungsschwingbreite zu bilden.

6.2.4.2.2.1 Vergleichsspannungen

(1) Die den verschiedenen Spannungs-kategorien der Primärspannungen entsprechenden Vergleichsspannungen sind unter Zugrundelegung entweder der Gestaltänderungsenergie nach von Mises oder der größten Schubspannung nach Tresca zu bilden.

(2) Bei der Durchführung einer plastischen Analyse darf eine Verfestigung des Werkstoffs gemäß Fußnote 6 zu **Tabelle 6-5** berücksichtigt werden.

(3) Nach der Festlegung eines dreiachsigen Koordinatensystems sind die arithmetischen Summen aller gleichzeitig wirkenden Spannungen gleicher Richtung gesondert für

- die allgemeinen primären Membranspannungen P_m und
- die Summe aus den allgemeinen primären Membranspannungen P_m und den primären Biegespannungen P_b zu bestimmen.

Hinweis:

Im Allgemeinen wird es möglich sein, Strukturbereiche maximaler Beanspruchung von vornherein auszuwählen.

Vergleichsspannungen sind aus der primären Membranspannung und aus der Summe von primärer Membran- und Biegespan-

nung zu berechnen. Unter Verwendung von den Hauptspannungen σ_1, σ_2 und σ_3 berechnet sich die Vergleichsspannung nach von Mises zu

$$\sqrt{\frac{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2}{2}} \quad (6.2-1)$$

Alternativ dazu wird die Vergleichsspannung nach Tresca als größte absolute Differenz von zwei Hauptspannungen zu

$$\max \left\{ \left| \sigma_1 - \sigma_2 \right|, \left| \sigma_2 - \sigma_3 \right|, \left| \sigma_3 - \sigma_1 \right| \right\} \quad (6.2-2)$$

berechnet.

(4) Bei der Bestimmung einer Membranvergleichsspannung P_m sind zuerst die Mittelwerte der einzelnen Spannungskomponenten über den für das Tragverhalten zugrunde zu legenden Querschnitt zu bilden. Aus den Mittelwerten ist die Membranvergleichsspannung zu berechnen.

6.2.4.2.2.2 Vergleichsspannungsschwingbreiten

(1) Zur Vermeidung des Versagens infolge fortschreitender Deformation und infolge Ermüdung sind Vergleichsspannungsschwingbreiten aus unterschiedlichen Spannungskategorien zu ermitteln und separat zu begrenzen.

(2) Für den Fall der Absicherung gegen fortschreitende Deformation sind gleichzeitig wirkende Spannungen der primären und sekundären Spannungskategorien zu berücksichtigen. Zur Absicherung gegen Ermüdung sind gleichzeitig wirkende Spannungen aller Spannungskategorien zu berücksichtigen.

(3) Die beiden folgenden Absätze beschreiben Rechenverfahren auf der Basis von Hauptspannungen. Stattdessen darf die Vergleichsspannungsschwingbreite auch aus Spannungstensoren in einem beliebigen Koordinatensystem bestimmt werden.

(4) Für jene Fälle, in denen sich in dem betreffenden Körperpunkt die Richtungen der Hauptspannungen während des Spannungszyklus nicht ändern, sind zunächst über die Zeit des Spannungszyklus Hauptspannungen $\sigma_1(t), \sigma_2(t)$ und $\sigma_3(t)$ zu bestimmen. Aus den drei Hauptspannungen sind dann die drei zeitabhängigen Hauptspannungsdifferenzen

$$\left. \begin{aligned} S_{1,2}(t) &= \sigma_1(t) - \sigma_2(t) \\ S_{2,3}(t) &= \sigma_2(t) - \sigma_3(t) \\ S_{3,1}(t) &= \sigma_3(t) - \sigma_1(t) \end{aligned} \right\} \quad (6.2-3)$$

zu bilden. Anschließend ist gemäß a) oder b) zu verfahren.

a) Vergleichsspannungsschwingbreite nach von Mises

Nach folgender Vorschrift ist im Spannungszyklus das Maximum über alle Zeitpunkte t_i und t_j zu bestimmen:

$$\max_{t_i, t_j} \sqrt{\frac{(S_{1,2}(t_i) - S_{1,2}(t_j))^2 + (S_{2,3}(t_i) - S_{2,3}(t_j))^2 + (S_{3,1}(t_i) - S_{3,1}(t_j))^2}{2}} \quad (6.2-4)$$

b) Vergleichsspannungsschwingbreite nach Tresca

Im Spannungszyklus ist über alle Zeitpunkte t_i und t_j die größte absolute Differenz der jeweiligen Hauptspannungsdifferenzen zu bestimmen:

$$\max_{t_i, t_j} \left\{ \left| S_{1,2}(t_i) - S_{1,2}(t_j) \right|, \left| S_{2,3}(t_i) - S_{2,3}(t_j) \right|, \left| S_{3,1}(t_i) - S_{3,1}(t_j) \right| \right\} \quad (6.2-5)$$

(5) Für jene Fälle, in denen sich in dem betreffenden Körperpunkt die Richtungen der Hauptspannungen während des Spannungszyklus ändern, müssen zunächst für die beiden Zeitpunkte 1 und 2 eines Spannungszyklus „I“ Differenzen von Normal- und von Schubspannungskomponenten ermittelt werden:

$$\left. \begin{aligned} \Delta\sigma_{xx}^I &= \sigma_{xx}^{I,2} - \sigma_{xx}^{I,1} \\ \Delta\sigma_{yy}^I &= \sigma_{yy}^{I,2} - \sigma_{yy}^{I,1} \\ \Delta\sigma_{zz}^I &= \sigma_{zz}^{I,2} - \sigma_{zz}^{I,1} \\ \Delta\sigma_{xy}^I &= \sigma_{xy}^{I,2} - \sigma_{xy}^{I,1} \\ \Delta\sigma_{yz}^I &= \sigma_{yz}^{I,2} - \sigma_{yz}^{I,1} \\ \Delta\sigma_{xz}^I &= \sigma_{xz}^{I,2} - \sigma_{xz}^{I,1} \end{aligned} \right\} \quad (6.2-6)$$

Die von den Zeitpunkten 1 und 2 abhängige Vergleichsspannungsschwingbreite ist a) nach von Mises oder b) nach Tresca wie folgt zu ermitteln:

a) Vergleichsspannungsschwingbreite nach von Mises

$$\Delta\sigma_{\text{eqv, v.Mises}}^I = \left\{ (\Delta\sigma_{xx}^I)^2 + (\Delta\sigma_{yy}^I)^2 + (\Delta\sigma_{zz}^I)^2 - (\Delta\sigma_{xx}^I \cdot \Delta\sigma_{yy}^I + \Delta\sigma_{yy}^I \cdot \Delta\sigma_{zz}^I + \Delta\sigma_{xx}^I \cdot \Delta\sigma_{zz}^I) + 3 \cdot [(\Delta\sigma_{xy}^I)^2 + (\Delta\sigma_{yz}^I)^2 + (\Delta\sigma_{xz}^I)^2] \right\}^{0,5} \quad (6.2-7)$$

Sinngemäß ist auch die Anwendung von Gleichung (6.2-1) formuliert in Hauptspannungsdifferenzen $\Delta\sigma^1, \Delta\sigma^2$ und $\Delta\sigma^3$ möglich. Der Formelsatz zur Ermittlung der Hauptspannungsdifferenzen lässt sich b) entnehmen.

b) Vergleichsspannungsschwingbreite nach Tresca

Aus den sechs zeitabhängigen Differenzen von Spannungskomponenten nach Gleichung (6.2-6) sind dann von den Zeitpunkten 1 und 2 eines identifizierten Spannungszyklus abhängige Hauptspannungsdifferenzen $\Delta\sigma^1, \Delta\sigma^2$ und $\Delta\sigma^3$ zu bilden. Diese stellen die Eigenwerte (λ_1, λ_2 und λ_3) des mit Gleichung (6.2-6) dargestellten Spannungsdifferenzentensors dar und sind als Lösungen des charakteristischen Polynoms

$$P(\lambda) = -\lambda^3 + \Delta I_1 \cdot \lambda^2 - \Delta I_2 \cdot \lambda + \Delta I_3 \quad (6.2-8)$$

gegeben. Die Invarianten $\Delta I_1, \Delta I_2$ und ΔI_3 lassen sich dabei aus

$$\begin{aligned} \Delta I_1 &= \text{trace}(\Delta\sigma_{ij}^I) = \Delta\sigma_{xx}^I + \Delta\sigma_{yy}^I + \Delta\sigma_{zz}^I \\ \Delta I_2 &= 0,5 \cdot \left\{ (\Delta I_1)^2 - \text{trace} \left[(\Delta\sigma_{ij}^I)^2 \right] \right\} \\ &= \Delta\sigma_{xx}^I \cdot \Delta\sigma_{yy}^I + \Delta\sigma_{yy}^I \cdot \Delta\sigma_{zz}^I + \Delta\sigma_{zz}^I \cdot \Delta\sigma_{xx}^I - (\Delta\sigma_{xy}^I)^2 - (\Delta\sigma_{yz}^I)^2 - (\Delta\sigma_{xz}^I)^2 \\ \Delta I_3 &= \det(\Delta\sigma_{ij}^I) \\ &= \Delta\sigma_{xx}^I \cdot \left[\Delta\sigma_{yy}^I \cdot \Delta\sigma_{zz}^I - (\Delta\sigma_{yz}^I)^2 \right] - \Delta\sigma_{xy}^I \cdot \left(\Delta\sigma_{xy}^I \cdot \Delta\sigma_{zz}^I - \Delta\sigma_{yz}^I \cdot \Delta\sigma_{xz}^I \right) + \Delta\sigma_{xz}^I \cdot \left(\Delta\sigma_{xy}^I \cdot \Delta\sigma_{yz}^I - \Delta\sigma_{yy}^I \cdot \Delta\sigma_{xz}^I \right) \end{aligned} \quad (6.2-9)$$

ermitteln. Das charakteristische Polynom hat drei positive Wurzeln, die durch

$$\lambda_i = \frac{1}{3} \cdot \left[\Delta I_1 + 2 \cdot \sqrt{(\Delta I_1)^2 - 3 \cdot \Delta I_2} \cdot \cos \left(\frac{\beta + (i-1) \cdot 2\pi}{3} \right) \right],$$

mit $i = 1, 2, 3$

$$\beta = \arccos \frac{2 \cdot (\Delta I_1)^3 - 9 \cdot \Delta I_1 \cdot \Delta I_2 + 27 \cdot \Delta I_3}{2 \cdot \sqrt{[(\Delta I_1)^2 - 3 \cdot \Delta I_2]^3}}$$

gegeben sind.

Es hat eine Umsortierung der Größe nach $\lambda_1 \geq \lambda_2 \geq \lambda_3$ zu erfolgen. Dann folgt

$$\Delta\sigma_1^I = \lambda_1, \Delta\sigma_2^I = \lambda_2, \text{ und } \Delta\sigma_3^I = \lambda_3$$

Die Vergleichsspannungsschwingbreite nach Tresca ergibt sich zu

$$\Delta\sigma_{\text{eqv, Tresca}}^I = \max \left(\left| \Delta\sigma_1^I - \Delta\sigma_2^I \right|; \left| \Delta\sigma_2^I - \Delta\sigma_3^I \right|; \left| \Delta\sigma_3^I - \Delta\sigma_1^I \right| \right) \quad (6.2-10)$$

6.2.4.2.2.3 Begrenzung der Vergleichsspannung und der Vergleichsspannungsschwingbreite für alle Bauteile mit Ausnahme von Befestigungselementen mit Gewinde

(1) Die Vergleichsspannungen und die Vergleichsspannungsschwingbreiten sind gemäß **Tabelle 6-5** in Abhängigkeit von den mechanischen Eigenschaften des Werkstoffs und den Beanspruchungsstufen zu begrenzen.

(2) Bei Schweißverbindungen nach Abschnitt 6.1.6 sind

- a) die zulässigen Werte der **Tabelle 6-5** nur für Primärspannungen mit dem Schweißnahtfaktor n der **Tabelle 6-1** zu multiplizieren,
- b) für Ermüdungsanalysen der Ermüdungsfaktor f gemäß **Tabelle 6-1** und die Ermüdungskurven gemäß den **Bildern 6-3** und **6-4** zu benutzen.

(3) Die Begrenzungen gemäß **Tabelle 6-5** gelten jedoch nur für volle Rechteckquerschnitte. Bei anderen Querschnitten sind die Stützziffern in Abhängigkeit von dem jeweiligen Tragverhalten festzulegen.

(4) Im Falle der Vergleichsspannungen aus Primärspannungen und der Vergleichsspannungsschwingbreiten aus Primär- und Sekundärspannungen hat die Begrenzung unter Zugrundelegung der nachfolgend definierten Spannungsvergleichswerte S_m , der Mindestwerte der Dehngrenzen $R_{p0,2}$ oder der Zugfestigkeiten R_m zu erfolgen. Der S_m -Wert ergibt sich unter Zugrundelegung der jeweiligen örtlichen und zeitlichen Temperatur T des Bauteils und der Raumtemperatur.

(5) Unter Beachtung dieser Zuordnung ergibt sich der S_m -Wert für austenitische Werkstoffe und Nickellegierungen wie folgt:

$$S_m = \min \left\{ \frac{R_{p0,2RT}}{1,5}; \frac{R_{p0,2T}}{1,1}; \frac{R_{mRT}}{3}; \frac{R_{mT}}{2,7} \right\} \quad (6.2-11)$$

(6) Die Werte der Dehngrenzen oder der Zugfestigkeiten sind dem Abschnitt 7 zu entnehmen. Diese Werte dürfen für bestimmte Temperaturen T interpoliert und bis maximal 425 °C extrapoliert werden. Der S_m -Wert oberhalb von 40 °C darf $0,67 \cdot R_{p0,2RT}$ überschreiten und bis $0,9 \cdot R_{p0,2T}$ erreichen. Dies entspricht einer bleibenden Dehnung von maximal 0,1 %. Wenn die diesem Spannungswert zugeordnete Verformung nicht zugelassen werden kann, ist der S_m -Wert auf einen solchen Wert zu reduzieren, dass nur zulässige Deformationen auftreten. Hierzu dürfen die Multiplikationsfaktoren gemäß **Tabelle B-1** und die $R_{p0,2T}$ -Werte gemäß Abschnitt 7 benutzt werden.

(7) Mit den ermittelten Vergleichsspannungsschwingbreiten aus Primärspannungen, Sekundärspannungen und Spannungsspitzen ist eine Ermüdungsanalyse durchzuführen.

6.2.4.2.2.4 Bedingungen für die Beanspruchungsstufen A und B

(1) Neben den Festlegungen der **Tabelle 6-5** dürfen auch die Festlegungen des Abschnitts 6.2.4.2.2.7 angewandt werden.

(2) Die vorgegebenen Verformungsgrenzen, die den Beanspruchungsstufen A und B zugeordnet sind, müssen eingehalten werden.

(3) Zusätzlich zu den Begrenzungen der **Tabelle 6-5** gelten folgende Anforderungen:

- a) Begrenzung der Vergleichsspannung aus Spannungen aufgrund von Dehnungsbehinderungen

Die Summe der maximalen Vergleichsspannungsschwingbreiten dieser Spannung mit allen anderen primären und sekundären Spannungen ist auf $3 \cdot S_m$ zu begrenzen.

- b) Thermal Stress Ratcheting (Thermisch bedingte fortschreitende Deformation)

Bei bestimmter Zusammensetzung von ruhenden und wechselnden Belastungen kann eine große Verformung als

Ergebnis des Thermal Stress Ratcheting entstehen. Hierbei nimmt bei jedem Spannungszyklus die Verformung um nahezu den gleichen Betrag zu. Beispiele für diesen Mechanismus werden im Folgenden und in Abschnitt 6.2.4.2.2.7.4 behandelt. Thermisch bedingte fortschreitende Deformationen können mit Hilfe einer plastischen Analyse berechnet und gemäß Abschnitt 6.2.4.2.2.8 (2) beurteilt werden. Im Folgenden wird ein Beispiel zum Nachweis der Vermeidung von Ratcheting der achsensymmetrischen, durch Druckdifferenz belasteten Schale angegeben. Der begrenzende Wert der maximalen wechselnden Temperaturbeanspruchung, der in einem Teil dieser Schale eine zyklische Zunahme des Durchmessers verhindern soll, ist folgender:

Es sei

y' : maximal zulässiger Bereich der Wärmespannung, berechnet unter der Annahme rein elastischen Verhaltens, dividiert durch die Dehngrenze $R_{p0,2T}$ oder durch $1,5 \cdot S_m$, wenn dieser Wert größer als $R_{p0,2T}$ ist.

x : maximale Membranspannung aufgrund der Druckdifferenz, dividiert durch die Dehngrenze $R_{p0,2T}$ oder durch $1,5 \cdot S_m$, wenn dieser Wert größer als $R_{p0,2T}$ ist.

Fall 1: Lineare Temperaturänderung über die Schalenwand

$$y' = \frac{1}{x} \quad \text{für } 0 < x \leq 0,5 \quad (6.2-12)$$

$$y' = 4 \cdot (1 - x) \quad \text{für } 0,5 < x < 1,0 \quad (6.2-13)$$

Fall 2: Parabolische, konstant anwachsende oder abfallende Verteilung der Temperatur über die Wanddicke

$$y' = 5,2 \cdot (1 - x) \quad \text{für } 0,615 \leq x < 1,0 \quad (6.2-14)$$

und für $x < 0,615$ gilt:

$$x = 0,3; 0,4; 0,5$$

$$y' = 4,65; 3,55; 2,70$$

Die Benutzung der Dehngrenze $R_{p0,2T}$ in den obigen Beziehungen statt der Proportionalitätsgrenze lässt ein kleines Anwachsen während jedes Spannungszyklus zu, bis die Kaltverfestigung die Proportionalitätsgrenze auf $R_{p0,2T}$ erhöht. Falls die Dehngrenze des Werkstoffs höher als die Dauerfestigkeit des Werkstoffs ist und wenn eine große Anzahl von Spannungszyklen erwartet wird, muss die Dauerfestigkeit benutzt werden, da sonst eine Dehnungsermüdung eintreten kann. Für die Berechnung des Thermal Stress Ratcheting ist die Dauerfestigkeit gleich dem 2fachen S_a -Wert bei 10^{11} Lastspielen gemäß **Bild 6-3** oder **Bild 6-4** zu nehmen.

6.2.4.2.2.5 Bedingungen für die Beanspruchungsstufe C

(1) Zusätzlich zu den Festlegungen der **Tabelle 6-5** sind die nachfolgenden Punkte zu beachten. Darüber hinaus muss die dynamische Instabilität berücksichtigt werden, indem die Grenzen für die Belastung sowie die Spannung und die Verformung eingehalten werden.

(2) Die zulässigen Werte für die speziellen Spannungsgrenzen dürfen für diese Beanspruchungsstufe 150 % der unter den Abschnitten 6.2.4.2.2.7 und 6.2.4.2.2.8 genannten Werte betragen.

(3) Die Begrenzung der Vergleichsspannungsschwingbreite aus primären und sekundären Spannungen braucht nicht durchgeführt zu werden, es sei denn, sie wird für (4) benötigt.

(4) Belastungen, die der Beanspruchungsstufe C zugeordnet sind, brauchen nicht berücksichtigt zu werden, wenn nach Abschnitt 6.2.4.2.3.3.1 gezeigt werden kann, dass eine Ermüdungsanalyse nicht durchgeführt werden muss. Andernfalls sind alle Ereignisse der Stufe C in die Ermüdungsanalyse gemäß Abschnitt 6.2.4.2.3 einzubeziehen.

(5) Die vorgegebenen Verformungsgrenzen, die der Beanspruchungsstufe C zugeordnet sind, müssen eingehalten werden.

Spannungskategorien ^{1) 2)}		Beanspruchungsstufen	
		Stufen A und B	Stufe C ³⁾
Primärvergleichsspannung	P_m	S_m ^{4) 5)}	$1,5 \cdot S_m$ elastische Analyse ⁴⁾
			$1,5 \cdot S_m$ plastische Analyse ⁶⁾
	$P_m + P_b$	$1,5 \cdot S_m$ ^{4) 5)}	$2,25 \cdot S_m$ elastische Analyse ⁴⁾
			$2,25 \cdot S_m$ } $0,5 \cdot R_{mT}$ } plastische Analyse ^{6) 7) 8)}
Primär- plus Sekundärvergleichsspannung	$P_m + P_b + Q$	$3 \cdot S_m$ ^{9) 10)} S_L ¹¹⁾	
Vergleichsspannung aus Primär- plus Sekundärspannung plus Spannungsspitzen	$P_m + P_b + Q + F$	$D < 1,0; 2 \cdot S_a$ ¹²⁾	

1) Für die Druckspannungen sind die Festlegungen des Abschnitts 6.2.4.2.5 zu beachten.
2) Bei transientser mechanischer Belastung müssen die Einflüsse dynamischer Vergrößerung berücksichtigt werden. Weiter muss eine mögliche Änderung des Elastizitätsmoduls in Betracht gezogen werden.
3) Wenn Verformungen in der Struktur beachtet werden müssen, sollen diese auf zwei Drittel des Wertes, der bei der Beanspruchungsstufe C spezifiziert ist, begrenzt werden.
4) Die dreiachsigen Spannungen repräsentieren die algebraische Summe der drei Hauptspannungen ($\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3$) für die Kombination von Spannungskomponenten. Wenn als Belastung gleichmäßige Zugbelastung vorliegt, sollen die dreiachsigen Spannungen bei den Beanspruchungsstufen A und B auf $4 \cdot S_m$ und bei C auf $6 \cdot S_m$ begrenzt werden.
5) Für Druckdifferenzbelastungen, die der Beanspruchungsstufe B zugeordnet sind, sind die zulässigen Vergleichsspannungen mit 1,1 zu multiplizieren. Dies gilt auch für die Festlegungen der Abschnitte 6.2.4.3.2 und B 2 a).
6) Die elastisch-plastische Berechnung ermittelt nominell primäre Spannungen. Das Verfestigungsverhalten des Werkstoffs kann sowohl für die wirkliche monotone Spannungs-Dehnungs-Kurve bei Belastungstemperatur als auch für jede Annäherung der wirklichen Spannungs-Dehnungs-Kurve herangezogen werden, wobei die Annäherung jedoch für gleiche Dehnungen überall geringere Spannungen aufweisen muss als die wirkliche Kurve. Um die Effekte der Mehrachsigkeit zu erfassen, darf entweder die von Mises- oder die Tresca-Hypothese benutzt werden.
7) R_{mT} = Zugfestigkeit bei Temperatur. Effekte der Mehrachsigkeit auf R_m müssen berücksichtigt werden.
8) Es darf der größere Wert der zulässigen Grenze benutzt werden.
9) Bei Überschreitung der Grenze von $3 \cdot S_m$ ist eine elastisch-plastische Ermüdungsanalyse durchzuführen. Diese kann eine vereinfachte elastisch-plastische Analyse sein.
10) Diese Begrenzung betrifft die Vergleichsspannungsschwingbreite. Wenn die Sekundärspannung auf Temperaturtransienten an dem untersuchten Punkt beruht, soll der S_m -Wert mit dem Mittelwert aus der höchsten und der niedrigsten Temperatur während der Transiente bestimmt werden. Wenn ein Teil oder alle Anteile der Sekundärspannung auf mechanische Lasten zurückzuführen sind, soll der S_m -Wert mit der höchsten Temperatur des Werkstoffs während der Transiente bestimmt werden.
11) S_L bezeichnet die auf eine Stelle der Struktur bezogene strukturelle Auswirkung der Einspiellast errechnet auf plastischer Basis.
12) Der auf einer elastischen Basis berechnete Wert der halben Vergleichsspannungsschwingbreite aus der Summe von Primär- plus Sekundärspannung plus Spannungsspitzen S_{all} , soll den S_a -Wert, dem 10 Lastspiele in der Ermüdungskurve zugeordnet sind, nicht überschreiten.

Tabelle 6-5: Zulässige Vergleichsspannungen und Vergleichsspannungsschwingbreiten für die Spannungskategorien der Beanspruchungsstufen A, B und C

6.2.4.2.2.6 Bedingungen für die Beanspruchungsstufe D

(1) Bei der Begrenzung der Beanspruchungen, die der Beanspruchungsstufe D zugeordnet sind, dürfen die Festlegungen der Abschnitte 6.2.4.2.2.6.1 bis 6.2.4.2.2.6.4 angewandt werden.

(2) Wenn die speziellen Spannungsgrenzen nach Abschnitt 6.2.4.2.2.7 für die Begrenzung der Beanspruchungen der Beanspruchungsstufe D angewendet werden, sollen die berechneten Spannungen nicht das Doppelte der im Abschnitt 6.2.4.2.2.7 angegebenen Spannungsgrenzen für die Beanspruchungsstufen A und B überschreiten.

6.2.4.2.2.6.1 Plastische Analysen

(1) Die plastische Analyse ist eine Methode, die das Strukturverhalten unter gegebenen Lasten berechnet, wobei z. B.

- Verfestigungseigenschaften des Werkstoffs,
- Auswirkungen der Verformungsgeschwindigkeit,
- bleibende Verformungen,
- die in der Struktur auftretenden Spannungsumverteilungen berücksichtigt werden.

Hinweis:

Eine plastische Analyse unterscheidet sich von einer Grenztragfähigkeitsanalyse hauptsächlich durch die Berücksichtigung des tatsächlichen Verfestigungsverhaltens des Werkstoffs bei der plastischen Analyse.

(2) Die wahre Spannungs-Dehnungs-Kurve soll so angepasst werden, dass sie mit den im Abschnitt 7 für die jeweiligen Temperaturen angegebenen Werten übereinstimmt. Sie muss im Festigkeitsnachweis zitiert und begründet werden. Es sollten auch die Auswirkungen der Verformungsgeschwindigkeit auf die Fließkurve berücksichtigt werden.

(3) Die Fließkriterien und das damit verbundene Fließgesetz, die bei der Durchführung einer plastischen Analyse verwendet werden, dürfen entweder der Tresca- oder der von-Mises-Hypothese zugeordnet sein.

(4) Eine plastische Analyse darf angewendet werden, um die Traglast P_c für eine gegebene Kombination von Belastungen auf eine gegebene Struktur zu bestimmen. Die Traglast soll erst dann erreicht sein, wenn die Verformung den zweifachen Wert des berechneten ersten Abweichens vom linearen Verhalten erreicht hat. Bei der Auswertung der Analyse sollen die Berechnungen in einer Weise interpretiert werden, die mit der Bewertung eines Experiments übereinstimmt (siehe Abschnitt 6.2.4.3). Wenn die Interpretation in dieser Weise vorgenommen wird, soll die Traglast, die sich aus einer plastischen Analyse ergibt, entsprechend den Verfahren der Grenztragfähigkeitsanalyse begrenzt werden (siehe Abschnitt 6.2.4.2.6).

(5) Eine plastische Analyse darf angewendet werden, um die plastische Instabilitätslast für eine gegebene Kombination von Belastungen auf eine vorhandene Struktur zu ermitteln. Die

plastische Instabilitätslast ist jene Last, bei der die Verformung uneingeschränkt ansteigt oder das Verhältnis von Kraft und Deformation eine horizontale Tangente aufweist. Die Abkürzung für die Last, bei der plastische Instabilität auftritt, ist P_1 .

(6) Eine plastische Analyse darf angewendet werden, um die zulässige Belastung oder Belastungskombination im konkreten Anwendungsfall zu bestimmen. Wenn eine Grenze für eine Dehnung festgelegt worden ist, dann wird die Belastung, die diese Grenzdehnung hervorruft, mit der Abkürzung P_s bezeichnet.

6.2.4.2.2.6.2 Methode der Analyse

(1) Systemanalyse

Ein System im Sinne der Systemanalyse ist eine von der Gesamtanlage herausgegriffene Komponentengruppe, welche geschlossen analysiert werden muss, damit keine wesentlichen Kopplungsgrößen vernachlässigt werden. Bei den Reaktor-druckbehälter-Einbauten bedeutet Systemanalyse jene Untersuchung des Primärkreises oder eines Teiles davon, bei der alle Kraftgrößen zur Spannungsanalyse der Komponente ermittelt werden. Die Systemanalyse ist im Allgemeinen eine dynamische Analyse.

Hinweis:

Nach dem gegenwärtigen Stand der Technik wird die Systemanalyse im Allgemeinen auf elastischer Grundlage durchgeführt.

Im Falle des Auftretens von nicht vernachlässigbaren inelastischen Verformungen ist die ursprüngliche elastische Systemanalyse zu modifizieren. Gegebenenfalls ist eine inelastische Systemanalyse erforderlich.

Deshalb müssen die Art der Systemanalyse, elastische oder inelastische, sowie die dazugehörigen Kraftgrößen der Komponente bei dem Festigkeitsnachweis ausgewiesen werden.

(2) Komponentenanalyse

Jede der nachfolgend in a) bis e) beschriebenen Methoden darf dazu benutzt werden, die Beanspruchungen, die der Beanspruchungsstufe D zugeordnet sind, zu berechnen. Hierbei sind jedoch die Einschränkungen für die Methoden der Berechnung gemäß den Abschnitten 6.2.4.2.2.6.3 und 6.2.4.2.2.6.4 zu berücksichtigen.

- Elastische Analyse.
- Bestimmung der Traglast durch eine plastische Analyse.
- Bestimmung der plastischen Instabilitätslast oder Spannung durch eine plastische Analyse.
- Bestimmung der Belastung oder der Spannung für die Grenzdehnung durch eine plastische Analyse.
- Inelastische Analyse durch eine plastische Analyse.

Die Begrenzung der primären Vergleichsspannungen oder der zulässigen Belastungen gemäß den Abschnitten 6.2.4.2.2.6.3 und 6.2.4.2.2.6.4 ist in **Tabelle 6-6** zusammengestellt.

6.2.4.2.2.6.3 Begrenzung der primären Vergleichsspannung oder der zulässigen Belastung bei elastischer Systemanalyse

(1) Elastische Systemanalyse und elastische Komponentenanalyse

Die primäre Membranvergleichsspannung ist auf den kleineren Wert von entweder $2,4 \cdot S_m$ oder $0,7 \cdot R_{mT}$ zu begrenzen. Die Werte für R_{mT} sind dem Abschnitt 7 zu entnehmen.

Die primäre Membran- plus Biegevergleichsspannung ist auf den kleineren Wert von $3,6 \cdot S_m$ oder $1,0 \cdot R_{mT}$ zu begrenzen.

(2) Elastische Systemanalyse und Analyse der Traglast der Komponente

Die Belastungen, die der Beanspruchungsstufe D zugeordnet sind, müssen kleiner sein als 100 % der Traglast, wobei die Traglast entweder als Grenzlaster durch eine Grenztragfähig-

keitsanalyse nach Abschnitt 6.2.4.2.6 oder durch eine plastische Analyse nach Abschnitt 6.2.4.2.2.6.1 a) oder durch ein Experiment nach Abschnitt 6.2.4.3.1 a) zu ermitteln ist.

Zum Vorgehen bei der Grenztragfähigkeitsanalyse sind die Festlegungen des Abschnitts 6.2.4.2.6 und insbesondere die des Abschnitts B 2 c) zu beachten.

Wenn Verformungsgrenzen eingehalten werden müssen, darf mit dieser Methode der Teil der Komponente, auf den diese Beschränkungen zutreffen, nicht untersucht werden.

(3) Elastische Systemanalyse und Spannungsverhältnismethode für die Komponente

Hier gelten die Festlegungen des Abschnitts 6.2.4.2.7 und insbesondere die des Abschnitts C 3.2.

(4) Elastische Systemanalyse und Analyse der plastischen Instabilitätslast oder Analyse der Belastung für die Grenzdehnung der Komponente

Diese Kombination der Analyse für das System und die Komponente ist nicht zulässig.

(5) Elastische Systemanalyse und inelastische Komponentenanalyse

Die primäre Membranvergleichsspannung ist auf $0,7 \cdot R_{mT}$ zu begrenzen. Die primäre Membran- plus Biegevergleichsspannung muss gleich oder kleiner als der größere Wert von entweder

$0,7 \cdot R_{mT}$ oder

$$R_{p0,2T} + \frac{1}{3} \cdot (R_{mT} - R_{p0,2T}) \text{ sein,}$$

wobei R_{mT} der entsprechende Wert aus der wahren Spannungs-Dehnungs-Kurve bei der Temperatur T ist, d. h., dass hier die Bruchlast des Zugversuchs auf den wirklichen Querschnitt und nicht auf den Ausgangsquerschnitt der Probe bezogen werden muss. In diesem Fall sollte die elastische Systemanalyse überprüft werden, wobei die plastische Deformation der Komponente in Rechnung zu stellen ist.

6.2.4.2.2.6.4 Begrenzung der primären Vergleichsspannung oder der zulässigen Belastung bei inelastischer Systemanalyse

(1) Inelastische Systemanalyse und elastische Komponentenanalyse

Die primäre Membranvergleichsspannung muss gleich oder kleiner als der größere Wert von entweder

$$0,7 \cdot R_{mT} \text{ oder } R_{p0,2T} + \frac{1}{3} \cdot (R_{mT} - R_{p0,2T}) \text{ sein.}$$

Die primäre Membran- plus Biegevergleichsspannung muss gleich oder kleiner als der größere Wert von

$$1,0 \cdot R_{mT} \text{ oder } \frac{3}{2} \cdot R_{p0,2T} + \frac{1}{2} \cdot (R_{mT} - R_{p0,2T}) \text{ sein.}$$

(2) Inelastische Systemanalyse und Analyse der Traglast der Komponente

Diese Analyse darf unter Berücksichtigung der Festlegungen des Abschnitts 6.2.4.2.2.6.3 (2) durchgeführt werden.

(3) Inelastische Systemanalyse und Analyse mit der Spannungsverhältnismethode für die Komponente

Diese Analyse darf unter Berücksichtigung der Festlegungen des Abschnitts 6.2.4.2.2.6.3 (3) durchgeführt werden.

(4) Inelastische Systemanalyse und Analyse der plastischen Instabilitätslast der Komponente

Die aufgebrachten Belastungen müssen gleich oder kleiner als 70 % der Belastung für die plastische Instabilität P_1 sein, oder 100 % derjenigen Belastung, die zu einer solchen Membranvergleichsspannung führt, die die Größe

$$R_{p0,2T} + \frac{1}{3} \cdot (S_I - R_{p0,2T})$$

hat, wobei S_I die wahre effektive Spannung darstellt, die zur plastischen Instabilität führt.

(5) Inelastische Systemanalyse und Analyse der Belastung für die Grenzdehnung der Komponente

Diese Vorgehensweise darf angewandt werden, wenn die aufgeführten Belastungen kleiner sind als die Belastungen, die die Festlegungen gemäß (4) erfüllen müssen und wenn die Belastungen nicht 100 % der Belastungen, die der Grenzdehnung S_S zugeordnet sind, überschreiten.

(6) Inelastische Systemanalyse und inelastische Komponentenanalyse

Die primäre Membranvergleichsspannung muss gleich oder kleiner als der größere Wert von entweder

$$0,7 \cdot R_{mT} \text{ oder } R_{p0,2T} + \frac{1}{3} \cdot (R_{mT} - R_{p0,2T}) \text{ sein.}$$

Die primären Membran- plus Biegevergleichsspannungen müssen gleich oder kleiner als der größere Wert von

$$1,0 \cdot R_{mT} \text{ oder } \frac{3}{2} R_{p0,2T} + \frac{1}{2} \cdot (R_{mT} - R_{p0,2T}) \text{ sein.}$$

Methode der Analyse		Spannung oder Last nach Abschnitt 1)	Spannungskategorie oder Last	Zulässige Grenzen
System 6.2.4.2.2	Komponente 6.2.4.2.2			
elastisch	elastisch	Spannungen nach 6.2.4.2.2.6.3 (1) 6.2.4.2.2.9.4 2)	P_m	$2,4 \cdot S_m$ } ³⁾ $0,7 \cdot R_{mT}$
			$P_m + P_b$	$3,6 \cdot S_m$ } ³⁾ $1,0 \cdot R_{mT}$
	Grenzlast	6.2.4.2.2.6.3 (2)	Die Festlegungen der Abschnitte 6.2.4.2.6, 6.2.4.2.6.1 a) und 6.2.4.3.1 a) sind anzuwenden.	
	Spannungsverhältnismethode	6.2.4.2.2.6.3 (3)	Die Festlegungen des Abschnittes 6.2.4.2.7 und insbesondere die des Abschnitts C 3.2 sind anzuwenden.	
	inelastisch	Spannungen nach 6.2.4.2.2.6.3 (5)	P_m	$0,7 \cdot R_{mT}$
$P_m + P_b$			$0,7 \cdot R_{mTt}$ $R_{p0,2T} + \frac{1}{3} \cdot (R_{mT} - R_{p0,2T})$ } ⁴⁾	
inelastisch	Elastisch	Spannungen nach 6.2.4.2.2.6.4 (1)	P_m	$0,7 \cdot R_{mT}$ $R_{p0,2T} + \frac{1}{3} \cdot (R_{mT} - R_{p0,2T})$ } ⁴⁾
			$P_m + P_b$	$1,0 \cdot R_{mT}$ $\frac{3}{2} \cdot R_{p0,2T} + \frac{1}{2} \cdot (R_{mT} - R_{p0,2T})$ } ⁴⁾
	Grenzlast	6.2.4.2.2.6.4 (2)	Die Festlegungen des Abschnittes 6.2.4.2.2.6.3 (2) sind zu beachten.	
	Spannungsverhältnismethode	6.2.4.2.2.6.4 (3)	Die Festlegungen des Abschnittes 6.2.4.2.2.6.3 (3) sind zu beachten.	
	plastische Instabilität	6.2.4.2.2.6.4 (4)	$P_m \cdot P_I$	$0,7 \cdot P_I$ oder Lasten $P < P_m$ wobei $P_m = R_{p0,2T} + \frac{1}{3} \cdot (R_{mT} - R_{p0,2T})$) ⁵⁾
	Last für Grenzdehnung	6.2.4.2.2.6.4 (5)	$P_m \cdot P_I \cdot P_S$) ⁶⁾	$0,7 \cdot P_I$ oder Lasten $P < P_m$ wobei $P_m = R_{p0,2T} + \frac{1}{3} \cdot (S_I - R_{p0,2T})$) ⁵⁾ aber $P_m < P_S$
	Inelastisch	6.2.4.2.2.6.4 (6)	P_m	$0,7 \cdot R_{mT}$ $R_{p0,2T} + \frac{1}{3} \cdot (R_{mT} - R_{p0,2T})$ } ⁴⁾
$P_m + P_b$			$1,0 \cdot R_{mT}$ $\frac{3}{2} \cdot R_{p0,2T} + \frac{1}{2} \cdot (R_{mT} - R_{p0,2T})$ } ⁴⁾	

1) Für Druckspannungen oder -lasten sind die Festlegungen nach Abschnitt 6.2.4.2.5 zu beachten.
 2) Gilt für Befestigungselemente mit Gewinde bei $R_{mRT} \leq 700 \text{ N/mm}^2$. Bei $R_{mRT} > 700 \text{ N/mm}^2$ siehe Abschnitt 6.2.4.2.2.9.4 Absätze 1 und 2.
 3) Es muss der kleinere Wert der zulässigen Grenzen benutzt werden.
 4) Es darf der größere Wert der zulässigen Grenzen benutzt werden.
 5) S_I ist die wahre effektive Spannung, die bei plastischer Instabilität auftritt.
 6) P_S ist die Belastung, die der Grenzdehnung der Komponente zugeordnet ist.

Tabelle 6-6: Zulässige Grenzen der primären Vergleichsspannungen und Belastungen für die Beanspruchungsstufe D

6.2.4.2.2.7 Spezielle Spannungsgrenzen

6.2.4.2.2.7.1 Allgemeingültige Festlegungen

(1) Die folgenden Abweichungen von den grundlegenden Spannungsgrenzen sind dafür vorgesehen, um insbesondere Belastungen oder Konstruktionsdetails berücksichtigen zu können. Einige dieser Abweichungen sind mehr, andere weniger einschränkend als die grundlegenden Spannungsgrenzen. Festlegungen, die die Anwendung dieser speziellen Spannungsgrenzen für die Beanspruchungsstufen C und D betreffen, sind in den Abschnitten 6.2.4.2.2.5 (1) und 6.2.4.2.2.6 enthalten.

(2) In Fällen, in denen ein Widerspruch zwischen diesen Forderungen und den grundlegenden Spannungsgrenzen besteht, sollen die Festlegungen dieses Abschnitts für die besondere Situation, auf die sie sich beziehen, vorgezogen werden. Dieser Abschnitt ist nicht auf Befestigungselemente mit Gewinde nach Abschnitt 6.2.4.1 a) anzuwenden.

6.2.4.2.2.7.2 Beanspruchungen infolge örtlicher Kraffeinleitung

(1) Die mittlere Flächenpressung an Kraffeinleitungsstellen unter maximaler Belastung, die aufgrund einer Belastung der Beanspruchungsstufen A und B erwartet wird, muss gleich oder kleiner als $R_{p0,2T}$ sein.

Als Ausnahme darf die Spannung $1,5 \cdot R_{p0,2T}$ eingesetzt werden, wenn die Entfernung zum freien Rand größer ist als der Bereich, auf dem die Kraffeinleitung stattfindet.

Für plattierte Oberflächen darf die Dehngrenze des Basismaterials dann eingesetzt werden, wenn bei Berechnung der Flächenpressung an der Kraffeinleitungsstelle die geringere Fläche des Grundwerkstoffs, der die Berührungsfläche trägt, genommen wird.

(2) Soweit es die Konstruktion des Lastangriffspunkts erforderlich macht (z. B. Belastungen an einem freien Ende), soll die Möglichkeit eines Versagens durch Abscheren betrachtet werden. Im Falle von Spannungen infolge mechanischer Belastung allein ist die mittlere Schubspannung auf $0,6 \cdot S_m$ zu begrenzen.

Im Falle von Spannungen infolge mechanischer Belastung plus Sekundärspannungen soll die mittlere Schubspannung die in a) und b) aufgezeigten Grenzen nicht überschreiten.

a) Für einen Werkstoff, dessen S_m -Wert oberhalb von 40 °C $0,67 \cdot R_{p0,2T}$ überschreitet und bis $0,9 \cdot R_{p0,2T}$ erreichen kann, ist der kleinere Wert von $0,5 \cdot R_{p0,2T}$ bei 40 °C oder $0,67 \cdot R_{p0,2T}$ zu nehmen. Dies entspricht einer bleibenden Dehnung von maximal $0,1 \%$. Wenn die diesem Spannungswert zugeordnete Verformung nicht zugelassen werden kann, ist der S_m -Wert auf einen solchen Wert zu reduzieren, damit eine zulässige Deformation sichergestellt wird. Hierzu können die Multiplikationsfaktoren gemäß **Tabelle B-1** und die $R_{p0,2T}$ -Werte gemäß Abschnitt 7 benutzt werden.

b) Für andere Werkstoffe als nach a) gilt $0,5 \cdot R_{p0,2T}$. Falls aufgrund der Anordnung oder der Dicke bei plattierten Oberflächen ein Abscheren gänzlich innerhalb der Plattierung auftreten könnte, ist die zulässige Schubspannung für die Plattierung aus den Eigenschaften des verwendeten Schweißzusatzes zu ermitteln.

Wenn aufgrund der Anordnung ein Abscheren längs einer Strecke auftreten könnte, die z. T. durch das Grundmaterial, z. T. durch das Plattierungsmaterial führt, sind die zulässigen Schubspannungen für jeden Werkstoff bei der Ermittlung der kombinierten Widerstandsfähigkeit gegenüber dieser Versagensart zu benutzen.

(3) Werden Flächenpressungen in Bolzen und ähnlichen Konstruktionselementen betrachtet, so ist als zulässiger Wert grundsätzlich die Dehngrenze $R_{p0,2T}$ anzunehmen. Als Ausnahme darf $1,5 \cdot R_{p0,2T}$ angenommen werden, wenn die Pressungsfläche im Abstand eines Bolzendurchmessers vom Blechrand aus nicht berücksichtigt wird.

6.2.4.2.2.7.3 Reiner Schub

(1) Die mittlere primäre Schubspannung über einen Querschnitt, der mit reinem Schub aus Belastungen der Beanspruchungsstufen A und B belastet ist, ist auf $0,6 \cdot S_m$ zu begrenzen (z. B. Keile, Scherringe).

(2) Die maximale primäre Schubspannung für volle kreisförmige Querschnitte, resultierend aus Torsionsbelastungen der Beanspruchungsstufen A und B, ist ohne Berücksichtigung der Spannungskonzentration am Rande eines vollen kreisförmigen Querschnittes unter Torsionsbelastung auf $0,8 \cdot S_m$ zu begrenzen.

(3) Schubspannungen (aus Primär- plus Sekundärspannungen und Spannungsspitzen) sind in Vergleichsspannungen umzuwandeln (gleich dem zweifachen Wert für die reine Schubspannung) und müssen unterhalb der Spannungsgrenzen nach **Tabelle 6-5** liegen. Sie müssen darüber hinaus die Festlegungen nach Abschnitt 6.2.4.2.3 erfüllen.

6.2.4.2.2.7.4 Fortschreitende Verformung von zusammengesetzten Verbindungen

Angeschraubte Deckel, eingeschraubte Stopfen, Scherring- und Drehzapfenverschlüsse sind Beispiele zusammengesetzter Verbindungen, die aufgrund von Ausweitung oder von anderen Arten fortschreitender Verformung versagen können. Falls eine beliebige Zusammensetzung von Belastungen zum Fließen führt, sind derartige Verbindungen dem Ratcheting unterworfen, da sich zusammengehörige Teile am Ende jedes Spannungszyklus lockern und den nächsten Zyklus in einer neuen Lage gegeneinander beginnen können. Verformungszuwachs kann bei jedem Spannungszyklus eintreten, so dass zusammengehörige Teile (z. B. Gewinde) schließlich völlig getrennt werden können. Deshalb sind primäre und sekundäre Vergleichsspannungen, die zum Gleiten zwischen den Teilen einer zusammengesetzten Verbindung führen und wobei durch fortschreitende Verformung Trennungen eintreten könnten, auf den Wert $R_{p0,2T}$ zu begrenzen.

6.2.4.2.2.7.5 Dreiachsige Spannungen

Die algebraische Summe der drei primären Hauptspannungen ($\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3$) darf den vierfachen Wert von S_m nicht überschreiten.

6.2.4.2.2.7.6 Anwendung der elastischen Analyse für Spannungen über der Dehngrenze $R_{p0,2}$

(1) Einige Spannungen, die nach den Nachweiskriterien erlaubt sind, haben die Eigenschaft, dass die auf elastischer Basis ermittelte Maximalspannung die Dehngrenze des Werkstoffs überschreiten kann.

(2) Die Grenze für die Vergleichsspannungsschwingbreite aus primären plus sekundären Spannungen von $3 \cdot S_m$ ist so festgelegt worden, dass ein Einspielen auf elastische Verhältnisse nach einigen Wiederholungen des Spannungszyklus mit Ausnahme von Bereichen, die signifikante örtliche Strukturstörungen oder örtliche Temperaturspannungen enthalten, sichergestellt ist. Diese beiden Einflussgrößen brauchen nur bei einer Ermüdungsanalyse betrachtet zu werden. Daraus ergeben sich die folgenden Forderungen:

a) Bei der Ermittlung von Spannungen zum Vergleich mit Spannungsgrenzen, denen keine Ermüdungsbetrachtungen zugrunde liegen, sollen die Spannungen auf der Basis elastischen Werkstoffverhaltens berechnet werden.

b) Bei der Ermittlung von Spannungen zum Vergleich mit Spannungsgrenzen, denen Ermüdungsbetrachtungen zugrunde liegen, sollen alle Spannungen mit Ausnahme derer, die von örtlichen Temperaturspannungen herrühren, unter Annahme elastischen Werkstoffverhaltens bestimmt werden. Bei der Ermittlung örtlicher Temperaturspannungen

sollen die elastischen Gleichungen benutzt werden, angenommen, dass der numerische Wert, der für das Poisson-Verhältnis eingesetzt wird, aus dem Ausdruck

$$v = \max \begin{cases} 0,5 - 0,2 \cdot \frac{R_{p0,2T}}{S_a} \\ 0,3 \end{cases} \quad (6.2-15)$$

bestimmt, wobei

$R_{p0,2T}$: Dehngrenze des Werkstoffes bei der Temperatur T

S_a : der Wert, der aus den Ermüdungskurven für die spezifizierte Lastspielzahl ermittelt wird

$$T = 0,25 \cdot \bar{T} + 0,75 \cdot \hat{T} \quad (6.2-16)$$

mit

\hat{T} : maximale Temperatur innerhalb des betrachteten Lastspiels

\bar{T} : minimale Temperatur innerhalb des betrachteten Lastspiels

6.2.4.2.2.8 Anwendung der plastischen Analyse für die Ermittlung der Vergleichsspannungsschwingbreite

(1) Die folgenden Abschnitte geben Anleitungen für die Anwendung der plastischen Analyse und Bestimmung der Abweichungen von den grundlegenden Spannungsgrenzen, die erlaubt sind, wenn eine plastische Analyse benutzt wird.

(2) Die Grenzen der primären und sekundären Vergleichsspannungsschwingbreite (siehe **Tabelle 6-5**), des Thermal Stress Ratcheting gemäß Abschnitt 6.2.4.2.2.4 b) und der fortschreitenden Verformung von zusammengesetzten Verbindungen gemäß Abschnitt 6.2.4.2.2.7.4 brauchen an einem bestimmten Ort nicht eingehalten zu werden, wenn das folgende Verfahren nach a) bis c) zur Anwendung kommt:

a) Bei der Berechnung der Spannungen für den Vergleich mit den übrigen genannten Spannungsgrenzen werden die Spannungen unter der Annahme elastischen Verhaltens ermittelt.

b) Anstatt an einem bestimmten Ort die speziellen Anforderungen nach **Tabelle 6-5** sowie der Abschnitte 6.2.4.2.2.4 b) und 6.2.4.2.2.7.4 zu erfüllen, ist das mechanische Verhalten der Struktur auf der Annahme eines elastisch-plastischen Werkstoffverhaltens zu berechnen. Die Ausführung darf als zulässig angesehen werden, wenn Einspielen eintritt (im Gegensatz zu fortschreitender Verformung) und wenn die Verformung, die vor dem Einspielen auftritt, spezifizierte Grenzen nicht überschreitet. Diese Anforderungen müssen nicht eingehalten werden, wenn die folgenden Bedingungen ba) bis be) erfüllt werden:

ba) Die Anforderungen an die Begrenzung der primären und sekundären Vergleichsspannungsschwingbreiten nach **Tabelle 6-5** müssen an einer bestimmten Stelle nicht erfüllt werden, wenn an dieser Stelle die Berechnung der Spannungen für den Vergleich mit allen anderen zulässigen Werten nach Abschnitt 6.2.4.2.2.3 mittels elastischer Analyse erfolgt.

Dies gilt auch für den Nachweis, dass kein Versagen infolge von Thermal Stress Ratcheting in Schalen (Abschnitt 6.2.4.2.2.4 (3) b)) und infolge fortschreitender Verformung von zusammengesetzten Verbindungen (Abschnitt 6.2.4.2.2.7.4) auftritt.

Diese Regelung gilt nicht für Befestigungselemente mit Gewinde.

bb) Die maximale Summendehnung darf an einer Stelle infolge der mit plastischer Analyse ermittelten Wechselbeanspruchungen 5 % nicht überschreiten.

bc) Die maximalen Verformungen müssen kleiner als die spezifizierten Verformungsgrenzen sein.

bd) Bei der Ermittlung von Spannungen zum Vergleich mit den zulässigen S_a -Werten ist die numerisch größte Hauptdehnungsschwingbreite mit der Hälfte des Elastizitätsmoduls des Werkstoffes (siehe Abschnitt 7) beim Mittelwert der Temperatur des Spannungszyklusses zu multiplizieren.

be) Der verwendete Werkstoff muss ein Streckgrenzenverhältnis kleiner als 0,8 aufweisen.

c) Bei der Ermittlung von Spannungen zum Vergleich mit den zulässigen S_a -Werten soll die numerisch größte Hauptdehnungsschwingbreite, die nach dem Einspielen auftritt, mit der Hälfte des Elastizitätsmoduls des Werkstoffes (siehe Abschnitt 7) beim Mittelwert der Temperatur des Spannungszyklus multipliziert werden.

6.2.4.2.2.9 Begrenzung der Vergleichsspannung und Vergleichsspannungsschwingbreite für Befestigungselemente mit Gewinde

6.2.4.2.2.9.1 Allgemeingültige Festlegungen

(1) Dieser Abschnitt gilt für Befestigungselemente mit Gewinde der Reaktordruckbehälter-Einbauten gemäß Abschnitt 6.2.4.1 a). Die speziellen Spannungsgrenzen des Abschnitts 6.2.4.2.2.7 dürfen nicht für Befestigungselemente mit Gewinde herangezogen werden.

(2) Für jede Beanspruchungsstufe sind die Vergleichsspannungen und die Vergleichsspannungsschwingbreiten in Abhängigkeit von den mechanischen Eigenschaften des Werkstoffes nach **Tabelle 6-7** und den Festlegungen des Abschnitts 6.2.4.2.2.9.2 für die Beanspruchungsstufen A und B sowie nach Abschnitt 6.2.4.2.2.9.3 für die Stufe C und nach Abschnitt 6.2.4.2.2.9.4 für die Stufe D zu begrenzen. Die Vergleichsspannungen und die Vergleichsspannungsschwingbreiten aus primären plus sekundären Spannungen sind unter Zugrundelegung des S_m -Wertes gemäß Abschnitt 6.2.4.2.2.3 oder der Dehngrenze $R_{p0,2T}$ gemäß Abschnitt 7 zu begrenzen.

(3) Mit den ermittelten Vergleichsspannungsschwingbreiten aus Primärspannungen, Sekundärspannungen und Spannungsspitzen ist eine Ermüdungsanalyse durchzuführen.

6.2.4.2.2.9.2 Begrenzung für Beanspruchungsstufen A und B

Die gesamte axiale Kraft, die durch die Befestigungselemente mit Gewinde übertragen wird, muss stets größer Null sein. Wenn durch diese Befestigungselemente mit Gewinde eine Trennfugenkraft sichergestellt werden muss, so ist eine ausreichende Restvorspannkraft vorzusehen.

(1) Mittlere Spannung

Mit einer elastischen Analyse ist zu zeigen, dass die mittlere primäre plus sekundäre Membranvergleichsspannung inklusive des Spannungsanteils aus der Vorspannung die in a) bis c) aufgeführten Bedingungen einhalten:

a) Der maximale, über den Schraubenschaft oder im Gewindebereich ermittelte Wert der Membranvergleichsspannung muss kleiner als oder gleich dem kleineren Wert von

$$0,9 \cdot R_{p0,2T} \text{ oder } \frac{2}{3} \cdot R_{mT} \text{ sein.}$$

b) Die mittlere primäre plus sekundäre Schubspannung in den Gewindegängen muss, wenn hier reine Schubbeanspruchung unterstellt wird, gleich oder kleiner als $0,6 \cdot R_{p0,2T}$ sein.

c) Die zulässige mittlere Flächenpressung unter dem Schraubenkopf muss gleich oder kleiner als $2,7 \cdot R_{p0,2T}$ sein.

(2) Maximale Spannung

a) Die maximale Vergleichsspannung aus den primären plus sekundären Membran- plus Biegespannungen, die durch alle primären und sekundären Belastungen hervorgerufen

wird, ausgenommen die Effekte der Spannungskonzentration, muss kleiner als oder gleich dem 1,33-fachen der Grenzen gemäß (1) a) sein.

- b) Zum Anziehen während der Montage muss der maximale Wert der Membranvergleichsspannung kleiner als oder gleich dem 1,2-fachen der Werte nach obiger Aufzählung a) bei Montagetemperatur sein.

6.2.4.2.2.9.3 Begrenzung für die Beanspruchungsstufe C

Die Anzahl und die Querschnittsfläche der Befestigungselemente mit Gewinde sollen so bemessen sein, dass die Anforderungen des Abschnitts 6.2.4.2.2.5 oder die betreffenden Festlegungen der **Tabelle 6-5** erfüllt werden. Bei Verbindungselementen mit Gewinde mit R_{mRT} größer als 700 N/mm² sind für diese Belastungen die Grenzen des Abschnitts 6.2.4.2.2.9.2 heranzuziehen. Die jeweils spezifizierten Verformungsgrenzen müssen beachtet werden.

6.2.4.2.2.9.4 Begrenzungen für die Beanspruchungsstufe D

(1) Die Anzahl und die Querschnittsfläche der Befestigungselemente mit Gewinde sollen so bemessen sein, dass die Anforderungen des Abschnitts 6.2.4.2.2.6 oder der **Tabelle 6-6** erfüllt werden. Abweichend von den Festlegungen in den Abschnitten 6.2.4.2.2.6.3 und 6.2.4.2.2.6.4 ist für Befestigungselemente mit Gewinde mit R_{mRT} größer als 700 N/mm² nach den

Festlegungen der Absätze 2 oder 3 zu verfahren. Die jeweils spezifizierten Verformungsgrenzen müssen beachtet werden.

- (2) Für eine elastische Komponentenanalyse, die entweder mit einer elastischen oder inelastischen Systemanalyse kombiniert ist, sind die primären Vergleichsspannungen und die Summe aus primärer Membran- und Biegevergleichsspannung wie folgt zu begrenzen:

$$P_m \leq 2 \cdot S_m \tag{6.2-17}$$

$$P_m + P_b \leq 3 \cdot S_m \tag{6.2-18}$$

- (3) Für eine plastische Komponentenanalyse, die entweder mit einer elastischen oder inelastischen Systemanalyse kombiniert ist, sind die primären Vergleichsspannungen und die Summe aus primärer Membran- und Biegevergleichsspannung wie folgt zu begrenzen:

$$P_m \leq 2 \cdot S_m \tag{6.2-19}$$

$$P_m + P_b \leq \max \left\{ \begin{array}{l} 0,7 \cdot R_{mTt} \\ R_{p0,2T} + \frac{1}{3} \cdot (R_{mTt} - R_{p0,2T}) \end{array} \right. \tag{6.2-20}$$

wobei R_{mTt} der entsprechende Wert aus der wahren Spannungs-Dehnungs-Kurve bei Temperatur ist (siehe dazu Abschnitt 6.2.4.2.2.6.3 (5)).

Spannungskategorien ¹⁾		Beanspruchungsstufen		
		Stufen A und B	Stufe C	Stufe D
Primäre Membran- plus sekundäre Membranvergleichsspannung ²⁾	$P_m + Q_m$ ³⁾	$0,9 \cdot R_{p0,2T}$	siehe dazu Festlegungen des Abschnitts 6.2.4.2.2.9.3	siehe dazu Festlegungen des Abschnitts 6.2.4.2.2.9.4
		$\frac{2}{3} \cdot R_{mT}$		
		$0,6 \cdot R_{p0,2T}$		
Primäre Membran- plus sekundäre Membran- plus primäre Biege- plus sekundäre Biegevergleichsspannung	$P_m + Q_m + P_b + Q_b$ ⁶⁾	$2,7 \cdot R_{p0,2T}$	siehe dazu Festlegungen des Abschnitts 6.2.4.2.2.9.3	siehe dazu Festlegungen des Abschnitts 6.2.4.2.2.9.4
		$1,2 \cdot R_{p0,2T}$		
Vergleichsspannung aus Primär- plus Sekundärspannung plus Spannungsspitzen	$P_m + Q_m + P_b + Q_b + F$	$\frac{8}{9} \cdot R_{mT}$	siehe dazu Festlegungen des Abschnitts 6.2.4.2.2.9.2 (1) a) ⁵⁾	siehe dazu Festlegungen des Abschnitts 6.2.4.2.2.9.4
		$D < 1,0; 2 \cdot S_a$ ⁷⁾		

1) Bei transienter mechanischer Belastung müssen die Einflüsse dynamischer Vergrößerung berücksichtigt werden. Weiter muss eine mögliche Änderung des Elastizitätsmoduls in Betracht gezogen werden.

2) In dieser Summe sind die Spannungsanteile aus der Vorspannung enthalten.

3) Q_m sind sekundäre Membranvergleichsspannungen.

4) Es muss der kleinere Wert der zulässigen Grenzen benutzt werden.

5) Siehe Abschnitt 6.2.4.2.2.9.2 (2) b).

6) Q_b sind sekundäre Biegevergleichsspannungen.

7) Der auf einer elastischen Basis berechnete Wert der halben Vergleichsspannungsschwingbreite aus der Summe von Primär- plus Sekundär- plus Spannungsspitzen S_{alt} , soll den S_a -Wert, dem 10 Lastspiele in der Ermüdungskurve zugeordnet sind, nicht überschreiten.

Tabelle 6-7: Zulässige Vergleichsspannungen und Vergleichsspannungsschwingbreiten für Befestigungselemente mit Gewinde

6.2.4.2.2.10 Begrenzung der Vergleichsspannung und Vergleichsspannungsschwingbreite für Bauteile mit Plattierung

Für den Festigkeitsnachweis von Bauteilen mit einer Plattierung aus Werkstoffen gemäß Abschnitt 7 gilt:

a) Primärspannungen

Beim Nachweis der primären Vergleichsspannungen darf das Vorhandensein einer Plattierung nicht berücksichtigt werden. Hierbei darf

- aa) bei Bauteilen mit nach außen wirkender Druckdifferenzbelastung als Innendurchmesser das Nennmaß der Plattierungsinneseite und
- ab) bei Bauteilen mit nach innen wirkender Druckdifferenzbelastung als Außendurchmesser die Außenseite des Grundwerkstoffs genommen werden.

b) Sekundärspannungen

Beim Nachweis der Vergleichsspannungsschwingbreite der primären und sekundären Vergleichsspannungen und beim Ermüdungsnachweis ist das Vorhandensein einer Plattierung sowohl bei der Temperaturberechnung als auch bei der Strukturanalyse zu berücksichtigen. Im Falle einer gleichmäßig geschweißten Plattierung kann das Vorhandensein einer Plattierung vernachlässigt werden, wenn die Nennplattierungsdicke gleich oder kleiner als 10 % der gesamten Wanddicke des Bauteils ist.

c) Beanspruchungen infolge örtlicher Kräfteinleitung

Beim Nachweis der Spannungsgrenzen gemäß Abschnitt 6.2.4.2.2.7 (1) ist das Vorhandensein einer Plattierung zu berücksichtigen.

6.2.4.2.3 Ermüdungsanalyse

6.2.4.2.3.1 Allgemeingültige Festlegungen

(1) Zur Vermeidung des Versagens infolge wechselnder Beanspruchung ist abhängig von der Art der Komponenten, Baugruppen und Bauteile eine Ermüdungsanalyse durchzuführen. Aufgrund der Höhe und Häufigkeit der Beanspruchung ist eine Ermüdungsanalyse bei Komponenten, Baugruppen und Bauteilen der Anforderungsstufe „AS-RE 3 außerhalb des RDB“ nicht erforderlich.

Hinweis:

Das im Abschnitt 6.2.4.2.3 beschriebene Verfahren der Ermüdungsanalyse berücksichtigt folgende Einflussfaktoren nicht:

- a) hochzyklische Belastungen infolge Schwingungsanregungen in Kombination mit Belastungen im Zeitfestigkeitsbereich (z. B. thermische Transienten),
- b) mögliche Reduzierung der Dauerfestigkeit im ultrahochzyklischen Bereich ($N > 2 \cdot 10^7$),
- c) Einfluss der Strahlung (insbesondere Neutronenbestrahlung),
- d) Einfluss der Kaltverfestigung bei austenitischen Stählen im Zusammenhang mit den Mediumsbedingungen,
- e) Langzeitwirkung von Wasserstoff.

Nach gegenwärtigem Kenntnisstand wird ein signifikanter Einfluss dieser Faktoren auf die Ermüdungsschädigung nicht unterstellt. Diese Einflussfaktoren sind Gegenstand der Forschung.

Eine Berücksichtigung dieser Einflussfaktoren ist nach Vorliegen abgesicherter experimenteller Untersuchungen, falls erforderlich, vorgesehen.

(2) Bewertungsgrundlage für die Ermüdungsanalyse sind die Ermüdungskurven gemäß Abschnitt 6.2.4.2.3.2.

(3) Folgende Verfahren sind bei der Ermüdungsanalyse zulässig:

a) Vereinfachter Nachweis der Sicherheit gegen Ermüdung gemäß Abschnitt 6.2.4.2.3.3.1

Dieser Nachweis beruht auf einer Beschränkung von Druckschwingbreiten, Temperaturunterschieden und Lastspannungsschwingbreiten nach Höhe und Lastspielzahl. Bei

Einhaltung dieser Grenzen ist die Sicherheit gegen Ermüdung gegeben. Diesem Verfahren liegt ein linear-elastischer Spannungs-Dehnungs-Zusammenhang zugrunde.

b) Elastische Ermüdungsanalyse gemäß Abschnitt 6.2.4.2.3.3.2

Dieses Verfahren ist insbesondere dann anzuwenden, wenn der Nachweis der Sicherheit gegen Ermüdung nach Abschnitt 6.2.4.2.3.3.1 nicht erbracht werden kann. Die elastische Ermüdungsanalyse ist nur dann zulässig, wenn die Vergleichsspannungsschwingbreite aus primären und sekundären Spannungen bei Stählen, Ni-Cr-Fe-Legierungen und Ni-Cr-Legierungen den Wert $3 \cdot S_m$, bei austenitischem Feinguss den Wert $4 \cdot S_m$ nicht überschreitet.

c) Vereinfachte elastisch-plastische Ermüdungsanalyse gemäß Abschnitt 6.2.4.2.3.3.3

Dieses Verfahren darf angewendet werden für Lastspiele, in denen die Vergleichsspannungsschwingbreite aller primären und sekundären Spannungen die Grenze $3 \cdot S_m$ für Bauteile aus Stahl, Ni-Cr-Fe-Legierungen und Ni-Cr-Legierungen sowie $4 \cdot S_m$ für Bauteile aus austenitischem Feinguss überschreiten, jedoch diese Grenzen von der Vergleichsspannungsschwingbreite der primären und sekundären Spannungen infolge mechanischer Belastungen eingehalten sind. Der Einfluss der Plastifizierung wird durch Verwendung des Faktors K_e nach Abschnitt 6.2.4.2.3.3.3 berücksichtigt. Anstelle dieses K_e -Wertes dürfen auch experimentell oder rechnerisch belegte oder aus der Literatur entnommene Werte verwendet werden. Die Anwendbarkeit ist zu zeigen.

Zusätzlich ist zu zeigen, dass kein Versagen infolge fortschreitender Deformation auftritt.

d) Allgemeine elastisch-plastische Ermüdungsanalyse gemäß Abschnitt 6.2.4.2.3.3.4

Während die vorstehend aufgeführten Verfahren auf der Grundlage linear-elastischen Werkstoffverhaltens beruhen, darf anstelle dieser Verfahren eine Ermüdungsanalyse ausgehend vom elastisch-plastischen Werkstoffverhalten vorgenommen werden, wobei zusätzlich zu zeigen ist, dass kein Versagen infolge fortschreitender Deformation auftritt.

(4) Die Ermüdungsanalyse von Befestigungselementen mit Gewinde ist gemäß Abschnitt 6.2.4.2.3.3.5 durchzuführen.

(5) Anstelle der rechnerischen Ermüdungsanalyse darf ein experimenteller Ermüdungsnachweis nach Abschnitt 6.2.4.3.5 durchgeführt werden.

6.2.4.2.3.2 Ermüdungskurven

Hinweis:

Die hier behandelten Verfahren der Ermüdungsanalyse basieren auf einem Vergleich von Spannungen einschließlich der Spannungsspitzen mit Ermüdungsdaten für wechselnde Beanspruchungen. Diese Ermüdungsdaten, die auf Versuchen in Luftatmosphäre basieren, sind in den **Bildern 6-3** und **6-4** sowie in der **Tabelle 6-8** dargestellt und zeigen für bestimmte Stähle die erlaubte Amplitude der Vergleichsspannungen (S_a ist der halbe Wert der Vergleichsspannungsschwingbreite S_{rij}), aufgetragen über der Anzahl von Lastspielen. Diese Vergleichsspannungsamplitude wird unter der Annahme elastischen Verhaltens errechnet, hat die Dimension einer Spannung und repräsentiert echte Spannungen jedoch nur im elastischen Bereich.

(1) Die in **Bild 6-3** für Temperaturen gleich oder kleiner als 80°C und größer als 80°C dargestellten Ermüdungskurven gelten für die austenitischen Stähle X6CrNiNb18-10 (1.4550) und X6CrNiTi18-10 (1.4541). Für alle sonstigen austenitischen Stähle sowie für Ni-Cr-Fe-Legierungen und für Ni-Cr-Legierungen ist die in **Bild 6-4** dargestellte Ermüdungskurve anzuwenden.

(2) Bei medienberührten Oberflächen ist zusätzlich ein Medieneinfluss dann zu berücksichtigen, wenn im bestimmungsgemäßen Betrieb für ermüdungsrelevante Vorgänge mit einer Überschreitung

- a) der Dehnungsamplitude $\varepsilon_a > 0,1 \%$ und
 b) der mittleren Temperatur ($T > 100 \text{ °C}$ bei austenitischen Stählen, $T > 50 \text{ °C}$ bei Ni-Cr-Fe-Legierungen)

zu rechnen ist [1].

(3) Wenn eine mediumbedingte Verringerung der Ermüdungsfestigkeit nicht auszuschließen ist, ist ab einer Aufmerksamkeitsschwelle

$D = 0,4$ für RDB-Einbauten in SWR-Anlagen

$D = 0,8$ für RDB-Einbauten aus Ni-Cr-Fe-Legierungen in DWR-Anlagen

durch folgende Maßnahmen eine Berücksichtigung des Mediums auf die Ermüdung erforderlich:

- Einbeziehung der betroffenen Bauteilbereiche in ein Überwachungsprogramm nach Abschnitt 9 oder
- betriebsnahe Experimente oder
- rechnerische Nachweise unter Berücksichtigung von mediumsbedingten Abminderungsfaktoren und realistischer Randbedingungen.

Bei RDB-Einbauten aus austenitischen Stählen in DWR-Anlagen ist der Einfluss des Mediums auf die Ermüdung zu bewerten, wenn Lastfälle zu unterstellen sind, die nicht durch die im **Anhang I** enthaltenen abgedeckt sind.

Hinweis:

Siehe die Erläuterungen im **Anhang I**, Abschnitt I 3.4 (3), im Hinblick auf die Aufmerksamkeitsschwelle bei austenitischen Stählen für den Fall, dass die Bewertung des Erschöpfungsgrades nicht auf Basis der in den **Bildern 6-3** und **6-4** dargestellten Ermüdungskurven erfolgte.

(4) Die auf Basis einer linearelastischen Analyse ermittelten Werte für S_{alt} sollen den S_a -Wert, der nach **Bild 6-3** der Lastspielzahl 10 zugeordnet ist, nicht überschreiten. S_{alt} bezeichnet dabei die errechneten Werte der halben Vergleichsspannungsschwingbreite, S_a die Werte der Ermüdungskurve.

(5) Die Gleichungen für die in **Bild 6-3** dargestellte Ermüdungskurve für die Stähle 1.4550 und 1.4541 lauten:

a) als Funktion $S_a = f(\hat{n}_i)$

$$S_a = 10^{-2} \cdot E \cdot \left[\left(\frac{e^{4,5}}{\hat{n}_i} \right)^{\frac{1}{2,365}} + 0,0478 \right] \quad (6.2-21)$$

b) als Funktion $N = f(S_a)$

$$\hat{n}_i = \frac{e^{4,5}}{\left(\frac{S_a}{10^{-2} \cdot E} - 0,0478 \right)^{2,365}} \quad (6.2-22)$$

mit

S_a : halbe Vergleichsspannungsschwingbreite in N/mm²

\hat{n}_i : zulässige Lastspielzahl

E : Elastizitätsmodul

Als Bezugsgröße für die Darstellung der fiktiven elastischen Spannungsschwingbreiten wurde der Elastizitätsmodul $E = 1,79 \cdot 10^5 \text{ N/mm}^2$ gewählt.

6.2.4.2.3.3 Begrenzung der Erschöpfung infolge Ermüdung

6.2.4.2.3.3.1 Vereinfachter Nachweis der Sicherheit gegen Ermüdung

Ein vereinfachter Nachweis, d. h. dass die Spannungsspitzen in dieser Ermüdungsberechnung nicht gesondert berücksichtigt werden müssen, darf geführt werden, wenn für die Beanspruchungsstufe A des Bauteils die Bedingungen a) bis d) erfüllt sind.

Hinweis:

Wenn Lastfälle der Beanspruchungsstufen B und C auf ihr Ermüdungsverhalten untersucht werden sollen, gelten für sie die gleichen Bedingungen wie die für die Stufe A.

a) Temperaturunterschied beim An- und Abfahren

Der Temperaturunterschied zwischen zwei beliebigen benachbarten Punkten des Bauteils darf in der Beanspruchungsstufe A den Wert $S_a/2 \cdot E \cdot \alpha$ nicht überschreiten. Hierbei ist S_a der Ermüdungskurve für die spezifizierte Anzahl von An- und Abfahrlastspielen zu entnehmen; α ist der lineare Temperatureausdehnungskoeffizient und E ist der Elastizitätsmodul für den Mittelwert der Temperaturen der benachbarten Punkte am Bauteil.

Hinweis:

Benachbarte Punkte sind solche, die weniger als die Strecke $2 \cdot \sqrt{R \cdot s}$ voneinander entfernt sind. Hierin ist R der mittlere Radius und s die mittlere Wanddicke des Bauteils (z. B. Kernbehälter) im Bereich dieser Punkte.

b) Temperaturunterschied bei Betriebszuständen außer An- und Abfahren

Der Temperaturunterschied zwischen zwei beliebigen benachbarten Punkten des Bauteils darf den Wert $S_a/2 \cdot E \cdot \alpha$ nicht überschreiten. Hierbei ist S_a der Ermüdungskurve für die gesamte spezifizierte Anzahl der signifikanten Temperaturschwankungen zu entnehmen. Eine Temperaturschwankung ist als signifikant zu betrachten, wenn ihr gesamter rechnerischer Schwankungsbereich den Wert $S/2 \cdot E \cdot \alpha$ übersteigt. Hierbei ist S wie folgt definiert:

ba) Wenn die spezifizierte Lastspielzahl 10^6 oder kleiner ist, gilt für S der Wert von S_a der Ermüdungskurve bei 10^6 Lastspielen.

bb) Wenn die spezifizierte Lastspielzahl größer als 10^6 ist, gilt für S der Wert von S_a der Ermüdungskurven für $N > 10^6$ bei der maximalen Lastspielzahl von 10^{11} .

c) Temperaturunterschiede bei ungleichen Werkstoffen

Für Komponenten, die aus Werkstoffen mit verschiedenen Elastizitätsmodulen oder Temperatureausdehnungskoeffizienten hergestellt sind, darf die gesamte rechnerische Schwingbreite der Temperaturunterschiede des Bauteils im Normalbetrieb den Wert $S_a/2 \cdot (E_1 \cdot \alpha_1 - E_2 \cdot \alpha_2)$ nicht überschreiten. Hierbei ist S_a der Ermüdungskurve für die spezifizierte Anzahl signifikanter Temperaturschwankungen zu entnehmen. E_1 und E_2 sind die Elastizitätsmodule, α_1 und α_2 die linearen Temperatureausdehnungskoeffizienten bei den Mittelwerten der Temperaturen der beiden Werkstoffe. Eine Temperaturschwankung ist als signifikant zu betrachten, wenn ihr gesamter rechnerischer Schwankungsbereich den Wert $S/2 \cdot (E_1 \cdot \alpha_1 - E_2 \cdot \alpha_2)$ übersteigt.

Hierbei ist S wie folgt definiert:

ca) Wenn die spezifizierte Lastspielzahl 10^6 oder kleiner ist, gilt für S der Wert von S_a der Ermüdungskurve bei 10^6 Lastspielen.

cb) Wenn die spezifizierte Lastspielzahl größer als 10^6 ist, gilt für S der Wert der Ermüdungskurven für $N > 10^6$ bei der maximalen Lastspielzahl von 10^{11} .

Wenn die beiden verwendeten Werkstoffe verschiedene Ermüdungskurven haben, so ist der kleinere Wert von S_a bei diesen Berechnungen einzusetzen.

d) Mechanische Lasten

Die spezifizierte gesamte Schwingbreite mechanischer Lasten einschließlich der Druckdifferenzen und der Anschlusskräfte, darf nicht zu Spannungen führen, deren Schwingbreite den Wert S_a überschreitet. Wenn die spezifizierte Anzahl von signifikanten Lastspielen die maximale Lastspielzahl der anzuwendenden Ermüdungskurven (**Bild 6-3** oder **Bild 6-4**) überschreitet, darf der Wert S_a mit der maximalen

Lastspielzahl der zu benutzenden Ermüdungskurve eingesetzt werden. Lastspiele sind als signifikant zu betrachten, wenn der gesamte Spannungsausschlag infolge Last den Wert S der anzuwendenden Ermüdungskurve überschreitet. Hierbei ist S wie folgt definiert:

- da) Wenn die spezifizierte Lastspielzahl 10^6 oder kleiner ist, gilt für S der Wert von S_a der Ermüdungskurve bei 10^6 Lastspielen.
- db) Wenn die spezifizierte Lastspielzahl größer als 10^6 ist, gilt für S der Wert der Ermüdungskurven für $N > 10^6$ bei der maximalen Lastspielzahl von 10^{11} .

6.2.4.2.3.3.2 Elastische Ermüdungsanalyse

(1) Voraussetzung

Voraussetzung für die Anwendung der elastischen Ermüdungsanalyse ist die Begrenzung der Vergleichsspannungsschwingbreiten nach Abschnitt 6.2.4.2.2.3.

Betrachtet werden die Spannungen für die jeweils spezifizierten Lastspiele.

(2) Spannungskonzentrationsfaktor (Ermüdungsfaktor)

Örtliche Struktur-Diskontinuitäten sind durch die Verwendung von Ermüdungsfaktoren oder von theoretischen oder experimentell ermittelten Spannungskonzentrationsfaktoren (maximal gleich 5) zu berücksichtigen. Die Ermüdungsfaktoren von Schweißnähten sind in **Tabelle 6-1** zusammengestellt.

(3) Erschöpfungsgrad

Wenn zwei oder mehrere Arten von Spannungszyklen auftreten, die signifikante Spannungen hervorrufen, sind die einzelnen Beiträge zur Erschöpfung nach der linearen Theorie wie folgt zu akkumulieren:

Zu jeder Stufe $S_{alt,i} = S_a$ muss die zulässige Lastspielzahl N_i aus der zu verwendenden Ermüdungskurve nach Abschnitt 6.2.4.2.3.2 bestimmt und mit der spezifizierten Lastspielzahl n_i verglichen werden.

Die Summe der Quotienten n_i/N_i stellt den Erschöpfungsgrad D dar. Für D gilt die Beziehung

$$D = \frac{n_1}{N_1} + \frac{n_2}{N_2} + \dots + \frac{n_k}{N_k} \leq 1,0 \tag{6.2-23}$$

Hinweis:

Bei der Bestimmung von n_1, n_2, n_3, n_n muss darauf geachtet werden, dass sich bei der Überlagerung von Spannungszyklen verschiedenen Ursprungs eine größere Schwingbreite der Spannungsdifferenzen ergeben kann, als bei der individuellen Betrachtung der Spannungszyklen des jeweiligen Ursprungs.

Zum Beispiel: Falls ein Spannungszyklus eines bestimmten Ursprungs mit einer Lastspielzahl 1000 eine Schwingbreite einer Spannungsdifferenz von 0 bis + 500 N/mm² und ein zweiter Spannungszyklus eines anderen Ursprungs mit einer Lastspielzahl von 10.000 eine Schwingbreite einer Spannungsdifferenz von 0 bis - 400 N/mm² erzeugt, so sind zur Ermittlung des Erschöpfungsgrades D folgende Spannungszyklen zu berücksichtigen:

1. Spannungszyklus:
 $n_1 = 1000$
 $S_{alt1} = 0,5 \cdot (500 + 400) = 450 \text{ N/mm}^2$
2. Spannungszyklus:
 $n_2 = 9000$
 $S_{alt2} = 0,5 \cdot (400 + 0) = 200 \text{ N/mm}^2$

6.2.4.2.3.3.3 Vereinfachte elastisch-plastische Ermüdungsanalyse

- (1) Die $3 \cdot S_m$ -Grenze darf mit der Vergleichsspannungsschwingbreite aus primären plus sekundären Spannungen überschritten werden, wenn die Anforderungen der nachfolgenden Absätze 2 bis 7 erfüllt werden.
- (2) Die Vergleichsspannungsschwingbreite aus primären plus sekundären Membranspannungen und Biegespannungen

ohne thermische Biegespannungen muss gleich oder kleiner als $3 \cdot S_m$ sein.

(3) Der Wert der halben Vergleichsspannungsschwingbreite S_a , der mit der Ermüdungskurve gemäß **Bild 6-3** oder **6-4** zu vergleichen ist, muss mit dem Faktor K_e multipliziert werden, wobei

$$K_e = 1,0 \text{ für } S_n \leq 3 \cdot S_m \tag{6.2-24}$$

$$K_e = 1,0 + \frac{(1-n)}{n \cdot (m-1)} \cdot \left(\frac{S_n}{3 \cdot S_m} - 1 \right) \text{ für } 3 \cdot S_m < S_n < m \cdot 3 \cdot S_m \tag{6.2-25}$$

$$K_e = \frac{1}{n} \text{ für } S_n \geq m \cdot 3 \cdot S_m \tag{6.2-26}$$

Hierbei sind

S_n : Vergleichsspannungsschwingbreite aus primären plus sekundären Spannungen

m, n : Materialparameter, die der folgenden Tabelle zu entnehmen sind:

Art des Werkstoffes	m	n	T_{max} (°C)
Martensitischer, rostfreier Stahl	2,0	0,2	370
Austenitischer, rostfreier Stahl	1,7	0,3	425
Nickellegierung	1,7	0,3	425

Anstelle dieser K_e -Werte dürfen auch experimentell oder rechnerisch belegte oder aus der Literatur entnommene Werte verwendet werden. Die Anwendbarkeit ist zu zeigen.

Hinweis:

Literatur [2] enthält einen Vorschlag zur Ermittlung von K_e -Werten.

(4) Die Erschöpfung infolge Ermüdung ist nach Abschnitt 6.2.4.2.3.3.2 zu begrenzen.

(5) Die Temperatur für den verwendeten Werkstoff soll den Wert für T_{max} in der Tabelle des Absatzes 3 nicht überschreiten.

