Inhaltlich überprüft und unverändert weiterhin gültig: 2022-11

KTA 3902
Auslegung von Hebezeugen in Kernkraftwerken

Fassung 2020-12

Frühere Fassungen der Regel: 1975-11 (BAnz Nr. 22 vom 3. Februar 1976)
1978-06 (BAnz Nr. 189a vom 6. Oktober 1978)
1983-11 (BAnz Nr. 67a vom 4. April 1984)
1992-06 (BAnz Nr. 36a vom 23. Februar 1993)
1999-06 (BAnz Nr. 144a vom 8. August 1999)
2012-11 (BAnz vom 23. Januar 2013, Berichtigung BAnz vom 2. Mai 2013)

Inhalt

Seite

Grundlagen ... 2
1 Anwendungsbereich ... 2
2 Begriffe ... 2
3 Allgemeine Bestimmungen ... 2
4 Besondere Bestimmungen ... 2
4.1 Aufzüge in Reaktorsicherheitsbehältern ... 2
4.2 Krane, Winden, Laufkatzen und Lastaufnahmeeinrichtungen mit zusätzlichen Anforderungen ... 2
4.3 Krane, Winden, Laufkatzen und Lastaufnahmeeinrichtungen mit erhöhten Anforderungen ... 3
4.4 Brennelement-Wechselanlagen für Leichtwasserreaktoren ... 3
4.5 Einwirkungen von außen (EVA) ... 3
4.6 Umgebungsbedingungen ... 3
4.7 Ergonomische Anforderungen ... 3
5 Aufzüge in Reaktorsicherheitsbehältern ... 3
5.1 Allgemeines ... 3
5.2 Personenaufzüge und Lastenaufzüge mit Personenbeförderung ... 3
5.3 Fahrschacht ... 3
6 Zusätzliche Anforderungen an Krane, Winden, Laufkatzen und Lastaufnahmeeinrichtungen ... 5
6.1 Tragwerke ... 5
6.2 Hubwerke ... 6
6.3 Fahrwerke ... 7
6.4 Lastaufnahmeeinrichtungen ... 8
6.5 Elektrische Ausrüstung ... 9
7 Erhöhte Anforderungen an Krane, Winden, Laufkatzen und Lastaufnahmeeinrichtungen ... 11

Seite

7.1 Tragwerke ... 11
7.2 Hubwerke ... 12
7.3 Fahrwerke ... 13
7.4 Lastaufnahmeeinrichtungen ... 14
7.5 Elektrische Ausrüstung ... 14
8 Anforderungen an Brennelement-Wechselanlagen für Leichtwasserreaktoren ... 15
8.1 Tragwerke ... 15
8.2 Hubwerke ... 15
8.3 Fahrwerke ... 17
8.4 Lastaufnahmeeinrichtungen ... 17
8.5 Elektrische Ausrüstung ... 17
Anhang A: Beispiele für die Einstufung von Hebezeugen ... 18
Anhang B: Lastfälle und Nachweise für Hebezeuge ... 20
Anhang C: Wöhlerlinien für den Nachweis der Ermüdungsfestigkeit der Werkstoffe S235 und S355 nach DIN EN 10025-2 ... 39
Anhang D: Nachweis der statischen Festigkeit und Wöhlerlinien für den Nachweis der Ermüdungsfestigkeit der Stähle 1.4541, 1.4306 und 1.4571 nach DIN EN 10088-2 oder DIN EN 10088-3 ... 45
Anhang E: Erforderliche Performance Level nach DIN EN ISO 13849-1 für Funktionen sicherheitsbezogener Teile von Steuerungen ... 52
Anhang F: Bestimmungen und Literatur, auf die in dieser Regel verwiesen wird ... 60
Anhang G: Änderungen gegenüber der Fassung 2012-11 und Erläuterungen (informativ) ... 64

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, im Strahlenschutzgesetz (StrlSchG) und in der Strahlenschutzverordnung (StrlSchV) festgelegten sowie in den „Sicherheitsanforderungen an Kernkraftwerke“ (SiAnf) und den „Interpretationen zu den Sicherheitsanforderungen an Kernkraftwerke“ weiter konkretisierten Schutzziele zu erreichen.

(2) Basierend auf den „Sicherheitsanforderungen an Kernkraftwerke“ (SiAnf) und den „Interpretationen zu den Sicherheitsanforderungen an Kernkraftwerke“ werden in dieser Regel die Anforderungen an die Auslegung von Hebezeugen festgelegt. Außerdem müssen Hebezeuge nach den allgemeinen Sicherheitsvorschriften des Bundes und der Länder sowie den Vorschriften der Träger der gesetzlichen Unfallversicherung errichtet und betrieben werden.

(3) Die entsprechend dem Gefährdungsgrad bei der Auslegung zu beachtenden und über die allgemeinen Bestimmungen hinausgehenden

a) zusätzlichen Anforderungen oder

b) erhöhten Anforderungen

für Hebezeuge sowie

c) Anforderungen für Aufzüge in Reaktorsicherheitsbehältern

und

d) Anforderungen für Brennelement-Wechselanlagen

werden in dieser Regel im Einzelnen festgelegt.

(4) Die allgemeinen Forderungen an die Qualitätssicherung sind in KTA 1401 geregelt.

(5) Die Anforderungen an die Prüfung und den Betrieb von Hebezeugen, einschließlich spezifischer Forderungen an die Qualitätssicherung, sind in KTA 3903 geregelt.

1 Anwendungsbereich

Diese Regel ist anzuwenden auf die Auslegung von Aufzügen, Kranen, Winden, Laufkatzen, Lastaufnahmeeinrichtungen und Leichtwasserreaktor-Brennelement-Wechselanlagen, im Folgenden zusammenfassend als Hebezeuge bezeichnet, sofern diese in Kernkraftwerken verwendet werden und den besonderen Bestimmungen nach Abschnitt 4 genügen müssen.

2 Begriffe

(1) Bauteile, im Kraftfluss liegend

Bauteile werden in dieser Regel als „im Kraftfluss liegend“ bezeichnet, wenn sie

a) bei ihrem Versagen direkt zu einer unzulässigen Beeinträchtigung der Tragfähigkeit des Hebezeugs führen können

oder

b) an ein Bauteil gemäß a) angeschweißt sind; als im Kraftfluss liegend gilt dabei nur der Bereich des angeschweißten Bauteils, der den Spannungsverlauf im Bauteil gemäß a) beeinflusst.

(2) Betriebslast, maximale

Die maximale Betriebslast ist die maximale Last, die mit dem Hebezeug im Rahmen des bestimmungsgemäßen Betriebes bewegt werden darf.

(3) Brennelement-Wechselanlage für Leichtwasserreaktoren

Unter Brennelement-Wechselanlage für Leichtwasserreaktoren sind alle diejenigen Einrichtungen zu verstehen, die unmittelbar zum Be- und Entladen des Reaktorkerns mit Brennelementen oder Steuerelementen (z. B. Regel- oder Abschaltstäben) dienen.

(4) Hublast

Die Hublast setzt sich zusammen aus der maximalen Montagelast oder der maximalen Betriebslast und den Eigenlasten der Teile zur Aufnahme der Nutzlast, z. B. Unterflasche, Traverse sowie dem Anteil der Tragmittel, z. B. Seil.

(5) Lastaufnahmeeinrichtung

Lastaufnahmeeinrichtungen sind Tragmittel, Lastaufnahmemittel und Anschlagmittel. Sie sind in DIN 15003 definiert.

(6) Lastumlagerung

Lastumlagerung ist ein Ereignis, bei dem infolge des Ausfalls eines Bauteils innerhalb der doppelten Triebwerkskette oder infolge des Ausfalls eines redundant ausgeführten Bauteils des Seiltriebs innerhalb einer Triebswerkskette mit Sicherheitsbremse eine zusätzliche Beanspruchung auf das Hebezeug wirkt.