(6) Der verwendete Werkstoff muss ein Streckgrenzenverhältnis kleiner als 0,8 aufweisen.

(7) Die Wechselbeanspruchungen aus sekundären Temperaturspannungen dürfen nicht zu einer unzulässigen fortschreitenden Deformation führen.

Hinweis:

Nur dann erfüllt die Struktur die Forderungen hinsichtlich Thermal Stress Ratcheting gemäß Abschnitt 6.2.4.2.2.4.

6.2.4.2.3.3.4 Allgemeine elastisch-plastische Ermüdungsanalyse

- (1) Während die vorstehend aufgeführten Verfahren auf der Grundlage linear-elastischen Werkstoffverhaltens beruhen, darf anstelle dieser Verfahren eine Ermüdungsanalyse ausgehend vom elastisch-plastischen Werkstoffverhalten vorgenommen werden, wobei zusätzlich zu zeigen ist, dass kein Versagen infolge fortschreitender Deformation auftritt.
- (2) Zur Bestimmung der plastischen Dehnungen bei zyklischer Belastung kann eine elasto-plastische Analyse durchgeführt werden. Das dabei zur Anwendung kommende Werkstoffmodell muss geeignet sein zur wirklichkeitsnahen Ermittlung der zyklischen Dehnungen.
- (3) Soll bei sich verfestigenden Werkstoffen bei der Bestimmung der gesamten Dehnung die Abnahme des Dehnungsincrementes von Lastspiel zu Lastspiel in Anspruch genommen

werden, so muss das Belastungshistogramm mehrere Lastspiele umfassen. Aus dem entsprechend dem Belastungshistogramm ermittelten zeitlichen Dehnungsverlauf kann durch konservative Extrapolation die maximale akkumulierte Dehnung berechnet werden.

(4) Die lokal akkumulierte plastische Zughauptdehnung darf am Ende der Lebensdauer an keiner Stelle eines Querschnittes folgende Maximalwerte überschreiten: 5,0 % im Grundwerkstoff, 2,5 % in Schweißnähten.

6.2.4.2.3.3.5 Ermüdungsanalyse von Befestigungselementen mit Gewinde

(1) Sofern Befestigungselemente mit Gewinde nicht die Bedingungen des vereinfachten Ermüdungsnachweises gemäß Abschnitt 6.2.4.2.3.3.1 erfüllen, ist die wechselnde Beanspruchung durch Einhaltung der Anforderungen nach den Absätzen 2 bis 6 zu berücksichtigen:

(2) Befestigungselemente mit Gewinde mit R_{mRT} gleich oder kleiner als 700 N/mm^2

Diese Befestigungselemente sind gemäß Abschnitt 6.2.4.2.3.3.2 zu behandeln.

(3) Befestigungselemente mit Gewinde mit R_{mRT} größer als 700 N/mm^2

Diese Befestigungselemente mit Gewinde sind gemäß Abschnitt 6.2.4.2.3.3.2 mit folgenden Ergänzungen zu behandeln:

- Die maximale primäre plus sekundäre Spannung, einschließlich Vorspannung am Rand des Querschnitts (resultierend aus direktem Zug plus Biegung, jedoch ohne Spannungsspitzen) muss gleich oder kleiner als $0,9 \cdot R_{p0,2T}$ sein.
- Der Gewinderadius muss wenigstens $0,08 \text{ mm}$ betragen.
- Das Verhältnis von Ausrundungsradius am Schaftende zum Schaftdurchmesser muss wenigstens $0,06$ betragen.

(4) Ermüdungsfaktor

Sofern nicht durch Berechnung oder Versuch gezeigt werden kann, dass ein geringerer Wert anwendbar ist, ist als Ermüdungsfaktor für Befestigungselemente mit Gewinde ein Wert von $4,0$ zu verwenden.

Für Befestigungselemente gemäß (3) soll der Ermüdungsfaktor den Wert $4,0$ in keinem Fall unterschreiten.

(5) Erschöpfungsgrad D

Der Erschöpfungsgrad D bei mehreren Arten von Spannungszyklen ist gemäß der Gleichung in Abschnitt 6.2.4.2.3.3.2 (3) zu bestimmen.

6.2.4.2.4 Verformungsanalyse

Eine Verformungsanalyse ist nur dann durchzuführen, wenn aus Funktionsgründen spezifizierte Grenzwerte hinsichtlich Verformung eingehalten werden müssen.

6.2.4.2.5 Stabilitätsanalyse

Wenn unter Einwirkung von Druckbeanspruchungen eine plötzliche Verformung ohne wesentliche Laststeigerung zu erwarten ist, muss eine Stabilitätsanalyse nach **Anhang A** durchgeführt werden.

6.2.4.2.6 Grenztragfähigkeitsanalyse

Die Durchführung und die Beurteilung der Grenztragfähigkeitsanalyse erfolgt nach **Anhang B**.

6.2.4.2.7 Spannungsverhältnismethode

Die Durchführung und die Beurteilung der Spannungsverhältnismethode erfolgt nach **Anhang C**.

6.2.4.3 Experimentelle Nachweise

6.2.4.3.1 Allgemeingültige Festlegungen

(1) Experimentelle Untersuchungen zur Bestimmung der Traglast P_c dürfen in Übereinstimmung mit den Abschnitten D 2.1.2 und D 2.4.4 durchgeführt und bewertet werden.

(2) Experimentelle Untersuchungen zur Bestimmung der „plastischen Instabilitätslast P_I “ einer Struktur dürfen durchgeführt werden. Für den Fall, dass die Struktur versagt, bevor die erwartete „plastische Instabilität“ eintritt, so ist die Versagenslast zu verwenden.

(3) Experimentelle Untersuchungen dürfen zur Bestimmung derjenigen Lasten durchgeführt werden, welche zu einer partiellen Verformung innerhalb einer Struktur führen. Derartige Untersuchungen müssen in Übereinstimmung mit den Festlegungen von **Anhang D** durchgeführt werden. Für den Fall, dass ein Grenzwert für die Verformung festgelegt ist, wird die Last, welche diese Grenzverformungen verursacht, mit dem Symbol P_s gekennzeichnet.

(4) Eine experimentelle Spannungsanalyse darf zur Bestimmung von Daten bezüglich des inelastischen Verhaltens einer Komponente durchgeführt werden.

(5) Bei allen experimentellen Untersuchungen müssen folgende Parameter berücksichtigt werden:

- Einfluss des Modellmaßstabes,
- Toleranzen in den Abmessungen, welche eventuell zwischen tatsächlichem Bauteil und Versuchsbauteil bestehen.
- Unterschiede in der Zugfestigkeit oder in anderen bestimmenden Werkstoffeigenschaften.

Die Berücksichtigung dieser Parameter soll sicherstellen, dass die aus dem Versuch ermittelten Lasten eine konservative Wiedergabe der Tragfähigkeit der tatsächlichen Struktur bei den spezifizierten Betriebsbelastungen der jeweiligen Beanspruchungsstufe darstellen. Für Verbindungselemente mit Gewinde ist diese Nachweisführung ebenfalls anwendbar.

6.2.4.3.2 Experimentelle Nachweise für die Beanspruchungsstufen A und B

Für die Beanspruchungsstufen A und B müssen die Grenzen für primäre Membran- plus primäre Biegespannung in einer Struktur nicht eingehalten werden, wenn anhand eines Versuchs an einem Prototypen oder an einem Modell bewiesen werden kann, dass die spezifizierten Lasten (dynamische oder statische Lasten gelten gleichermaßen) 44% der Last L_u nicht überschreiten. Dabei bedeutet L_u die im Versuch verwendete maximale Last oder Lastkombination (siehe auch **Tabelle 6-9**).

6.2.4.3.3 Experimentelle Nachweise für die Beanspruchungsstufe C

(1) Bei Belastungen, welche der Beanspruchungsstufe C zugeordnet sind, brauchen die in Abschnitt 6.2.4.2.2.5 angegebenen Spannungsgrenzen dann nicht eingehalten zu werden, wenn anhand eines Versuchs mit einem Prototypen oder einem Modell nachgewiesen werden kann, dass die spezifizierten Lasten (dynamische oder statische Lasten gelten gleichermaßen) 60% der Last L_e nicht überschreiten. Dabei bedeutet L_e die im Versuch aufgebrachte maximale Last oder Lastkombination (siehe auch **Tabelle 6-9**).

(2) Bei Befestigungselementen mit Gewinde mit R_{mRT} größer als 700 N/mm^2 gelten die Nachweisgrenzen nach Abschnitt 6.2.4.3.2. Sind Verformungsgrenzen vorgegeben, müssen sie eingehalten werden.

6.2.4.3.4 Experimentelle Nachweise für die Beanspruchungsstufe D

Die spezifizierten dynamischen oder gleichwertigen statischen Lasten der Beanspruchungsstufe D dürfen

- a) 80 % der durch den Versuch mit einem Prototypen oder Modell ermittelten Traglast P_t oder
- b) 80 % der im Versuch mit einem Prototypen oder Modell verwendeten Lastkombination L_t

nicht überschreiten, wobei P_t und L_t als diejenige Last oder Lastkombination definiert ist, bei der die Kraft-Verformungskurve die waagrechte Tangente erreicht (siehe auch **Tabelle 6-9**).

6.2.4.3.5 Experimentelle Ermüdungsnachweise

Anstelle einer analytischen Ermüdungsanalyse darf ein experimenteller Ermüdungsnachweis durchgeführt werden. Dieser Nachweis ist nach Abschnitt D 3 durchzuführen.

		Zulässige halbe Vergleichsspannungsschwingbreite S_a in N/mm ²																
		bei zulässiger Lastspielzahl N																
		1·10 ¹	2·10 ¹	5·10 ¹	1·10 ²	2·10 ²	5·10 ²	1·10 ³	2·10 ³	5·10 ³	1·10 ⁴	2·10 ⁴	5·10 ⁴	1·10 ⁵	2·10 ⁵	5·10 ⁵	1·10 ⁶	
Bild 6-3	$T \leq 80 \text{ °C}$	4341	3302	2312	1773	1368	981	770	612	461	378	316	257	225	201	178	165	
	$T > 80 \text{ °C}$	4618	3467	2381	1798	1363	953	732	568	413	330	268	209	178	154	132	120	
Bild 6-4		5508	3947	2522	1816	1322	894	684	542	413	338	275	216	180	154	130	116	
Bild 6-3		1·10 ⁶	2·10 ⁶	5·10 ⁶	1·10 ⁷	2·10 ⁷	5·10 ⁷	1·10 ⁸	1·10 ⁹	1·10 ¹⁰	1·10 ¹¹							
		$T \leq 80 \text{ °C}$	165	156	147	142	138	135	133	129	128	127						
		$T > 80 \text{ °C}$	120	112	103	99	95	92	91	87	86	86						
Bild 6-4			116	104	94	91	—	—	89	88	87	86						

(1) Die Tabellenwerte sind auf den Referenzelastizitätsmodul $E = 1,79 \cdot 10^5 \text{ N/mm}^2$ bezogen.
 (2) Zwischen den Tabellenwerten darf bei doppellogarithmischer Darstellung linear interpoliert werden (im doppellogarithmischen Diagramm: Geradenstücke zwischen den Stützpunkten). Ist für einen gegebenen Wert $S_a = S$ die zugehörige Lastspielzahl N zu ermitteln, dann geschieht dies mit Hilfe der benachbarten Stützwerte $S_j < S < S_i$ und $N_j > N > N_i$ wie folgt:

$$N/N_i = (N_j/N_i)^{\log \frac{S_i}{S} / \log \frac{S_i}{S_j}}$$

Beispiel: gegeben austenitischer Stahl Werkstoff-Nr. 1.4550, $S_a = 550 \text{ N/mm}^2$
 daraus folgt: $S_i = 614 \text{ N/mm}^2$, $S_j = 483 \text{ N/mm}^2$, $N_i = 2 \cdot 10^3$, $N_j = 5 \cdot 10^3$

$$N/2000 = (5000/2000)^{\log \frac{614}{550} / \log \frac{614}{483}} \rightarrow N = 3045$$

Tabelle 6-8: Tabellenwerte für die zulässige halbe Vergleichsspannungsschwingbreite S_a für die Ermüdungskurven der Bilder 6-3 und 6-4

Spannungskategorien ^{1) 2)}		Beanspruchungsstufen		
		Stufen A und B	Stufe C	Stufe D
Primärvergleichsspannung	P_m	$0,44 \cdot L_u^{1)}$	$0,60 \cdot L_e^{2)}$	$0,80 \cdot P_t^{3)}$ $0,80 \cdot L_t$
	$P_m + P_b$	$0,44 \cdot L_u$	$0,60 \cdot L_e$	$0,80 \cdot P_t$ $0,80 \cdot L_t$
Primär- plus Sekundärvergleichsspannung	$P_m + P_b + Q$	$0,44 \cdot L_u$	entfällt	
Vergleichsspannung aus Primär- plus Sekundärspannung plus Spannungsspitzen	$P_m + P_b + Q + F$	4)	entfällt	

1) Definition von L_u nach Abschnitt 6.2.4.3.2.
 2) Definition von L_e nach Abschnitt 6.2.4.3.3.
 3) Definition von P_t und L_t nach Abschnitt 6.2.4.3.4.
 4) Siehe Abschnitte 6.2.4.2.3, 6.2.4.3.5 und D 3.

Tabelle 6-9: Spannungen und erforderliche Prüflasten für experimentelle Nachweise

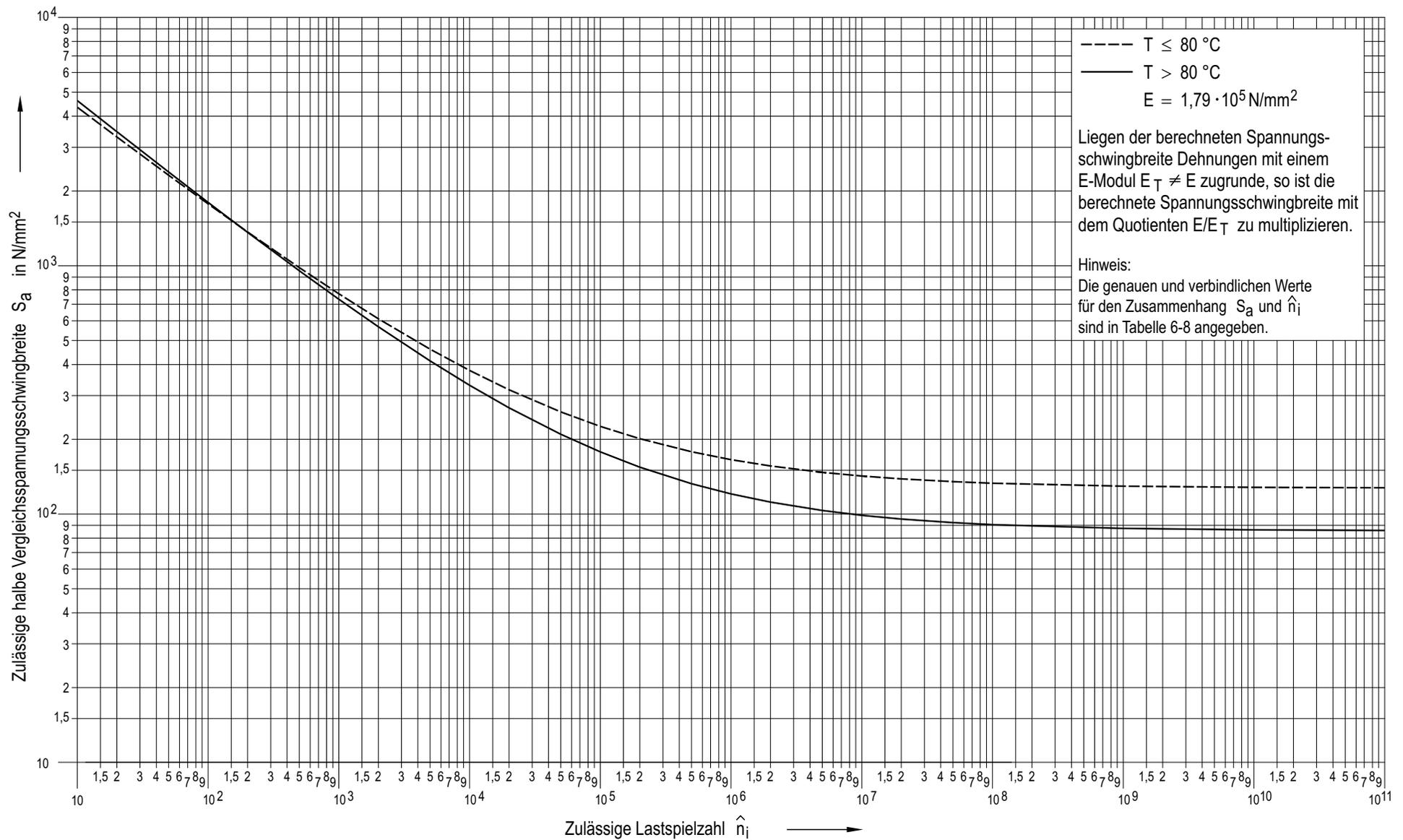


Bild 6-3: Ermüdungskurven für die austenitischen Stähle 1.4550 und 1.4541

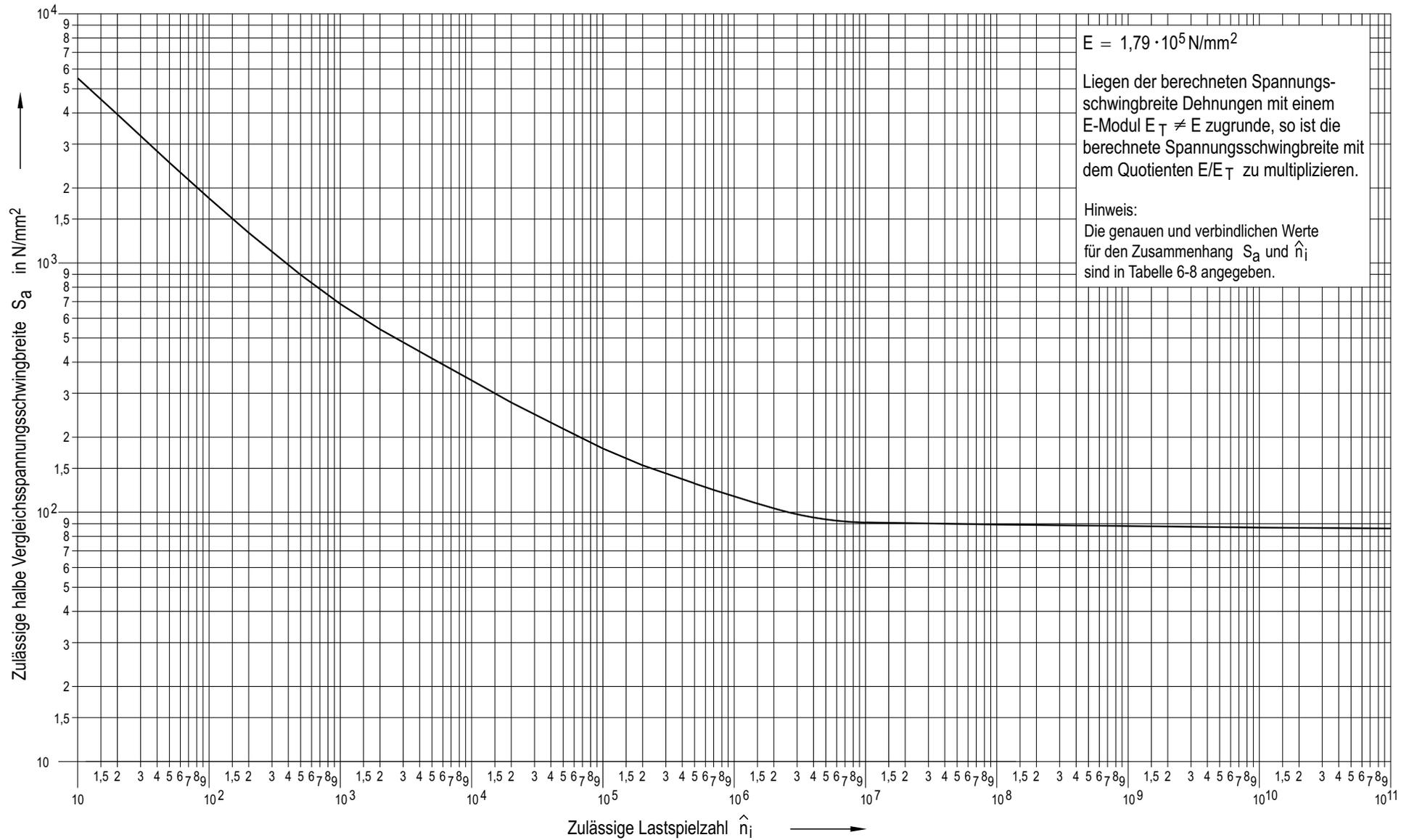


Bild 6-4: Ermüdungskurve für austenitische Stähle außer den Stählen 1.4550 und 1.4541, für Ni-Cr-Fe-Legierungen und für Ni-Cr-Legierungen

6.2.5 Art und Umfang der vorzulegenden Festigkeitsnachweise und zugehörige Unterlagen

(1) Im Rahmen der Vorprüfung sind für sämtliche in Abschnitt 3 genannten Bauteile und Baugruppen der RDB-Einbauten Festigkeitsnachweise vorzulegen. Der Nachweis ist stets so zu führen, dass er unter Berücksichtigung des Abschnitts 6.2.4.1 den einzelnen Anforderungsstufen der Bauteile gerecht wird.

(2) Die nach Abschnitt 6.2.2 festgelegten Lastfälle und Lastfallkombinationen sind zu untersuchen. Hierbei ist die Aufbereitung der Struktur sowie der Belastungen so detailliert durchzuführen, dass die Beanspruchung der Bauteile ausreichend genau ermittelt werden kann.

(3) Im Falle eines experimentellen Festigkeitsnachweises ist dem Sachverständigen rechtzeitig vor Durchführung des Versuchs ein Versuchsprogramm zur Prüfung vorzulegen, das insbesondere

- a) eine Beschreibung des Versuchs,
- b) Art und Umfang der Instrumentierung,
- c) Festlegung der Versuchsdaten (z. B. Versuchsbelastungen),
- d) Eichung der Messgeräte

zu enthalten hat. Falls bereits durchgeführte und übertragbare, experimentelle Nachweise herangezogen werden, sind die entsprechenden Unterlagen dem Sachverständigen einzureichen.

(4) Jeder Bericht über eine Berechnung soll - soweit zutreffend - enthalten:

- a) Erläuterung der Problemstellung und Vorgehensweise bei der Berechnung sowie die getroffenen Annahmen,
- b) Angabe des Berechnungsverfahrens, theoretische Grundlagen, verwendete Rechenprogramme,
- c) Erläuterung des Strukturmodells,
- d) Belastungsdaten, Lastkombinationen sowie deren Klassifizierung,
- e) Geometrische Daten, Zeichnungsnummern,
- f) Verwendete Werkstoffdaten,
- g) Eingabedaten, Ergebnisse,
- h) Beurteilung der Ergebnisse und Vergleich mit zulässigen Werten,
- i) Folgerungen aus der Beurteilung der Ergebnisse,
- k) Referenzen, Literaturhinweise, Quellenangaben.

7 Werkstoffe und Werkstoffprüfung

7.1 Geltungsbereich

Dieser Abschnitt gilt für Werkstoffe einschließlich Schweißzusätze, Lote und Pulver für thermisches Spritzen.

7.2 Voraussetzungen für die Lieferungen

7.2.1 Anforderungen an den Hersteller von Erzeugnisformen für Bauteile der Anforderungsstufen AS-RE 1 und AS-RE 2 sowie der Anforderungsstufe AS-RE 3 innerhalb des RDB

Hinweis:

Der Begriff „Hersteller“ umfasst in diesem Abschnitt sowohl den Werkstoffhersteller als auch den Hersteller von Schweißzusätzen, Lote und Pulver für thermisches Spritzen.

- (1) Der Hersteller muss über Einrichtungen und Personal verfügen, die eine sachgemäße und dem Stand der Technik entsprechende Herstellung der Werkstoffe gestatten.
- (2) Werden Formgebungsarbeiten, Wärmebehandlungen o. ä. anderen Stellen übertragen, so gelten für diese die Anforderungen gemäß dem Herstellungsumfang.

(3) Die Hersteller müssen über Prüfeinrichtungen verfügen, die die Prüfung der Werkstoffe nach den aufgeführten Normen und Regeln erlauben. Es dürfen auch Prüfeinrichtungen anderer Stellen in Anspruch genommen werden, falls sie die Anforderungen dieses Abschnitts erfüllen. Die Prüfzeugnisse über die Prüfmaschinen, die zur Abnahme eingesetzt werden, sind dem Sachverständigen auf Verlangen vorzulegen.

(4) Die Hersteller müssen über eine unabhängige Qualitätsstelle zur Qualitätssicherung bei der Herstellung der Erzeugnisse verfügen.

(5) Der Hersteller hat durch eine Qualitätsüberwachung mit entsprechenden Aufzeichnungen die sachgemäße Herstellung und Verarbeitung der Werkstoffe zu den jeweiligen Erzeugnisformen sicherzustellen.

(6) Der Hersteller darf Abnahmeprüfzeugnisse nur dann ausstellen, wenn er über einen Abnahmebeauftragten verfügt, der die Bedingung nach DIN EN 10204 erfüllt.

(7) Name und Prüfstempel des Abnahmebeauftragten des Herstellers müssen dem zuständigen Sachverständigen bekannt sein. Dies gilt auch für die Prüfaufsicht, die für die zerstörungsfreien Prüfungen zuständig ist.

(8) Der Hersteller hat eine Werkstoffbegutachtung bezogen auf Herstellungsverfahren, Erzeugnisform, Wanddicke und Wärmebehandlung nachzuweisen, für austenitische Stähle z. B. nach AD 2000-Merkblatt W 2.

(9) Der Hersteller hat vor Aufnahme der Herstellung die Erfüllung der genannten Anforderungen dem für das Herstellerwerk zuständigen Sachverständigen erstmalig nachzuweisen. Der Sachverständige bestätigt, dass die Anforderungen erfüllt sind.

(10) Alle Änderungen des beim erstmaligen Nachweis schriftlich erfassten Zustands sind dem für das Herstellerwerk zuständigen Sachverständigen mitzuteilen. Bei wesentlichen Änderungen ist durch den Hersteller eine neue Bestätigung zu beantragen. Diese wird - sofern die Anforderungen erfüllt sind - durch den Sachverständigen erstellt.

(11) In Einzelfällen ist eine Lieferung von Erzeugnisformen durch den Hersteller in Abstimmung mit dem Sachverständigen auch zulässig, wenn die oben genannten Bedingungen in einzelnen Punkten nicht erfüllt werden. In diesen Fällen müssen die Güteeigenschaften durch repräsentative Prüfungen an der jeweiligen Lieferung nachgewiesen werden.

7.2.2 Werkstoffwahl

7.2.2.1 Allgemeingültige Festlegungen

Die Werkstoffe sind gemäß ihrem Verwendungszweck vom Anlagenlieferer auszuwählen, wobei die mechanischen, thermischen und chemischen Beanspruchungen sowie die durch Neutronenbestrahlung möglichen Veränderungen zu berücksichtigen sind. Dies gilt auch im Hinblick auf radiologische Belastungen während des Betriebes, z. B. bei Instandhaltungsarbeiten.

7.2.2.2 Grundwerkstoffe

(1) Werkstoffe mit den in den **Werkstoffanhängen W 1 bis W 3** sowie **W 5** und **W 6** festgelegten Werkstoffdaten gelten aufgrund ihrer eingehenden Prüfung sowie ihrer Bewährung als zulässig.

(2) Für sonstige Werkstoffe der Anforderungsstufen AS-RE 1 und AS-RE 2 ist ein erstmaliges Gutachten des Sachverständigen erforderlich. Der Sachverständige hat sich davon zu überzeugen, dass die gleichbleibenden Güteeigenschaften beim jeweiligen Hersteller gesichert sind. Die für die Werkstoffbegutachtung erforderlichen Prüfungen durch den Sachverständigen sind nach Art und Umfang so festzulegen, dass sie zusammen

mit den vorgelegten Werksunterlagen eine ausreichende Grundlage für die Begutachtung des Werkstoffs darstellen. Der Nachweis einer ausreichenden Sicherheit für die Einhaltung der geforderten Güteeigenschaften soll möglichst durch eine mathematisch-statistische Auswertung vorliegender Untersuchungsergebnisse gestützt werden. Beteiligen sich an der Herstellung mehrere Werke, so ist dies in die Werkstoffbegutachtung mit einzubeziehen.

(3) Soll ein Werkstoff über den Rahmen des Geltungsbereichs seiner Zulassung hinaus verwendet werden, so sind die zusätzlichen Prüfungen - falls erforderlich - mit dem Sachverständigen abzustimmen.

(4) Für die Komponenten der Anforderungsstufe AS-RE 3 sind über die in den **Werkstoffanhängen W 1 bis W 3** sowie **W 5** und **W 6** aufgeführten Werkstoffe hinaus weitere Werkstoffe zulässig, sofern sie für den vorgesehenen Anwendungsfall geeignet sind.

7.2.2.3 Schweißzusätze, Lote und Pulver für thermisches Spritzen

(1) Die Schweißzusätze müssen eignungsgeprüft sein. Dies gilt nicht für Schweißzusätze für Hartauftragungen.

(2) Die Zusätze, Lote und Pulver für thermisches Spritzen mit den im **Werkstoffanhang W 4** festgelegten Kenndaten gelten aufgrund ihrer eingehenden Prüfung sowie ihrer Bewährung als zulässig.

(3) Soll ein Schweißzusatz über den Rahmen des Anwendungsbereichs seiner Eignungsprüfung hinaus verwendet werden, so sind die zusätzlichen Prüfungen - falls erforderlich -, z. B. im Rahmen einer Verfahrensprüfung, mit dem Sachverständigen abzustimmen.

7.3 Prüfungen der Werkstoffe

7.3.1 Allgemeingültige Festlegungen

(1) Die Güteeigenschaften der Werkstoffe sind durch Prüfungen festzustellen. Die Anforderungen an die Güteeigenschaften und die durchzuführenden Prüfungen sind in den **Werkstoffanhängen W 1 bis W 6** festgelegt. Werden Zugversuche bei erhöhten Temperaturen gefordert, so gilt, wenn nicht anders vereinbart, 350 °C als Prüftemperatur.

(2) Die erforderlichen Werkstoffprüfungen sind mit Abnahmeprüfzeugnissen nach DIN EN 10204 zu belegen und müssen folgende Angaben enthalten:

- a) Werkstoff,
- b) Umfang und Abmessung der Lieferung,
- c) Kennzeichnung,
- d) Liefervorschrift und
- e) Ergebnisse der Prüfungen.

Abnahmeprüfzeugnisse 3.2 müssen von dem nach § 20 AtG zugezogenen Sachverständigen bestätigt oder ausgestellt werden.

(3) Die Werkstoffe sollten im Herstellerwerk geprüft werden.

7.3.2 Bezeichnung der Proben in den Erzeugnisformen

Die Proben in den Erzeugnisformen sollen wie folgt bezeichnet werden:

- a) Nach der Lage der Umformrichtung:
 - aa) Längsproben (L):
Probenlängsachse in Hauptumformrichtung;
bei Kerbschlagproben liegt die Kerbachse senkrecht zur Ebene der Quer-/Längsrichtung.

ab) Querproben (Q):
Probenlängsachse quer zur Hauptumformrichtung;
bei Kerbschlagproben liegt die Kerbachse senkrecht zur Ebene der Quer-/Längsrichtung

ac) Senkrechtproben (S):
Probenlängsachse senkrecht zur Ebene der Quer-/Längsrichtung;
bei Kerbschlagproben liegt die Kerbachse in Hauptumformrichtung.

b) Nach der Lage zur Erzeugnisgestalt:

ba) Axialproben (A):
Probenlängsachse parallel zur Rotations-symmetrieachse;
bei Kerbschlagproben liegt die Kerbachse senkrecht zur zylindrischen Oberfläche.

bb) Tangentialproben (T):
Probenlängsachse in Umfangsrichtung;
bei Kerbschlagproben liegt die Kerbachse senkrecht zur zylindrischen Oberfläche.

bc) Radialproben (R):
Probenlängsachse senkrecht zur zylindrischen Oberfläche;
bei Kerbschlagproben liegt die Kerbachse in Hauptumformrichtung.

7.3.3 Probenstücke, Kennzeichnung der Proben und Probenahme

7.3.3.1 Grundwerkstoff

(1) Probenstücke

Für jedes Probenstück ist eine Werkstoffmenge vorzusehen, die die Bestimmung der mechanisch-technologischen Eigenschaften ermöglicht. Darüber hinaus sollen die Probenstücke genügend Werkstoff für Ersatzproben enthalten.

(2) Kennzeichnung der Proben und der Probenstücke

Für die Abnahmeprüfungen sind die Probenstücke vor der Entnahme aus der Erzeugnisform sowie die Proben vor der Entnahme aus dem Probenstück durch den mit der Abnahmeprüfung Beauftragten leserlich und eindeutig zu stempeln. Die Kennzeichnung der Proben muss eine Zuordnung ihrer Lage in der Erzeugnisform gestatten.

7.3.3.2 Schweißgut

Die Erprobung des reinen Schweißguts erfolgt an den in **Tabelle 7-1** angegebenen Prüfstücken, die nach DIN EN ISO 15792-1 und DIN EN ISO 6847 zu schweißen sind.

7.3.3.3 Lote und Pulver

Die Prüfung der Lote und Pulver erfolgt an der Lieferung und nicht an besonders hergestellten Prüfstücken.

7.3.4 Wärmebehandlungszustand der Proben

Die Proben müssen in demselben Wärmebehandlungszustand wie die fertigen Erzeugnisse vorliegen. Ein davon abweichender Wärmebehandlungszustand (z. B. Simulieren der Spannungsarmglühung) wird in den Werkstoffanhängen bei der entsprechenden Prüfung vorgegeben.

Schweißzusatz	Prüfstück für chemische Analyse	Zug-, Kerbschlag, IK- und Deltaferrit-Proben
Stabelektrode $\varnothing < 2,5$ mm Schweißstab $\varnothing < 2,5$ mm Drahtelektrode/Schweißdraht $\varnothing < 1,2$ mm	Nach DIN EN ISO 6847 Schweißstücke für das Schutzgas-schweißen:	Form 1.1 gemäß DIN EN ISO 15792-1
Stabelektrode $\varnothing \geq 2,5$ mm Schweißstab $\varnothing \geq 2,5$ mm Drahtelektrode/Schweißdraht $1,2 \text{ mm} \leq \varnothing \leq 2,4$ mm	Auf einer artgleichen Grundplatte sind mindestens 8 Lagen zu schweißen. Mindestabstand A = 8 mm oder 4 Lagen. Werden Prüfstücke gemäß DIN EN ISO 15792-1 erforderlich, so dürfen diese zur Ermittlung der chemischen Analyse benutzt werden.	Form 1.3 gemäß DIN EN ISO 15792-1
Drahtelektrode/Schweißdraht $\varnothing > 2,4$ mm		Form 1.4 gemäß DIN EN ISO 15792-1
Draht-Pulver-Kombination		Form 1.3 oder 1.4 gemäß DIN EN ISO 15792-1

Tabelle 7-1: Erprobung des reinen Schweißguts

Schweißzusatz	Probenform
Stabelektrode $\varnothing < 2,5$ mm Schweißstab $\varnothing < 2,5$ mm Drahtelektrode/Schweißdraht $\varnothing < 1,2$ mm	Doppelkehlnahtprobe Typ B, DIN EN ISO 17641-2
Stabelektrode $\varnothing \geq 2,5$ mm Schweißstab $\varnothing \geq 2,5$ mm Drahtelektrode/Schweißdraht $\varnothing \geq 1,2$ mm	Ring-Segmentprobe gemäß Anhang E
Draht-Pulver-Kombination	Zylinderprobe gemäß Anhang F

Tabelle 7-2: Probenschweißungen für die Prüfung auf Heißrissempfindlichkeit gemäß Abschnitt 7.3.5.4 (2)

7.3.5 Prüfungen

7.3.5.1 Chemische Analyse

(1) Die Wahl der geeigneten Analysenmethode bleibt dem Hersteller überlassen.

(2) In Zweifelsfällen ist die Analyse nach dem vom Chemikerausschuss des Vereins Deutscher Eisenhüttenleute erarbeiteten Prüfverfahren gemäß Handbuch für das Eisenhüttenlaboratorium [3] durchzuführen.

7.3.5.2 Zugversuch

Der Zugversuch ist nach DIN EN ISO 6892-1 und DIN EN ISO 6892-2 durchzuführen. Nach Wahl des Herstellers darf das Verfahren A oder das Verfahren B angewendet werden. Bei Anwendung des Verfahrens A sollen die in der Norm empfohlenen Dehngeschwindigkeiten verwendet werden. Es dürfen auch Proben nach DIN 50125 verwendet werden.

7.3.5.3 Kerbschlagbiegeversuch

Der Kerbschlagbiegeversuch ist nach DIN EN ISO 148-1 an Proben mit V-Kerb unter Verwendung einer Hammerfinne mit 2 mm Radius (KV_2) durchzuführen. Es ist ein Satz aus drei Proben zu prüfen.

7.3.5.4 Heißrisprüfung

(1) Erzeugnisformen aus austenitischen Stählen, an denen im Zuge der Weiterverarbeitung geschweißt wird, müssen aus Gründen der Heißrissicherheit auf ihren Deltaferritgehalt gemäß den Festlegungen in den Werkstoffanhängen nach Abschnitt 7.3.5.5 geprüft werden.

(2) Zur Prüfung des niedergeschmolzenen Schweißguts auf Heißrissempfindlichkeit sind Probenschweißungen gemäß **Tabelle 7-2** durchzuführen (Grundplatte Werkstoff-Nr.: 1.4550 ge-

mäß DIN EN 10088-2). Die Prüfung und Bewertung auf Heißrisse hat durch Oberflächenprüfung mittels Eindringverfahren nach Abschnitt 7.3.5.8.3 zu erfolgen.

7.3.5.5 Bestimmung des Deltaferritgehalts

(1) Metallographische Bestimmung des Deltaferritgehalts

a) Die metallographische Bestimmung des Deltaferritgehalts erfolgt im Grundwerkstoff an Aufschmelzproben. Hierzu ist der zu untersuchenden Erzeugnisform eine Probe mit folgenden Abmessungen zu entnehmen:

Länge 200 mm, Dicke ≥ 25 mm, Breite ≥ 40 mm, sofern durch die Erzeugnisform nicht kleinere Abmessungen vorgegeben sind.

b) Das Aufschmelzen hat mittels WIG-Brenner ohne Schweißzusätze zu erfolgen. Auf der Probe ist eine Blindraupe von mindestens 180 mm Länge mit folgenden Parametern zu ziehen:

Stromstärke: 160 A

Schweißgeschwindigkeit: ca. 20 cm/min

c) Für Erzeugnisformen, für die die geforderten Abmessungen und Schweißparameter nicht eingehalten werden können, ist die Probenform und die Wärmeeinbringung weitgehend den späteren Schweißungen anzupassen. Die Schweißparameter und Probenform sind in den Zeugnissen anzugeben.

d) Der Deltaferritgehalt im austenitischen Schweißgut ist an Proben des reinen, niedergeschmolzenen Schweißguts zu bestimmen, die im Rahmen der Abnahmeprüfung der Schweißzusätze anfallen.

e) Zur metallographischen Auswertung ist aus der Probe senkrecht zur Oberfläche und rechtwinklig zur Blindraupe durch die Mitte der gezogenen Blindraupe oder an der Schweißgutprobe senkrecht zur Schweißfortschrittsrichtung ein Schliff über den Probenquerschnitt zu entnehmen und metallographisch zu präparieren.

- f) Die für metallographische Untersuchungen in üblicher Weise geschliffene und polierte Probe ist zum Nachweis des Deltaferritgehalts nach Murakami [4] zu ätzen und das Gefüge an einer repräsentativen Stelle bei 1000-facher Vergrößerung als Photo zu dokumentieren.

Hinweis:

Zur Bestimmung des Deltaferritgehalts wird im Allgemeinen die Gefügeaufnahme mit den Deltaferrit-Richtreihen des „Reference-Atlas for a comparative evaluation of ferrite percentage in the fused zone of austenitic stainless steel welded joints“, des International Institute of Welding [5] verglichen.

- g) Die Bestimmung des Deltaferritgehalts ist zu dokumentieren. Die Dokumentation muss mindestens folgende Angaben enthalten:

- ga) Ergebnis,
- gb) Probenform und -abmessungen,
- gc) Schweißparameter,
- gd) Schlifflage,
- ge) Metallographische Präparation und Untersuchung,
- gf) Schliffbilder.

- (2) Rechnerische Bestimmung des Deltaferritgehalts

- a) Die rechnerische Bestimmung des Deltaferritgehalts hat nach De Long [6] zu erfolgen.
- b) Die Dokumentation muss mindestens folgende Angaben enthalten:
- ba) Cr-Äquivalent,
 - bb) Ni-Äquivalent,
 - bc) Deltaferritgehalt.

- (3) Magnetische Bestimmung des Deltaferritgehalts

- a) Die magnetische Bestimmung des Deltaferritgehalts in austenitischen Stählen und Schweißnähten hat mit Ferritgehalt-Messgeräten zu erfolgen.
- b) Vor Beginn der Messung ist das Ferritgehalt-Messgerät mittels Sekundär-Normalen nach DIN EN ISO 8249 zu kalibrieren und der mechanische und der elektrische Nullpunkt sind einzustellen.
- c) Die Messung des Deltaferritgehalts ist an repräsentativen Stellen (z. B. in der Mitte einer gemäß 7.3.5.5 (1) b) hergestellten Blindraupe oder in der Mitte der Schweißraupe am Bauteil) durchzuführen.
- d) Die Messorte müssen eine metallisch blanke und geglättete (z. B. durch Schleifen in Längsrichtung) Oberfläche aufweisen. Bei Feingusswerkstoffen ist die Gussoberfläche zu entfernen.
- e) Die Einzelmesswerte des Deltaferritgehalts sind unter Angabe der Messorte zu protokollieren.

7.3.5.6 Gefügeausbildung und Korngrößenbestimmung

- (1) Die Gefügeausbildung bei verformten Erzeugnissen ist anhand von Schliffen mit Schliffebene parallel zur Faserrichtung oder Hauptumformungsrichtung und senkrecht zur Oberfläche in 100-facher Vergrößerung zu beurteilen. Bei Feingussteilen erfolgt die Beurteilung an einer Ebene senkrecht zur Oberfläche.

- (2) Vorzugsweise sollen für diese Zwecke Hälften von geprüften Kerbschlagproben herangezogen werden.

- (3) Die Korngröße ist an den Schliffen zur Gefügebeurteilung gemäß DIN EN ISO 643 anhand von Richtreihen zu bestimmen.

7.3.5.7 Prüfung auf Beständigkeit gegen Interkristalline Korrosion (IK)

- (1) Grundwerkstoff und Schweißgut

- a) Die Beständigkeit gegen Interkristalline Korrosion ist gemäß DIN EN ISO 3651-2 Verfahren A, jedoch mit den Sensibilisierungsglühungen gemäß f) nachzuweisen.
- b) Die Auswertung soll anhand der in DIN EN ISO 3651-2 beschriebenen Biegeproben erfolgen. Die Probe für das Schweißgut ist aus dem Decklagenbereich in Schweißrichtung zu entnehmen.
- c) Abweichend von DIN EN ISO 3651-2 soll bei der Prüfung der Schweißzusätze die Prüfung am reinen Schweißgut erfolgen.
- d) Lassen Biegeproben eine eindeutige Bewertung nicht zu, so darf eine zusätzliche metallographische Auswertung durchgeführt werden mit dem Ziel, die Rissursache zu klären (z. B. Rissursache: Fehlstelle statt Interkristalliner Korrosion).
- e) Eine alleinige metallographische Prüfung ist zulässig, falls die Abmessungen der Erzeugnisform oder des Schweißguts eine sinnvolle Probennahme für eine Biegeprobe nicht zulassen.
- f) Sensibilisierungsglühungen müssen vor der Prüfung bei der angegebenen Temperatur und Dauer durchgeführt werden, wenn

- fa) an der Erzeugnisform geschweißt wird:

$$650 \text{ °C} \pm 10 \text{ K} / 0,5 \text{ h}$$

- fb) an der Erzeugnisform spannungsarmgeglüht oder geschweißt und spannungsarmgeglüht wird:

$$580 \text{ °C} \begin{matrix} +10 \text{ K} \\ -0 \text{ K} \end{matrix} / 16 \text{ h}$$

- fc) Schweißgut im spannungsarmgeglühten Zustand verwendet wird:

$$550 \text{ °C} \pm 10 \text{ K} / 16 \text{ h}$$

Der spannungsarmgeglühte Zustand schließt den unglühten Zustand ein.

- g) Schweißzusätze für Sicherungsschweißungen brauchen keiner vorlaufenden Sensibilisierungsglühung unterzogen werden.

- (2) Feinguss

Die Proben müssen folgenden Wärmebehandlungszustand aufweisen:

- a) bei Verwendung ohne Spannungsarmglühung (nur Fertigungs- oder Verbindungsschweißung) mitlaufende Erprobung mit allen tatsächlich durchgeführten Wärmebehandlungen mit anschließender Sensibilisierungsglühung:

$$550 \text{ °C} \pm 10 \text{ K} / 16 \text{ h}$$

- b) bei Verwendung im spannungsarmgeglühten Zustand: Sensibilisierungsglühung:

$$580 \text{ °C} \begin{matrix} +10 \text{ K} \\ -0 \text{ K} \end{matrix} / 8 \text{ h}$$

Die Prüfoberfläche der IK-Proben hat den gleichen Oberflächenzustand wie die Bauteile aufzuweisen.

7.3.5.8 Zerstörungsfreie Prüfungen

7.3.5.8.1 Allgemeingültige Festlegungen

- (1) Die nachfolgenden Festlegungen gelten für die Durchführung von zerstörungsfreien Prüfungen an Erzeugnisformen sowie an Bauteilen im Rahmen der Herstellung, sofern in den Werkstoffprüfblättern keine anderen Festlegungen getroffen werden.

(2) Die Eignung von Prüfverfahren und -techniken, deren Anwendung für die Prüfaufgabe nicht ausreichend in Normen beschrieben ist, ist nachzuweisen. Art und Umfang des Nachweises sind bauteilbezogen festzulegen. Bei schwierig zu prüfenden Werkstoffen und bei geometrisch komplizierten Konturen ist die Eignung der Prüftechnik grundsätzlich nach der Methodik der Richtlinie VGB-R 516 (VGB-ENIQ-Richtlinie) an Vergleichskörpern nachzuweisen. Liegt eine qualifizierte Prüftechnik vor, deren Anwendbarkeit vom Sachverständigen bestätigt wird, ist ein erneuter Nachweis der Eignung nicht erforderlich.

Hinweis:

Ein solcher Nachweis der Eignung ist z. B. für die Phased-Array-Technik (UT-Gruppenstrahlertechnik) erforderlich.

(3) Vor Beginn der Prüfungen hat der Hersteller insbesondere die Art der Prüfungen, die Prüfvoraussetzungen und die Prüftechniken festzulegen und in Prüfanweisungen zu beschreiben.

(4) Für Oberflächenprüfungen dürfen als Prüfanweisungen herstellereigene, vom Projekt und Prüfgegenstand unabhängige Anweisungen verwendet werden.

(5) Die Prüfanweisungen sollen detaillierte Angaben enthalten über:

- a) Zuordnung zu den einzelnen Prüfgegenständen,
- b) Prüfzeitpunkt, sofern dieser Einfluss auf Prüfumfang und Prüfdurchführung gemäß Prüffolgeplan hat,
- c) prüftechnische Voraussetzungen, Prüftechniken und anzuwendende Prüfeinrichtungen, Art der Einstellung der Prüfempfindlichkeit bei der Ultraschallprüfung,
- d) erforderlichenfalls zusätzliche Erläuterungen zur Durchführung der Prüfung (z.B. maßstäbliche Skizze),
- e) vorgesehene Ersatzmaßnahmen bei eingeschränkter Anwendbarkeit der Festlegungen dieses Abschnitts,
- f) Koordinatensystem (Bezugssystem und Zählrichtung) für eine dem Prüfgegenstand zugeordnete Beschreibung von Anzeigen oder Unregelmäßigkeiten,
- g) erforderlichenfalls ergänzende Angaben zur Protokollierung und zur Bewertung von Anzeigen oder Unregelmäßigkeiten (z.B. im Falle von prüftechnischen Ersatzmaßnahmen).

(6) Eine Kennzeichnung der Nullpunkte und Hauptrichtungen der angewendeten Bezugssysteme muss am Prüfobjekt erfolgen und bis zum Zeitpunkt der Bewertung der Prüfergebnisse erhalten bleiben.

(7) Bei stichprobenweiser Prüfung oder Prüfung von Prüflösen an Erzeugnisformen, bei denen nicht zulässige Anzeigen oder Unregelmäßigkeiten festgestellt wurden, wird mit doppeltem Umfang nach den gleichen Kriterien geprüft. Werden hierbei weitere nicht zulässige Anzeigen oder Unregelmäßigkeiten festgestellt, muss der Prüfumfang auf 100 % erhöht werden.

7.3.5.8.2 Personelle Voraussetzungen für die Durchführung von zerstörungsfreien Prüfungen

(1) Die Prüfaufsicht muss

- a) über das für ihre Aufgaben erforderliche Wissen verfügen sowie die Anwendungsmöglichkeiten und -grenzen der Prüfverfahren kennen,
- b) Grundkenntnisse über die angewandten Fertigungsverfahren und charakteristischen Erscheinungsformen herstellungsbedingter Unregelmäßigkeiten besitzen.

Sie soll von der Fertigung unabhängig sein und muss dem Sachverständigen benannt werden. Die Prüfaufsicht ist für die Anwendung des Prüfverfahrens und für die Einzelheiten der Prüfdurchführung gemäß den hierfür maßgebenden Regelungen verantwortlich. Sie ist für den Einsatz qualifizierter und zertifizierter Prüfer verantwortlich. Dies gilt auch bei Einsatz von betriebsfremdem Personal. Die Prüfaufsicht hat den Prüfbericht zu unterzeichnen.

(2) Die Prüfaufsicht muss für die zur Anwendung kommenden Prüfverfahren in den zutreffenden Produkt- oder Industriesektoren gemäß DIN EN ISO 9712 mindestens in Stufe 2 qualifiziert und zertifiziert sein. Bei Schweißnähten zwischen den RDB-Einbauten und Pufferungen oder Plattierungen auf dem RDB ist für die Prüfverfahren RT und UT eine Qualifizierung und Zertifizierung in Stufe 3 erforderlich.

(3) Die Prüfer müssen in der Lage sein, die in den Abschnitten 7.3.5.8.3 bis 7.3.5.8.7 und 8.9 sowie in den Werkstoffanhängen beschriebenen Prüfungen durchzuführen. Sie müssen für die zur Anwendung kommenden Prüfverfahren in den zutreffenden Produkt- oder Industriesektoren gemäß DIN EN ISO 9712 qualifiziert und zertifiziert sein. Für die Prüfverfahren RT und UT ist eine Qualifizierung und Zertifizierung mindestens in Stufe 2 erforderlich. Kommt die UT-Gruppenstrahlertechnik zum Einsatz, so muss der Prüfer ergänzend in der UT-Gruppenstrahlertechnik qualifiziert und zertifiziert sein.

7.3.5.8.3 Oberflächenprüfung nach dem Eindringverfahren

7.3.5.8.3.1 Allgemeingültige Festlegungen

(1) Die zu prüfenden Flächen müssen frei von Verunreinigungen sein. Die Prüfaussage beeinträchtigende Oberflächenunregelmäßigkeiten sind zu beseitigen. Der arithmetische Mittelwert der Profilordinaten (Mittenrauwert) R_a soll in Abhängigkeit vom Verfahren der Oberflächenbearbeitung die nachstehenden Werte einhalten:

- | | |
|---|---------------------------|
| a) unbearbeitete Oberflächen | $R_a \leq 20 \mu\text{m}$ |
| b) geschliffene oder spanabhebend bearbeitete Oberflächen | $R_a \leq 10 \mu\text{m}$ |

Die Prüfung hat gemäß DIN EN 10049 durch Ermittlung des arithmetischen Mittelwerts der Profilordinaten (Mittenrauwert) R_a mittels elektrischer Tastschnittgeräte oder durch Sichtvergleiche mit entsprechenden Standards zu erfolgen.

(2) Vorzugsweise sind Farbeindringmittel zu verwenden. Es dürfen auch fluoreszierende Eindringmittel oder fluoreszierende Farbeindringmittel eingesetzt werden. Bei der Prüfung auf Heißrisse gemäß Abschnitt 7.3.5.4 (2) sind fluoreszierende Eindringmittel zu verwenden.

(3) Als Zwischenreiniger dürfen entweder Lösemittel oder Wasser oder beide in Kombination miteinander verwendet werden.

(4) Es dürfen nur Nassentwickler angewendet werden, die als Trägerflüssigkeit Lösemittel besitzen. Trockenentwickler sind nur in Verbindung mit elektrostatischer Aufbringung auf die Prüffläche zulässig.

(5) Für das Prüfsystem ist mindestens die Empfindlichkeitsklasse 3 nach DIN EN ISO 3452-2 Abschnitt 4.2.2 oder die Empfindlichkeitsklasse 2 nach DIN EN ISO 3452-2 Abschnitt 4.2.3 einzuhalten. Bei der Prüfung auf Heißrisse gemäß Abschnitt 7.3.5.4 (2) ist die Empfindlichkeitsklasse 4 nach DIN EN ISO 3452-2 Abschnitt 4.2.2 einzuhalten.

(6) Die Eignung des Prüfsystems (Eindringmittel, Zwischenreiniger und Entwickler) ist durch eine Musterprüfung nach DIN EN ISO 3452-2 nachzuweisen. Der Nachweis ist dem Sachverständigen vorzulegen.

(7) Eindringmittel in Prüfanlagen und teilgebrauchten offenen Behältern (ausgenommen Aerosolbehälter) sind durch den Anwender mit dem Kontrollkörper 2 nach DIN EN ISO 3452-3 zu überwachen. Hierbei dürfen Eindringdauer und Entwicklungsdauer maximal nur die für die Prüfung festgelegten Mindestzeiten betragen. Die erreichte Prüfempfindlichkeit ist zu protokollieren.

7.3.5.8.3.2 Durchführung der Prüfung

(1) Die Prüfung ist am Bauteil im fertig bearbeiteten Zustand gemäß DIN EN ISO 3452-1, bei Feingussstücken gemäß DIN EN 1371-2 durchzuführen. Bei der Prüfung auf Heißrisse

gemäß Abschnitt 7.3.5.4 (2) sind dabei die gesamte Schweißung und die wärmebeeinflusste Zone des austenitischen Grundwerkstoffs zu erfassen.

(2) Die Eindringdauer soll mindestens eine halbe Stunde betragen.

(3) Unmittelbar nach dem Antrocknen des Entwicklers soll die erste Inspektion stattfinden. Eine weitere Inspektion sollte frühestens eine halbe Stunde nach der ersten Inspektion erfolgen. Bei der Prüfung auf Heißrisse gemäß Abschnitt 7.3.5.4 (2) gelten die folgenden Inspektionszeitpunkte: sofort nach dem Antrocknen des Entwicklers, nach 15 Minuten, nach 30 Minuten und nach 60 Minuten.

(4) Weitere Inspektionszeitpunkte sind erforderlich, wenn bei der zweiten Inspektion rissartige Anzeigen vorhanden sind, die bei der ersten Inspektion noch nicht erkennbar waren.

Hinweis:

Zusätzliche Inspektionszeitpunkte können auch dann in Betracht kommen, wenn bei der zweiten Inspektion wesentliche Änderungen oder zusätzliche Anzeigen festgestellt werden.

(5) Die Bewertung erfolgt unter Berücksichtigung der Ergebnisse aller Inspektionen.

7.3.5.8.3.3 Zulässigkeitskriterien

(1) Geschmiedete und gewalzte Erzeugnisformen

Es gelten die Festlegungen der **Tabelle 7-3**. Die Häufigkeit zu-

lässiger Anzeigen darf örtlich zehn je Quadratdezimeter, bezogen auf die Gesamtfläche jedoch fünf je Quadratdezimeter nicht überschreiten.

(2) Geschweißte Rohre

Es gelten die Festlegungen der **Tabelle 8-7**.

(3) Feingussteile

Es gelten folgende Festlegungen:

a) Anzeigen, deren größte Ausdehnung gleich oder kleiner als 1,5 mm ist, sind nicht in die Bewertung einzubeziehen.

b) Unzulässig sind lineare Anzeigen und Anzeigen, die auf Risse schließen lassen.

c) Unzulässig sind runde Anzeigen mit einem Durchmesser von größer als 3 mm.

d) Unzulässig sind mehr als 10 zulässige Anzeigen, deren Ausdehnung größer als 1,5 mm und gleich oder kleiner als 3 mm ist:

pro 100 cm² oder pro Stück bei Oberflächen kleiner als 100 cm².

(4) Prüfung auf Heißrisse

Lineare Anzeigen und systematisch auftretende Anzeigen sind mittels fotografischer Aufnahme mit 200facher Vergrößerung zu dokumentieren und mittels Mikroschliff zu untersuchen. Heißrisse sind nicht zulässig, vereinzelte unsystematische Dendritentrennungen sind zulässig.

Anzeigen ≤ 3 mm		Anzeigen > 3 mm und ≤ 6 mm			Anzeigen > 6 mm
Vereinzelt	Örtlich angehäuft	Runde Anzeigen	Lineare ¹⁾ Anzeigen, verursacht durch Karbide oder Nitride oder Karbonitride ²⁾	Sonstige lineare Anzeigen ¹⁾	
Zulässig; nicht in die Bewertung einzubeziehen	Zulässig; in die Häufigkeit einzubeziehen	Zulässig; in die Häufigkeit einzubeziehen	Zulässig; in die Häufigkeit einzubeziehen	Nicht zulässig	Nicht zulässig

¹⁾ Bei der Eindringprüfung besitzt eine Anzeige dann eine Längenausdehnung (lineare Anzeige), wenn ihre Abmessung in der maximalen Ausdehnungsrichtung mindestens dreimal so groß ist wie ihre kleinste Abmessung quer zu dieser Richtung.

²⁾ Karbide, Nitride und Karbonitride müssen als solche nachgewiesen werden. Der Nachweis darf für gleichartige Anzeigen durch eine Stichprobe im Anzeigenbereich erfolgen.

Tabelle 7-3: Zulässigkeitskriterien für die Eindringprüfung von geschmiedeten und gewalzten Erzeugnisformen gemäß Abschnitt 7.3.5.8.3.3 (1)

7.3.5.8.4 Ultraschallprüfungen

(1) Oberflächenzustand

a) Alle Ankopplungsflächen müssen frei von Unebenheiten und Verunreinigungen sein, die die Aussagefähigkeit der Prüfung stören können.

b) Wird die der Ankopplungsfläche gegenüberliegende Oberfläche als Reflexionsfläche benutzt, so sind an diese die gleichen Anforderungen wie an die Ankopplungsfläche zu stellen.

c) Der arithmetische Mittelwert der Profilor dinaten (Mittenrauwert) Ra der Ankopplungs- und Reflexionsflächen sollte einen Wert von 20 µm nicht überschreiten. Die Prüfung hat durch Ermittlung des arithmetischen Mittelwerts der Profilor dinaten (Mittenrauwert) Ra nach DIN EN ISO 4287 mittels elektrischer Tastschnittgeräte oder durch Sichtvergleiche mit entsprechenden Standards zu erfolgen.

d) Zusätzlich soll die Welligkeit der Ankopplungsflächen so begrenzt sein, dass die Prüfkopfsöhle an keiner Stelle mehr als 0,5 mm von der Oberfläche entfernt ist. Der Krümmungsradius einer Oberfläche wird hierbei nicht berücksichtigt.

(2) Anforderungen an die Geräte und Prüfköpfe

a) Geräte

Die eingesetzte Prüfausrüstung einschließlich der erforderlichen Messgeräte und Hilfsmittel muss eine dem Verwendungszweck entsprechende Genauigkeit und Stabilität aufweisen.

Die Prüfgeräte sollen die Anforderungen nach DIN EN 12668-1 und die Prüfköpfe die Anforderungen nach DIN EN 12668-2 erfüllen. Für die Kontrolle der Eigenschaften der kompletten Prüfausrüstung gelten die Anforderungen gemäß DIN EN 12668-3. Wird die Phased-Array-Technik (UT-Gruppenstrahlertechnik) eingesetzt, so ist die Prüftechnik einschließlich der Prüfgeräte und Prüfköpfe gemäß Abschnitt 7.3.5.8.1 (2) zu qualifizieren.

Alle im Bereich der benutzten Geräteempfindlichkeit möglichen Echohöhenverhältnisse müssen mit einer Genauigkeit von ± 1 dB bestimmbar sein, und zwar mit Hilfe eines in dB kalibrierten Abschwächers und einer geeigneten Skalennarkierung am Bildschirm.

Die am Gerät wählbaren Prüfbereiche müssen einander überlappen. Innerhalb jedes einzelnen Bereichs muss die

Zeitablenkung kontinuierlich verstellbar und mit einer Genauigkeit von besser als 5 % des Prüfbereichs linear sein. Das Kombinieren von Geräten, Kabeln und Prüfköpfen verschiedener Hersteller ist zulässig, wenn sichergestellt ist (z. B. über Messungen an Bezugsreflektoren), dass die Genauigkeit der Ergebnisse nicht beeinträchtigt wird.

b) Prüfköpfe

Es dürfen Prüfköpfe mit gemeinsamen oder getrennten Sender/Empfänger-Schwingern (SE) eingesetzt werden.

Die Prüffrequenz soll zwischen 2 MHz und 4 MHz liegen. Bei Prüfungen von Werkstoffen mit großen Schallschwächungen sind Prüffrequenzen kleiner als 2 MHz zugelassen, wenn die geforderte Registrierschwelle nachweislich eingehalten werden kann.

Bei gekrümmten Prüfflächen soll der Prüfkopf im Bereich des Schallaustrittspunkts mittig aufsitzen. Die Prüfkopfsolen sollen an keiner Stelle einen größeren Abstand als 0,5 mm zur Prüffläche aufweisen. Ist der Abstand größer, so muss der Prüfkopf angeschliffen werden. Dies ist der Fall, wenn L^2 größer als $2 \cdot d$ ist.

Mit L : Prüfkopfabmessung in Krümmungsrichtung
 d : Krümmungsdurchmesser des Prüfgegenstandes

(3) Vorbereitung und Durchführung der Prüfung

a) Entfernungsjustierung und Einstellung der Prüfeempfindlichkeit

Entfernungsjustierung und Einstellung der Prüfeempfindlichkeit hat am Prüfstück oder artgleichen Vergleichskörpern zu erfolgen. Alle zu registrierenden Echoanzeigen müssen bei größtmöglichem Schallweg mindestens 1/5 Bildschirmskalenhöhe erreichen.

Bei der Justierung und Prüfung ist das gleiche Koppelmittel zu verwenden. Es sind nur solche Koppelmittel zu verwenden, die zu keiner Schädigung des Prüfgegenstandes (z. B. Korrosion) führen. Nach der Prüfung sind alle Rückstände des Koppelmittels vom Prüfgegenstand zu entfernen.

Prüfgegenstand, Vergleichskörper und Prüfköpfe sollen annähernd die gleiche Temperatur aufweisen.

Bei der Einstellung der Prüfeempfindlichkeit und während des Prüfens darf nur der Verstärkungssteller und kein anderes die Echohöhe beeinflussendes Bedienelement (z. B. für Frequenzbereich, Impulsstärke, Auflösung, Schwellenwert) verstellt werden. Die Verwendung eines Schwellenwertes ist nur in begründeten Ausnahmefällen zulässig.

Vor Beginn der Prüfung sind nach Ablauf der vom Gerätehersteller anzugebenden Einlaufzeiten die Einstellung der Prüfeempfindlichkeit und die Entfernungsjustierung vorzunehmen. Beide Einstellungen sind in angemessenen Zeitabständen zu überprüfen. Ergeben sich hierbei deutliche Abweichungen, so sind alle nach der vorhergehenden Kontrolle geprüften Erzeugnisse und Bereiche einer Nachprüfung zu unterziehen.

b) Korrektur der Prüfeempfindlichkeit

Falls die Einstellung der Prüfeempfindlichkeit an Vergleichskörpern durchgeführt wird, so sind zur Berücksichtigung von Schallschwächungs- und Ankopplungsunterschieden Transferrmessungen an Vergleichskörper und am Prüfgegenstand durchzuführen, um gegebenenfalls durch Verstärkungskorrektur gleiche Empfindlichkeiten zu erreichen. Bei der Verwendung unterschiedlicher Werkstoffe ist der Unterschied der Schallgeschwindigkeit bei der Entfernungsjustierung und bei der Schrägeinschallung für die Winkelabweichung zu berücksichtigen.

Es sind für alle Prüfköpfe und Einschallrichtungen die höchsten Schallschwächungswerte zu berücksichtigen.

Die Bewertung von Echoanzeigen hat unter Berücksichtigung der tatsächlichen im benachbarten Bereich der Echoanzeigen gemessenen Schallschwächungswerte zu erfolgen.

c) Einschallrichtungen

Die Einschallrichtungen sind erzeugnisformbezogen in den Werkstoffanhängen angegeben.

d) Registrierschwellen

Es sind alle Anzeigen zu registrieren, wenn sie die in den erzeugnisformbezogenen Werkstoffanhängen festgelegten Registrierschwellen erreichen oder überschreiten. Die Einstellung der Prüfeempfindlichkeit hat unter Berücksichtigung der Transferkorrektur und gegebenenfalls der Schallschwächung zu erfolgen. Es darf sowohl die AVG-Methode als auch die Bezugslinienmethode oder die Vergleichskörpermethode angewandt werden. Bei Verwendung von angepassten Prüfköpfen darf die AVG-Methode nicht eingesetzt werden. Die maximale Echohöhe einer Reflexionsstelle ist bezogen auf die jeweils gültige Registrierschwelle in dB anzugeben. Die berücksichtigten Schallschwächungswerte sind zu protokollieren. Rückwandechoeinbrüche gleich oder größer als 18 dB sind zu registrieren. Bei austenitischen Werkstoffen und Nickellegierungen kann erforderlichenfalls die Registrierschwelle zur Erzielung eines Signal/Rauschverhältnisses von mindestens 6 dB entsprechend erhöht werden, jedoch nur bis maximal 6 dB unterhalb der Zulässigkeitsgrenze. Die bei der Prüfung erreichte Registrierschwelle ist in diesem Fall im Protokoll anzugeben. Bei der Anhäufung von Reflektoren, deren Abstände voneinander kleiner sind als der effektive Schwingerdurchmesser und bei Reflektoren mit Längenausdehnungen, ist die entsprechende Registrierschwelle um 6 dB zu senken.

e) Ausdehnung von Reflektoren

Die Ausdehnung von Anzeigen quer zur Schallausbreitungsrichtung ist bei der Senkrechteinschallung nach der Halbwertsmethode zu messen, wobei der Schallweg möglichst einmal Nahfeldlänge betragen soll.

Die Bestimmung der Reflektorausdehnung darf durch zusätzliche Untersuchungen (z. B. durch Berücksichtigung der Schallbündelöffnung oder durch spezielle Prüfköpfe) gesteigert werden.

Wird hierbei der Störuntergrund unterschritten, so ist die Registrierlänge bis zum Verschwinden des Echos anzugeben.

Registrierlängen über 10 mm sind auszumessen, kürzere Registrierlängen sind als „< 10 mm“ zu protokollieren.

f) Lage von Reflektoren

Von allen registrierpflichtigen Anzeigen sind in einem entsprechenden System die Längs-, Quer- und Tiefenkoordination anzugeben.

g) Prüfzeitpunkt

Die Abnahmeprüfung erfolgt im Lieferzustand gemäß Abschnitt 7 zum prüftechnisch günstigsten, bevorzugt im konturenarmen Zustand.

(4) Zulässigkeitskriterien

Die Zulässigkeitskriterien sind in den erzeugnisformbezogenen Werkstoffanhängen festgelegt. Zusätzlich gilt:

a) Reflexionsstellen aus Bereichen, bei denen sichergestellt ist, dass sie bei der Endbearbeitung entfallen, sind nicht zu berücksichtigen, jedoch zu protokollieren. Alle als gefügebedingt nachgewiesenen Echoanzeigen sind nicht in die Bewertung mit einzubeziehen, aber im Prüfprotokoll anzugeben.

b) Werden bei der Senkrechteinschallung im Bereich mit Seitenwandeneinfluss bei der Anwendung der AVG-Methode registrierpflichtige Echoanzeigen von Reflexionsstellen festgestellt, so sind diese mittels Senkrechteinschallung bei Anwendung des Bezugsechoverfahrens oder zielgerichteter Schrägeinschallung nachzuprüfen.

Sofern durch Ablängen des Prüfgegenstandes der Bereich mit Seitenwandeneinfluss entfällt, so ist einer Nachprüfung in diesem Zustand Priorität einzuräumen. Die Prüfergebnisse der Nachprüfung sind mit in die Bewertung einzubeziehen.

- c) In Bereichen mit Signal-Rauschabständen kleiner als oder gleich 6 dB oder wenn das Rückwandecho ohne erklärbare Ursache bis zur Registrierschwelle abfällt, sind Untersuchungen (z. B. Schallschwächungsmessungen) durchzuführen, die eine Entscheidung über die Verwendbarkeit des Bauteiles ermöglichen.
- d) Bei Anhäufung von Reflexionsstellen mit Echohöhen unterhalb der Registrierschwelle, die sich bei einer Prüfkopfposition nicht in Einzelanzeigen trennen oder bei Prüfkopfverschiebung nicht auflösen oder sich bei den anzuwendenden Einschallrichtungen nicht eindeutig ein- oder zuordnen lassen, sind Zusatzuntersuchungen (z. B. Durchschallungsprüfungen in mehreren Richtungen) durchzuführen. Falls sich bei diesen Untersuchungen (z. B. durch Intensitätsverluste eines Durchschallungssignals im Vergleich zu anzeigefreien Bereichen des Erzeugnisses) Hinweise auf flächige Trennungen ergeben, so sind diese Stellen nicht zulässig.
- e) Bei Prüfgegenständen mit Wanddicken von mehr als 15 mm darf zur Einstellung der Prüfempfindlichkeit für oberflächennahe Bereiche die Bezugsechomethode mit einer 1 mm tiefen Rechtecknut als Bezugsreflektor verwendet werden.

7.3.5.8.5 Durchstrahlungsprüfungen

(1) Oberflächenzustand

Alle sichtbaren, die Auswertung der Durchstrahlungsbilder beeinträchtigenden Oberflächenunregelmäßigkeiten sind zu beseitigen.

(2) Durchführung der Prüfung

a) Die Prüfungen

aa) von Schweißnähten im Rahmen der Herstellung gemäß Abschnitt 8 sind nach DIN EN ISO 17636-1,

ab) an geschweißten Rohren sind nach DIN EN ISO 10893-6,

ac) an Feigussteilen sind nach DIN EN ISO 5579 in Verbindung mit DIN EN 12681

durchzuführen.

b) Es sind die Bedingungen der Klasse B nach DIN EN ISO 17636-1, DIN EN ISO 10893-6 oder nach DIN EN ISO 5579 einzuhalten. Die in DIN EN ISO 17636-1 Abschnitt 5 sowie in DIN EN ISO 5579 Abschnitt 4 genannte Ersatzlösung soll dabei nicht in Anspruch genommen werden. Die Bildgütezahlen gemäß der in DIN EN ISO 19232-3 angegebenen Bildgüteklasse B sind einzuhalten, wobei die Bildgüteprüfkörper nach DIN EN ISO 19232-1 zu benutzen sind.

c) Es sind Festlegungen zu treffen, aus denen die Filmlage und die Film-Nummer, bezogen auf das Bezugssystem, eindeutig hervorgehen.

d) Die Strahlenquellen sind so zu wählen, dass eine optimale Fehlerauffindbarkeit gewährleistet ist. Bei der Prüfung von Schweißnähten bis zu einer durchstrahlten Wanddicke von 40 mm sollen dabei Röntgenröhren eingesetzt werden, sofern nicht durch den Einsatz anderer Strahlenquellen, z. B. Iridium, eine mindestens gleiche Aussagefähigkeit erreicht werden kann.

e) Es sind Film/Folien-Kombinationen mit möglichst hoher Auflösung und bevorzugt Vakuumkassetten zu verwenden.

e) Die Filmkennzeichnung muss so eindeutig sein, dass eine Rückverfolgbarkeit zum Prüfobjekt sichergestellt ist.

f) Anstelle von Filmen dürfen Speicherfolien eingesetzt werden, sofern dabei mindestens die gleiche Bildgüte wie mit der geforderten Film/Folien-Kombination erreicht wird. Dabei ist DIN EN ISO 17636-1 durch DIN EN ISO 17636-2 und DIN EN ISO 10893-6 durch DIN EN ISO 10893-7 zu ersetzen.

(3) Bewertung der Prüfergebnisse

Die Zulässigkeitskriterien sind im Abschnitt 8.9.2.1.2 oder ergebnisformbezogen in den Werkstoffanhängen angegeben.

7.3.5.8.6 Prüfung der Oberflächenbeschaffenheit

Die Prüfung hat durch eine Besichtigung zu erfolgen. Ausführungsart und Oberflächenbeschaffenheit sind im Rahmen der Bestellung gemäß den Festlegungen der **Tabelle 7-4** anzugeben.

7.3.5.8.7 Sichtprüfungen

(1) Die Sichtprüfung der Oberfläche der Erzeugnisformen ist im Lieferzustand, die Sichtprüfung der Bauteile im fertig bearbeiteten Zustand durchzuführen. Sichtprüfungen sind nach DIN EN 13018 in Form einer direkten Sichtprüfung als örtliche Sichtprüfung durchzuführen.

(2) Risse sind nicht zulässig.

(3) Lineare Auffälligkeiten, bei denen eine Beurteilung der Zulässigkeit nicht eindeutig möglich ist, sind einer Oberflächenprüfung nach 7.3.5.8.3.2 zu unterziehen. Die Bewertung hat nach den Festlegungen des zugehörigen Werkstoffblatts zu erfolgen. Werden dort keine Festlegungen getroffen, gilt **Tabelle 7-3**.

7.3.5.8.8 Prüfung auf Freiheit von Fremdferrit

(1) Die Oberflächen sind durch Tauchen oder ununterbrochenes Befeuchten mit voll entsalztem Wasser zu prüfen. Das Befeuchten darf durch ein Berieseln, Besprühen oder durch Auflegen von mit Deionat getränktem Filterpapier erfolgen. Die Einwirkzeit des Wassers auf die zu prüfende Oberfläche muss mindestens 6 Stunden betragen. Das für die Behandlung eingesetzte voll entsalztes Wasser muss den nachfolgend angegebenen Richtwerten entsprechen:

Beschaffenheit: klar, farb- und geruchlos

Leitfähigkeit bei 25 °C: $\leq 10 \mu\text{S}/\text{cm}$

Chlorid: $\leq 0,5 \text{ mg}/\text{kg}$

Sulfat: $\leq 0,5 \text{ mg}/\text{kg}$

Hinweis:

Bei Anwesenheit von Fremdferrit auf der Oberfläche entstehen an mit Ferritpartikeln behafteten Stellen örtlich begrenzte rostbraune Anzeigen.

(2) Die Oberflächen sind mittels Besichtigung zu prüfen und wie folgt zu bewerten:

a) Werden auf der zu bewertenden Oberfläche Anzeigen festgestellt, so sind um diese Anzeigen Prüfflächen von ca. 1 dm² anzuordnen. Die Prüffläche ist so anzuordnen, dass sie die ungünstigste Verteilung der Anzeigen erfasst.

b) Ferritische Verunreinigungen sind nur zulässig, wenn

ba) mindestens 75 % der Oberfläche, eingeteilt in 1 dm² große Flächenabschnitte, anzeigefrei sind,

bb) die Ausdehnung der Anzeigen maximal 3 mm beträgt,

bc) maximal 5 zulässige Anzeigen auf einem Flächenabschnitt von 1 dm² vorhanden sind.

7.3.6 Wiederholung von Prüfungen

(1) Ist das ungenügende Ergebnis einer Prüfung offensichtlich auf prüftechnische Mängel, auf fehlerhafte Probenherstellung oder auf eine eng begrenzte Fehlerstelle einer Probe zurückzuführen, so darf das Fehlerergebnis bei der Entscheidung über die Erfüllung der Anforderungen außer Acht gelassen und die jeweilige Prüfung wiederholt werden (Wiederholungsprüfung).

(2) Sofern die Ergebnisse einer ordnungsgemäßen Prüfung den vorgeschriebenen Anforderungen nicht genügen, ist wie folgt zu verfahren:

a) Bei Einzelprüfungen dürfen für eine nicht genügende Prüfung zwei weitere Prüfungen an Prüfstücken vom gleichen Probenentnahmeort durchgeführt werden. Wenn eine der beiden Wiederholungsprüfungen den Anforderungen nicht genügt, so ist die Prüfeinheit zurückzuweisen.

- b) Bei losweiser Prüfung darf jedes der Prüfung nicht genügende Stück aus dem Los ausgeschieden und einer Einzelprüfung unterzogen werden. Je ausgeschiedenem Stück sind zwei weitere Stücke desselben Prüfloses in gleicher Weise zu prüfen. Wenn eine der beiden Wiederholungsprüfungen den Anforderungen nicht genügt, ist das Los grundsätzlich zurückzuweisen. In Ausnahmefällen dürfen die Stücke nach Vereinbarung einzeln geprüft werden.
- (3) Kann der Grund für das Nichtgenügen einer Prüfung, z. B. durch eine geeignete Nachbehandlung, beseitigt werden, so darf diese durchgeführt werden, worauf die durch die Nachbehandlung beeinflussten Eigenschaften erneut zu prüfen sind.
- #### 7.4 Kennzeichnung der Erzeugnisse
- (1) Alle Erzeugnisse sind deutlich und dauerhaft zu kennzeichnen, so dass jederzeit eine eindeutige Zuordnung zu den Prüfergebnissen möglich ist.
- (2) Die Kennzeichnung von Grundwerkstoffen soll folgende Angaben enthalten:
- Werkstoffbezeichnung (Kurzname oder Kurzzeichen),
 - Zeichen des Herstellers,
 - Schmelznummer,
 - falls erforderlich, Probennummer (Blech-, Stück-, Ring-, Losnummer),
 - gegebenenfalls Stempel des Prüfers der zerstörungsfreien Prüfung,
- bei Schrauben, Muttern und Kleinteilen anstelle der Angaben nach a) bis e) eine Kurzkennzeichnung, mit der die Rückverfolgbarkeit der Teile zum Abnahmeprüfzeugnis sichergestellt wird,
 - falls erforderlich, Prüfstempel des Sachverständigen.
- (3) Die Kennzeichnung von Schweißzusätzen hat gemäß den Festlegungen nach DIN EN ISO 3581, DIN EN ISO 14172, DIN EN ISO 14343, DIN EN ISO 17633 oder DIN EN ISO 18274 zu erfolgen.
- (4) Die Kennzeichnung hat zu erfolgen:
- mittels Schlagstempel, wobei scharfkantige Schlagstempel nicht verwendet werden dürfen,
 - mittels wasserunlöslicher Farbstempelung (z. B. bei Blechen mit einer Dicke kleiner als oder gleich 6 mm, dünnwandigen Rohren und Schweißzusätzen),
 - mittels Anhängeschild (z. B. bei Rohren mit einem Außendurchmesser gleich oder kleiner als 18 mm, bei Stäben mit einem Außendurchmesser gleich oder kleiner als 25 mm, Pulver),
 - für Verbindungselemente nach DIN EN ISO 3506-1 und DIN EN ISO 3506-2 gemäß den dort angegebenen Festlegungen.
- (5) Eine Kennzeichnung für Kleinteile darf entfallen, wenn
- die Stempelung nicht oder nur schwer möglich ist und
 - eine durch die Qualitätsstelle des Herstellers oder durch den Sachverständigen geprüfte Bescheinigung vorliegt.

Kurzzeichen	Ausführungsart	Oberflächenbeschaffenheit	Bemerkungen
Flacherzeugnisse (Bleche, Bänder), Stäbe und Profile			
1E	warmgeformt, wärmebehandelt, mechanisch entzündert	weitgehend zunderfrei (aber vereinzelte schwarze Stellen können vorhanden sein); nicht ohne Oberflächenfehler	Die Art der mechanischen Entzündung, z. B. Rohnschleifen oder Strahlen, hängt von der Stahlsorte und der Erzeugnisform ab und bleibt, wenn nicht anders vereinbart, dem Hersteller überlassen.
1D	warmgeformt, wärmebehandelt, gebeizt	zunderfrei (örtlich geschliffen, falls erforderlich); nicht ohne Oberflächenfehler	Üblicher Standard für die meisten Stahlorten, um gute Korrosionsbeständigkeit sicherzustellen; auch übliche Ausführung für Weiterverarbeitung. Schleifspuren dürfen vorhanden sein. Nicht so glatt wie 2D oder 2B.
1X	warmgeformt, wärmebehandelt, vorbearbeitet (geschält oder vorgedreht)	zunderfrei (aber einige Eindrücke von der Bearbeitung können zurückbleiben); nicht ohne Oberflächenfehler	Erzeugnisse, die im vorliegenden Zustand verwendet oder weiterverarbeitet werden (warm oder kalt).
1G	warmgeformt, wärmebehandelt, entzündert, vorbereitet oder geschält bei Walzdraht; Nachbearbeitung durch Materialabtrag	Aussehen mehr oder weniger einheitlich und blank; ohne Oberflächenfehler	Geeignet für besondere Anwendungen (Fließpressen und/oder Kalt- oder Warmstauchen). Oberflächenrauheit kann festgelegt werden.
2E	kaltgeformt, wärmebehandelt, mechanisch entzündert	rau und stumpf	Üblicherweise angewendet für Stähle mit sehr beizbeständigem Zunder. Kann nachfolgend gebeizt werden.
2D	kaltgeformt, wärmebehandelt, gebeizt	glatt	Ausführung für gute Umformbarkeit, aber nicht so glatt wie 2B oder 2R.
2B	kaltgeformt, wärmebehandelt, gebeizt, kalt nachgeformt	glatter als 2D	Häufigste Ausführung für die meisten Stahlorten um gute Korrosionsbeständigkeit, Glattheit und Ebenheit sicherzustellen. Auch übliche Ausführung für Weiterverarbeitung. Nachwalzen kann durch Streckrichten erfolgen.
2G	geschliffen	glatt, gleichmäßig und blank; ohne Oberflächenfehler	Ausführungsart für enge Grenzabmaße. Falls nichts anderes vereinbart wurde, muss die Oberflächenrauheit $Ra \leq 1,2$ sein.
2R	kaltgeformt, blankgeglüht	glatt, blank und reflektierend	Glatter und blanker als 2B. Auch übliche Ausführung für Weiterverarbeitung.

Tabelle 7-4: Ausführungsart und Oberflächenbeschaffenheit von Erzeugnisformen gemäß Abschnitt 7.3.5.8.6 (Fortsetzung siehe nächste Seite)

Kurzzeichen	Ausführungsart	Oberflächenbeschaffenheit	Bemerkungen
Rohre			
HFD	warm gefertigt, wärmebehandelt, entzündert	metallisch sauber	—
CFD	kalt gefertigt, wärmebehandelt, entzündert	metallisch sauber	—
CFA	kalt gefertigt, blankgeglüht	metallisch blank	—
CFG	kalt gefertigt, wärmebehandelt, geschliffen	metallisch blank geschliffen; Art des Schleifens und zu erreichende Rauheit sind bei der Anfrage und Bestellung zu vereinbaren	—
W0 ¹⁾	geschweißt aus warm- oder kaltgewalztem Blech oder Band 1D, 2D, 2E, 2B	geschweißt	—
W1 ¹⁾	geschweißt aus warmgewalztem Blech oder Band 1D, entzündert		—
W1A ¹⁾	geschweißt aus warmgewalztem Blech oder Band 1D, wärmebehandelt, entzündert	metallisch sauber	—
W1R ¹⁾	Behandlungszustand W1 plus Wärmebehandlung in kontrollierter Atmosphäre	metallisch blank	—
W2 ¹⁾	geschweißt aus kaltgewalztem Blech oder Band 2D, 2E, 2B, entzündert	metallisch sauber	—
W2A ¹⁾	geschweißt aus kaltgewalztem Blech oder Band 2D, 2E, 2B, entzündert	mit Ausnahme der Schweißnaht, wesentlich glatter als W1 und W1A	—
W2R ¹⁾	geschweißt aus kaltgewalztem Blech oder Band 2D, 2E, 2B, blankgeglüht	metallisch blank	—
WCA	geschweißt aus warmgewalztem oder kaltgewalztem Blech oder Band 1D, 2D, 2E, 2B, wärmebehandelt, soweit zweckmäßig, mindestens 20% kaltumgeformt, wärmebehandelt, mit rekristallisiertem Schweißgut entzündert	metallisch sauber, Schweißnaht kaum sichtbar	—
WCR	geschweißt aus warmgewalztem oder kaltgewalztem Blech oder Band 1D, 2D, 2E, 2B, wärmebehandelt, soweit zweckmäßig, mindestens 20% kaltumgeformt, blankgeglüht, mit rekristallisiertem Schweißgut	metallisch sauber, Schweißnaht kaum sichtbar	—
WG	geschliffen	metallisch blank geschliffen; Art des Schleifens und zu erreichende Rauheit sind bei der Anfrage und Bestellung zu vereinbaren.	—
Feingussstücke			
1/0S1 ²⁾	gegossen	Gussoberfläche	—
2S2 ²⁾	geschliffen oder gestrahlt	mechanisch geputzt	
<p>¹⁾ Wenn Rohre mit geglätteten Schweißnähten („Schweißnaht abgearbeitet“) bestellt werden, ist der Buchstabe „b“ an das Kurzzeichen für den Lieferzustand anzuhängen (Beispiel: W2Ab).</p> <p>²⁾ BNIF-Vergleichsmuster gemäß DIN EN 1370.</p>			

Tabelle 7-4: Ausführungsart und Oberflächenbeschaffenheit von Erzeugnisformen gemäß Abschnitt 7.3.5.8.6 (Fortsetzung)

8 Herstellung

8.1 Allgemeingültige Festlegungen

Dieser Abschnitt gilt für die Herstellung beginnend mit der Eingangskontrolle der Erzeugnisform bis zum Abschluss der Montage auf der Baustelle.

8.2 Anforderungen an den Hersteller

8.2.1 Allgemeingültige Anforderungen

(1) Die Erfüllung der in den Abschnitten 8.2.2 bis 8.2.6 genannten Voraussetzungen ist dem Anlagenlieferer sowie dem Sachverständigen im Rahmen der Herstellerbeurteilung und -prüfung vor Beginn der Herstellung für den vorgesehenen Geltungsbereich nachzuweisen. Für Komponenten, Baugruppen und Bauteile gemäß AS-RE 2 und AS-RE 3, an denen nicht geschweißt wird, ist die Herstellerbeurteilung durch den Anlagenlieferer ausreichend. Bei der Überprüfung der Voraussetzungen für die Herstellung dürfen bereits vorliegende Überprüfungen durch andere Stellen berücksichtigt werden. Soweit dabei Kriterien dieser Regel erfüllt sind, gilt die Überprüfung in diesen Punkten als erfüllt.

Hinweis:

Andere Regelwerke sind z. B. andere KTA-Regeln, DIN EN ISO 3834-1 und DIN EN ISO 3834-2 oder AD 2000-Merkblatt HP 0.

(2) Der Hersteller muss über Einrichtungen und Personal verfügen, um die Erzeugnisformen nach dieser Regel einwandfrei verarbeiten, prüfen und transportieren zu können. Die Prüfeinrichtungen müssen den Anforderungen des Abschnitts 7 genügen. Es dürfen auch Einrichtungen und Personal anderer Stellen, die diese Voraussetzungen erfüllen, in Anspruch genommen werden.

(3) Über das Ergebnis der Herstellerbeurteilung ist vom Anlagenlieferer eine Bestätigung auszustellen. Ebenso muss die Anerkennung des Herstellers durch den Sachverständigen in schriftlicher Form vorliegen.

(4) Die Gültigkeitsdauer einer Herstellerbeurteilung oder einer Anerkennung beträgt 3 Jahre nach Ausstellung der Bestätigung durch den Anlagenlieferer und der Anerkennung durch den Sachverständigen. Wenn innerhalb der Gültigkeitsdauer gefertigt und geprüft worden ist, darf auf Antrag des Herstellers die Gültigkeit um jeweils weitere 3 Jahre verlängert werden.

(5) Bei wesentlichen Änderungen hinsichtlich Schweiß- und Prüfaufsicht sowie Organisation, Fertigungs- und Prüfeinrichtungen gegenüber dem bei der Herstellerbeurteilung erfassten Zustand ist vom Hersteller eine Ergänzung zu beantragen.

(6) Im Zuge der Herstellung sind der Anlagenlieferer und der Sachverständige berechtigt, sich von der Einhaltung der Voraussetzungen zu überzeugen.

(7) Bei Herstellern von Bauteilen außerhalb des Reaktor-druckbehälters der Anforderungsstufe AS-RE 3, die Schweißarbeiten ausführen, gelten die Festlegungen nach DIN EN ISO 3834-1 und DIN EN ISO 3834-2. Eine Herstellerbeurteilung und -prüfung braucht dann nicht durchgeführt zu werden.

8.2.2 Organisatorische Voraussetzungen

(1) Der Hersteller hat alle organisatorischen Maßnahmen zu treffen, um die Qualität seiner Erzeugnisse sicherzustellen. Die Personen oder Stellen, die qualitätssichernde Tätigkeiten ausführen, müssen von den Personen oder Stellen unabhängig sein, die für die Fertigung direkt verantwortlich sind.

(2) Die qualitätssichernden Maßnahmen sind zu beschreiben, die Zuständigkeitsbereiche und Aufgaben der Personen oder Stellen sind schriftlich festzulegen.

(3) Das Personal für die Schweißaufsicht muss den Anforderungen nach DIN EN ISO 3834-1 und DIN EN ISO 3834-2 genügen. Das Personal für die Prüfaufsicht soll dem Herstellerwerk angehören. Bei Unterlieferanten darf die Prüfaufsicht des Herstellers herangezogen werden.

8.2.3 Voraussetzungen für die Durchführung von Schweißarbeiten

(1) Schweißaufsicht

Für die Schweißaufsicht gelten die Festlegungen nach DIN EN ISO 3834-1 und DIN EN ISO 3834-2.

(2) Schweißpersonal

a) Für das Schweißpersonal gelten die Festlegungen nach DIN EN ISO 3834-1 und DIN EN ISO 3834-2.

b) Die Prüfung des Schweißpersonals wird durch den für das Werk oder den Ausbildungsort zuständigen Sachverständigen oder durch eine vom Sachverständigen anerkannte Prüfstelle durchgeführt. Die Gültigkeitsdauer der Prüfung beträgt 2 Jahre. Die Prüfung ist jedoch nach mehr als sechsmonatiger Unterbrechung der Tätigkeit als Schweißer oder als Schweißpersonal für mechanisierte Schweißanlagen vor Aufnahme der Tätigkeit zu wiederholen. Die Prüfung der Schweißer hat nach DIN EN ISO 9606-1 zu erfolgen einschließlich der Fachkundeprüfung und muss den wesentlichen Einflussgrößen nach DIN EN ISO 9606-1 Abschnitt 5 in Verbindung mit AD 2000-Merkblatt HP 3 genügen. Eine Verlängerung der Schweißerqualifikation muss nach DIN EN ISO 9606-1 Abschnitt 9.3 a) oder Abschnitt 9.3 b) erfolgen. Für Schweißungen aus Nickellegierungen ist DIN EN ISO 9606-4 anzuwenden einschließlich der Fachkundeprüfung.

c) Für das Bedienungspersonal vollmechanischer Schweißanlagen muss dem Sachverständigen mit einer Prüfung nach DIN EN ISO 14732 der Nachweis erbracht werden, dass das Personal ausreichende Kenntnisse für die Bedienung der Anlagen besitzt. Dieser Nachweis ist

ca) durch Einsatz an Verfahrens- oder vorlaufenden Arbeitsprüfungen nach DIN EN ISO 14732 Abschnitt 4.1 a)

oder

cb) als Prüfung vor Fertigungsbeginn nach DIN EN ISO 14732 Abschnitt 4.1 b)

zu erbringen. Bei Prüfungen entsprechend cb) gelten für Stahl der Prüfumfang nach DIN EN ISO 9606-1 Abschnitt 5.5 und die Anforderungen nach DIN EN ISO 9606-1 Abschnitt 7, für Nickellegierungen gelten der Prüfumfang nach DIN EN ISO 9606-4 Abschnitt 7.4 und die Anforderungen nach DIN EN ISO 9606-4 Abschnitt 8.

(3) Der Nachweis der Fachkenntnisse ist durch die Fachkundeprüfung nach DIN EN ISO 14732 Anhang B zu erbringen.

(4) Einrichtungen

Beim Einsatz von Schweißeinrichtungen müssen Geräte zur Überwachung der Schweißparameter vorhanden sein.

8.2.4 Voraussetzungen für die Durchführung von Lötarbeiten

Zur Durchführung von Hochtemperaturlötungen sind Wärmeinrichtungen erforderlich, in denen ein kontrolliertes Hochvakuum erzeugt werden kann, das ein anlauffarbenarmes Löten gestattet. Die Wärmeinrichtungen müssen mit schreibenden Temperatur-Zeit- und Vakuum-Zeit-Messgeräten ausgerüstet sein.

8.2.5 Voraussetzungen für die Durchführung von Wärmebehandlungen

(1) Die Wärmebehandlungseinrichtungen müssen eine ausreichende Genauigkeit und Gleichmäßigkeit der Temperaturführung im Werkstück für die gewählte Art der Wärmebehandlung ermöglichen. Dazu müssen schreibende Temperatur-Zeit-Messgeräte zur Verfügung stehen, die mindestens eine Genauigkeit von ± 10 K aufweisen.

(2) Bei ortsfesten Wärmebehandlungseinrichtungen, die für nicht mit Thermoelementen instrumentierte Bauteile eingesetzt werden, darf die letzte Prüfung nicht länger als 6 Monate zurückliegen. In diesem Fall ist die Anzeigenauigkeit der Messeinrichtung in Abständen von nicht mehr als 3 Monaten zu prüfen. Werden die Bauteile mit Thermoelementen bestückt, sind dagegen vor jeder Wärmebehandlung die Anzeigenauigkeit der Messeinrichtung und die Funktionsfähigkeit der Thermoelemente zu prüfen. Die letzte Prüfung der Temperaturmessgeräte darf nicht länger als 6 Monate zurückliegen.

(3) Bei ortsbeweglichen Wärmebehandlungseinrichtungen ist eine Funktionsprüfung nach jedem Transport durchzuführen. Sie darf zum Zeitpunkt der Benutzung der Anlage nicht länger als 6 Monate zurückliegen.

(4) Über die durchgeführten Prüfungen ist Protokoll zu führen. Die Protokolle sind beim Hersteller aufzubewahren.

8.2.6 Voraussetzungen für die Durchführung von zerstörungsfreien Prüfungen

Für die Prüfaufsicht, das Prüfpersonal und die Prüfeinrichtungen gelten die Festlegungen nach Abschnitt 7.

8.3 Fertigungsverfahren

8.3.1 Schweißen

8.3.1.1 Schweißtechnische Gestaltung

Bei der schweißtechnischen Gestaltung sind folgende Festlegungen zu berücksichtigen:

- Die Schweißverbindungen sind so auszubilden, dass sie im Hinblick auf die Durchführung der zerstörungsfreien Prüfungen gut zugänglich sind.
- Als Schweißnahtvorbereitung sollten Fugenformen gemäß DIN EN ISO 9692-1 und DIN EN ISO 9692-2 angewandt werden.
- Die Schweißnähte sollten durchgeschweißt werden.
- Kehlnähte sind, sofern konstruktions- und fertigungsbedingt möglich, so auszuführen, dass die Teile rundum verschweißt sind.
- Kreuzstöße, Eckstöße und Anhäufungen von Schweißnähten sollen, sofern es die Konstruktion ermöglicht, vermieden werden.
- Lage und Form der Schweißnähte sollen derart gestaltet werden, dass die aufgrund der Schweißung auftretenden Schrumpfungen und Spannungen möglichst gering sind.
- Die Schweißfolge ist so zu wählen, dass beim Schweißen die erforderliche Zugänglichkeit erhalten und die geforderten Toleranzen des Bauteils sichergestellt bleiben.
- Die Oberflächen der Schweißnähte müssen so ausgeführt sein, wie die Konstruktion oder die Durchführung zerstörungsfreier Prüfungen es gemäß **Tabelle 8-1** erfordern. Kerben nach **Bild 8-1** sind unzulässig. Schweißrandzonen und Raupenübergänge nach **Bild 8-1** sind zulässig, sofern die Bewertung der zerstörungsfreien Prüfungen nicht beeinträchtigt wird.

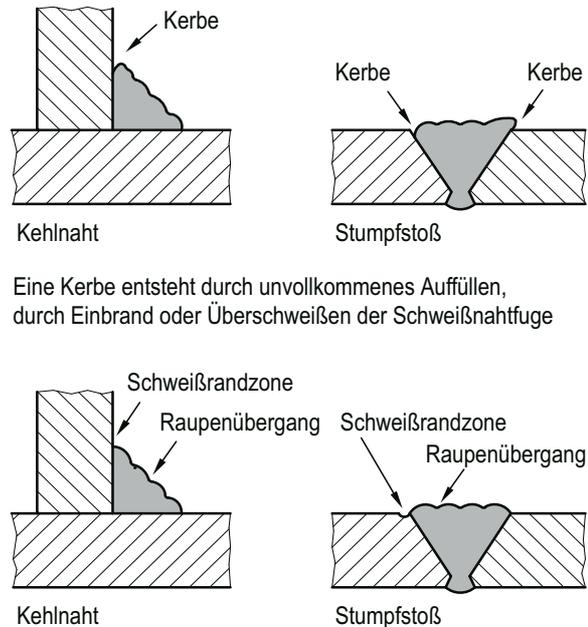


Bild 8-1: Erläuterung der Begriffe Kerbe, Schweißrandzone und Raupenübergang

8.3.1.2 Voraussetzungen zum Schweißen

- Mit dem Schweißen darf nur begonnen werden, wenn alle Prüfungen an den Erzeugnisformen und Schweißzusätzen nach Abschnitt 7 erfolgreich abgeschlossen und dokumentiert sind.
- Die Richtlinien der Schweißzusatzhersteller zur Lagerung und Handhabung der Schweißzusätze sind einzuhalten.
- Für alle Schweißungen ist ein Schweißplan (**Formblatt 5-3**) zu erstellen. Die Angaben zur Schweißnahtvorbereitung müssen entweder auf der Zeichnung oder im Schweißplan enthalten sein. Der Schweißplan darf als Standardplan erstellt werden.
- Für die Vorprüfung ist dem Schweißplan der Bericht des Herstellers zur Verfahrensprüfung mit der Bescheinigung des Sachverständigen beizufügen.
- Liegt zum Zeitpunkt der Vorprüfung keine gültige Verfahrensprüfung vor, sind
 - der vom Sachverständigen geprüfte Schweißplan und der Wärmebehandlungsplan für die noch durchzuführende Verfahrensprüfung vorzulegen und
 - der Bericht des Herstellers und die Bescheinigung des Sachverständigen über diese Verfahrensprüfung vor Beginn der Fertigung nachzureichen.
- Für alle Schweißungen am Bauteil müssen, abhängig von der Art der Schweißung, im Schweißplan (**Formblatt 5-3**) Angaben zu folgenden Punkten enthalten sein:
 - Nahtvorbereitung mit Schweißfugenform und Art der Bearbeitung der Fugenflanken,
 - Grundwerkstoff-Bezeichnung,
 - Nahtaufbau, gegebenenfalls Folge einzelner Schweißschritte,
 - Schweißprozess/Schweißprozesskombination,
 - Schweißparameter,
 - Schweißposition,
 - Schweißzusätze und -hilfsstoffe,
 - Trocknung der Schweißzusätze und -hilfsstoffe,
 - Wärmeführung vor, während und nach dem Schweißen,
 - Schweißverfahrensprüfung.

8.3.1.3 Vorbereitungen zum Schweißen

(1) Fugenflanken sollen spanend angearbeitet werden. Werden die Fugenflanken mit einem thermischen Verfahren angearbeitet, so sind sie spanend nachzuarbeiten.

(2) Die Schweißkanten müssen frei von Rost, Zunder, Farbe, Fett, Öl, Feuchtigkeit und anderen die Schweißung wesentlich beeinflussenden Verunreinigungen sein.

8.3.1.4 Anforderungen an die Schweißung

Die Schweißung muss die Anforderungen der Bewertungsgruppe B nach DIN EN ISO 5817 und die Anforderungen nach Abschnitt 8.9 erfüllen. Für Kehlnähte ist eine Prüfung auf innere Unregelmäßigkeiten nicht erforderlich. Darüber hinausgehende Forderungen an die Schweißnahtoberflächen gemäß **Tabelle 8-1** sind abhängig von der Ausführungsart einzuhalten.

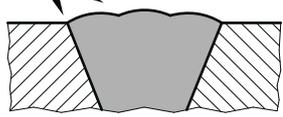
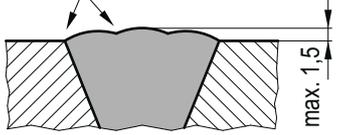
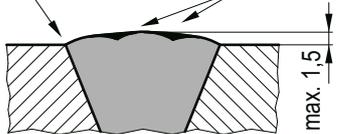
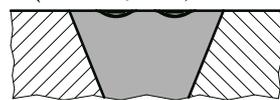
Ausführungsart	1	2	3
Anforderungen	Sichtprüfung	Oberflächenprüfung	Oberflächenprüfung und Durchstrahlungsprüfung
Aussehen der Schweißnähte (Decklagen)	<p>kleine Schlackenreste zulässig</p>  <p>Größere Unebenheiten der Schweißnahtoberfläche sind durch Schleifen zu egalisieren. Schweißspritzer sind zu entfernen.</p>	<p>bürsten oder strahlen</p>  <p>Größere Unebenheiten der Nahtoberfläche sind zu überschleifen. Schweißspritzer und Schlackenreste sind zu entfernen. Die Schweißrandzonen und Raupenübergänge sind zu bürsten oder zu strahlen.</p>	<p>bürsten oder strahlen</p>  <p>Größere Unebenheiten der Nahtoberfläche sind zu überschleifen. Schweißspritzer und Schlackenreste sind zu entfernen. Die Nahtüberhöhung zur Blechoberfläche darf 1,5 mm nicht überschreiten. Die Schweißrandzonen und Raupenübergänge sind zu bürsten oder zu strahlen.</p>
Ausführungsart	4	5	6
Anforderungen	Oberflächenprüfung und Durchstrahlungsprüfung	Oberflächenprüfung und Durchstrahlungsprüfung	Wiederkehrende Prüfungen
Aussehen der Schweißnähte (Decklagen)	<p>bürsten oder strahlen schweißen</p>  <p>Die Schweißnaht ist zu beschleifen, Schweißspritzer und Schlackenreste sind zu entfernen. Der Überstand zur Blechoberfläche darf 1,5 mm nicht überschreiten. Noch verbleibende Raupenübergänge sind auszuschiessen und auf die Nahthöhe niederzuschleifen. Die Schweißrandzonen sind zu bürsten oder zu strahlen.</p>	<p>bürsten oder strahlen schweißen</p>  <p>Die Schweißnaht ist bis auf die Blechoberfläche abzuschleifen. Sie darf keine Übergänge zwischen den Raupen aufweisen. Schweißspritzer und Schlackenreste sind zu entfernen. Noch verbleibende Raupenübergänge sind auszuschiessen und auf die Nahthöhe niederzuschleifen. Die Schweißrandzonen sind zu bürsten oder zu strahlen.</p>	<p>Zusätzlich zur Ausführungsart 4 oder 5 soll die großflächige Unebenheit (Welligkeit) bezogen auf eine Fläche von 50 mm · 50 mm max. 1 mm betragen. Im Bereich der Schweißrandzonen sowie der Raupenübergänge sind zusätzlich örtlich Vertiefungen von max. 0,5 mm zulässig.</p>

Tabelle 8-1: Ausführungsart der Schweißnahtoberflächen (Begriffe siehe Bild 8-1)

8.3.1.5 Durchführung der Schweißung

8.3.1.5.1 Allgemeingültige Festlegungen

(1) Die im Geltungsbereich der Verfahrensprüfung festgelegten Schweißbedingungen sind bei den Bauteilschweißungen einzuhalten.

(2) Zündstellen außerhalb der Schweißfuge sind zu vermeiden. Dennoch entstandene Zündstellen auf der Oberfläche des Bauteils sind zu beschleifen und die Schleifstellen einer Oberflächenprüfung zu unterziehen.

(3) Zum Vermeiden von Wolframeinschlüssen ist beim WIG-Schweißen der Kontakt der Elektrode mit dem Werkstück zum Zünden des Lichtbogens nicht zulässig. Es sind darum Zündgeräte einzusetzen, die ein berührungsloses Zünden des Lichtbogens erlauben.

(4) Beim UP-Schweißen soll ein Anfahren der Kontaktdüse oder Kontaktbacken an das Bauteil vermieden werden. Dennoch entstandene Beschädigungen sind zu beschleifen und die Schleifstellen einer Oberflächenprüfung zu unterziehen.

(5) Heftstellen sind bei durchgeschweißten Nähten im Zuge der Wurzelauaarbeitung zu entfernen. Bei einseitig durchgeschweißten Nähten ist das Überschweißen von Heftstellen dann zulässig, wenn Vorkehrungen getroffen werden, die einen einwandfreien Übergang der Wurzelschweißung zur Heftstelle sicherstellen.

(6) Nicht verbleibende Anschweißteile sollen aus artgleichem Werkstoff bestehen.

(7) Stellen entfernter Hilfsschweißungen sind zu beschleifen und einer Oberflächenprüfung zu unterziehen.

(8) Die vom Hersteller der Schweißzusätze empfohlenen und durch den Geltungsbereich der Verfahrensprüfung festgelegten Schweißparameterbereiche und Handhabungsrichtlinien sollen eingehalten werden.

(9) Für das Schweißen am Bauteil sind die gleichen Schweißgerätearten wie bei der Verfahrensprüfung zu verwenden, d.h. sie müssen gleiche

- a) Stromart,
- b) Polung,
- c) Art der Regelung bei vollmechanisierten Schweißverfahren aufweisen.

(10) Zur mechanischen Reinigung nichtrostender Bauteile verwendete Bürsten, Schlackenhämmer oder andere Reinigungsgeräte müssen aus nichtrostendem Stahl gefertigt sein.

(11) Kohleelektroden dürfen nicht eingesetzt werden.

(12) Die schweißtechnischen Einrichtungen und Hilfseinrichtungen (z. B. Stütz-, Spann- oder Abdeckeinrichtungen) sind so zu gestalten, dass fertigungsbedingte ferritische Verunreinigungen der Bauteile vermieden werden.

8.3.1.5.2 Schweißprotokolle

(1) Von der Schweißaufsicht sind während der Schweißarbeiten Schweißprotokolle nach Abschnitt 5 zu führen. Hierdurch ist insbesondere zu belegen, dass der Schweißplan bei der Fertigung eingehalten wurde.

(2) Änderungen und Besonderheiten müssen im Schweißprotokoll aufgenommen werden.

Hinweis:

Änderungen und Besonderheiten sind z. B.

- a) Wechsel der Schweißer,
- b) Wechsel der Schweißzusatzchargen,
- c) Ausfall der Schweißmaschine,
- d) Ausfall der Messgeräte,
- e) Zündstellen, die außerhalb der Schweißfuge liegen,
- f) Anfahren der Kontaktdüse oder Kontaktbacken,
- g) Ausfall der Schweißvorrichtungen,
- h) Überschreiten der zulässigen Toleranzen,
- i) Austausch des Schweißkopfes,
- j) Mängelbeseitigungen.

(3) Gleichartige Nähte am gleichen Bauteil, die zeitlich im gleichen Schweißprozess geschweißt werden, dürfen in einem Schweißprotokoll erfasst werden.

(4) Hilfsschweißungen zum Anbringen von nicht verbleibenden Anschweißteilen am Bauteil im Endzustand oder an Stellen mit einem Übermaß kleiner als 5 mm sollen in einem Maßprotokoll als Anlage zum Schweißprotokoll erfasst werden.

(5) Für Hilfsschweißungen an Stellen mit Übermaß, die später mindestens 5 mm mechanisch abgearbeitet werden, muss weder ein Schweißprotokoll noch ein Maßprotokoll geführt werden.

(6) Für jede im Schweißplan vorgesehene Schweißfolge und jede gleichartige Naht am gleichen Bauteil ist mindestens eine Eintragung im Schweißprotokoll vorzunehmen. Es sind jedoch mindestens 2 Eintragungen pro Schicht zu machen.

8.3.2 Hochtemperaturlöten

8.3.2.1 Voraussetzungen zum Hochtemperaturlöten

(1) Mit den Lötarbeiten darf nur begonnen werden, wenn alle Prüfungen an den Erzeugnisformen und Lötzusätzen nach Abschnitt 7 erfolgreich abgeschlossen und dokumentiert sind.

(2) Lötpläne müssen nach Abschnitt 5 erstellt sein.

8.3.2.2 Durchführung der Lötarbeiten

(1) Die im Geltungsbereich der Verfahrensprüfung festgelegten Lötbedingungen sind bei den Bauteillötungen einzuhalten.

(2) Die lötechnischen Einrichtungen und Hilfseinrichtungen sind so zu gestalten, dass fertigungsbedingte ferritische Verunreinigungen der Bauteile vermieden werden.

(3) Eine einmalige Wiederholung der Lötung ist zulässig.

(4) Die Lötarbeiten sind durch mitlaufende Fertigungsprüfungen zu überwachen.

8.3.2.3 Lötprotokolle

(1) Von der Aufsicht sind während der Lötarbeiten je Ofenlötung Lötprotokolle nach Abschnitt 5 zu führen. Hierdurch ist insbesondere zu belegen, dass der Lötplan bei der Fertigung eingehalten wurde.

(2) Besonderheiten müssen im Lötprotokoll aufgenommen werden.

Hinweis:

Besonderheiten sind z. B.

- a) Ausfall des Ofens,
- b) Ausfall der Messgeräte,
- c) zweimalige Lötung.

(3) Die Temperaturführung und das Vakuum sind während des Lötprozesses mitzuschreiben, die Aufzeichnungen sind dem Lötprotokoll beizulegen.

8.3.3 Hartauftragsschweißungen und thermische Spritzschichten

8.3.3.1 Voraussetzungen zum Hartauftragsschweißen und thermischen Spritzen

(1) Mit den Arbeiten zum Hartauftragsschweißen und zum thermischen Spritzen darf nur begonnen werden, wenn alle Prüfungen an den Erzeugnisformen und den Schweiß- oder Beschichtungszusätzen nach Abschnitt 7 erfolgreich abgeschlossen und dokumentiert sind.

(2) Fertigungs- und Prüffolgepläne sowie zusätzlich Schweißpläne beim Hartauftragsschweißen müssen nach Abschnitt 5 erstellt sein.

8.3.3.2 Durchführung der Hartauftragsschweißungen und des thermischen Spritzens

(1) Die im Geltungsbereich der Verfahrensprüfung zum Hartauftragsschweißen und die beim thermischen Spritzen festgelegten, hersteller- und schichtspezifischen Bedingungen sind bei der Bauteilbeschichtung einzuhalten.

(2) Die schweiß- und spritztechnischen Einrichtungen und Hilfseinrichtungen sind so zu gestalten, dass fertigungsbedingte ferritische Verunreinigungen der Bauteile vermieden werden.

(3) Eine zweimalige Wiederholung des thermischen Spritzens ist zulässig.

(4) Die Arbeiten zum thermischen Spritzen sind durch mitlaufende Fertigungsprüfungen zu überwachen.

8.3.3.3 Protokolle zum thermischen Spritzen

(1) Von der Aufsicht sind während der Arbeiten zum thermischen Spritzen Protokolle zu führen. Hierdurch ist insbesondere zu belegen, dass die Beschichtungsbedingungen bei der Fertigung eingehalten wurden.

(2) Besonderheiten müssen im Beschichtungsprotokoll aufgenommen werden.

Hinweis:

Besonderheiten sind z. B.

- a) Ausfall der Beschichtungseinheit,
- b) Ausfall der Messgeräte,
- c) erneute Beschichtung.

(3) Die Einhaltung der wesentlichen Prozessparameter des Beschichtungsprozesses ist im Beschichtungsprotokoll zu bestätigen.

8.3.4 Umformen und Richten

8.3.4.1 Warmumformen

(1) Beim Warmumformen sind die Festlegungen des Abschnitts 7 einzuhalten.

(2) Warmumgeformte Bauteile sind durch mitlaufende Probenstücke zu überwachen. Bei geschweißten, warmumgeformten Bauteilen muss das Probenstück eine Schweißnaht mit dem gleichen Umformgrad enthalten. Es ist je Schmelze und Umformlos ein Probenstück erforderlich.

(3) Die Prüfungen an den Probenstücken sind nach den Festlegungen des Abschnitts 7 zu wiederholen. Hiervon ausgenommen ist die chemische Analyse. Bei geschweißten, warmumgeformten Bauteilen ist die Erprobung der Schweißverbindungen nach Abschnitt 8.6 durchzuführen. Hiervon ausgenommen ist die chemische Analyse des Schweißguts.

8.3.4.2 Kaltumformen

(1) Unter Kaltumformen von austenitischen Stählen wird das Umformen bei Temperaturen zwischen Raumtemperatur und 400 °C verstanden.

(2) Beim Kaltumformen von austenitischen Stählen im abgeschreckten oder stabilgeglühten Zustand sind grundsätzlich die folgenden Bedingungen einzuhalten:

- a) tragende Bauteile
 - aa) Kaltverformung größer als 15 %:
Nachweis einer Restbruchdehnung A gleich oder größer als 15 % erforderlich.
 - ab) Kaltverformung gleich oder kleiner als 15 %, ermittelte Bruchdehnung A gleich oder kleiner als 30 % am Ausgangswerkstoff:
Nachweis einer Restbruchdehnung A gleich oder größer als 15 % erforderlich.
 - ac) Kaltverformung gleich oder kleiner als 15 %, ermittelte Bruchdehnung A größer als 30 % am Ausgangswerkstoff:
Kein Nachweis erforderlich.
 - b) nichttragende Bauteile:
Keine Einschränkungen.
 - c) Bei kaltgebogenen Rohren muss der mittlere Biegeradius größer als oder gleich 1,3 mal Außendurchmesser sein.
 - d) Bei SWR-Anlagen ist bei einer Gefährdung durch korrosionsgestützte Rissbildung die Kaltverformung auf einen Wert gleich oder kleiner als 5 % zu begrenzen. Diese Festlegung gilt nicht für Verbindungselemente und dünnwandige Bauteile, an denen nicht geschweißt wird.
- (3) Beim Kaltverformen sonstiger Werkstoffe für tragende Bauteile sind die Bedingungen mit dem Anlagenlieferer und dem Sachverständigen zu vereinbaren.

8.3.4.3 Flammrichten

Beim Flammrichten an austenitischen Stählen sind die folgenden Bedingungen einzuhalten:

- a) Bei der Erwärmung ist eine Aufkohlung des Werkstoffes zu verhindern.
Hinweis:
Der Azetylenbrenner ist neutral oder mit Sauerstoffüberschuss einzustellen.
- b) Das Flammrichten ist bei Temperaturen bis maximal 750 °C durchzuführen.
- c) Die Summe der Haltezeiten soll 10 Minuten nicht überschreiten.

8.3.4.4 Bescheinigungen

Über die durchgeführten Umformarbeiten ist vom Hersteller ein Protokoll unter Angabe

- a) der benutzten Wärme- und Umformeinrichtungen,
 - b) der Umformschritte,
 - c) der Temperaturführung und deren Überwachung beim Umformen,
 - d) der Prüfergebnisse der mitlaufenden Probenstücke beim Warmumformen
- zu erstellen.

8.3.5 Reinigung, Reinheitsprüfungen und Anforderungen an die Oberflächenbeschaffenheit

8.3.5.1 Reinigung

8.3.5.1.1 Reinigungsverfahren

Zur Reinigung von Bauteilen der Reaktordruckbehälter-Einbauten aus austenitischen Cr-Ni-Stählen, Cr-Stählen und Nickellegerungen sind mechanische und chemische Reinigungsverfahren zulässig.

8.3.5.1.2 Reinigungspläne

(1) Vor der Durchführung von Reinigungen sind vom Hersteller Reinigungspläne zu erstellen.

(2) Die Reinigungspläne müssen mindestens enthalten:

- a) Bauteile mit Werkstoffangabe,
- b) Reinigungsablauf,
- c) Reinigungsmittel und deren Konzentration,
- d) Einwirkzeiten der Reinigungsmittel,
- e) Behandlungstemperaturen,
- f) Reinheitsprüfungen.

8.3.5.1.3 Durchführung der Reinigung und Anforderungen an die Reinigungsmittel

(1) Mechanische Reinigung

- a) Strahlen
Als Strahlmittel dürfen z. B. verwendet werden:
 - aa) Edelmetall Typ WA 0,2 bis 0,5 nach DIN EN ISO 11126-7.
 - ab) Glasperlen MGL 0,14 bis 0,4 nach DIN 8201-7.
- b) Schleifen
Als Schleifmittel sollen Einkristallkorund und Edelmetallrubin verwendet werden.
- c) Bürsten
Es sind nur Bürsten mit Borsten aus austenitischem Cr-Ni-Stahl ohne ferritische Verunreinigungen zulässig.

(2) Chemische Reinigung

- a) Entfettung
 - aa) Bei wässrigen alkalischen oder polyphosphathaltigen Entfettungsmitteln ist für die gebrauchsfertige Lösung der Gehalt an wasserlöslichen Chloriden auf maximal 50 mg/kg zu begrenzen.
 - ab) Chlor/Fluor-Kohlenwasserstoffe (z. B. Trichlortrifluoräthan) sind auf folgende Werte zu begrenzen:

Abdampfrückstand:	≤ 2	mg/kg
Wasserlösliche Chloride:	≤ 0,5	mg/kg
Säurezahl:	≤ 0,002	mg KOH/g
pH-Wert:	< 5	

- ac) Stabilisierte Chlorkohlenwasserstoffe sind auf folgende Werte zu begrenzen:
- | | |
|---|---------------|
| pH-Wert: | ≥ 8,5 |
| Wert des Säureaufnahmevermögens (SAV-Wert): | ≥ 0,06 % NaOH |
- ad) Es dürfen keine nichtstabilisierten Chlorkohlenwasserstoffe eingesetzt werden.
- b) Beizen
- Es dürfen nur austenitische Cr-Ni-Stähle und die Nickellegierung NiCr 15 Fe (Werkstoff-Nr. 2.4816 gemäß Abschnitt 7) sowie artgleiche Schweißzusätze gebeizt werden.
- Beim Einsatz von wässrigen Lösungen sind nur solche auf der Basis Salpetersäure zulässig. Der Anteil an Flusssäure darf maximal 3 Gewichts-Prozent betragen.
- Die Beizlösung darf folgende Werte nicht überschreiten:
- | | |
|--------------|------------|
| Chlorid: | ≤ 50 mg/kg |
| Sulfid: | ≤ 5 mg/kg |
| Eisengehalt: | ≤ 8 g/kg |
- Bei Einsatz von Beizpasten darf der Flusssäuregehalt auf 4,5 Gewichts-Prozent angehoben werden.
- Die Beizzeit ist auf ein Mindestmaß zu beschränken.
- Die Lösungstemperatur darf 30 °C nicht überschreiten.
- c) Passivieren
- Es müssen wässrige Salpetersäurelösungen unter Einhaltung folgender Werte eingesetzt werden:
- | | |
|----------|------------|
| Chlorid: | ≤ 50 mg/kg |
| Sulfid: | ≤ 5 mg/kg |
- Der Anteil der Salpetersäure muss zwischen 10 und 30 Gewichts-Prozent liegen.
- Die Behandlungsdauer soll mindestens 30 Minuten bei Raumtemperatur betragen.
- (3) Spülen
- a) Vorspülung
- Zum Vorspülen muss Wasser eingesetzt werden, das klar, farb- und geruchslos ist und folgende Werte nicht überschreitet:
- | | |
|----------------|-----------------------|
| Leitfähigkeit: | ≤ 600 µS/cm bei 25 °C |
| Chlorid: | ≤ 50 mg/kg |
| Sulfat: | ≤ 250 mg/kg |
- b) Endspülung
- Für die Endspülung ist vollentsalztes Wasser (Deionat) oder destilliertes Wasser (Kondensat) zu verwenden, das klar, farb- und geruchslos sein muss und folgende Werte nicht überschreitet:
- | | |
|----------------|----------------------|
| Leitfähigkeit: | ≤ 10 µS/cm bei 25 °C |
| Chlorid: | ≤ 0,5 mg/kg |
| Sulfat: | ≤ 0,5 mg/kg |
- Die Endspülung muss sofort nach der Vorspülung erfolgen (nass in nass). Es ist solange zu spülen, bis der Leitfähigkeitsanstieg des abfließenden Spülwassers gegenüber dem Ausgangswasser nicht mehr als 2 µS/cm beträgt.

8.3.5.2 Reinheitsprüfungen und Anforderungen an die Oberflächenbeschaffenheit

8.3.5.2.1 Allgemeingültige Festlegungen

Nach Durchführung der Reinigung sind die Prüfungen gemäß **Tabelle 8-2** durchzuführen.

8.3.5.2.2 Ferritnachweis

- (1) Zum Prüfen auf ferritische Verunreinigungen sind nachfolgende Verfahren mit den genannten Abnahmekriterien zulässig.

- (2) Die festgelegten Abnahmekriterien gelten nicht für Kleinteile wie Schrauben, Stifte, Sicherungsbleche usw. Diese müssen anzeigefrei sein.

8.3.5.2.3 Wasserbehandlung

- (1) Die Wasserbehandlung darf während der Vor- und Endspülung erfolgen. Die Bauteiloberflächen sind mindestens 6 Stunden ununterbrochen mit Wasser zu befeuchten. Das eingesetzte Wasser muss die in Abschnitt 8.3.5.1.3 (3) angegebenen Grenzwerte einhalten. Das Befeuchten darf durch Berieseln, Besprühen oder Tauchen erfolgen. Die Beurteilung hat an der trockenen Bauteiloberfläche nach der Endspülung zu erfolgen.

Hinweis:

Bei Anwesenheit von Fremdferrit auf der Bauteiloberfläche entstehen an mit Ferritpartikeln behafteten Stellen örtlich begrenzte rostbraune Anzeigen.

- (2) Ferritische Verunreinigungen sind nur zulässig, wenn
- mindestens 75 % der Oberfläche, eingeteilt in 1 dm² große Flächenabschnitte, anzeigefrei sind,
 - die Ausdehnung der Anzeigen maximal 3 mm beträgt,
 - maximal 5 zulässige Anzeigen auf einem Flächenabschnitt von 1 dm² vorhanden sind.

8.3.5.2.4 Ferritindikator-Test

Hinweis:

Der Ferritindikator-Test dient zur örtlich begrenzten Stichprobenkontrolle an Bauteilen aus austenitischem Cr-Ni-Stahl und Nickellegierungen zum Nachweis auf ferritische Verunreinigungen.

- (1) Der Ferritindikator-Test darf nicht bei Bauteilen aus Cr-Stählen angewendet werden. In diesen Fällen ist die Prüfung durch eine Wasserbehandlung nach Abschnitt 8.3.5.2.3 durchzuführen.

- (2) Es sind folgende Lösungen für den Ferritindikator-Test vorzubereiten:

- Lösung A: 10 g K₄Fe(CN)₆ (Kaliumhexacyanoferrat II)
50 ml destilliertes Wasser
3 Tropfen Netzmittel (Entspannungsmittel)
- Lösung B: 50 ml destilliertes Wasser
15 ml HNO₃ (65 gewichtsprozentige Salpetersäure)

- (3) Die Lösungen sind getrennt anzusetzen und aufzubewahren.

- (4) Von den 2 Lösungen sind vor der Prüfung gleiche Mengen miteinander zu vermischen. Der Indikator soll hierauf sofort eingesetzt werden.

- (5) Die angesetzte Indikatorlösung muss nach ca. 2 Stunden wieder frisch angesetzt werden, da sie durch Eigenzersetzung blau wird.

- (6) Um Fehlanzeigen zu vermeiden, muss nach einer mechanischen Oberflächenbehandlung (z. B. Bürsten, Schleifen, Drehen, Strahlen) passiviert oder mindestens 24 Stunden gewartet werden, ehe eine Ferritprüfung durchgeführt wird.

- (7) Die Beurteilung hat nach etwa 30 bis 60 Sekunden zu erfolgen.

Hinweis:

Bei Anwesenheit von Ferrit auf der Bauteiloberfläche findet ein Farbumschlag nach blau statt. Dieser Farbumschlag tritt nur örtlich an den mit Ferritpartikeln behafteten Stellen ein.

- (8) Anzeigen, die auf Beizmittelrückstände hinweisen (durch großflächige Blaufärbung angezeigt), sind nicht zulässig.

- (9) Nach der Prüfung sind die geprüften Oberflächenbereiche sofort von der Indikatorlösung zu reinigen und mit Wasser gemäß Abschnitt 8.3.5.1.3 (3) b) (Endspülung) nachzuspülen.

- (10) Folgende ferritische Verunreinigungen sind zulässig:

- Ausdehnung der Anzeigen maximal 3 mm,
- maximal 5 zulässige Anzeigen auf einem Flächenabschnitt von 1 dm².

Art der Prüfung	Prüfung auf
Ferritnachweis a) Wasserbehandlung oder b) Ferritindikatortest	ferritische Verunreinigungen
Besichtigung	a) Verunreinigungen b) Beizschäden c) Anlauffarben

Tabelle 8-2: Durchzuführende Prüfungen nach der Reinigung

8.3.5.2.5 Prüfung der Oberflächenbeschaffenheit

(1) Durch eine Besichtigung ist nachzuweisen, dass die Oberflächen frei von sichtbaren Verunreinigungen (z. B. Fette, Öle, Bearbeitungs-, Strahlmittel-, Reinigungsmittel- und Kalkrückstände), Korrosionsprodukten und metallischen Rückständen sind und keine Beizschäden und unzulässige Anlauffarben aufweisen.

(2) Anlauffarben an Schweißnähten sind bis zu einer mittelblauen Färbung entsprechend den Anlauffarben 1 bis 3 nach DIN 25410 Bild F.1 zulässig. Anlauffarben nach dem Schleifen sind unzulässig.

Hinweis:

Werkstoffspezifische Passiv- oder Schutzschichten sind nicht als Verunreinigungen zu betrachten und müssen nicht entfernt werden.

8.4 Wärmebehandlung

8.4.1 Allgemeingültige Festlegungen

(1) Die Auswahl der Bauteile für Spannungsarmglühungen obliegt dem Hersteller. Sonstige Wärmebehandlungen sind mit dem Anlagenlieferer und Sachverständigen für Bauteile der Anforderungsstufe AS-RE 1 und mit dem Anlagenlieferer für Bauteile der Anforderungsstufen AS-RE 2 und AS-RE 3 abzustimmen.

(2) Bauteile oder Baugruppen sind grundsätzlich im Ganzen wärmezubehandeln. Örtliche Wärmebehandlungen sind zulässig, wenn schroffe Temperaturübergänge vermieden werden. Die einzuhaltende Temperaturverteilung ist im Wärmebehandlungsplan anzugeben.

(3) Für die Temperaturkontrolle während der Wärmebehandlung sind Thermoelemente am Bauteil oder an Vergleichsstücken anzubringen. Für kleinere Teile genügt eine Instrumentierung der Öfen, z. B. mit nachfahrbaren Thermoelementen.

(4) Für jede Wärmebehandlung ist eine Temperatur-Zeit-Aufzeichnung mit selbstschreibenden Instrumenten durchzuführen.

(5) Wärmebehandlungspläne müssen nach Abschnitt 5 erstellt sein.

8.4.2 Durchführung der Wärmebehandlung

(1) Als Wärmebehandlung von nichtrostenden austenitischen Stählen zum Abbau von Spannungen und zur Sicherstellung ausreichender Formstabilität darf ein Spannungsarmglühen durchgeführt werden.

(2) Die Spannungsarmglühtemperatur beträgt 580 °C + 10 K/- 20 K. Als Haltezeit für das Teil auf dieser Temperatur sind mindestens 30 Minuten vorzusehen.

(3) Die Aufheiz- und Abkühlgeschwindigkeit soll 20 K/h bis 70 K/h betragen.

8.4.3 Bescheinigungen

(1) Über jede Wärmebehandlung ist vom Hersteller ein Protokoll mit folgenden Angaben auszustellen:

- Bestätigung der Einhaltung der im Wärmebehandlungsplan enthaltenen Angaben,
- benutzte Wärmebehandlungseinrichtung mit Art der Beheizung und Angabe der Ofenatmosphäre,
- Lage der Bauteile und eventueller Prüfstücke sowie Angabe der Messverfahren,
- Auswertung der Original-Temperatur-Zeit-Aufzeichnung durch Darstellung in Kurzform.

(2) Für örtliche Wärmebehandlungen sind zusätzliche Angaben über die erwärmten Zonen und Temperaturgradienten erforderlich.

8.5 Mängelbeseitigung

8.5.1 Allgemeingültige Festlegungen

Hinweis:

Mängelbeseitigungen - das sind Maßnahmen zur Beseitigung von Mängeln an Grundwerkstoffen, Schweißnähten und Auftragungen (z. B. Schweißplattierungen) durch Reparaturen, Ausbesserungen oder mechanisches Nacharbeiten.

(1) Der Zeitpunkt für die Durchführung von Mängelbeseitigungen ist vom Hersteller so festzulegen, dass

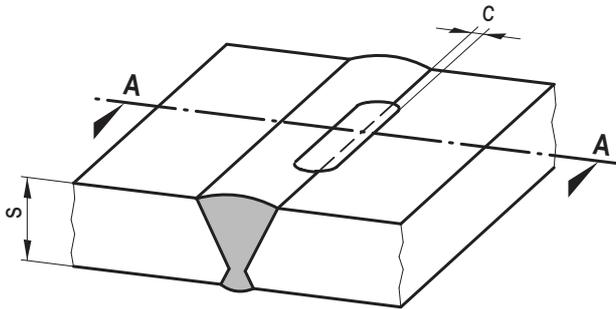
- die Qualität des Bauteils sichergestellt bleibt und
- die vorgesehenen Bauprüfungen uneingeschränkt durchgeführt werden können.

(2) Wird hierdurch die im Prüffolgeplan (PFP) vorgesehene Prüffolge geändert, ist dies in Spalte „Bemerkungen“ des PFP zu vermerken.

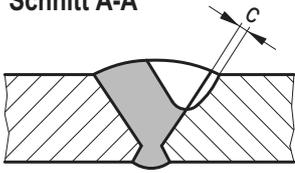
(3) Bei Abweichungen von den Forderungen der Fertigungsunterlagen ist gemäß Abschnitt 5 vorzugehen:

- Mechanisches Nacharbeiten
Mängelbeseitigungen ohne Anwendung von Schweißverfahren sind unter folgenden Bedingungen als mechanische Nacharbeit durchzuführen: Einhaltung der in den Fertigungsunterlagen angegebenen Anforderungen.
- Ausbesserungen
Mängelbeseitigungen durch Schweißen an Schweißnähten und Auftragungen sind unter folgenden Bedingungen als Ausbesserungen durchzuführen:
 - Beibehaltung der Bedingungen gemäß den Unterlagen für das Schweißverfahren und
 - keine Überschreitung der in **Bild 8-2** angegebenen Werte (c) für die Änderung der Schweißnaht-Ist-Geometrie.
- Reparaturen
Mängelbeseitigungen durch Schweißen sind unter folgenden Bedingungen als Reparaturen durchzuführen:

- ca) Abänderung der Bedingungen gemäß den Unterlagen für das Fertigungsverfahren,
- cb) Überschreitung der in **Bild 8-2** angegebenen Werte (c) für die Änderung der Schweißnaht-Ist-Geometrie,
- cc) Mängelbeseitigung an Grundwerkstoffen.



Schnitt A-A



s	c
< 10 mm	max. 1 mm
≥ 10 mm	0,1 · s jedoch max. 3 mm

Bild 8-2: Änderung der Schweißnaht-Ist-Geometrie**8.5.2** Fertigungsunterlagen für Mängelbeseitigungen

(1) Bei Mängelbeseitigungen als Reparaturen sind mindestens die in Abschnitt 4 genannten Herstellungsunterlagen gemäß Abschnitt 5 zu erstellen:

- a) Reparatur-Prüfplan (Reparatur-PFP) und
- b) Reparatur-Schweißplan (Reparatur-SP).

(2) Der Reparatur-PFP ist mit den zugeordneten Plänen einschließlich der Mängelbeschreibung dem Sachverständigen zur Prüfung vorzulegen. Reparaturen dürfen nur nach vorgeprüften Reparaturplänen durchgeführt werden.

(3) Reparatur-PFP und -SP für typische Reparaturen dürfen vor Fertigungsbeginn erstellt werden und vorgeprüft beim Hersteller vorliegen.

(4) Bei mechanischer Nacharbeit und bei Ausbesserungen sind keine zusätzlichen Fertigungsunterlagen erforderlich.

8.5.3 Durchführung der Mängelbeseitigungen

Folgende Bedingungen sind bei der Durchführung von Mängelbeseitigungen einzuhalten:

(1) Mechanische Nacharbeit

- a) Die festgestellten Fehler sind der unabhängigen Qualitätsstelle des Herstellers mitzuteilen.
- b) Nach dem Ausarbeiten der Fehler ist ein sanfter Übergang der entstandenen Vertiefungen in allen Richtungen zu den umgebenden Oberflächen zu schaffen.
- c) Die Oberflächenform und der Oberflächenzustand dürfen die anschließend durchzuführenden Prüfungen oder die Funktion des Bauteils nicht beeinträchtigen.
- d) Es müssen alle zerstörungsfreien Prüfungen, deren Ergebnisse durch Materialabtragungen nicht mehr gültig sind, wiederholt werden.

(2) Ausbesserungen

- a) Im Schweißprotokoll sind Größe und Lage der ausgearbeiteten Fehlerstellen festzuhalten, sofern deren Tiefe mehr als 10 % der Wanddicke betragen.

b) Bei mehr als zweimaliger Ausbesserung an derselben Stelle ist das Ausbesserungsverfahren zu prüfen.

c) An den ausgebesserten Stellen sind die im PFP aufgeführten Bauprüfungen durchzuführen.

(3) Reparaturen

a) Die festgestellten Fehler sind der Schweißaufsicht und der unabhängigen Qualitätsstelle des Herstellers mitzuteilen.

b) Es sind Protokolle über Größe und Lage der ausgearbeiteten Fehlerstellen zu erstellen.

c) Bei mehr als zweimaliger Reparatur ist das Reparaturverfahren zu überprüfen.

d) An den reparierten Stellen sind die im Reparatur-PFP aufgeführten Bauprüfungen durchzuführen.

e) Nach dem Schweißen am Grundwerkstoff ist mindestens eine Oberflächenprüfung durchzuführen. Gegebenenfalls sind, abhängig vom Umfang und der Geometrie der Reparatur, weitere Prüfungen in den Reparatur-PFP festzulegen.

8.5.4 Dokumentation der Mängelbeseitigungen

Über alle erforderlichen Prüfungen sind vom Hersteller Prüfprotokolle zu erstellen und in die Dokumentation aufzunehmen.

8.6 Verfahrensprüfungen für Schweißen, Hochtemperaturlöten, Hartauftragsschweißen und thermisches Spritzen**8.6.1** Allgemeingültige Festlegungen

(1) Der Hersteller von Komponenten der Anforderungsstufen AS-RE 1 und AS-RE 2 hat vor Fertigungsbeginn dem Sachverständigen durch eine Verfahrensprüfung nachzuweisen, dass das vorgesehene Schweiß-, Löt-, Hartauftragungs- oder Spritzverfahren gemäß den nachstehenden Anforderungen beherrscht wird. Die Verfahrensprüfungen sind bei Schweiß- oder Lötverfahren gemäß den Abschnitten 8.6.4.3 bis 8.6.4.5 und 8.6.4.9 in Anwesenheit des Sachverständigen und der Schweißaufsicht des Herstellers und bei Verfahrensprüfungen gemäß den Abschnitten 8.6.4.6 bis 8.6.4.8 und 8.6.4.10 in Anwesenheit des Anlagenlieferers und der Schweißaufsicht oder der Spritzaufsichtsperson des Herstellers durchzuführen.

(2) Art und Umfang der Verfahrensprüfung haben sich nach den schweiß- und löstechnischen Aufgaben des Herstellers zu richten. Die Verfahrensprüfung ist abzustimmen auf:

- a) die zu verwendenden Werkstoffe,
- b) das angewandte Verfahren,
- c) die verfahrenstechnischen Bedingungen,
- d) die verfahrenstechnischen Parameterbereiche,
- e) die Abmessungen der Bauteile,
- f) die Zusätze (Typ und Abmessungen),
- g) die Fugenform und Stoßart,
- h) den Nahtaufbau,
- i) die Schweißpositionen und
- k) die für das Bauteil vorgesehene Wärmebehandlung.

(3) Vor Durchführung der Verfahrensprüfung sind folgende Unterlagen vom Hersteller anzufertigen:

- a) Prüfplan,
- b) Schweiß- oder Lötplan,
- c) Probenentnahmeplan, sofern nicht durch die **Bilder 8-3 bis 8-11** abgedeckt,
- d) Wärmebehandlungsplan, soweit erforderlich.

(4) Diese Unterlagen müssen den Festlegungen des Abschnitts 5 genügen.

(5) Die schriftliche Stellungnahme nach Abschnitt 8.6.5 soll vor Fertigungsbeginn vorliegen.

8.6.2 Geltungsbereich der Verfahrensprüfung

8.6.2.1 Allgemeingültige Festlegungen

(1) Der Geltungsbereich einer Verfahrensprüfung ist in der schriftlichen Stellungnahme nach Abschnitt 8.6.5 festzulegen.

(2) Bei Schweißarbeiten gilt die für ein Herstellerwerk gültige Verfahrensprüfung auch für Schweißarbeiten, welche außerhalb des Werks (z. B. auf Montagestellen) ausgeführt werden, wenn das Schweißpersonal des Herstellers gemäß Abschnitt 8.2 eingesetzt wird.

8.6.2.2 Werkstoffe

(1) Bei nichtrostenden austenitischen Stählen und bei Nickellegierungen ist der Geltungsbereich der Verfahrensprüfung bezüglich der Grundwerkstoffe durch den Anwendungsbereich der Eignungsprüfung der verwendeten Schweißzusätze gegeben.

(2) Typengleiche Schweißzusätze dürfen ausgetauscht werden. Der Geltungsbereich der Verfahrensprüfung darf bei der Verwendung typengleicher Schweißzusätze gemäß dem Anwendungsbereich der Eignungsprüfung dieser Schweißzusätze erweitert werden.

(3) Bezüglich der Verbindungen zwischen nichtrostenden austenitischen Stählen und Nickellegierungen ist der Geltungsbereich der Verfahrensprüfung auf die bei der Prüfung verwendeten Schweißzusätze zu beschränken. Ein Austausch von austenitischen Stählen nach Abschnitt 7 ist zulässig.

(4) Bezüglich der hochtemperaturgelöteten Verbindungen und der thermisch gespritzten Schichten ist der Geltungsbereich der Verfahrensprüfung für den Grundwerkstoff auf die bei der Verfahrensprüfung verwendeten Grundwerkstoffe beschränkt.

8.6.2.3 Schweißverfahren und Schweißbedingungen

(1) Das bei der Verfahrensprüfung angewendete Schweißverfahren einschließlich der Schweißbedingungen ist bei der Bauteilschweißung einzuhalten.

(2) Im Falle erschwerender Bedingungen (z. B. bei beengten Platzverhältnissen und Schweißen in Zwangslage) sind die Verfahrensprüfungen diesen Bedingungen anzupassen.

(3) Liegen bereits abgeschlossene Verfahrensprüfungen vor, so dürfen bei erschwerenden Bedingungen Ergänzungsprüfungen durchgeführt werden.

8.6.2.4 Lötverfahren und Lötbedingungen

Das bei der Verfahrensprüfung angewendete Lötverfahren einschließlich der Lötbedingungen ist bei der Bauteillötung einzuhalten.

8.6.2.5 Thermische Spritzverfahren und Spritzbedingungen

Das bei der Verfahrensprüfung angewendete Spritzverfahren einschließlich der Spritzbedingungen ist bei der Bauteilbeschichtung einzuhalten.

8.6.2.6 Abmessungen

(1) Abmessungen bei durchgeschweißten Schweißnähten

Die Abmessung des Prüfstücks einer Verfahrensprüfung grenzt den Geltungsbereich dieser Verfahrensprüfung für Bauteilschweißungen anderer Abmessungen wie folgt ein:

- a) Für eine bei der Verfahrensprüfung verwendete Wanddicke s gleich oder kleiner als 100 mm des Prüfstücks gilt die abgelegte Prüfung:
 - aa) bei mehrlagig ausgeführten Lichtbogen-Handscheidungen für den Wanddickenbereich von $0,75 \cdot s$ bis $1,5 \cdot s$,
 - ab) beim UP-Engspaltschweißen für den Wanddickenbereich von $0,5 \cdot s$ bis $1,25 \cdot s$,
 - ac) bei Sonderschweißverfahren für den Wanddickenbereich von $0,75 \cdot s$ bis $1,25 \cdot s$.
 - ad) bei einlagig ausgeführten Lichtbogenschweißungen für den zwischen Hersteller und Sachverständigem zu vereinbarenden Wanddickenbereich.
- b) Eine an einem Prüfstück mit einer Wanddicke s größer als 100 mm abgelegte Verfahrensprüfung gilt
 - ba) für eine teil- oder vollmechanische Schweißung für den Wanddickenbereich $0,5 \cdot s$ bis $1,5 \cdot s$,
 - bb) für eine Lichtbogen-Handscheidung für den zwischen Hersteller und Sachverständigem zu vereinbarenden Wanddickenbereich,
- c) Für einen bei der Verfahrensprüfung für Rundnähte verwendeten Rohrdurchmesser d gilt die Verfahrensprüfung:
 - ca) bei Handscheidungen mit
 - caa) d gleich oder kleiner als 168,3 mm für Rohrdurchmesser $0,5 \cdot d$ bis $2,0 \cdot d$,
 - cab) d größer als 168,3 mm für alle Rohrdurchmesser gleich oder größer als $0,5 \cdot d$,
 - cb) bei teil- oder vollmechanisierten Schweißungen mit
 - cba) d gleich oder kleiner als 168,3 mm für Rohrdurchmesser $1,0 \cdot d$ bis $2,0 \cdot d$,
 - cbb) d größer als 168,3 mm für alle Rohrdurchmesser gleich oder größer als $1,0 \cdot d$.
- (2) Abmessungen bei nicht durchgeschweißten Schweißnähten, Lötverbindungen, Hartplattierungen, thermischen Spritzschichten und anderen Schweißverbindungen
 - a) Die Abmessungen des Prüfstücks dürfen im Hinblick auf den Geltungsbereich der Verfahrensprüfung beliebig gewählt werden, sofern in Abschnitt 8.6.4 nichts anderes festgelegt ist.
 - b) In Bezug auf die Verfahrensprüfung nach Abschnitt 8.6.4.5 müssen die Abmessungen des Bauteils mit den Abmessungen des Prüfstücks bezüglich der Lötverbindung übereinstimmen.
 - c) In Bezug auf Abschnitt 8.6.4.10 gilt die an den Blechdicken s_1 und s_2 abgelegte Prüfung nur für diese Blechdicken.

8.6.2.7 Schweiß- und Lötzusätze, Spritzpulver

(1) Die bei der Verfahrensprüfung verwendeten Schweiß- und Lötzusätze (Stabelektrode einschließlich Umhüllungstyp, Band- oder Drahtelektrode, Schweißdraht und Schweißstab, Schutzgase und Schweißpulver, Lote und Bindemittel sowie Spritzpulver) sind bei der Bauteilschweißung, -lötung oder -beschichtung zu verwenden. Soweit die Schweiß- und Lötzusätze typengleich und eignungsgeprüft sind, ist bei einem Wechsel der Firmenmarke keine erneute Verfahrensprüfung erforderlich. Ein Austausch von basischem und rutilum Umhüllungstyp der Stabelektroden ist für Schweißungen in Decklage zulässig.

(2) Es ist zulässig, bei der Bauteilschweißung den Nenn Durchmesser für die Stabelektrode und den Schweißstab bei WIG-Schweißungen um eine Stufe höher oder niedriger einzusetzen als bei der Verfahrensprüfung. Bei Kehlnahtschweißungen ist für die erste Lage nur ein Austausch um eine Stufe niedriger zulässig.

(3) Nur das bei der Verfahrensprüfung verwendete Lot- oder Bindemittel darf bei der Bauteillötung eingesetzt werden.

(4) Für Schutzgase ist ein Wechsel der Lieferfirma erlaubt, wenn die Gleichheit der Schutzgasanalyse sichergestellt ist.

(5) Nur die bei der Verfahrensprüfung für die UP-Schweißung verwendete Draht-Pulver-Kombination darf bei der Bauteilschweißung verwendet werden, wobei ein Austausch von Draht- oder Bandedelektroden gleichen Typs von verschiedenen Herstellern zulässig ist.

(6) Beim Pulver für UP-Schweißungen oder thermische Spritzschichten ist die Verwendung auf die gleiche Pulversorte eines bestimmten Herstellers beschränkt.

8.6.2.8 Fugenformen und Stoßarten bei Schweißungen und Lötungen

(1) Die bei der Verfahrensprüfung geschweißten Fugenformen und Stoßarten sind auf die Bedingungen der vorgesehenen Fertigung abzustimmen. Außergewöhnliche Bedingungen (z. B. Behinderungen beim Schweißen) sind zu berücksichtigen.

(2) Die bei der Verfahrensprüfung gewählte Nahtgruppe darf andere Nahtgruppen bei der Bauteilschweißung gemäß **Tabelle 8-3** einschließen.

(3) Liegen bereits abgeschlossene Verfahrensprüfungen vor, so dürfen bei Fugenformen, die nicht in der **Tabelle 8-3** aufgeführt sind, Ergänzungsprüfungen durchgeführt werden. Diese sind mit dem Sachverständigen festzulegen.

(4) Maßliche Abweichungen des Öffnungswinkels oder Kehlwinkels von der bei der Verfahrensprüfung vorliegenden Fugenform sind bei der Bauteilschweißung bis zu den Werten nach **Tabelle 8-4** zulässig.

(5) Veränderungen gegenüber der bei der Verfahrensprüfung für das Hochtemperaturlöten verwendeten Fugenformen sind bei der Bauteillötung unzulässig.

8.6.2.9 Nahtaufbau bei Schweißungen

(1) Werden in einer Verfahrensprüfung mehrere Schweißverfahren angewandt, darf bei der Bauteilschweißung der Schweißgutanteil der angewandten Schweißverfahren, bezogen auf die Höhe des eingebrachten Schweißguts von der Verfahrensprüfung abweichen, sofern diese gemäß Abschnitt 8.6.4 erprobt sind. Die Reihenfolge der angewandten Schweißverfahren darf grundsätzlich geändert werden. Bei einseitig geschweißten Verbindungen ist das Verfahren für die Wurzelschweißung beizubehalten.

(2) Das Verfahren für die Wurzelschweißung bei einseitig geschweißten Nähten gilt als Einzelschweißverfahren nur dann als erprobt, wenn der volle Prüfumfang gemäß **Tabelle 8-5** mit Probenlage der Reihe 3 nach **Bild 8-3** erfüllt wurde.

(3) Für das Ausschweißen von Kerben und Schweißrandzonen mit dem WIG-Schweißverfahren darf auch eine Verfahrensprüfung mit WIG-Wurzelschweißung herangezogen werden.

(4) Bei Hartauftragsschweißungen sind getrennte Verfahrensprüfungen nach Abschnitt 8.6.4.6 für einlagige sowie mehrlagige Schweißungen durchzuführen.

8.6.2.10 Schweiß- und Lötpositionen

(1) Stumpfschweißnähte bei Blechen

a) Nur die bei der Verfahrensprüfung gewählte Schweißposition darf bei den Bauteilschweißungen angewandt werden. Die Positionen quer (PC) oder überkopf (PE) schließen die Wannenposition (PA) ein.

b) Bei Anwendung vollmechanisierter Schweißverfahren in Position PA gilt diese Verfahrensprüfung auch für Rohrlängsnähte und Rohrrundnähte mit Innendurchmesser größer als 150 mm beim WIG-Schweißverfahren oder größer als 500 mm beim UP-Schweißverfahren, wenn die Bauteilschweißung ebenfalls in Position PA erfolgt.

c) Werden in einer Verfahrensprüfung die Wannenposition (PA), Steigposition (PF) und Querposition (PC) geschweißt, so genügt für die Position PC folgender Prüfumfang:

ca) eine Rundzugprobe aus dem Schweißgut gemäß **Tabelle 8-5**, Probenlage III nach **Bild 8-3** oder nach **Bild 8-4**,

cb) ein Satz Kerbschlagproben gemäß **Tabelle 8-5**, Probenlage V nach **Bild 8-3** oder **Bild 8-4**,

cc) metallographische Untersuchung an Schliffproben quer zur Schweißnaht gemäß **Tabelle 8-5**.

(2) Stumpfschweißnähte bei Rohren

a) Nur die bei der Verfahrensprüfung gewählte Schweißposition darf bei Bauteilschweißungen angewandt werden.

b) Die an Rohrrundnähten abgelegte Prüfung gilt auch für Bleche sowie Längsnähte an Rohren.

(3) Übrige Schweiß- und Lötnehte sowie thermische Spritzschichten

Nur die bei der Verfahrensprüfung gewählten übrigen Schweiß- und Lötpositionen dürfen bei Bauteilschweißungen, -lötungen und -beschichtungen angewandt werden.

8.6.2.11 Wärmebehandlung

(1) Die bei einer Verfahrensprüfung durchgeführte Dauer der Spannungsarmglühung darf bei Bauteilglühungen nicht überschritten werden.

(2) Als Gesamtglühdauer für das Bauteil gilt die Summe der Haltezeiten der Spannungsarmglühungen.

(3) Verfahrensprüfungen mit Wärmebehandlung gelten auch für nicht wärmebehandelte Schweißungen am Bauteil, jedoch nicht umgekehrt.

8.6.2.12 Gültigkeitsdauer

(1) Die Gültigkeitsdauer beträgt 24 Monate nach erfolgreichem Abschluss einer Verfahrensprüfung. Der Stichtag für die Gültigkeitsdauer ist das Datum der schriftlichen Stellungnahme des Sachverständigen oder des Anlagelieferers nach Abschnitt 8.6.5. Die Gültigkeitsdauer der Verfahrensprüfung verlängert sich, wenn innerhalb dieser 24 Monate die Fertigung aufgenommen wird, um weitere 24 Monate gemäß den nachfolgenden Festlegungen.

(2) Die Gültigkeitsdauer der Verfahrensprüfung nach den Abschnitten 8.6.4.3 bis 8.6.4.5 und 8.6.4.9 verlängert sich, wenn Arbeitsprüfungen nach Abschnitt 8.7 abgelegt werden. Wird die Fertigung nicht innerhalb von 24 Monaten nach erfolgreichem Abschluss der Verfahrensprüfung aufgenommen oder länger als 24 Monate unterbrochen, gilt die mit Aufnahme oder Wiederaufnahme der Fertigung zu schweißende oder lötfende Arbeitsprüfung als Wiederholung der Verfahrensprüfung. Der Prüfumfang an dieser Arbeitsprüfung ist in diesem Fall gemäß der erstmaligen Verfahrensprüfung festzulegen.

(3) Die Gültigkeitsdauer der Verfahrensprüfung nach den Abschnitten 8.6.4.6 bis 8.6.4.8 und 8.6.4.10 verlängert sich, wenn Prüfungen und Kontrollen gemäß Abschnitt 8.8 durchgeführt werden. Der Stichtag für die Verlängerungen der Gültigkeitsdauer ist das Ausstellungsdatum des Prüfprotokolls.

Nahtgruppe		A						B				C		D		E		F	
		1		2		3		1		2									
durchgeführte Verfahrensprüfung	Simmbild / Benennung		DY-Naht		Y-Naht		Y-Naht		DHV-Naht		HV-Naht		DY-Naht		DHV-Naht		Y-Naht		Kehlnaht
			DV-Naht		V-Naht		V-Naht		DHU-Naht		HU-Naht		DV-Naht		DHU-Naht		V-Naht		Doppelkehlnaht
			DU-Naht		U-Naht		U-Naht		HV-Naht				DU-Naht		HV-Naht		U-Naht		
			DHV-Naht		HV-Naht		HV-Naht		HU-Naht				DHV-Naht		HU-Naht		HV-Naht		
			DHU-Naht		HU-Naht		HU-Naht						DHU-Naht				HU-Naht		
	Ausführung	beidseitig				einseitig		beidseitig		einseitig		beidseitig				einseitig		—	
		durchgeschweißte Naht										nicht durchgeschweißte Naht							
	Art der Verbindung	Stumpfnah						T-Stoß, Eckstoß, Stutzeneinschweißung				Stumpfnah		T-Stoß, Eckstoß, Stutzenein- schweißung		T-Stoß, Eckstoß, Stutzenein- schweißung		—	
	Geltungs- bereich	alle Fugenformen, ¹⁾ nicht für A3 und B2				alle Fugenformen		alle Fugenformen, ¹⁾ nicht für A3 und B2		alle Fugenformen		nur für C, D, E, F						nur für F	
¹⁾ Verfahrensprüfungen mit durchgeschweißter Wurzellage gelten auch für Schweißungen mit ausgearbeiteter Wurzellage. Verfahrensprüfungen mit ausgearbeiteter Wurzellage gelten nicht für Schweißungen mit durchgeschweißter Wurzellage.																			

Tabelle 8-3: Geltungsbereich einer mit Fugenform nach DIN EN ISO 9692-1 und DIN EN ISO 9692-2 durchgeführten Verfahrensprüfung

Abgelegte Verfahrensprüfung	Öffnungswinkel oder Kehlwinkel	Winkeltoleranz bei einzeln abgelegter Verfahrensprüfung	Geltungsbereich beim Vorliegen mehrerer Verfahrensprüfungen		
			a) und b)	b) und c)	a) und c)
a) Verbindungsschweißung	0 bis 30 Grad		0 bis 60 Grad		
b) Verbindungsschweißung	45 Grad	± 15 Grad		30 bis 110 Grad	
c) Verbindungsschweißung	90 Grad	+ 20 Grad ¹⁾ - 45 Grad			0 bis 110 Grad
Hinweis: Beim Vorliegen von Verfahrensprüfungen mit Öffnungswinkeln zwischen den angegebenen Werten ist die Winkeltoleranz sinngemäß zu interpolieren.					
1) Bei Verwendung von SZW aus Nickellegierungen gilt ± 20 Grad, bei Kehlnähten - 20 Grad, eine obere Begrenzung entfällt.					

Tabelle 8-4: Geltungsbereich des Öffnungswinkels oder Kehl winkels für Verfahrensprüfungen

8.6.3 Schweißen, Löten, thermisches Spritzen und Wärmebehandlung der Prüfstücke

(1) Aus der Gesamtzahl der Schweißer, die in dem vorgesehenen Geltungsbereich Schweißarbeiten ausführen sollen, sind von der Schweißaufsicht des Betriebs im Einvernehmen mit dem Sachverständigen die Schweißer für die Verfahrensprüfung auszuwählen.

(2) Der Grundwerkstoff, die Schweiß- und Lötzusätze sowie das Pulver für thermisches Spritzen müssen den Anforderungen des Abschnitts 7 genügen.

(3) Die Bedingungen nach den Abschnitten 8.2 und 8.3.1 sind bei der Verfahrensprüfung für das Schweißen einzuhalten.

(4) Die Bedingungen nach den Abschnitten 8.2 und 8.3.2 sind bei der Verfahrensprüfung für das Löten einzuhalten.

(5) Die Bedingungen nach den Abschnitten 8.2 und 8.3.3 sind bei der Verfahrensprüfung für das thermische Spritzen einzuhalten.

(6) Das Prüfstück muss so bemessen sein, dass die erforderlichen zerstörungsfreien Prüfungen durchgeführt und die im Probenentnahmeplan vorgesehenen Proben entnommen werden können. Ausreichendes Material für Ersatzproben ist vorzusehen.

(7) Sind aufgrund von Fehlern Nacharbeiten während der Schweißung erforderlich, sind diese nur im Einvernehmen mit dem Sachverständigen zulässig. Das Prüfstück muss dabei für das zu qualifizierende Schweißverfahren repräsentativ bleiben. Alle Nacharbeiten sind unter Angabe von Ursache, Art und Umfang protokollarisch festzuhalten und vom Hersteller in seinem Bericht über die Verfahrensprüfung zu erfassen.

(8) Werden an den Bauteilen Wärmebehandlungen gemäß Abschnitt 8.4 durchgeführt, so sind die Bedingungen der Wärmebehandlung bei der Verfahrensprüfung einzuhalten.

8.6.4 Prüfungen und Anforderungen

8.6.4.1 Allgemeingültige Festlegungen

Die verfahrenstechnischen Anforderungen an die zerstörungsfreien Prüfverfahren sind im Abschnitt 7.3.5.8 und die Zulässigkeitskriterien der zerstörungsfreien Prüfung sind in Abschnitt 8.9 festgelegt.

8.6.4.2 Ersatzprüfungen

(1) Erreicht eine Probe oder ein Probenatz nicht die erforderlichen Werte, so dürfen zwei weitere Proben oder Probenätze geprüft werden. Alle Ersatzproben müssen den Anforderungen genügen.

(2) Sind ungenügende Prüfergebnisse auf prüftechnische Einflüsse oder auf eine eng begrenzte Fehlerstelle einer Probe zurückzuführen, so darf die betreffende Probe bei der Entscheidung, ob die Anforderungen erfüllt sind, außer Betracht bleiben und die betreffende Prüfung erneut durchgeführt werden.

8.6.4.3 Verfahrensprüfungen für Schweißnähte der Nahtgruppen A und B nach Tabelle 8-3

(1) Zerstörungsfreie Prüfung

Die Prüfstücke sind nach der letzten Wärmebehandlung folgenden zerstörungsfreien Prüfungen zu unterziehen:

a) Durchstrahlungsprüfung der Schweißnaht über die gesamte Länge,

b) Oberflächenprüfung aller Schweißnahtoberflächen.

(2) Mechanisch-technologische Prüfung und metallographische Untersuchung

a) Für den Prüfumfang gilt **Tabelle 8-5**.

b) Alle Proben sind im Probenentnahmeplan maßstäblich darzustellen. Bei Verfahrensprüfungen der Nahtgruppen B1 und B2 ist die Probenlage dem **Bild 8-4** zu entnehmen.

c) Sollen bei einer Verfahrensprüfung mehrere Schweißverfahren erprobt werden, so sind die Proben so zu entnehmen, dass jedes Verfahren für sich erprobt werden kann.

(3) Beurteilung

a) Die Ergebnisse der zerstörungsfreien Prüfung müssen die Anforderungen von Abschnitt 8.9 erfüllen.

b) Die Ergebnisse der mechanisch-technologischen Prüfungen einschließlich der metallographischen Untersuchungen müssen die Anforderungen nach **Tabelle 8-5** erfüllen.

(4) Simulierte Reparaturschweißung

a) Reparaturschweißungen, die mit anderen Schweißverfahren als die Erstschweißung durchgeführt werden sollen, sind im Rahmen der Verfahrensprüfung zu simulieren, sofern für das Schweißverfahren der Reparaturschweißung nicht bereits ebenfalls Verfahrensprüfungen vorliegen.

b) Bei der simulierten Reparaturschweißung sind 50 % der Wanddicke so auszubessern, dass die Flanken der Reparaturstelle sowohl Schweißgut als auch Grundwerkstoff erfassen.

c) Für den Prüfumfang gilt **Tabelle 8-5**.

(5) Bescheinigungen

a) Über alle in diesem Abschnitt genannten zerstörungsfreien Prüfungen sind vom Hersteller Prüfprotokolle zu erstellen und vom Hersteller sowie vom Sachverständigen abzuzeichnen.

b) Alle in diesen Abschnitten sonst genannten Prüfungen sind mit den nach **Tabelle 8-5** genannten Abnahmeprüfzeugnissen nach DIN EN 10204 zu belegen.

Ifd. Nr.	Prüfung und Probenart	Prüf-temperatur	Prüfung nach	zu prüfen	Probenlage nach Bild 8-3 und 8-4	Anzahl der Proben		Anforderungen	Belegung mit Abnahmeprüfzeugnis nach DIN EN 10204	Bemerkungen
						Schweißverbindung	simulierte Reparatur-Schweißung			
1	Analyse für das Schweißgut	—	Methode siehe Abschnitt 7	chemische Analyse	—	1	—		3.1	Zu analysierende und zu beurteilende Elemente gemäß Abschnitt 7
2	IK-Beständigkeit bei austenitischen Schweißverbindungen	—	DIN EN ISO 3651-2 Verfahren A	Kornzerfallsbeständigkeit	I	1	1	DIN EN ISO 3651-2 Verfahren A	3.1	Glühung gemäß Abschnitt 7, sofern keine WB der VP
3	Metallographie Schliffprobe quer zur Schweißnaht	—	—	Makroschliff	—	1	1	Das Gefüge des Schweißgutes muss einen einwandfreien Lagenaufbau und eine vollständige Flankenerfassung (Makroschliff) sowie eine einwandfreie Gefügeausbildung (Mikroschliff) erkennen lassen	3.1	Übersichtsaufnahme der Schweißnaht
		—	—	Mikroschliff	—	2	2	Im Mikroschliff sichtbare Werkstofftrennungen sind nur zulässig, wenn sie sich nach Anzahl und Lage eindeutig als nur vereinzelte Fehlerstellen ausweisen. Unzulässig sind dagegen Fehlerstellen in Form zusammenhängender Felder		1 Stelle vom Schweißgut und 1 Stelle aus der WEZ mit Gefügeaufnahmen
		—	Abschnitt 7	Deltaferrit bei austenitischen Stählen	—	1	—	Kein zusammenhängendes Deltaferritnetzwerk		Deltaferritbeurteilung mit Gefügeaufnahmen
4 1)	Zugproben nach DIN EN ISO 4136	Raumtemperatur	DIN EN ISO 6892-1	R _m , Bruchlage	II	1	1	Wie an Grundwerkstoff oder an Schweißzusatz gemäß Abschnitt 7	3.2	—

Tabelle 8-5: Umfang der Prüfungen und Anforderungen an die mechanisch-technologischen Prüfungen und metallographischen Untersuchungen für Verfahrensprüfungen für Schweißverbindungen austenitischer Stähle und Nickellegierungen (Fortsetzung siehe nächste Seite)

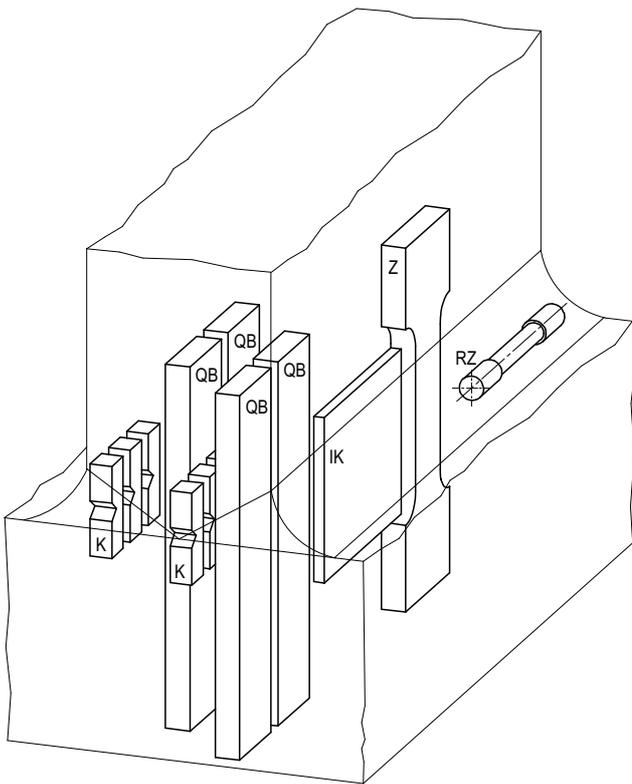
Ifd. Nr.	Prüfung und Probenart	Prüf-temperatur	Prüfung nach	zu prüfen	Probenlage nach Bild 8-3 und 8-4	Anzahl der Proben		Anforderungen	Belegung mit Abnahmeprüfzeugnis nach DIN EN 10204	Bemerkungen	
						Schweiß-verbinding	simulierte Reparatur-Schweißung				
5 1)	Zugproben nach DIN 50125 aus dem Schweißgut	350 °C	DIN EN ISO 6892-2	$R_m, R_{p0,2}, A, Z$	III	1	1	Wie an Grundwerkstoff oder an Schweißzusatz gemäß Abschnitt 7	3.2	Wenn Proben-nahme aus Abmes-sungsgründen nicht möglich, ersatz-weise Zugprobe nach Ifd. Nr. 4 bei 350 °C.	
6 1)	Biegeversuch	Raum-tempera-tur	DIN EN ISO 5173	Biegewinkel bei $d/a = 2$	IV	4	—	$\alpha = 180$ Grad 180 Grad gelten als erfüllt, wenn die Proben ohne An-riss durch die Auflage ge-drückt wurden	3.2	Je 2 Querbiegepro-ben über die eine und die andere Nahtseite auf Zug beansprucht.	
6.1	Querbiegeprobe					—	2				—
6.2	Seitenbiegeprobe					—	—				—
7 1)	Kerbschlagbiege-versuch	Raum-tempera-tur	DIN EN ISO 148-1	KV_2	V	3/2/1 Sätze	1 Satz	Wie an Schweißzusatz ge-mäß Abschnitt 7	3.2	Nur bei s größer als 10 mm	

1) Für Rundnähte bei Rohren mit Durchmesser kleiner als oder gleich 30 mm entfallen die Prüfungen Ifd. Nr. 4 bis 7, die Erprobung erfolgt stattdessen an Rohren nach DIN EN ISO 4136 Abschnitt 5.5.3.3.