(7) Maschinenteile

Maschinenteile sind Achsen, Wellen, Bolzen, Zugstangen und ähnliche Bauteile.

(8) Montagelast, maximale

Die maximale Montagelast ist die maximale Last, die mit dem Hebezeug während der Errichtung bis zur Aufnahme des atomrechtlich genehmigten Betriebs bewegt werden darf.

3 Allgemeine Bestimmungen

(1) Hebezeuge müssen nach den allgemeinen Sicherheitsvorschriften, insbesondere Arbeitsschutzvorschriften des Bundes und der Länder, sowie den Vorschriften der Träger der gesetzlichen Unfallversicherung errichtet werden.

(2) Hebezeuge müssen mindestens den allgemein anerkannten Regeln der Technik genügen.

4 Besondere Bestimmungen

4.1 Aufzüge in Reaktorsicherheitsbehältern

Aufzüge in Reaktorsicherheitsbehältern müssen zusätzlich zu den Anforderungen der allgemeinen Bestimmungen des Abschnittes 3 den Anforderungen des Abschnittes 5 genügen, wenn mit ihnen Personen bestimmungsgemäß befördert werden dürfen.

4.2 Krane, Winden, Laufkatzen und Lastaufnahmeeinrichtungen mit zusätzlichen Anforderungen

(1) Wenn beim Transport von Kernbrennstoffen, sonstigen radioaktiven Stoffen, radioaktiven Anlagenteilen oder sonstigen Lasten durch das Versagen des Hebezeuges

a) unmittelbar die Gefahr einer Aktivitätsfreisetzung, als deren Folge eine Strahlenexposition von Personen in der Anlage mit einer effektiven Dosis durch innere Exposition über 1 mSv oder durch eine externe Exposition über 5 mSv eintreten kann, zu besorgen ist oder

b) ein nicht absperrbarer Reaktorkühlmittelverlust oder eine über die Redundanz hinausgehende Beeinträchtigung von Sicherheitseinrichtungen, die notwendig sind, den Reaktor jederzeit abzuschalten, in abgeschaltetem Zustand zu halten oder die Nachwärme abzuführen, zu besorgen ist, und keine Gefahren gemäß Abschnitt 4.3 zu besorgen sind,

dann müssen zur ausreichenden Schadensvorsorge Krane, Winden, Laufkatzen und Lastaufnahmeeinrichtungen über die Anfor-

derungen der allgemeinen Bestimmungen des Abschnitts 3 hinaus den zusätzlichen Anforderungen des Abschnitts 6 genügen.

(2) Die Einstufung der Hebezeuge nach zusätzlichen Anforderungen ist im Rahmen des atomrechtlichen Genehmigungs- und Aufsichtsverfahrens festzulegen. In **Anhang A** sind Beispiele für die Einstufung und für das Vorgehen bei der Einstufung angegeben.

4.3 Krane, Winden, Laufkatzen und Lastaufnahmeeinrichtungen mit erhöhten Anforderungen

(1) Wenn beim Transport von Kernbrennstoffen, sonstigen radioaktiven Stoffen, radioaktiven Anlagenteilen oder sonstigen Lasten durch das Versagen des Hebezeugs

a) die Gefahr eines Kritikalitätsunfalls oder
b) die Gefahr einer Aktivitätsfreisetzung, als deren Folge die maximal zulässigen Ableitungen in die Umgebung gemäß Genehmigung überschritten werden können oder die Strahlenexposition in der Umgebung des Kernkraftwerkes für Einzelpersonen der Bevölkerung oberhalb der Grenzwerte der StrlSchV liegen kann,

zu besorgen ist, dann müssen zur ausreichenden Schadensvorsorge Krane, Winden, Laufkatzen und Lastaufnahmeeinrichtungen über die Anforderungen der allgemeinen Bestimmungen des Abschnitts 3 hinaus den erhöhten Anforderungen des Abschnitts 7 genügen.

(2) Die Einstufung der Hebezeuge nach erhöhten Anforderungen ist im Rahmen des atomrechtlichen Genehmigungs- und Aufsichtsverfahrens festzulegen. In **Anhang A** sind Beispiele für die Einstufung und für das Vorgehen bei der Einstufung angegeben.