Tabelle 8-5: Umfang der Prüfungen und Anforderungen an die mechanisch-technologischen Prüfungen und metallographischen Untersuchungen für Verfahrensprüfungen für Schweißverbindungen austenitischer Stähle und Nickellegierungen (Fortsetzung)

	I. IK-Probe	II. Zugproben nach DIN EN ISO 4136	III. Rundzugproben im Schweißgut	IV. Biegeproben	V. Kerbschlagbiegeproben im Schweißgut ¹⁾	
					s > 50 mm	s ≤ 50 mm
1. Schweißverbindung						
2. Schweißverbindung mit simulierter Reparaturschweißung						
3. Schweißverbindung mit mehreren Schweißverfahren						
1) Je Skizze gilt ein Probensatz						

Bild 8-3: Probenlagen (schematisch)



- I IK : IK-Probe
- II Z : Zugprobe nach DIN EN ISO 4136
- III RZ: Rundzugprobe nach DIN 50125 aus dem Schweißgut
- IV QB: Querbiegeproben
- V K : Kerbschlagbiegeproben

Bild 8-4: Probenlagen (schematisch) (siehe Abschnitt 8.6.2.10 (1) c) und Abschnitt 8.6.4.3 (2) b))

8.6.4.4 Verfahrensprüfungen für Schweißnähte der Nahtgruppe C, D, E und F nach **Tabelle 8-3**

8.6.4.4.1 Allgemeingültige Festlegungen

(1) Liegt eine Verfahrensprüfung nach Abschnitt 8.6.4.3 vor, so gilt diese gemäß ihrem Geltungsbereich auch für nicht durchgeschweißte Nähte der Nahtgruppe C, D, E und F.

(2) Bei Kehlnahtschweißungen mit einem Kehlwinkel kleiner als 70 Grad sind als Ergänzungsprüfung zwei Winkelproben nach DIN EN ISO 9017, jedoch mit dem jeweiligen Kehlwinkel des Bauteils, erforderlich.

(3) Die Ergänzungsprüfung ist wie folgt durchzuführen:

a) Oberflächenprüfung

An der Schweißnahtoberfläche ist nach der letzten Wärmebehandlung eine Oberflächenprüfung durchzuführen.

b) Metallographische Untersuchung

Es ist ein Makroschliff quer zur Schweißnaht an einer der Winkelproben zu entnehmen. Für die Anforderungen gelten die Festlegungen nach **Tabelle 8-5**. Die Stirnlängskanten müssen weitgehend erfasst sein. Geringer durchgehender Wurzelrückfall ist zulässig. Der Makroschliff ist durch Gefügaufnahmen zu belegen.

c) Weitere Prüfungen

Die Prüfung und Beurteilung der jeweils anderen Winkelprobe ist nach DIN EN ISO 9017 durchzuführen.

(4) Liegt eine Verfahrensprüfung nach Abschnitt 8.6.4.3 nicht vor, so ist eine Verfahrensprüfung nach den Festlegungen der folgenden, zutreffenden Abschnitte durchzuführen.

8.6.4.4.2 Verfahrensprüfungen für Schweißnähte der Nahtgruppe C, D und E nach **Tabelle 8-3**

(1) Es ist ein Prüfstück gemäß **Bild 8-5** zu schweißen.

(2) Das Prüfstück ist nach der letzten Wärmebehandlung folgenden Prüfungen zu unterziehen:

a) Oberflächenprüfung

An der Schweißnahtoberfläche ist eine Oberflächenprüfung durchzuführen.

b) Metallographische Untersuchungen

Es sind ein Makroschliff sowie zwei Mikroschliffe (eine Stelle vom Schweißgut, eine Stelle von der Wärmeeinflusszone) quer zur Schweißnaht anzufertigen. Für die Anforderungen gelten die Festlegungen nach **Tabelle 8-5**. Die Schweißkante muss erfasst sein. Die metallographischen Untersuchungen sind durch Gefügaufnahmen zu belegen.

c) Beständigkeit gegen Interkristalline Korrosion (IK-Beständigkeit)

Die Prüfung auf IK-Beständigkeit hat bei austenitischen Schweißverbindungen nach DIN EN ISO 3651-2 Verfahren A mit metallographischer Auswertung zu erfolgen. Ein Biegen der Probe darf entfallen.

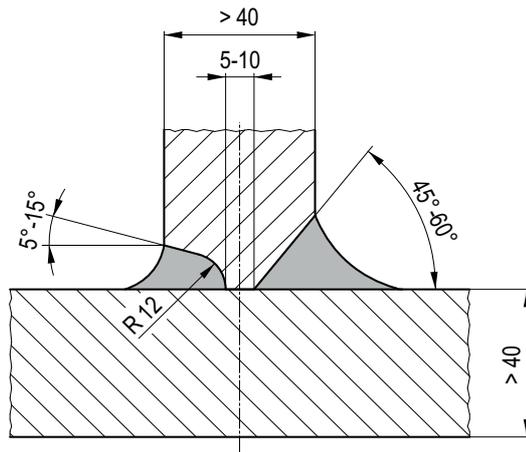


Bild 8-5: Abmessung des Prüfstücks nach Abschnitt 8.6.4.4.2 (1)

8.6.4.4.3 Verfahrensprüfung für Schweißnähte der Nahtgruppe F nach **Tabelle 8-3**

(1) Es sind zwei Winkelproben nach DIN EN ISO 9017 zu schweißen. Bei Kehlnahtschweißungen mit einem Kehlwinkel kleiner als 70 Grad sind die Winkelproben mit dem jeweiligen Kehlwinkel des Bauteils zu schweißen.

(2) Die Prüfstücke sind nach der letzten Wärmebehandlung folgenden Prüfungen zu unterziehen:

a) Oberflächenprüfung

An der Schweißnahtoberfläche ist eine Oberflächenprüfung durchzuführen.

b) Metallographische Untersuchungen

Es sind ein Makroschliff sowie zwei Mikroschliffe (eine Stelle vom Schweißgut, eine Stelle von der WEZ) quer zur Schweißnaht an einer der Winkelproben anzufertigen. Für die Anforderungen gelten die Festlegungen nach **Tabelle 8-5**.

Die Stirnlängskanten müssen weitgehend erfasst sein. Geringer durchgehender Wurzelrückfall ist zulässig. Die metallographischen Untersuchungen sind durch Gefügeaufnahmen zu belegen.

c) IK-Beständigkeit

Die Prüfung auf IK-Beständigkeit hat bei austenitischen Schweißverbindungen nach DIN EN ISO 3651-2 Verfahren A mit metallographischer Auswertung zu erfolgen. Ein Biegen der Probe darf entfallen.

d) Weitere Prüfungen

Die Prüfung und Beurteilung der jeweils anderen Winkelprobe ist nach DIN EN ISO 9017 durchzuführen.

8.6.4.4 Bescheinigungen

(1) Über die im Abschnitt 8.6.4.4 genannten zerstörungsfreien Prüfungen sind vom Hersteller Prüfprotokolle zu erstellen und vom Hersteller sowie vom Sachverständigen abzuzeichnen.

(2) Über die Prüfung auf IK-Beständigkeit ist vom Hersteller ein Abnahmeprüfzeugnis 3.1 nach DIN EN 10204 zu erstellen.

(3) Die metallographischen Untersuchungen sowie die zerstörenden Prüfungen sind mit einem Abnahmeprüfzeugnis 3.2 nach DIN EN 10204 zu belegen.

8.6.4.5 Verfahrensprüfung für hochtemperaturgelötete Steuerstabführungseinsätze

(1) Prüfstück

Es ist ein Prüfstück gemäß Bauteil zu löten. Beispiel siehe **Bild 8-6**.

(2) Prüfungen und Anforderungen

Für die Probenentnahme gilt **Bild 8-6**:

a) Sichtprüfung

Die Lötnaht ist beidseitig einer Sichtprüfung zu unterziehen, wobei die Summe der Lötnahtlängen auf beiden Seiten der Lötstelle im Mittel 75 % des doppelten Umfanges einer Lötstelle betragen muss.

b) Prüfung auf Anlauffarben

Das Prüfstück ist auf Anlauffarben zu prüfen, wobei Anlauffarben bis braun zulässig sind.

c) Scherversuch

Die Proben A5, B4 und C6 sind einem Scherversuch zu unterziehen, wobei die Scherbelastbarkeit der Lötnaht größer als die Zugbelastung der Rohre sein muss.

d) Prüfung der Lotverteilung

Anhand von Längsschliffen an den Proben A4 und C2 ist eine Prüfung der Lotverteilung durchzuführen, wobei 80 % der angeschnittenen Querschnittsfläche gelötet sein müssen. Die Belegung erfolgt durch eine Übersichtsaufnahme.

e) IK-Beständigkeit

Die Prüfung auf IK-Beständigkeit an der Lötverbindung ist nach DIN EN ISO 3651-2 Verfahren A an den Proben A1 und C5 mit metallographischer Auswertung durchzuführen. Ein Biegen des Prüfstücks darf entfallen.

(3) Bescheinigungen

a) Über die in diesem Abschnitt genannten zerstörungsfreien Prüfungen sind vom Hersteller Prüfprotokolle zu erstellen und vom Hersteller sowie vom Sachverständigen abzuzeichnen.

b) Über die Prüfung der IK-Beständigkeit ist vom Hersteller ein Abnahmeprüfzeugnis 3.1 nach DIN EN 10204 zu erstellen.

c) Alle mechanisch-technologischen Prüfungen und metallographischen Untersuchungen sind mit Abnahmeprüfzeugnissen 3.2 nach DIN EN 10204 zu belegen.

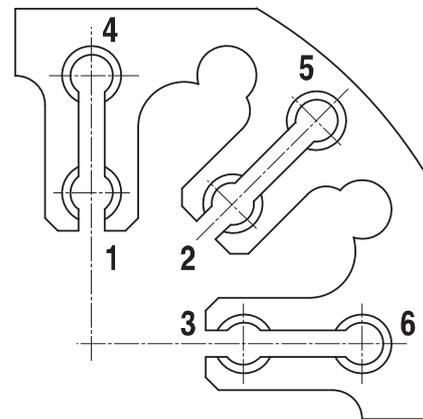
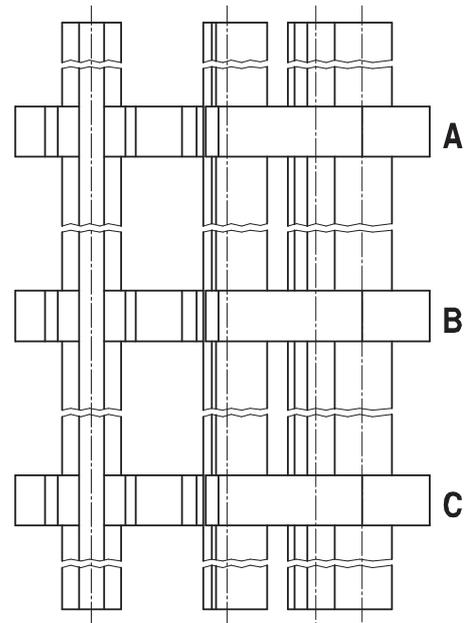


Bild 8-6: Beispiel eines Prüfstücks für hochtemperaturgelötete Steuerstabführungseinsätze

8.6.4.6 Verfahrensprüfung für Hartauftragsschweißungen

(1) Prüfstück

Es ist ein Prüfstück gemäß **Bild 8-7** zu schweißen.

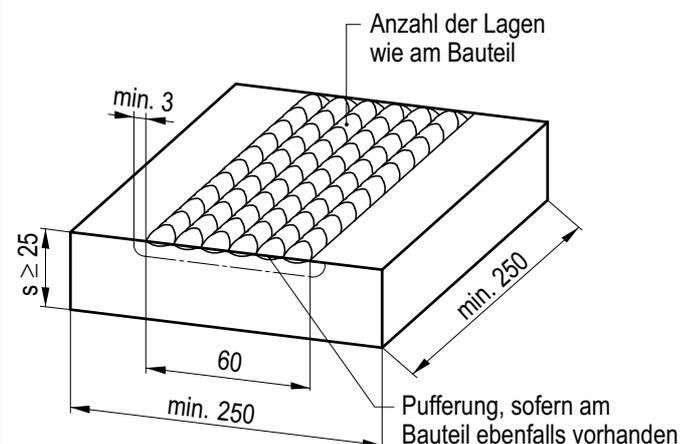


Bild 8-7: Abmessung des Prüfstücks für Hartauftragsschweißungen

(2) Prüfungen und Anforderungen

Das Prüfstück ist nach der letzten Wärmebehandlung und nach mechanischer Bearbeitung der letzten Lage den folgenden Prüfungen zu unterziehen:

a) Oberflächenprüfung

An der Schweißnahtoberfläche ist eine Oberflächenprüfung durchzuführen.

b) Härteprüfung

Es ist eine Härteprüfung mit mehreren Messpunkten auf der Oberfläche der Hartauftragsschweißung durchzuführen.

Die Härte auf der Oberfläche soll die vom Schweißzusatzhersteller gewährleisteten Werte erreichen.

c) Biegeversuch

Es sind zwei Querbiegeproben mit auf 0,5 mm abgearbeiteter Dicke der Hartauftragsschweißung gemäß DIN EN ISO 5173 mit $d/a = 6$ zu prüfen (siehe **Bild 8-8**). Die Probe ist um 180 Grad oder bis zum Bruch zu biegen. Dabei dürfen keine Abplatzungen der Hartauftragsschicht (Abfallen von Plattierungsstücken) auftreten.

Bei Prüfständen mit einer Dicke größer als 10 mm ist die Probendicke der Biegeprobe auf 10 mm abzarbeiten. Die Breite der Biegeprobe soll 25 mm bis 30 mm betragen.

Um definierte Ergebnisse zu erhalten, ist vor dem Biegeversuch die Hartauftragsschweißung gleichmäßig anzureißen (siehe **Bild 8-9**).

Hinweise:

Es wird empfohlen, vor dem Anreißen der Hartauftragsschweißung (Erzeugung von Rissen) mit einer Trennscheibe durchgehende Rillen in die Hartauftragsschweißung (siehe **Bild 8-8**) einzuschleifen.

Anschließend wird das Anreißen in der gleichen Vorrichtung wie das spätere Biegen durchgeführt, wobei die Stützrollen und Biegedorndurchmesser möglichst klein zu wählen sind.

Bei diesem Vorgang ist darauf zu achten, dass nur die Hartauftragsschweißung angerissen wird. Dabei wird empfohlen, eine kleine Vorschubgeschwindigkeit des Biegedorns zu wählen.

d) Metallographische Untersuchung und Messung der Schichtdicke

Es sind ein Makroschliff quer zur Schweißrichtung der gesamten Schweißung sowie Mikroschliffe von Schweißgut, Wärmeeinflusszone und Grundwerkstoff herzustellen.

Die Schichtdicke ist durch manuelles Messen mit dem Tiefenmaß oder am Querschliff zu bestimmen.

Der Makroschliff ist auf Schichtdicke, Lagenaufbau und Zwischenlagenfehler zu beurteilen.

Bei den Mikroschliffen ist das Schweißgut, die Schmelzlinie und die WEZ zu beurteilen.

(3) Bescheinigungen

a) Über die in diesem Abschnitt genannte zerstörungsfreie Prüfung ist vom Hersteller ein Prüfprotokoll zu erstellen und abzuzeichnen.

b) Alle in diesen Abschnitten sonst genannten Prüfungen sind mit Abnahmeprüfzeugnis 3.1 nach DIN EN 10204 zu belegen.

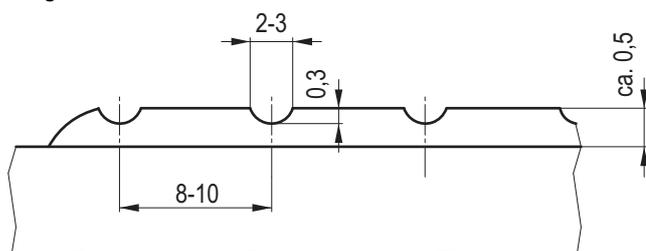
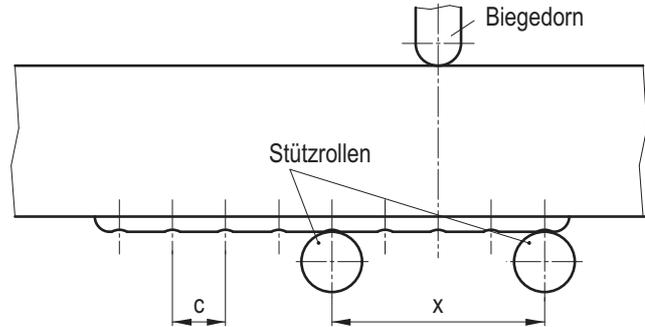


Bild 8-8: Abmessung des Prüfstücks für den Biegeversuch von Hartauftragsschweißungen



Rissabstand in Panzerung "c" ca. 8 bis 10 mm.

Für die Erzeugung der Anrisse in der Hartplattierung Abstand "x" so klein wie möglich wählen.

Bild 8-9: Rissabstand bei Hartauftragsschweißungen

8.6.4.7 Verfahrensprüfung für thermisches Spritzen

(1) Prüfstück

Es ist ein repräsentatives, schichtspezifisches Prüfstück zu beschichten.

(2) Prüfungen und Anforderungen

Das Prüfstück ist im unbearbeiteten Zustand folgenden Prüfungen zu unterziehen:

a) Sichtprüfung

Die Beschichtung muss rissfrei, ohne Überlappungen und Schichtablösungen sowie frei von Einschlüssen sein. Einzelne Poren mit einem Durchmesser gleich oder kleiner als 0,5 mm sind zulässig, dürfen aber nicht bis zum Grundmaterial durchgehend sein.

b) Härteprüfung

Es ist eine Härteprüfung mit mindestens 5 Messpunkten durchzuführen. Die Härte im Querschliff soll die vom Schichthersteller gewährleisteten Werte erreichen.

c) Metallographische Untersuchungen und Messung der Schichtdicke

Es ist ein Mikroschliff quer zur Beschichtungsrichtung von Beschichtung und Grundwerkstoff herzustellen.

Die Schichtdicke ist durch Messen am Querschliff zu bestimmen.

Die Beschichtung ist auf Mikrorisse, Porosität, Einschlüsse und Ablösungen zum Grundwerkstoff und in der Schicht zu beurteilen.

(3) Bescheinigungen

Alle in diesem Abschnitt genannten Prüfungen sind mit einem Abnahmeprüfzeugnis 3.1 nach DIN EN 10204 zu belegen.

8.6.4.8 Verfahrensprüfung für Sicherungsschweißungen

(1) Prüfstücke

Die Prüfstücke für Prüfungen an Sicherungsschweißungen (z. B. an mechanischen Verbindungselementen wie Schrauben, Stiften, Muttern und ähnlichen Gewinde- und Formteilen) sind auf die Ausführung und die Bedingungen der Bauteilschweißung abzustimmen.

(2) Prüfungen und Anforderungen

Die Prüfstücke sind folgenden Prüfungen zu unterziehen:

a) Sichtprüfung

Die Schweißnahtoberflächen sind einer Sichtprüfung auf Oberflächenrisse zu unterziehen.

b) Metallographische Untersuchung

Es ist ein Makroschliff quer zur Schweißnaht einschließlich Wärmeinflusszone und Grundwerkstoff herzustellen. Makroskopische Übersichtsaufnahmen sind über die gesamte Schweißnaht einschließlich Wärmeinflusszone und Grundwerkstoff durchzuführen. Die Belegung hat durch Übersichtsaufnahmen zu erfolgen.

Hierbei hat eine Prüfung auf Bindung und Schweißfehler zu erfolgen.

(3) Bescheinigungen

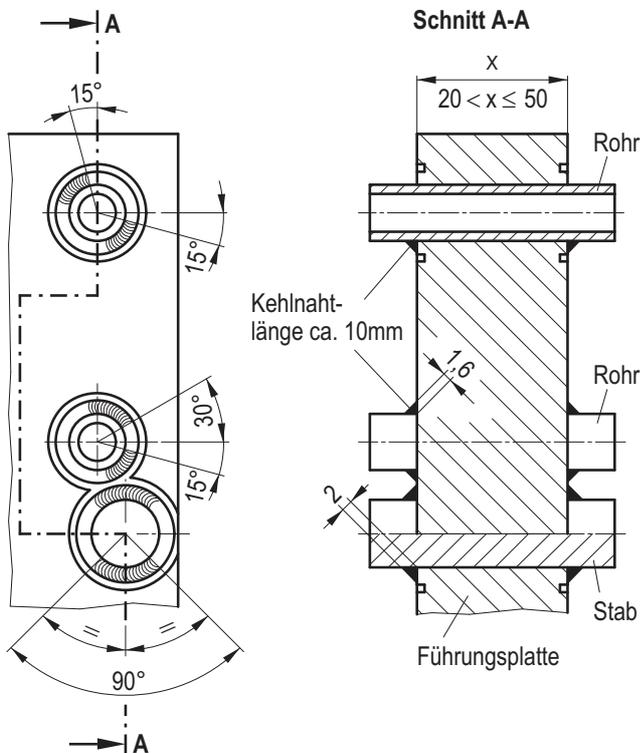
Über die in diesem Abschnitt genannte zerstörungsfreie Prüfung ist vom Hersteller ein Prüfprotokoll zu erstellen und vom Hersteller und vom Anlagenlieferer abzuzeichnen.

Alle metallographischen Untersuchungen sind mit Abnahmeprüfzeugnissen 3.1 nach DIN EN 10204 zu belegen und vom Anlagenlieferer abzuzeichnen.

8.6.4.9 Verfahrensprüfung für geschweißte Steuerstabführungseinsätze

(1) Prüfstück

Es ist ein Prüfstück gemäß **Bild 8-10** zu schweißen.



Abstände und Abmessungen gemäß Bauteilvorgabe

Bild 8-10: Abmessung des Prüfstücks für geschweißte Steuerstabführungseinsätze

(2) Prüfungen und Anforderungen

Die Prüfstücke sind folgenden Prüfungen zu unterziehen:

a) Sichtprüfung

Die Schweißnahtoberflächen sind einer Sichtprüfung auf Oberflächenrisse zu unterziehen.

b) Metallographische Untersuchung

Es ist je ein Makroschliff quer zur Schweißnaht der Schweißverbindung Rohr/Platte und Stab/Platte herzustellen. Es ist eine makroskopische Übersichtsaufnahme über die gesamte Schweißnaht einschließlich der Wärmeinflusszone und des Grundwerkstoffs zu erstellen. Die Belegung hat durch eine Übersichtsaufnahme zu erfolgen.

Hierbei hat eine Kontrolle auf Bindung und Schweißfehler zu erfolgen.

(3) Bescheinigungen

Über die in diesem Abschnitt genannte zerstörungsfreie Prüfung ist vom Hersteller ein Prüfprotokoll zu erstellen und vom Hersteller und vom Sachverständigen abzuzeichnen.

Alle metallographischen Untersuchungen sind mit Abnahmeprüfzeugnissen 3.2 nach DIN EN 10204 zu belegen.

8.6.4.10 Verfahrensprüfung für Punktschweißungen

(1) Prüfstücke

Die Prüfstücke sind gemäß Ausführung und Bedingungen der Bauteilschweißung herzustellen. Es ist mindestens ein Prüfstück mit 10 Schweißpunkten je eingesetztem Elektrodenpaar herzustellen.

(2) Prüfungen und Anforderungen

Die Prüfstücke sind folgenden Prüfungen zu unterziehen:

a) Sichtprüfung

Eine Sichtprüfung auf Oberflächenbeschaffenheit und Oberflächenfehler hat an allen Prüfstücken zu erfolgen.

Es sind hellbraune bis hellblaue Anlauffarben zulässig. Darüber hinausgehende Anlauffarben wie dunkelblau bis schwarz sind nicht zulässig.

Die Blechoberfläche soll glatt sein und muss frei von Rissen, Material- und Elektrodenablösungen und scharfen Wulsten sein.

b) Ausknöpfversuch

Die verschweißten Bleche sind senkrecht zu ihrer Oberfläche bis zum Bruch der einzelnen Verbindungen auseinanderzuziehen.

Die Trennung muss durch Ausknöpfen und außerhalb der Schweißlinse erfolgen.

c) Metallographische Untersuchungen

An 2 Schweißpunkten je Elektrodenpaar sind je ein Makroschliff und 2 Mikroschliffe parallel und quer zur Probenlängsachse anzufertigen. Die Abmessung D , s_1 , und s_2 der Schweißlinse und der Eindringtiefe der Elektroden sind zu bestimmen (siehe **Bild 8-11**). Die Belegung erfolgt durch Übersichtsaufnahmen und Gefügeaufnahmen.

Die Fusion soll maximal 80 % der jeweiligen Wandstärke betragen (siehe **Bild 8-11**). Spaltauslauffrisse sind unzulässig. Verfahrensbedingte Einschlüsse und Lunken sind nur im Mittelbereich der Schweißlinse zulässig.

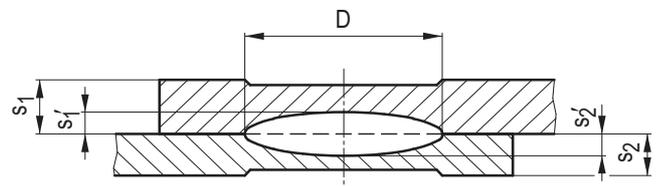


Bild 8-11: Abmessung für Schweißlinse und Eindringtiefe der Elektroden bei Punktschweißungen

(3) Bescheinigungen

Über die in diesem Abschnitt genannte zerstörungsfreie Prüfung ist vom Hersteller ein Prüfprotokoll zu erstellen und vom Hersteller und vom Anlagenlieferer abzuzeichnen.

Alle mechanisch-technologischen Prüfungen und metallographischen Untersuchungen sind mit Abnahmeprüfzeugnissen 3.1 nach DIN EN 10204 zu belegen und vom Anlagenlieferer abzuzeichnen.

8.6.5 Bericht über die Verfahrensprüfung

(1) Die Prüfergebnisse der Verfahrensprüfung sind vom Hersteller innerhalb von 6 Wochen nach Abschluss der Schweiß-, Löt- oder Spritzarbeiten in einem Bericht zusammenzufassen, zu dem der Sachverständige bei den Verfahrensprüfungen gemäß den Abschnitten 8.6.4.3 bis 8.6.4.5 und 8.6.4.9 und der Anlagenlieferer bei den Verfahrensprüfungen gemäß den Abschnitten 8.6.4.6 bis 8.6.4.8 und 8.6.4.10 innerhalb weiterer 6 Wochen schriftlich Stellung nehmen sollen.

(2) Der Bericht des Herstellers soll enthalten:

- a) Nachweis über Grundwerkstoffe, Schweiß- und Lötzusätze sowie Spritzpulver,
- b) Prüffolgeplan,
- c) Angaben über die Durchführung der Schweißung, Lötung oder thermischen Beschichtung (z. B. Gerätetyp),
- d) Schweiß- oder Lötplan oder Beschichtungsanweisung und Schweiß-, Löt- oder Beschichtungsprotokoll,
- e) Wärmebehandlungsplan und Wärmebehandlungsprotokoll,
- f) Probenentnahmeplan und
- g) Ergebnisse sämtlicher Prüfungen.

(3) Die schriftliche Stellungnahme des Sachverständigen oder des Anlagenlieferers soll enthalten:

- a) zusammenfassendes Ergebnis,
- b) abschließende Bewertung und
- c) Abgrenzung des Geltungsbereichs.

8.6.6 Aufbewahrung von Reststücken

Vorhandene Probenreste, Reste von Prüfstücken und nicht geprüfte Proben sind beim Hersteller bis zum erfolgreichen Abschluss der ersten Arbeitsprüfung, die zur Verlängerung der Verfahrensprüfung dient, längstens aber 24 Monate aufzubewahren.

8.7 Arbeitsprüfungen

(1) Die Gültigkeitsdauer von Verfahrensprüfungen nach Abschnitt 8.6.2.12 wird durch Arbeitsprüfungen verlängert.

(2) Verfahrensprüfungen werden in ihrem vollen Geltungsbereich durch Arbeitsprüfungen, die innerhalb dieses Geltungsbereichs liegen, verlängert.

(3) Für die Prüfungen, Anforderungen und Bescheinigungen der Arbeitsprüfungen gelten die in Abschnitt 8.6.4 festgelegten Bedingungen.

(4) Der Bericht über die Arbeitsprüfungen ist nach den Festlegungen des Abschnitts 8.6.5 auszustellen.

(5) Vorhandene Probenreste, Reste von Prüfstücken und nicht geprüfte Proben sind beim Hersteller bis zum erfolgreichen Abschluss der nächsten Arbeitsprüfung, die zur Verlängerung der zugehörigen Verfahrensprüfung dient, längstens aber 24 Monate aufzubewahren.

8.8 Prüfungen während der Fertigung

8.8.1 Bauprüfungen

(1) Die zutreffenden Prüfungen müssen gemäß dem Bauprüfblatt, **Tabelle 8-6**, durchgeführt werden.

(2) Der Umfang und die Art der zerstörungsfreien Prüfungen ergeben sich aus den Festlegungen der **Tabelle 8-6**, des Abschnitts 6.1.6 und der **Tabelle 6-1** und sind im Rahmen der Vorprüfung festzulegen. Für die Anforderungen gelten die Festlegungen des Abschnitts 8.9.

(3) Die Durchstrahlungsprüfung darf vor der letzten Wärmebehandlung durchgeführt werden.

(4) Die Prüfungen sind durch den Hersteller durchzuführen. Der Anlagenlieferer und der Sachverständige nehmen in dem geforderten Umfang an den Prüfungen teil.

8.8.2 Erhaltung der Werkstoff- und Bauteilkennzeichnung

(1) Die Werkstoffkennzeichnung der Erzeugnisformen nach Abschnitt 7 muss während der Fertigung, Prüfung und Weiterverarbeitung erhalten bleiben oder unter Beachtung der folgenden Festlegungen übertragen werden.

(2) Im Zuge der Umstempelung kann eine Kurzbezeichnung verwendet werden. Diese muss eindeutig sein, um eine Rückverfolgbarkeit aller Prüfergebnisse zu ermöglichen.

(3) Bei Teilen der Anforderungsstufe AS-RE 3 sind nur Teile innerhalb des Reaktordruckbehälters zu kennzeichnen.

(4) Bei Teilen aus Erzeugnisformen mit Abnahmeprüfzeugnis 3.2 nach DIN EN 10204 ist die Übertragung der Kennzeichnung vom Sachverständigen durchzuführen.

(5) Bei Teilen aus Erzeugnisformen mit Abnahmeprüfzeugnis 3.1 nach DIN EN 10204 ist die Übertragung der Kennzeichnung vom Berechtigten des Herstellers für das Umstempeln durchzuführen.

(6) Die Kennzeichnung soll durch Stahlstempel mit abgerundeten Kanten erfolgen.

(7) Bei eingeschränkter Umstempelungsmöglichkeit dürfen zur Kennzeichnung auch Vibrationsschreiber verwendet werden.

(8) Bei Teilen, die aus funktions- und werkstofftechnischen Gründen nicht wie oben beschrieben gekennzeichnet werden können, dürfen zur Sicherstellung der Zuordnung zum Zeugnis bis zu deren Einbau in die Komponente (z. B. Federn) geeignete Farbstempel oder auch Anhängeschilder verwendet werden. Bei Kleinteilen darf die Kennzeichnung entfallen, sofern der Hersteller durch entsprechende Maßnahmen sicherstellt, dass jederzeit eine Zuordnung zum Vormaterialzeugnis sichergestellt ist.

8.8.3 Fertigungsprüfungen bei Lötarbeiten, Punktschweißungen und thermischem Spritzen

Es sind folgende Fertigungsprüfungen durchzuführen:

(1) Hochtemperatur-Lötarbeiten

a) Zur Bestätigung der bei der Verfahrensprüfung ermittelten Ergebnisse sind Fertigungsproben beizulegen. Für hochtemperaturgelötete Steuerabführungseinsätze darf dies z. B. durch Beilegen von Fertigungsproben je Ofenlos im oberen, mittleren und unteren Bereich erfolgen.

b) Die Prüfstücke müssen den Lötgeometrien des Bauteils entsprechen.

c) Für die Prüfungen und Anforderungen gilt Abschnitt 8.6.4.5.

(2) Punktschweißen

a) Bei Punktschweißungen ist eine Fertigungsprüfung bei Schichtbeginn und bei Elektrodenwechsel sowie beim Eintreten von Besonderheiten bei der Schweißnaht durchzuführen.

b) Für die Prüfungen und Anforderungen gilt Abschnitt 8.6.4.10.

(3) Thermisches Spritzen

a) Beim thermischen Spritzen ist eine Fertigungsprüfung bei Schichtbeginn, bei Neueinstellung der Anlage sowie nach dem Einsatz einer neuen Pulvercharge durchzuführen.

b) Für die Prüfungen und Anforderungen gilt Abschnitt 8.6.4.7.

BAUPRÜFBLATT - RDB-Einbauten	Art der Belegung		Prüfteilnahme durch		
	Protokoll	Stempelung	AS-RE 1	AS-RE 2	AS-RE 3
0 Kontrolle auf Vorliegen der Herstellerbeurteilung	—	X	A, S	A, S	A, S ²⁾
1 Prüfungen vor Beginn der Fertigung					
1.1 Identifikation der Erzeugnisformen und Schweiß- und Lötzusätze a) Kontrolle auf Vorliegen der vollständigen Werkstoffdokumentation b) Kontrolle der Kennzeichnung bei Erzeugnisformen	—	X	H	H	H
1.2 Umstempeln a) Erzeugnisformen mit Abnahmeprüfzeugnis 3.1 nach DIN EN 10204 b) Erzeugnisformen mit Abnahmeprüfzeugnis 3.2 nach DIN EN 10204	X ¹⁾ X ¹⁾	X X	H S	H S	H S
1.3 Eingangskontrolle vorgefertigter Bauteile aus Zulieferungen a) Kontrolle auf Vorliegen der vollständigen Dokumentation b) Kontrolle der Kennzeichnung	—	X	H	H	H
1.4 Kontrolle der Verfahrensprüfungen	—	X	H, S	H, S	—
1.5 Prüfbescheinigungen der Schweißer	—	X	H, S	H, S	H
2 Schweißarbeiten					
2.1 Überwachung der Schweißarbeiten a) Führen des Schweißprotokolls durch H b) Abzeichnen des Schweißprotokolls durch S	X	—	H, S	H	H
2.2 Eindringprüfung der Wurzellage oder ausgearbeiteten Wurzelgegenseite	—	X	H, S ³⁾	H	H ²⁾
2.3 Progressive Eindringprüfung	—	X	H, S ³⁾	H	H ²⁾
2.4 Eindringprüfung der Schweißnahtoberflächen in ihrem Endzustand Hinweis: a) im geschweißten Zustand oder b) nach der letzten Wärmebehandlung oder c) nach der letzten mechanischen Bearbeitung	X	—	H, S	H	H
2.5 Eindringprüfung an Stellen entfernter Hilfsschweißungen (mit Übermaß kleiner als 5 mm)	—	—	H	H	H ²⁾
2.6 Sichtprüfung der Schweißnahtoberflächen im Endzustand	—	X	H, S	H	H
2.7 Durchstrahlungsprüfung	—	X	H, S	H	H ²⁾
2.8 Überwachung der Wärmebehandlung	X	—	H	H	H ²⁾
2.9 Auswertung der Fertigungsprüfung bei Punktschweißung	X	—	H	H	H ²⁾

Tabelle 8-6: Bauprüfblatt (siehe Abschnitt 8.8.1 (1))
(Fortsetzung siehe nächste Seite)

BAUPRÜFBLATT - RDB-Einbauten	Art der Belegung		Prüfteilnahme durch		
	Protokoll	Stempelung	AS-RE 1	AS-RE 2	AS-RE 3
3 Prüfung bei Lötarbeiten					
3.1 Visuelle Kontrolle der Heftschweißungen	—	X	H	H	H ²⁾
3.2 Überwachung des Lötvorgangs und Abzeichnen des Lötprotokolls	X	—	H, S	H	H ²⁾
3.3 Visuelle Lötnahtprüfung Prüfung auf Vollständigkeit der Lötung und auf Anlauffarben	—	X	H, S	H	H ²⁾
3.4 Auswertung der Fertigungsprüfung	X	—	H, S	H	H ²⁾
4 Maßprüfungen gemäß Messplan					
4.1 Kontrolle von Messvorrichtungen und Schablonen vor jedem Einsatz	—	X	H	H	H
4.2 Messen der Funktionsmaße	X	—	H, A	H, A	H
4.3 Integrale Messung der Maße, die den freien Steuerstabweg beeinflussen	X	—	H, A, S	H, A, S	H, A, S
4.4 Messen der wesentlichen Maße für den Festigkeitsnachweis	X	—	H, A, S	—	—
5 Funktionstest für Betriebswerkzeuge	X	—	—	—	H, A, S
6 Reinheitsprüfungen a) nach Abschluss der Fertigung b) stichprobenweise nach Abschluss der Montage auf der Baustelle	—	X	H, A	H, A	H, A ²⁾
7 Kontrolle der Dokumentation und Freigabe	X	—	H, A, S	H, A, S	H, A ²⁾ , S ²⁾

1) Protokoll nur bei Einführung einer Kurzbezeichnung.
2) Nur für Teile innerhalb des Reaktordruckbehälters.
3) S-Teilnahme nur bei Schweißnähten der Nahtgruppen A und B gemäß **Tabelle 8-3**.

Tabelle 8-6: Bauprüfblatt (siehe Abschnitt 8.8.1 (1))
(Fortsetzung)

8.8.4 Maßprüfung und Funktionstest

(1) Maßprüfung

- Die Funktionsmaße für Zentrierungen, Begrenzungen und Führungen, die eine betriebssichere Montage, Demontage und Handhabung der RDB-Einbauten der Anforderungsstufen AS-RE 1 bis AS-RE 3 und der Kernbauteile sicherstellen, sind zu messen.
- Maßprüfungen sind an den Bauteilen der RDB-Einbauten der Anforderungsstufen AS-RE 1 bis AS-RE 3 durchzuführen, welche die Brennelemente, die Steuerelemente und die Kerninstrumentierung führen und ausrichten.
- Die für den Festigkeitsnachweis von Bauteilen der Anforderungsstufe AS-RE 1 wesentlichen Maße sind zu messen.

(2) Funktionstest

Bei Bauteilen der Anforderungsstufe AS-RE 3 sind an sämtlichen Arten von Verriegelungseinrichtungen, Bewegungs- und Bedienungselementen Funktionstests unter Einsatzbedingungen durchzuführen.

8.8.5 Bescheinigungen

- Die Ergebnisse der Prüfungen werden durch Prüfprotokolle oder durch Stempelung im Prüffolgeplan dokumentiert.
- Die Stempelung im Prüffolgeplan darf erst dann erfolgen, wenn die Prüfung durchgeführt und die Anforderungen erfüllt wurden.

(3) Die Prüfprotokolle sind vom Hersteller auszustellen und müssen von den an der Prüfung Teilnehmenden abgezeichnet werden. Umstempelbescheinigungen sind bei der Einführung von Kurzbezeichnung auszustellen.

8.9 Anforderungen an die zerstörungsfreien Prüfungen und Bewertung der Prüfergebnisse

8.9.1 Allgemeingültige Festlegungen

(1) Die verfahrenstechnischen Anforderungen an die zerstörungsfreien Prüfverfahren sind in Abschnitt 7.3.5.8 festgelegt. Die Sichtprüfungen sind nach DIN EN ISO 17637 unter Berücksichtigung der Festlegungen in DIN EN 13018 für die örtliche Sichtprüfung durchzuführen.

(2) Werden zur Prüfung eines Bauteils mehrere Prüfverfahren zur Feststellung innerer oder äußerer Fehler eingesetzt, so ist die endgültige Beurteilung anhand aller Prüfergebnisse der einzelnen Prüfverfahren vorzunehmen.

(3) Bei der Oberflächenprüfung der Deck- und Gegenlagen von fertigen Schweißnähten sind alle zugänglichen Oberflächen der Schweißnähte einschließlich der benachbarten Grundwerkstoffoberflächen zu prüfen.

(4) Die progressive Oberflächenprüfung ist wie nachfolgend beschrieben durchzuführen:

- Bei Werkstückdicken kleiner als oder gleich 13 mm wird die Wurzel und jede folgende Lage, bei Werkstückdicken größer als 13 mm werden die Wurzel und die folgenden Lagen

nach jeweils 1/3 der Werkstückdicke, mindestens jedoch nach jeweils ca. 13 mm, auf Oberflächenrisse geprüft. Die Decklagen sind zu prüfen.

- b) Bei einlagigen Schweißungen ist diese Bedingung durch die Decklagenprüfung erfüllt.

8.9.2 Bewertung der Prüfergebnisse

8.9.2.1 Bewertung von Schweißnähten, Stellen entfernter Hilfsschweißungen und Hartauftragsschweißungen

8.9.2.1.1 Oberflächenprüfung

(1) Für die Bewertung der Prüfergebnisse von Schweißverbindungen gelten die Festlegungen der **Tabelle 8-7**.

(2) An Stellen entfernter Hilfsschweißungen sind keine rissartigen Anzeigen zulässig.

(3) An Hartauftragsschweißungen sind

- a) lineare Anzeigen unzulässig,
- b) Poren mit einer Ausblutung von gleich oder kleiner als 6 mm und einer tatsächlichen Ausdehnung kleiner als oder gleich 1,5 mm bis zu zehn Stück pro Quadratdezimeter der Hartauftragsschweißung bei einem Mindestabstand der Anzeigenränder von 3 mm vereinzelt zulässig.

8.9.2.1.2 Durchstrahlungsprüfung

(1) In der Durchstrahlungsaufnahme erkennbare Risse und Bindefehler sind nicht zulässig. Bei der Bewertung der nicht bearbeiteten Wurzel einseitig geschweißter Nähte gilt für eventuelle Wurzelfehler die Bewertungsgruppe B nach DIN EN ISO 5817.

(2) Die **Tabelle 8-8** enthält Kriterien für die zulässigen Einzelängen und kumulierten Längen. Ist der Abstand zwischen benachbarten Einschlüssen in Schweißnahrichtung größer als die zweifache Länge des größeren der beiden Einschlüsse, gilt jeder der beiden Einschlüsse als Einzeleinschluss. Bei Einschlüs-

sen kleiner als 10 mm Länge gelten diese Abstandsbedingungen nicht, wenn die Gesamtlänge dieses Bereiches die maximal zulässige Länge eines einzelnen Einschlusses nicht überschreitet.

(3) Nicht systematisch auftretende Poren sind zulässig. Werden Porenhäufungen auf größeren Nahtlängen (größer als 6 mal Wanddicke) festgestellt, so gelten sie als systematische Fehler. Örtliche Porenkonzentrationen in Form von Porenestern (z. B. mehr als 10 Poren in einem Bereich von etwa 20 mm Durchmesser) sollten nur vereinzelt auftreten, z. B. drei solcher Nester je Meter Nahtlänge. Schlauchporen, die senkrecht zur Oberfläche verlaufen, sind nur als Einzelfehler in Mehrlagenschweißungen zulässig. Parallel zur Oberfläche verlaufende Schlauchporen sind wie einschlussartige Fehler nach (2) zu bewerten.

8.9.2.1.3 Sichtprüfung

Es gilt

- a) für Bauteile der Anforderungsstufen „AS-RE 1“, „AS-RE 2“ und „AS-RE 3 innerhalb des RDB“ die Bewertungsgruppe B,
- b) für Bauteile der Anforderungsstufe „AS-RE 3 außerhalb des RDB“ die Bewertungsgruppe C

für Oberflächenunregelmäßigkeiten gemäß DIN EN ISO 5817, wobei die Unregelmäßigkeit Mikro-Bindefehler nicht zu berücksichtigen ist.

8.9.2.2 Bewertung von Lötverbindungen

Die Bewertung der visuellen Lötnahtprüfung ist gemäß Abschnitt 8.6.4.5 (2) a) durchzuführen.

8.9.2.3 Bewertung von thermisch gespritzten Schichten

Die Bewertung der Sichtprüfung der thermisch gespritzten Schichten ist gemäß Abschnitt 8.6.4.7 (2) a) durchzuführen.

Wanddicke der Schweißverbindung	Anzeigen ≤ 1,5 mm	Anzeigen > 1,5 mm bis ≤ 3 mm	Anzeigen > 3 mm
s > 3 mm	Nicht in die Bewertung einzubeziehen	Bis 10 Anzeigen pro Meter Schweißnahtlänge	Nicht zulässig
s ≤ 3 mm	Keine Anzeigen zulässig		

Maßgebend für die Bewertung der Anzeigengröße ist der letzte Inspektionszeitpunkt, siehe Abschnitt 7.3.5.8.3.2.

Tabelle 8-7: Zulässigkeitskriterien für Eindringprüfungen von Schweißverbindungen (siehe Abschnitte 7.3.5.8.3.3 und 8.9.2.1.1)

Nennwanddicke s ¹⁾ der Verbindungsschweißnaht in mm	Zulässige Breite in mm	Zulässige Einzellängen l in mm	Zulässige kumulierte Längen Σ l je Bezugslänge L = 6 · s ¹⁾ in mm
s ≤ 10	< 0,2 · s	≤ s	≤ s
10 < s ≤ 25	≤ 2	≤ s	≤ 1,5 · s
25 < s ≤ 40		≤ 25	
40 < s ≤ 60		≤ 30	
60 < s ≤ 120		≤ 40	≤ 2 · s
s > 120		≤ 50	

¹⁾ s₁ bei Schweißnähten an aufgesetzten Stützen und Anschweißteilen (HV- und DHV-Nähte)

Tabelle 8-8: Zulässigkeitskriterien für die Bewertung von einschlussartigen Durchstrahlungsanzeigen

9 Betriebsüberwachung und Prüfungen

9.1 Geltungsbereich

Dieser Abschnitt regelt die während der Inbetriebnahme, des Betriebes und der Brennelementwechsel durchzuführenden Inspektionen, Messungen und die Überwachung an Reaktordruckbehälter-Einbauten innerhalb des Reaktordruckbehälters.

9.2 Prüfzeitpunkte

Die **Tabelle 9-1** enthält eine Zusammenstellung der Prüfzeitpunkte sowie Angaben für Druckwasserreaktoren und Siedewasserreaktoren, welche Prüfungen zu den genannten Prüfzeitpunkten durchgeführt werden dürfen oder durchgeführt werden müssen. Die Zeitpunkte, zu denen Schwingungsmessungen und Inspektionen durchzuführen sind, sind notwendigerweise an die einzelnen Inbetriebnahmeschritte gekoppelt. Je nachdem, welche Inbetriebnahmeschritte durchgeführt werden, ergibt sich somit ein unterschiedliches Vorgehen.

9.3 Inspektionen

9.3.1 Allgemeingültige Festlegungen

(1) Zu den in **Tabelle 9-1** genannten Prüfzeitpunkten sind Inspektionen in der Art und an den Bauteilen durchzuführen, wie sie in den **Tabellen 9-2 bis 9-5** aufgeführt sind. Dabei dürfen die nach den **Tabellen 9-2 und 9-3** für den Prüfzeitpunkt B vorgeschriebenen Inspektionen bereits mit Abschluss der Baustellenerfertigung ganz oder teilweise durchgeführt werden.

(2) Die erwähnten Bauteile sind in **Bild 3-1** für typische Reaktordruckbehälter-Einbauten bei Druckwasserreaktoren und in **Bild 3-2** für typische Reaktordruckbehälter-Einbauten bei Siedewasserreaktoren dargestellt.

(3) Die in den **Tabellen 9-2 bis 9-5** genannten Inspektionen dürfen auch gleichzeitig, während eines Inspektionsvorganges durchgeführt werden.

(4) Ein über die jeweilige Revisionsplanung hinausgehender zusätzlicher Ausbau von Reaktordruckbehälter-Einbauten oder anderen Bauteilen im Reaktordruckbehälter ist für die Durchführung der integralen Sichtprüfung gemäß den **Tabellen 9-2 bis 9-5** nicht erforderlich.

Für die gezielte Sichtprüfung gemäß den **Tabellen 9-2 bis 9-5** kann der Ausbau von zusätzlichen Bauteilen im RDB erforderlich sein. Der Umfang dieser notwendigen Maßnahmen ist anlagenbezogen unter Berücksichtigung der geplanten Revisionsstätigkeiten insbesondere bei betriebsbedingten Demontagen von RDB-Einbauten oder z. B. internen Axialpumpen oder BE-Randpositionen festzulegen. Der Kenntnisstand über die eingesetzten Werkstoffe, die Fertigung, die betrieblichen Belastungen der Reaktordruckbehälter-Einbauten ist bei der Festlegung des anlagenbezogenen Umfangs der gezielten Sichtprüfung zu berücksichtigen. Es ist zulässig, die gezielten Sichtprüfungen auf repräsentative Stellen der Reaktordruckbehälter-Einbauten zu beschränken.

(5) An den Lastanschlagpunkten von Bauteilen, deren Ausbau aus betrieblichen Gründen notwendig ist, ist bei jedem BE-Wechsel auf der Abstellposition eine gezielte Sichtprüfung durchzuführen. Lastanschlagpunkte von Bauteilen, deren Ausbau aus betrieblichen Gründen nicht notwendig ist, sind vor der Verwendung einer gezielten Sichtprüfung zu unterziehen. Werden Mängel festgestellt, die die Sicherheit beeinträchtigen, dürfen die Lastanschlagpunkte bis zur Mängelbehebung nicht benutzt werden.

9.3.2 Anforderungen an die Sichtprüfungen

(1) Für die Anforderungen an das Prüfverfahren, das Prüfpersonal, den zugezogenen Sachverständigen, die verwendeten

Hilfsmittel und die Durchführung von Sichtprüfungen gilt DIN 25435-4.

(2) Als Vergleichsbasis für die integralen Sichtprüfungen sind vor dem ersten Probetrieb von repräsentativen Stellen Bildaufzeichnungen (z. B. Fotos, Videoaufzeichnungen) anzufertigen. Die Einzelheiten sind anlagenbezogen zu regeln.

(3) Die gezielte Sichtprüfung auf Risse soll eine Detailerkennbarkeit eines Drahtes mit einem Durchmesser von 0,025 mm oder von tatsächlichen Rissen in einem Vergleichskörper gewährleisten. Der Vergleichskörper soll die Oberflächenbeschaffenheit der zu prüfenden Stellen berücksichtigen. Die Detailerkennbarkeit mit dem eingesetzten Gerätesystem einschließlich der erforderlichen Randbedingungen (z. B. Abstand, Ausrichtung, gewählte Beleuchtungseinrichtung) ist zu dokumentieren.

9.3.3 Prüfprogramm für Inspektionen

(1) Die gemäß den **Tabellen 9-2 bis 9-5** durchzuführenden Prüfungen und Inspektionen sind in einem anlagenbezogenen Prüfprogramm zusammenzufassen. Das anlagenbezogene Prüfprogramm muss mindestens folgende Angaben enthalten:

- a) die genauen Prüfbereiche,
- b) die Prüfintervalle,
- c) den Prüfumfang je Komponente, Baugruppe oder Bauteil, der innerhalb des Prüfintervalls in Teilprüfungen aufgeteilt werden darf,
- d) die bei jedem BE-Wechsel durchzuführenden Prüfungen (z. B. integrale Sichtprüfung auf Fremdkörper),
- e) die mechanisierten Prüfeinrichtungen,
- f) die Prüfbeteiligung.

(2) Die zu den Prüfzeitpunkten F und G durchzuführenden Prüfungen sind in das Prüfhandbuch aufzunehmen. Die Festlegungen von KTA 1202 sind zu berücksichtigen.

(3) Die Prüfintervalle sind unter Berücksichtigung der Prüfintervalle für die wiederkehrenden Prüfungen am Reaktordruckbehälter festzulegen.

(4) Bei der Festlegung von Art und Umfang der im bevorstehenden BE-Wechsel durchzuführenden Prüfungen sowie der Prüforte sind die Ergebnisse der Schwingungsüberwachung und der Überwachung auf lose Teile dahingehend auszuwerten, ob relevante Veränderungen zu bisherigen Ergebnissen der Betriebsüberwachung vorliegen und zu bewerten sind.

9.3.4 Beurteilung des Ist-Zustandes

(1) Werden bei den Inspektionen Auffälligkeiten festgestellt, so ist in jedem Einzelfall zu entscheiden, ob und welche weitergehenden Untersuchungen und Maßnahmen notwendig sind (z. B. Erhöhung des Prüfumfanges, Einsatz ergänzender Prüfverfahren). Werden ergänzend zerstörungsfreie Prüfverfahren eingesetzt, hat die Durchführung nach der jeweiligen Norm aus der Normenreihe DIN 25435 zu erfolgen

Hinweise:

Die gemäß Abschnitt 9.3.3 von repräsentativen Stellen angefertigten Bildaufzeichnungen dienen für die gezielten Sichtprüfungen und Inspektionen als Referenz.

Bei der Beurteilung des Ist-Zustandes ist zu berücksichtigen, dass die Bauteile während des Betriebs der Anlage Veränderungen an den Oberflächen erfahren (z. B. Verfärbungen, Strömungsmarkierungen, Ziehriefen durch Handhabung).

(2) Maßkontrollen und Funktionsprüfungen gelten als bestanden, wenn die für die Inspektion spezifizierten Werte erreicht werden.

9.3.5 Dokumentation der Inspektionen

(1) Über die durchgeführten Inspektionen ist jeweils ein Protokoll zu erstellen. Darin sind Art, Umfang, verwendete Hilfsmittel und Prüfgeräte sowie das Ergebnis der Inspektionen mit den gegebenenfalls festgestellten Abweichungen vom Referenzzustand zu dokumentieren (z. B. durch Fotos).

(2) Die Dokumentation ist gemäß Abschnitt 5 durchzuführen, für den Dokumentationsumfang gelten die Festlegungen nach DIN 25435-4.

(3) Die Prüfungen der Lastanschlagpunkte und der durchgeführten Instandsetzungsarbeiten sind gemäß Abschnitt 5 zu dokumentieren.

9.4 Schwingungsmessungen

9.4.1 Allgemeingültige Festlegungen

Für RDB-Einbauten ist nachzuweisen, dass sie die während der Lebensdauer des Reaktors auftretenden dauernden oder vorübergehenden Schwingungsbelastungen aushalten. Bei Bauteilen der Anforderungsstufe AS-RE 2 sind Schwingungsbelastungen nur dann zu ermitteln, wenn es sich nicht um erprobte Ausführungen handelt. Von den Maßnahmen, mit denen die Zulässigkeit der im Betrieb auftretenden Schwingungsbelastungen nachgewiesen werden kann, sind nachstehend nur die experimentellen Untersuchungen behandelt. Der Festigkeitsnachweis selbst ist in Abschnitt 6.2 behandelt.

Die experimentellen Untersuchungen (Schwingungsmessprogramm) stellen eine alternative Möglichkeit dar, durch welche der analytische Nachweis ersetzt werden kann. Das Messprogramm kann:

- a) dynamische Kennwerte, z. B. Eigenfrequenz, und
- b) für ausgewählte Messorte und Messgrößen die bei den möglichen betrieblichen Zuständen auftretenden dynamischen Belastungs- und Beanspruchungswerte liefern.

9.4.2 Klassifizierung der Reaktordruckbehälter-Einbauten für Schwingungsmessungen

Entsprechend der Zielsetzung des Schwingungsmessprogramms ergeben sich unterschiedliche Anforderungen an dessen Umfang. Dieser hängt davon ab, wie umfangreich die abgesicherte Kenntnis der für die Strukturanalyse und den Festigkeitsnachweis benötigten Kenn- und Belastungswerte ist. Die Reaktordruckbehälter-Einbauten sind daher im Hinblick auf Schwingungsmessungen nach Konstruktion, Betriebsparameter und Betriebserfahrungen in verschiedene Klassen einzuteilen:

(1) Erstanlage

Eine Anordnung von Reaktordruckbehälter-Einbauten, die aufgrund ihres Aufbaues, ihrer Größe oder der Betriebsbedingungen eine erstmalige Ausführung darstellen, für die keine Referenzanlage vorhanden ist.

(2) Referenzanlage

Eine Anlage, für die ein Schwingungsmessprogramm erfolgreich durchgeführt wurde mit dem Ergebnis, dass bei der Inbetriebnahme keine unzulässigen dynamischen Beanspruchungen aufgetreten sind.

(3) Modifizierte Erstanlage

Eine Anordnung von Reaktordruckbehälter-Einbauten, die teilweise in Belastungen oder Betriebsbedingungen oder Geometrie von der Referenzanlage abweicht und bei der durch vorliegende Messergebnisse und Analysen oder eine Kombination von Messergebnissen und Analysen teilweise nicht nachgewie-

sen werden kann, dass Abweichungen von der Referenzanlage keinen wesentlichen Einfluss auf das dynamische Verhalten der Reaktordruckbehälter-Einbauten haben.

(4) Folgeanlage

Eine Anordnung von Reaktordruckbehälter-Einbauten mit im Wesentlichen denselben Belastungs- und Betriebsbedingungen sowie demselben Aufbau und vergleichbaren Dimensionen wie eine Referenzanlage. Durch vorliegende Messergebnisse oder eine Kombination von Messergebnissen und Analysen ist nachzuweisen, dass eventuelle Abweichungen keinen wesentlichen Einfluss auf das dynamische Verhalten der Reaktordruckbehälter-Einbauten haben.

9.4.3 Maßnahmen

Der analytische Nachweis (Abschnitt 6.2.4.2) oder der experimentelle Ermüdungsnachweis (Abschnitt 6.2.4.3.5) darf durch das Schwingungsmessprogramm und das Prüfprogramm gemäß Abschnitt 9.3.3 für die Prüfzeitpunkte A bis F nach **Tabelle 9-1** ersetzt werden.

9.4.3.1 Schwingungsmessprogramm für Erstanlage

Zum Nachweis von im stationären und instationären Normalbetrieb auftretenden dynamischen Belastungen und den daraus resultierenden dynamischen Bewegungen und Beanspruchungen ist während der Inbetriebnahme ein Schwingungsmessprogramm durchzuführen.

(1) Versuchsprogramm

Vor Beginn der Messungen ist ein Versuchsprogramm zu erstellen. Dieses Programm muss beschreiben:

- a) Die Messorte, die Messrichtungen sowie die Messgrößen einschließlich der zu berücksichtigenden Frequenz- und Amplitudenbereiche. Die Messorte müssen so gewählt sein, dass alle für den experimentellen Teil des Ermüdungsnachweises erforderlichen Bewegungen, Beanspruchungen und Belastungen der Bauteile erfasst werden.
- b) Das Vorgehen bei der Messung, welche Signale in welcher Weise aufbereitet, gespeichert und dargestellt werden. Zusätzlich muss angegeben sein, welche Signale in welcher Weise zur Sicherstellung der geforderten Messqualität und zur Vermeidung unzulässiger dynamischer Beanspruchungen vor Ort sofort ausgewertet werden sollen.
- c) Die stationären und instationären Betriebszustände, bei denen gemessen werden soll, sowie - zugeordnet zu den Betriebszuständen - die Aufzeichnungsdauer (Messzeit).
- d) Die geplante Versuchsdauer des Betriebs unter Normalbetriebsbedingungen, die sicherstellt, dass jedes dynamisch beanspruchte Bauteil mindestens 10^6 Lastwechseln (für die niedrigste Frequenz, für die eine nennenswerte Schwingantwort des Bauteils vorliegt) vor der abschließenden Inspektion der Reaktordruckbehälter-Einbauten unterworfen wurde.
- e) Die Aufnehmer und ihre Kenndaten einschließlich der nutzbaren Frequenz- und Amplitudenwerte.
- f) Die Einrichtungen zur Signalaufbereitung, -speicherung, -darstellung und -auswertung, im Hinblick auf die Eigenschaften, die die Qualität des Ergebnisses beeinflussen.
- g) Die gegebenenfalls vorhandenen Abweichungen des Anlagen- oder Betriebszustandes gegenüber dem Normalbetrieb.
- h) Weitere Randbedingungen, die das Messergebnis beeinflussen.

(2) Durchführung der Messungen

Die Messungen sind gemäß dem Versuchsprogramm durchzuführen. Beim Auftreten unerwarteter Messwerte darf vom verantwortlichen Versuchsleiter das Messprogramm ergänzt oder

modifiziert werden. Gegebenenfalls sind Empfehlungen bezüglich der Betriebszustände an den für den Betrieb oder für den Festigkeitsnachweis Verantwortlichen zu geben.

(3) Dokumentation der Ergebnisse

Die Ergebnisse der Messungen sind, einschließlich aller maßgeblichen Abweichungen vom Versuchsprogramm sowie der bei der Messung aufgetretenen Störungen an der Messeinrichtung, zu dokumentieren.

Die Ergebnisse der Messungen und der Inspektionen gemäß Abschnitt 9.2 sind zueinander in Bezug zu setzen.

9.4.3.2 Schwingungsmessprogramm für modifizierte Erstanlagen

(1) Der Umfang des Messprogramms darf auf die Messung einer repräsentativen Bewegung oder Beanspruchung reduziert werden (Kontrollmessung), sofern durch Vergleich der für das Schwingungsverhalten relevanten Größen gezeigt werden kann, dass die Abweichungen gegenüber einer gültigen Referenzanlage unbedeutend sind.

(2) Ist dieser Nachweis partiell nicht durchführbar, dann ist die Messung so zu erweitern, dass außer der Kontrollmessung für den nachgewiesenen Teil ausreichende experimentelle Daten auch für den von der Referenzanlage wesentlich abweichenden Teil erhalten werden.

(3) Für das Versuchsprogramm, die Durchführung der Messungen und die Dokumentation der Ergebnisse gelten die Festlegungen des Abschnitts 9.4.3.1.

9.4.3.3 Schwingungsmessprogramm für Folgeanlagen

Für Folgeanlagen ist kein Schwingungsmessprogramm erforderlich.

9.5 Schwingungsüberwachung

(1) Zur frühzeitigen Erkennung von Veränderungen im Schwingungsverhalten der Reaktordruckbehälter-Einbauten sind diese während des Betriebs zu überwachen.

(2) Für DWR-Anlagen sind das System und die Überwachungen nach DIN 25475-2 auszuführen.

(3) Die Überwachung ist so durchzuführen, dass Veränderungen des Schwingungsverhaltens einer repräsentativen Stelle der Reaktordruckbehälter-Einbauten festgestellt werden können.

Hinweise:

Die Informationen werden durch indirekte Messverfahren gewonnen (z. B. durch Messung des Neutronenflussrauschens oder der Reaktordruckbehälter-Bewegungen).

Bei diesen Messverfahren muss der Bezug zu den zu überwachenden Messgrößen ermittelt werden.

(4) Die Schwingungsüberwachung muss jederzeit durchgeführt werden können. Sie darf diskontinuierlich erfolgen.

(5) Es sind mindestens drei Messungen je Brennelement-Zyklus erforderlich, davon eine Messung unmittelbar nach einem und eine Messung vor dem folgenden Brennelement-Wechsel bei stationärem Betrieb der Kraftwerksanlage.

Hinweis:

Es ist zweckmäßig, zur Durchführung der Überwachung ein Schwingungsüberwachungssystem fest zu installieren, mit dessen Hilfe ohne zusätzliche Installation die erforderlichen Messungen durchgeführt werden können.

(6) Ist eine Schwingungsüberwachung wegen Ausfalls der Messeinrichtungen ganz oder teilweise nicht möglich, so darf sie bis zum nächstfolgenden Anlagenstillstand ausgesetzt werden.

(7) Die Maßnahmen zur Durchführung der Schwingungsüberwachung sowie die Maßnahmen bei festgestellten Veränderungen im Schwingungsverhalten der RDB-Einbauten sind anlagenbezogen festzulegen.

Hinweis:

Für SWR-Anlagen gibt es derzeit kein abgesichertes indirektes Messverfahren.

9.6 Überwachung auf lose Teile

(1) Zur frühzeitigen Erkennung von Schäden sind die Reaktordruckbehälter-Einbauten auf lose Teile mittels eines Körperschallüberwachungssystems (KÜS) zu überwachen. Dieses System und die Überwachungen sind nach DIN 25475-1 auszuführen.

(2) Die Überwachung gilt dabei auch bei Ausfall einzelner Messkanäle des Körperschallüberwachungssystems als sichergestellt, solange in jedem Überwachungsbereich gemäß DIN 25475-1 lose Teile festgestellt werden können.

(3) Die Überwachung darf bei Ausfall des gesamten Körperschallüberwachungssystems vorübergehend auch durch andere Verfahren erfolgen (z. B. Aktivitätsmessungen und chemische Analyse des Primärkühlmittels, Schwingungsmessungen an Komponenten).

Prüfzeitpunkte	Inspektionen		Schwingungsmessungen	
	DWR	SWR	Erstanlage und modifizierte Erstanlage	
			DWR	SWR
A Probetrieb ohne Kern	keine	keine	Es darf der Teil des Messprogramms, der durch das Beladen des Reaktorkerns nicht beeinflusst wird, durchgeführt werden.	
B Vor dem erstmaligen Beladen des Reaktorkerns mit Brennelementen (BE)	Die in den Tabellen 9-2 und 9-3 genannten Inspektionen müssen vor dem erstmaligen Beladen des Reaktorkerns durchgeführt worden sein. Hat ein Probetrieb nach A stattgefunden, so sind die Inspektionen nach diesem durchzuführen.		keine	keine
C Probetrieb mit Kern	keine	keine	Es ist das Messprogramm durchzuführen, mit Ausnahme des Teils, der zum Prüfzeitpunkt A erfolgreich durchgeführt wurde.	Es darf der Teil des Messprogramms, der durch den Leistungsbetrieb nicht abweichend beeinflusst wird, durchgeführt werden.
D Nach Probetrieb mit Kern, jedoch vor nuklearem Betrieb	Die in Tabelle 9-2 genannten Inspektionen müssen durchgeführt werden. Gilt nicht für Folgeanlagen gemäß 9.4.2 (4).		keine	keine
E Leistungsbetrieb erster BE-Zyklus	keine	keine	keine	Es ist das Messprogramm durchzuführen, mit Ausnahme des Teils, der zu den Prüfzeitpunkten A und C erfolgreich durchgeführt wurde.
F Nach Ende des ersten und vor Beginn des zweiten BE-Zyklus	Die in der Tabelle 9-4 genannten Inspektionen sind nach einem anlagenbezogenen Prüfprogramm gemäß Abschnitt 9.3.3 durchzuführen.		keine	keine
G Bestimmungsgemäßer Betrieb mit Beginn des zweiten BE-Zyklus	Die in der Tabelle 9-5 genannten Inspektionen sind nach einem anlagenbezogenen Prüfprogramm gemäß Abschnitt 9.3.3 durchzuführen.		keine	keine

Tabelle 9-1: Prüfzeitpunkte der Inspektionen und Schwingungsmessungen für Druckwasserreaktoren (DWR) und Siedewasserreaktoren (SWR)

Nr.	Komponenten, Baugruppen und Bauteile	Prüfzeitpunkt	
		B	D
1	Oberes Kerngerüst	(1), (2), (3), (4), (5), 8	(1), (2), (3), (4), (5), 8
1.1	Deckplatte/obere Tragplatte	—	—
1.2	a) Stützen/Steuerstabführungsrohre	—	—
	b) Tragwerkszylinder		
1.3	Gitterplatte/obere Gitterplatte	—	—
1.4	Kerninstrumentierungsrohre	7 a)	7 f)
1.5	Federelemente	3, 4, 7	3, 4, 7
1.6	Steuerstabführungseinsätze	7 a)	7 f)
1.7	Lastanschlagpunkte	—	—
2	Unteres Kerngerüst	(1), (2), (3), (4), (5)	(1), (2), (3), (4), (5)
2.1	Zentrierung für Gitterplatte/obere Gitterplatte	—	—
2.2	Kernumfassung (KU) einschließlich Schrauben	6 b)	6 b)
2.3	Unterer Rost/untere Gitterplatte	—	—
2.4	Stauplatte	—	—
2.5	Kernbehälter-Flansch	6 c)	6 c), 8
2.6	Kernbehälter einschließlich Schrauben	2, 6 d)	6 d)
2.7	Innenkerninstrumentierungsrohre	7 a)	7 f)
2.8	Überströmvorrichtungen	7 e)	7 e)
2.9	Probenhalterrohre	2, 3, 4	2, 3, 4
2.10	Lastanschlagpunkte	—	—
3	Schemel/Siebtonne	1, 2, 3, 4, 5	1, 2, 3, 4, 5, 8
4	Schemelkonsolen	1, 3, 4, 5	1, 3, 4, 5, 8
5	Kernbehälterzentrierungen	1, 3, 4, 5	1, 3, 4, 5, 8
6	Innenkerninstrumentierungsstützen	1, 2, 3, 4, 5	1, 2, 3, 4, 5, 8
7	Auslenkungsbegrenzungen/Kernführungspratzen	1, 2, 4, 5	1, 3, 4, 5, 8
<p>Erläuterungen:</p> <p>Art der durchzuführenden Inspektionen:</p> <p>1 : Absuchen auf Fremdkörper</p> <p>2 : Sichtprüfung von Schweißnähten</p> <p>3 : Sichtprüfung auf Vollständigkeit</p> <p>4 : Sichtprüfung auf mechanische Beschädigung</p> <p>5 : Sichtprüfung von Schraubverbindungen</p> <p>6 : Maßkontrolle</p> <p>7 : Funktionsprüfung</p> <p>8 : Sichtprüfung von Berührungsflächen</p> <p>(1), (2) ... (5) : Die Prüfung ist zum genannten Zeitpunkt großflächig, integral durchzuführen. Einzelne Bauelemente sind dabei nur stichprobenweise zu prüfen.</p> <p>1, 2, ... 8 : Die Prüfung ist zum genannten Zeitpunkt gezielt durchzuführen.</p> <p>Fußnoten:</p> <p>a) Prüfung des freien Durchgangs Diese Prüfung ist nach Probetrieb ohne Kern nur dann erforderlich, wenn nicht bereits während der Baustellenfertigung durchgeführt.</p> <p>b) Maßliche Kontrolle der Bezugsmaße der Kernumfassung</p> <p>c) Kontrolle des radialen Spiels zwischen Kernbehälter-Flansch und RDB</p> <p>d) Kontrolle des Austrittsstützenspiels zwischen Kernbehälter und RDB</p> <p>e) Prüfung der Beweglichkeit</p> <p>f) Prüfung des freien Durchgangs Nur erforderlich, wenn nicht nach Probetrieb ohne Kern bereits durchgeführt.</p> <p>Hinweis: Prüfung nach Baustellenfertigung kann diese nicht ersetzen.</p>			

Tabelle 9-2: Inspektionen an Reaktordruckbehälter-Einbauten für Druckwasserreaktoren zu den Prüfzeitpunkten B und D gemäß Tabelle 9-1

Nr.	Komponenten, Baugruppen und Bauteile	Prüfzeitpunkt	
		B	
1	Kernmantel (KM)	(1), (2) ^{a)} , (3), (4), 8 ^{b)}	
2	Rückströmraumabdeckung (RSRA)	(1), (2), (3), (4), 6 ^{c)} , 8 ^{c)}	
3	Pumpenabdichtungen	1, 2, 3, 4, 5, 6 ^{d)} , 7, 8	
4	Steuerstab-/Steuerelementführungsrohre	(1), (3), (4)	
5	Unteres Kerngitter	(1), (2), (3), (4), (5)	
6	Oberes Kerngitter	(1), (2), (3), (4), (5), 8 ^{e)}	
7	Speisewasserverteiler (SWV)	(1), (2), (3), (4), (5), 7 ^{f)} , 8	
8	Führungsschienen	3, 4	
9	Dampfabscheider	(1), (2), (3), (4), (5), 7 ^{g)} , 8	
10	Dampftrockner	(1), (2), (3), (4) ^{h)} , (5), 7 ^{j)} , 8	
11	Kernflussmessgehäuserohr-Verband	(2) ^{k)} , (3) ^{k)} , (4) ^{k)}	
12	Teile am RDB	(1) ^{k)} , (3) ^{k)} , (4) ^{k)} , (5) ^{k)} , (8) ^{k)}	
12.1	Konsolen für a) Dampftrockner b) Führungsschienen c) Probenmagazine d) Speisewasserverteiler e) Rückströmraumabdeckung f) Instrumentierung		
12.2	Thermoschutzrohre für a) Speisewasserverteiler b) Kernfluteinrichtung / Kernsprüheinrichtung c) Deckelsprüheinrichtung		
13	Kernfluteinrichtung / Kernsprüheinrichtung		(1), (2), (3), (4), (5), 7 ^{f)} , 8
Erläuterungen:			
1 : Absuchen auf Fremdkörper 2 : Sichtprüfung von Schweißnähten 3 : Sichtprüfung auf Vollständigkeit 4 : Sichtprüfung auf mechanische Beschädigung 5 : Sichtprüfung von Schraubverbindungen 6 : Maßkontrolle 7 : Funktionsprüfung 8 : Sichtprüfung von Berührungsflächen (1), (2) ... (8) : Die Prüfung ist zum genannten Zeitpunkt großflächig, integral durchzuführen. Einzelne Bauteile sind dabei nur stichprobenweise zu prüfen. 1, 2, ... 8 : Die Prüfung ist gezielt durchzuführen.			
Fußnoten:			
a) Ausgenommen Schweißnaht Kernmantel/RDB b) Berührungsfläche zum Dampfabscheider c) ^{ca)} Spalt RSRA/RDB ^{cb)} Sitz RSRA/KM ^{cc)} Spalte RSRA/Unterstützungen an RDB oder KM d) Spalt Pumpenabdichtung/Pumpe e) Berührungsfläche zum Dampfabscheider f) Funktionsprüfung der Verriegelungen g) Funktionsprüfung der Verriegelungen während der Remontage nach Beladen h) Visuelle Kontrolle von Verriegelungseinrichtungen j) Funktionsprüfung der Niederhaltung k) Soweit zugänglich			

Tabelle 9-3: Inspektionen an Reaktordruckbehälter-Einbauten für Siedewasserreaktoren zum Prüfzeitpunkt B gemäß Tabelle 9-1

Nr.	Komponenten, Baugruppen und Bauteile	Prüfumfang	Prüfintervall 1) 2)
1	Oberes Kerngerüst	Integrale Sichtprüfung a) auf Fremdkörper b) von Schweißnähten c) auf Vollständigkeit d) auf mechanische Beschädigung e) von Schraubverbindungen f) von Berührungsflächen	Intervall für zerstörungsfreie Prüfung am RDB
1.1	Deckplatte/obere Tragplatte	Integrale Sichtprüfung auf Fremdkörper	1 BE-Wechsel
1.2	a) Stützen/Steuerstabführungsrohre	Integrale Sichtprüfung a) von Schweißnähten b) auf mechanische Beschädigung c) von Schraubverbindungen	Intervall für zerstörungsfreie Prüfung am RDB
	b) Tragwerkszylinder	Integrale Sichtprüfung a) von Schweißnähten b) von Schraubverbindungen	
1.3	Gitterplatte/obere Gitterplatte	Integrale Sichtprüfung a) der BE-Zentrierung auf Vollständigkeit b) der Berührungsflächen des Führungsstücks der Gitterplattenzentrierung, der BE-Zentrierung und der Druckstellen der BE-Niederhalterung auf mechanische Beschädigung	1 BE-Wechsel
1.4	Federelemente	1. Gezielte Sichtprüfung des Bolzenüberstands und der Befestigung der Niederhalteplatten auf mechanische Beschädigung	Intervall für zerstörungsfreie Prüfung am RDB
		2. Funktionsprüfung der Niederhalterung a) durch Überprüfung der Federkennwerte oder	Intervall für zerstörungsfreie Prüfung am RDB
		b) durch Kombination aus ³⁾ ba) kontinuierlicher Messung und Trendüberwachung der Pendelschwingungen des RDB/Kernbehälters und	Auswertung mindestens drei Mal zwischen zwei BE-Wechseln
		bb) Überprüfung der Federkennwerte	Dreifaches Intervall für zerstörungsfreie Prüfung am RDB
1.5	Steuerstabföhreinsätze	Funktionsprüfung zur Gängigkeitskontrolle, z. B. mit Steuerstab, Prüfkörper	1 BE-Wechsel
1.6	Lastanschlagpunkte	a) Gezielte Sichtprüfung auf Vollständigkeit, Risse, Verformungen, Verschleiß und Korrosion ⁴⁾ b) gezielte Sichtprüfung der Schweißnähte ⁴⁾	Gemäß Abschnitt 9.3.1 (5)
2	Unteres Kerngerüst	Integrale Sichtprüfung a) auf Fremdkörper b) von Schweißnähten c) auf Vollständigkeit d) auf mechanische Beschädigung e) von Schraubverbindungen f) von Berührungsflächen	Intervall für zerstörungsfreie Prüfung am RDB
2.1	Kernbehälterseitige Zentrierung für Gitterplatte/obere Gitterplatte	Integrale Sichtprüfung auf mechanische Beschädigung (Reibspuren)	Intervall für zerstörungsfreie Prüfung am RDB
2.2	Kernumfassung (KU) einschließlich KU-seitige und KB-seitige Kernumfassungsschrauben	a) Integrale Sichtprüfung ⁵⁾ der Schraubenköpfe, der Sicherungsschweißung oder der mechanischen Sicherung der KU-seitigen und KB-seitigen Kernumfassungsschrauben b) Integrale Sichtprüfung der KU-Bleche auf eventuelle Anlagenstellen der BE-Köpfe und BE-Füße	Intervall für zerstörungsfreie Prüfung am RDB
2.3	Unterer Rost/untere Gitterplatte	Integrale Sichtprüfung a) der BE-Abstellplatte auf Fremdkörper b) auf Vollständigkeit (insbesondere der BE-Zentrierung) c) auf mechanische Beschädigung	
2.4	Stauplatte	Integrale Sichtprüfung auf Fremdkörper	
2.5	Überströmvorrichtungen	Gängigkeitsprüfung (Prüfung der Beweglichkeit)	

Tabelle 9-4: Prüfungen und Inspektionen an RDB-Einbauten für Druckwasserreaktoren (DWR) zu den Prüfzeitpunkten F und G gemäß Tabelle 9-1 (Fortsetzung siehe nächste Seite)

Nr.	Komponenten, Baugruppen und Bauteile	Prüfumfang	Prüfintervall 1) 2)
2.6	Probenhalterrohre	Integrale Sichtprüfung a) von Schweißnähten b) auf Vollständigkeit c) auf mechanische Beschädigung d) von Schraubverbindungen	Intervall für zerstörungsfreie Prüfung am RDB
2.7	Lastanschlagpunkte	a) Gezielte Sichtprüfung auf Vollständigkeit, Risse, Verformungen, Verschleiß und Korrosion 4) b) Gezielte Sichtprüfung der Schweißnähte 4)	gemäß Abschnitt 9.3.1 (5)
3	Schemel/Siebtonne	1. Integrale Sichtprüfung a) auf Fremdkörper b) auf Vollständigkeit c) auf mechanische Beschädigung d) von Schraubverbindungen e) von Berührungsflächen 2. Gezielte Sichtprüfung der Schweißnähte 4)	Intervall für zerstörungsfreie Prüfung am RDB
4	Innenkerninstrumentierungsstutzen		
5	Kernbehälterzentrierungen		
6	Schemelkonsolen		
7	Auslenkungsbegrenzungen/ Kernführungspratzen	1. Integrale Sichtprüfung a) auf Fremdkörper b) auf Vollständigkeit c) von Schraubverbindungen (soweit vorhanden) d) von Berührungsflächen 2. Gezielte Sichtprüfung auf mechanische Beschädigung	
<p>1) Das Prüfintervall orientiert sich an einem Intervall von durchschnittlich 1 Jahr zwischen zwei BE-Wechseln.</p> <p>2) Zum Prüfintervall des RDB siehe KTA 3201.4.</p> <p>3) Sofern geeignete betriebliche Überwachungsmaßnahmen vorhanden sind, mit denen Abweichungen von der bestimmungsgemäßen Funktion der Niederhalterung erkennbar sind.</p> <p>4) Die Prüfempfindlichkeit muss das Erkennen eines Drahtes von 0,025 mm Durchmesser oder von natürlichen Fehlern (Rissen) im Vergleichskörper ermöglichen.</p> <p>5) Werden bei der Sichtprüfung Auffälligkeiten festgestellt, ist im Einvernehmen mit dem Sachverständigen an einer repräsentativen Anzahl von KU-/KB-Schrauben eine Ultraschallprüfung vorzusehen und durchzuführen.</p>			

Tabelle 9-4: Prüfungen und Inspektionen an RDB-Einbauten für Druckwasserreaktoren (DWR) zu den Prüfzeitpunkten F und G gemäß Tabelle 9-1 (Fortsetzung)

Nr.	Komponenten, Baugruppen und Bauteile	Prüfungsumfang	Prüfintervall 4)
1	Kernmantel (KM)		
1.1	Außenseite des KM oberhalb Rückströmraumabdeckung (RSRA) einschließlich oberer und unterer Kernmantelflansch sowie Innenseite des KM oberhalb des oberen Kerngitters	Integrale Sichtprüfung a) auf Fremdkörper b) von Schweißnähten c) auf Vollständigkeit d) auf mechanische Beschädigung	4 BE-Wechsel
1.2	Schweißnähte an der Außenseite des KM oberhalb der RSRA	Gezielte Sichtprüfung der Schweißnähte mit Nahtnebenbereich 1) 3)	4 BE-Wechsel
1.3	Schweißnähte an der Außenseite des KM unterhalb der RSRA	Gezielte Sichtprüfung der Schweißnähte mit Nahtnebenbereich 1) 2) 3)	Ereignisabhängig 5)
1.4	Schweißnähte an der Innenseite des KM	Gezielte Sichtprüfung der Schweißnähte mit Nahtnebenbereich 1) 2) 3)	8 BE-Wechsel
2	Rückströmraumabdeckung		
2.1	Rückströmraumabdeckung von oben	Integrale Sichtprüfung a) auf Fremdkörper b) von Schweißnähten c) auf Vollständigkeit d) auf mechanische Beschädigung	4 BE-Wechsel
2.2	Schweißnähte in der RSRA von oben	Gezielte Sichtprüfung der Schweißnähte mit Nahtnebenbereich 3)	4 BE-Wechsel
2.3	Schweißnähte in der RSRA von unten	Gezielte Sichtprüfung der Schweißnähte mit Nahtnebenbereich 1) 2) 3)	Ereignisabhängig 5)
3	Pumpenabdichtungen	Soweit ohne Ausbau einer Pumpe zugänglich: Integrale Sichtprüfung a) auf Fremdkörper b) von Schweißnähten c) auf Vollständigkeit d) auf mechanische Beschädigung e) von Schraubverbindungen f) von Berührungsflächen	4 BE-Wechsel
4	Steuerstabführungsrohre/ Steuerelementführungsrohre	1. Integrale Sichtprüfung 1) a) auf Fremdkörper b) auf Vollständigkeit c) auf mechanische Beschädigung	8 BE-Wechsel
		2. Gezielte Sichtprüfung am ausgebauten Steuerstabführungsrohr a) auf mechanische Beschädigung b) von Schweißnähten	Ereignisabhängig 5)
5	Unteres Kerngitter		
5.1	Unteres Kerngitter von oben	1. Integrale Sichtprüfung 1) a) auf Fremdkörper b) von Schweißnähten c) auf Vollständigkeit d) auf mechanische Beschädigung einschließlich der sichtbaren Bereiche der Hammerkopfschrauben im Einbauzustand und der zugehörigen Konsolen	8 BE-Wechsel
		2. Gezielte Sichtprüfung der Schweißnähte mit Nahtnebenbereich 1) 2) 3)	
5.2	Unteres Kerngitter von unten	Gezielte Sichtprüfung der Schweißnähte mit Nahtnebenbereich 1) 2) 3)	Ereignisabhängig 5)
6	Oberes Kerngitter		
		1. Integrale Sichtprüfung 1) a) auf Fremdkörper b) von Schweißnähten c) auf Vollständigkeit d) auf mechanische Beschädigung einschließlich der sichtbaren Bereiche der Hammerkopfschrauben im Einbauzustand und der zugehörigen Konsolen	4 BE-Wechsel
		2. Gezielte Sichtprüfung der Schweißnähte mit Nahtnebenbereich 1) 2) 3)	8 BE-Wechsel

Tabelle 9-5: Prüfungen und Inspektionen an RDB-Einbauten für Siedewasserreaktoren (SWR) zu den Prüfzeitpunkten F und G gemäß Tabelle 9-1 (Fortsetzung siehe nächste Seite)

Nr.	Komponenten, Baugruppen und Bauteile	Prüfumfang	Prüfintervall 4)
7	Speisewasserverteiler (SWV)	1. Integrale Sichtprüfung 1) a) auf Fremdkörper b) von Schweißnähten c) auf Vollständigkeit d) auf mechanische Beschädigung e) von Schraubverbindungen f) von Berührungsflächen	4 BE-Wechsel
		2. Funktionsprüfung der Verriegelungen	
8	Führungsschienen	Integrale Sichtprüfung a) auf Vollständigkeit b) auf mechanische Beschädigung	4 BE-Wechsel
9	Dampfabscheider	1. Integrale Sichtprüfung 1) a) auf Fremdkörper b) von Schweißnähten c) auf Vollständigkeit d) auf mechanische Beschädigung e) von Schraubverbindungen	4 BE-Wechsel
		2. Funktionsprüfung der Verriegelungen während der Remontage	
		3. Gezielte Sichtprüfung von Lastanschlagpunkten auf Vollständigkeit, Risse 3), Verformungen, Verschleiß und Korrosion	gemäß Abschnitt 9.3.1 (5)
10	Dampftrockner	1. Integrale Sichtprüfung 1) a) auf Fremdkörper b) von Schweißnähten c) auf Vollständigkeit d) auf mechanische Beschädigung e) von Schraubverbindungen	4 BE-Wechsel
		2. Gezielte Sichtprüfung von Lastanschlagpunkten auf Vollständigkeit, Risse 3), Verformungen, Verschleiß und Korrosion	gemäß Abschnitt 9.3.1 (5)
11	Kernflussmessgehäuse-rohr-Verband	Integrale Sichtprüfung auf mechanische Beschädigung 1)	Ereignisabhängig 5)
12 12.1	Teile am RDB Konsolen für a) Dampftrockner b) Führungsschienen c) Probenmagazine d) Speisewasserverteiler e) Rückströmraumabdeckung (Niederhalter) f) Instrumentierung	Integrale Sichtprüfung a) auf Fremdkörper b) von Schweißnähten c) auf Vollständigkeit d) auf mechanische Beschädigung e) von Schraubverbindungen f) von Berührungsflächen	4 BE-Wechsel
12.2	Thermoschutzrohre für a) Speisewasserverteiler b) Kernfluteinrichtung/ Kernsprüheinrichtung c) Deckelsprüheinrichtung	Integrale Sichtprüfung 1) a) auf Fremdkörper b) von Schweißnähten c) auf Vollständigkeit d) auf mechanische Beschädigung	4 BE-Wechsel
13	Kernfluteinrichtung / Kernsprüheinrichtung	Integrale Sichtprüfung 1) a) auf Fremdkörper b) von Schweißnähten c) auf Vollständigkeit d) auf mechanische Beschädigung e) von Schraubverbindungen f) von Berührungsflächen	4 BE-Wechsel
14	Deckelsprüheinrichtung	Integrale Sichtprüfung a) auf Vollständigkeit b) auf mechanische Beschädigung	

1) Bei der Auswahl der Prüfbereiche sind die Zugänglichkeiten zu berücksichtigen.

2) Zugängliche Bereiche ohne Gefährdung der Prüfeinrichtung (keine losen Teile im RDB).

3) Die Prüfempfindlichkeit muss das Erkennen eines Drahtes von 0,025 mm Durchmesser oder von natürlichen Fehlern (Rissen) im Vergleichskörper ermöglichen.

4) Das Prüfintervall orientiert sich an einem Intervall von durchschnittlich 1 Jahr zwischen zwei BE-Wechseln.

5) Die Prüfungen (Prüfumfang und -intervall) sind ereignisabhängig (z. B. Ausbau von internen Axialpumpen, Steuerelementführungsrohre oder Rand-BE, Austausch von Neutronenflussmesslanzen) und anlagenbezogen festzulegen.

Tabelle 9-5: Prüfungen und Inspektionen an RDB-Einbauten für Siedewasserreaktoren (SWR) zu den Prüfzeitpunkten F und G gemäß Tabelle 9-1 (Fortsetzung)

Werkstoffanhänge

	Seite
Werkstoffanhang W 1: Austenitische, nichtrostende Stähle.....	88
Werkstoffanhang W 2: Nickellegierungen	98
Werkstoffanhang W 3: Nichtrostender austenitischer Feinguss.....	108
Werkstoffanhang W 4: Schweißzusätze, Lote und Pulver für thermisches Spritzen	111
Werkstoffanhang W 5: Maschinenelemente.....	117
Werkstoffanhang W 6: Sonstige Werkstoffe.....	123

Werkstoffanhang W 1 Austenitische, nichtrostende Stähle

Inhalt	
<p>W 1.1 Geltungsbereich</p> <p>W 1.2 Werkstoffe</p> <p>W 1.3 Zerstörungsfreie Prüfungen</p> <p>W 1.4 Probenentnahme und Probenlage</p> <p>W 1.5 Werkstoffprüfblätter</p> <p>W 1.5.1 Bleche und Bänder der Anforderungsstufen AS-RE 1 und AS-RE 2 sowie AS-RE 3 innerhalb des RDB</p> <p>W 1.5.2 Schmiedestücke, gewalzte Ringe, Stäbe und Profile der Anforderungsstufen AS-RE 1 und AS-RE 2 sowie AS-RE 3 innerhalb des RDB</p> <p>W 1.5.3 Geschweißte und nahtlose Rohre der Anforderungsstufen AS-RE 1 und AS-RE 2 sowie AS-RE 3 innerhalb des RDB</p> <p>W 1.5.4 Bleche und Bänder der Anforderungsstufe AS-RE 3 außerhalb des RDB</p> <p>W 1.5.5 Schmiedestücke, Stäbe und Profile der Anforderungsstufe AS-RE 3 außerhalb des RDB</p> <p>W 1.5.6 Geschweißte und nahtlose Rohre der Anforderungsstufe AS-RE 3 außerhalb des RDB</p> <p>W 1.1 Geltungsbereich</p> <p>Dieser Werkstoffanhang legt Anforderungen an die Güteeigenschaften, an Art und Umfang der Prüfungen sowie die Art der Nachweise für austenitische nichtrostende Stähle fest. Die Anforderungen gelten, wenn im Folgenden nicht anders festgelegt, für den abgeschreckten oder stabilgeglühten Zustand.</p> <p>W 1.2 Werkstoffe</p> <p>W 1.2.1 Werkstoffe für die Anforderungsstufe AS-RE 3 außerhalb des RDB</p> <p>Zugelassen sind alle Werkstoffe mit den Güteanforderungen nach DIN EN 10088-2, DIN EN 10088-3, DIN EN 10216-5, DIN EN 10217-7, DIN EN 10222-5, DIN EN 10028-7, DIN EN 10250-4 und DIN EN 10272. Die durchzuführenden Prüfungen, Prüfumfänge und Nachweise der Güteeigenschaften sind den Werkstoffprüfblättern (WPB) W 1.5.4 bis W 1.5.6 zu entnehmen.</p>	<p>W 1.2.2 Werkstoffe für die Anforderungsstufen AS-RE 1 und AS-RE 2 sowie für Teile der AS-RE 3 innerhalb des RDB</p> <p>W 1.2.2.1 Allgemeingültige Festlegungen</p> <p>(1) Zugelassen sind die Werkstoffe mit den Werkstoff-Nummern 1.4306, 1.4541, 1.4550, 1.4571 und 1.4580 nach DIN EN 10222-5, DIN EN 10216-5, DIN EN 10217-7, DIN EN 10028-7 oder DIN EN 10272 mit eingeschränkten Analysenwerten und mechanisch-technologischen Anforderungen gemäß den Festlegungen in den Abschnitten W 1.2.2.2 bis W 1.2.2.9.</p> <p>(2) Für Bauteile innerhalb des RDB von Siedewasserreaktoren, die einer schweißtechnischen Verarbeitung (ausgenommen einlagige Sicherungsschweißungen) unterliegen, ist der Werkstoff Nummer 1.4550 zu verwenden.</p> <p>(3) Anforderungen an die Hersteller von Erzeugnisformen sind in Abschnitt 7.2.1 geregelt.</p> <p>(4) Die durchzuführenden Prüfungen, Prüfumfänge und Nachweise der Güteeigenschaften sind den Werkstoffprüfblättern (WPB) nach den Abschnitten W 1.5.1 bis W 1.5.3 zu entnehmen.</p> <p>W 1.2.2.2 Erschmelzung</p> <p>Das Erschmelzungsverfahren bleibt dem Hersteller überlassen, sofern es bei der Bestellung nicht vereinbart wurde. Es muss jedoch dem Besteller auf Wunsch bekanntgegeben werden.</p> <p>W 1.2.2.3 Chemische Zusammensetzung</p> <p>Für die Werkstoffe gelten die gegenüber den in Abschnitt W 1.2.2.1 genannten Normen eingeschränkten Analysenwerte gemäß Tabelle W 1-1.</p> <p>W 1.2.2.4 Wärmebehandlung</p> <p>Abweichend von und ergänzend zu den Anforderungen der in W 1.2.2.1 genannten Normen</p> <p>a) ist eine Lösungsglühung in jedem Fall durchzuführen,</p> <p>b) gilt eine Temperatur von 1100 °C als obere Grenze für das Lösungsglühen,</p>

- c) hat nach der Lösungsglühung das Abkühlen mit hinreichend schneller Abkühlgeschwindigkeit zu erfolgen, um eine Karbidausscheidung zu unterbinden.

W 1.2.2.5 Mechanisch-technologische Eigenschaften

- (1) Es gelten die Festlegungen der im Abschnitt W 1.2.2.1 aufgeführten Normen.
- (2) Für den Werkstoff mit der Werkstoff-Nr. 1.4550 gelten abweichend hiervon die Anforderungen der **Tabellen W 1-2** und **W 1-3**.
- (3) Für Schmiedestücke, Stäbe und Ringe mit einer Wärmebehandlungsdicke außerhalb des Geltungsbereichs von DIN EN 10222-5 und DIN EN 10272 gelten die Festlegungen der Begutachtung.

W 1.2.2.6 Physikalische Eigenschaften

Anhaltsangaben über die physikalischen Eigenschaften sind DIN EN 10088-1, Anhang E, und der **Tabelle W 1-4** zu entnehmen.

W 1.2.2.7 Deltaferritgehalt

- (1) Bei Teilen, an denen im Zuge der Weiterverarbeitung Schweißarbeiten ausgeführt werden, soll der Grundwerkstoff im aufgeschmolzenen Zustand einen Deltaferritgehalt von 2 % bis 10 % aufweisen.
- (2) Ein geschlossenes Ferritnetzwerk ist nicht zulässig.

W 1.2.2.8 Gefügeausbildung und Korngrößenbestimmung

- (1) Die mittlere Korngröße ist zu bestimmen und soll eine Kennzahl von gleich oder größer als 4 nach DIN EN ISO 643 aufweisen. Abweichungen davon sind zulässig, wenn die Prüfbarkeit mittels Ultraschall gemäß Abschnitt 7.3.5.8.4 nicht beeinträchtigt ist.
- (2) Metallographisch bestimmbare Gefügeanteile von σ -Phase sind nicht zulässig.

W 1.2.2.9 IK-Beständigkeit

- (1) Die IK-Beständigkeit ist gemäß DIN EN ISO 3651-2 Verfahren A zu prüfen und nachzuweisen.
- (2) Die Sensibilisierungsglühung ist gemäß 7.3.5.7 (1) f) durchzuführen.

W 1.3 Zerstörungsfreie Prüfungen

W 1.3.1 Ultraschallprüfung

- (1) Bleche und Bänder

Für die Ultraschallprüfung gilt **Tabelle W 1-5**.

- (2) Schmiedestücke und Stäbe
(Wärmebehandlungsdicke größer als 30 mm)

Für die Ultraschallprüfung an Schmiedestücken und Stäben mit Wärmebehandlungsdicken größer als 30 mm gilt **Tabelle W 1-6**.

- (3) Geschmiedete und gewalzte Stäbe (Wärmebehandlungsdicke größer als oder gleich 20 mm bis einschließlich 30 mm) für Verbindungselemente

Für die Ultraschallprüfung an geschmiedeten und gewalzten Stäben mit Wärmebehandlungsdicken größer als oder gleich 20 mm bis einschließlich 30 mm für Verbindungselemente gilt **Tabelle W 1-7**.

Die Prüfung darf auf mechanisierten Anlagen erfolgen.

- (4) Nahtlose Rohre

Nahtlose Rohre sind gemäß DIN EN ISO 10893-10, Zulässigkeitsklasse U 2 A, mit der Nut in „N-Ausführung“ auf Längsfehler zu prüfen.

- (5) Schmiedestücke und gewalzte Ringe

Für die Ultraschallprüfung an Schmiedestücken und gewalzten Ringen gilt **Tabelle W 1-8**.

Der Abstand zwischen benachbarten Anzeigen gleicher Tiefenlage muss mindestens der Länge der größeren Anzeige entsprechen.

W 1.3.2 Prüfung der Oberflächenbeschaffenheit

Es gelten die Festlegungen gemäß Abschnitt 7.3.5.8.6.

W 1.3.3 Oberflächenprüfung nach dem Eindringverfahren

- (1) Geschmiedete und gewalzte Erzeugnisformen

Es gelten die Festlegungen gemäß Abschnitt 7.3.5.8.3. Die Häufigkeit zulässiger Anzeigen darf örtlich zehn je Quadratdezimeter, bezogen auf die Gesamtfläche jedoch fünf je Quadratdezimeter nicht überschreiten.

Anzeigen, die auf Risse oder rissähnliche Fehler schließen lassen, sind nicht zulässig.

- (2) Geschweißte Rohre

Es gelten die Festlegungen der **Tabelle 8-7**.

Anzeigen, die auf Risse oder rissähnliche Fehler schließen lassen, sind in der Naht und den angrenzenden Zonen des Grundwerkstoffs nicht zulässig.

W 1.3.4 Durchstrahlungsprüfung für geschweißte Rohre

Es gelten die Zulässigkeitskriterien gemäß DIN EN ISO 10893-6.

W 1.4 Probenentnahme und Probenlage

Für die Probenentnahmeorte und Probenlage gelten die Festlegungen der in Abschnitt W 1.2 aufgeführten Normen mit Ausnahme der in den Werkstoffprüfblättern Abschnitt W 1.5 festgelegten Abweichungen.

Werkstoff-Nr.	Massenanteile in %							
	C	P	Cu	Nb	Co	Ti	Nb/C	Ti/C
1.4306 1) 2)	≤ 0,030	≤ 0,035	≤ 0,030	—	≤ 0,2	—	—	—
1.4541 1) 2) 3)	≤ 0,060			—		≤ 0,7	—	≥ 8
1.4550 1) 2)	≤ 0,040			≤ 0,65		—	≥ 13	—
1.4571 1) 2) 3)	≤ 0,060			—		≤ 0,7	—	≥ 8
1.4580 1) 2)	≤ 0,040			≤ 0,65		—	≥ 13	—

1) N ist bei der Schmelzenanalyse zu bestimmen und auszuweisen.
 2) Für Rohre nach DIN EN 10216-5: S ≤ 0,015 %.
 3) Für Verbindungselemente ohne nachträgliche Wärmebehandlung: Ti/C > 7.

Tabelle W 1-1: Eingeschränkte Analysenwerte

Probenlage	$R_{p0,2RT}$ in N/mm ²	R_{mRT} in N/mm ²	R_{mT} in N/mm ²	A_T in %	Z_{RT} in % ³⁾	Z_T in % ³⁾
quer/tangential längs ¹⁾	≥ 205 ²⁾	510 bis 740 ²⁾	siehe Tabelle W 1-3	≥ 20	≥ 45	Zu bestimmen
1) Stäbe $D \leq 160$ mm und Rohre $D_a \leq 146$ mm						
2) Nur für Bleche, für andere Erzeugnisformen gelten die Anforderungen der Normen.						
3) Gilt nicht für Rohre						

Tabelle W 1-2: Mindestwerte der mechanisch-technologischen Eigenschaften

Temperatur in °C	R_m in N/mm ² min.	
	Bleche ≤ 50 mm und Bänder	Bleche > 50 mm; nahtlose Rohre; Stäbe, Schmiedestücke, Ringe
Raumtemperatur	≥ 510	≥ 510
50	≥ 495	≥ 495
100	≥ 470	≥ 465
150	≥ 430	≥ 420
200	≥ 405	≥ 390
250	≥ 395	≥ 370
300	≥ 385	≥ 360
350	≥ 380	≥ 350

Tabelle W 1-3: Mindestwerte der Zugfestigkeit für den Werkstoff mit der Werkstoff-Nr. 1.4550

Temperatur in °C	Mittlere Wärmeleitfähigkeit W/(m·K)
Raumtemperatur	15,00
100	15,95
200	17,15
300	18,40
400	19,70

Tabelle W 1-4: Anhaltswerte für die mittlere Wärmeleitfähigkeit von austenitischen nichtrostenden Stählen

Prüfkopf	Einschallrichtung	Bedingungen
SE	1 oder 2	$S <$ als Prüfbereich des Prüfkopfes
N und SE	1 oder 2	SE-Prüfkopf für oberflächennahe Bereiche
N	1 und 2	Die auswertbaren Bereiche müssen sich überdecken
N : Einzelschwinger-Senkrechtprüfkopf SE : Sender-Empfänger-Senkrechtprüfkopf		
Registrierschwellen		
kleinste zu berücksichtigende Größe der Anzeige 100 mm ²		
Zulässigkeitskriterien		
Fläche in mm ²	Häufigkeit registrierpflichtiger Anzeigen	
	örtliche Anzeigen	Gesamtanzeigen pro Blech
≤ 1000	≤ 3/m ²	≤ 2/m ²
Der Abstand zwischen benachbarten Anzeigen gleicher Tiefenlage muss mindestens der Länge der größeren Anzeige entsprechen.		

Tabelle W 1-5: Einschallrichtungen, Registrierschwellen und Zulässigkeitskriterien bei Blechen und Bändern

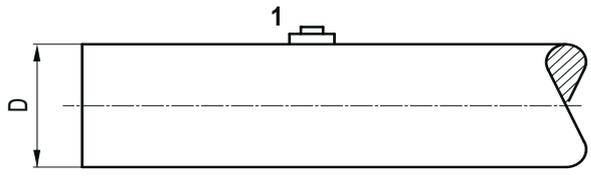
			
Prüfkopf	Einschallrichtung	Bedingungen	
SE oder N	1		
N : Einzelschwinger-Senkrechtprüfkopf SE : Sender-Empfänger-Senkrechtprüfkopf			
Registrierschwellen			
Einschallrichtung	Durchmesser D im Prüfzustand in mm	Bezugslinien-Methode Auf die Echohöhe einer Zylinderbohrung d = 4 mm bezogene Echohöhe	AVG-Methode KSR in mm
1	≤ 60	50 % (-6 dB)	3
	> 60	100 %	4
Zulässigkeitskriterien			
Einschallrichtung	Echohöhen	Länge registrierpflichtiger Anzeigen	Häufigkeit registrierpflichtiger Anzeigen
1	Es sind Echoanzeigen bis 12 dB über den Registrierschwellen zulässig	1 · D	D ≤ 60 : ≤ 3/m
			D > 60 : ≤ 5/m

Tabelle W 1-6: Einschallrichtungen, Registrierschwellen und Zulässigkeitskriterien bei Schmiedestücken und Stäben (Wärmebehandlungsdicke > 30 mm)

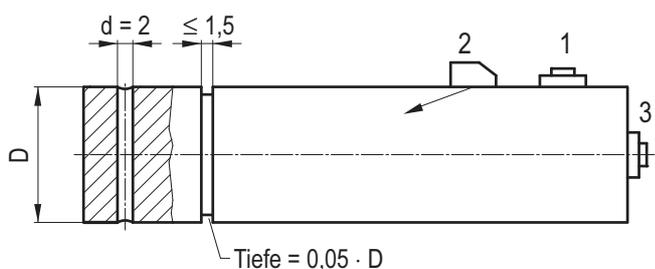
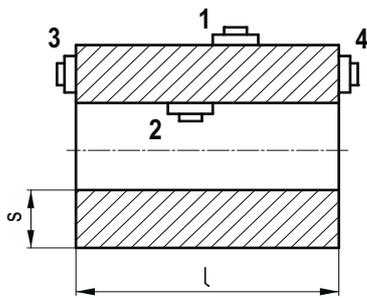
Einschallrichtungen	Bezugsreflektor
1 Senkrechteinschallung in radialer Richtung Bei Verwendung von N = Einzelschwinger-Senkrechtprüfkopf auf dem ganzen Umfang; bei Verwendung von SE = Sender-Empfänger-Senkrechtprüfkopf auf den halben Umfang	Eine radial eingebrachte Zylinderbohrung mit einem Durchmesser d = 2 mm
2 Schrägeinschallung von der zylindrischen Mantelfläche aus in beiden Achsrichtungen mit 70 Grad Einschallwinkel	Eine Rechtecknut mit den Abmessungen: Breite: ≤ 1,5 mm Tiefe: 0,05 · D in mm
3 An Stabstahl für Verbindungselemente (z. B. KB-/KU-Schrauben), an denen im Betrieb eine Ultraschallprüfung vorgesehen ist, ist an einem Prüfstück je Los (Länge 150 mm) eine Prüfung auf Rückwandeche durchzuführen. Die Losgröße ist im Werkstoffprüfblatt W 1.5.2 lfd. Nr. 3 (2) a) festgelegt.	Die Höhe des Rückwandeche, bezogen auf die Querbohrung, ist zu protokollieren.
Bewertung: Bei den Einschallrichtungen 1 und 2 sind Anzeigen, die die Höhe des Bezugsreflektors erreichen oder überschreiten, nicht zulässig.	
	

Tabelle W 1-7: Einschallrichtungen, Bezugsreflektor und Bewertung bei geschmiedeten und gewalzten Stäben (Wärmebehandlungsdicke ≥ 20 mm bis ≤ 30 mm) für Verbindungselemente



Schallweg ohne Seitenwandeneinfluss für die Einschallrichtungen 3 und 4:

$$S = \frac{s \cdot D_{\text{eff}}}{2 \cdot \lambda}$$

λ : Wellenlänge in mm

D_{eff} : effektive Schwingerabmessung

s : Wanddicke

Prüfkopf	Einschallrichtung	Bedingungen	
SE	1 oder 2 und 3 oder 4	s < als Prüfbereich des Prüfkopfes	
N und SE	1 oder 2 und 3 oder 4	SE-Prüfkopf für oberflächennahe Bereiche	
N	1, 2, 3, 4	Die auswertbaren Bereiche müssen sich überdecken	
N : Einzelschwinger-Senkrechtprüfkopf			
SE : Sender-Empfänger-Senkrechtprüfkopf			
Registrierschwellen			
Einschallrichtungen	Wanddicke s im Prüfzustand in mm	Bezugslinien-Methode Auf die Echohöhe einer Zylinderbohrung d = 4 mm bezogene Echohöhe	AVG-Methode KSR in mm
1 bis 4	≤ 60	50 % (-6 dB)	4
	> 60	100 %	6
Zulässigkeitskriterien			
Einschallrichtung	Echohöhen	Länge registrierpflichtiger Anzeigen	Häufigkeit registrierpflichtiger Anzeigen
1 bis 4	Es sind Echoanzeigen bis 12 dB über den Registrierschwellen zulässig	max. 50 mm, jedoch ≤ s	örtliche Anzeigen: ≤ 5/m Gesamtanzeigen: ≤ 3/m
1) Reflektorausdehnungen größer als 10 mm aus Einschallrichtung 3 und 4 sind unzulässig.			

Tabelle W 1-8: Einschallrichtung, Registrierschwellen und Zulässigkeitskriterien bei Schmiedestücken und gewalzten Ringen

W 1.5 Werkstoffprüfblätter

WERKSTOFFPRÜFBLATT		W 1.5.1
Erzeugnisform:	Bleche und Bänder	
Anforderungsstufen:	AS-RE 1 und AS-RE 2 sowie AS-RE 3 innerhalb des RDB	
Werkstoffe:	Nichtrostende austenitische Stähle Werkstoff-Nr. 1.4306, 1.4541, 1.4550, 1.4571, 1.4580	
Anforderungen:	gemäß den Abschnitten W 1.2 bis W 1.4	
Prüfungen je Prüfling		Bescheinigung nach DIN EN 10204
1.	Chemische Zusammensetzung Schmelzenanalyse	3.1
2.	Erschmelzungsart und Wärmebehandlungszustand Angabe der Erschmelzungsart und Bestätigung der Wärmebehandlung	3.1
3.	Zugversuch nach Abschnitt 7.3.5.2 bei Raumtemperatur	3.1
a)	bei $s \leq 20$ mm 1 Probe je Abmessung und Schmelze und Wärmebehandlungslos, mindestens 1 Probe je 20 Bleche oder Anfang und Ende eines Bandes	
b)	bei $s > 20$ mm bis $s \leq 75$ mm 1 Probe je Walztafel	
c)	bei $s > 75$ mm 1 Probe je Walztafel von der Mitte des Kopfes und Rand des Fußes	3.2
4.	Zugversuch nach Abschnitt 7.3.5.2 bei 350 °C 1 Probe je Zugversuch (Raumtemperatur) ab $s > 10$ mm	3.1
a)	bei $s \leq 75$ mm	
b)	bei $s > 75$ mm	3.2
5.	Kerbschlagbiegeversuch nach Abschnitt 7.3.5.3 bei Raumtemperatur 1 Satz Proben je Zugversuch ab $s > 10$ mm;	3.1
a)	bei $s \leq 75$ mm	
b)	bei $s > 75$ mm	3.2
6.	Prüfung auf Beständigkeit gegen Interkristalline Korrosion nach Abschnitt 7.3.5.7	3.1
a)	bei $s \leq 75$ mm 1 Probe je Schmelze und Wärmebehandlungslos	
b)	bei $s > 75$ mm 1 Probe je Walztafel	3.1
7.	Deltaferrit-Bestimmung nach Abschnitt 7.3.5.5 Rechnerischer Nachweis je Schmelze. Liegen die dabei ermittelten Werte unter 2 %, ist der Deltaferritgehalt metallographisch oder magnetisch, bei Werten über 8 % ist der Deltaferritgehalt metallographisch zu bestimmen.	3.1
8.	Gefügeausbildung und Korngrößenbestimmung nach Abschnitt 7.3.5.6 1 Probe je Abmessung, Schmelze und Wärmebehandlungslos	3.1
9.	Ultraschallprüfung nach Abschnitt 7.3.5.8.4 und zwar für $s > 10$ mm im Raster von 200 · 200 mm je Blech oder Band	3.1
a)	bei $s \leq 75$ mm	
b)	bei $s > 75$ mm	3.2
10.	Besichtigung nach Abschnitt 7.3.5.8.6 100 %-ige Besichtigung je Blech, stichprobenweise Besichtigung je Band	3.1
11.	Maßkontrolle nach Bestellangaben je Blech oder Band	3.1
a)	bei $s \leq 75$ mm	
b)	bei $s > 75$ mm	3.2
12.	Verwechslungsprüfung je Blech oder Band durch qualitativen Nachweis typischer Legierungselemente	3.1

WERKSTOFFPRÜFBLATT		W 1.5.2
Erzeugnisform:	Schmiedestücke, gewalzte Ringe und Stäbe	
Anforderungsstufen:	AS-RE 1 und AS-RE 2 sowie AS-RE 3 innerhalb des RDB	
Werkstoffe:	Nichtrostende austenitische Stähle Werkstoff-Nr. 1.4306, 1.4541, 1.4550, 1.4571, 1.4580	
Anforderungen:	gemäß den Abschnitten W 1.2 bis W 1.4	
Prüfungen je Prüflos (Sofern die Geometrie der Stäbe wesentlich von den Probenlagenskizzen gemäß DIN EN 10272 Bild 2 abweicht, ist ein Probenlageplan zu erstellen. Für Schmiedestücke und gewalzte Ringe ist ein Probenlageplan gemäß DIN EN 10222-1 Abschnitt 12 zu erstellen.)		Bescheinigung nach DIN EN 10204
1. Chemische Zusammensetzung		
a) Schmelzenanalyse		3.1
b) Stückanalyse:		3.1
ba) bei Stückgewicht ≤ 5000 kg: 1 je Schmelze		
bb) bei Stückgewicht > 5000 kg: 1 je Stück		
2. Erschmelzungsart und Wärmebehandlungszustand Angabe der Erschmelzungsart und Bestätigung der Wärmebehandlung		3.1
3. Zugversuch nach Abschnitt 7.3.5.2 bei Raumtemperatur (1) Schmiedestücke und Ringe:		3.2 ¹⁾
a) Stückgewicht ≤ 500 kg 2 Proben je 500 kg Liefergewicht gleicher Abmessung, Schmelze und Wärmebehandlung, jedoch nur 1 Probe je Stück. Quer- oder Tangentialproben		
b) Stückgewicht > 500 kg bis ≤ 5000 kg 2 Proben je Stück, bei $D_a \geq L$ an Kopf oder Fuß, bei $D_a < L$ je eine an Kopf und Fuß. Quer- oder Tangentialproben.		
c) Stückgewicht > 5000 kg mindestens 3 Proben je Stück		
(2) Stäbe		
a) Stäbe gleicher Schmelze, Wärmebehandlung und mit Abmessung gleicher Art werden zu Losen von je 2000 kg zusammengestellt. 1 Probe je Los		
b) Stäbe > 2000 kg und ≤ 3000 kg 1 Probe je Stab		
c) Stäbe > 3000 kg 1 Probe je Stab von jedem Ende. Bei $D \leq 160$ mm Längsproben Bei $D > 160$ mm Querproben		
4. Zugversuch nach Abschnitt 7.3.5.2 bei 350 °C 1 Probe je Zugversuch bei Raumtemperatur		3.2 ¹⁾
5. Kerbschlagbiegeversuch nach Abschnitt 7.3.5.3 bei Raumtemperatur 1 Satz Proben je Zugversuch (Raumtemperatur) bei Stücken ab $D > 20$ mm Bei $D \leq 160$ mm Längsproben Bei $D > 160$ mm Querproben		3.2 ¹⁾
6. Prüfung auf Beständigkeit gegen Interkristalline Korrosion nach Abschnitt 7.3.5.7 1 Probe je Schmelze und Wärmebehandlungslos		3.1
7. Deltaferrit-Bestimmung nach Abschnitt 7.3.5.5 Rechnerischer Nachweis je Schmelze. Liegen die dabei ermittelten Werte unter 2 %, ist der Deltaferritgehalt metallographisch oder magnetisch, bei Werten über 8 % ist der Deltaferritgehalt metallographisch zu bestimmen.		3.1
8. Gefügeausbildung und Korngrößenbestimmung nach Abschnitt 7.3.5.6 bei Schmiedestücken 1 Probe je Los bei Stückgewicht ≤ 500 kg oder 1 Probe je Stück bei Stückgewicht größer als 500 kg, bei Stäben 1 Probe je Schmelze, Abmessung und Wärmebehandlungslos		3.1
9. Ultraschallprüfung nach Abschnitt 7.3.5.8.4 Die Volumenprüfung ist grundsätzlich an jedem Teil durchzuführen. Bei Stäben ist sie bei $D > 30$ mm und bei Stäben für Verbindungselemente bei $D > 20$ mm erforderlich.		3.2 ¹⁾
10. Oberflächenprüfung nach Abschnitt 7.3.5.8.3 100 %-ige Besichtigung nach Abschnitt 7.3.5.8.6 und zusätzlich 100 %-ige Sichtprüfung nach Abschnitt 7.3.5.8.7 je Stück		3.2 ¹⁾

WERKSTOFFPRÜFBLATT (Fortsetzung)		W 1.5.2
11. Maßkontrolle nach Bestellangaben je Stück		3.2 ¹⁾
12. Verwechslungsprüfung je Stück durch qualitativen Nachweis typischer Legierungselemente		3.1
1) Bei Dicken ≤ 250 mm 3.1-Bescheinigung		

WERKSTOFFPRÜFBLATT		W 1.5.3
Erzeugnisform:	geschweißte und nahtlose Rohre	
Anforderungsstufen:	AS-RE 1 und AS-RE 2 sowie AS-RE 3 innerhalb des RDB	
Werkstoffe:	Nichtrostende austenitische Stähle Werkstoff-Nr. 1.4306, 1.4541, 1.4550, 1.4571, 1.4580 ¹⁾	
Anforderungen:	gemäß den Abschnitten W 1.2 bis W 1.4	
Prüfungen je Prüflos (Für die Probenentnahmeorte und Probenlagen gelten die Festlegungen nach DIN EN 10216-5 Abschnitt 10 und DIN EN 10217-7.)		Bescheinigung nach DIN EN 10204
1. Chemische Zusammensetzung Schmelzenanalyse		3.1
2. Erschmelzungsart und Wärmebehandlungszustand Angabe der Erschmelzungsart und Bestätigung der Wärmebehandlung (Lösungsglühung oder Blankglüfung)		3.1
3. Zugversuch nach Abschnitt 7.3.5.2 bei Raumtemperatur 1 Probe je Los gemäß DIN EN 10216-5 Abschnitt 10.1 oder DIN EN 10217-7 Abschnitt 10.1. Für geschweißte Rohre gilt zusätzlich: ab $D > 200$ mm Außendurchmesser sind 2 Zugproben je Prüfeinheit zu entnehmen. Probenlage nach DIN EN 10217-7 Abschnitte 10.2.2.2 und 10.2.2.3		3.2 ²⁾
4. Zugversuch nach Abschnitt 7.3.5.2 bei 350 °C 1 Probe je Zugversuch bei Raumtemperatur		3.2 ²⁾
5. Kerbschlagbiegeversuch nach Abschnitt 7.3.5.3 bei Raumtemperatur a) Nahtlose Rohre: 1 Satz Proben je Zugversuch (Raumtemperatur) ab $s > 20$ mm b) Geschweißte Rohre: 1 Satz Proben je Zugversuch (Raumtemperatur) ab $s > 12$ mm und Außendurchmesser $D > 200$ mm Probenlage quer zur Schweißnaht nach DIN EN 10217-7 Abschnitt 10.2.2.6		3.2 ²⁾
6. Prüfung auf Beständigkeit gegen Interkristalline Korrosion nach Abschnitt 7.3.5.7 1 Probe je Schmelze und Wärmebehandlungslos		3.1
7. Deltaferrit-Bestimmung nach Abschnitt 7.3.5.5 Rechnerischer Nachweis je Schmelze. Liegen die dabei ermittelten Werte unter 2 %, ist der Deltaferritgehalt metallographisch oder magnetisch, bei Werten über 8 % ist der Deltaferritgehalt metallographisch zu bestimmen.		3.1
8. Gefügeausbildung und Korngrößenbestimmung nach Abschnitt 7.3.5.6 1 Probe je Abmessung, Schmelze und Wärmebehandlungslos		3.1
9. Ultraschallprüfung auf Längsfehler nach DIN EN ISO 10893-10, Zulässigkeitsklasse U 2 A, Nut in „N-Ausführung“ (gilt nur für nahtlose Rohre) Bei Außendurchmesser $\leq 101,6$ mm und Wanddicke $\leq 5,6$ mm an 10 % der Rohre, bei größeren Abmessungen an allen Rohren.		3.2 ²⁾
10. Oberflächenprüfung nach Abschnitt 7.3.5.8.3 (gilt nur für geschweißte Rohre) 100 %-ige Oberflächenprüfung der Schweißnaht von außen - und soweit prüftechnisch möglich von innen - mittels Eindringverfahren		3.2 ²⁾
11. Durchstrahlungsprüfung nach Abschnitt 7.3.5.8.5 (gilt nur für geschweißte Rohre mit einem Schweißnahtfaktor $n = 1$) 100 % je Schweißnaht. Andere Prüfverfahren sind zulässig, sofern diese Verfahren mit dem Sach- verständigen qualifiziert wurden.		3.2 ²⁾
12. Besichtigung nach Abschnitt 7.3.5.8.6 100 %-ige Besichtigung je Rohr, soweit zugänglich		3.1
13. Maßkontrolle nach Bestellangaben je Rohr		3.2 ²⁾
14. Verwechslungsprüfung je Rohr durch qualitativen Nachweis typischer Legierungselemente		3.1
1) nur für nahtlose Rohre		
2) 3.1-Bescheinigung bei Wanddicken $\leq 5,6$ mm		

WERKSTOFFPRÜFBLATT		W 1.5.4
Erzeugnisform:	Bleche und Bänder	
Anforderungsstufe:	AS-RE 3 außerhalb des RDB	
Werkstoffe:	Nichtrostende austenitische Stähle nach DIN EN 10088-2	
Anforderungen:	gemäß DIN EN 10088-2	
Prüfungen je Prüflos		Bescheinigung nach DIN EN 10204
1.	Chemische Zusammensetzung Schmelzenanalyse	3.1
2.	Erschmelzungsart und Wärmebehandlungszustand Angabe der Erschmelzungsart und Nachweis der Wärmebehandlung	3.1
3.	Zugversuch nach Abschnitt 7.3.5.2 bei Raumtemperatur 1 Probe je Schmelze, Abmessung und Wärmebehandlungslos, mindestens an jedem 20. Blech oder Anfang und Ende eines Bandes	3.1
4.	Prüfung auf Beständigkeit gegen Interkristalline Korrosion nach Abschnitt 7.3.5.7 1 Probe je Schmelze und Wärmebehandlungslos	3.1
5.	Besichtigung nach Abschnitt 7.3.5.8.6 100 %-ige Besichtigung je Blech, stichprobenweise Besichtigung je Band	3.1
6.	Maßkontrolle nach Bestellangaben je Blech oder Band	3.1
7.	Verwechslungsprüfung je Blech oder Band durch qualitativen Nachweis typischer Legierungselemente	3.1

WERKSTOFFPRÜFBLATT		W 1.5.5
Erzeugnisform:	Schmiedestücke, Stäbe und Profile	
Anforderungsstufe:	AS-RE 3 außerhalb des RDB	
Werkstoffe:	Nichtrostende austenitische Stähle nach DIN EN 10250-4 für Schmiedestücke und DIN EN 10088-3 für Stäbe und Profile	
Anforderungen:	gemäß DIN EN 10250-4 und DIN EN 10088-3	
Prüfungen je Prüflos		Bescheinigung nach DIN EN 10204
1.	Chemische Zusammensetzung Schmelzenanalyse	3.1
2.	Erschmelzungsart und Wärmebehandlungszustand Angabe der Erschmelzungsart und Nachweis der Wärmebehandlung	3.1
3.	Zugversuch nach Abschnitt 7.3.5.2 bei Raumtemperatur (1) Schmiedestücke und Profile 1 Probe je Schmelze, Abmessung und Wärmebehandlungslos (2) Stäbe 1 Probe je Schmelze und Wärmebehandlungslos Bei D ≤ 160 mm Längsproben Bei D > 160 mm Querproben	3.1
4.	Prüfung auf Beständigkeit gegen Interkristalline Korrosion nach Abschnitt 7.3.5.7 1 Probe je Schmelze und Wärmebehandlungslos	3.1
5.	Besichtigung nach Abschnitt 7.3.5.8.6 100 %-ige Besichtigung je Stück	3.1
6.	Maßkontrolle nach Bestellangaben je Stück	3.1
7.	Verwechslungsprüfung je Stück durch qualitativen Nachweis typischer Legierungselemente	3.1

WERKSTOFFPRÜFBLATT		W 1.5.6
Erzeugnisform:	geschweißte und nahtlose Rohre	
Anforderungsstufe:	AS-RE 3 außerhalb des RDB	
Werkstoffe:	Nichtrostende austenitische Stähle	
Anforderungen:	gemäß DIN EN 10216-5 und DIN EN 10217-7	
	Prüfungen je Prüfling	Bescheinigung nach DIN EN 10204
1.	Chemische Zusammensetzung Schmelzenanalyse	3.1
2.	Erschmelzungsart und Wärmebehandlungszustand Angabe der Erschmelzungsart und Nachweis der Wärmebehandlung (Lösungsglühung oder Blankglüfung)	3.1
3.	Zugversuch nach Abschnitt 7.3.5.2 bei Raumtemperatur 1 Probe je Los	3.1
4.	Prüfung auf Beständigkeit gegen Interkristalline Korrosion nach Abschnitt 7.3.5.7 1 Probe je Schmelze und Wärmebehandlungslos	3.1
5.	Besichtigung nach Abschnitt 7.3.5.8.6 100 %-ige Besichtigung je Rohr, soweit zugänglich	3.1
6.	Maßkontrolle nach Bestellangaben je Rohr	3.1
7.	Verwechslungsprüfung je Rohr durch qualitativen Nachweis typischer Legierungselemente	3.1

Werkstoffanhang W 2

Nickellegierungen

Inhalt

- W 2.1 Geltungsbereich
- W 2.2 Werkstoffe
- W 2.3 Zerstörungsfreie Prüfungen
- W 2.4 Probenentnahme und Probenlage
- W 2.5 Werkstoffprüfblätter
- W 2.5.1 Bleche und Bänder der Anforderungsstufen AS-RE 1 und AS-RE 2 sowie AS-RE 3 innerhalb des RDB
- W 2.5.2 Stäbe und Schmiedestücke der Anforderungsstufen AS-RE 1 und AS-RE 2 sowie AS-RE 3 innerhalb des RDB
- W 2.5.3 Nahtlose Rohre der Anforderungsstufen AS-RE 1 und AS-RE 2 sowie AS-RE 3 innerhalb des RDB
- W 2.5.4 Draht der Anforderungsstufen AS-RE 1 und AS-RE 2 sowie AS-RE 3 innerhalb des RDB

W 2.1 Geltungsbereich

Dieser Werkstoffanhang legt Anforderungen an die Güteeigenschaften, Art und Umfang der Prüfungen sowie Art der Nachweise für Nickellegierungen fest. Die Anforderungen gelten - wenn im Folgenden nicht anders festgelegt - für den Wärmebehandlungszustand gemäß **Tabelle W 2-3**.

W 2.2 Werkstoffe

W 2.2.1 Werkstoffe für die Anforderungsstufe AS-RE 3 außerhalb des RDB

Zulässig sind die Werkstoffe NiCr15Fe (Werkstoff-Nr. 2.4816), NiCr29Fe (Werkstoff-Nr. 2.4642), NiCr15Fe7TiAl (Werkstoff-Nr. 2.4669) und NiCr19Fe19Nb5Mo3 (Werkstoff-Nr. 2.4668) gemäß den Festlegungen der zutreffenden Normen oder Herstellerangaben.

Draht aus Werkstoff-Nr. 2.4669 ist mit einem Kaltverformungsgrad von 10 % bis 20 % nach der Lösungsglühung (vor der Aushärtung) zu liefern.

W 2.2.2 Werkstoffe für die Anforderungsstufen AS-RE 1 und AS-RE 2 sowie AS-RE 3 innerhalb des RDB

W 2.2.2.1 Allgemeingültige Festlegungen

(1) Zugelassen sind die Werkstoffe NiCr15Fe (Werkstoff-Nr. 2.4816), NiCr29Fe (Werkstoff-Nr. 2.4642), NiCr15Fe7TiAl (Werkstoff-Nr. 2.4669) und NiCr19Fe19Nb5Mo3 (Werkstoff-Nr. 2.4668) gemäß den folgenden Festlegungen, sofern diese Werkstoffe nur an Konstruktionsstellen und in den Erzeugnisformen eingesetzt werden, über die bisher positive Erfahrungen bei den Einsatzbedingungen vorliegen. Sofern diese Werkstoffe an anderen Stellen eingesetzt werden, ist dieser Einsatz von Fall zu Fall zu überprüfen.

Draht aus Werkstoff-Nr. 2.4669 ist mit einem Kaltverformungsgrad von 10 % bis 20 % nach der Lösungsglühung (vor der Aushärtung) zu liefern.

(2) Anforderungen an die Hersteller von Erzeugnisformen sind in Abschnitt 7.2.1 geregelt.

(3) Die durchzuführenden Prüfungen, Prüfumfänge und Nachweise der Güteeigenschaften sind den Werkstoffprüfblättern (WPB), Abschnitte W 2.5.1 bis W 2.5.4 zu entnehmen.

W 2.2.2.2 Erschmelzung

Das Erschmelzungsverfahren bleibt dem Lieferer überlassen, sofern es bei der Bestellung nicht vereinbart wurde. Es muss jedoch dem Besteller auf Wunsch bekannt gegeben werden.

W 2.2.2.3 Chemische Zusammensetzung

Für die Werkstoffe gelten die in den **Tabellen W 2-1** und **W 2-2** wiedergegebenen chemischen Zusammensetzungen.

W 2.2.2.4 Wärmebehandlung

Die Werkstoffe sind jeweils allen für die Erzeugnisform in **Tabelle W 2-3** aufgeführten Wärmebehandlungen zu unterziehen. Beim Werkstoff NiCr15Fe (Werkstoff-Nr. 2.4816) ist entweder eine Weichglüfung oder eine Lösungsglüfung vor der Stabilisierungsglüfung durchzuführen.

Hinweis:

Der Lieferzustand der Erzeugnisformen muss nicht der Endwärmezustand sein.

W 2.2.2.5 Mechanisch-technologische Eigenschaften

Die mechanisch-technologischen Eigenschaften müssen den Anforderungen der **Tabellen W 2-4** bis **W 2-6** genügen. Ist der Lieferzustand der Erzeugnisform nicht der Endwärmebehandlungszustand gemäß **Tabelle W 2-3** (ausgehärtet oder stabilisierungsgeglüht), so hat die mechanisch-technologische Erprobung an Proben im simulierend endwärmebehandelten Zustand zu erfolgen.

Zur Prüfung der Verformungsfähigkeit von Draht ist eine Wickelprobe im Lieferzustand gemäß DIN ISO 7802 um einen zylindrischen Dorn, dessen Durchmesser dreimal so groß wie der Nenndurchmesser des Drahtes ist, mit mindestens fünf eng aneinander liegenden Windungen aufzuwickeln. Nach dem Wickeln ist der gleitfördernde Überzug zu entfernen und die Probe einer Farbeindringprüfung (PT) gemäß Abschnitt 7.3.5.8.3 zu unterziehen. Die Rissfreiheit der Wickelprobe ist nachzuweisen.

W 2.2.2.6 Anhaltsangaben über die physikalischen Eigenschaften

Für die Anhaltsangaben der physikalischen Eigenschaften gilt **Tabelle W 2-7**.

W 2.2.2.7 Gefügeausbildung

(1) Die mittlere Korngröße ist zu bestimmen und soll eine Kennzahl von gleich oder größer als 3 nach DIN EN ISO 643 aufweisen. Die Differenz zwischen maximaler und minimaler Korngrößenkennzahl soll maximal 3 betragen. Abweichungen davon sind zulässig, wenn die Prüfbarkeit mittels Ultraschall gemäß Abschnitt 7.3.5.8.4 nicht beeinträchtigt ist.

(2) Das Gefüge muss so ausgebildet sein, dass die geforderten Güteeigenschaften erreicht werden.

W 2.2.2.8 Kennzeichnung

Die Erzeugnisformen sind mit dem Zeichen des Herstellers, der Werkstoffsorte, der Schmelzen-Nr., der Nr. des Prüfloses und dem Zeichen des Prüfers zu kennzeichnen.

W 2.3 Zerstörungsfreie Prüfungen**W 2.3.1** Ultraschallprüfung

(1) Bleche

Für die Ultraschallprüfung an Blechen gilt **Tabelle W 2-8**.

(2) Geschmiedete und gewalzte Rundstäbe
(Durchmesser größer als 30 mm)

Für die Ultraschallprüfung von geschmiedeten und gewalzten Rundstäben über 30 mm Durchmesser gilt **Tabelle W 2-9**.

(3) Geschmiedete und gewalzte Stäbe (Wärmebehandlungsdicke gleich oder größer als 20 mm bis einschließlich 30 mm) für Verbindungselemente

Für die Ultraschallprüfung an geschmiedeten und gewalzten Stäben mit Wärmebehandlungsdicken größer als 20 mm bis 30 mm einschließlich für Verbindungselemente gilt **Tabelle W 2-10**.

Die Prüfung darf in Tauchtechnik auf mechanisierten Anlagen erfolgen.

(4) Nahtlose Rohre

Nahtlose Rohre sind gemäß DIN EN ISO 10893-10, Zulässigkeitsklasse U 2 A, mit der Nut in „N-Ausführung“ auf Längsfehler zu prüfen.

(5) Schmiedestücke und gewalzte Ringe

Für die Ultraschallprüfung an Schmiedestücken und gewalzten Ringen gilt **Tabelle W 2-11**.

Der Abstand zwischen benachbarten Anzeigen gleicher Tiefenlage muss mindestens der Länge der größeren Anzeige entsprechen.

W 2.3.2 Prüfung der Oberflächenbeschaffenheit

Es gelten die Festlegungen gemäß Abschnitt 7.3.5.8.6.

W 2.3.3 Oberflächenprüfung nach dem Eindringverfahren für geschmiedete und gewalzte Erzeugnisformen

Es gelten die Festlegungen gemäß Abschnitt 7.3.5.8.3. Die Häufigkeit zulässiger Anzeigen darf örtlich zehn je Quadratdezimeter, bezogen auf die Gesamtfläche jedoch fünf je Quadratdezimeter nicht überschreiten.

Anzeigen, die auf Risse oder rissähnliche Fehler schließen lassen, sind nicht zulässig.

W 2.4 Probenentnahme und Probenlage

Für die Probenentnahmeorte und Probenlage gelten DIN EN 10088-2 für Bleche und Bänder, DIN EN 10088-3 für Stäbe und Draht, DIN EN 10250-1 für Schmiedestücke sowie DIN EN 10216-5 für Rohre, soweit in den Werkstoffprüfblättern nach Abschnitt W 2.5 nichts anderes festgelegt ist.

Element	Massenanteile in %			
	Werkstoff			
	NiCr15Fe (2.4816)	NiCr29Fe (2.4642)	NiCr15Fe7TiAl (2.4669)	NiCr19Fe19Nb5Mo3 (2.4668)
C	≤ 0,080	≥ 0,015 bis ≤ 0,040	≤ 0,080	≤ 0,080
Mn	≤ 1,00	≤ 0,50	≤ 0,35 ²⁾	≤ 0,35
Si	≤ 0,50	≤ 0,50	≤ 0,35 ²⁾	≤ 0,35
P	≤ 0,015	≤ 0,015	≤ 0,015	≤ 0,015
S	≤ 0,015	≤ 0,010	≤ 0,010	≤ 0,015
Cr	≥ 14,0 bis ≤ 17,0	≥ 28,0 bis ≤ 31,0	≥ 14,0 bis ≤ 17,0	≥ 17,0 bis ≤ 21,0
Ni ¹⁾	≥ 72,0	≥ 58,0 bis ≤ 62,0	≥ 70,0	≥ 50,0 bis ≤ 55,0
Co	≤ 0,20	≤ 0,20	≤ 0,20	≤ 0,20
Nb ³⁾	—	≤ 0,10	≥ 0,70 bis ≤ 1,20	≥ 4,75 bis ≤ 5,50
Ti	—	≤ 0,50	≥ 2,25 bis ≤ 2,75	≥ 0,65 bis ≤ 1,15
Al	—	≤ 0,50	≥ 0,40 bis ≤ 1,00	≥ 0,20 bis ≤ 0,80
Fe	≥ 6,0 bis ≤ 10,0	≥ 8,0 bis ≤ 11,0	≥ 5,0 bis ≤ 9,0	Rest
Cu	≤ 0,50	≤ 0,50	≤ 0,50	≤ 0,30
B	—	≤ 0,007	—	≤ 0,006
Mo	—	≤ 0,20	—	≥ 2,80 bis ≤ 3,30
N	—	≤ 0,050	—	—

1) Der Ni-Anteil schließt den Co-Anteil ein.
2) Bei Draht sind Mn ≤ 1,00 % und Si ≤ 0,50 % zulässig.
3) Einschließlich Ta.

Tabelle W 2-1: Chemische Zusammensetzung nach der Schmelzenanalyse

Element	Bereich des spezifizierten Elementes in %	Toleranzen unter Mindest- oder über Maximal-Wert in %
C	≤ 0,020	0,005
	> 0,020 bis ≤ 0,200	0,010
Mn	≤ 1,00	0,03
Si	≤ 0,50	0,03
P	≤ 0,040	0,005
S	≤ 0,020	0,003
Cr	> 5,0 bis ≤ 15,0	0,15
	> 15,0 bis ≤ 25,0	0,25
	> 25,0 bis ≤ 35,0	0,30
Ni	> 40,0 bis ≤ 60,0	0,35
	> 60,0 bis ≤ 80,0	0,45
Co	≤ 0,20	0,02
	> 0,20 bis ≤ 1,00	0,03
Nb und/oder Ta	≤ 0,10	0,02
	> 0,10 bis ≤ 1,50	0,05
	> 3,00 bis ≤ 5,00	0,15
	> 5,00 bis ≤ 7,00	0,20
Ti	≤ 0,5	0,03
	> 0,5 bis ≤ 1,00	0,04
	> 1,00 bis ≤ 2,00	0,05
	> 2,00 bis ≤ 3,50	0,07
Al	> 0,10 bis ≤ 0,50	0,05
	> 0,50 bis ≤ 2,00	0,10
Fe	> 5,0 bis ≤ 10,0	0,10
	> 10,0 bis ≤ 15,0	0,15
	> 15,0 bis ≤ 30,0	0,30
Cu	> 0,20 bis ≤ 0,50	0,03
B	≤ 0,010	0,002
Mo	≤ 1,00	0,03
	> 1,00 bis ≤ 3,00	0,05
	> 3,00 bis ≤ 5,00	0,10
N	> 0,02 bis ≤ 0,19	0,01

Tabelle W 2-2: Zulässige Abweichungen der chemischen Zusammensetzung der Stückanalyse von der Schmelzenanalyse

Werkstoff	Erzeugnisform	Wärmebehandlung		
		Weichglühung	Lösungsglühung	Aushärtung / Stabilisierungsglühung
NiCr15Fe (2.4816)	Blech, Stab, Schmiedestück, Rohr	920 °C bis 1000 °C ¹⁾ , Zeit gemäß Dicke ^{2) 3)}	1080 °C bis 1150 °C ¹⁾ , Zeit gemäß Dicke ^{2) 3)}	700 °C bis 730 °C ± 10 K, mindestens 10 h ⁴⁾
NiCr29Fe (2.4642)	Stab	—	1070 °C bis 1120 °C ¹⁾ , Zeit gemäß Dicke ^{2) 3)}	700 °C bis 730 °C ± 10 K, mindestens 10 h ⁴⁾
NiCr15Fe7TiAl (2.4669)	Stab, Schmiedestück, Blech	—	1050 °C bis 1100 °C ¹⁾ , Zeit gemäß Dicke ^{2) 3)}	730 °C ± 10 K, 8 h ± 0,5 h / mit 60 K/h ± 10 K auf 620 °C ± 10 K / 620 °C ± 10 K, 8 h ± 0,5 h ⁴⁾
	Draht, Band	—	1090 °C bis 1180 °C ¹⁾ , Durchlaufgeschwindigkeit abhängig von der Dicke ³⁾	730 °C ± 15 K, 16 h ± 0,5 h ⁴⁾
NiCr19Fe19Nb5Mo3 (2.4668)	Blech, Band, Stab, Schmiedestück, Draht	—	1050 °C bis 1120 °C ¹⁾ , Zeit gemäß Dicke ^{2) 3)}	720 °C ± 10 K, 8 h ± 0,5 h / mit 60 K/h ± 10 K auf 620 °C ± 10 K / 620 °C ± 10 K, 8 h ± 0,5 h ⁴⁾

¹⁾ Toleranz bei gewählter Temperatur: ± 20 K innerhalb des zulässigen Temperaturbereichs.
²⁾ Glühzeit: ca. 1 min bis 2 min pro mm zur Sicherstellung einer vollständigen Durchwärmung.
³⁾ Abkühlgeschwindigkeit entsprechend der Abkühlung in Luft oder schneller.
⁴⁾ Ofenabkühlung oder schneller.

Tabelle W 2-3: Wärmebehandlungen

Werkstoff	Erzeugnisform	Abmessung Dicke/Durchmesser ¹⁾ in mm	Probenlage	Wärmebehandlungszustand	R _{p0,2} in N/mm ²	R _m in N/mm ²	A in %	A ₄ oder A _{50 mm} in %	Z in %
NiCr15Fe (2.4816)	Stab	≤ 160	l/q	2)	≥ 200	550 bis 750	≥ 30	—	zu bestimmen
	Schmiedestück	≤ 160	l/q/t						
	Blech	≤ 50	q	3)	≥ 180	500 bis 700	≥ 35		
	Rohr	≤ 25 / ≤ 170	l						
NiCr29Fe (2.4642)	Stab	≤ 160	l/q	3)	≥ 220	≥ 586	≥ 30	≥ 30	zu bestimmen
NiCr15Fe7TiAl (2.4669)	Band	≥ 0,25 bis ≤ 6,35	l/q	lösungsgeglüht und ausgehärtet	≥ 790	≥ 1170	—	≥ 18	—
	Blech	≥ 4,75 bis ≤ 100	q		≥ 720	≥ 1100		≥ 18	zu best.
	Stab	≤ 60	l		≥ 790	≥ 1170		≥ 18	≥ 18
		> 60 bis ≤ 160	l		≥ 790	≥ 1170		≥ 15	≥ 15
	Draht	≥ 0,4 bis ≤ 3,0	l		≥ 720	≥ 1100		≥ 12	≥ 12
		> 3,0 bis ≤ 15	l		≥ 880	≥ 1140		≥ 10	—
	Schmiedestück	≤ 100	l		≥ 880	≥ 1140		≥ 14	—
		> 100 bis ≤ 160	q		≥ 790	≥ 1170		≥ 18	≥ 18
			q		≥ 760	≥ 1140		≥ 15	≥ 15
			q/t		≥ 720	≥ 1100		≥ 12	≥ 12
NiCr19Fe19Nb5Mo3 (2.4668)	Stab	≤ 60	l	lösungsgeglüht und ausgehärtet	≥ 1000	≥ 1240	—	≥ 12	≥ 15
		> 60 bis ≤ 160	l/q		≥ 1000	≥ 1200		≥ 6	≥ 8
	Schmiedestück	≤ 160	l/q/t		≥ 1000	≥ 1200		≥ 10	≥ 12
	Band	≥ 0,25 bis ≤ 6,35	l/q		≥ 1035	≥ 1240		≥ 12	—
	Blech	≥ 4,75 bis ≤ 100	q		≥ 1000	≥ 1200		≥ 12	zu best.
Draht	≥ 0,4 bis ≤ 15	l	≥ 1000	≥ 1240	≥ 12	—			

1) Wärmebehandlungsdicke/-durchmesser
2) weichgeglüht und stabilisierungsgeglüht
3) lösungsgeglüht und stabilisierungsgeglüht

Tabelle W 2-4: Mindestwerte der mechanisch-technologischen Eigenschaften im Zugversuch bei Raumtemperatur

Werkstoff	Erzeugnisform	Abmessung Dicke/Durchmesser in mm	Probenlage	Wärmebehandlungszustand	R _{p0,2} in N/mm ²	R _m in N/mm ²	A in %	A ₄ oder A _{50 mm} in %	Z in %
NiCr15Fe (2.4816)	Stab	≤ 160	l/q	weichgeglüht und stabilisierungsgeglüht oder lösungsgeglüht und stabilisierungsgeglüht	≥ 150	zu bestimmen	zu bestimmen	—	zu bestimmen
	Schmiedestück	≤ 160	l/q/t						
	Blech	≤ 50	q						
	Rohr	≤ 25 / ≤ 170	l						
NiCr29Fe (2.4642)	Stab	≤ 160	l/q	lösungsgeglüht und stabilisierungsgeglüht	≥ 160	≥ 480 ¹⁾	—	zu bestimmen	zu bestimmen
NiCr15Fe7TiAl (2.4669)	Band / Blech	≥ 0,25 bis ≤ 100	l/q	lösungsgeglüht und ausgehärtet	≥ 700	≥ 1050	—	≥ 16	≥ 16 ²⁾
	Stab	≤ 160	l/q		≥ 700	≥ 1050		≥ 16	≥ 16
	Schmiedestück	≤ 100	l		≥ 700	≥ 1050		≥ 16	≥ 16
		> 100 bis ≤ 160	q/t		≥ 700	≥ 1050		zu best.	zu best.
	Draht	≥ 0,4 bis ≤ 15	l		zu best.	≥ 1050		zu best.	zu best.
NiCr19Fe19Nb5Mo3 (2.4668)	Band / Blech	≥ 0,25 bis ≤ 100	l/q	lösungsgeglüht und ausgehärtet	≥ 800 ¹⁾	≥ 960 ¹⁾	—	≥ 5	zu best. ²⁾
	Stab	≤ 60	l		≥ 830 ¹⁾	≥ 960 ¹⁾		≥ 12	≥ 15
		> 60 bis ≤ 160	l/q		≥ 800 ¹⁾	≥ 930 ¹⁾		≥ 6	≥ 8
	Schmiedestück	≤ 160	l/q/t		≥ 800 ¹⁾	≥ 930 ¹⁾		≥ 10	≥ 12
	Draht	≥ 0,4 bis ≤ 15	l		≥ 830 ¹⁾	≥ 960 ¹⁾		zu best.	—

1) Bei diesen Werten handelt es sich um Angaben, die noch einer statistischen Absicherung bedürfen.
2) Gilt nur für die Erzeugnisform Blech.

Tabelle W 2-5: Mindestwerte der mechanisch-technologischen Eigenschaften im Zugversuch bei 350 °C

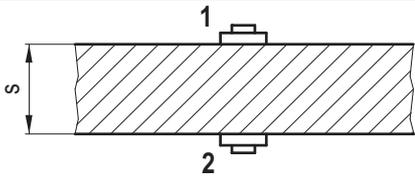
Werkstoff	Erzeugnisform	Abmessung Dicke/Durchmesser in mm	Probenlage	Wärmebehand- lungszustand	KV ₂ in J	
					Mittelwert	Einzelwert
NiCr15Fe (2.4816)	Stab	≤ 160	l	weichgeglüht und stabilisierungsge- glüht oder lösungs- geglüht und stabili- sierungsgeglüht	≥ 160	≥ 112
			q		≥ 120	≥ 84
	Rohr	≤ 25 / ≤ 170	l		≥ 160	≥ 112
	Blech	≤ 50	q		≥ 120	≥ 84
	Schmiedestück	≤ 160	l/q/t		≥ 96	≥ 67
NiCr29Fe (2.4642)	Stab	≤ 160	l	lösungsgeglüht und stabilisie- rungsgeglüht	≥ 125	≥ 90
			q		≥ 95	≥ 70
NiCr15Fe7TiAl (2.4669)	Blech	≥ 0,25 bis ≤ 100	l/q	lösungsgeglüht und ausgehärtet	zu bestimmen	
	Stab	≤ 160	l		≥ 38	≥ 30
			q		zu bestimmen	
Schmiedestück	≤ 160	l/q/t	zu bestimmen			
NiCr19Fe19Nb5Mo3 (2.4668)	Blech	≤ 100	q	lösungsgeglüht und ausgehärtet	zu bestimmen	
	Stab	≤ 160	l/q		—	≥ 20
	Schmiedestück	≤ 160	l/q/t		—	≥ 20

Bei Blechen und Schmiedestücken (s ≤ 10 mm), Stäben (D ≤ 15 mm), Rohren (s ≤ 15 mm), Bändern und Drähten entfällt die Prüfung der Schlagenergie.

Tabelle W 2-6: Mindestwerte der Schlagenergie im Kerbschlagbiegeversuch bei Raumtemperatur

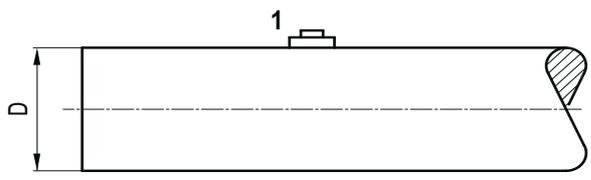
Eigenschaft	Einheit	Temperatur T °C	NiCr15Fe (2.4816)	NiCr29Fe (2.4642)	NiCr19Fe19Nb5Mo3 (2.4668)	NiCr15Fe7TiAl (2.4669)
Dichte	g/cm ³	Raumtemp.	8,47	8,19	8,22	8,25
E-Modul	10 ³ N/mm ²	Raumtemp.	214	211	200	214
		100	210	206	195	210
		150	207	203	193	207
		200	205	201	191	204
		250	202	198	187	201
		300	200	195	185	198
		350	196	192	182	195
		400	193	189	179	192
Mittlere Wärmeleitfähigkeit	W/(m·K)	Raumtemp.	14,83	12,02	11,37	11,95
		100	15,80	13,51	12,64	12,89
		150	16,58	14,42	13,48	13,48
		200	17,35	15,33	14,33	14,06
		250	18,13	16,29	15,11	14,76
		300	18,91	17,27	15,89	15,47
		350	19,69	18,19	16,66	16,19
		400	20,47	19,10	17,44	16,90
Mittlerer linearer Wärmeausdehnungs- koeffizient zwischen 20 °C und T	10 ⁻⁶ /K	100	13,35	14,06	13,18	12,62
		150	13,60	14,20	13,36	12,78
		200	13,84	14,33	13,54	12,95
		250	14,00	14,45	13,70	13,17
		300	14,16	14,56	13,87	13,42
		350	14,33	14,70	14,06	13,67
		400	14,49	14,84	14,24	13,91

Tabelle W 2-7: Anhaltswerte der physikalischen Eigenschaften



Prüfkopf	Einschallrichtung	Bedingungen
SE	1 oder 2	$S <$ als Prüfbereich des Prüfkopfes
N und SE	1 oder 2	SE-Prüfkopf für oberflächennahe Bereiche
N	1 und 2	Die auswertbaren Bereiche müssen sich überdecken
N : Einzelschwinger-Senkrechtprüfkopf SE : Sender-Empfänger-Senkrechtprüfkopf		
Registrierschwellen		
kleinste zu berücksichtigende Größe der Anzeige 100 mm ²		
Zulässigkeitskriterien		
Fläche in mm ²	Häufigkeit registrierpflichtiger Anzeigen	
	örtliche Anzeigen	Gesamtanzeigen pro Blech
≤ 1000	$\leq 3/m^2$	$\leq 2/m^2$
Der Abstand zwischen benachbarten Anzeigen gleicher Tiefenlage muss mindestens der Länge der größeren Anzeige entsprechen.		

Tabelle W 2-8: Einschallrichtungen, Registrierlängen und Zulässigkeitskriterien bei Blechen



Prüfkopf	Einschallrichtung	Bedingungen	
SE oder N	1		
N : Einzelschwinger-Senkrechtprüfkopf SE : Sender-Empfänger-Senkrechtprüfkopf			
Registrierschwellen			
Einschallrichtung	Durchmesser D im Prü fzustand in mm	Bezugslinien-Methode Auf die Echohöhe einer Zylinderbohrung $d = 4$ mm bezogene Echohöhe	AVG-Methode KSR in mm
1	≤ 60	50 % (-6 dB)	3
	> 60	100 %	4
Zulässigkeitskriterien			
Einschallrichtung	Echohöhen	Länge registrierpflichtiger Anzeigen	Häufigkeit registrierpflichtiger Anzeigen
1	Es sind Echoanzeigen bis 12 dB über den Registrierschwellen zulässig	$1 \cdot D$	$D \leq 60: \leq 3/m$
			$D > 60: \leq 5/m$

Tabelle W 2-9: Einschallrichtungen, Registrierschwellen und Zulässigkeitskriterien bei geschmiedeten und gewalzten Rundstäben (Wärmebehandlungsdicke > 30 mm)

Einschallrichtungen	Bezugsreflektor
1 Senkrechteinschallung in radialer Richtung Bei Verwendung von N = Einzelschwinger-Senkrechtprüfkopf auf dem ganzen Umfang; bei Verwendung von SE = Sender-Empfänger-Senkrechtprüfkopf auf den halben Umfang	Eine radial eingebrachte Zylinderbohrung mit einem Durchmesser $d = 2$ mm
2 Schrägeinschallung von der zylindrischen Mantelfläche aus in beiden Achsrichtungen mit 70 Grad Einschallwinkel	Eine Rechtecknut mit den Abmessungen: Breite: $\leq 1,5$ mm Tiefe: $0,05 \cdot D$ in mm
3 An Stabstahl für Verbindungselemente (z. B. KB-/KU-Schrauben), an denen im Betrieb eine Ultraschallprüfung vorgesehen ist, ist an einem Prüfstück je Los (Länge 150 mm) eine Prüfung auf Rückwandecho durchzuführen. Die Losgröße ist im Werkstoffprüfblatt W 1.5.2 lfd. Nr. 3 (2) a) festgelegt.	Die Höhe des Rückwandechos, bezogen auf die Querbohrung, ist zu protokollieren.
Bewertung: Bei den Einschallrichtungen 1 und 2 sind Anzeigen, die die Höhe des Bezugsreflektors erreichen oder überschreiten, nicht zulässig.	

Tabelle W 2-10: Einschallrichtungen, Bezugsreflektor und Bewertung bei geschmiedeten und gewalzten Stäben (Wärmebehandlungsdicke ≥ 20 mm bis ≤ 30 mm) für Verbindungselemente

Schallweg ohne Seitenwandeinfluss für die Einschallrichtungen 3 und 4:

$$S = \frac{s \cdot D_{\text{eff}}}{2 \cdot \lambda}$$

λ : Wellenlänge in mm
 D_{eff} : effektive Schwingerabmessung
 s : Wanddicke

Prüfkopf	Einschallrichtung	Bedingungen	
SE	1 oder 2 und 3 oder 4	$s <$ als Prüfbereich des Prüfkopfes	
N und SE	1 oder 2 und 3 oder 4	SE-Prüfkopf für oberflächennahe Bereiche	
N	1, 2, 3, 4	Die auswertbaren Bereiche müssen sich überdecken	
N : Einzelschwinger-Senkrechtprüfkopf SE : Sender-Empfänger-Senkrechtprüfkopf			
Registrierschwellen			
Einschallrichtungen	Wanddicke s im Prüfzustand in mm	Bezugslinien-Methode Auf die Echohöhe einer Zylinderbohrung $d = 4$ mm bezogene Echohöhe	AVG-Methode KSR in mm
1 bis 4	≤ 60	50 % (-6 dB)	4
	> 60	100 %	6
Zulässigkeitskriterien			
Einschallrichtung	Echohöhen	Länge registrierpflichtiger Anzeigen	Häufigkeit registrierpflichtiger Anzeigen
1 bis 4	Es sind Echoanzeigen bis 12 dB über den Registrierschwellen zulässig	max. 50 mm, jedoch $\leq s$	örtliche Anzeigen: $\leq 5/m$ Gesamtanzeigen: $\leq 3/m$
1) Reflektorausdehnungen größer als 10 mm aus Einschallrichtung 3 und 4 sind unzulässig.			

Tabelle W 2-11: Einschallrichtung, Registrierschwellen und Zulässigkeitskriterien bei Schmiedestücken und gewalzten Ringen

W 2.5 Werkstoffprüfblätter

WERKSTOFFPRÜFBLATT		W 2.5.1
Erzeugnisform:	Bleche und Bänder	
Anforderungsstufen:	AS-RE 1 und AS-RE 2 sowie AS-RE 3 innerhalb des RDB	
Werkstoffe:	NiCr15Fe (Werkstoff-Nr. 2.4816) $s \leq 50$ mm NiCr19Fe19Nb5Mo3 (Werkstoff-Nr. 2.4668) $s \leq 100$ mm NiCr15Fe7TiAl (Werkstoff-Nr. 2.4669) $s \leq 100$ mm	
Anforderungen:	gemäß den Abschnitten W 2.2 bis W 2.4	
Prüfungen		Bescheinigung nach DIN EN 10204
1.	Chemische Zusammensetzung Schmelzenanalyse	3.1
2.	Erschmelzungsart und Wärmebehandlungszustand Angabe der Erschmelzungsart und Bestätigung der Wärmebehandlung im Lieferzustand	3.1
3.	Zugversuch nach Abschnitt 7.3.5.2 bei Raumtemperatur im endwärmebehandelten Zustand	3.1
a)	bis $s \leq 20$ mm 1 Probe je Schmelze, Abmessung und Wärmebehandlungslos; mindestens 1 Probe je 20 Bleche oder Anfang und Ende eines Bandes	
b)	ab $s > 20$ mm bis $s \leq 50$ mm 1 Probe je Walztafel	
c)	ab $s > 50$ mm 1 Probe je Walztafel von Mitte des Kopfes und Rand des Fußes	3.2
4.	Zugversuch nach Abschnitt 7.3.5.2 bei 350 °C im endwärmebehandelten Zustand 1 Probe je Zugversuch (Raumtemperatur)	3.1
a)	bei $s \leq 20$ mm	
b)	bei $s > 20$ mm	3.2
5.	Kerbschlagbiegeversuch nach Abschnitt 7.3.5.3 bei Raumtemperatur im endwärmebehandelten Zustand 1 Satz Proben je Zugversuch (Raumtemperatur) ab $s > 10$ mm	3.1
a)	bis $s \leq 20$ mm	
b)	ab $s > 20$ mm	3.2
6.	Gefügeausbildung und Korngrößenbestimmung nach Abschnitt 7.3.5.6 1 Probe je Abmessung, Schmelze und Wärmebehandlungslos	3.1
7.	Ultraschallprüfung nach Abschnitt 7.3.5.8.4 Ultraschallprüfung für $s > 10$ mm im Raster von 200 · 200 mm je Blech	3.1
a)	bis $s \leq 20$ mm	
b)	ab $s > 20$ mm	3.2
8.	Besichtigung nach Abschnitt 7.3.5.8.6 100%ige Besichtigung je Blech, stichprobenweise Besichtigung je Band	3.1
a)	bis $s \leq 20$ mm	
b)	ab $s > 20$ mm	3.2
9.	Maßkontrolle nach Bestellangaben je Blech oder Band	3.1
a)	bis $s \leq 20$ mm	
b)	ab $s > 20$ mm	3.2
10.	Verwechslungsprüfung je Blech oder Band durch qualitativen Nachweis typischer Legierungselemente	3.1
11.	Prüfung der Kennzeichnung nach Abschnitt W 2.2.2.8 je Blech oder Band	3.1

WERKSTOFFPRÜFBLATT		W 2.5.2
Erzeugnisform:	Stäbe und Schmiedestücke	
Anforderungsstufen:	AS-RE 1 und AS-RE 2 sowie AS-RE 3 innerhalb des RDB	
Werkstoffe:	NiCr15Fe (Werkstoff-Nr. 2.4816) Durchmesser \leq 160 mm (Wärmebehandlungsdicke) NiCr29Fe (Werkstoff-Nr. 2.4642) Durchmesser \leq 160 mm (Wärmebehandlungsdicke) NiCr15Fe7TiAl (Werkstoff-Nr. 2.4669) Durchmesser \leq 160 mm (Wärmebehandlungsdicke) NiCr19Fe19Nb5Mo3 (Werkstoff-Nr. 2.4668) Durchmesser \leq 160 mm (Wärmebehandlungsdicke)	
Anforderungen:	gemäß den Abschnitten W 2.2 bis W 2.4	
Prüfungen		Bescheinigung nach DIN EN 10204
1.	Chemische Zusammensetzung Schmelzenanalyse	3.1
2.	Erschmelzungsart und Wärmebehandlungszustand Angabe der Erschmelzungsart und Bestätigung der Wärmebehandlung im Lieferzustand	3.1
3.	Zugversuch nach Abschnitt 7.3.5.2 bei Raumtemperatur im endwärmebehandelten Zustand a) bei Durchmesser \leq 100 mm 2 Längsproben je Schmelze, Abmessung und Wärmebehandlungslos, maximal jedoch 500 kg b) bei Durchmesser $>$ 100 mm 1 Querprobe je Stab oder Schmiedestück	3.2
4.	Zugversuch nach Abschnitt 7.3.5.2 bei 350 °C im endwärmebehandelten Zustand 1 Probe je Zugversuch (Raumtemperatur)	3.2
5.	Kerbschlagbiegeversuch nach Abschnitt 7.3.5.3 bei Raumtemperatur im endwärmebehandelten Zustand 1 Satz Proben je Zugversuch (Raumtemperatur) ab Durchmesser von $>$ 15 mm a) bei Durchmesser \leq 100 mm (längs) b) bei Durchmesser $>$ 100 mm (quer)	3.2
6.	Gefügeausbildung und Korngrößenbestimmung nach Abschnitt 7.3.5.6 1 Probe je Abmessung, Schmelze und Wärmebehandlungslos	3.1
7.	Ultraschallprüfung nach Abschnitt 7.3.5.8.4 an jedem Teil, bei Stäben ab Durchmesser $>$ 30 mm, bei Stäben für Verbindungselemente ab Durchmesser \geq 20 mm	3.2
8.	Besichtigung nach Abschnitt 7.3.5.8.6 und Sichtprüfung nach Abschnitt 7.3.5.8.7 100%ige Besichtigung und 100%ige Sichtprüfung je Stab oder Schmiedestück	3.1
9.	Maßkontrolle nach Bestellangaben je Stab oder Schmiedestück	3.2
10.	Verwechslungsprüfung je Stab oder Schmiedestück durch qualitativen Nachweis typischer Legierungselemente.	3.1
11.	Prüfung der Kennzeichnung nach Abschnitt W 2.2.2.8 je Stab oder Schmiedestück	3.1

WERKSTOFFPRÜFBLATT		W 2.5.3
Erzeugnisform:	nahtlose Rohre	
Anforderungsstufen:	AS-RE 1 und AS-RE 2 sowie AS-RE 3 innerhalb des RDB	
Werkstoff:	NiCr15Fe (Werkstoff-Nr. 2.4816) $s \leq$ 25 mm, Durchmesser \leq 170 mm	
Anforderungen:	gemäß den Abschnitten W 2.2 bis W 2.4	
Prüfungen		Bescheinigung nach DIN EN 10204
1.	Chemische Zusammensetzung Schmelzenanalyse	3.1
2.	Erschmelzungsart und Wärmebehandlungszustand Angabe der Erschmelzungsart und Bestätigung der Wärmebehandlung im Lieferzustand	3.1
3.	Zugversuch nach Abschnitt 7.3.5.2 bei Raumtemperatur im endwärmebehandelten Zustand 1 Probe je Schmelze, Abmessung, Wärmebehandlungslos und 100 Rohre	3.1

WERKSTOFFPRÜFBLATT (Fortsetzung)		W 2.5.3
4.	Zugversuch nach Abschnitt 7.3.5.2 bei 350 °C im endwärmebehandelten Zustand Prüfumfang wie Zugversuch (Raumtemperatur)	3.1
5.	Kerbschlagbiegeversuch nach Abschnitt 7.3.5.3 bei Raumtemperatur im endwärmebehandelten Zustand 1 Satz Proben je Zugversuch (Raumtemperatur) für $s > 15$ mm Wanddicke	3.1
6.	Gefügeausbildung und Korngrößenbestimmung nach Abschnitt 7.3.5.6 1 Probe je Abmessung, Schmelze und Wärmebehandlungslos	3.1
7.	Besichtigung nach Abschnitt 7.3.5.8.6 100%ige Besichtigung je Rohr, soweit zugänglich	3.1
8.	Maßkontrolle nach Bestellangaben je Rohr	3.1
9.	Verwechslungsprüfung je Rohr durch qualitativen Nachweis typischer Legierungselemente	3.1
10.	Ultraschallprüfung auf Längsfehler nach DIN EN ISO 10893-10, Zulässigkeitsklasse U 2 A, Nut in „N-Ausführung“ bei $D_a \leq 101,6$ mm und Wanddicke $\leq 5,6$ mm an 10 % der Rohre Bei größeren Abmessungen an jedem Rohr	3.1
11.	Prüfung der Kennzeichnung nach Abschnitt W 2.2.2.8 je Rohr	3.1

WERKSTOFFPRÜFBLATT		W 2.5.4
Erzeugnisform:	Draht	
Anforderungsstufen:	AS-RE 1 und AS-RE 2 sowie AS-RE 3 innerhalb des RDB	
Werkstoffe:	NiCr19Fe19Nb5Mo3 (Werkstoff-Nr. 2.4668) Durchmesser ≤ 15 mm NiCr15Fe7TiAl (Werkstoff-Nr. 2.4669) Durchmesser ≤ 15 mm	
Anforderungen:	gemäß den Abschnitten W 2.2 bis W 2.4	
	Prüfungen	Bescheinigung nach DIN EN 10204
1.	Chemische Zusammensetzung Schmelzenanalyse	3.1
2.	Erschmelzungsart und Wärmebehandlungszustand Angabe der Erschmelzungsart und Bestätigung der Lösungsglühung; bei NiCr15Fe7TiAl (Werkstoff-Nr. 2.4669) zusätzlich Bestätigung des Kaltverformungsgrads ≥ 10 % bis ≤ 20 %	3.1
3.	Zugversuch nach Abschnitt 7.3.5.2 bei Raumtemperatur im endwärmebehandelten Zustand 1 Probe je Bund/Ring	3.2
4.	Zugversuch nach Abschnitt 7.3.5.2 bei 350 °C im endwärmebehandelten Zustand 1 Probe je Zugversuch (Raumtemperatur)	3.2
5.	Wickerversuch nach DIN ISO 7802 je Bund/Ring eine Wickelprobe von Anfang und Ende	3.1
6.	Gefügeausbildung und Korngrößenbestimmung nach Abschnitt 7.3.5.6 1 Probe je Abmessung, Schmelze und Wärmebehandlungslos	3.1
7.	Besichtigung nach Abschnitt 7.3.5.8.6 stichprobenweise Besichtigung je Bund/Ring	3.1
8.	Maßkontrolle nach Bestellangaben je Bund/Ring	3.2
9.	Verwechslungsprüfung je Bund/Ring durch qualitativen Nachweis typischer Legierungselemente	3.1
10.	Prüfung der Kennzeichnung nach Abschnitt W 2.2.2.8 je Bund/Ring	3.1

Werkstoffanhang W 3

Nichtrostender austenitischer Feinguss

Inhalt:

- W 3.1 Geltungsbereich
- W 3.2 Werkstoffe
- W 3.3 Probenentnahme und Probenlage
- W 3.4 Fertigungsschweißungen
- W 3.5 Werkstoffprüfblatt
- W 3.5.1 Feigussteile der Anforderungsstufen AS-RE 1 und AS-RE 2 sowie AS-RE 3 innerhalb des RDB

W 3.1 Geltungsbereich

Dieser Werkstoffanhang legt Anforderungen an die Güteeigenschaften, Art und Umfang der Prüfungen sowie Art der Nachweise für austenitischen nichtrostenden Feinguss fest. Die Anforderungen gelten - wenn im Folgenden nicht anders festgelegt - für den Zustand abgeschreckt.