4.4 Brennelement-Wechselanlagen für Leichtwasserreaktoren

Brennelement-Wechselanlagen für Leichtwasserreaktoren müssen zusätzlich zu den allgemeinen Bestimmungen des Abschnitts 3 den Anforderungen des Abschnitts 8 genügen.

4.5 Einwirkungen von außen (EVA)

(1) Für Hebezeuge ist der Nachweis ausreichenden Schutzes gegen Einwirkungen von außen dann zu führen, wenn an das Gebäude eine solche Anforderung gestellt wird.

(2) Ausnahmen sind zulässig, wenn nachgewiesen wird, dass von Hebezeugen ausgehende Wirkungen und Schäden keine Anlagenteile, die gegen Einwirkungen von außen ausgelegt sind, in ihrer Funktionsfähigkeit beeinträchtigen können.

(3) Der Nachweis des Schutzes gegen Einwirkungen von außen ist für das Hebezeug ohne angehängte Last zu führen.

(4) Wenn eine Parkposition für das Hebezeug vorgesehen ist, ist der Nachweis nur für diese Stellung erforderlich.

(5) Für alle Einwirkungen von außen gelten die allgemeinen Grundsätze nach KTA 2201.4.

4.6 Umgebungsbedingungen

(1) Umgebungsbedingungen, wie z. B. Druck, Temperatur, Medium, Strahlenbelastung, sind bei der Auslegung zu berücksichtigen.

(2) Die Dekontaminierbarkeit, wie z. B. an Tragwerken, ist bei der konstruktiven Gestaltung zu berücksichtigen.

4.7 Ergonomische Anforderungen

Hebezeuge nach Abschnitt 4.2 bis 4.4 müssen den Gestaltungsleitsätzen der DIN EN 894-1 und DIN EN ISO 12100 genügen. Hieraus ergeben sich z. B. folgende Anforderungen:

a) Lastaufnahmeeinrichtungen und deren lösbare Einzelteile müssen so ausgeführt oder gekennzeichnet sein, dass sie nicht unzulässig verwendet werden. Verbindungen sollen so gestaltet sein, dass ein Vertauschen von Einzelteilen ausgeschlossen ist.
b) Die Befehls-, Steuer- und Überwachungseinrichtungen sowie Kennzeichnungen, Bedien-, Verbindungs- und Sicherungselemente sind so zu gestalten, dass
   ba) sie sowohl kompatibel zu den gewohnten Erwartungen, als auch zur gängigen Praxis sind (Erwartungskonformität),
   bb) das Bedienpersonal den Handhabungsprozess sicher ausführen und jederzeit überwachen kann.
c) Meldungen und Anzeigen sind entsprechend ihrer sicherheitstechnischen Priorität auszuführen.
d) Durch technische Maßnahmen ist der sichere Handhabungsprozess und das sichere An- und Abschlagen zu unterstützen.

Ausführungsbeispiele sind in **Tabelle 4-1** aufgeführt. Die technischen Maßnahmen sind durch die administrativen Maßnahmen zur Organisation von Transporten gemäß KTA 3903 Abschnitt 9.2 zu ergänzen.

5 Aufzüge in Reaktorsicherheitsbehältern

5.1 Allgemeines

Die Aufzüge müssen die Anforderungen der Richtlinie 2014/33/EU erfüllen und ein Sicherheitsniveau gemäß DIN EN 81-20 besitzen.

5.2 Personenaufzüge und Lastenaufzüge mit Personenbeförderung

Personenaufzüge und Lastenaufzüge mit Personenbeförderung müssen

a) an eine Notstromanlage angeschlossen sein,
b) an die Alarmanlage des Kernkraftwerkes angeschlossen sein,
c) an die Leitstandsfernsprechanlage so angeschlossen sein, dass von der Kabine eine Verbindung zu der zuständigen ständig besetzten Stelle möglich ist,
d) mit einem besonders gekennzeichneten und leicht zu öffnenden Notausstieg versehen sein.