W 3.2 Werkstoffe**W 3.2.1 Werkstoffe für die Anforderungsstufe AS-RE 3 außerhalb des RDB**

Zugelassen sind alle Werkstoffe mit den Güteanforderungen nach DIN EN 10283. Die durchzuführenden Prüfungen, Prüfumfänge und Nachweise der Güteeigenschaften sind DIN EN 10283, DIN EN 1559-1 und DIN EN 1559-2 zu entnehmen.

W 3.2.2 Werkstoffe für die Anforderungsstufen AS-RE 1 und AS-RE 2 sowie AS-RE 3 innerhalb des RDB**W 3.2.2.1 Allgemeingültige Festlegungen**

(1) Zugelassen sind die Werkstoffe mit den Werkstoff-Nummern 1.4552 und 1.4309 nach DIN EN 10213 mit eingeschränkten Analysenwerten und den mechanisch-technologischen Anforderungen gemäß den folgenden Festlegungen.

(2) Die durchzuführenden Prüfungen, Prüfumfänge und Nachweise der Güteeigenschaften sind dem Werkstoffprüfblatt W 3.5.1 zu entnehmen.

W 3.2.2.2 Erschmelzung

Das Erschmelzungsverfahren bleibt dem Lieferer überlassen, sofern es bei der Bestellung nicht vereinbart wurde. Es muss jedoch dem Besteller auf Wunsch bekanntgegeben werden.

W 3.2.2.3 Chemische Zusammensetzung

Für die Werkstoffe gelten die gegenüber DIN EN 10213 eingeschränkten Analysenwerte gemäß **Tabelle W 3-1**.

Werkstoff	Massenanteile in %				Nb/C
	C	Co	Cu	Nb	
1.4552	≤ 0,040	≤ 0,20	≤ 0,30	≤ 0,65	≥ 10
1.4309	≤ 0,030			—	—
N ist zu bestimmen und auszuweisen.					

Tabelle W 3-1: Eingeschränkte Analysenwerte**W 3.2.2.4 Wärmebehandlung**

Abweichend von den Anforderungen in DIN EN 10213 gilt eine Temperatur von 1120 °C als obere Grenze für das Lösungsglühen.

W 3.2.2.5 Mechanisch-technologische Eigenschaften bei Raumtemperatur

Es gelten die Festlegungen nach DIN EN 10213.

W 3.2.2.6 Physikalische Eigenschaften

Die Anhaltsangaben der physikalischen Eigenschaften sind DIN EN 10213 zu entnehmen.

W 3.2.2.7 Deltaferritgehalt

Der Deltaferritgehalt im Gusszustand ist mit 6 % bis 12 % einzustellen.

W 3.2.2.8 IK-Beständigkeit

(1) Die IK-Beständigkeit ist gemäß DIN EN ISO 3651-2 Verfahren A nachzuweisen.

(2) Die Sensibilisierungsglühung ist gemäß 7.3.5.7 (2) durchzuführen.

W 3.2.3 Zerstörungsfreie Prüfungen und Güteanforderungen**(1) Durchstrahlungsprüfung**

Risse und flächenhafte Trennungen sind nicht zulässig.

a) Grundlage für die Bewertung:

Bewertung nach [7] für 1/8" bis 3/8" und 3/4" Wanddicke.

Gültigkeit: Fehlerklasse a) und b) für Teile mit Stückgewicht größer als 2 kg
Fehlerklasse a) für Teile mit Stückgewicht kleiner als oder gleich 2 kg

b) Bewertungsmaßstab für Bereiche, die eine eindeutige Bewertung des durchstrahlten Volumens zulassen.**A) Makrolunker (ML)**

[7] 574 - 4, Steel, Shrinkage Cavity 3/4"

a) in allen Bereichen Bild 3

b) im Bereich von Knotenpunkten Bild 4

B) Gasblasen (G)

[7] 574 - 2, Steel - Gas Holes 3/8" 1/8"

a) in allen Bereichen Bild 6 5

C) Schrumpflunker, schwammförmig (MS)

[7] 574 - 6,

Steel - Shrinkage Sponge 3/8" 1/8"

a) in allen Bereichen Bild 4 4

b) im Bereich von Knotenpunkten Bild 5 5

D) Einschlüsse geringerer Dichte

Steel - Foreign Material Less Dense

D1) Einzeleinschlüsse

[7] 574 - 4 3/8" 1/8"

a) in allen Bereichen Bild 3 3

D2) Flocken

[7] 473 - 13

- | | | |
|---------------------------------|--------|---|
| a) in allen Bereichen | Bild 6 | 5 |
| b) im Bereich von Knotenpunkten | Bild 7 | 6 |

E) Dendritische Makrolunker

[7] 574 - 9,

Steel - Shrinkage, Dendritic 3/8" 1/8"

- | | | |
|---------------------------------|--------|---|
| a) in allen Bereichen | Bild 4 | 4 |
| b) im Bereich von Knotenpunkten | Bild 5 | 5 |

F) Schrumpf - Makrolunker, fadenförmig

[7] 574 - 11,

Steel - Shrinkage Filamentary 3/8" 3/4" 1/8"

- | | | | |
|---------------------------------|--------|---|---|
| a) in allen Bereichen | Bild 2 | 2 | 1 |
| b) im Bereich von Knotenpunkten | Bild 3 | 3 | 2 |

G) Fremdeinschlüsse höherer Dichte

[7] 574 - 15,

Steel - Discrete Discontinuities
Foreign Material More Dense

- a) in allen Bereichen:
1 Einschluss mit maximal 2 mm Durchmesser auf einer Bewertungsfläche von maximal 24 cm².

(2) Oberflächenprüfung nach dem Eindringverfahren

Es gelten folgende Festlegungen:

- Anzeigen, deren größte Ausdehnung gleich oder kleiner als 1,5 mm beträgt, sind nicht in die Bewertung einzubeziehen.
- Unzulässig sind lineare Anzeigen und Anzeigen, die auf Risse schließen lassen.
- Unzulässig sind runde Anzeigen mit einem Durchmesser größer als 3 mm.
- Unzulässig sind mehr als 10 zulässige Anzeigen, deren Ausdehnung größer als 1,5 mm und gleich oder kleiner als 3 mm beträgt:
pro 100 cm² oder pro Stück bei Oberflächen kleiner als 100 cm².

(3) Prüfung auf Freiheit von Fremdferrit

Bewertet werden alle Ausblühungen, welche durch Korrosionsvorgänge in der Gussoberfläche entstehen.

Nicht zulässig sind:

- Anzeigen auf mehr als 25 % der medienbenetzten Oberfläche, eingeteilt in 1 dm²-Prüfflächen.
- Kreisförmige Anzeigen mit einem Durchmesser größer als 2 mm.

c) Lineare Anzeigen mit einer Länge l größer als 3 mm.

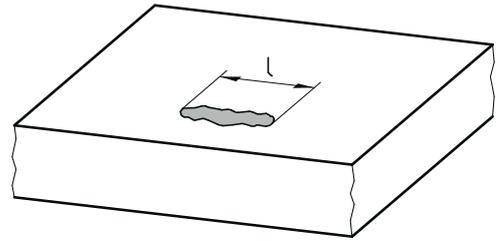


Bild W 3-1: Lineare Anzeige

d) Linear angeordnete Anzeigen.

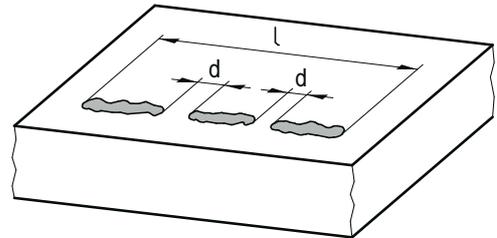


Bild W 3-2: Linear angeordnete Anzeigen l größer als 15 mm und d gleich oder kleiner als 3 mm

e) Mehr als 5 zulässige Anzeigen auf der Prüffläche ($S_1 = S_2 = 1 \text{ dm}$; $A = 1 \text{ dm}^2$).

(4) Rautiefe

Der arithmetische Mittelwert der Profilorordinaten (Mittenrauwert) R_a nach DIN EN ISO 4287 soll einen Wert von 10 μm nicht überschreiten.

W 3.3 Probenentnahme und Probenlage

Für die Probenentnahmeorte und Probenlage gilt DIN EN 10213.

W 3.4 Fertigungsschweißungen

Hinweis:

Unter Fertigungsschweißungen sind Schweißarbeiten zu verstehen, die im Zusammenhang mit gießtechnischen Unregelmäßigkeiten stehen und innerhalb des Fertigungsablaufes der Gussteilherstellung ausgeführt werden. Nicht tolerierbare Fehler können durch Fertigungsschweißen egalisiert werden.

(1) Fertigungsschweißstellen sind in ihrer Lage und Form so zu dokumentieren, dass eine einwandfreie Zuordnung sichergestellt ist. Fertigungsschweißverfahren sind durch entsprechende Probeschweißungen zu qualifizieren.

(2) Zur Durchführung der Fertigungsschweißung sind Schweißpläne zu erstellen. Es sind ausschließlich Schweißzusätze gemäß Werkstoffanhang W 4 zulässig.

W 3.5 Werkstoffprüfblatt

WERKSTOFFPRÜFBLATT		W 3.5.1
Erzeugnisform:	Feingussteile	
Anforderungsstufen:	AS-RE 1 und AS-RE 2 sowie AS-RE 3 innerhalb des RDB	
Werkstoffe:	Nichtrostender, austenitischer Feinguss Werkstoff-Nr. 1.4552 Werkstoff-Nr. 1.4309	
Anforderungen:	gemäß den Abschnitten W 3.2 bis W 3.4	
Prüfungen		Bescheinigung nach DIN EN 10204
1.	Chemische Zusammensetzung 1 Stückanalyse je Gießcharge ¹⁾	3.1
2.	Erschmelzungsart Angabe der Erschmelzungsart und gegebenenfalls der Umschmelzungsart	3.1
3.	Angabe des Form- und Gießverfahrens	3.1
4.	Wärmebehandlung a) Angabe des Wärmebehandlungsverfahrens b) Bestätigung des Wärmebehandlungszustands	3.1
5.	Zugversuch nach Abschnitt 7.3.5.2 bei Raumtemperatur 1 Probe je Prüflos ²⁾	3.1
6.	Kerbschlagbiegeversuch nach Abschnitt 7.3.5.3 bei Raumtemperatur 1 Satz Proben je Prüflos ²⁾ ab $s > 10$ mm	3.1
7.	Prüfung auf Beständigkeit gegen Interkristalline Korrosion nach Abschnitt 7.3.5.7 1 Probe je Prüflos ²⁾	3.1
8.	Deltaferrit-Bestimmung nach Abschnitt 7.3.5.5 (2) Die Bestimmung erfolgt rechnerisch je Gießcharge	3.1
9.	Durchstrahlungsprüfung nach Abschnitt 7.3.5.8.5 Vom ersten Prüflos ²⁾ sind die ersten 2 Stücke 100% zu prüfen. Ist es prüftechnisch nicht möglich, die gießtechnisch problematischen Stellen zu bewerten, sind diese Stücke gegebenenfalls zerstörend zu prüfen. Bei jedem weiteren Prüflos ²⁾ sind an den ermittelten und festgelegten gießtechnisch problematischen Stellen 2 Stück zu prüfen. Werden dabei unzulässige Fehler festgestellt, ist jedes Stück zu prüfen.	3.1
10.	Maßkontrolle nach Bestellangaben je Stück	3.1
11.	Rautiefenprüfung nach Bestellangaben und W 3.2.3 (4) je Stück	3.1
12.	Prüfung auf Freiheit von Fremdferrit nach Abschnitt 7.3.5.8.8 Prüfung an jedem Stück im Fertigzustand	3.1
13.	Oberflächenprüfung nach Abschnitt 7.3.5.8.3 je Stück 100 %-ige Oberflächenprüfung, soweit zugänglich, mittels Eindringverfahren im Fertigzustand	3.1
14.	Verwechslungsprüfung je Prüflos durch qualitativen Nachweis typischer Legierungselemente	3.1
¹⁾ Eine Gießcharge ist auch dann gegeben, wenn nachgewiesen wird, dass beim Umschmelzen aus einer Basisschmelze die Gleichmäßigkeit der chemischen Zusammensetzung eingehalten wird. ²⁾ Ein Prüflos umfasst Feingussteile aus einer Gießcharge und einem Wärmebehandlungslos: Maximal 20 Stück bei Stückgewicht > 2 kg Maximal 60 Stück bei Stückgewicht ≤ 2 kg.		

Werkstoffanhang W 4

Schweißzusätze, Lote und Pulver für thermisches Spritzen

Inhalt:

- W 4.1 Geltungsbereich
- W 4.2 Werkstoffe
- W 4.2.1 Schweißzusätze für die Anforderungsstufe AS-RE 3 außerhalb des RDB
- W 4.2.2 Schweißzusätze für die Anforderungsstufen AS-RE 1 und AS-RE 2 sowie AS-RE 3 innerhalb des RDB
- W 4.2.3 Lote für die Anforderungsstufen AS-RE 1, AS-RE 2 und AS-RE 3
- W 4.2.4 Schweißzusätze für Hartauftragsschweißungen und Pulver für thermisches Spritzen für die Anforderungsstufen AS-RE 1, AS-RE 2 und AS-RE 3
- W 4.3 Werkstoffprüfblätter
- W 4.3.1 Schweißzusätze für austenitischen Chrom-Nickel-Stahl für die Anforderungsstufen AS-RE 1 und AS-RE 2 sowie AS-RE 3 innerhalb des RDB
- W 4.3.2 Schweißzusätze für austenitischen Chrom-Nickel-Stahl für die Anforderungsstufe AS-RE 3 außerhalb des RDB
- W 4.3.3 Schweißzusätze für Nickellegierungen für die Anforderungsstufen AS-RE 1 und AS-RE 2 sowie AS-RE 3 innerhalb des RDB
- W 4.3.4 Schweißzusätze für Nickellegierungen für die Anforderungsstufe AS-RE 3 außerhalb des RDB
- W 4.3.5 Schweißzusätze für martensitischen und ferritischen Stahl für die Anforderungsstufe AS-RE 3 außerhalb des RDB
- W 4.3.6 Lote für die Anforderungsstufen AS-RE 1, AS-RE 2 und AS-RE 3
- W 4.3.7 Schweißzusätze für Hartauftragsschweißungen für die Anforderungsstufen AS-RE 1, AS-RE 2 und AS-RE 3
- W 4.3.8 Pulver für thermisches Spritzen für die Anforderungsstufen AS-RE 1, AS-RE 2 und AS-RE 3

W 4.1 Geltungsbereich

Dieser Werkstoffanhang legt Anforderungen an die Güteeigenschaften, an Art und Umfang der Prüfungen sowie an die Art der Nachweise für Schweißzusätze für E-Hand-, WIG-, MIG- und UP-Schweißungen sowie für Lote und Pulver für thermisches Spritzen fest. Die Anforderungen gelten - wenn im Folgenden nicht anders festgelegt - für reine Schweißzusätze im Schweißzustand, für Lote und Pulver für thermisches Spritzen im Lieferzustand.

W 4.2 Werkstoffe

W 4.2.1 Schweißzusätze für die Anforderungsstufe AS-RE 3 außerhalb des RDB

(1) Austenitischer Chrom-Nickel-Stahl

Zugelassen sind Schweißzusätze mit den Norm-Kurzbezeichnungen 19 9 L, 19 9 Nb, 19 9 Nb Si, 19 12 3 Nb, 19 12 3 Nb Si und 19 12 3 L mit den Güteeigenschaften nach DIN EN ISO 3581, DIN EN ISO 14343 und DIN EN ISO 17633. Die durchzuführenden Prüfungen und Nachweise der Güteeigenschaften sind dem Werkstoffprüfblatt nach Abschnitt W 4.3.2 zu entnehmen.

(2) Nickellegierungen

Zugelassen sind Schweißzusätze mit den Norm-Kurzbezeichnungen NiCr20Mn3Nb (NI 6082) (Werkstoff-Nr. 2.4648), NiCr20Mn3Nb (NI 6082) (Werkstoff-Nr. 2.4806) und S-NiCr15Fe6Mn (Werkstoff-Nr. 2.4620) nach DIN EN ISO 14172 und DIN EN ISO 18274. Für Sicherungsschweißungen sind zusätzlich Schweißzusätze mit der Norm-Kurzbezeichnung NiCr15Ti3Mn (NI 7092) (Werkstoff-Nr. 2.4803) zugelassen. Für die mechanisch-technologischen Eigenschaften gelten die Festlegungen in den **Tabellen W 4-5 und W 4-6**.

Die durchzuführenden Prüfungen und die Nachweise der Güteeigenschaften sind dem Werkstoffprüfblatt (WPB) nach Abschnitt W 4.3.4 zu entnehmen.

(3) Martensitischer und ferritischer Stahl

Zugelassen sind Schweißzusätze mit den Norm-Kurzbezeichnungen 13, 13 4 und 17 mit den Güteeigenschaften nach DIN EN ISO 3581, DIN EN ISO 14343 und DIN EN ISO 17633 sowie Schweißzusätze nach DIN EN ISO 2560 für Teile, die während des Betriebs nicht im Reaktordruckbehälter verbleiben.

Die durchzuführenden Prüfungen und die Nachweise der Güteeigenschaften sind dem Werkstoffprüfblatt nach Abschnitt W 4.3.5 zu entnehmen.

W 4.2.2 Schweißzusätze für die Anforderungsstufen AS-RE 1 und AS-RE 2 sowie AS-RE 3 innerhalb des RDB

(1) Austenitischer Chrom-Nickel-Stahl

Zugelassen sind Schweißzusätze mit der Norm-Kurzbezeichnung 19 9 L, 19 9 Nb, 19 9 Nb Si, 19 12 3 Nb, 19 12 3 Nb Si nach DIN EN ISO 3581 und DIN EN ISO 14343 mit eingeschränkten Analysenwerten und erhöhten Anforderungen an die mechanisch-technologischen Eigenschaften gemäß den folgenden Festlegungen.

Die durchzuführenden Prüfungen und die Nachweise der Güteeigenschaften sind dem Werkstoffprüfblatt nach Abschnitt W 4.3.1 zu entnehmen.

A. Chemische Zusammensetzung und Deltaferritgehalt

Für die Werkstoffe gelten die gegenüber DIN EN ISO 3581 und DIN EN ISO 14343 eingeschränkten Analysenwerte gemäß **Tabelle W 4-1**.

Werkstoff	Massenanteile in %				Nb/C	Deltaferritgehalt Schweißzustand in %
	C	Nb 1)	Co	Cu		
19 9 L	≤ 0,030	—			—	4 bis 12
19 9 Nb	≤ 0,040	≤ 0,65 ²⁾	≤ 0,20	≤ 0,30	≥ 13	
19 9 Nb Si						
19 12 3 Nb						
19 12 3 Nb Si						

N ist in allen Fällen zu bestimmen und auszuweisen.

Ferner ist stets einzuhalten: S ≤ 0,015 % (bei Stabelektroden nach DIN EN ISO 3581 mit rutiler Umhüllung jedoch S ≤ 0,020 %).

Bei UP-Schweißzusätzen ist Ni ≤ 12 % zulässig.

1) Ein Ersatz von Nb durch Ta ist nicht zulässig.

2) Bei kalkbasiert umhüllten Elektroden ist Nb ≤ 0,75 % zulässig.

Tabelle W 4-1: Eingeschränkte Analysenwerte und Deltaferritgehalt für austenitische Schweißzusätze

B. Mechanisch-technologische Eigenschaften

Für die mechanisch-technologischen Eigenschaften gelten die Festlegungen in den **Tabellen W 4-2 und W 4-3**.

Kennwert	Prüftemperatur	
	Raumtemperatur	350 °C
$R_{p0,2}$ in N/mm ²	≥ 350	≥ 180
$R_{p1,0}$ in N/mm ²	≥ 380	≥ 210
R_m in N/mm ²	≥ 550 bis ≤ 750	≥ 380
A in %	≥ 30	≥ 20
Z in %	zu bestimmen	

Tabelle W 4-2: Mindestwerte der mechanisch-technologischen Eigenschaften von austenischen Schweißzusätzen im Zugversuch

KV ₂ in J Wärmebehandlungszustand ungeglüht und geüht	
Mittelwert	≥ 55
Einzelwert	≥ 40

Tabelle W 4-3: Mindestwerte der Schlagenergie von austenischen Schweißzusätzen bei Raumtemperatur

(2) Nickellegierungen

Zugelassen sind Schweißzusätze mit den Norm-Kurzbezeichnungen NiCr20Mn3Nb (NI 6082) (Werkstoff-Nr. 2.4648), NiCr20Mn3Nb (NI 6082) (Werkstoff-Nr. 2.4806) und NiCr15Fe6Mn (NI 6182) (Werkstoff-Nr. 2.4620) nach DIN EN ISO 14172 und DIN EN ISO 18274 mit eingeschränkten Analysenwerten und erhöhten Anforderungen an die mechanisch-

technologischen Eigenschaften gemäß den folgenden Festlegungen. Im Übrigen gelten die Festlegungen der genannten Normen.

Für Sicherungsschweißungen sind zusätzlich Schweißzusätze mit der Norm-Kurzbezeichnung NiCr15Ti3Mn (NI 7092) (Werkstoff-Nr. 2.4803) zugelassen.

Die durchzuführenden Prüfungen und die Nachweise der Güteeigenschaften sind dem Werkstoffprüfblatt nach Abschnitt W 4.3.3 zu entnehmen.

A. Chemische Zusammensetzung

Für die Werkstoffe gelten die in **Tabelle W 4-4** wiedergegebenen chemischen Zusammensetzungen.

B. Mechanisch-technologische Eigenschaften

Für die mechanisch-technologischen Eigenschaften gelten die Festlegungen in den **Tabellen W 4-5 und W 4-6**.

W 4.2.3 Lote für die Anforderungsstufen AS-RE 1, AS-RE 2 und AS-RE 3

Für das Verbinden von austenitischen Stählen sind Nickel-Lote mit einer chemischen Zusammensetzung gemäß **Tabelle W 4-7** zugelassen.

Die durchzuführenden Prüfungen und die Nachweise der Güteeigenschaften sind dem Werkstoffprüfblatt nach Abschnitt W 4.3.6 zu entnehmen.

W 4.2.4 Schweißzusätze für Hartauftragsschweißungen und Pulver für thermisches Spritzen für die Anforderungsstufen AS-RE 1, AS-RE 2 und AS-RE 3

Die Auswahl der Schweißzusätze für das Hartauftragsschweißen und des Pulvers für thermisches Spritzen austenitischer Stähle bleibt dem Anlagenlieferer überlassen.

Die durchzuführenden Prüfungen und die Nachweise der Güteeigenschaften sind den Werkstoffprüfblättern nach den Abschnitten W 4.3.7 und W 4.3.8 zu entnehmen.

Element	Massenanteile in %			
	Werkstoff			
	NiCr20Mn3Nb (NI 6082) (2.4648)	NiCr20Mn3Nb (NI 6082) (2.4806)	NiCr15Fe6Mn (NI 6182) (2.4620)	NiCr15Ti3Mn (NI 7092) (2.4803)
C	≤ 0,050	≤ 0,050	≤ 0,050	≤ 0,050
Si	≤ 0,50	≤ 0,20	≤ 0,50	≤ 0,30
Mn	≥ 4,00 bis ≤ 6,00	≥ 2,50 bis ≤ 3,50	≥ 5,00 bis ≤ 7,00	≥ 2,00 bis ≤ 2,70
P	≤ 0,020	≤ 0,020	≤ 0,020	≤ 0,020
S	≤ 0,010	≤ 0,010	≤ 0,010	≤ 0,010
Cr	≥ 18,0 bis ≤ 22,0	≥ 18,0 bis ≤ 22,0	≥ 15,0 bis ≤ 17,0	≥ 14,0 bis ≤ 17,0
Ni	≥ 63,0	≥ 67,0	≥ 60,0	≥ 67,0
Fe	≤ 4,0	≤ 3,0	≥ 5,0 bis ≤ 8,0	≥ 6,0 bis ≤ 8,0
Nb	≥ 2,00 bis ≤ 3,00	≥ 2,00 bis ≤ 3,00	≥ 2,00 bis ≤ 3,00	—
Co	≤ 0,10	≤ 0,10	≤ 0,10	≤ 0,10
Cu	≤ 0,20	≤ 0,20	≤ 0,20	≤ 0,50
Ti	≤ 0,50	≤ 0,70	≤ 0,50	≥ 2,50 bis ≤ 3,50
Mo	≤ 2,00	≤ 2,00	≤ 2,00	—

Tabelle W 4-4: Chemische Zusammensetzung von Schweißzusätzen aus Nickellegierungen

Kennwert	Prüftemperatur	
	Raumtemperatur	350 °C
R _{p0,2} in N/mm ²	≥ 360	≥ 290
R _{p1,0} in N/mm ²	≥ 380	≥ 305
R _m in N/mm ²	≥ 600	≥ 500
A in %	≥ 25 ¹⁾	≥ 25

¹⁾ Für Schweißzusätze aus NiCr15Fe6Mn gilt: A ≥ 27 %.

Tabelle W 4-5: Mindestwerte der mechanisch-technologischen Eigenschaften von Schweißzusätzen aus Nickellegierungen im Zugversuch

KV ₂ in J	
Mittelwert	≥ 64
Einzelwert	≥ 50

Tabelle W 4-6: Mindestwerte der Schlagenergie von Schweißzusätzen aus Nickellegierungen bei Raumtemperatur

Element	Massenanteile in %
Cr	≥ 17 bis ≤ 21
Si	≥ 9 bis ≤ 11
C	≤ 0,100
Co	≤ 0,10
P	≤ 0,035
S	≤ 0,025
Ni	Rest

Tabelle W 4-7: Chemische Zusammensetzung von Loten

W 4.3 Werkstoffprüfblätter

WERKSTOFFPRÜFBLATT		W 4.3.1
Erzeugnisform:	Schweißzusätze	
Anforderungsstufen:	AS-RE 1 und AS-RE 2 sowie AS-RE 3 innerhalb des RDB	
Werkstoffe:	Nichtrostende austenitische Schweißzusätze mit den Norm-Kurzbezeichnungen: 19 9 L 19 9 Nb 19 9 Nb Si 19 12 3 Nb 19 12 3 Nb Si	
Anforderungen:	gemäß Abschnitt W 4.2.2	
Prüfungen an Prüfstücken nach Abschnitt 7.3.3.2		Bescheinigung nach DIN EN 10204
1. Chemische Zusammensetzung Eine Analyse je Prüflös ²⁾		3.1
2. Zugversuch nach Abschnitt 7.3.5.2 bei Raumtemperatur Eine Probe je Prüflös ¹⁾		3.1
3. Zugversuch nach Abschnitt 7.3.5.2 bei 350 °C Eine Probe je Zugversuch (Raumtemperatur)		3.1
4. Kerbschlagbiegeversuch nach Abschnitt 7.3.5.3 bei Raumtemperatur 1 Satz Proben je Prüflös ¹⁾		3.1
5. Prüfung auf Beständigkeit gegen Interkristalline Korrosion nach Abschnitt 7.3.5.7 Eine Probe je Prüflös ¹⁾		3.1
6. Deltaferrit-Bestimmung nach Abschnitt 7.3.5.5 Eine Probe je Prüflös ¹⁾		3.1
7. Heißrissprüfung nach Abschnitt 7.3.5.4 (2), falls der Deltaferritgehalt gleich oder kleiner als 5 % ist Eine Probe je Prüflös ²⁾		3.1
Als Prüflöse gelten: Stabelektroden: Erzeugunglos, das in einer Schicht auf einer Presse aus einer Kerndrahtschmelze mit einem Durchmesser und einer Hüllenvorschrift erzeugt wird. Schweißstäbe und Drahtelektroden für das Schutzgasschweißen: Erzeugunglos, das aus einer Schmelze mit einem Durchmesser erzeugt wird. Draht-Pulver-Kombination: Kombination von einem Durchmesser aus einer Drahtschmelze mit einer Pulverschmelze.		
¹⁾ Jedoch maximal je 5000 kg. ²⁾ Bei Schweißstäben und Drähten jedoch maximal je 1000 kg.		

WERKSTOFFPRÜFBLATT		W 4.3.2
Erzeugnisform:	Schweißzusätze	
Anforderungsstufe:	AS-RE 3 außerhalb des RDB	
Werkstoffe:	Nichtrostende austenitische Schweißzusätze mit den Norm-Kurzbezeichnungen: 19 9 L 19 9 Nb 19 9 Nb Si 19 12 3 Nb 19 12 3 Nb Si 19 12 3 L	
Anforderungen:	gemäß DIN EN ISO 3581, DIN EN ISO 14343 und DIN EN ISO 17633	
Prüfungen je Prüflös ¹⁾ an Prüfstücken nach Abschnitt 7.3.3.2		Bescheinigung nach DIN EN 10204
Chemische Zusammensetzung Eine Analyse je Prüflös	3.1	
Als Prüflöse gelten: Stabelektroden: Erzeugungslos, das in einer Schicht auf einer Presse aus einer Kerndrahtschmelze mit einem Durchmesser und einer Hüllenvorschrift erzeugt wird. Schweißstäbe und Drahtelektroden für das Schutzgasschweißen: Erzeugungslos, das aus einer Schmelze mit einem Durchmesser erzeugt wird. Draht-Pulver-Kombination: Kombination von einem Durchmesser aus einer Drahtschmelze mit einer Pulverschmelze Fülldraht: Erzeugnislos, das in einer Schicht an einer Produktionslinie mit gleichbleibender Kombination von Pulvermischung gleicher Rezeptur und Schmelze des Elektrodenmantels sowie seines Durchmessers erzeugt wird.		
1) Bei Schweißstäben und Drähten jedoch maximal je 1000 kg.		

WERKSTOFFPRÜFBLATT		W 4.3.3
Erzeugnisform:	Schweißzusätze	
Anforderungsstufen:	AS-RE 1 und AS-RE 2 sowie AS-RE 3 innerhalb des RDB	
Werkstoffe:	Schweißzusätze aus Nickellegierungen mit den Norm-Kurzbezeichnungen: NiCr20Mn3Nb (NI 6082) (Werkstoff-Nr. 2.4648) NiCr20Mn3Nb (NI 6082) (Werkstoff-Nr. 2.4806) NiCr15Fe6Mn (NI 6182) (Werkstoff-Nr. 2.4620) NiCr15Ti3Mn (NI 7092) (Werkstoff-Nr. 2.4803)	
Anforderungen:	gemäß Abschnitt W 4.2.2	
Prüfungen ¹⁾ an Prüfstücken nach Abschnitt 7.3.3.2		Bescheinigung nach DIN EN 10204
1. Chemische Zusammensetzung Eine Analyse je Prüflös ²⁾	3.1	
2. Zugversuch nach Abschnitt 7.3.5.2 bei Raumtemperatur Eine Probe je Prüflös ³⁾	3.1	
3. Zugversuch nach Abschnitt 7.3.5.2 bei 350 °C Eine Probe je Zugversuch (Raumtemperatur)	3.1	
4. Kerbschlagbiegeversuch nach Abschnitt 7.3.5.3 bei Raumtemperatur 1 Satz Proben je Prüflös ³⁾	3.1	
5. Heißrissprüfung nach Abschnitt 7.3.5.4 (2) Eine Probe je Prüflös ²⁾	3.1	
Als Prüflöse gelten: Stabelektroden: Erzeugungslos, das in einer Schicht auf einer Presse aus einer Kerndrahtschmelze mit einem Durchmesser und einer Hüllenvorschrift erzeugt wird. Schweißstäbe und Drahtelektroden für das Schutzgasschweißen: Erzeugungslos, das aus einer Schmelze mit einem Durchmesser erzeugt wird.		
1) Bei Verwendung der Schweißzusätze für Sicherungsschweißungen sind nur die chemische Zusammensetzung und Heißrissbeständigkeit nachzuweisen. 2) Bei Schweißstäben und Draht jedoch maximal je 500 kg. 3) Jedoch maximal je 5000 kg.		

WERKSTOFFPRÜFBLATT		W 4.3.4
Erzeugnisform:	Schweißzusätze	
Anforderungsstufe:	AS-RE 3 außerhalb des RDB	
Werkstoffe:	Schweißzusätze aus Nickellegierungen mit den Norm-Kurzbezeichnungen: NiCr20Mn3Nb (NI 6082) (Werkstoff-Nr. 2.4648) NiCr20Mn3Nb (NI 6082) (Werkstoff-Nr. 2.4806) NiCr15Fe6Mn (NI 6182) (Werkstoff-Nr. 2.4620) NiCr15Ti3Mn (NI 7092) (Werkstoff-Nr. 2.4803)	
Anforderungen:	gemäß DIN EN ISO 14172 und DIN EN ISO 18274	
Prüfungen je Prüflös ¹⁾ an Prüfstücken nach Abschnitt 7.3.3.2		Bescheinigung nach DIN EN 10204
1. Chemische Zusammensetzung Eine Analyse je Prüflös	3.1	
2. Heißrissprüfung nach Abschnitt 7.3.5.4 (2) Eine Probe je Prüflös	3.1	
Als Prüflöse gelten: Stabelektroden: Erzeugungslos, das in einer Schicht auf einer Presse aus einer Kerndrahtschmelze mit einem Durchmesser und einer Hüllenvorschrift erzeugt wird. Schweißstäbe und Drahtelektroden für das Schutzgasschweißen: Erzeugungslos, das aus einer Schmelze mit einem Durchmesser erzeugt wird. Draht-Pulver-Kombination: Kombination von einem Durchmesser aus einer Drahtschmelze mit einer Pulverschmelze.		
1) Bei Schweißstäben und Drähten jedoch maximal je 500 kg.		

WERKSTOFFPRÜFBLATT		W 4.3.5
Erzeugnisform:	Schweißzusätze	
Anforderungsstufe:	AS-RE 3 außerhalb des RDB	
Werkstoffe:	Martensitische und ferritische Schweißzusätze mit den Norm-Kurzbezeichnungen 13, 13 4 und 17 sowie un- und niedriglegierte Schweißzusätze	
Anforderungen:	gemäß DIN EN ISO 3581, DIN EN ISO 14343 und DIN EN ISO 17633 sowie DIN EN ISO 2560	
Prüfungen je Prüflös ¹⁾ an Prüfstücken nach Abschnitt 7.3.3.2		Bescheinigung nach DIN EN 10204
Chemische Zusammensetzung Eine Analyse je Prüflös	3.1	
Als Prüflöse gelten: Stabelektroden: Erzeugungslos, das in einer Schicht auf einer Presse aus einer Kerndrahtschmelze mit einem Durchmesser und einer Hüllenvorschrift erzeugt wird. Schweißstäbe und Drahtelektroden für das Schutzgasschweißen: Erzeugungslos, das aus einer Schmelze mit einem Durchmesser erzeugt wird. Draht-Pulver-Kombination: Kombination von einem Durchmesser aus einer Drahtschmelze mit einer Pulverschmelze. Fülldraht: Erzeugnislos, das in einer Schicht an einer Produktionslinie mit gleichbleibender Kombination von Pulvermischung gleicher Rezeptur und Schmelze des Elektrodenmantels sowie seines Durchmessers erzeugt wird.		
1) Bei Schweißstäben und Drähten jedoch maximal je 1000 kg.		

WERKSTOFFPRÜFBLATT		W 4.3.6
Erzeugnisform:	Lote	
Anforderungsstufen:	AS-RE 1 und AS-RE 2 sowie AS-RE 3 innerhalb des RDB	
Werkstoffe:	Lote aus Nickellegierungen	
Anforderungen:	gemäß Abschnitt W 4.2.3	
	Prüfungen	Bescheinigung nach DIN EN 10204
Chemische Zusammensetzung Eine Analyse je Bestellmenge		3.1

WERKSTOFFPRÜFBLATT		W 4.3.7
Erzeugnisform:	Schweißzusätze für Hartauftragsschweißungen	
Anforderungsstufen:	AS-RE 1, AS-RE 2 und AS-RE 3	
Werkstoffe:	Nach Angaben des Bestellers	
Anforderungen:	gemäß Abschnitt W 4.2.4	
	Prüfungen	Bescheinigung nach DIN EN 10204
1. Chemische Zusammensetzung		
1.1 Schweißstäbe und Drähte Angabe der chemischen Analyse des Drahtes je Prüflos ¹⁾		3.1
1.2 Stabelektroden Angabe der chemischen Analyse des niedergeschmolzenen Schweißgutes je Prüflos ¹⁾		3.1
Als Prüflose gelten: Stabelektroden: Erzeugungslos, das in einer Schicht auf einer Presse aus einer Kerndrahtschmelze mit einem Durchmesser und einer Hüllenvorschrift erzeugt wird. Schweißstäbe und Drahtelektroden für das Schutzgasschweißen: Erzeugungslos, das aus einer Schmelze mit einem Durchmesser erzeugt wird.		
1) Jedoch maximal je 1000 kg.		

WERKSTOFFPRÜFBLATT		W 4.3.8
Erzeugnisform:	Pulver für thermisches Spritzen	
Anforderungsstufen:	AS-RE 1, AS-RE 2 und AS-RE 3	
Werkstoffe:	Nach Angaben des Bestellers	
Anforderungen:	gemäß Abschnitt W 4.2.4	
	Prüfungen	Bescheinigung nach DIN EN 10204
1. Chemische Zusammensetzung Angabe der chemischen Analyse je Bestellmenge ¹⁾		3.1
2. Siebanalyse Angabe der Körnung		3.1
1) Jedoch maximal je 500 kg.		

Werkstoffanhang W 5

Maschinenelemente

Inhalt:

- W 5.1 Geltungsbereich
- W 5.2 Anforderungen
- W 5.3 Werkstoffprüfblätter
- W 5.3.1 Mechanische Verbindungselemente nach DIN EN ISO 3506-1 und DIN EN ISO 3506-2 der Anforderungsstufen AS-RE 1 und AS-RE 2 sowie AS-RE 3 innerhalb RDB
- W 5.3.2 Mechanische Verbindungselemente aus Werkstoffen nach Werkstoffanhang W 1, W 2 und W 6 (nur Werkstoff Nr. 1.4980) der Anforderungsstufen AS-RE 1 und AS-RE 2 sowie AS-RE 3 innerhalb RDB
- W 5.3.3 Tellerfedern nach DIN EN 16983 der Anforderungsstufe AS-RE 2
- W 5.3.4 Schraubenfedern nach DIN EN 15800 der Anforderungsstufen AS-RE 1 und AS-RE 2 sowie AS-RE 3 innerhalb RDB
- W 5.3.5 Bolzen und Scheiben der Anforderungsstufen AS-RE 1 und AS-RE 2 sowie AS-RE 3 innerhalb RDB

W 5.1 Geltungsbereich

Dieser Werkstoffanhang legt Anforderungen an die Güteeigenschaften, an Art und Umfang der Prüfungen sowie die Art der Nachweise für Maschinenelemente fest.

W 5.2 Anforderungen

W 5.2.1 Maschinenelemente der Anforderungsstufe AS-RE 3 außerhalb RDB

Für Erzeugnisformen, mechanische Verbindungselemente, Federn, Dichtungen, Buchsen, Manschetten, Lager, Ringe, Schläuche, Armaturen und gleichartige Maschinenelemente aus Metall oder Kunststoff ist die Erstellung einer Werksbescheinigung nach DIN EN 10204 erforderlich mit der Bestätigung, dass die gelieferten Erzeugnisformen oder Maschinenelemente in ihren Werkstoffen und Güteeigenschaften den zugrunde gelegten Normen, Regelwerken oder Herstellerangaben genügen.

W 5.2.2 Maschinenelemente der Anforderungsstufen AS-RE 1 und AS-RE 2 sowie AS-RE 3 innerhalb RDB

(1) Für die Maschinenelemente sind die Werkstoffe gemäß den Werkstoffprüfblättern (WPB) nach den Abschnitten W 5.3.1.

bis W 5.3.5 zugelassen. Andere Werkstoffe sind zugelassen, wenn dies im Rahmen der Vorprüfung festgelegt wird.

(2) Die durchzuführenden Prüfungen, Prüfmengen und Nachweise der Güteeigenschaften für die Maschinenelemente sind den Werkstoffprüfblättern nach den Abschnitten W 5.3.1. bis W 5.3.5 zu entnehmen.

(3) Für Kleinteile (z. B. Unterlegscheiben, Sicherungsbleche, Stifte) aus austenitischen Werkstoffen nach DIN EN 10088-2 und DIN EN 10088-3 ist die Erstellung einer Werksbescheinigung nach DIN EN 10204 erforderlich mit der Bestätigung, dass die gelieferten Kleinteile in ihren Werkstoffen und Güteeigenschaften der zugrunde gelegten Norm genügen.

(4) Die mechanischen Eigenschaften für Verbindungselemente (Schrauben) mit einem Dehnschaft (Schaftdurchmesser d_0) gemäß Werkstoffprüfblatt 5.3.2 sind nach dem Prüfverfahren gemäß Abschnitt 9.5 DIN EN ISO 898-1 zu ermitteln. Es gelten die Festlegungen gemäß DIN EN 10088-3 Tabelle 8 (lösungsgeglüht) und Tabelle 25 (Zugfestigkeitsstufe +C 700). Für den Werkstoff Nr. 1.4550 gelten die gleichen Festlegungen wie für den Werkstoff Nr. 1.4571. Die Bestimmung erfolgt am Dehnschaft einer Schraube mit einer Messlänge $L_0 = 5 \cdot d_0$. Bei Proben mit abweichenden Messlängen $L_0 = x \cdot d_0$ darf die äquivalente Bruchdehnung A anhand der Auswertung der Zugversuchskurve (Maschinendiagramm) nach der Formel

$$A = A_{gx} + A_{einx} \cdot \frac{x}{5} \quad (W 5-1)$$

berechnet werden. Dabei ist vorausgesetzt ([8], [9]), dass der Gleichmaßdehnungsanteil A_{gx} unabhängig von der Probenlänge ist ($A_{gx} = A_{g5}$) und der Einschnürdehnungsanteil A_{einx} proportional zu

$$\frac{d_0}{L_0} = \frac{1}{x} \quad (W 5-2)$$

ist. Bei der Ermittlung der A_{gx} - und A_{einx} -Dehnungsanteile aus dem Maschinendiagramm ist zu beachten, dass die zugehörigen Probenverlängerungsanteile Δl_g und Δl_{ein} auf die Versuchslänge L_c der Probe zu beziehen sind, d.h. $x = L_c/d_0$ ist.

(5) Für die Zugfestigkeit bei erhöhter Temperatur gelten die in **Tabelle W 5-1** angegebenen Umrechnungsfaktoren für die 0,2 %-Dehngrenze.

(6) Für die Stichprobenanweisung gilt **Tabelle W 5-2**. Die Anwendung dieser Stichprobenanweisung ist in dem jeweiligen Werkstoffprüfblatt festgelegt.

Stahlsorte	+ 100 °C	+ 200 °C	+ 300 °C	+ 400 °C
gemäß Werkstoffprüfblätter 5.3.1 und 5.3.2	85 ¹⁾	80 ¹⁾	75 ¹⁾	70 ¹⁾

¹⁾ Diese Werte gelten nur für Verbindungselemente der Zugfestigkeitsstufe +C 700 nach DIN EN 10088-3 und der Festigkeitsklasse 70 nach DIN EN ISO 3506-1, für Verbindungselemente der Festigkeitsklasse 50 nach DIN EN ISO 3506-1 gelten die Werte nach Tabelle 23 DIN EN 10088-3.

Tabelle W 5-1: 0,2 %-Dehngrenze ($R_{p0,2}$) bei höheren Temperaturen in % der Werte bei Raumtemperatur

Losumfang N		Stichprobenumfang n		Annahmezahl A_c
über	Bis	AQL 1	AQL 4	
	15	2	1	0
15	60	6	2	0
60	150	13	3	0
150	1200	50	13	1
1200	3200	80	20	2
3200	10000	125	32	3

Tabelle W 5-2: Stichprobenanweisung

W 5.3 Werkstoffprüfblätter

WERKSTOFFPRÜFBLATT		W 5.3.1
Erzeugnisform:	Mechanische Verbindungselemente nach DIN EN ISO 3506-1 und DIN EN ISO 3506-2	
Anforderungsstufen:	AS-RE 1 und AS-RE 2 sowie AS-RE 3 innerhalb des RDB	
Werkstoffe:	Werkstoff-Nr. 1.4571 (A5), 1.4550 (A3), 1.4541 (A3) nach DIN EN ISO 3506-1 Festigkeitsklasse 50 oder 70, DIN EN ISO 3506-2 Festigkeitsklasse 50 oder 70, jeweils mit chemischer Zusammensetzung nach Werkstoffanhang W 1	
Anforderungen:	gemäß DIN EN ISO 3506-1, DIN EN ISO 3506-2 und Werkstoffanhang W 1, Abschnitt W 1.2.2.3	
Prüflos:	gemäß 1)	
Prüfungen		Bescheinigung nach DIN EN 10204
1. Prüfung der Werkstoffe Chemische Zusammensetzung Schmelzenanalyse gemäß Werkstoffanhang W 1	3.1	
2. Prüfung der fertigen Teile 2.1 Prüfung der Maße nach Bestellangaben und der Toleranzen nach DIN EN ISO 4759-1 Ausführung gemäß Produktklasse A nach DIN EN ISO 4759-1; Prüfungen gemäß DIN EN ISO 3269 Tabellen 1 bis 3 und Tabellen 6 bis 8. Es ist die Stichprobenanweisung nach Tabelle W 5-2 für AQL 1 anzuwenden, für sämtliche Merkmale außer „alle übrigen Merkmale“ gilt unabhängig vom Stichprobenumfang $A_c = 0$ je Prüflos. Es sind alle Merkmale (Maße) ²⁾ zu prüfen, die in der für die Produktgruppe zutreffenden Tabelle angegeben sind.	3.1	
2.2 Prüfung der mechanischen Eigenschaften: Zugversuch bei Raumtemperatur an Schrauben: Durchführung gemäß DIN EN ISO 3506-1 Abschnitt 7. Es ist die Stichprobenanweisung nach Tabelle W 5-2 für AQL 4 anzuwenden. Unabhängig vom Stichprobenumfang gilt $A_c = 0$ je Prüflos. Zu gewährleistende Werte gemäß DIN EN ISO 3506-1 Tabelle 2. Prüfkraftversuch an Müttern: Durchführung gemäß DIN EN ISO 3506-2 Abschnitt 7.2. Es ist die Stichprobenanweisung nach Tabelle W 5-2 für AQL 4 anzuwenden. Unabhängig vom Stichprobenumfang gilt $A_c = 0$ je Prüflos. Zu gewährleistende Werte gemäß DIN EN ISO 3506-2 Tabelle 2.	3.1	
2.3 Oberflächenprüfung nach Abschnitt 7.3.5.8.3 an Schrauben und Stiften Es ist die Stichprobenanweisung nach Tabelle W 5-2 für AQL 1 anzuwenden. Bewertung: Rissartige Anzeigen sind nicht zulässig. Formbedingte Anzeigen sind nicht zu bewerten. Werden bei der Prüfung Anzeigen festgestellt, die nicht konstruktions- oder fertigungsbedingt sind, ist der Prüfumfang auf 100 % zu erhöhen.	3.1	
2.4 Besichtigung nach Abschnitt 7.3.5.8.6 Besichtigung derjenigen Schrauben und Stifte, die nicht der Oberflächenprüfung gemäß lfd. Nr. 2.3 unterzogen wurden.	3.1	
2.5 Prüfung auf Freiheit von Fremdferrit nach Abschnitt 7.3.5.8.8 Es ist die Stichprobenanweisung nach Tabelle W 5-2 für AQL 1 anzuwenden. Unabhängig vom Stichprobenumfang gilt $A_c = 0$ je Prüflos.	3.1	
2.6 Verwechslungsprüfung Durch qualitativen Nachweis typischer Legierungselemente und Kontrolle der Kennzeichnung ³⁾ Prüfumfang: An 1 %, mindestens an 2 Stück je Prüflos	3.1	
1) Teile gleicher Art, Festigkeitsklasse, Ausführung und Schmelze. 2) Das in DIN EN ISO 3269 Tabelle 1 aufgeführte Merkmal „fehlerhafte Verbindungselemente“ ist unzulässig. 3) Für die Kennzeichnung gelten die Festlegungen von DIN EN ISO 3506-1 Abschnitt 4.2 und DIN EN ISO 3506-2 Abschnitt 4.2.		

WERKSTOFFPRÜFBLATT		W 5.3.2
Erzeugnisform:	Mechanische Verbindungselemente aus Werkstoff gemäß Werkstoffanhang W 1, W 2 und W 6 (nur Werkstoff-Nr. 1.4980)	
Anforderungsstufen:	AS-RE 1 und AS-RE 2 sowie AS-RE 3 innerhalb des RDB	
Werkstoffe:	gemäß Werkstoffanhang W 1, W 2 und W 6 (nur Werkstoff-Nr. 1.4980) Werkstoffe nach W 1 für Verbindungselemente < M 33 müssen zur Erreichung der Festigkeitswerte warmkalt- oder kaltverfestigt sein.	
Anforderungen:	Ausgangsmaterial gemäß Werkstoffanhang W 1 und Abschnitt W 5.2.2 (4), Werkstoffanhang W 2 und Werkstoffanhang W 6 (nur Werkstoff-Nr. 1.4980)	
Prüflos:	gemäß ¹⁾	
Prüfungen		Bescheinigung nach DIN EN 10204
1.	Prüfung der Werkstoffe (Ausgangsmaterial) Prüfungen und Bescheinigungen je Prüflos gemäß Werkstoffanhängen W 1, W 2 und W 6 (nur Werkstoff-Nr. 1.4980)	
1.1	Für Werkstoffe nach Werkstoffanhang W 1 für Schrauben und Muttern ≤ M 33 gelten folgende Festlegungen: Die chemische Zusammensetzung gemäß Abschnitt W 1.2.2.3 und die mechanischen Eigenschaften gemäß DIN EN 10088-3 (Zugfestigkeitsstufe +C 700) und Tabelle W 5-1 müssen sichergestellt sein. Die übrigen Werte nach Werkstoffanhang W 1 im Zugversuch bei Raumtemperatur und erhöhter Temperatur sowie im Kerbschlagbiegeversuch sind informativ zu bestimmen. Für die Bruchdehnung gelten die unter Abschnitt W 5.2.2 (2) genannten Anforderungen. Für Abmessungen > M 33 sind die in Werkstoffanhang W 1 angeführten mechanischen Eigenschaften sicherzustellen. Als Probenform und Probenabmessung sind Schrauben, für Stifte und Bolzen kurze Proportionalstäbe mit $L_0 = 5 \cdot d_0$ nach DIN 50125 (soweit geometrisch möglich, sonst in Anlehnung an die Norm) zu verwenden. Probenentnahme für Schrauben ≤ M 33 konzentrisch. Der Probendurchmesser d_0 wird in Abhängigkeit von den Bauteilabmessungen festgelegt.	
1.2	Bei Werkstoffen gemäß den Werkstoffanhängen W 2 und W 6 (Werkstoff-Nr. 1.4980) für Schrauben und Muttern müssen die mechanischen Eigenschaften gemäß den Werkstoffanhängen W 2 und W 6 sichergestellt sein.	
2.	Prüfung der fertigen Teile	
2.1	Zugversuch bei Raumtemperatur an Schrauben Durchführung gemäß DIN EN ISO 898-1 Abschnitt 9.5, 9.6 oder 9.7. Es ist die Stichprobenanweisung nach Tabelle W 5-2 für AQL 4 anzuwenden. Unabhängig vom Stichprobenumfang gilt $A_c = 0$ je Prüflos.	3.1
2.2	Prüfkraftversuch an Muttern Durchführung gemäß DIN EN ISO 3506-2 Abschnitt 9.1. Es ist die Stichprobenanweisung nach Tabelle W 5-2 für AQL 4 anzuwenden. Unabhängig vom Stichprobenumfang gilt $A_c = 0$ je Prüflos.	3.1
2.3	Prüfung der Maße nach Bestellangaben und der Toleranzen nach DIN EN ISO 4759-1 Ausführung gemäß Produktklasse A nach DIN EN ISO 4759-1; Prüfungen gemäß DIN EN ISO 3269 Tabellen 1 bis 3 und Tabellen 6 bis 8. Es ist die Stichprobenanweisung nach Tabelle W 5-2 für AQL 1 anzuwenden, für sämtliche Merkmale außer „alle übrigen Merkmale“ gilt unabhängig vom Stichprobenumfang $A_c = 0$. Es sind alle Merkmale (Maße) ²⁾ zu prüfen, die in der für die Produktgruppe zutreffenden Tabelle angegeben sind.	3.1
2.4	Oberflächenprüfung nach Abschnitt 7.3.5.8.3 an Schrauben und Stiften Es ist die Stichprobenanweisung nach Tabelle W 5-2 für AQL 1 anzuwenden. Bewertung: Rissartige Anzeigen sind nicht zulässig. Formbedingte Anzeigen sind nicht zu bewerten. Werden bei der Prüfung unzulässige Anzeigen festgestellt, ist der Prüfumfang auf 100 % zu erhöhen.	3.1
2.5	Besichtigung nach Abschnitt 7.3.5.8.6 Besichtigung derjenigen Schrauben und Stifte, die nicht der Oberflächenprüfung gemäß lfd. Nr. 2.4 unterzogen wurden.	3.1
2.6	Prüfung auf Freiheit von Fremdferrit nach Abschnitt 7.3.5.8.8 Es ist die Stichprobenanweisung nach Tabelle W 5-2 für AQL 1 anzuwenden. Unabhängig vom Stichprobenumfang gilt $A_c = 0$ je Prüflos.	3.1
2.7	Verwechslungsprüfung Durch qualitativen Nachweis typischer Legierungselemente und Kontrolle der Kennzeichnung ³⁾ . Prüfumfang: An 1 %, mindestens 2 Stück je Prüflos.	3.1
¹⁾ Teile gleicher Art, Festigkeitsklasse, Ausführung und Schmelze. Teile eines Prüfloses gleicher Art, Festigkeitsklasse, Ausführung und Schmelze, die sich z. B. nur durch Länge oder Ausführung mit und ohne Dehnschaft unterscheiden, dürfen als Stücke eines Loses betrachtet werden. ²⁾ Das in DIN EN ISO 3269 Tabelle 1 aufgeführte Merkmal „fehlerhafte Verbindungselemente“ ist unzulässig. ³⁾ Für die Kennzeichnung gelten die Festlegungen von DIN EN ISO 3506-1 Abschnitt 4.2 und DIN EN ISO 3506-2 Abschnitt 4.2.		

WERKSTOFFPRÜFBLATT		W 5.3.3												
Erzeugnisform:	Tellerfedern													
Anforderungsstufe:	AS-RE 2													
Werkstoffe:	gemäß Werkstoffanhang W 2													
Anforderungen:	gemäß Werkstoffanhang W 2, DIN EN 16983 oder Zeichnung													
Prüfungen		Bescheinigung nach DIN EN 10204												
1.	Prüfung der Werkstoffe (Ausgangsmaterial) Prüfungen und Bescheinigungen je Prüflos gemäß Werkstoffanhang W 2													
2.	Prüfung der fertigen Teile und der mitlaufenden Proben													
2.1	Bestätigung der Wärmebehandlung der mitlaufenden Proben und der fertigen Federn. Durchführung der Wärmebehandlung nach Werkstoffanhang W 2	3.1												
2.2	Zugversuch nach Abschnitt 7.3.5.2 bei Raumtemperatur und bei 350 °C an mitlaufend wärmebehandelten Proben. Je eine Probe je Schmelze, Abmessung und Wärmebehandlungslos. Es gelten die Mindestwerte für die mechanisch-technologischen Eigenschaften nach Werkstoffanhang W 2	3.1												
2.3	Maßkontrolle an 100 % der Federn nach DIN EN 16983 oder Zeichnung	3.1												
2.4	Besichtigung nach Abschnitt 7.3.5.8.6 an 100 % der Federn	3.1												
2.5	Oberflächenprüfung nach Abschnitt 7.3.5.8.3 Prüfumfang: 100 % der Federn Anzeigen sind nicht zulässig.	3.1												
2.6	Prüfung auf Freiheit von Fremdferrit nach Abschnitt 7.3.5.8.8 Prüfumfang: 100 % der Federn Anzeigen sind nicht zulässig.	3.1												
2.7	Härteprüfung nach DIN EN ISO 6508-1 Prüfumfang: Prüfung mit 3 Eindrücken an 1 %, mindestens an 2 fertigen Federn je Schmelze, Abmessung und Wärmebehandlungslos. Bei Liefermenge < 20 Stück: Prüfung an 1 Feder. Anforderung: HRC = 32 bis 42 (W.-Nr. 2.4669) HRC = 35 bis 50 (W.-Nr. 2.4668) Teile, die der Härteprüfung unterzogen wurden, dürfen nicht ausgeliefert werden.	3.1												
2.8	Dauerschwingversuch bei Raumtemperatur Prüfumfang: Prüfung an 2 fertigen Federn je Schmelze, Abmessung und Wärmebehandlungslos Bei Liefermenge < 20 Stück: Prüfung an 1 Feder Beanspruchungskriterien für den einzustellenden Hub:	3.1												
	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Tellerfedern gemäß DIN EN 16983</th> <th>σ_U (N/mm²)</th> <th>σ_O ¹⁾ (N/mm²)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Gruppe 1</td> <td>400</td> <td>1100</td> </tr> <tr> <td>Gruppe 2</td> <td>400</td> <td>1075</td> </tr> <tr> <td>Gruppe 3</td> <td>200</td> <td>810</td> </tr> </tbody> </table>	Tellerfedern gemäß DIN EN 16983	σ_U (N/mm ²)	σ_O ¹⁾ (N/mm ²)	Gruppe 1	400	1100	Gruppe 2	400	1075	Gruppe 3	200	810	
Tellerfedern gemäß DIN EN 16983	σ_U (N/mm ²)	σ_O ¹⁾ (N/mm ²)												
Gruppe 1	400	1100												
Gruppe 2	400	1075												
Gruppe 3	200	810												
	Lastwechselzahl: mindestens $2 \cdot 10^5$ Prüfung bis zum Bruch oder maximal $2 \cdot 10^6$ Lastwechsel Registrierung der erreichten Lastwechselzahl													
2.9	24stündige Belastungsprüfung bei Raumtemperatur und 70 %-iger Auslastung Prüfumfang: 10 % der Federn, mindestens jedoch 5 Stück, je Schmelze, Abmessung und Wärmebehandlungslos. Bleiben die Federn nach der Belastungsprüfung nicht innerhalb der zulässigen Abweichung nach DIN EN 16983 Tabelle 9, so ist der Prüfumfang auf 100 % zu erhöhen.	3.1												
2.10	Ermittlung der Federkennlinien und Maßprüfung der Federsäulen Die Tellerfedern sind gemäß Bestellangaben zu Federsäulen zusammenzustellen und vor Aufnahme der Federkennlinie bei Raumtemperatur mindestens bis zum Arbeitspunkt der Federsäule zu setzen.	3.1												
2.11	Verwechslungsprüfung An 1 %, mindestens an 2 fertigen Federn je Schmelze, Abmessung und Wärmebehandlungslos durch qualitativen Nachweis typischer Legierungselemente. Bei Liefermenge < 20 Stück Prüfung an 1 Feder	3.1												
1) Soweit es die Federcharakteristik zulässt (z. B. kein auf Block setzen der Feder).														

WERKSTOFFPRÜFBLATT		W 5.3.4
Erzeugnisform:	Schraubenfedern	
Anforderungsstufen:	AS-RE 1 und AS-RE 2 sowie AS-RE 3 innerhalb des RDB	
Werkstoffe:	gemäß Werkstoffanhang W 2	
Anforderungen:	Ausgangsmaterial gemäß Werkstoffanhang W 2, DIN EN 15800	
Prüfungen		Bescheinigung nach DIN EN 10204
1.	Prüfung der Werkstoffe (Ausgangsmaterial) Prüfungen und Bescheinigungen je Prüfling gemäß Werkstoffanhang W 2	
2.	Prüfung der fertigen Teile und der mitlaufenden Proben	
2.1	Bestätigung der Wärmebehandlung der mitlaufenden Proben und fertigen Federn. Durchführung der Wärmebehandlung nach Werkstoffanhang W 2	3.1
2.2	Zugversuch nach Abschnitt 7.3.5.2 bei Raumtemperatur und bei 350 °C an mitlaufend wärmebehandelten Proben. Eine Probe je Abmessung, Schmelze und Wärmebehandlungslos. Es gelten die Mindestwerte für die mechanisch-technologischen Eigenschaften nach Werkstoffanhang W 2	3.1
2.3	Maßkontrolle an 100 % der Federn nach DIN EN 15800	3.1
2.4	Besichtigung nach Abschnitt 7.3.5.8.6 an 100 % der Federn	3.1
2.5	Oberflächenprüfung nach Abschnitt 7.3.5.8.3 Prüfumfang: 10 % der Federn, mindestens 2 Stück. Anzeigen sind nicht zulässig.	3.1
2.6	Prüfung auf Freiheit von Fremdferrit nach Abschnitt 7.3.5.8.8 Prüfumfang: 100 % der Federn. Anzeigen sind nicht zulässig.	3.1
2.7	Härteprüfung nach DIN EN ISO 6508-1 Prüfumfang: Prüfung mit drei Eindrücken an 1 %, mindestens an zwei fertigen Federn je Schmelze, Abmessung und Wärmebehandlungslos. Bei Liefermengen weniger als 20 Stück: Prüfung einer Feder Anforderung: HRC = 32 bis 42 (W.-Nr. 2.4669) HRC = 35 bis 50 (W.-Nr. 2.4668)	3.1
2.8	Ermittlung der Federkennlinien und Maßprüfung an jeder Feder	3.1
2.9	Verwechslungsprüfung An 1 %, mindestens an zwei fertigen Federn je Schmelze, Abmessung und Wärmebehandlungslos durch qualitativen Nachweis typischer Legierungselemente. Bei Liefermengen weniger als 20 Stück: Prüfung einer Feder.	3.1

WERKSTOFFPRÜFBLATT		W 5.3.5
Erzeugnisform:	Bolzen und Scheiben	
Anforderungsstufen:	AS-RE 1 und AS-RE 2 sowie AS-RE 3 innerhalb des RDB	
Werkstoff:	Werkstoff-Nr. 1.4122	
Anforderungen:	Ausgangsmaterial gemäß Werkstoffanhang W 6	
Prüfungen		Bescheinigung nach DIN EN 10204
1.	Prüfung des Werkstoffs Prüfungen und Bescheinigungen je Prüflos gemäß Werkstoffanhang W 6 Lieferzustand: vergütet	
2.	Prüfungen der fertigen Teile und der mitlaufenden Prüfstücke ¹⁾	
2.1	Bestätigung des Wärmebehandlungszustandes Die vorgedrehten Teile und die mitlaufenden Prüfstücke sind einer Wärmebehandlung nach Bestellangabe zu unterziehen.	3.1
2.2	Härteprüfung nach DIN EN ISO 6508-1 oder DIN EN ISO 6506-1 (an vorgedrehten Teilen und mitlaufenden Prüfstücken) Prüfung einer Stirnfläche Prüfumfang: 5 Teile je Schmelze, Wärmebehandlungslos und Abmessung und die mitlaufenden Prüfstücke. Anforderung: ≥ 42 HRC (an der Oberfläche)	3.1
2.3	Zugversuch bei Raumtemperatur Durchführung gemäß Abschnitt 7.3.5.2 an mitlaufenden Prüfstücken. Eine Probe je mitlaufendem Prüfstück. Probenlage gemäß Werkstoffanhang W 6 Zu bestimmende Werte: $R_{p0,2}$; R_m ; A und Z	3.1
2.4	Oberflächenprüfung nach Abschnitt 7.3.5.8.3 der fertigen Teile Prüfumfang: 10 % der Teile, mindestens jedoch 5 Stück je Abmessung. Werden bei der Prüfung unzulässige Anzeigen festgestellt, ist der Prüfumfang auf 100 % zu erhöhen. Bewertung: Teile mit rissartigen Anzeigen sind nicht zulässig.	3.1
2.5	Besichtigung nach Abschnitt 7.3.5.8.6 Besichtigung derjenigen Schrauben und Stifte, die nicht der Oberflächenprüfung gemäß lfd. Nr. 2.4 unterzogen wurden.	3.1
2.6	Prüfung auf Freiheit von Fremdferrit nach Abschnitt 7.3.5.8.8 Prüfumfang: 100 % der Teile Anzeigen sind nicht zulässig	3.1
2.7	Maßkontrolle Kontrolle der Maße an den fertigen Teilen gemäß Bestellangaben Prüfumfang: 100 % der Teile	3.1
2.8	Verwechslungsprüfung An 1 %, mindestens an zwei fertigen Teilen je Schmelze, Abmessung und Wärmebehandlungslos durch qualitativen Nachweis typischer Legierungselemente. Bei Liefermengen weniger als 20 Stück: Prüfung an einem Teil	3.1
1) Ein mitlaufendes Prüfstück pro Schmelze, Wärmebehandlungslos und Abmessung.		

Werkstoffanhang W 6

Sonstige Werkstoffe

(Erzeugnisformen: Bleche, Bänder, Rohre, Stäbe, Schmiedestücke, Drähte)

Inhalt:

- W 6.1 Geltungsbereich
- W 6.2 Werkstoffe
- W 6.3 Werkstoffprüfblätter

W 6.1 Geltungsbereich

Dieser Werkstoffanhang legt Anforderungen an die Güteeigenschaften, Art und Umfang der Prüfungen sowie an die Art der Nachweise für die Güteeigenschaften fest, die nicht in den Werkstoffanhängen W 1 bis W 4 enthalten sind. Die Anforderungen gelten - wenn im Folgenden nicht anders festgelegt - für den jeweiligen Lieferzustand.

W 6.2 Werkstoffe

W 6.2.1 Werkstoffe für die Anforderungsstufe AS-RE 3 außerhalb des RDB

Zugelassen sind für Teile, die sich während des Reaktorbetriebes außerhalb des RDB befinden, die ferritischen und martensitischen Werkstoffe nach DIN EN 10025-2, DIN EN 10083-2, DIN EN 10084, DIN EN 10088-2 und DIN EN 10088-3, DIN EN 10272, alle austenitischen Werkstoffe nach DIN EN 10028-7, DIN EN 10088-2, DIN EN 10088-3, DIN EN 10216-5, DIN EN 10217-7, DIN EN 10222-5, DIN EN 10250-4, DIN EN 10272 sowie alle hochwarmfesten Stähle und Nickellegierungen nach DIN EN 10302, jeweils gemäß den Festlegungen der zutreffenden Normen oder Herstellerangaben.

W 6.2.2 Werkstoffe für die Anforderungsstufen AS-RE 1 und AS-RE 2 sowie AS-RE 3 innerhalb des RDB

(1) Zugelassen sind die Werkstoffe mit den Werkstoff-Nummern 1.4980 und 1.4122 gemäß den folgenden Festlegungen, sofern diese Werkstoffe an Konstruktionsstellen und in den Erzeugnisformen eingesetzt werden, über die bisher hinreichende Erfahrungen unter Einsatzbedingungen vorliegen. Sofern diese Werkstoffe an anderen Stellen eingesetzt werden, ist dieser Einsatz von Fall zu Fall zu überprüfen.

(2) Anforderungen an die Hersteller von Erzeugnisformen sind in Abschnitt 7.2.1 geregelt.

(3) Die durchzuführenden Prüfungen, Prüfumfänge und Nachweise der Güteeigenschaften sind den Werkstoffprüfblättern (WPB) nach den Abschnitten W 6.3.1. und W 6.3.2 zu entnehmen.

W 6.2.2.1 Werkstoff-Nr. 1.4980

(1) Erschmelzung

Das Erschmelzungsverfahren bleibt dem Lieferer überlassen, sofern es bei der Bestellung nicht vereinbart wurde. Es ist jedoch dem Besteller auf Wunsch bekannt zu geben.

(2) Chemische Zusammensetzung

Für den Werkstoff gilt die in **Tabelle W 6-1** wiedergegebene chemische Zusammensetzung.

(3) Wärmebehandlung

Der Werkstoff ist den in **Tabelle W 6-2** aufgeführten Wärmebehandlungen zu unterziehen.

(4) Mechanisch-technologische Eigenschaften

Die mechanisch-technologischen Eigenschaften müssen den Anforderungen der **Tabellen W 6-3** und **W 6-4** genügen.

(5) Anhaltsangaben über physikalische Eigenschaften

Für die Anhaltsangaben der physikalischen Eigenschaften gilt **Tabelle W 6-5**.

(6) Zerstörungsfreie Prüfungen und Güteanforderungen

a) Geschmiedete und gewalzte Stäbe (Durchmesser größer als 30 mm)

Für die Ultraschallprüfung von geschmiedeten und gewalzten Stäben größer als 30 mm Durchmesser gilt **Tabelle W 6-6**.

b) Schmiedestücke

Für die Ultraschallprüfung an Schmiedestücken gilt **Tabelle W 6-7**.

(7) Probenentnahme und Probenlage

Für die Probenentnahmeorte und Probenlage gilt DIN EN 10302.

W 6.2.2.2 Werkstoff-Nr. 1.4122

(1) Erschmelzung

Das Erschmelzungsverfahren bleibt dem Lieferer überlassen, sofern es bei der Bestellung nicht vereinbart wurde. Es ist jedoch dem Besteller auf Wunsch bekanntzugeben.

(2) Chemische Zusammensetzung

Für den Werkstoff gilt die in DIN EN 10088-3 Tabellen 5 und 6 wiedergegebene chemische Zusammensetzung.

(3) Wärmebehandlung

Der Werkstoff ist einer Wärmebehandlung nach DIN EN 10088-3 Tabelle A.4 zu unterziehen.

(4) Mechanisch-technologische Eigenschaften

Die mechanisch-technologischen Eigenschaften müssen den Anforderungen nach DIN EN 10088-3 Tabellen 11 und 16 genügen.

(5) Anhaltsangaben über physikalische Eigenschaften

Für die Anhaltsangaben der physikalischen Eigenschaften gilt DIN EN 10088-1 Anhang E.

(6) Zerstörungsfreie Prüfungen und Güteanforderungen

Für die Ultraschallprüfung von geschmiedeten und gewalzten Stäben über 30 mm Durchmesser gilt **Tabelle W 6-6**.

(7) Probenentnahme und Probenlage

Für die Probenentnahmeorte und Probenlage gilt DIN EN 10088-3.

Element	Massenanteile in %
C	≥ 0,030 bis ≤ 0,080
Ni	≥ 24,0 bis ≤ 27,0
Cr	≥ 13,5 bis ≤ 16,0
Si	≤ 1,00
Mo	≥ 1,00 bis ≤ 1,50
Mn	≥ 1,00 bis ≤ 2,00
Ti	≥ 1,90 bis ≤ 2,30
V	≥ 0,10 bis ≤ 0,50
Al	≤ 0,35
B	≥ 0,0030 bis ≤ 0,0100
P	≤ 0,025
S	≤ 0,015
Co	≤ 0,20
Cu	≤ 0,50
Fe	Rest

Tabelle W 6-1: Chemische Zusammensetzung (Werkstoff-Nr. 1.4980)

Werkstoff-Nr.	Erzeugnisform	Wärmebehandlung	
		Lösungsglühung	Aushärtung
1.4980	Stab, Schmiedestück	980 °C ± 10 K, 0,5 bis 1 h/Öl oder Wasser	720 °C ± 10 K, 16 h/Luft

Tabelle W 6-2: Wärmebehandlungen

Werkstoff-Nr.	Erzeugnisform	Abmessung Dicke/ Durchmesser in mm	Probenlage	R _{p0,2} N/mm ²	R _m N/mm ²	A %	Z %	KV ₂ J
1.4980	Stab	≤ 100	längs	≥ 600	≥ 900 und ≤ 1150	≥ 18	2)	≥ 40
		> 100 bis ≤ 160	quer	≥ 600	≥ 900 und ≤ 1150	≥ 15	2)	2)
	Schmiedestück	≤ 250 ¹⁾	quer/tangential	≥ 590	≥ 880	≥ 15	2)	2)
1) Wärmebehandlungsdicke 2) zu bestimmen								

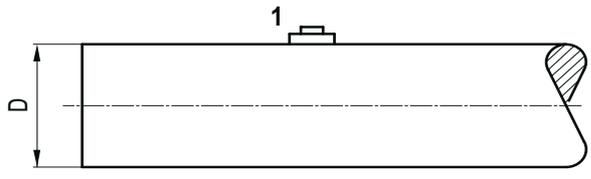
Tabelle W 6-3: Anforderungen an die mechanisch-technologischen Eigenschaften bei Raumtemperatur

Werkstoff-Nr.	Erzeugnisform	Abmessung Dicke/ Durchmesser in mm	Probenlage	R _{p0,2} N/mm ²	R _m N/mm ²	A %	Z %
1.4980	Stab	≤ 100	längs	≥ 520	≥ 590	zu bestimmen	
		> 100 bis ≤ 160	quer	≥ 520	≥ 590		
	Schmiedestück	≤ 250 ¹⁾	quer/tangential	≥ 520	≥ 590		
1) Wärmebehandlungsdicke							

Tabelle W 6-4: Anforderungen an mechanisch-technologische Eigenschaften bei 350 °C

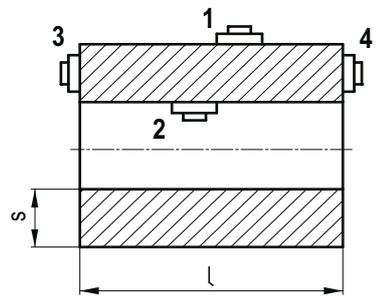
Physikalische Eigenschaft	Einheit	Temperatur T in °C	Werkstoff-Nr. 1.4980
Dichte	g/cm ³	Raumtemperatur	7,95
E-Modul	10 ³ N/mm ²	Raumtemperatur	211
		100	206
		200	200
		300	192
		400	182
mittlere Wärmeleitfähigkeit	W/(m·K)	Raumtemperatur	13,0
		100	14,5
		200	16,0
		300	18,0
		400	20,0
mittlerer linearer Wärmeausdehnungskoeffizient zwischen 20 °C und T	10 ⁻⁶ /K	100	17,0
		200	17,5
		300	17,8
		400	18,0

Tabelle W 6-5: Anhaltswerte der physikalischen Eigenschaften



Prüfkopf	Einschallrichtung	Bedingungen	
SE oder N	1		
N : Einzelschwinger-Senkrechtprüfkopf SE : Sender-Empfänger-Senkrechtprüfkopf			
Registrierschwellen			
Einschallrichtung	Durchmesser D im Prüfzustand in mm	Bezugslinien-Methode Auf die Echohöhe einer Zylinderbohrung d = 4 mm bezogene Echohöhe	AVG-Methode KSR in mm
1	≤ 60	50 % (-6 dB)	3
	> 60	100 %	4
Zulässigkeitskriterien			
Einschallrichtung	Echohöhen	Länge registrierpflichtiger Anzeigen	Häufigkeit registrierpflichtiger Anzeigen
1	Es sind Echoanzeigen bis 12 dB über den Registrierschwellen zulässig	1 · D	D ≤ 60: ≤ 3/m
			D > 60: ≤ 5/m

Tabelle W 6-6: Einschallrichtungen, Registrierschwellen und Zulässigkeitskriterien bei geschmiedeten und gewalzten Stäben



Schallweg ohne Seitenwandeneinfluss für die Einschallrichtungen 3 und 4:

$$s = \frac{s \cdot D_{\text{eff}}}{2 \cdot \lambda}$$

λ : Wellenlänge in mm
 D_{eff} : effektive Schwingerabmessung
 s : Wanddicke

Prüfkopf	Einschallrichtung	Bedingungen	
SE	1 oder 2 und 3 oder 4	s < als Prüfbereich des Prüfkopfes	
N und SE	1 oder 2 und 3 oder 4	SE-Prüfkopf für oberflächennahe Bereiche	
N	1, 2, 3, 4	Die auswertbaren Bereiche müssen sich überdecken	
N : Einzelschwinger-Senkrechtprüfkopf SE : Sender-Empfänger-Senkrechtprüfkopf			
Registrierschwellen			
Einschallrichtungen	Wanddicke s im Prüfzustand in mm	Bezugslinien-Methode Auf die Echohöhe einer Zylinderbohrung d = 4 mm bezogene Echohöhe	AVG-Methode KSR in mm
1 bis 4	≤ 60	50 % (-6 dB)	4
	> 60	100 %	6
Zulässigkeitskriterien			
Einschallrichtung	Echohöhen	Länge registrierpflichtiger Anzeigen	Häufigkeit registrierpflichtiger Anzeigen
1 bis 4	Es sind Echoanzeigen bis 12 dB über den Registrierschwellen zulässig	max. 50 mm, jedoch ≤ s	örtliche Anzeigen: ≤ 5/m Gesamtanzeigen: ≤ 3/m
1) Reflektorausdehnungen größer als 10 mm aus Einschallrichtung 3 und 4 sind unzulässig.			

Tabelle W 6-7: Einschallrichtung, Registrierschwellen und Zulässigkeitskriterien bei Schmiedestücken

W 6.3 Werkstoffprüfblätter

WERKSTOFFPRÜFBLATT		W 6.3.1
Erzeugnisform:	Stäbe und Schmiedestücke	
Anforderungsstufen:	AS-RE 1 und AS-RE 2 sowie AS-RE 3 innerhalb des RDB	
Werkstoff:	Werkstoff-Nr. 1.4980, Durchmesser \leq 250 mm (Wärmebehandlungsdicke)	
Anforderungen:	gemäß Abschnitt W 6.2.2.1	
Prüfungen		Bescheinigung nach DIN EN 10204
1.	Chemische Zusammensetzung Schmelzenanalyse	3.1
2.	Erschmelzungsart und Wärmebehandlungszustand Angabe der Erschmelzungsart und Bestätigung der Wärmebehandlung	3.1
3.	Zugversuch nach Abschnitt 7.3.5.2 bei Raumtemperatur a) bei Durchmesser \leq 100 mm 2 Längsproben je Abmessung, Schmelze, Wärmebehandlungslos und 500 kg b) bei Durchmesser $>$ 100 mm 1 Querprobe je Stück	3.2
4.	Zugversuch nach Abschnitt 7.3.5.2 bei 350 °C 1 Probe je Zugversuch (Raumtemperatur)	3.2
5.	Kerbschlagbiegeversuch nach Abschnitt 7.3.5.3 bei Raumtemperatur 1 Satz Proben je Zugversuch (Raumtemperatur) ab Durchmesser $>$ 15 mm a) bei Durchmesser \leq 100 mm längs b) bei Durchmesser $>$ 100 mm quer	3.2
6.	Gefügeausbildung und Korngrößenbestimmung nach Abschnitt 7.3.5.6 1 Probe je Abmessung, Schmelze und Wärmebehandlungslos	3.1
7.	Ultraschallprüfung nach Abschnitt 7.3.5.8.4 Ab Durchmesser $>$ 30 mm je Stück.	3.2
8.	Oberflächenprüfung 100 %-ige Besichtigung nach Abschnitt 7.3.5.8.6 und zusätzlich 100 %-ige Sichtprüfung nach Abschnitt 7.3.5.8.7 je Stück	3.2
9.	Maßkontrolle nach Bestellangaben je Stück	3.2
10.	Verwechslungsprüfung je Stück durch qualitativen Nachweis typischer Legierungselemente	3.1

WERKSTOFFPRÜFBLATT		W 6.3.2
Erzeugnisform:	Stäbe	
Anforderungsstufen:	AS-RE 1 und AS-RE 2	
Werkstoff:	Werkstoff-Nr. 1.4122, Durchmesser \leq 160 mm (Wärmebehandlungsdicke)	
Anforderungen:	gemäß DIN EN 10088-3	
Prüfungen		Bescheinigung nach DIN EN 10204
1.	Chemische Zusammensetzung Schmelzenanalyse	3.1
2.	Erschmelzungsart und Wärmebehandlung Angabe der Erschmelzungsart und Bestätigung der Wärmebehandlung	3.1
3.	Zugversuch nach Abschnitt 7.3.5.2 bei Raumtemperatur 1 Probe je Abmessung, Schmelze und Wärmebehandlungslos	3.1
4.	Kerbschlagbiegeversuch nach Abschnitt 7.3.5.3 bei Raumtemperatur 1 Satz Proben (längs) je Zugversuch (Raumtemperatur) ab Durchmesser $>$ 15 mm	3.1
5.	Gefügeausbildung und Korngrößenbestimmung nach Abschnitt 7.3.5.6 1 Probe je Abmessung, Schmelze und Wärmebehandlungslos	3.1
6.	Ultraschallprüfung nach Abschnitt 7.3.5.8.4 ab Durchmesser $>$ 30 mm je Stab	3.1
7.	Besichtigung nach Abschnitt 7.3.5.8.6 und Sichtprüfung nach Abschnitt 7.3.5.8.7 100%ige Besichtigung und 100%ige Sichtprüfung je Stab	3.1
8.	Maßkontrolle nach Bestellangaben je Stab	3.1
9.	Verwechslungsprüfung je Stab durch qualitativen Nachweis typischer Legierungselemente.	3.1

Anhang A

Stabilitätsanalyse

A 1 Stabilitätsanalyse für die Beanspruchungsstufen A und B

A 1.1 Nachweis nach allgemeinen Normen und Regeln

Es dürfen angewendet werden:

- a) AD 2000-Merkblätter:
B 0, B 1, B 3, B 6,
- b) DIN EN 13480-3 (Abschnitt 9),
- c) DIN EN 13445-3 (Abschnitt 8).

A 1.2 Nachweis mittels äquivalenter Methoden für Schalen unter äußerer Druckdifferenzbelastung

A 1.2.1 Allgemeingültige Festlegungen

(1) In diesem Abschnitt sind Regeln für die Ermittlung der Spannungen unter äußerer Druckdifferenzbelastung in Kugelschalen, Zylinderschalen mit und ohne Versteifungsringen sowie rohrförmigen Bauteilen angegeben. Kurven für die Bestimmung der Spannungen in Schalen, Halbkugelböden und rohrförmigen Bauteilen (siehe Abschnitt A 1.2.7).

(2) Dort wo dynamische Druckdifferenzen auftreten, gelten die Grenzen dieses Abschnitts oder es wird die zulässige nach innen wirkende Druckdifferenzbelastung auf 25 % des dynamischen Beuldrucks begrenzt.

A 1.2.2 Bezeichnungen

Formelzeichen	Berechnungsgröße	Einheit
A	Faktor, bestimmt aus Bild A-1 als Eingangsgröße für die entsprechende Materialkurve. Im Falle von Zylinderschalen mit D_o/s -Werten kleiner als 10 siehe Abschnitt A 1.2.3.2. Außerdem bezeichnet A jenen Faktor, der aus der anzuwendenden Kurve nach Abschnitt A 1.2.7 für das Material des Aussteifungsringes mit dem Faktor B als Eingangsgröße für die betrachtete Schale bei Temperatur ermittelt wird.	—
A_s	Querschnittsfläche eines Aussteifungsringes	mm ²
B	Faktor, ermittelt aus der anzuwendenden Kurve in Abschnitt A 1.2.7 für das in einer Schale oder einem Aussteifungsring verwendete Material bei Temperatur	N/mm ²
D_o	Außendurchmesser des betrachteten zylindrischen Schalenteils oder Rohres	mm
E	Elastizitätsmodul des Werkstoffes bei Temperatur. Es ist die entsprechende Werkstoff- oder Temperaturlinie des Abschnitts A 1.2.7 zu verwenden.	N/mm ²

Formelzeichen	Berechnungsgröße	Einheit
I	Vorhandenes Trägheitsmoment des kombinierten Ring-Schalenquerschnitts um die neutrale Achse parallel zur Schalenachse. Die mittragende Breite der Schale darf nicht größer sein als $1,1 \cdot \sqrt{D_o/s}$ und liegt beidseits je zur Hälfte der Mittelachse des Aussteifungsringes. Die mittragende Schalenfläche darf jeweils nur einem Aussteifungsring zugeordnet werden.	mm ⁴
I_s	Erforderliches Trägheitsmoment des kombinierten Ring-Schalenquerschnitts um seine neutrale Achse parallel zur Schalenachse	mm ⁴
L	Gesamte Länge eines Rohrstücks oder die rechnerische Länge eines Zylinders als größte der folgenden Längen; alle gemessen parallel zur Zylinderachse: <ol style="list-style-type: none"> a) Abstand zwischen den Tangentiallinien (Übergang zylindrischer Teil - gekrümmter Boden) von 2 Böden plus ein Drittel der Höhe jedes Bodens, wenn keine Aussteifungsringe vorhanden sind. b) Der größte Abstand der Mittellinien zweier benachbarter Aussteifungsringe. c) Abstand der Mittellinie des ersten Aussteifungsringes zur Tangentiallinie des benachbarten Bodens plus ein Drittel der Bodenhöhe. 	mm
L_s	Halber Abstand von der Mittellinie des Aussteifungsringes zur nächsten Auflagerlinie auf der einen Seite plus halber Abstand der Mittellinie zur nächsten Auflagerlinie auf der anderen Seite; beide gemessen parallel zur Komponentenachse. Eine Auflagerlinie kann sein: <ol style="list-style-type: none"> a) Ein Aussteifungsring, der den Erfordernissen dieses Abschnitts entspricht. b) Eine Umfangslinie in einem Boden, ein Drittel der Bodenhöhe von der Tangentiallinie des Bodens entfernt. 	mm
P	Nach innen wirkende Druckdifferenzbelastung	N/mm ²
P_a	Zulässige nach innen wirkende Druckdifferenzbelastung	N/mm ²

Formelzeichen	Berechnungsgröße	Einheit
R	Innenradius der Kugelschale	mm
S	Der kleinere Wert von $1,5 \cdot S_m$ oder $0,9 \cdot R_{p0,2T}$, wobei sich S_m gemäß Abschnitt 6.2.4.2.2.3 und $R_{p0,2T}$ gemäß Abschnitt 7 ergibt	N/mm ²
s	Minimal erforderliche Dicke einer Zylinderschale, eines Rohres oder einer Kugelschale	mm
s _n	Nennstärke einer Schale ohne Korrosionszuschlag	mm

A 1.2.3 Zylinderschalen und rohrförmige Bauteile

A 1.2.3.1 Durchmesser-Dickenverhältnis gleich oder größer als 10

Die minimale Dicke einer Zylinderschale oder eines rohrförmigen Bauteils unter nach innen wirkender Druckdifferenzbelastung bei einem Durchmesser-Dickenverhältnis D_o/s gleich oder größer als 10 wird nach a) bis h) wie folgt bestimmt:

- Annahme eines Wertes für s. Bestimmung der Quotienten L/D_o und D_o/s .
- Eingang in **Bild A-1** mit dem in a) bestimmten Wert L/D_o . Für Werte von L/D_o größer als 50 Eingang in die Kurve mit dem Wert 50. Für Werte L/D_o kleiner als 0,05 Eingang in die Kurve mit dem Wert 0,05.
- Eingang in das Diagramm horizontal bis zur Linie für den unter a) bestimmten Wert D_o/s . Zwischenwerte von D_o/s können interpoliert werden. Bestimmung des Faktors A durch vertikales Absenken auf die Skala für Faktor A.
- Eingang in die anzuwendende Werkstoffkurve nach Abschnitt A 1.2.7 für die betrachtete Werkstoff-Temperaturtafel mit dem unter c) ermittelten Faktor A. Vertikaler Eingang ins Diagramm bis zum Schnittpunkt mit der Werkstoff-Temperaturlinie bei Temperatur. Zwischenwerte der Temperaturen können interpoliert werden. In Fällen, wo der Wert des Faktors A rechts außerhalb des Endes der Werkstoff-Temperaturlinie fällt, wird ein Schnittpunkt mit der horizontalen Projektion des oberen Endes der Werkstoff-Temperaturlinie angenommen. Für Werte des Faktors A, welche links außerhalb der Werkstoff-Temperaturkurve fallen, siehe g).
- Ablesen des Wertes für den Faktor B durch Horizontalprojektion des in d) erhaltenen Schnittpunktes nach rechts.
- Ermittlung der maximal zulässigen Druckdifferenz P_a unter Verwendung des Faktors B nach der Formel

$$P_a = \frac{4 \cdot B}{3 \cdot (D_o / s)} \quad (\text{A 1-1})$$

- Für Werte des Faktors A, welche links außerhalb der Werkstoff-Temperaturkurve liegen, kann P_a aus folgender Formel berechnet werden:

$$P_a = \frac{2 \cdot A \cdot E}{3 \cdot (D_o / s)} \quad (\text{A 1-2})$$

- Vergleich von P_a mit P. Wenn P_a kleiner ist als P, erfolgt die Wahl eines größeren Wertes für s und Wiederholung der Berechnung, bis ein Wert P_a gleich oder größer als P erreicht wird.

A 1.2.3.2 Durchmesser-Dickenverhältnis kleiner als 10

Die minimale Dicke einer Zylinderschale oder eines rohrförmigen Bauteils unter äußerer Belastung bei einem Durchmesser-Dickenverhältnis D_o/s kleiner als 10 wird nach a) bis d) wie folgt bestimmt:

- Ermittlung des Wertes für den Faktor B wie unter A 1.2.3.1. Für Werte von D_o/s kleiner als 4 kann der Faktor A nach folgender Formel bestimmt werden:

$$A = \frac{11}{(D_o / s)^2} \quad (\text{A 1-3})$$

Für Werte des Faktors A größer als 0,10 wird der Wert 0,10 verwendet.

- Der Wert P_{a1} wird unter Verwendung des in a) ermittelten Wertes des Faktors B nach folgender Formel ermittelt:

$$P_{a1} = \left(\frac{2,167}{D_o / s} - 0,0833 \right) \cdot B \quad (\text{A 1-4})$$

- Ermittlung des Faktors P_{a2} aus der Formel

$$P_{a2} = \frac{2 \cdot S}{D_o / s} \cdot \left(1 - \frac{1}{D_o / s} \right) \quad (\text{A 1-5})$$

- Der kleinere der Werte P_{a1} aus b) oder P_{a2} aus c) ist die maximal zulässige Druckdifferenz P_a . Vergleich von P_a mit P. Wenn P_a kleiner ist als P, erfolgt die Wahl eines größeren Wertes für s und Wiederholung der Berechnung, bis ein Wert P_a gleich oder größer als P erreicht wird.

A 1.2.4 Kugelschalen

Die minimal erforderliche Wandstärke einer Kugelschale unter nach innen wirkender Druckdifferenzbelastung wird nach a) bis f) wie folgt bestimmt:

- Annahme eines Wertes für s und Bestimmung des Faktors A nach der Formel

$$A = \frac{0,125}{(R / s)} \quad (\text{A 1-6})$$

- Eingang in die anzuwendende Werkstoffkurve des Abschnitts A 1.2.7 für den betrachteten Werkstoff mit dem unter a) ermittelten Faktor A. Vertikalprojektion zum Schnittpunkt mit der Werkstoff-Temperaturlinie bei Temperatur. Zwischenwerte der Temperatur können interpoliert werden. In Fällen wo der Wert des Faktors A rechts außerhalb des Endes der Werkstoff-Temperaturlinie fällt, wird ein Schnittpunkt mit der horizontalen Projektion des oberen Endes der Werkstoff-Temperaturkurve angenommen. Für Werte des Faktors A, welche links außerhalb der Werkstoff-Temperaturkurve fallen (siehe e)).

- Ablesen des Wertes für den Faktor B durch Horizontalprojektion des in b) erhaltenen Schnittpunktes nach rechts.

- Ermittlung der maximal zulässigen Druckdifferenz P_a unter Verwendung des Faktors B nach der Formel

$$P_a = \frac{B}{(R / s)^2} \quad (\text{A 1-7})$$

- Für Werte des Faktors A, welche links außerhalb der anzuwendenden Werkstoff-Temperaturkurve bei Temperatur fallen, kann P_a aus folgender Formel errechnet werden:

$$P_a = \frac{0,0625 \cdot E}{(R / s)^2} \quad (\text{A 1-8})$$

- Vergleich von P_a aus d) oder e) mit P. Wenn P_a kleiner ist als P, erfolgt die Wahl eines größeren Wertes für s und Wiederholung der Berechnung, bis ein Wert P_a gleich oder größer als P erreicht wird.

A 1.2.5 Aussteifungsringe für Zylinderschalen

(1) Das erforderliche Trägheitsmoment des kombinierten Ring-Schalenquerschnitts errechnet sich aus der Formel:

$$I_s = \frac{D_o^2 \cdot L_s \cdot (s + A_s / L_s) \cdot A}{10,9} \quad (\text{A 1-9})$$

(2) Das vorhandene Trägheitsmoment I eines Aussteifungsringes wird nach a) bis f) wie folgt bestimmt:

a) Wahl eines Querschnitts für den Aussteifungsring und Bestimmung von A_s und I nach Abschnitt A 1.2.2 unter der Annahme, dass die Schale ausgelegt wurde und D_o , L_s und s_n bekannt sind. Ermittlung des Faktors B nach der Formel:

$$B = \frac{3}{4} \cdot \left(\frac{P \cdot D_o}{s_n + A_s / L_s} \right) \quad (\text{A 1-10})$$

b) Eingang auf der rechten Seite der anzuwendenden Werkstoffkurve in Abschnitt A 1.2.7 für den betrachteten Werkstoff mit dem nach a) ermittelten Wert für den Faktor B. Wenn für Schale und Aussteifungsring verschiedene Werkstoffe verwendet werden, wird jene Werkstoffkurve verwendet, welche den größeren Wert des Faktors A nach d) und e) liefert.

c) Horizontalprojektion nach links auf die Werkstoff-Temperaturlinie bei Temperatur. Für Werte des Faktors B, welche unterhalb des linken Endes der Werkstoff-Temperaturlinie fallen (siehe e)).

d) Ablesen des Wertes für den Faktor A durch Vertikalprojektion von der Kurve aus.

e) Für Werte des Faktors B, welche unterhalb des linken Endes der Werkstoff-Temperaturlinie fallen, kann der Faktor A nach der folgenden Formel ermittelt werden:

$$A = 2 \cdot \frac{B}{E} \quad (\text{A 1-11})$$

f) Wenn das erforderliche Trägheitsmoment I_s größer ist als das errechnete Trägheitsmoment I für den kombinierten in a) gewählten Ring-Schalenquerschnitt, muss ein neuer Querschnitt mit einem größeren Trägheitsmoment gewählt und I_s neu berechnet werden. Wenn das erforderliche Trägheitsmoment I_s kleiner ist als das errechnete Trägheitsmoment I des unter a) gewählten Aussteifungsquerschnitts, ist dieser ausreichend.

(3) Aussteifungsringe können entweder innen oder außen angebracht werden und sind durchgehend anzuschweißen.

A 1.2.6 Zylinder unter axialer Druckbelastung

(1) Die maximal zulässige Druckspannung beim Stabilitätsnachweis von Zylinderschalen und rohrförmigen Bauteilen unter axialer Druckbelastung ist der kleinere der nach a) oder b) zu bestimmenden Werte:

a) Der S_m -Wert ergibt sich für den verwendeten Werkstoff bei Temperatur gemäß Abschnitt 6.2.4.2.2.3.

b) Der Wert des Faktors B wird ermittelt nach der entsprechenden Kurve des Abschnitts A 1.2.7 unter Verwendung folgender Definitionen für die Bezeichnungen in den Diagrammen:

s : minimal erforderliche Wandstärke der Schale oder des rohrförmigen Bauteils ohne Korrosionszuschlag.

R : Innenradius der Zylinderschale oder des rohrförmigen Bauteils.

(2) Der Wert des Faktors B wird nach der entsprechenden Kurve des Abschnitts A 1.2.7 nach a) bis e) wie folgt bestimmt:

a) Ermittlung des Wertes für den Faktor A unter Verwendung der gewählten Werte für s und R nach der folgenden Formel:

$$A = \frac{0,125}{(R/s)} \quad (\text{A 1-12})$$

b) Eingang in die anzuwendende Werkstoffkurve des Abschnitts A 1.2.7 für den betrachteten Werkstoff mit dem unter a) ermittelten Wert für den Faktor A. Vertikalprojektion zum Schnittpunkt mit der Werkstoff-Temperaturlinie für die Temperatur. Zwischenwerte der Temperatur können interpoliert werden. In Fällen, wo der Wert des Faktors A rechts außerhalb des Endes der Werkstoff-Temperaturlinie fällt, wird ein Schnittpunkt mit der horizontalen Projektion des oberen Endes der Werkstoff-Temperaturlinie angenommen. Für Werte des Faktors A, welche links außerhalb der Werkstoff-Temperaturlinie fallen, siehe d).

c) Ablesen des Wertes für den Faktor B durch Horizontalprojektion vom in b) ermittelten Schnittpunkt nach rechts.

d) Für Werte des Faktors A, welche links außerhalb der anzuwendenden Werkstoff-Temperaturkurve fallen, wird der Wert des Faktors B nach folgender Formel ermittelt:

$$B = \frac{A \cdot E}{2} \quad (\text{A 1-13})$$

e) Vergleich des nach c) oder d) ermittelten Wertes für den Faktor B mit der errechneten axialen Druckspannung in der Zylinderschale oder dem rohrförmigen Bauteil unter Zugrundelegung der gewählten Werte für R und s .

Wenn der Wert des Faktors B kleiner ist als die ermittelte Druckspannung, muss ein größerer Wert für s gewählt werden und die Berechnung muss wiederholt werden, bis ein Wert des Faktors B größer als die ermittelte Druckspannung ist.

A 1.2.7 Kurven für die Spannungsermittlung

Die Kurven für die Ermittlung der Spannungen sind in den **Bildern A-1 bis A-4** wiedergegeben.

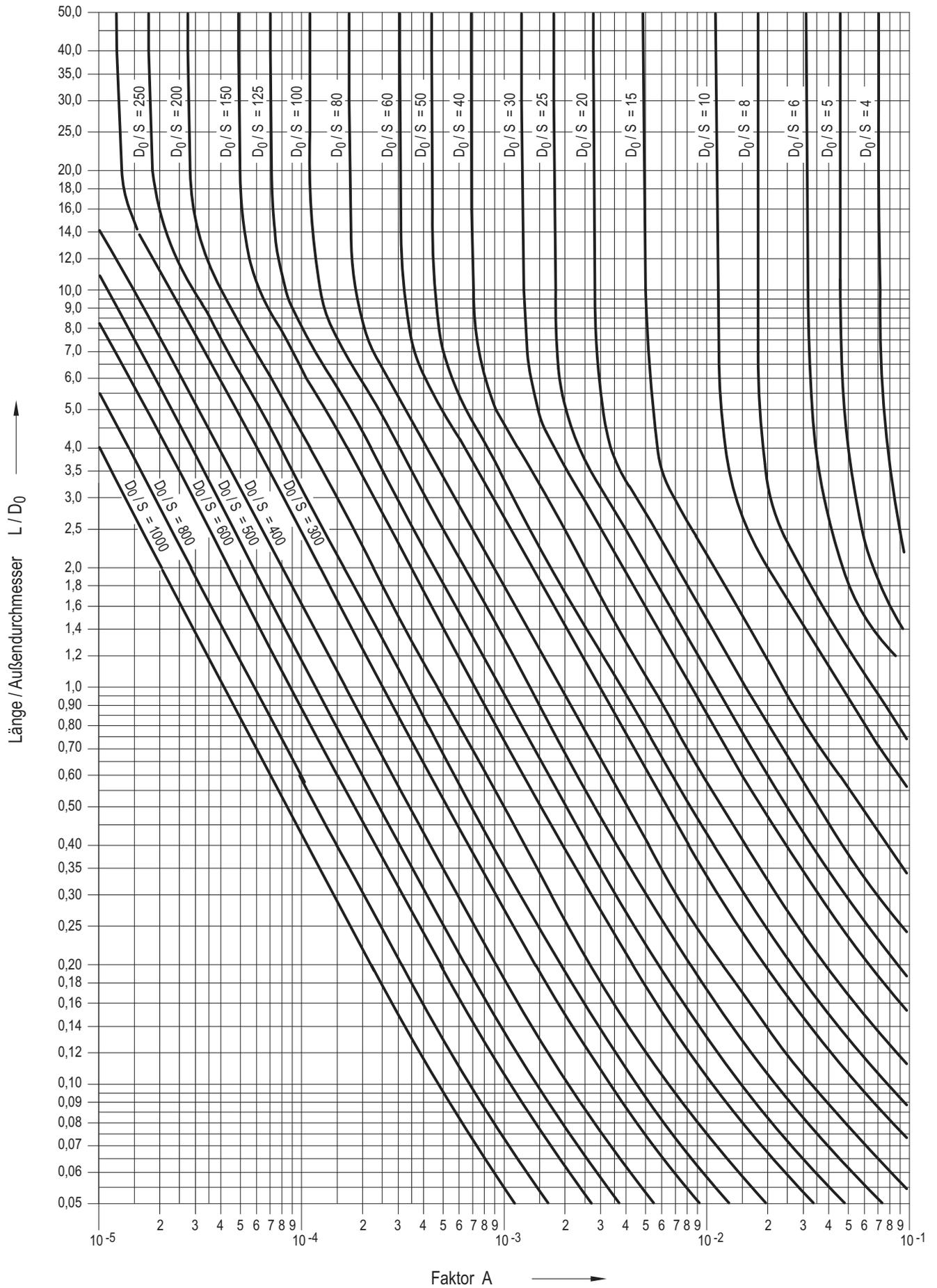


Bild A-1: Diagramm für Zylinder unter Außendruck oder Druckbelastung (Tafelwerte siehe **Tabelle A-1**)

D _o /S	L/D _o	A	D _o /S	L/D _o	A	D _o /S	L/D _o	A	D _o /S	L/D _o	A		
4	2,2	0,959 -01	10	5,0	0,118 -01	30	0,4	0,246 -01	60	0,074	0,954 -01		
	2,6	0,884		7,0	0,114		0,6	0,150		0,10	0,556		
	3,0	0,839		10,0	0,112		0,8	0,108		0,14	0,323		
	4,0	0,783		16,0	0,111		1,0	0,838 -02		0,2	0,193		
	5,0	0,759		50,0	0,111		1,2	0,683		0,4	0,812 -02		
	7,0	0,739					2,0	0,388		0,6	0,510		
	10,0	0,729					3,0	0,246		0,8	0,371		
	30,0	0,720		15	0,34		0,968 -01	4,0		0,177	1,0	0,291	
	50,0	0,720			0,4		0,770	4,4		0,161	2,0	0,138	
					0,6		0,453	5,0		0,147	3,0	0,886 -03	
		1,0	0,244		6,0	0,136	4,0	0,645					
5	1,4	0,929 -01		1,2	0,197		7,0	0,130		6,0	0,409		
	1,6	0,802		2,0	0,109		10,0	0,125		7,0	0,364		
	2,0	0,658		2,4	0,890 -02		30,0	0,122		8,0	0,341		
	2,4	0,586		3,0	0,691		50,0	0,122		10,0	0,322		
	3,0	0,532		4,0	0,573	40	0,12	0,864 -01		14,0	0,310		
	4,0	0,494		5,0	0,534		0,2	0,385		40,0	0,306		
	5,0	0,478		6,0	0,516		0,3	0,222		50,0	0,306		
	7,0	0,465		10,0	0,497		0,4	0,155	80	0,054	0,990 -01		
	10,0	0,459		40,0	0,490		0,6	0,958 -02		0,07	0,608		
	30,0	0,454		50,0	0,490		0,8	0,691		0,09	0,391		
50,0	0,453				1,0		0,539	0,10		0,328			
		20	0,24	0,982 -01	1,2		0,441	0,14		0,196			
			0,4	0,477	2,0		0,252	0,20		0,120			
			0,6	0,286	4,0		0,117	0,24		0,950 -02			
			0,8	0,203	5,0	0,912 -03	0,4	0,516					
6	1,2	0,837 -01		1,0	0,156		6,0	0,804			0,6	0,328	
	1,6	0,584		1,2	0,127		7,0	0,756			0,8	0,239	
	2,0	0,469		2,0	0,127 -02		8,0	0,731		1,0	0,188		
	2,4	0,411		3,0	0,446		10,0	0,708		2,0	0,895 -03		
	3,0	0,369		3,4	0,388		16,0	0,692		4,0	0,424		
	4,0	0,341		4,0	0,342		40,0	0,688		6,6	0,241		
	5,0	0,329		5,0	0,308		50,0	0,688		8,0	0,205		
	7,0	0,320		7,0	0,287					10,0	0,186		
	10,0	0,316		10,0	0,280					14,0	0,176		
	30,0	0,312		40,0	0,275					30,0	0,176		
50,0	0,312		50,0	0,275					50,0	0,172			
8	0,74	0,968 -01				50	0,088	0,984 -01					
	0,8	0,875					0,1	0,782					
	1,0	0,660					0,2	0,263					
	1,6	0,372					0,3	0,154					
	2,0	0,285	25	0,2	0,877 -01			0,4	0,108		100	0,05	0,741 -01
	2,4	0,242		0,3	0,484			0,6	0,677 -02			0,07	0,338
	3,0	0,212		0,5	0,250			0,8	0,490			0,10	0,220
	4,0	0,192		0,8	0,143			1,0	0,384			0,14	0,133
	5,0	0,184		1,0	0,111			1,2	0,902 -02			0,20	0,831 -02
	7,0	0,179		2,0	0,508			2,0	0,181			0,40	0,364
10,0	0,176	3,0		0,323		4,0	0,842 -03		0,5	0,283			
20,0	0,174	4,0		0,235		5,0	0,652		0,8	0,170			
50,0	0,174	5,0		0,204		6,0	0,548		1,0	0,134			
		6,0		0,191		7,0	0,502		2,0	0,641 -03			
		7,0	0,186		8,0	0,478		4,0	0,305				
10	0,56	0,964 -01		10,0	0,180		10,0	0,458		6,0	0,195		
	0,7	0,720		30,0	0,176		12,0	0,449		8,0	0,142		
	1,0	0,463		50,0	0,176		16,0	0,444		10,0	0,124		
	1,2	0,371					40,0	0,440		14,0	0,114		
	2,0	0,201					50,0	0,440		25,0	0,110		
	2,4	0,165	30	0,16	0,904 -01					50,0	0,110		
	3,0	0,139		0,2	0,635								
	4,0	0,124		0,3	0,357								

Tabelle A-1: Tafelwerte zu Bild A-1 (Fortsetzung siehe nächste Seite)

D _o /S	L/D _o	A	D _o /S	L/D _o	A	D _o /S	L/D _o	A	D _o /S	L/D _o	A	
125	0,05	0,480 -01	200	14,0	0,309 -04	400	0,6	0,288 -03	800	2,0	0,286 -04	
	0,06	0,344		16,0	0,295		0,8	0,207		4,0	0,140	
	0,08	0,210		20,0	0,283		1,0	0,165		5,0	0,112	
	0,10	0,148		40,0	0,275		2,0	0,808 -04		5,6	0,992 -05	
	0,14	0,917 -02		50,0	0,275		4,0	0,393				
	0,2	0,578					6,0	0,257				
	0,4	0,257					8,0	0,189				
	0,6	0,165		250	0,05		0,129 -01	10,0	0,148	1000	0,05	0,113 -02
	0,8	0,121			0,06		0,955 -02	14,0	0,102		0,06	0,891 -03
	1,0	0,955 -03			0,08		0,617	16,0	0,882 -05		0,07	0,733
	2,0	0,459	0,10		0,452			0,09	0,541			
	4,0	0,220	0,14		0,293			0,12	0,388			
	6,0	0,141	0,2		0,191			0,16	0,282			
	9,0	0,904 -04	0,4		0,881 -03	500	0,05	0,370 -02	0,2		0,221	
	10,0	0,837	0,6		0,572		0,06	0,284	0,4		0,106	
	12,0	0,770	0,8		0,422		0,08	0,192	0,7		0,596 -04	
	14,0	0,740	1,0		0,335		0,10	0,145	1,0		0,414	
	20,0	0,713	2,0	0,163	0,12		0,116	2,0	0,204			
	40,0	0,704	4,0	0,789 -04	0,16		0,830 -03	4,0	0,101			
	50,0	0,704	6,0	0,513	0,2		0,645	4,2	0,957 -05			
		8,0	0,377	0,4	0,305							
		10,0	0,293	0,6	0,199							
		12,0	0,238	0,8	0,148							
150	0,05	0,338 -01	300	0,05	0,923 -02	600	0,05	0,270 -02				
	0,06	0,244		0,06	0,690		0,06	0,208				
	0,08	0,151		0,08	0,452		0,08	0,142				
	0,10	0,108		0,10	0,334		0,10	0,108				
	0,12	0,833 -02		0,12	0,264		0,12	0,868 -03				
	0,16	0,569		0,2	0,143		0,16	0,624				
	0,2	0,431		0,4	0,666 -03		0,2	0,486				
	0,4	0,194		0,6	0,433		0,4	0,231				
	0,6	0,125		0,8	0,321		0,6	0,151				
	1,0	0,726 -03		1,0	0,254		0,8	0,112				
	2,0	0,349	2,0	0,124	1,0	0,894 -04						
	4,0	0,168	4,0	0,602 -04	2,0	0,439						
	6,0	0,108	6,0	0,393	4,0	0,216						
	8,0	0,787 -04	8,0	0,287	6,0	0,141						
	10,0	0,619	10,0	0,225	8,0	0,104						
	12,0	0,553	14,0	0,156	8,4	0,988 -05						
	16,0	0,510	16,0	0,142								
	20,0	0,498	20,0	0,130	800	0,05	0,165 -02					
	40,0	0,489	40,0	0,123		0,06	0,129					
	50,0	0,489	50,0	0,122		0,08	0,892 -03					
				0,10		0,682						
		400	0,05	0,549 -02		0,12	0,551					
			0,06	0,417		0,16	0,398					
			0,08	0,278		0,2	0,312					
			0,10	0,208		0,4	0,149					
			0,12	0,166		0,6	0,980 -04					
			0,16	0,118		0,8	0,728					
			0,2	0,914 -03	1,0	0,580						
			0,4	0,429								
200	0,05	0,196 -01										
	0,06	0,143										
	0,08	0,909 -02										
	0,10	0,659										
	0,14	0,421										
	0,2	0,272										
	0,3	0,171										
	0,5	0,976 -03										
	0,8	0,592										
	1,0	0,969										
	2,0	0,227										
	4,0	0,110										
6,0	0,711 -04											
8,0	0,520											
10,0	0,403											
12,0	0,338											

Tabelle A-1: Tafelwerte zu Bild A-1 (Fortsetzung)

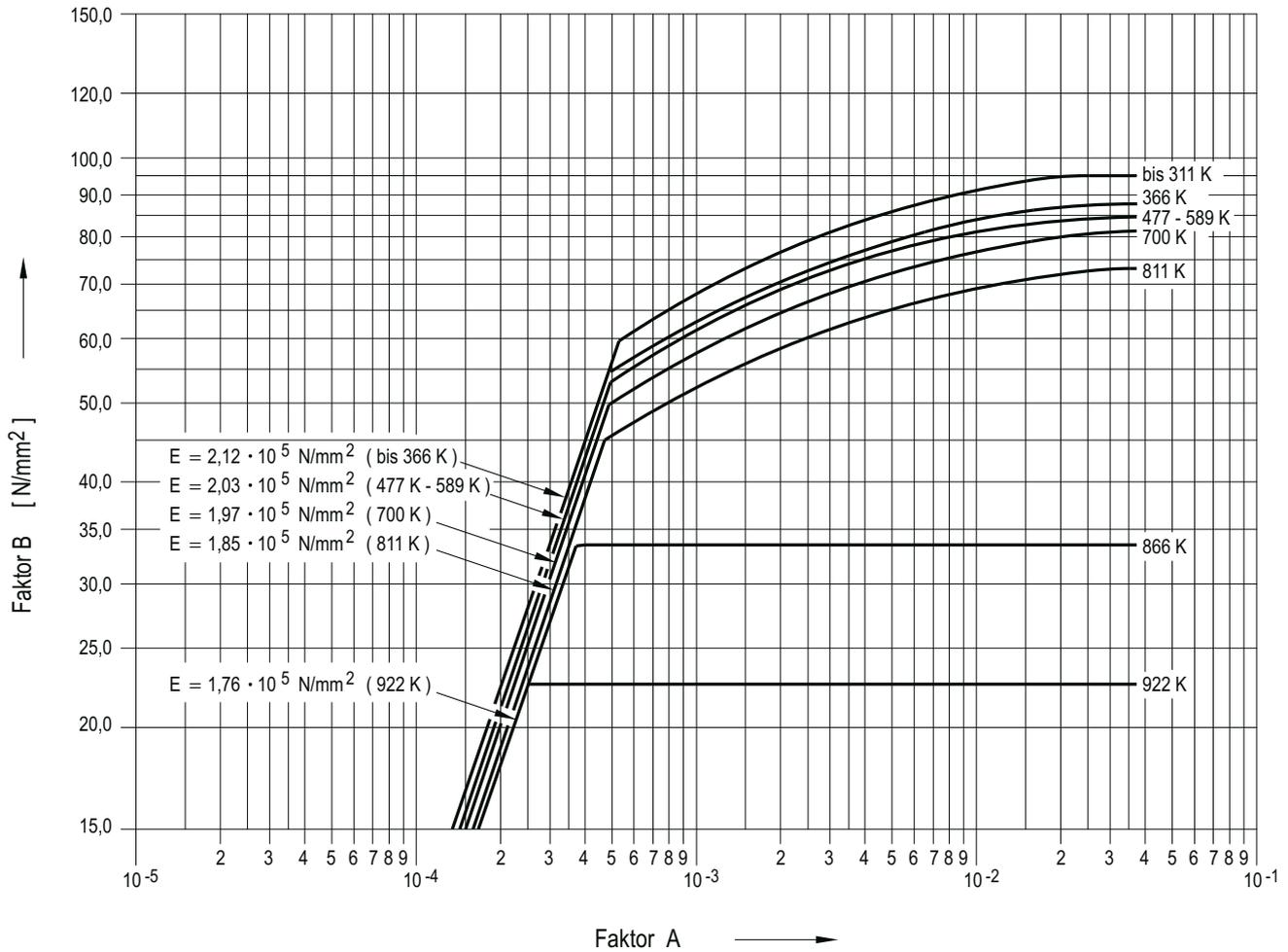


Bild A-2: Diagramm zur Bestimmung der Wanddicke von Zylinder- und Kugelschalen aus vergüteten Nickel-Chrom-Eisen-Legierungen unter äußerer Druckbelastung (Tafelwerte siehe **Tabelle A-2**)

Temperatur in K	A	B in N/mm ²	Temperatur in K	A	B in N/mm ²	Temperatur in K	A	B in N/mm ²	
311	0,1 · 10 ⁻⁴	1,1	477	0,200 · 10 ⁻²	67,9	700	0,150 · 10 ⁻¹	78,6	
	0,531 · 10 ⁻²	59,6		0,400 · 10 ⁻²	74,5		0,300 · 10 ⁻¹	81,4	
	0,100 · 10 ⁻²	67,8		0,500 · 10 ⁻²	76,5		0,100	81,4	
	0,300 · 10 ⁻²	80,7		0,100 · 10 ⁻¹	80,7	811	0,100 · 10 ⁻⁴	0,9	
	0,400 · 10 ⁻²	84,1		0,300 · 10 ⁻¹	84,4		0,471 · 10 ⁻³	45,0	
	0,100 · 10 ⁻¹	91,7		0,100	84,4		0,100 · 10 ⁻²	52,4	
	0,200 · 10 ⁻¹	95,1		589	0,100 · 10 ⁻⁴		1,0	0,200 · 10 ⁻²	58,2
	0,100	95,1			0,500 · 10 ⁻³		53,0	0,500 · 10 ⁻²	64,9
366	0,100 · 10 ⁻⁴	1,1	0,100 · 10 ⁻²	60,9	866	0,100 · 10 ⁻⁴	0,9		
	0,494 · 10 ⁻³	54,6	0,200 · 10 ⁻²	67,9		0,372 · 10 ⁻³	33,4		
	0,100 · 10 ⁻²	62,5	0,400 · 10 ⁻²	74,5		0,400 · 10 ⁻³	33,5		
	0,200 · 10 ⁻²	70,3	0,500 · 10 ⁻²	76,5		0,100	33,5		
	0,300 · 10 ⁻²	74,4	0,100 · 10 ⁻¹	80,7		922	0,100 · 10 ⁻⁴	0,9	
	0,900 · 10 ⁻²	83,4	0,300 · 10 ⁻¹	84,8	0,250 · 10 ⁻³		22,6		
	0,200 · 10 ⁻¹	86,9	0,100	84,8	0,100		22,6		
	0,100	88,3	700	0,100 · 10 ⁻⁴	1,0				
477	0,100 · 10 ⁻⁴	1,0		0,487 · 10 ⁻³	49,8				
	0,500 · 10 ⁻³	53,0		0,100 · 10 ⁻²	57,5				
	0,100 · 10 ⁻²	60,9	0,400 · 10 ⁻²	70,3					

Tabelle A-2: Tafelwerte zu Bild A-2

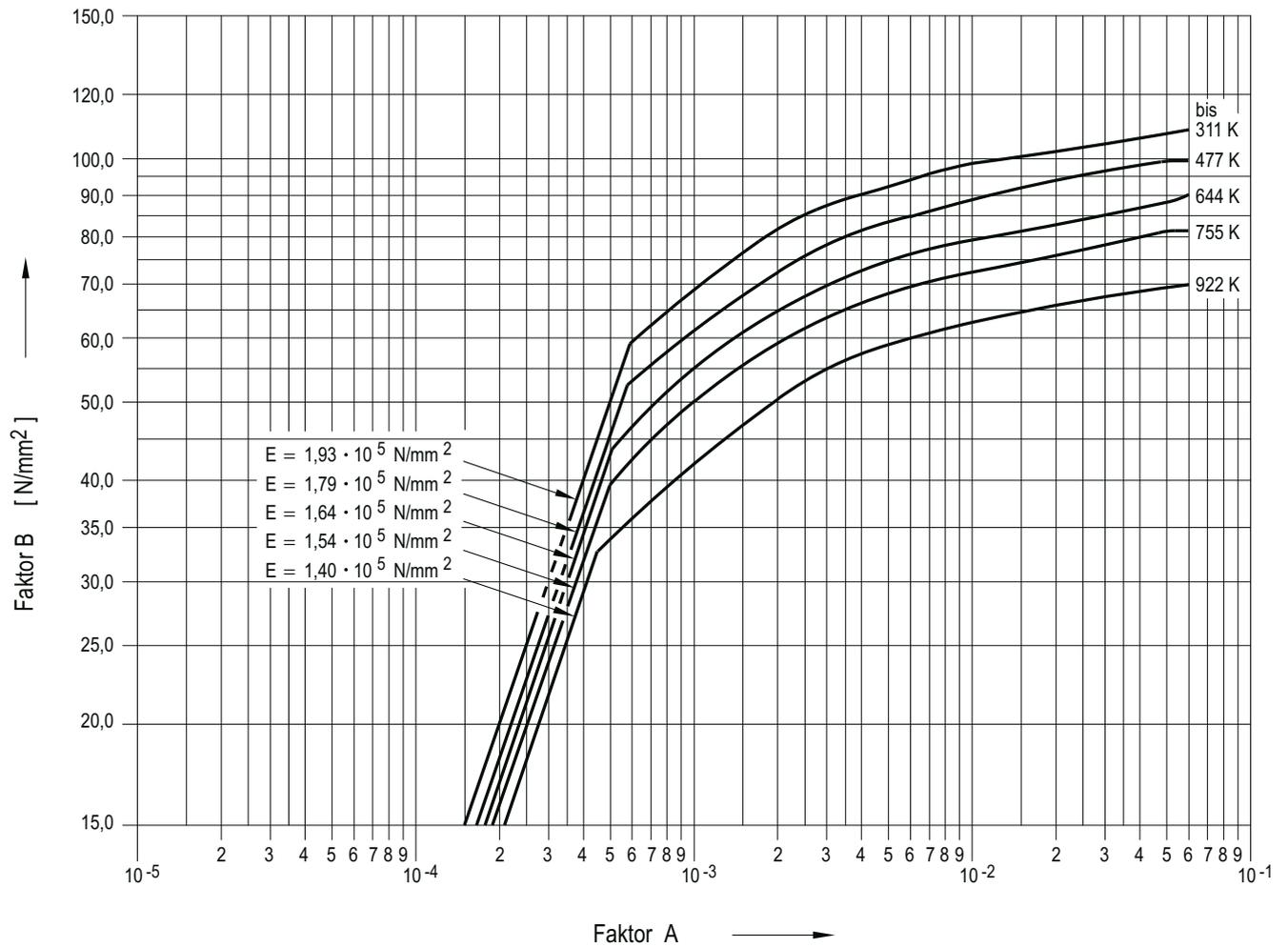


Bild A-3: Diagramm zur Bestimmung der Wanddicke von Zylinder- und Kugelschalen aus austenitischem Stahl (Tafelwerte siehe **Tabelle A-3**)

Temperatur in K	A	B in N/mm ²	Temperatur in K	A	B in N/mm ²	Temperatur in K	A	B in N/mm ²
311	0,100 · 10 ⁻⁴	1,0	477	0,300 · 10 ⁻²	77,9	644	0,498 · 10 ⁻³	39,5
	0,588 · 10 ⁻³	59,0		0,400 · 10 ⁻²	81,4		0,600 · 10 ⁻³	42,5
	0,150 · 10 ⁻²	76,5		0,500 · 10 ⁻²	83,4		0,100 · 10 ⁻²	50,1
	0,200 · 10 ⁻²	82,0		0,600 · 10 ⁻²	84,8		0,300 · 10 ⁻²	63,2
	0,250 · 10 ⁻²	84,8		0,100 · 10 ⁻¹	88,9		0,400 · 10 ⁻²	66,3
	0,300 · 10 ⁻²	87,6		0,500 · 10 ⁻¹	99,3		0,100 · 10 ⁻¹	72,4
	0,400 · 10 ⁻²	90,3	0,100	99,3	0,500 · 10 ⁻¹	81,4		
	0,500 · 10 ⁻²	92,4	644	0,100 · 10 ⁻⁴	0,8	0,100	81,4	
	0,700 · 10 ⁻²	95,8		0,507 · 10 ⁻³	43,4	922	0,100 · 10 ⁻⁴	0,7
	0,100 · 10 ⁻¹	98,6		0,700 · 10 ⁻³	48,8		0,450 · 10 ⁻³	32,7
	0,200 · 10 ⁻¹	102,0		0,100 · 10 ⁻²	54,9		0,100 · 10 ⁻²	41,9
	0,700 · 10 ⁻¹	109,6		0,300 · 10 ⁻²	69,6		0,200 · 10 ⁻²	50,4
0,100	109,6	0,400 · 10 ⁻²		72,4	0,300 · 10 ⁻²		54,8	
0,100 · 10 ⁻⁴	0,9	0,100 · 10 ⁻¹	79,3	0,400 · 10 ⁻²	57,40			
477	0,575 · 10 ⁻³	52,5	0,500 · 10 ⁻¹	88,3	0,500 · 10 ⁻²	58,9		
	0,100 · 10 ⁻²	61,1	0,600 · 10 ⁻¹	90,3	0,100 · 10 ⁻¹	62,7		
	0,150 · 10 ⁻²	67,8	0,100	90,3	0,700 · 10 ⁻¹	70,3		
	0,200 · 10 ⁻²	72,4						

Tabelle A-3: Tafelwerte zu Bild A-3

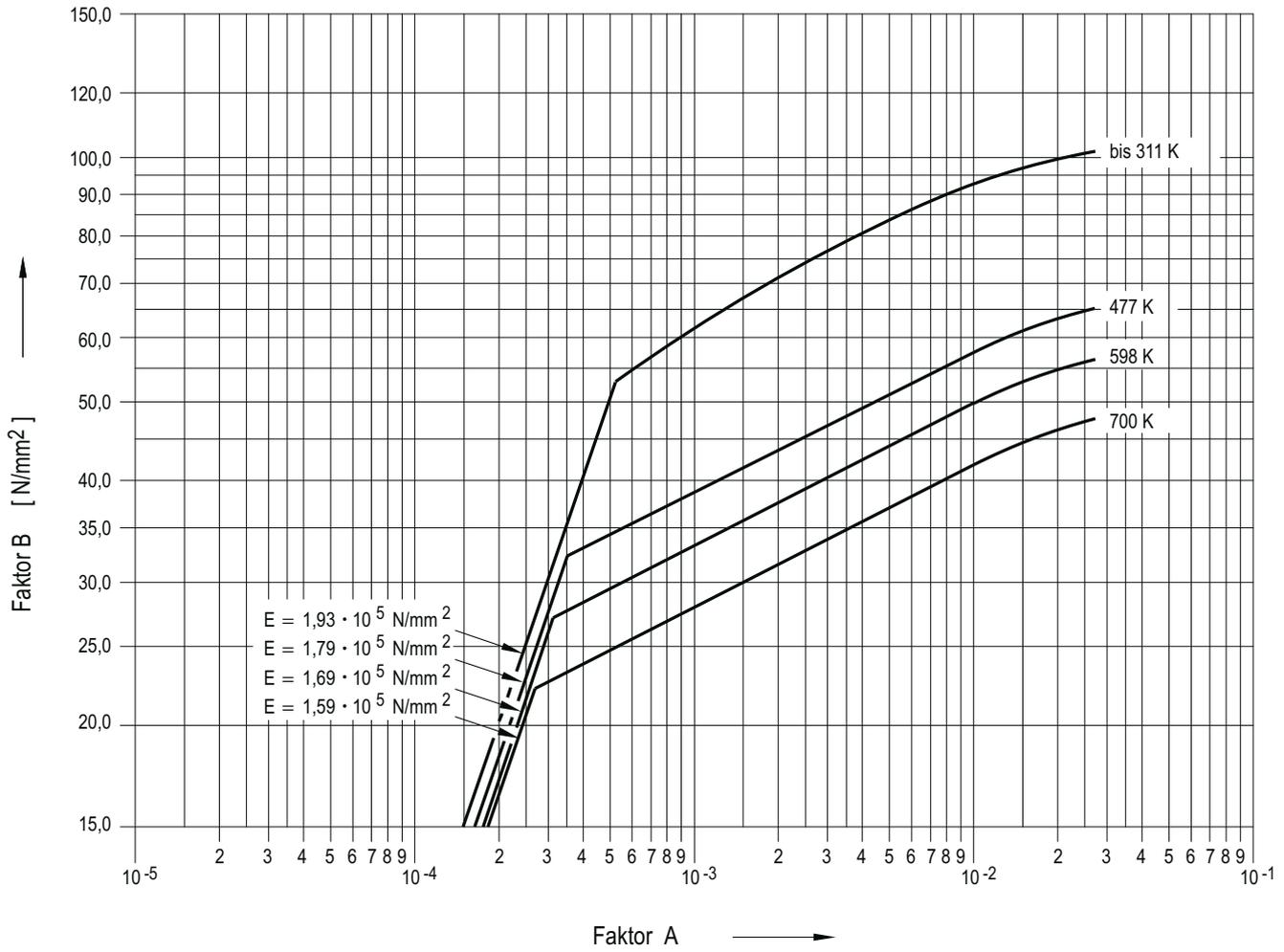


Bild A-4: Diagramm zur Bestimmung der Wanddicke von Zylinder- und Kugelschalen aus austenitischem Stahl (18/8 CrNi; max. 0,035 C, Werkstoff-Nr. 1.4603) unter äußerer Druckbelastung (Tafelwerte siehe **Tabelle A-4**)

Temperatur in K	A	B in N/mm ²	Temperatur in K	A	B in N/mm ²
311	0,100 · 10 ⁻⁴	1,0	598	0,100 · 10 ⁻⁴	0,8
	0,524 · 10 ⁻³	52,9		0,313 · 10 ⁻³	27,1
	0,200 · 10 ⁻²	71,0		0,100 · 10 ⁻²	33,4
	0,600 · 10 ⁻²	86,2		0,100 · 10 ⁻¹	49,8
	0,200 · 10 ⁻¹	99,3		0,100	59,0
	0,100	105,5			
477	0,100 · 10 ⁻⁴	0,9	700	0,100 · 10 ⁻⁴	0,8
	0,352 · 10 ⁻³	32,3		0,270 · 10 ⁻³	22,2
	0,100 · 10 ⁻²	38,7		0,150 · 10 ⁻²	30,0
	0,100 · 10 ⁻¹	57,5		0,100 · 10 ⁻¹	41,8
	0,100	68,1		0,100	50,8

Tabelle A-4: Tafelwerte zu Bild A-4

A 2 Stabilitätsanalyse für Beanspruchungsstufe C

- (1) Der Nachweis erfolgt nach den in Abschnitt A 1.1 oder Abschnitt A 1.2 angeführten Nachweisverfahren.
- (2) Die statisch aufgebrachte oder äquivalente statische nach innen wirkende Druckdifferenzbelastung wird mit 150 % der Werte nach Abschnitt A 1.2 begrenzt. Wo dynamische Druckdifferenzen auftreten, gelten vorgenannte Grenzen oder es wird die zulässige nach innen wirkende Druckdifferenzbelastung mit dem halben Wert des dynamischen Beuldrucks begrenzt.

A 3 Stabilitätsanalyse für Beanspruchungsstufe D

- (1) Der Nachweis erfolgt nach den in Abschnitt A 1.1 oder Abschnitt A 1.2 angeführten Nachweisverfahren.
- (2) Die statisch aufgebrachte oder äquivalente statische nach innen wirkende Druckdifferenzbelastung wird mit 150 % der Werte nach Abschnitt A 1.2 begrenzt. Bei einer Ovalität von 1% oder kleiner beträgt die zulässige Druckdifferenz 250 % der Werte nach Abschnitt A 1.2.

Wenn dynamische Druckdifferenzen oder Lasten auftreten, kann eine dynamische Instabilitätsanalyse durchgeführt wer-

den. In diesem Fall ist die nach innen wirkende Druckdifferenzbelastung oder die Belastung mit 75 % des dynamischen Beuldrucks oder der dynamischen Beullast begrenzt.

- (3) Zur Bestimmung der plastischen Instabilitätsbelastung für eine vorgegebene Lastkombination und eine vorgegebene Struktur kann eine plastische Analyse durchgeführt werden. Die plastische Instabilitätslast ist jene Last, bei welcher die Verformung uneingeschränkt ansteigt oder das Verhältnis von Kraft und Deformation eine horizontale Tangente aufweist. Diese plastische Instabilität wird mit P_I bezeichnet.

Begrenzung siehe **Tabelle 6-6**.

- (4) Zur Bestimmung der Grenzlast für eine vorgegebene Lastkombination und eine vorgegebene Struktur kann eine plastische Analyse durchgeführt werden. Als Grenzlast wird jene Last bezeichnet, bei welcher die Verformung gleich dem doppelten Wert jener Verformung ist, wo diese vom linearen Verlauf abweicht. Bei der Beurteilung der Analyse werden die Berechnungen übereinstimmend mit den experimentellen Methoden (**Anhang D**) interpretiert. Bei solcher Interpretation wird die in der plastischen Analyse ermittelte Grenzlast entsprechend den Verfahren der Grenztragfähigkeitsanalyse (**Anhang B**) begrenzt. Das für die Grenzlast verwendete Symbol ist P_C .

Anhang B

Grenztragfähigkeitsanalyse

B 1 Allgemeingültige Festlegungen

- (1) Die Begrenzung der primären Membranspannungen und der primären Membran- plus Biegespannungen für einen bestimmten Strukturbereich muss dann nicht nachgewiesen werden, wenn durch die Grenztragfähigkeitsanalyse gezeigt wird, dass die spezifizierten Belastungen die zulässigen unteren Grenzlasten gemäß Abschnitt B 2 nicht überschreiten.
- (2) Als untere Grenzlast ist diejenige Maximallast oder Belastungszusammensetzung (siehe Abschnitt 6.2.1 (20)) festzulegen, bei der die Verformungen ohne nennenswerte Laststeigerung stark zunehmen.
- (3) Die Berechnung dieser Grenzlast hat durch Anwendung der Tresca-Hypothese oder der von-Mises-Hypothese zu erfolgen.
- (4) Da das Erreichen der Grenzlast mit größeren Verformungen verbunden sein kann, ist im Einzelfall das Auftreten von Instabilitäten (z.B. Knicken) zu prüfen.

B 2 Beurteilungskriterien

Die zulässige untere Grenzlast ist für die einzelnen Beanspruchungsstufen wie folgt festzulegen, wobei der S_m -Wert gemäß dem Abschnitt 6.2.4.2.2.3 zu ermitteln ist:

a) Beanspruchungsstufen A und B

Die zulässige untere Grenzlast beträgt $0,67 \cdot G_u$, wobei G_u die mit einer fiktiven Fließgrenze von $1,5 \cdot S_m$ ermittelte untere Grenzlast ist.

Für Werkstoffe, bei denen die Streckgrenze durch die 0,2 %-Dehngrenze festgelegt ist, dürfen S_m -Werte 90 % der 0,2 %-Dehngrenze erreichen. Dies entspricht einer bleibenden Dehnung von rund 0,1 %. Ist diese bleibende Dehnung unzulässig, so ist der S_m -Wert mit dem entsprechenden Dehnungsbegrenzungsfaktor nach **Tabelle B-1** zu bilden.

b) Beanspruchungsstufe C

Die zulässige untere Grenzlast beträgt $1,0 \cdot G_u$. Ausgenommen hierbei sind Befestigungselemente mit Gewinde mit R_{mRT} größer als 700 N/mm^2 .

In diesem Fall ist die zulässige untere Grenzlast gemäß den Beanspruchungsstufen A und B zu bilden.

c) Beanspruchungsstufe D

Die zulässige untere Grenzlast beträgt $0,9 \cdot G_u$, wobei G_u die mit einer fiktiven Fließgrenze von $2,3 \cdot S_m$ ermittelte untere Grenzlast ist.

Ausgenommen hierbei sind Befestigungselemente mit Gewinde mit R_{mRT} größer als 700 N/mm^2 .

In diesem Fall beträgt die zulässige untere Grenzlast $1,33 \cdot G_u$, wobei für den bei der Berechnung eingesetzten Formfaktor der Wert von K gleich oder kleiner als 1,5 gilt und G_u gemäß a) zu bilden ist.

Bleibende Dehnung	Faktoren
0,10	0,90
0,09	0,89
0,08	0,88
0,07	0,86
0,06	0,83
0,05	0,80
0,04	0,77
0,03	0,73
0,02	0,69
0,01	0,63

Tabelle B-1: Dehnungsbegrenzungsfaktoren

Anhang C

Spannungsverhältnismethode

C 1 Allgemeingültige Festlegungen

C 1.1 Beurteilungskriterien

(1) Anstelle einer elastischen Spannungsanalyse darf die Spannungsverhältnismethode zur Beurteilung von Beanspruchungen in Bauteilen für die Beanspruchungsstufen C und D herangezogen werden.

(2) Für Verbindungselemente mit Gewinde mit R_{mRT} größer als 700 N/mm^2 darf die Spannungsverhältnismethode nicht verwendet werden.

(3) Die Spannungsverhältnismethode ist nur anwendbar, wenn die strukturmechanischen Belastungen einer Komponente innerhalb einer elastischen oder einer plastischen Analyse des Systems bestimmt und die daraus resultierenden Spannungen mit einer elastischen Analyse der Komponente ermittelt werden können.

C 1.2 Berechnungsgrößen

Formelzeichen	Berechnungsgröße	Einheit
A	Querschnittsfläche	mm ²
c	Abstand von der Hauptachse zum äußeren Rand	mm
e	Dehnung	—
F _z	Zugkraft	N
F _d	Druckkraft	N
f _{zulK}	zulässige Biegespannung für Stützziffer K	N/mm ²
f _{mK}	Biegespannung bei Zugfestigkeit für Stützziffer K	N/mm ²
f _{pK}	Biegespannung bei 0,2%-Dehngrenze für Stützziffer K	N/mm ²
I	Flächenträgheitsmoment	mm ⁴
K	Stützziffer	—
m	vorhandenes Moment	N/mm ²
M	zulässiges Biegemoment	N/mm ²
n	Exponent (Zug)	—
Q	statisches Moment $Q = \int_0^c y \cdot dA$	mm ³
σ_b	vorhandene Biegespannung	N/mm ²
τ	vorhandene Schubspannung	N/mm ²
σ_z	vorhandene Zugspannung	N/mm ²
σ_{bez}	Bezugsspannung	N/mm ²
R _{mT}	Zugfestigkeit	N/mm ²
R _{p0,2T}	0,2 %-Dehngrenze	N/mm ²
R _{pg}	Proportionalitätsgrenze	N/mm ²
R _o	Trapezspannung	N/mm ²
R _{om}	Trapezspannung bei Zugfestigkeit	N/mm ²
R _{op}	Trapezspannung bei 0,2 %-Dehngrenze	N/mm ²
S _b	Spannungsverhältnis für Biegung	—
S _d	Spannungsverhältnis für Druck	—
S _s	Spannungsverhältnis für Schub	—
S _z	Spannungsverhältnis für Zug	—

Formelzeichen	Berechnungsgröße	Einheit
S _{bd}	Spannungsverhältnis für Biegung und Druck	—
S _{bs}	Spannungsverhältnis für Biegung und Schub	—
S _{bz}	Spannungsverhältnis für Biegung und Zug	—
S _{bzs}	Spannungsverhältnis für Biegung, Zug und Schub	—
S _{bds}	Spannungsverhältnis für Biegung, Druck und Schub	—
x	Schwerpunktachse, x-Richtung	—
y	Schwerpunktachse, y-Richtung	—
x'	Hauptachse, x-Richtung tendierend	—
y'	Hauptachse, y-Richtung tendierend	—
φ	Winkel zwischen Schwerpunktachse und Hauptachse	Grad
γ	Plastifizierungsfaktor	—

Verwendete Subskripte:

- z : Zug
- d : Druck
- b : Biegung
- s : Schub
- K : Stützziffer
- p : Dehnung
- m : Zugfestigkeit

C 2 Zusammensetzung von ein- und mehrachsiger Beanspruchung

C 2.1 Allgemeingültige Festlegungen

(1) In diesem Abschnitt sind Interaktionsgleichungen zur Zusammensetzung der verschiedenen, in einem Bauteilquerschnitt vorhandenen Beanspruchungsarten (Biegung, Zug, Druck, Schub) aufgeführt. Stabilitätsbetrachtungen werden nicht durchgeführt. Für die Stabilitätsanalyse gilt Abschnitt 6.2.4.2.5 und **Anhang A**.

(2) Außer den nachfolgend aufgeführten Interaktionsgleichungen dürfen andere Interaktionsgleichungen auch für andere Querschnittsformen verwendet werden, wenn sie durch einen der nachfolgend aufgeführten Punkte untermauert werden:

- a) Allgemeine zugängliche Veröffentlichung in der Literatur, in Fachschriften, in Standardwerken.
- b) Experimentelle Untersuchungen, bei der Variationen aller zu kombinierenden Beanspruchungsarten behandelt worden sind.
- c) Theoretische Untersuchungen, bei denen mittels Experiment die Gültigkeit der theoretisch gewonnenen Interaktionsgleichungen bewiesen wurde.

C 2.2 Interaktionsgleichungen für Balkenformen

(1) Die nachfolgend aufgeführten Interaktionsgleichungen gelten für allgemeine Balkenformen und sind nicht für dünnwandige Zylinder oder dünnwandige Rohre anzuwenden. In **Tabelle C-1** sind die Interaktionsgleichungen für Balkenformen tabellarisch zusammengefasst.

Hinweis:

Ein Lösungsansatz für kreisringförmige Querschnitte findet sich z.B. in [10].

(2) Balkenformen mit Aus- oder Einschnitten dürfen nur dann mit der hier aufgezeigten Methode berechnet werden, wenn die verminderte Querschnittsfläche berücksichtigt wird.

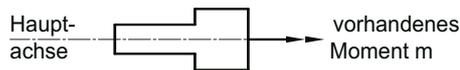
Hinweis:

Zugehöriges Schrifttum [11], [12] siehe Anhang H.

Siehe auch DIN EN 13345-3 und die Veröffentlichungen [13] und [14].

C 2.2.1 Gerade Biegung - Symmetrischer Querschnitt

(1) Die in den Absätzen 2, 3 und 4 angegebene Methode, ist anzuwenden, wenn der vorhandene, resultierende Momentenvektor parallel zu einer Hauptachse liegt und die Hauptachse zugleich eine Symmetrieachse ist.



(2) Die Stützziffer K ist gegeben durch

$$K = \text{Min} \{ 2 \cdot Q / (I/c); 2 \} \quad (\text{C 2-1})$$

(3) Die zulässige Biegespannung an der Randfaser ist zu bestimmen durch

- Ermittlung des vorhandenen Moments m ,
- Festlegung der Bezugsspannung σ_{bez} nach Abschnitt C 3.
- Bestimmung der Stützziffer K entweder nach (2) oder für gebräuchliche Querschnitte nach **Bild C-1**.
- Bestimmung der zulässigen Biegespannung f_{zulK} für die Stützziffer K nach Abschnitt C 4.1.

(4) Das Biegespannungsverhältnis S_b ist aus den Biegemomenten zu bestimmen, bei denen die Spannung nicht mehr proportional zum Moment ist.

a) Das zulässige Moment ergibt sich zu

$$M = f_{\text{zulK}} \cdot I/c \quad (\text{C 2-2})$$

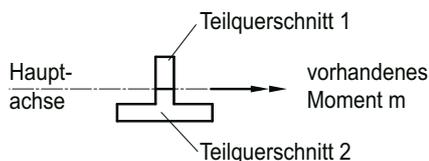
mit f_{zulK} nach (3) d).

b) Für das Biegespannungsverhältnis gilt

$$S_b = \frac{m}{M} \leq 1,0. \quad (\text{C 2-3})$$

C 2.2.2 Gerade Biegung - Unsymmetrischer Querschnitt

(1) Die in den Absätzen 2 und 3 angegebene Methode, ist anzuwenden, wenn der resultierende Momentenvektor parallel zu einer Hauptachse liegt, die selber keine Symmetrieachse darstellt.



(2) Der Querschnitt ist in die zwei Teilquerschnitte 1 und 2, die sich zu beiden Seiten der Hauptachse ergeben, zu zerlegen und für jeden Teilquerschnitt das Q und I/c um die Hauptachse des Gesamtquerschnitts zu berechnen. Für jeden Teilquerschnitt ist die Stützziffer $K = Q/(I/c)$ zu berechnen. Der K-Wert eines Teilquerschnitts ist gleich dem eines zu einem symmetrischen Querschnitt ergänzten Teilquerschnitts. Die Hauptachse der ergänzten Teilquerschnitte ist identisch mit der Hauptachse des Gesamtquerschnitts.

(3) Das Biegespannungsverhältnis S_b ist zu bestimmen durch

- Ermittlung des vorhandenen Moments m ,
- Festlegung der Bezugsspannung $\sigma_{\text{bez 1}}$ nach Abschnitt C 3,
- Bestimmung der zulässigen Biegespannung f_{zulK1} nach Abschnitt C 4.1 unter Verwendung der Bezugsspannung $\sigma_{\text{bez 1}}$ und der Stützziffer K1 für den Teilquerschnitt mit dem größeren Randfaserabstand c_1 ,

d) Bestimmung der Dehnung e_1 korrespondierend mit der Bezugsspannung $\sigma_{\text{bez 1}}$ der zugehörigen Spannungs-Dehnungs-Kurve und der Dehnung e_2 für den Teilquerschnitt mit dem kleineren Randfaserabstand c_2 :

$$e_2 = \frac{c_2}{c_1} \cdot e_1 \quad (\text{C 2-4})$$

Aus der zugehörigen Spannungs-Dehnungs-Kurve ist die mit der Dehnung e_2 korrespondierende Bezugsspannung $\sigma_{\text{bez 2}}$ zu ermitteln und danach die zulässige Biegespannung f_{zulK2} nach Abschnitt C 4.1 unter Verwendung der Bezugsspannung $\sigma_{\text{bez 2}}$ und der Stützziffer K_2 für den Teilquerschnitt mit dem kleineren Randfaserabstand c_2 zu bestimmen.

e) Das zulässige Biegemoment M ist sodann als Summe der beiden Teilmomente 1 und 2 zu bestimmen:

$$M = (f_{\text{zulK}} \cdot I/c)_1 + (f_{\text{zulK}} \cdot I/c)_2 \quad (\text{C 2-5})$$

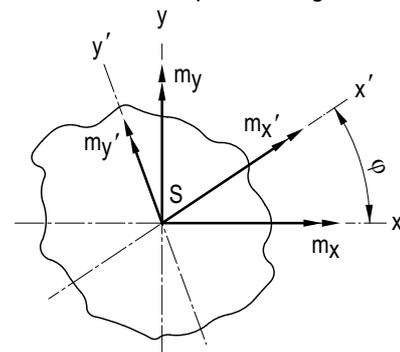
f) Für das Biegespannungsverhältnis gilt

$$S_b = \frac{m}{M} \leq 1,0. \quad (\text{C 2-6})$$

C 2.2.3 Schiefe Biegung - Symmetrische und unsymmetrische Querschnitte

(1) Allgemeines

Die gemäß den Absätzen 2 und 3 angegebene Methode ist anzuwenden, wenn der vorhandene, resultierende Momentenvektor nicht parallel zu einer Hauptachse liegt.



Hinweis:

In der vorstehenden Skizze stellen x und y die Schwerpunktsachsen und x' und y' die Hauptachsen dar. Die Momentenvektoren sind durch Doppelpfeile gekennzeichnet.

(2) Überführung der schiefen Biegung in eine gerade Biegung

Jede schiefe Biegung kann in eine gerade Biegung um die Hauptachsen überführt werden. Sind die Hauptachsen x' und y' nicht ohne weiteres feststellbar, sind I_x , I_y und I_{xy} um die Schwerpunktsachsen x und y zu bestimmen. Der Winkel φ legt die Hauptachsen fest:

$$\tan 2 \varphi = \frac{2 \cdot I_{xy}}{I_y - I_x} \quad (\text{C 2-7})$$

(3) Bestimmung des Spannungsverhältnisses für Biegung S_b

a) Die zulässigen Momente um die Hauptachsen $M_{x'}$ und $M_{y'}$ sind nach Abschnitt C 2.2.1 oder C 2.2.2 zu bestimmen.

b) Die vorhandenen Momente um die Hauptachsen $m_{x'}$ und $m_{y'}$ ergeben sich aus:

$$m_{x'} = m_x \cdot \cos \varphi + m_y \cdot \sin \varphi \quad (\text{C 2-8})$$

$$m_{y'} = -m_x \cdot \sin \varphi + m_y \cdot \cos \varphi \quad (\text{C 2-9})$$

c) Die Biegespannungsverhältnisse $S_{bx'}$ und $S_{by'}$ sind aus

$$S_{bx'} = \frac{m_{x'}}{M_{x'}} \quad (\text{C 2-10})$$

$$S_{by'} = \frac{m_{y'}}{M_{y'}} \quad (\text{C 2-11})$$

zu ermitteln.

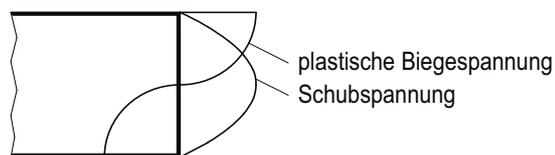
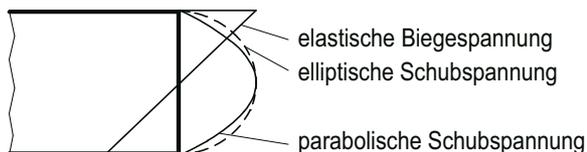
e) Für das Spannungsverhältnis für Biegung gilt:

$$S_b = (S_{bx'} + S_{by'}) \leq 1,0. \quad (\text{C 2-12})$$

C 2.2.4 Gerade oder schiefe Biegung und Schub

(1) Allgemeines

Die maximale Schubspannung in einem Biegebalken tritt im Allgemeinen an der neutralen Faser (Hauptachse) auf; hier ist die Biegespannung gleich Null. Die maximale Biegespannung tritt am äußeren Rand auf; hier ist die Schubspannung gleich Null. Ist die Schubspannungsverteilung elliptisch und die Biegespannungsverteilung linear, dann ist der gesamte Querschnitt zu überprüfen.



Hinweis:

Im elastischen Bereich ist die Verteilung der Schub- und Biegespannung im Allgemeinen so, dass der kritische Punkt des Querschnitts entweder an der neutralen Faser oder am äußeren Rand auftritt. Bei rechteckigen Querschnitten ist dies stets der Fall, da hier über dem Querschnitt die Schubspannungsverteilung parabolisch und die Biegespannungsverteilung linear ist. Ist die Schubspannungsverteilung jedoch elliptisch und die Biegespannungsverteilung linear, sind alle Punkte über dem Querschnitt kritisch.

Im plastischen Bereich ist die Verteilung der Schub- und Biegespannung anders als im elastischen Bereich. Dies führt dazu, dass bei der Spannungsüberlagerung sich nicht Punkte an der neutralen Faser oder am äußeren Rand, sondern Punkte dazwischen als kritisch erweisen. Um den kritischen Punkt zu ermitteln, bedarf es einer Anzahl von Überlagerungsberechnungen an verschiedenen Punkten über dem Querschnitt.

(2) Bestimmung des Biege- und Schubspannungsverhältnisses S_{bs}

Das Biege- und Schubspannungsverhältnis ist wie folgt zu bestimmen:

a) Das Biegespannungsverhältnis ist bei gerader Biegung aus $S_b = m/M$ nach Abschnitt C 2.2.1 oder C 2.2.2 und bei schiefer Biegung aus $S_b = S_{bx'} + S_{by'}$, nach Abschnitt C 2.2.3 zu ermitteln.

b) Das Schubspannungsverhältnis ist bei gerader Biegung aus

$$S_s = \frac{\tau}{\tau_{zul}} \quad (\text{C 2-13})$$

zu ermitteln.

Bei schiefer Biegung ist das Schubspannungsverhältnis

$$S_s = \sqrt{S_{sx'}^2 + S_{sy'}^2} \quad (\text{C 2-14})$$

mit

$$S_{sx'} = \tau_{x'}/\tau_{zul} \quad (\text{C 2-15})$$

$$S_{sy'} = \tau_{y'}/\tau_{zul} \quad (\text{C 2-16})$$

$\tau_{x'}$ und $\tau_{y'}$ sind die maximalen Schubspannungen in den Hauptachsenrichtungen x' und y' . Die zulässige Schubspannung ist bei gerader oder schiefer Biegung

$$\tau_{zul} = 0,6 \cdot \sigma_{bez} \quad (\text{C 2-17})$$

Für das Schubspannungsverhältnis gilt

$$S_s \leq 1,0.$$

c) Das Gesamtspannungsverhältnis S_{bs} aus gerader oder schiefer Biegung S_b und Schub S_s ist aus

$$S_{bs} = \sqrt{S_b^2 + S_s^2} \leq 1,0 \quad (\text{C 2-18})$$

zu berechnen.

Die Zulässigkeit von S_{bs} darf auch nach **Bild C-3** überprüft werden. Der Schnittpunkt von S_b und S_s muss dann innerhalb der eingetragenen Kurve liegen.

C 2.2.5 Gerade oder schiefe Biegung und Zug

(1) Allgemeines

Die nachfolgend angegebene Methode ist anzuwenden bei gleichzeitigem Auftreten von Biegung und Zug.

(2) Bestimmung des Biegespannungsverhältnisses S_b und des Zugspannungsverhältnisses S_z

a) Das Biegespannungsverhältnis S_b für gerade Biegung ist nach Abschnitt C 2.2.1 oder C 2.2.2 und für schiefe Biegung nach Abschnitt C 2.2.3 zu ermitteln.

b) Das Zugspannungsverhältnis S_z ist nach der Formel

$$S_z = \frac{F_z}{A \cdot \sigma_{bez}} \quad (\text{C 2-19})$$

zu berechnen.

(3) Bestimmung des Exponenten n

a) Der Plastifizierungsfaktor γ zur Bestimmung des Exponenten n ist 0,9 für alle Werkstoffe.

b) Bei gerader Biegung und unsymmetrischem Querschnitt ist mit dem Randfaserabstand c derjenigen Seite, auf welcher Biege- und Zugspannung entgegengesetzte Vorzeichen haben, der Wert $A \cdot c / (2 \cdot Q)$ zu berechnen und damit gemäß **Bild C-2** der Exponent n zu bestimmen.

Bei schiefer Biegung und unsymmetrischem Querschnitt um die x' -Achse und y' -Achse sind mit dem Randfaserabstand c derjenigen Seite, auf welcher Biege- und Zugspannung entgegengesetzte Vorzeichen haben die Werte $A \cdot c / (2 \cdot c_{x'})$ und $A \cdot c / (2 \cdot c_{y'})$ zu berechnen und damit gemäß **Bild C-2** die Exponenten $n_{x'}$ und $n_{y'}$, und daraus der Exponent n nach der Formel

$$n = \frac{(n_{x'} \cdot S_{bx'}) + (n_{y'} \cdot S_{by'})}{S_b} \quad (\text{C 2-20})$$

zu bestimmen.

(4) Bestimmung des kombinierten Biege- und Zugspannungsverhältnisses S_{bz}

Das kombinierte Biege- und Zugspannungsverhältnis ist aus

$$S_{bz} = S_b + S_z^n \leq 1,0 \quad (\text{C 2-21})$$

zu berechnen.

Die Zulässigkeit von S_{bz} darf auch nach **Bild C-4** überprüft werden. Der Schnittpunkt von S_b und S_z muss dann innerhalb der Kurve mit den nach (2) ermittelten Exponenten n liegen.

C 2.2.6 Gerade oder schiefe Biegung und Druck

(1) Allgemeines

Die nachfolgend angegebene Methode ist anzuwenden bei gleichzeitigem Auftreten von Biegung und Druck. Zusätzliche Biegemomente, hervorgerufen durch die Druckkraft, sind zu berücksichtigen und mögliche Stabilitätsprobleme gesondert zu untersuchen.

- (2) Bestimmung des Biegespannungsverhältnisses S_b und des Druckspannungsverhältnisses S_d
- a) Für gerade Biegung ist das Biegespannungsverhältnis S_b nach Abschnitt C 2.2.1 oder C 2.2.2 und für schiefe Biegung nach Abschnitt C 2.2.3 zu ermitteln.
- b) Das Druckspannungsverhältnis S_d ist nach der Formel

$$S_d = \frac{F_z}{A \cdot \sigma_{bez}} \quad (\text{C 2-22})$$

zu berechnen.

- (3) Für das kombinierte Biege- und Druckspannungsverhältnis gilt
- $$S_{bd} = S_b + S_d \leq 1,0 \quad (\text{C 2-23})$$

C 2.2.7 Gerade oder schiefe Biegung mit Zug und Schub

Die nachfolgend angegebene Methode ist anzuwenden bei gleichzeitigem Auftreten von Biegung, Zug und Schub.

- a) Das kombinierte Biege- und Schubspannungsverhältnis S_{bs} ist nach Abschnitt C 2.2.4 zu bestimmen.
- b) Das kombinierte Biege- und Zugspannungsverhältnis S_{bz} ist nach Abschnitt C 2.2.5 zu bestimmen.
- c) Das Gesamtspannungsverhältnis S_{bzs} ist grundsätzlich aus dem Biege- und Zugspannungsverhältnis S_{bz} und dem Schubspannungsverhältnis S_s wie nachfolgend zu bestimmen:

$$S_{bzs} = \sqrt{S_{bz}^2 + S_s^2} \leq 1,0 \quad (\text{C 2-24})$$

Die Zulässigkeit von S_{bzs} darf auch nach **Bild C-3** überprüft werden. Der Schnittpunkt von S_{bz} und S_s muss dann innerhalb der eingetragenen Kurve liegen. S_{bz} darf dabei nach **Bild C-4** gemäß dem Verhältnis der projizierten Strecken AB'/AC' ermittelt werden.

C 2.2.8 Gerade oder schiefe Biegung mit Druck und Schub

Die nachfolgend angegebene Methode ist anzuwenden bei gleichzeitigem Auftreten von Biegung, Druck und Schub.

- a) Das kombinierte Biege- und Schubspannungsverhältnis S_{bs} ist nach Abschnitt C 2.2.4 zu berechnen.
- b) Das kombinierte Biege- und Druckspannungsverhältnis S_{bd} ist nach Abschnitt C 2.2.6 zu berechnen.
- c) Das Gesamtspannungsverhältnis S_{bds} ist aus dem Biege- und Druckspannungsverhältnis S_{bd} und dem Schubspannungsverhältnis S_s zu bilden:

$$S_{bds} = \sqrt{S_{bd}^2 + S_s^2} \leq 1,0 \quad (\text{C 2-25})$$

Die Zulässigkeit von S_{bds} darf auch nach **Bild C-3** überprüft werden. Der Schnittpunkt von S_{bd} und S_s muss dann innerhalb der eingetragenen Kurve liegen.

C 3 Vergleichsspannungsgrenzen

Die bei der Spannungsverhältnismethode zu verwendenden Vergleichsspannungsgrenzen sind in den Abschnitten C 3.1 und C 3.2 festgelegt, wobei der S_m -Wert gemäß Abschnitt 6.2.4.2.2.3 zu ermitteln ist.

C 3.1 Beanspruchungsstufe C

Die primäre Membranspannung P_m ist mit einer Bezugsspannung von

$$\sigma_{bez} = 2,0 \cdot S_m \quad (\text{C 3-1})$$

zu begrenzen.

Die primäre Membran- und Biegespannung ist durch Anwendung der in Abschnitt C 2 für die Spannungsarten aufgeführten Interaktionsgleichungen mit $K \cdot \sigma_{bez}$ zu begrenzen.

C 3.2 Beanspruchungsstufe D

Die primäre Membranspannung P_m ist mit einer Bezugsspannung von

$$\sigma_{bez} = \text{Min} \{3 \cdot S_m; 0,7 \cdot R_{mT}\} \quad (\text{C 3-2})$$

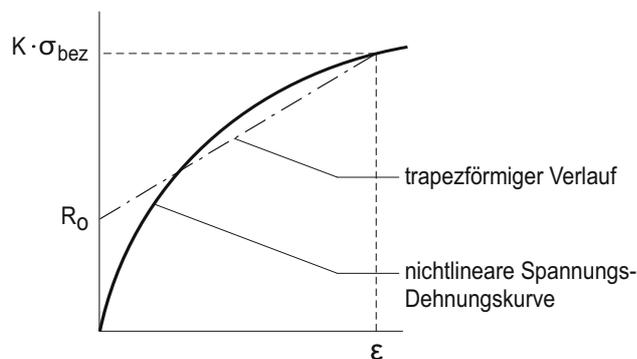
zu begrenzen.

Die primäre Membran- und Biegespannung ist durch Anwendung der in Abschnitt C 2 für die Spannungsarten aufgeführten Interaktionsgleichungen mit $K \cdot \sigma_{bez}$ zu begrenzen.

C 4 Biegefestigkeit im plastischen Bereich

C 4.1 Bestimmung der zulässigen Biegespannung f_{zulK}

(1) Eine fiktive Biegespannung, die linearisierte, zulässige Biegespannung f_{zulK} , wird zur Kennzeichnung der Biegefestigkeit eines Werkstoffs im plastischen Bereich benutzt. Die zulässige Biegespannung f_{zulK} ist unter der Annahme, dass die nicht lineare Spannungs-Dehnungs-Kurve trapezförmig verläuft, zu bestimmen. Dieser anzunehmende Verlauf ist in der folgenden Skizze aufgezeigt:



(2) Die Spannung R_0 ist eine fiktive Spannung, für die angenommen wird, dass sie in der neutralen Faser oder bei der Dehnung Null wirkt. Der Betrag von R_0 ist bestimmt durch die Forderung, dass das wirksame Moment der nichtlinearen Spannungs-Dehnungs-Kurve gleich dem wirksamen Moment des trapezförmigen Verlaufs sein muss.

(3) Das zulässige Moment in einem symmetrischen Querschnitt darf wie folgt berechnet werden:

$$\begin{aligned} M &= 2 \cdot R_0 \int_0^c y \cdot da + (\sigma_{bez} - R_0) \cdot (I/c) \quad (\text{C 4-1}) \\ &= 2 \cdot R_0 \cdot Q + (\sigma_{bez} - R_0) \cdot (I/c) \\ &= (I/c) \cdot [\sigma_{bez} + R_0 \cdot (2 \cdot Q/(I/c) - 1)] \\ &= (I/c) \cdot [\sigma_{bez} + R_0 \cdot (K - 1)] \end{aligned}$$

Daraus folgt:

$$f_{zulK} = \frac{M}{I/c} \sigma_{bez} + (K - 1) \cdot R_0 \quad (\text{C 4-2})$$

(4) Die zulässige Biegespannung f_{zulK} eines gegebenen Querschnitts ist zu berechnen, indem zuerst die Trapezspannung R_0 oder das zulässige Moment M , korrespondierend zum gegebenen Querschnitt (Stützziffer K) und der Bezugsspannung σ_{bez} , bestimmt werden.

Hinweis:

Das zulässige Moment M kann zwar durch Versuche oder exakte Spannungsanalyse ermittelt werden. Dieser Aufwand würde aber die Anwendbarkeit der Spannungsverhältnismethode stark einschränken.

(5) Die Werte für R_{om} und R_{op} sind für rund 50 Werkstoffe berechnet und als Ergebnis in **Bild C-6** zusammengestellt. Die

Kurven in dieser Abbildung dürfen für niedrig- und hochlegierte Stähle (z.B. Austenit) benutzt werden.

Hinweis:

Zugehöriges Schrifttum [15] siehe Anhang H.