5.3 Fahrschacht

Der Fahrschacht muss

a) mit Druckausgleichsöffnungen zu allen vom Fahrschacht aus betretbaren Räumen ausgestattet sein. Für den Fall erhöhten Außendrucks müssen der Fahrkorb oder die Druckausgleichsöffnungen so ausgeführt sein, dass Gefahren nach Abschnitt 4.3 Absatz 1 Aufzählung b nicht zu besorgen sind,
b) mit Einrichtungen zum Notausstieg versehen sein, von denen aus jede Fahrschachttür leicht zugänglich ist,
c) mit von innen leicht entriegelbaren Fahrschachttüren versehen sein,
d) so beschaffen sein, dass der Fluchtweg klar erkennbar ist,

und

e) mit einer Sicherheitsbeleuchtung versehen sein, die an eine Notstromanlage mit unterbrechungsloser Notstromversorgung angeschlossen ist.

Anforderung	Hebezeug/Komponente	Methode (Auswahl)	Ausrüstung/Hilfsmittel (Auswahl)	Ausführung
Bestimmungsgemäße Verwendung von Hebezeugen	Krane, Brennelement-Wechselanlagen	Konstruktiv	Abschließbare Steuereinrichtung	
	Traversen, Gehänge, Gestänge (verlängerbar, anpassbar, zusammenbaubar), Anschlagmittel, Lastanschlagpunkte	Visuelle Kontrolle	Farbkennzeichnung der Anschlüsse	Gut unterscheidbare Farben verwenden
			Schilder, sonstige Kennzeichnungen, Markierungen	Schilder müssen dauerhaft und gut lesbar sein Orientierungspfeile, KKS [1], Bauteilnummer
		Konstruktiv	Unverwechselbare Konstruktion	z. B. zugeordnete Bajonettverschlüsse
Lastüberwachung, Freigängigkeit	Krane, Brennelement-Wechselanlagen	Visuelle Kontrolle der Last	Lastanzeige am Steuerpult und Großdisplay	Konsistente Anzeige für mindestens 2 Personen
		Steuerungstechnisch	Zusätzliche betriebliche variabel einstellbare Überlastsicherung	Anpassung der Überlastsicherung an die Last
		Visuelle Kontrolle des Fahrweges	Einsatz einer drahtlosen Steuerung Unter Wasser: Kamera, Scheinwerfer	Blendfreier, von mindestens 2 Personen aus deren Arbeitsposition deutlich ablesbarer Bildschirm
Anforderungsgerechtes An- und Abschlagen	Krane, Brennelement-Wechselanlagen, Traversen, Gehänge, Lastanschlagpunkte	Visuelle Kontrolle	Verriegelungszustandsanzeige (farblich, mechanisch) Unter Wasser: Kamera, Scheinwerfer	Erkennbar (auch unter Wasser), komponentenspezifische Ausführung Eindeutige Identifizierung des Verriegelungszustands (auch bei einer Verriegelung unter Wasser) Blendfreier, von mindestens 2 Personen aus deren Arbeitsposition deutlich ablesbarer Bildschirm.
		Konstruktiv	Verriegelung z. B. über - federbelastete Verzahnung, - Schiebebolzen mit Führungsrohr und Kulisse, - federbelastete Sicherungsklappe,	Verriegelung unter Last immer wirksam Konsistentes Konstruktionsprinzip (Schiebebolzen immer in gleiche Richtung)
Einhaltung Fahrbereiche	Krane, Brennelement-Wechselanlagen	Steuerungstechnisch	Bereichsgrenzen, betriebliche Fahrverriegelungen Elektrisch: Wegbegrenzer	lastabhängige Fahrbereichsverriegelung mit Zustandsanzeige an den Steuerstellen
Genaue Positionierung, Verhindern von Fehlpositionierungen, Fehlabsetzen/-beladungen	Krane	Visuelle Kontrolle	Markierungen/Positionierhilfen (Kamera, Lasermessung)	gut einsehbar und eindeutig
			Positionsangaben	z. B. x-y Koordinatenanzeige
	Brennelement-Wechselanlagen	Visuelle Kontrolle	Visualisierungssystem	Von 2 Personen einsehbar
		Steuerungstechnisch	Automatikbetrieb	Überwachung über Lagerverwaltung
Vorsorge gegen Fehlhandlungen	Steuerpult Hebezeuge	Konstruktiv	Einfache Bedienelemente	Anatomisch angepasst
			Sicherheit gegen unbeabsichtigte Bedienung	z. B. Taster mit Kragen
			Erwartungskonforme Bedienelemente	z. B. Fahrhebel nach hinten bedeutet Anheben, nach vorne Absenken
			Eindeutige Zuordnung von Schaltsinn und Schaltzustand	
			Räumliche Trennung/Anordnung der Bedienelemente gemäß Funktion	
			Fehlermeldung	

[1] Kraftwerk-Kennzeichnungssystem, alternativ auch Anlagenkennzeichnungssystem (AKZ)

Tabelle 4-1: Beispiele für ergonomische Ausführungen für Hebezeuge nach den Abschnitten 4.2 bis 4.4 und Verwendung von Hilfsmitteln

6 Zusätzliche Anforderungen an Krane, Winden, Laufkatzen und Lastaufnahmeeinrichtungen

6.1 Tragwerke

Unter diesen Abschnitt fallen Krantragwerke, Katzrahmen, Windenrahmen.

6.1.1 Auslegung

(1) Im Rahmen dieser Regel sind zwei Nachweisverfahren zugelassen:

a) Verfahren mit globalem Sicherheitsbeiwert (σ_{zul}-Konzept) gemäß DIN 15018-1

und

b) Verfahren mit Teilsicherheitsbeiwerten gemäß der Normenreihe DIN EN 13001.

(2) Die gleichzeitige Verwendung beider Verfahren innerhalb der gesamten Nachweisführung für ein Hebezeug ist nur dann zulässig, wenn die betreffenden Bauteile einzeln klar voneinander getrennt sind, die Übertragung der Schnittgrößen innerhalb des Gesamttragwerkes vollständig erfassbar ist und das Tragverhalten der Konstruktion insgesamt zutreffend erfasst wird. Bezüglich der Nachweisführung für EVA-Lastfälle ist Abschnitt 4.5 (5) zu beachten.

(3) Folgende Angaben sind zur Dimensionierung von Tragwerken zu machen:

a) Montagelasten mit zugehörigen Lastarbeitsspielen für die vorgesehene Einsatzzeit,

b) Betriebslasten mit zugehörigen Lastarbeitsspielen für die vorgesehene Einsatzzeit,

c) Lasten aus Einwirkungen von außen entsprechend Abschnitt 4.5,

d) Umgebungsbedingungen entsprechend Abschnitt 4.6.

6.1.2 Nachweisführung

6.1.2.1 Nachweisführung nach dem globalen Sicherheitskonzept gemäß DIN 15018-1

(1) Die Festigkeitsnachweise sind gemäß **Anhang B** Abschnitt B 1.1.1 zu führen.

(2) Die Einstufung der Tragwerke muss erfolgen

a) für die maximale Montagelast in Hubklasse H1 und Beanspruchungsgruppe B2 nach DIN 15018-1,

b) für die maximale Betriebslast in Hubklasse H3 und Beanspruchungsgruppe B3 nach DIN 15018-1.

(3) Sofern ein kleinerer Hublastbeiwert als aus (2) resultierend zur Anwendung kommen soll, ist der während eines Lastarbeitsspiels maximal auftretende dynamische Lastfaktor im Einzelfall rechnerisch oder experimentell nachzuweisen. Zur Bestimmung des Hublastbeiwerts ist dieser dynamische Lastfaktor mit dem Faktor 1,12 zu multiplizieren.

(4) Auf den Betriebsfestigkeitsnachweis kann verzichtet werden, wenn nachgewiesen wird, dass die Spannungsspielzahl unter $2 \cdot 10^4$ liegt. Die Ermittlung der Spannungsspielzahl hat nach Abschnitt B 1.2.1.2 zu erfolgen.