(6) Unter Verwendung der Proportionalitätsgrenze R_{pg} gemäß **Bild C-5** und den Trapezspannungen R_{op} und R_{om} gemäß **Bild C-6** lässt sich mit den nachfolgenden Gleichungen die zulässige Biegespannung f_{zulK} bestimmen:

a) Für $\sigma_{bez} \leq R_{pg}$

$$f_{zulK} = \sigma_{bez} \quad (C 4-3)$$

b) Für $R_{pg} < \sigma_{bez} \leq R_{p0,2T}$

$$f_{zulK} = R_{pg} + \frac{(f_{pK} - R_{pg}) \cdot (\sigma_{bez} - R_{pg})}{R_{p0,2T} - R_{pg}} \quad (C 4-4)$$

wobei

$$f_{pK} = R_{p0,2T} + (K - 1) \cdot R_{op} \quad (C 4-5)$$

c) Für $R_{p0,2T} < \sigma_{bez} \leq R_{mT}$

$$f_{zulK} = R_{pK} + \frac{(f_{mK} - f_{pK}) \cdot (\sigma_{bez} - R_{p0,2T})}{R_{mT} - R_{p0,2T}} \quad (C 4-6)$$

wobei

$$f_{pK} = R_{p0,2T} + (K - 1) \cdot R_{op} \quad (C 4-7)$$

und

$$f_{mK} = R_{mT} + (K - 1) \cdot R_{om} \quad (C 4-8)$$

C 4.2 Beispiel zur Bestimmung der zulässigen Biegespannung f_{zulK}

(1) Gegeben:

Werkstoff-Nr. 1.4550 gemäß DIN EN 10222-5

$R_{p0,2T} = 130 \text{ N/mm}^2$ bei 350°C

$R_{mT} = 350 \text{ N/mm}^2$ bei 350°C

(2) Zu bestimmen:

Zulässige Biegespannung für einen Rechteckquerschnitt ($K=1,5$) bei einer Bezugsspannung

$$\sigma_{bez} = 0,7 \cdot R_{mT} = 0,7 \cdot 350 = 245 \text{ N/mm}^2$$

(3) Lösung:

Da $R_{p0,2T} < \sigma_{bez} \leq R_{mT}$, ist Gleichung (C 4-6) anzuwenden. Trapezspannung bei Zugfestigkeit und bei 0,2 %-Dehngrenze (**Bild C-6**):

a) $R_{om} = 310 \text{ N/mm}^2$

b) $R_{op} = 85 \text{ N/mm}^2$

c) $R_{p0,2T} = 130 \text{ N/mm}^2$

d) $R_{mT} = 350 \text{ N/mm}^2$

Die zulässige Biegespannung für den Rechteckquerschnitt gemäß Gleichung (C 4-6) ist

$$f_{zul 1,5} = f_{p 1,5} + \frac{(f_{m 1,5} - f_{p 1,5}) \cdot (\sigma_{bez} - R_{p0,2T})}{R_{mT} - R_{p0,2T}}$$

$$f_{p 1,5} = R_{p0,2T} + (1,5 - 1) \cdot R_{op}$$

$$f_{p 1,5} = 130 + (1,5 - 1) \cdot 85 = 172,5 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{m 1,5} = R_{mT} + (1,5 - 1) \cdot R_{om}$$

$$f_{m 1,5} = 350 + (1,5 - 1) \cdot 310 = 505 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{zul 1,5} = 172,5 + \frac{(505 - 172,5) \cdot (245 - 130)}{350 - 130}$$

$$f_{zul 1,5} = 346 \text{ N/mm}^2$$

				
K = 1	K = 1 bis 1,5	K = 1,5	K = 1,7	K = 2,0

Bild C-1: Stützziffern (siehe Abschnitt C 2.2.1)

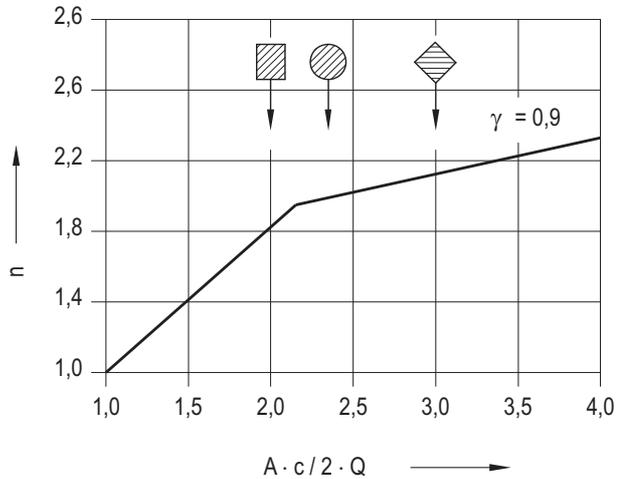


Bild C-2: Exponenten (siehe Abschnitt C 2.2.5)

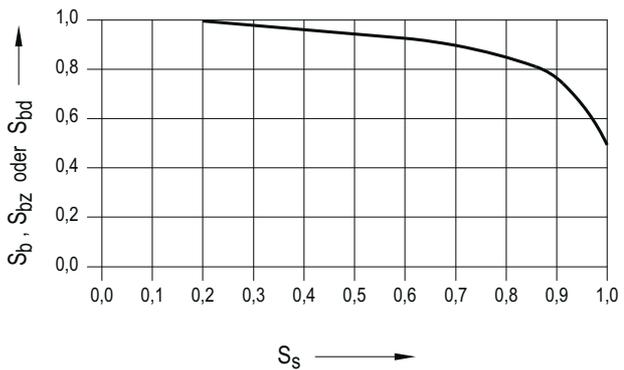


Bild C-3: Interaktionskurve für Biegung und Schub (siehe Abschnitt C 2.2.7)

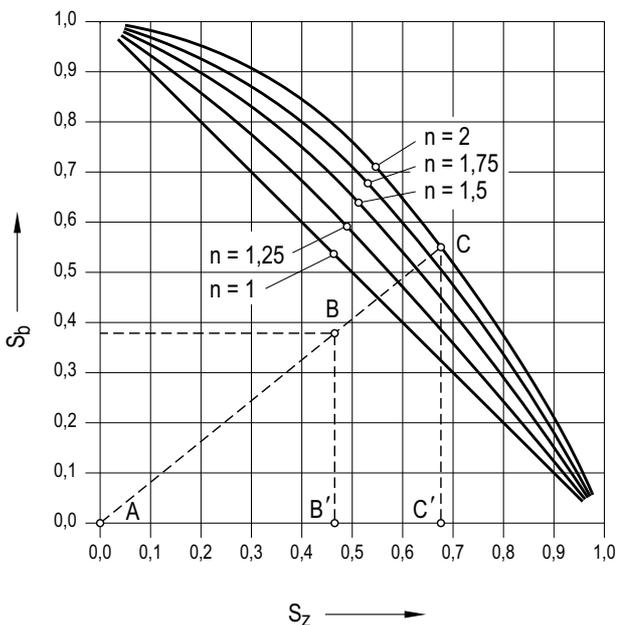


Bild C-4: Interaktionskurve für Biegung und Zug (siehe Abschnitt C 2.2.7)

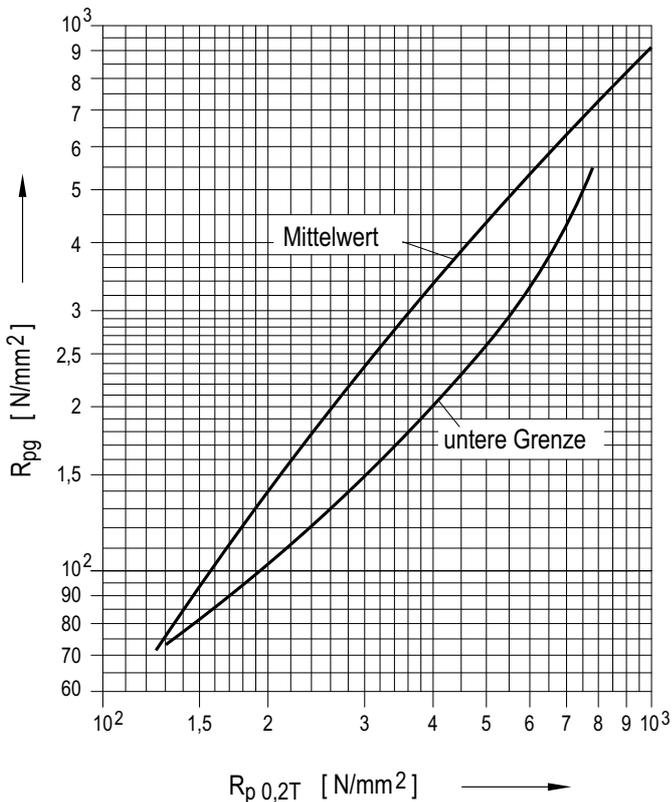


Bild C-5: Proportionalitätsgrenze (siehe Abschnitt C 4.1)

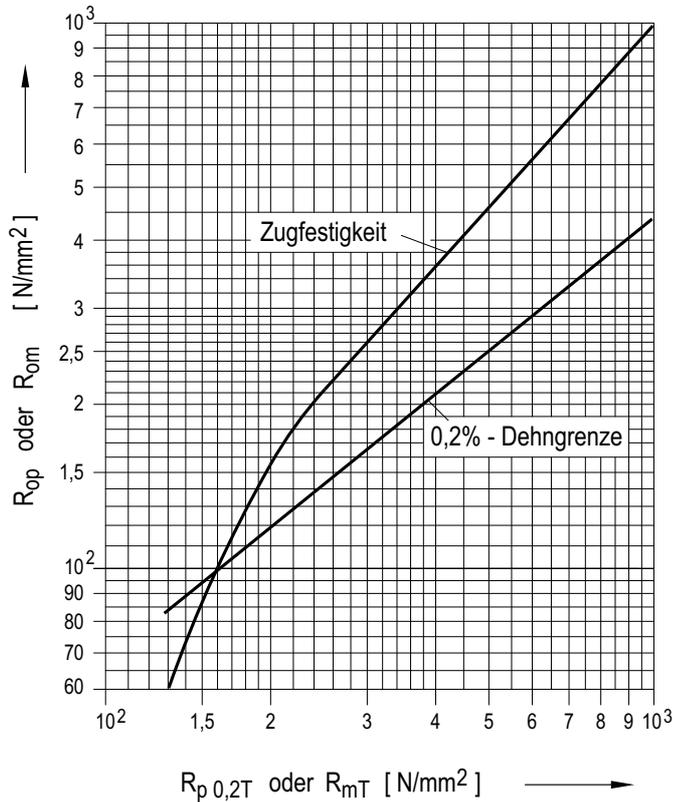


Bild C-6: Trapezspannung (siehe Abschnitt C 4.1)

Spannungsart	Interaktionsgleichung ⁵⁾	siehe Abschnitt
Gerade Biegung	$S_b \leq 1,0$	C 2.2.1 und C 2.2.2
Schiefe Biegung	$S_b = S_{bx} + S_{by} \leq 1,0$	C 2.2.3
Gerade oder schiefe Biegung und Schub	$S_{bs} = \sqrt{S_b^2 + S_s^2} \leq 1,0$ ¹⁾	C 2.2.4
Gerade oder schiefe Biegung und Zug	$S_{bz} = S_b + S_z^n \leq 1,0$ ²⁾	C 2.2.5
Gerade oder schiefe Biegung und Druck	$S_{bd} = S_b + S_d \leq 1,0$ ⁴⁾	C 2.2.6
Gerade oder schiefe Biegung mit Zug und Schub	$S_{bzs} = \sqrt{(S_b + S_z^n)^2 + S_s^2} \leq 1,0$ ³⁾	C 2.2.7
Gerade oder schiefe Biegung mit Druck und Schub	$S_{bds} = \sqrt{(S_b + S_d)^2 + S_s^2} \leq 1,0$ ^{1) 4)}	C 2.2.8

¹⁾ Alternativ darf anstelle der Gleichung **Bild C-3** benutzt werden.
²⁾ Alternativ darf anstelle der Gleichung **Bild C-4** benutzt werden.
³⁾ Alternativ darf anstelle der Gleichung **Bild C-3** in Verbindung mit **Bild C-4** benutzt werden.
⁴⁾ Zusätzliche Biegemomente durch die Druckkraft sind in Betracht zu ziehen.
⁵⁾ Alle Spannungsverhältnisse S_i sind positiv anzusetzen.

Tabelle C-1: Interaktionsgleichungen für allgemeine Balkenformen (siehe Abschnitt C 2.2)

Anhang D

Experimentelle Methoden

D 1 Allgemeingültige Festlegungen

D 1.1 Geltungsbereich

(1) Können die wesentlichen Beanspruchungen in Bauteilen durch eine theoretische Spannungsanalyse nicht ausreichend nachgewiesen werden oder stehen keine geeigneten Nachweisregeln zur Verfügung, muss eine experimentelle Untersuchung durchgeführt werden.

(2) Eine Wiederholung von experimentellen Untersuchungen ist nicht notwendig, wenn für eine Problemstellung bereits ausreichende und übertragbare Versuchsergebnisse zur Verfügung stehen.

Hinweis:

Siehe hierzu auch Abschnitt 6.2.4.1.

D 1.2 Wanddickenzuschläge

Bei der Festlegung der Versuchsparameter und bei der Interpretation der Ergebnisse sind Wanddickenzuschläge (z.B. Korrosionszuschläge, Plattierungen) als nichttragend zu berücksichtigen.

D 1.3 Prüfungen und Berichterstattung

Für die experimentellen Prüfungen sind ein Versuchsprogramm gemäß Abschnitt 6.2.5 und ein Versuchsbericht zu erstellen.

D 2 Versuche mit ruhender Belastung

D 2.1 Versuchsarten

D 2.1.1 Versuche zur Bestimmung vorhandener Spannungen

Zur Bestimmung vorhandener Spannungen sind Dehnungsmessungen und spannungsoptische Prüfungen zugelassen. Reißlackprüfungen dürfen nur für die unter Abschnitt D 2.3.1 beschriebenen Zwecke angewendet werden.

D 2.1.2 Versuche zur Bestimmung der Traglast P_c

Zur Bestimmung der Traglast P_c dürfen Dehnungsmessungen angewendet werden. Formänderungsmessungen dürfen nur dann zur Bestimmung der Traglast vorgenommen werden, wenn eindeutig nachgewiesen werden kann, dass Versuchsaufbau und verwendete Messgeräte zu gültigen Ergebnissen für die zu prüfende Konfiguration führen.

D 2.1.3 Zerstörende Prüfungen

Die Verwendung von Ergebnissen von zerstörenden Prüfungen ist für experimentelle Nachweise nach diesem Anhang nicht zulässig.

D 2.2 Versuchsverfahren

D 2.2.1 Verfahren für Dehnungs- oder Formänderungsmessungen

(1) Mit Ausnahme von Versuchen zur Messung der Traglast dürfen Messergebnisse von Dehnungsmessungen mit Dehnungsmessstreifen an der Komponente oder an Modellkomponenten beliebigen Maßstabs herangezogen werden. Der Werkstoff des Modells muss nicht derselbe wie der der Komponente

sein. Der Elastizitätsmodul muss jedoch bekannt sein oder unter den Versuchsbedingungen ermittelt werden. Die Ähnlichkeitsgesetze sollen soweit wie möglich erfüllt werden.

(2) Im Falle der experimentellen Ermittlung der Traglast sind nur maßstabsgetreue Modelle, die in jeder Hinsicht dem Prototypen entsprechen, erlaubt; es sei denn, die Gültigkeit der angewandten Maßstabsgesetze kann eindeutig nachgewiesen werden.

D 2.2.2 Spannungsoptische Verfahren

Beim spannungsoptischen Verfahren dürfen entweder zwei oder dreidimensionale Verfahren angewendet werden, sofern das Modell die Beanspruchungen repräsentativ wiedergibt.

D 2.3 Versuchsdurchführung

D 2.3.1 Anordnung von Messwertaufnehmern

(1) Bei Versuchen zur Bestimmung von Spannungen ist so zu instrumentieren, dass durch die Messungen die Bereiche der maximalen Beanspruchungen ausreichend erfasst und die Spannungsponenten soweit möglich ermittelt werden. Sind die hochbeanspruchten Bereiche des Bauteils zunächst nicht bekannt, so bietet sich hierzu der Einsatz eines Reißlackversuches an.

(2) Bei Versuchen zur Messung der Traglast müssen entsprechend viele Messungen vorgenommen werden, so dass alle Bereiche, in denen das Auftreten einer minimalen Traglast zu erwarten ist, ausreichend erfasst sind. Wenn zur Bestimmung der Traglast Dehnungsmessstreifen verwendet werden, ist besonders darauf zu achten, dass die Dehnungen (entweder Membran, Biegedehnung oder eine Kombination beider) gemessen werden, die das Traglastverhalten der Struktur bestimmen. Bei Verwendung von Formänderungsmessgeräten ist sicherzustellen, dass die Veränderungen der Hauptabmessungen oder Verformungen gemessen werden, z. B. Durchmesservergrößerungen oder Verlängerungen sowie Balken- oder Plattendurchbiegung. Diese Messgrößen müssen zur Beurteilung des Strukturverhaltens infolge der Überschreitung der Traglast aussagekräftig sein.

D 2.3.2 Versuche mit mechanischer Belastung

(1) Bei Versuchen zur Bestimmung von auftretenden Beanspruchungen sind mechanische Belastungen derartig zu steigern, dass die Änderung der Dehnung in Abhängigkeit von der Belastung aufgezeichnet und somit das Verhältnis von Spannung zu Belastung im elastischen Bereich festgestellt werden kann. Wenn der erste Belastungsvorgang zu Dehnungen führt, die zur Belastung nicht linear proportional sind, so darf nacheinander entlastet und wieder belastet werden, bis eine lineare Proportionalität erreicht ist. Wenn spannungsoptische Einfrierverfahren angewandt werden, ist einmalig zu belasten. Diese Belastung darf nur so hoch sein, dass die resultierenden Verformungen zu gültigen Versuchsergebnissen führen.

(2) Bei Versuchen zur Messung der Traglast soll die proportionale Belastung in entsprechend kleinen Schritten gesteigert werden, so dass für jeden Dehnungsmessstreifen eine angemessene Anzahl von Messdaten für statistische Analysen im Bereich linear-elastischen Werkstoffverhaltens zur Verfügung steht. Alle Dehnungsmessstreifen sollten ausgewertet werden, bevor die Belastung erhöht wird. Durch die Messpunkte soll nach der Methode der kleinsten Quadrate eine Gerade G_1

(siehe **Bild D-1**) gelegt werden. Der Streubereich ist mit den vorgegebenen Abweichungsgrößen zu vergleichen. Bei Überschreitungen sollen die betroffenen Dehnungsmessstreifen oder andere Messeinrichtungen ausgewechselt werden. Für die Ersatzinstrumentierung gelten die gleichen Bedingungen.

(3) Nachdem die Messeinrichtungen als geeignet beurteilt wurden, soll der Versuch dehnungs- oder verschiebungskontrolliert fortgesetzt werden, indem zwischen den Laständerungen ausreichend Zeit zur Beendigung des Werkstofffließens gelassen wird.

D 2.4 Interpretation der Ergebnisse

D 2.4.1 Berechnung von Spannungen

In Abschnitt 6.2.4.2.2.7 (5) ist eine modifizierte Querdehnungszahl (Poisson) angegeben, die nur bei lokalen thermischen Spannungen anzuwenden ist. Dieser modifizierte Wert darf aber auch bei jeder Berechnung angewandt werden, bei der Vergleichsspannungsschwingbreiten auftreten, die den Intensitätswert von $2,0 \cdot R_{p0,2T}$ überschreiten. Wird die Vergleichsspannungsgrenze an einer Stelle (z.B. eines Ermüdungsmodells) nicht eingehalten, so ist die modifizierte Querdehnungszahl bei der Ermittlung der Vergleichsspannungsschwingbreite zu berücksichtigen.

D 2.4.2 Interpretation auf der Grundlage des elastischen Werkstoffverhaltens

Die Versuchsergebnisse sollen auf der Grundlage des elastischen Werkstoffverhaltens interpretiert werden, um die den spezifizierten Belastungen entsprechenden Spannungen zu bestimmen, d. h. im Falle der Auswertung von Dehnungen anhand von Messergebnissen von Dehnungsmessstreifen soll bei den Berechnungen davon ausgegangen werden, dass der Werkstoff sich elastisch verhält. Bei der Auswertung der Versuchsdaten sollen die Elastizitätskenngrößen des Versuchswerkstoffes bei Versuchstemperatur zur Anwendung kommen.

D 2.4.3 Umfang der Spannungsmessungen

Der Umfang der durchgeführten Spannungsmessungen soll so sein, dass er für die Bestimmung der wesentlichen Spannungen ausreicht. Wenn möglich, sollen analytische in Verbindung mit experimentellen Methoden zur Unterscheidung zwischen Primärspannungen, Sekundärspannungen und Spannungsspitzen angewandt werden, so dass jede Spannungskategorie mit den anzuwendenden Spannungsgrenzen verglichen werden kann.

D 2.4.4 Kriterien für die Traglast P_c

(1) Bei Formänderungsmessungen sind die Belastungen als Ordinate und die gemessenen Verformungen als Abszisse aufzutragen. Bei Versuchen mit Dehnungsmessstreifen sind die Belastungen als Ordinate und die maximalen Hauptdehnungen an der Oberfläche als Abszisse aufzutragen.

(2) Die nach der Methode der kleinsten Quadrate ermittelte Gerade, die sich aus den Messergebnissen des linear elastischen Bereiches ergibt, wird für alle Messstellen aufgetragen. Der Winkel, den diese Gerade G_1 mit der Ordinate bildet, wird Θ genannt. Eine zweite Gerade G_2 , im Folgenden Grenzgerade für die Traglast genannt, wird durch den Schnittpunkt der Geraden G_1 und der Abszisse gezogen, so dass sie mit der Ordinate den Winkel $\varphi = \arctan(2 \tan \Theta)$ bildet (siehe **Bild D-1**).

(3) Die Versuchstraglast ist wie folgt aus dem maximalen Hauptdehnungs- oder Verformungswert zu ermitteln: Der erste Messpunkt, für den es drei weitere Messpunkte außerhalb der Grenzgeraden für die Traglast gibt, wird Traglastpunkt genannt.

Die Versuchstraglast wird bestimmt als die Last auf der Grenzgeraden für Traglast G_2 , die maximale Hauptdehnung oder Verformung des Traglastpunktes hat. Die für Nachweis- oder Berechnungszwecke verwendete Traglast soll als Versuchstraglast multipliziert mit dem Verhältnis aus der Dehngrenze $R_{p0,2T}$ des Werkstoffes bei Temperatur und des Versuchswerkstoffes bei Versuchstemperatur gewählt werden.

D 3 Versuche mit Wechselbelastung

D 3.1 Allgemeingültige Festlegungen

Ermüdungsversuche dürfen vorgenommen werden, um zu ermitteln, ob und inwieweit eine Komponente oder ein Teil davon einer wechselnden Beanspruchung standhält.

D 3.2 Voraussetzungen für Versuche bei Wechselbelastung

Hinweis:

In diesem Abschnitt soll der Begriff "Komponente" so verstanden werden, dass er Bauteile sowie deren Einzelteile einschließt.

Experimentelle Methoden sind ein geeignetes Verfahren zur Ermittlung der Ermüdungsfestigkeit der Komponente. Wenn man weiterhin den Nachweis für die Zulässigkeit höherer Spannungsspitzen als die nach den Methoden in den Abschnitten D 2.1 und D 2.2 sowie nach den Ermüdungskurven der eingesetzten Werkstoffe benötigt, so darf der Nachweis, dass eine Komponente ausreichend dimensioniert ist, um einer Wechselbelastung standzuhalten, mittels eines Ermüdungsversuches geführt werden. Der Ermüdungsversuch darf jedoch nicht angewandt werden, um die Überschreitung der zulässigen Werte der Primärspannung oder Primär- plus Sekundärspannung zu rechtfertigen.

D 3.3 Anforderungen für Ermüdungsversuche an der Komponente

(1) Die Versuchskomponenten sollen aus einem Werkstoff bestehen, dessen mechanisch-technologische Eigenschaften denen des Werkstoffes der Komponente entsprechen.

Die geometrische Ähnlichkeit muss zumindest bei jenen Teilen erhalten bleiben, die im Ermüdungsversuch untersucht werden sollen. Dies soll auch für die angrenzenden Bereiche zutreffen, soweit die Spannungen im zu prüfenden Teil beeinflusst werden.

(2) Die Versuchskomponenten sollen der in (3) angegebenen Anzahl von Lastspielen standhalten, bevor ein Versagen auftritt.

Hinweis:

Unter Versagen wird hier das Anwachsen eines Risses über die ganze Wanddicke verstanden, was in einem druckführenden Bauteil zu einem erkennbaren Leck führen würde.

(3) Die Mindestanzahl an Lastspielen (im Folgenden als Versuchslastspielzahl bezeichnet), denen die Komponente standhalten soll und die Belastungsgröße (im Folgenden als Versuchsbelastung bezeichnet), der die Komponente während des Versuches ausgesetzt wird, sind zu bestimmen, indem die spezifizierten Betriebslastspiele mit einem spezifizierten Faktor K_{TN} und die spezifizierten Betriebslasten mit K_{TS} multipliziert werden.

Diese Faktoren sollen aus dem Diagramm zur Ermittlung der Versuchsparameter, dessen Erstellung im Folgenden in a) bis e) beschrieben und dessen Darstellung im **Bild D-2** gegeben ist, entnommen werden. Hierbei wird von der Ermüdungskurve in **Bild 6-3** ausgegangen.

a) Bei der spezifizierten Betriebslastspielzahl N_D ist eine Vertikale auf der Abszissenachse mit der Ordinate $K_S \cdot S_{aD}$ (K_S nach (7)) zu errichten. Der Endpunkt dieser Vertikalen wird

mit A, der Schnittpunkt mit der Ermüdungskurve mit D bezeichnet.

- b) Es ist eine Horizontale durch Punkt D zu legen bis sie die Abszisse von $K_n \cdot N_D$ (K_n nach (7)) schneidet. Dieser Schnittpunkt wird mit B bezeichnet.
- c) Es sind die Punkte A und B zu verbinden. Auf der Verbindungslinie AB liegen alle zulässigen Kombinationen von K_{TS} und K_{TN} (siehe (4) für Versuche mit verminderter Versuchslastspielzahl bei gleichzeitig erhöhter Versuchsbelastung). Auf der Verbindungslinie AB kann ein beliebiger Punkt C gewählt werden. Bezüglich **Bild D-2** werden die Faktoren K_{TS} und K_{TN} wie folgt definiert:

$$K_{TS} = \frac{\text{Ordinate in Punkt C}}{\text{Ordinate in Punkt D}}$$

und

$$K_{TN} = \frac{\text{Abszisse in Punkt C}}{\text{Abszisse in Punkt D}}$$

Somit ist

P_T (Versuchsbelastung) = K_{TS} mal spezifizierte Betriebsbelastung

und

N_T (Versuchslastspielzahl) = K_{TN} mal spezifizierte Betriebslastspielzahl.

- d) Falls der Prüfling nicht in allen das Versuchsergebnis beeinflussenden Abmessungen mit der Komponente übereinstimmt, sondern ein geometrisch ähnliches Modell und die Belastung keine Druckdifferenz ist, muss die Versuchswechselbelastung P_T durch einen geeigneten Korrekturfaktor nach Ähnlichkeitsgesetzen berichtigt werden. Die Zahl der Lastspiele, die die Komponente während eines Versuches mit der Versuchslast P_T ohne Versagen ertragen muss, soll nicht unter N_T liegen.
- e) Sofern bei der Durchführung des Versuches entweder nur die Belastung oder nur die Anzahl der Lastspiele erhöht werden soll, sind die Anforderungen gemäß den Absätzen (5) und (6) zu beachten.

(4) Versuche mit verminderter Versuchslastspielzahl bei gleichzeitig erhöhter Versuchsbelastung (Versuchslastspiele N_T sind kleiner als Nachweislastspiele N_D) können durchgeführt werden, wenn die Nachweislastspiele N_D größer als 10^4 sind und die Versuchsbedingungen gemäß a) bis c) bestimmt sind (siehe **Bild D-3**). Die in diesem Bild mit A, B und D bezeichneten Punkte entsprechen den mit den gleichen Buchstaben bezeichneten Punkten des **Bildes D-2**.

- a) Die minimale Versuchslastspielzahl N_{Tmin} soll sein

$$N_{Tmin} = 10^2 \cdot \sqrt{N_D} \quad (\text{D 2-1})$$

Es ist eine Vertikale von N_{Tmin} auf der Abszisse so einzutragen, dass sie die Ermüdungskurve schneidet und darüber hinausgeht.

- b) Es ist eine Kurve durch den Punkt A zu konstruieren, die die Vertikale von N_T (siehe (4) a)) schneidet, indem jeder Punkt auf der Ermüdungskurve mit dem Faktor K_s (siehe (7)) multipliziert wird. Der Schnittpunkt dieser Kurve mit der Vertikalen von N_{Tmin} heißt A'.
- c) Jeder Punkt C auf dem Abschnitt A', A, B bestimmt die zulässigen Kombinationen von K_{TS} und K_{TN} . Die Faktoren K_{TS} und K_{TN} erhält man auf dieselbe Art wie in (3) beschrieben.

- (5) **Fall 1** (nur Versuchslastspielzahl wird erhöht)

In diesem Fall ist $K_{TS} = 1$ und

$$K_{TN} = \frac{\text{Abszisse in Punkt B}}{\text{Abszisse in Punkt D}}$$

Die Anzahl der Versuchslastspiele, denen die Komponente während eines Versuches mindestens standhalten muss, darf nicht unter $N_T = K_{TN}$ mal spezifizierte Betriebslastspiele liegen. Im Falle des Einsatzes eines Modells ist die Betriebswechselbelastung entsprechend zu berichtigen (siehe auch (3) d)).

- (6) **Fall 2** (nur Versuchsbelastung wird erhöht)

In diesem Fall ist $K_{TN} = 1$ und

$$K_{TS} = \frac{\text{Ordinate in Punkt A}}{\text{Ordinate in Punkt D}}$$

Die Komponente muss mindestens einer Anzahl von Lastspielen standhalten, die gleich der Anzahl der spezifizierten Betriebslastspiele ist, wobei die Komponente einer Versuchswechselbelastung $P_N = K_{TS}$ mal spezifizierte Betriebswechselbelastung unterworfen wird. Wenn es sich um ein Modell handelt, ist deren Größe wiederum zu berichtigen (siehe auch (3) d)).

- (7) Die Werte K_s und K_n sind die Produkte von Faktoren, die sich aus den Einflüssen der Abmessung, Oberflächengüte, der Lastspielfrequenz, der Temperatur und der Anzahl der durchgeführten Versuche ergeben. Sie werden wie folgt bestimmt:

$$K_s = K_{sl} \cdot K_{sf} \cdot K_{st} \cdot K_{ss} \cdot K_{sc} \quad (\text{D 2-2})$$

$$K_n = (K_s)^{4,3} \quad (\text{D 2-3})$$

K_s darf niemals unter 1,25 liegen.

Die einzelnen Faktoren sind wie folgt definiert:

K_{sl} : Faktor zur Erfassung des Einflusses der Abmessungen auf die Ermüdungsfestigkeit

$K_{sl} = 1,5 - 0,5 \text{ LM/LK}$, wobei LM/LK das Verhältnis der Größe des linearen Modells zur Originalgröße der Komponente ist.

K_{sf} : Faktor zur Erfassung des Einflusses der Oberflächengüte

$K_{sf} = 1,175 - 0,175 \text{ OGM/OGK}$, wobei OGM/OGK das Verhältnis der Modelloberflächengüte zur Oberflächengüte der Komponente ist, angegeben in μm als arithmetischer Mittelwert (AM).

K_{st} : Faktor zur Erfassung des Einflusses der Versuchstemperatur

$$K_{st} = \frac{S_s \text{ bei Versuchstemperatur}}{S_s(N) \text{ bei Temperatur der Ermüdungskurve}}$$

wobei $S_a(N)$ auf den S_a -Wert der Ermüdungskurve bei N Lastspielen bezogen ist (**Bilder 6-3 und 6-4**).

K_{ss} : Faktor für die statistische Abweichung der Versuchsergebnisse

$K_{ss} = 1,470 - 0,044$ mal Anzahl der durchgeführten Versuche.

K_{sc} : Faktor für die Differenzen der S_a -Werte der Ermüdungskurve zum S_a -Wert bei Nachweistemperatur (Korrektur des Temperatureinflusses gemäß Hinweis in den **Bildern 6-3 und 6-4**).

Bei der Berechnung von K_s darf keiner der Faktoren K_{sl} , K_{sf} , K_{st} , K_{ss} oder K_{sc} kleiner als 1,0 sein.

D 3.4 Bestimmung des Ermüdungsfaktors

Die experimentelle Bestimmung der Ermüdungsfaktoren soll gemäß der im Folgenden in a) bis e) angegebenen Verfahren erfolgen:

- a) Der Prüfling ist aus einem Werkstoff vergleichbar mit dem der Komponente herzustellen und einer vergleichbaren Wärmebehandlung wie die der Komponente zu unterwerfen.
- b) Das Spannungsniveau im Prüfling darf die Vergleichsspannungsgrenze für primäre und sekundäre Spannungen gemäß **Tabelle 6-5** nicht überschreiten. Darüber hinaus darf im Versuch kein Versagen bei Lastspielzahlen unterhalb 1000 auftreten.
- c) Form, Oberflächengüte und Spannungszustand des Prüflings sollen eine möglichst genaue Wiedergabe der Verhältnisse erbringen, wie sie für die Komponente erwartet werden. Insbesondere soll der Spannungsgradient nicht steiler sein als er in der Komponente erwartet wird.
- d) Die Lastspielfrequenz darf keine merkliche Erwärmung der Probe ergeben.
- e) Der Ermüdungsfaktor soll vorzugsweise anhand von Versuchen an gekerbten und ungekerbten Proben bestimmt werden und aus dem Verhältnis von Nichtkerbspannung zu Kerbspannung für Versagen berechnet werden.

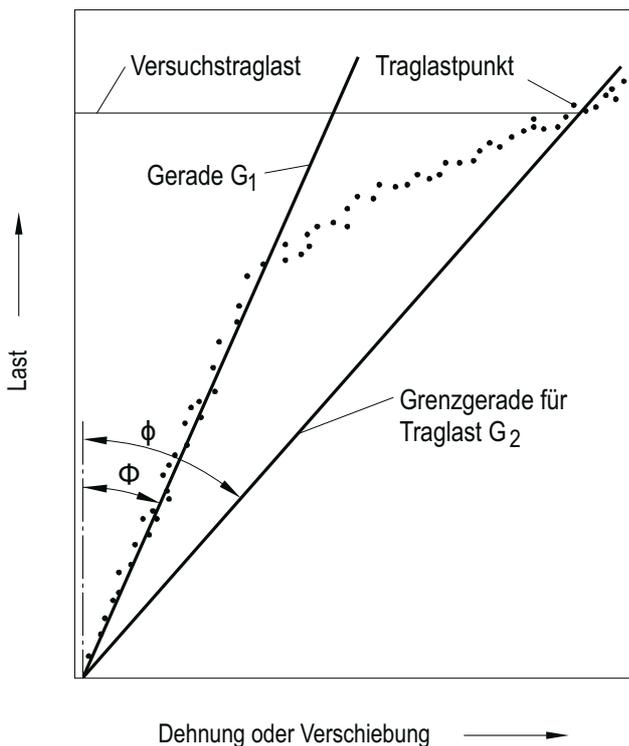


Bild D-1: Nachweis für Abschnitt D 2.4.4

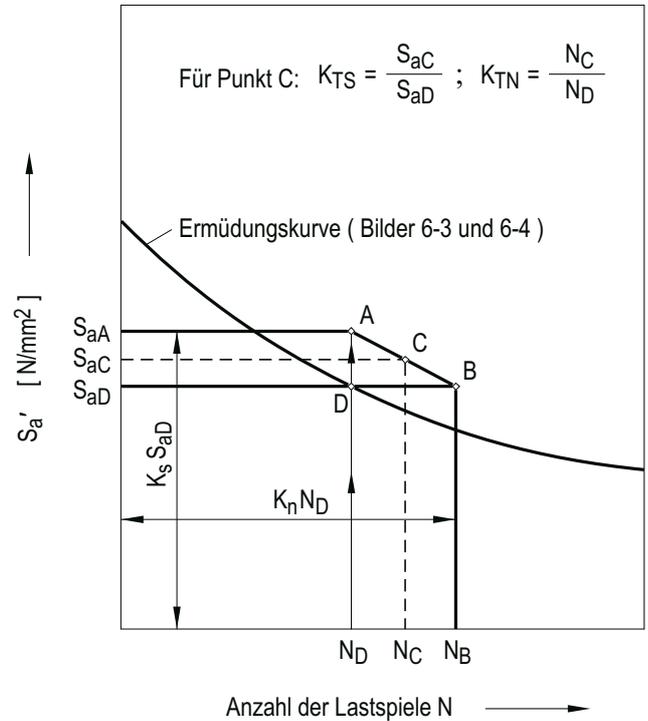


Bild D-2: Diagramm zur Ermittlung der Versuchsparameter (siehe Abschnitt D 3.3 (3))

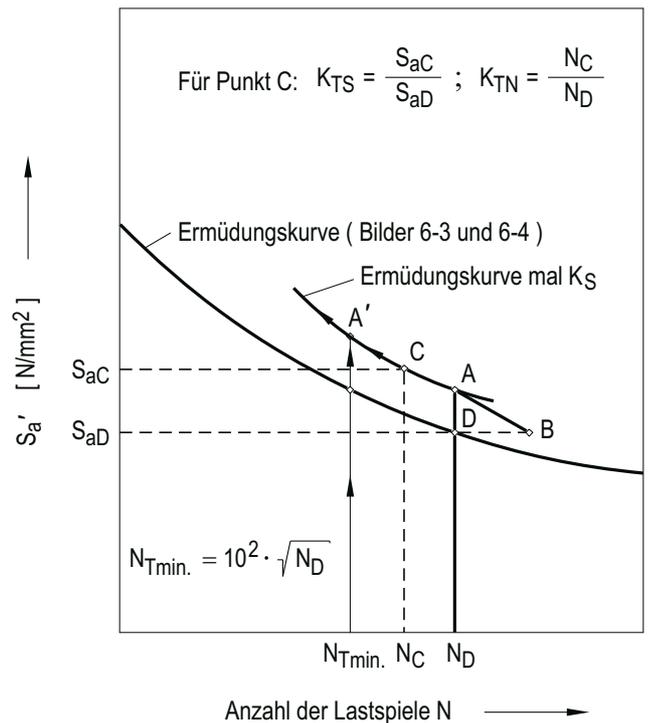


Bild D-3: Diagramm zur Ermittlung der Versuchsparameter für Versuche mit verminderter Versuchslastspielzahl (siehe Abschnitt D 3.3 (4))

Anhang E

Prüfung auf Heißrissanfälligkeit (Ring-Segment-Probe)

E 1 Allgemeines

(1) Das Prüfverfahren ist auf austenitische Schweißzusätze mit einem Deltaferritgehalt von 5 % und weniger sowie für Schweißzusätze aus Nickellegierungen anzuwenden.

(2) Die Prüfung gilt für das Metall-Lichtbogenschweißen mit Stabelektroden, das Metall- und Wolfram-Schutzgasschweißen.

E 2 Prüfstück

E 2.1 Prüfstückform

Das Prüfstück hat aus vier gleich großen quadratischen Segmenten zu bestehen, in die nach dem beidseitigen Heftschiweißen einseitig eine Ringnut einzudrehen ist (**Bild E-1**).

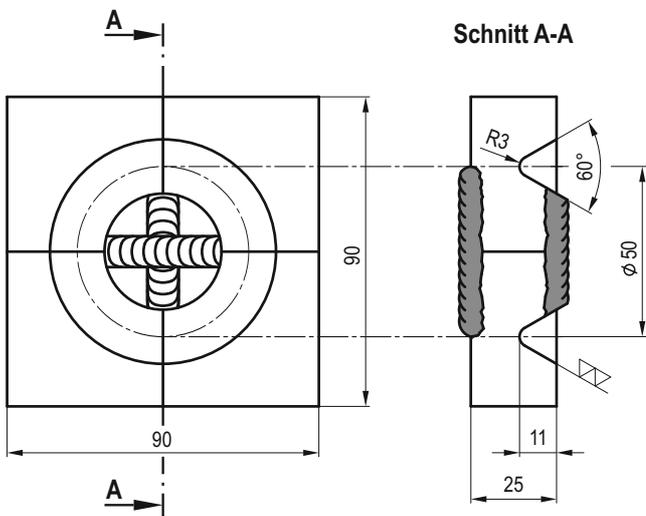


Bild E-1: Prüfstückform

E 2.2 Grundwerkstoffe

(1) Für das Prüfstück ist der Grundwerkstoff X6 CrNiNb 18 10, Werkstoff-Nr. 1.4550 nach DIN EN 10088-2 zu verwenden, falls in der Bestellvorschrift nicht anders gefordert.

Für das Prüfstück ist grundsätzlich der Grundwerkstoff 1.4550 nach DIN EN 10088-3 zu verwenden. Wird für die Bauteilschweißung der Grundwerkstoff 1.4306 eingesetzt, darf auch dieser Werkstoff für das Prüfstück verwendet werden.

(2) Schweißzusätze gelten als „nicht rissanfällig“, wenn die Schweißnähte bei der Prüfung als rissfrei ausgewiesen werden.

E 2.3 Vorbereitung

(1) Vier gleich große quadratische Teile von 25 mm Dicke und einer Kantenlänge von 45 mm sind derart vorzubereiten, dass aus ihnen nach Heftschiweißen das Prüfstück (**Bild E-1**) hergestellt werden kann. Die Walzhaut darf belassen werden. Vor dem Heftschiweißen sind die sich berührenden Flächen plan zu schleifen.

(2) Bei Grundwerkstoffkombinationen haben jeweils die Segmente A und C sowie B und D aus demselben Grundwerkstoff zu bestehen.

E 2.4 Arbeitsfolge (**Bild E-2**)

- Flächen 1-0 der Teile A und B sowie Flächen 3-0 der Teile C und D schleifen.
- Teile A und B sowie C und D zusammenspannen.
- Teile A und B sowie C und D beidseitig durch Heftnähte (25 mm lang) verbinden.
- Flächen 4-0-2 der gehefteten Teile A-B und C-D schleifen.
- Geheftete Teile A-B und C-D zusammenspannen.
- Geheftete Teile A-B und C-D beidseitig durch Heftnähte (50 mm lang) verbinden.

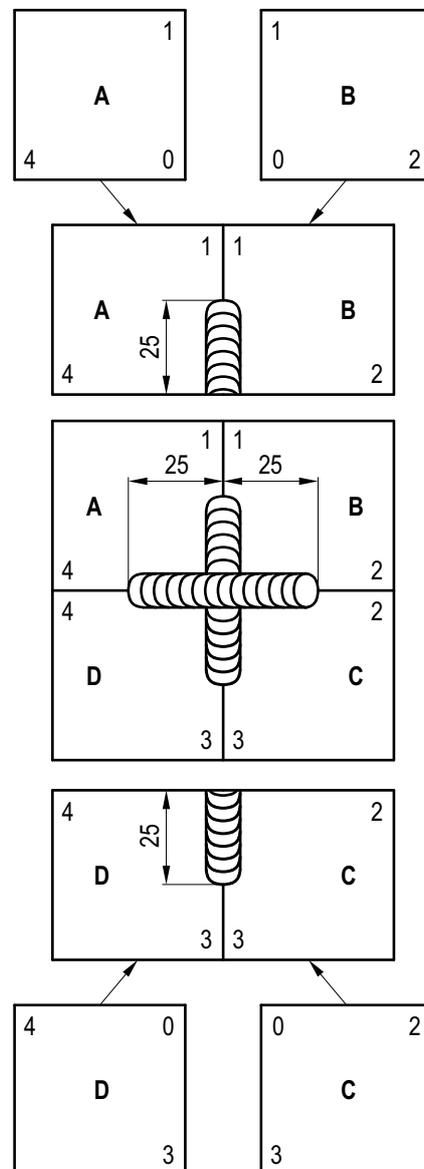


Bild E-2: Vorbereiten des Prüfstückes

E 2.5 Ringnut

Nach dem Heften des Prüfstücks ist auf einer Seite eine Ringnut mit den Abmessungen nach **Bild E-1** einzudrehen. Bei der mechanischen Bearbeitung sind Kühlflüssigkeiten nicht zulässig.

E 3 Probenherstellung

E 3.1 Schweißbedingungen

Stromart, Polung und Art des Schutzgases müssen den Schweißbedingungen entsprechen, für die die zu prüfenden Schweißzusätze nicht heißrisanfällig sein sollen.

E 3.2 Durchmesser des Schweißzusatzes

Zur Fertigung der Proben sind die bei der Bauteilschweißung zum Einsatz kommenden Durchmesser der Schweißzusätze zu verwenden.

E 3.3 Schweißposition

Die Probe ist in Wannelage (PA) zu schweißen.

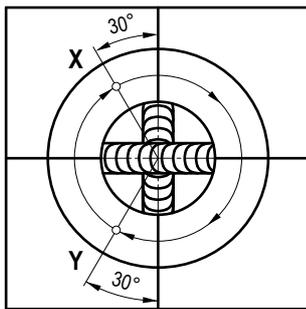


Bild E-3: Schweißen des Prüfstücks

E 3.4 Schweißen

Von Punkt X (**Bild E-3**) ist im Uhrzeigersinn ohne Pendeln und Absetzen bis zu Punkt Y zu schweißen. Nach Abkühlen der Probe auf etwa Raumtemperatur und Reinigen von Nahtoberfläche und Nut ist von Punkt Y bis zu Punkt X ebenfalls im Uhrzeigersinn und ohne Pendeln sowie Absetzen zu schweißen. Die Schweißgeschwindigkeit für die Strecken X - Y und Y - X ist vom Hersteller in Abhängigkeit von Schweißzusatz und -prozess festzulegen.

E 4 Auswertung

(1) Nach Abkühlung der Probe auf Raumtemperatur ist die gesäuberte Ringnaht mittels Eindringverfahren mit der Empfindlichkeitsklasse 4 nach DIN EN ISO 3452-2 Abschnitt 4.2.2 auf Oberflächenrisse zu untersuchen.

(2) Nach der Oberflächenprüfung ist die Probe zur Überprüfung der Wurzelerfassung an den vier Trennstellen zu brechen.

E 5 Prüfbericht

Im Prüfbericht sind anzugeben:

- a) Schweißzusätze (Handels- und DIN-Bezeichnung, Fertigungseinheit),
- b) Schweißhilfsstoffe (z. B. Schutzgas),
- c) Grundwerkstoff oder Grundwerkstoffkombination,
- d) Schweißprozess,
- e) Schutzgasmenge,
- f) Stromquelle, Stromstärke, Stromart, Polung,
- g) mittlere Nahtdicke, vom Nutgrund aus an drei Stellen gemessen und auf 0,1 mm gerundet,
- h) Prüfergebnis
 - ha) falls kein Riss gefunden wurde, „nicht rissanfällig“;
 - hb) falls Risse gefunden wurden, Angabe von Lage, Richtung, Anzahl und Länge der Risse sowie Einzelheiten der Auswertung;
- i) gegebenenfalls Abweichungen von Festlegungen dieses Anhangs und
- k) Angabe von Prüfer und Datum.

Anhang F

Prüfung auf Heißrissanfälligkeit (Zylinderprobe)

F 1 Allgemeines

(1) Das Prüfverfahren ist auf austenitische Schweißzusätze mit einem Deltaferritgehalt von 5 % und weniger sowie für Schweißzusätze aus Nickellegierungen anzuwenden.

(2) Die Prüfung gilt für das Draht-Pulver-Schweißen. Hierbei ist die Prüfbedingung schärfer als bei den Doppelkehlnahtproben der Typen B oder C gemäß DIN EN ISO 17641-2.

F 2 Prüfstück

F 2.1 Prüfstückform

Das Prüfstück hat aus zwei gleich großen zylindrischen Stababschnitten zu bestehen (**Bild F-1**).

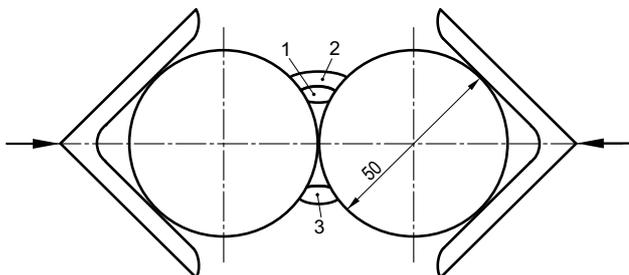


Bild F-1: Prüfstückform

F 2.2 Grundwerkstoffe

(1) Für das Prüfstück ist grundsätzlich der Grundwerkstoff 1.4550 nach DIN EN 10088-3 zu verwenden. Wird für die Bauteilschweißung der Grundwerkstoff 1.4306 eingesetzt, darf auch dieser Werkstoff für das Prüfstück verwendet werden.

(2) Schweißzusätze gelten als „nicht rissanfällig“, wenn die Schweißnähte bei der Prüfung als rissfrei ausgewiesen werden.

F 2.3 Vorbereitung

Zwei mindestens 300 mm lange zunderfreie Rundstäbe werden mit geringem Anpressdruck gegeneinander gespannt und geschweißt (siehe **Bild F-1**). Ziffer 1 bis 3 gibt die Reihenfolge der Schweißlagen (Raupen) an.

F 3 Probenherstellung

F 3.1 Schweißbedingungen

Stromart, Polung und Art des Schutzgases müssen den Schweißbedingungen entsprechen, für die die zu prüfenden Schweißzusätze nicht heißrissanfällig sein sollen.

F 3.2 Durchmesser des Schweißzusatzes

Zur Fertigung der Proben sind die bei der Bauteilschweißung zum Einsatz kommenden Durchmesser der Schweißzusätze zu verwenden.

F 3.3 Schweißposition

Die Probe ist in Wannenlage (PA) zu schweißen.

F 3.4 Schweißen

(1) Die 3 Lagen (Raupen) sind mit nur einem Schweißdraht jeweils ohne Unterbrechung so zu schweißen, dass die Schweißrichtung jedes Mal entgegengesetzt ist. Die Zeitspanne zwischen Fertigstellung einer Lage und dem Schweißen der nächsten Lage darf nicht mehr als 20 Sekunden betragen.

(2) Die Prüfnaht muss eine Dicke $a = 4 + 0,3/-0,5$ mm aufweisen, jedoch mindestens 20 % dünner sein als die Summe der Dicke von Naht 1 und 2.

(3) Bei Nichteinhaltung der Anforderungen an die Abmessungen der Schweißraupen muss die Prüfung für ungültig erklärt werden.

(4) Die Schweißgeschwindigkeit ist vom Hersteller in Abhängigkeit von Schweißzusatz und -prozess festzulegen.

F 4 Auswertung

Nach Abkühlung der Probe auf Raumtemperatur ist die gesäuberte Naht 3 (Prüfnaht) visuell mit einer Lupe (Vergrößerung etwa 6-fach) sowie mittels Eindringverfahren mit der Empfindlichkeitsklasse 4 nach DIN EN ISO 3452-2 Abschnitt 4.2.2 auf Oberflächenrisse zu untersuchen.

F 5 Prüfbericht

Im Prüfbericht sind anzugeben:

- a) Schweißzusätze (Handels- und DIN-Bezeichnung, Fertigungseinheit),
- b) Schweißhilfsstoffe (z. B. Pulver),
- c) Grundwerkstoff,
- d) Schweißprozess,
- e) Stromquelle, Stromstärke, Stromart, Polung,
- f) mittlere Nahtdicke, an drei Stellen gemessen und auf 0,1 mm gerundet,
- g) Prüfergebnis
 - ga) falls kein Riss gefunden wurde, „nicht rissanfällig“;
 - gb) falls Risse gefunden wurden, Angabe von Lage, Richtung, Anzahl und Länge der Risse sowie Einzelheiten der Auswertung;
- h) gegebenenfalls Abweichungen von Festlegungen dieses Anhangs und
- i) Angabe von Prüfer und Datum.

Anhang G

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 2 Absatz 2 des Gesetzes vom 20. Juli 2017 (BGBl. I 2017, Nr. 52, S. 2808)
StrlSchV		Verordnung über den Schutz vor Schäden durch ionisierende Strahlen (Strahlenschutzverordnung – StrlSchV) vom 20. Juli 2001 (BGBl. I S. 1714; 2002 I S. 1459), zuletzt geändert nach Maßgabe des Artikel 10 durch Artikel 6 des Gesetzes vom 27. Januar 2017 (BGBl. I S. 114, 1222)
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 1202	(2017-11)	Anforderungen an das Prüfhandbuch
KTA 1401	(2017-11)	Allgemeine Anforderungen an die Qualitätssicherung
KTA 1404	(2013-11)	Dokumentation beim Bau und Betrieb von Kernkraftwerken
KTA 2201.4	(2012-11)	Auslegung von Kernkraftwerken gegen seismische Einwirkungen; Teil 4: Anlagenteile
KTA 2502	(2011-11)	Mechanische Auslegung von Brennelementlagerbecken in Kernkraftwerken mit Leichtwasserreaktoren
KTA 3201.2	(2017-11)	Komponenten des Primärkreises von Leichtwasserreaktoren; Teil 2: Auslegung, Konstruktion und Berechnung
KTA 3201.3	(2017-11)	Komponenten des Primärkreises von Leichtwasserreaktoren; Teil 3: Herstellung
KTA 3201.4	(2016-11)	Komponenten des Primärkreises von Leichtwasserreaktoren; Teil 4: Wiederkehrende Prüfungen und Betriebsüberwachung
KTA 3205.1	(2002-06)	Komponentenstützkonstruktionen mit nichtintegralen Anschlüssen; Teil 1: Komponentenstützkonstruktionen mit nichtintegralen Anschlüssen für Primärkreis-komponenten in Leichtwasserreaktoren
KTA 3902	(2012-11)	Auslegung von Hebezeugen in Kernkraftwerken
KTA 3903	(2012-11)	Prüfung und Betrieb von Hebezeugen in Kernkraftwerken
DIN EN ISO 148-1	(2017-05)	Metallische Werkstoffe - Kerbschlagbiegeversuch nach Charpy - Teil 1: Prüfverfahren (ISO 148-1:2016); Deutsche Fassung EN ISO 148-1:2016
DIN EN ISO 643	(2013-05)	Stahl - Mikrophotographische Bestimmung der erkennbaren Korngröße (ISO 643:2012); Deutsche Fassung EN ISO 643:2012
DIN EN ISO 898-1	(2013-05)	Mechanische Eigenschaften von Verbindungselementen aus Kohlenstoffstahl und legiertem Stahl - Teil 1: Schrauben mit festgelegten Festigkeitsklassen - Regelgewinde und Feingewinde (ISO 898-1:2013); Deutsche Fassung EN ISO 898-1:2013
DIN EN ISO 1101	(2014-04)	Geometrische Produktspezifikation (GPS) - Geometrische Tolerierung - Tolerierung von Form, Richtung, Ort und Lauf (ISO 1101:2012 + Cor. 1:2013); Deutsche Fassung EN ISO 1101:2013
DIN EN ISO 1302	(2002-06)	Geometrische Produktspezifikation (GPS) - Angabe der Oberflächenbeschaffenheit in der technischen Produktdokumentation (ISO 1302:2002); Deutsche Fassung EN ISO 1302:2002, Berichtigung August 2008
DIN EN 1370	(2012-03)	Gießereiwesen - Bewertung des Oberflächenzustandes; Deutsche Fassung EN 1370:2011
DIN EN 1371-2	(2015-04)	Gießereiwesen - Eindringprüfung - Teil 2: Feingussstücke; Deutsche Fassung EN 1371-2:2015
DIN EN 1559-1	(2011-05)	Gießereiwesen - Technische Lieferbedingungen - Teil 1: Allgemeines; Deutsche Fassung EN 1559-1:2011
DIN EN 1559-2	(2014-12)	Gießereiwesen - Technische Lieferbedingungen - Teil 2: Zusätzliche Anforderungen an Stahlgussstücke; Deutsche Fassung EN 1559- 2:2014
DIN EN ISO 2560	(2010-03)	Schweißzusätze - Umhüllte Stabelektroden zum Lichtbogenhandschweißen von unlegierten Stählen und Feinkornstählen - Einteilung (ISO 2560:2009); Deutsche Fassung EN ISO 2560:2009

DIN ISO 2768-1	(1991-06)	Allgemeintoleranzen; Toleranzen für Längen- und Winkelmaße ohne einzelne Toleranzeintragung; Identisch mit ISO 2768-1:1989
DIN ISO 2768-2	(1991-04)	Allgemeintoleranzen; Toleranzen für Form und Lage ohne einzelne Toleranzeintragung; Identisch mit ISO 2768-2:1989
DIN EN ISO 3269	(2000-11)	Mechanische Verbindungselemente - Annahmeprüfung (ISO 3269:2000); Deutsche Fassung EN ISO 3269:2000
DIN EN ISO 3452-1	(2014-09)	Zerstörungsfreie Prüfung - Eindringprüfung - Teil 1: Allgemeine Grundlagen (ISO 3452-1:2013, korrigierte Fassung 2014-05-01); Deutsche Fassung EN ISO 3452-1:2013
DIN EN ISO 3452-2	(2014-03)	Zerstörungsfreie Prüfung - Eindringprüfung - Teil 2: Prüfung von Eindringmitteln (ISO 3452-2:2013); Deutsche Fassung EN ISO 3452-2:2013
DIN EN ISO 3452-3	(2014-03)	Zerstörungsfreie Prüfung - Eindringprüfung - Teil 3: Kontrollkörper (ISO 3452-3:2013); Deutsche Fassung EN ISO 3452-3:2013
DIN EN ISO 3506-1	(2010-04)	Mechanische Eigenschaften von Verbindungselementen aus nichtrostenden Stählen - Teil 1: Schrauben (ISO 3506-1:2009); Deutsche Fassung EN ISO 3506-1:2009
DIN EN ISO 3506-2	(2010-04)	Mechanische Eigenschaften von Verbindungselementen aus nichtrostenden Stählen - Teil 2: Muttern (ISO 3506-2:2009); Deutsche Fassung EN ISO 3506-2:2009
DIN EN ISO 3581	(2016-12)	Schweißzusätze - Umhüllte Stabelektroden zum Lichtbogenhandschweißen von nichtrostenden und hitzebeständigen Stählen - Einteilung (ISO 3581:2016); Deutsche Fassung EN ISO 3581:2016
DIN EN ISO 3651-2	(1998-08)	Ermittlung der Beständigkeit nichtrostender Stähle gegen interkristalline Korrosion - Teil 2: Nichtrostende ferritische, austenitische und ferritisch-austenitische (Duplex)-Stähle; Korrosionsversuch in schwefelsäurehaltigen Medien (ISO 3651- 2:1998); Deutsche Fassung EN ISO 3651-2:1998
DIN EN ISO 3834-1	(2006-03)	Qualitätsanforderungen für das Schmelzschweißen von metallischen Werkstoffen - Teil 1: Kriterien für die Auswahl der geeigneten Stufe der Qualitätsanforderungen (ISO 3834-1:2005); Deutsche Fassung EN ISO 3834-1:2005
DIN EN ISO 3834-2	(2006-03)	Qualitätsanforderungen für das Schmelzschweißen von metallischen Werkstoffen - Teil 2: Umfassende Qualitätsanforderungen (ISO 3834-2:2005); Deutsche Fassung EN ISO 3834-2:2005
DIN EN ISO 4136	(2013-02)	Zerstörende Prüfung von Schweißverbindungen an metallischen Werkstoffen - Querzugversuch (ISO 4136:2012); Deutsche Fassung EN ISO 4136:2012
DIN EN ISO 4287	(2010-07)	Geometrische Produktspezifikation (GPS) - Oberflächenbeschaffenheit: Tastschnittverfahren - Benennungen, Definitionen und Kenngrößen der Oberflächenbeschaffenheit (ISO 4287:1997 + Cor 1:1998 + Cor 2:2005 + Amd 1:2009); Deutsche Fassung EN ISO 4287:1998 + AC:2008 + A1:2009
DIN EN ISO 4759-1	(2001-04)	Toleranzen für Verbindungselemente - Teil 1: Schrauben und Muttern; Produktklassen A, B und C (ISO 4759-1:2000); Deutsche Fassung EN ISO 4759-1:2000
DIN EN ISO 5173	(2012-02)	Zerstörende Prüfungen von Schweißnähten an metallischen Werkstoffen - Biegeprüfungen (ISO 5173:2009 + Amd 1:2011); Deutsche Fassung EN ISO 5173:2010 + A1:2011
DIN EN ISO 5579	(2014-04)	Zerstörungsfreie Prüfung - Durchstrahlungsprüfung von metallischen Werkstoffen mit Film und Röntgen- oder Gammastrahlen - Grundlagen (ISO 5579:2013); Deutsche Fassung EN ISO 5579:2013
DIN EN ISO 5817	(2014-06)	Schweißen - Schmelzschweißverbindungen an Stahl, Nickel, Titan und deren Legierungen (ohne Strahlschweißen) - Bewertungsgruppen von Unregelmäßigkeiten (ISO 5817:2014); Deutsche Fassung EN ISO 5817:2014
DIN EN ISO 6506-1	(2015-02)	Metallische Werkstoffe - Härteprüfung nach Brinell - Teil 1: Prüfverfahren (ISO 6506-1:2014); Deutsche Fassung EN ISO 6506-1:2014
DIN EN ISO 6508-1	(2016-12)	Metallische Werkstoffe - Härteprüfung nach Rockwell - Teil 1: Prüfverfahren (ISO 6508-1:2016); Deutsche Fassung EN ISO 6508-1:2016
DIN EN ISO 6847	(2013-11)	Schweißzusätze - Auftragung von Schweißgut zur Bestimmung der chemischen Zusammensetzung (ISO 6847:2013); Deutsche Fassung EN ISO 6847:2013
DIN EN ISO 6892-1	(2017-02)	Metallische Werkstoffe - Zugversuch - Teil 1: Prüfverfahren bei Raumtemperatur (ISO 6892-1:2016); Deutsche Fassung EN ISO 6892-1:2016
DIN EN ISO 6892-2	(2011-05)	Metallische Werkstoffe - Zugversuch - Teil 2: Prüfverfahren bei erhöhter Temperatur (ISO 6892-2:2011); Deutsche Fassung EN ISO 6892-2:2011
DIN ISO 7802	(2014-11)	Metallische Werkstoffe - Draht - Wickelversuch (ISO 7802:2013)
DIN 8201-7	(1985-07)	Feste Strahlmittel, synthetisch, mineralisch; Glasperlen
DIN EN ISO 8249	(2000-10)	Schweißen - Bestimmung der Ferrit-Nummer (FN) in austenitischem und ferritisch-austenitischem (Duplex-)Schweißgut von Cr-Ni-Stählen (ISO 8249:2000); Deutsche Fassung EN ISO 8249:2000

DIN EN ISO 9017	(2013-12)	Zerstörende Prüfung von Schweißverbindungen an metallischen Werkstoffen - Bruchprüfung (ISO 9017:2001); Deutsche Fassung EN ISO 9017:2013
DIN EN ISO 9606-1	(2013-12)	Prüfung von Schweißern - Schmelzschweißen - Teil 1: Stähle (ISO 9606-1:2012, einschließlich Cor 1:2012); Deutsche Fassung EN ISO 9606-1:2013
DIN EN ISO 9606-4	(1999-06)	Prüfung von Schweißern - Schmelzschweißen - Teil 4: Nickel und Nickellegierungen (ISO 9606- 4:1999); Deutsche Fassung EN ISO 9606-3:1999
DIN EN ISO 9692-1	(2013-12)	Schweißen und verwandte Prozesse - Arten der Schweißnahtvorbereitung - Teil 1: Lichtbogenhandschweißen, Schutzgasschweißen, Gasschweißen, WIG-Schweißen und Strahlschweißen von Stählen (ISO 9692-1:2013); Deutsche Fassung EN ISO 9692-1:2013
DIN EN ISO 9692-2	(1999-09)	Schweißen und verwandte Verfahren - Schweißnahtvorbereitung - Teil 2: Unterpulverschweißen von Stahl (ISO 9692-2:1998, enthält Berichtigung AC:1999); Deutsche Fassung EN ISO 9692-2:1998 + AC:1999
DIN EN ISO 9712	(2012-12)	Zerstörungsfreie Prüfung - Qualifizierung und Zertifizierung von Personal der zerstörungsfreien Prüfung (ISO 9712:2012); Deutsche Fassung EN ISO 9712:2012
DIN EN 10025-2	(2005-04)	Warmgewalzte Erzeugnisse aus Baustählen - Teil 2: Technische Lieferbedingungen für unlegierte Baustähle; Deutsche Fassung EN 10025-2:2004
DIN EN 10028-7	(2016-10)	Flacherzeugnisse aus Druckbehälterstählen - Teil 7: Nichtrostende Stähle; Deutsche Fassung EN 10028-7:2016
DIN EN 10049	(2014-03)	Messung des arithmetischen Mittenrauwertes Ra und der Spitzenzahl R _{Pc} an metallischen Flacherzeugnissen; Deutsche Fassung EN 10049:2013
DIN EN 10083-2	(2006-10)	Vergütungsstähle - Teil 2: Technische Lieferbedingungen für unlegierte Stähle; Deutsche Fassung EN 10083-2:2006
DIN EN 10084	(2008-06)	Einsatzstähle - Technische Lieferbedingungen; Deutsche Fassung EN 10084:2008
DIN EN 10088-1	(2014-12)	Nichtrostende Stähle - Teil 1: Verzeichnis der nichtrostenden Stähle; Deutsche Fassung EN 10088-1:2014
DIN EN 10088-2	(2014-12)	Nichtrostende Stähle - Teil 2: Technische Lieferbedingungen für Blech und Band aus korrosionsbeständigen Stählen für allgemeine Verwendung; Deutsche Fassung EN 10088-2:2014
DIN EN 10088-3	(2014-12)	Nichtrostende Stähle - Teil 3: Technische Lieferbedingungen für Halbzeug, Stäbe, Walzdraht, gezogenen Draht, Profile und Blankstahlerzeugnisse aus korrosionsbeständigen Stählen für allgemeine Verwendung; Deutsche Fassung EN 10088-3:2014
DIN EN 10204	(2005-01)	Metallische Erzeugnisse - Arten von Prüfbescheinigungen; Deutsche Fassung EN 10204:2004
DIN EN 10213	(2016-10)	Stahlguss für Druckbehälter; Deutsche Fassung EN 10213:2007+A1:2016
DIN EN 10216-5	(2014-03)	Nahtlose Stahlrohre für Druckbeanspruchungen - Technische Lieferbedingungen - Teil 5: Rohre aus nichtrostenden Stählen; Deutsche Fassung EN 10216-5:2013, Berichtigung 2015-01
DIN EN 10217-7	(2015-01)	Geschweißte Stahlrohre für Druckbeanspruchungen - Technische Lieferbedingungen - Teil 7: Rohre aus nichtrostenden Stählen; Deutsche Fassung EN 10217-7:2014
DIN EN 10222-1	(2017-06)	Schmiedestücke aus Stahl für Druckbehälter - Teil 1: Allgemeine Anforderungen an Freiformschmiedestücke; Deutsche Fassung EN 10222-1:2017
DIN EN 10222-5	(2017-06)	Schmiedestücke aus Stahl für Druckbehälter - Teil 5: Martensitische, austenitische und austenitisch-ferritische nichtrostende Stähle; Deutsche Fassung EN 10222-5:2017
DIN EN 10250-1	(1999-12)	Freiformschmiedestücke aus Stahl für allgemeine Verwendung - Teil 1: Allgemeine Anforderungen; Deutsche Fassung EN 10250-1:1999
DIN EN 10250-4	(2000-02)	Freiformschmiedestücke aus Stahl für allgemeine Verwendung - Teil 4: Nichtrostende Stähle; Deutsche Fassung EN 10250-4:1999, Berichtigung 2008-12
DIN EN 10272	(2016-10)	Stäbe aus nichtrostendem Stahl für Druckbehälter; Deutsche Fassung EN 10272:2016
DIN EN 10283	(2010-06)	Korrosionsbeständiger Stahlguss; Deutsche Fassung EN 10283:2010
DIN EN 10302	(2008-06)	Warmfeste Stähle, Nickel- und Cobaltlegierungen; Deutsche Fassung EN 10302:2008
DIN EN ISO 10893-6	(2011-07)	Zerstörungsfreie Prüfung von Stahlrohren - Teil 6: Durchstrahlungsprüfung der Schweißnaht geschweißter Stahlrohre zum Nachweis von Unvollkommenheiten (ISO 10893-6:2011); Deutsche Fassung EN ISO 10893-6:2011
DIN EN ISO 10893-7	(2011-07)	Zerstörungsfreie Prüfung von Stahlrohren - Teil 7: Digitale Durchstrahlungsprüfung der Schweißnaht geschweißter Stahlrohre zum Nachweis von Unvollkommenheiten (ISO 10893-7:2011); Deutsche Fassung EN ISO 10893-7:2011

- DIN EN ISO 10893-10 (2011-07) Zerstörungsfreie Prüfung von Stahlrohren - Teil 10: Automatisierte Ultraschallprüfung nahtloser und geschweißter (ausgenommen unterpulvergeschweißter) Stahlrohre über den gesamten Rohrumfang zum Nachweis von Unvollkommenheiten in Längs- und/oder Querrichtung (ISO 10893-10:2011); Deutsche Fassung EN ISO 10893-10:2011
- DIN EN ISO 11126-7 (1999-10) Vorbereitung von Stahloberflächen vor dem Auftragen von Beschichtungsstoffen - Anforderungen an nichtmetallische Strahlmittel - Teil 7: Elektrokorund (ISO 11126-7:1995); Deutsche Fassung EN ISO 11126-7:1999
- DIN EN 12668-1 (2010-05) Zerstörungsfreie Prüfung - Charakterisierung und Verifizierung der Ultraschall-Prüfausrüstung - Teil 1: Prüfgeräte; Deutsche Fassung EN 12668-1:2010
- DIN EN 12668-2 (2010-06) Zerstörungsfreie Prüfung - Charakterisierung und Verifizierung der Ultraschall-Prüfausrüstung - Teil 2: Prüfköpfe; Deutsche Fassung EN 12668-2:2010
- DIN EN 12668-3 (2014-02) Zerstörungsfreie Prüfung - Charakterisierung und Verifizierung der Ultraschall-Prüfausrüstung - Teil 3: Komplette Prüfausrüstung - Deutsche Fassung EN 12668-3:2013
- DIN EN 12681 (2003-06) Gießereiwesen - Durchstrahlungsprüfung; Deutsche Fassung EN 12681:2003
- DIN EN 13018 (2016-06) Zerstörungsfreie Prüfung - Sichtprüfung - Allgemeine Grundlagen; Deutsche Fassung EN 13018:2016
- DIN EN 13445-3 (2016-12) Unbefeuerte Druckbehälter - Teil 3: Konstruktion; Deutsche Fassung EN 13445-3:2014/A2:2016
- DIN EN 13480-3 (2014-12) Metallische industrielle Rohrleitungen - Teil 3: Konstruktion und Berechnung; Deutsche Fassung EN 13480-3:2012 (Berichtigungen 2015-12 und 2016-10)
- DIN EN ISO 13920 (1996-11) Schweißen - Allgmeintoleranzen für Schweißkonstruktionen - Längen- und Winkelmaße; Form und Lage (ISO 13920:1996); Deutsche Fassung EN ISO 13920:1996
- DIN EN ISO 14172 (2016-02) Schweißzusätze - Umhüllte Stabelektroden zum Lichtbogenhandschweißen von Nickel und Nickellegierungen - Einteilung (ISO 14172:2015); Deutsche Fassung EN ISO 14172:2015
- DIN EN ISO 14175 (2008-06) Schweißzusätze - Gase und Mischgase für das Lichtbogenschweißen und verwandte Prozesse (ISO 14175:2008); Deutsche Fassung EN ISO 14175:2008
- DIN EN ISO 14343 (2017-08) Schweißzusätze - Drahtelektroden, Bandlektroden, Drähte und Stäbe zum Lichtbogenschweißen von nichtrostenden und hitzebeständigen Stählen - Einteilung (ISO 14343:2017); Deutsche Fassung EN ISO 14343:2017
- DIN EN ISO 14732 (2013-12) Schweißpersonal - Prüfung von Bedienern und Einrichtern zum mechanischen und automatischen Schweißen von metallischen Werkstoffen (ISO 14732:2013); Deutsche Fassung EN ISO 14732:2013
- DIN EN ISO 15792-1 (2012-01) Schweißzusätze - Prüfverfahren - Teil 1: Prüfverfahren für Prüfstücke zur Entnahme von Schweißgutproben an Stahl, Nickel und Nickellegierungen (ISO 15792-1:2000 + Amd 1:2011); Deutsche Fassung EN ISO 15792-1:2008 + A1:2011
- DIN EN 15800 (2009-03) Zylindrische Schraubenfedern aus runden Drähten - Gütevorschriften für kaltgeformte Druckfedern; Deutsche Fassung EN 15800:2008
- DIN EN 16983 (2017-09) Tellerfedern - Qualitätsanforderungen - Maße; Deutsche Fassung EN 16983:2016
- DIN EN ISO 17633 (2011-03) Schweißzusätze - Fülldrahtelektroden und Füllstäbe zum Metall-Lichtbogenschweißen mit und ohne Gasschutz von nichtrostenden und hitzebeständigen Stählen - Einteilung (ISO 17633:2010); Deutsche Fassung EN ISO 17633:2010
- DIN EN ISO 17636-1 (2013-05) Zerstörungsfreie Prüfung von Schweißverbindungen - Durchstrahlungsprüfung - Teil 1: Röntgen- und Gammastrahlungstechniken mit Filmen (ISO 17636-1:2013); Deutsche Fassung EN ISO 17636-1:2013
- DIN EN ISO 17636-2 (2013-05) Zerstörungsfreie Prüfung von Schweißverbindungen - Durchstrahlungsprüfung - Teil 2: Röntgen- und Gammastrahlungstechniken mit digitalen Detektoren (ISO 17636-2:2013); Deutsche Fassung EN ISO 17636-2:2013
- DIN EN ISO 17637 (2017-04) Zerstörungsfreie Prüfung von Schweißverbindungen - Sichtprüfung von Schmelzschweißverbindungen (ISO 17637:2016); Deutsche Fassung EN ISO 17637:2016
- DIN EN ISO 17641-2 (2016-03) Zerstörende Prüfung von Schweißverbindungen an metallischen Werkstoffen - Heißrissprüfungen für Schweißungen - Lichtbogenschweißprozesse - Teil 2: Selbstbeanspruchende Prüfungen (ISO 17641- 2:2015); Deutsche Fassung EN ISO 17641-2:2015
- DIN EN ISO 18274 (2011-04) Schweißzusätze - Draht- und Bandlektroden, Massivdrähte und -stäbe zum Schmelzschweißen von Nickel und Nickellegierungen - Einteilung (ISO 18274:2010); Deutsche Fassung EN ISO 18274:2010
- DIN EN ISO 19232-1 (2013-12) Zerstörungsfreie Prüfung - Bildgüte von Durchstrahlungsaufnahmen - Teil 1: Ermittlung der Bildgütezah mit Draht-Typ-Bildgüteprüfkörper (ISO 19232-1:2013); Deutsche Fassung EN ISO 19232-1:2013

DIN EN ISO 19232-3 (2014-02)	Zerstörungsfreie Prüfung - Bildgüte von Durchstrahlungsaufnahmen - Teil 3: Bildgüteklassen (ISO 19232-3:2013); Deutsche Fassung EN ISO 19232-3:2013
DIN 25410 (2012-07)	Kernteknische Anlagen - Oberflächensauberkeit von Komponenten
DIN 25435-4 (2014-01)	Wiederkehrende Prüfungen der Komponenten des Primärkreises von Leichtwasserreaktoren - Teil 4: Sichtprüfung
DIN 25475-1 (2013-01)	Kernteknische Anlagen - Betriebsüberwachung - Teil 1: Körperschallüberwachung zum Erkennen loser Teile
DIN 25475-2 (2009-05)	Kernteknische Anlagen - Betriebsüberwachung - Teil 2: Schwingungsüberwachung zur frühzeitigen Erkennung von Änderungen im Schwingungsverhalten des Primärkreises von Druckwasserreaktoren
DIN 50125 (2016-12)	Prüfung metallischer Werkstoffe - Zugproben
DIN CEN ISO/TR 15608 (2013-08)	Schweißen - Richtlinien für eine Gruppeneinteilung von metallischen Werkstoffen (ISO/TR 15608:2013); Deutsche Fassung CEN ISO/TR 15608:2013
AD 2000-Merkblatt B0 (2014-11)	Berechnung von Druckbehältern
AD 2000-Merkblatt B 1 (2000-10)	Zylinder- und Kugelschalen unter innerem Überdruck
AD 2000-Merkblatt B3 (2011-05)	Gewölbte Böden unter innerem und äußerem Überdruck
AD 2000-Merkblatt B 6 (2006-10)	Zylinderschalen unter äußerem Überdruck
AD 2000-Merkblatt HP 0 (2013-02)	Allgemeine Grundsätze für Auslegung, Herstellung und damit verbundene Prüfungen
AD 2000-Merkblatt HP 3 (2014-11)	Schweißaufsicht, Schweißer
AD 2000-Merkblatt W 2 (2016-09)	Austenitische und austenitisch-ferritische Stähle

Anhang H

Literaturangaben

- [1] NUREG/CR-6909 Rev. 1, ANL-12/60: Effect of LWR Coolant Environments on the Fatigue Life of Reactor Materials, Draft Report for Comment, March 2014
- [2] Hübel, H.: Erhöhungsfaktor K_e zur Ermittlung plastischer Dehnungen aus elastischer Berechnung, Technische Überwachung 35 (1994) Nr. 6, S. 268-278
- [3] Handbuch für das Eisenhüttenlaboratorium, Band 2 Teil 1: Analyse der Metalle; klassische Verfahren, 2004 und Band 2 Teil 2: Analyse der Metalle; Neue Verfahren, 1998; herausgegeben vom Chemikerausschuss des Stahlinstituts VDEh
- [4] Petzow, G.: Metallographisches, keramographisches, plastographisches Ätzen, Verlag Borntraeger; Nachdruck der 6. vollständig überarbeiteten Auflage (19. Oktober 2006)
- [5] Reference-Atlas for a comparative evaluation of ferrite percentage in the fused zone of austenitic stainless steel welded joints, des International Institute of Welding: Instituto Italiano della Saldatura, Genove 1972
- [6] De Long, W. T.: Welding-Journal, July 1974, S. 273-s bis 286-s
- [7] Standards Reference Radiographs of Investment Steel Castings for Aerospace Applications; ASTM E192-13
- [8] McGregor Tegart, W.J.: Elements of Mechanical Metallurgy, The Macmillan Company, New York, 1966, p. 23
- [9] Macherauch, E.: Praktikum in Werkstoffkunde, 10. Auflage, Vieweg, 1992, S. 119-126
- [10] Rudolph, J.; Lang, H.: Tragfähigkeitsbewertung von kreisringförmigen Querschnitten; TÜ Technische Überwachung Band 49 (2008) Nr. 6, S. 10-15
- [11] Cozzone, F. P.: Bending Strength in the Plastic Range, Journal of Aeronautical Sciences, May 1943
- [12] Bruhn, E. F.: Analyses and Design of Flight Vehicle Structures, Tri-State Offset Company, 1965, Chap. C3
- [13] Criteria of the ASME Boiler and Pressure Vessel Code for Design by Analysis in Sections III and VIII, Division 2; The American Society of Mechanical Engineers, 1969
- [14] Richtlinienkatalog Festigkeitsberechnungen (RKF); Linde KCA, Dresden, 1986
- [15] Gavalis, R.: Bending Strength in the Plastic Range, Machine Design, 7/64

Anhang I (informativ)

Änderungen gegenüber der Fassung 2015-11 und Erläuterungen

- (1) Im Abschnitt 2 „Begriffe“ wurde basierend auf den Festlegungen in DIN EN ISO 6892-1 eine Definition für „Raumtemperatur“ aufgenommen.
- (2) Die bisher im Abschnitt 7.3.1 enthaltene Regelung zur Anwendung von Abnahmeprüfzeugnissen nach DIN EN 10204 in der Ausgabe 1995-08 wurde gestrichen, da für neue Fertigungen nur DIN EN 10204 in der Ausgabe 2005-01 zur Anwendung kommt. Dessen ungeachtet werden bei Verwendung von Lagermaterial nach Prüfung im Einzelfall weiterhin
- a) anstelle eines Abnahmeprüfzeugnisses 3.1 nach DIN EN 10204 (2005-01) auch ein Abnahmeprüfzeugnis 3.1.B nach DIN EN 10204 (1995-08) anerkannt,
- b) anstelle eines Abnahmeprüfzeugnisses 3.2 nach DIN EN 10204 (2005-01) auch ein Abnahmeprüfzeugnis 3.1.C nach DIN EN 10204 (1995-08) anerkannt.
- (3) In Tabelle 7-4 wurde die Erzeugnisform „Schmiedestücke“ gestrichen, weil für diese Erzeugnisform generell eine mechanische Bearbeitung vorgesehen ist und in keiner Norm mit den Kurzzeichen gearbeitet wird. Außerdem wurden in der Spalte „Ausführungsart“ Anpassungen an die aktuellen Normen vorgenommen.
- (4) Im Werkstoffanhang W 2 wurde die Bezeichnung NiCr19Fe19NbMo für den Werkstoff 2.4668 durch NiCr19Fe19Nb5Mo3 ersetzt, da dies die offizielle Bezeichnung laut europäischem Stahlregister ist.
- (5) In den Tabellen W 2-4 und W 2-5 wurde die bisher nur in der Tabelle W 2-3 vorhandene Erzeugnisform „Band“ ergänzt.
- (6) Im Werkstoffprüfblatt W 2.5.1 wurde unter 8 und 9 die Zeugnisbelegung an die Festlegungen der Nrn. 4, 5 und 7 angepasst.
- (7) Im Werkstoffanhang W 5 „Maschinenelemente“ wurden folgende Änderungen vorgenommen:
- a) In den Werkstoffprüfblättern W 5.3.1 und W 5.3.2 wurden die Anforderungen an die Prüfung der Maße und Toleranzen von Verbindungselementen unter Zugrundelegung der aktuellen Normen festgelegt. Hierbei wurde der Bezug auf DIN EN ISO 3269 im Titel der Tabelle W 5-2 gestrichen, da er für die aktuelle Ausgabe dieser Norm nicht mehr sachgerecht ist.
- b) Die bisher basierend auf DIN 2093 formulierten Anforderungen an Tellerfedern wurden im Werkstoffprüfblatt W 5.3.3 an die Nachfolgenorm DIN EN 16983 angepasst.
- (8) Der Anhang G wurde hinsichtlich der Bestimmungen, auf die in dieser Regel verwiesen wird, aktualisiert.