(5) Bei Verbindungen mit vorgespannten Schrauben, die nach ihrer Demontage wieder remontiert werden, gelten ergänzend zu (4) folgende Festlegungen:

a) Ist gemäß (4) ein Betriebsfestigkeitsnachweis zu führen, sind dabei die Spannungsspiele aus Demontage- und Remontagevorgängen mit zu berücksichtigen.

b) Ist gemäß (4) kein Betriebsfestigkeitsnachweis erforderlich und werden maximal 10 Demontage- und Remontagevorgänge durchgeführt, darf auf einen Betriebsfestigkeitsnachweis verzichtet werden.

c) Bei mehr als 10 Demontage- und Remontagevorgängen ist unabhängig von den Festlegungen in (4) ein Betriebsfestigkeitsnachweis zu führen. Dabei sind sowohl die Spannungsspiele aus betrieblichen Beanspruchungen als auch die aus Demontage- und Remontagevorgängen zu berücksichtigen.

6.1.2.2 Nachweisführung nach dem Teilsicherheitskonzept gemäß der Normenreihe DIN EN 13001

(1) Die Festigkeitsnachweise sind gemäß **Anhang B** Abschnitt B 1.1.2 zu führen.

(2) Die Einstufung der Tragwerke muss erfolgen

a) für die maximale Montagelast in die S-Klasse S1 nach DIN EN 13001-3-1,

b) für die maximale Betriebslast in die S-Klasse S3 nach DIN EN 13001-3-1.

(3) Auf einen Nachweis der Ermüdungsfestigkeit darf verzichtet werden, wenn die diesbezüglichen Bedingungen nach DIN EN 13001-3-1 Abschnitt 6.3.3 dies zulassen. Die Ermittlung der Spannungsspielzahl hat nach Abschnitt B 1.2.1.2 zu erfolgen.

(4) Bei Verbindungen mit vorgespannten Schrauben, die nach ihrer Demontage wieder remontiert werden, gelten ergänzend zu (3) folgende Festlegungen:

a) Ist gemäß (3) ein Nachweis der Ermüdungsfestigkeit zu führen, sind dabei die Spannungsspiele aus Demontage- und Remontagevorgängen mit zu berücksichtigen.

b) Ist gemäß (3) kein Nachweis der Ermüdungsfestigkeit erforderlich und werden maximal 10 Demontage- und Remontagevorgänge durchgeführt, darf auf einen Nachweis der Ermüdungsfestigkeit verzichtet werden.

c) Bei mehr als 10 Demontage- und Remontagevorgängen ist unabhängig von den Festlegungen in Abschnitt 6.3.3 der DIN EN 13001-3-1 ein Nachweis der Ermüdungsfestigkeit zu führen. Dabei sind sowohl die Spannungsspiele aus betrieblichen Beanspruchungen als auch die aus Demontage- und Remontagevorgängen zu berücksichtigen.

6.1.3 Konstruktive Gestaltung und bauliche Anforderungen

Hinweise:

(1) Festlegungen zur konstruktiven Gestaltung von Tragwerken und bauliche Anforderungen sind auch in DIN EN 1090-2 enthalten.

(2) Festlegungen zur konstruktiven Gestaltung von Schienen, Schienenverbindungen, Schienenlagerungen und Schienenbefestigungen sind auch in VDI 3576 enthalten.

(1) Bei Verwendung des globalen Sicherheitskonzepts in Verbindung mit einer Nachweisführung nach DIN 15018-1 gilt für die konstruktive Gestaltung DIN 15018-2.

(2) Bei Verwendung des Teilsicherheitskonzepts in Verbindung mit einer Nachweisführung nach den Normen der Reihe DIN EN 13001 gelten für die konstruktive Gestaltung die diesbezüglichen Festlegungen dieser Normenreihe.

(3) Dynamisch beanspruchte Schweißnähte müssen den Anforderungen der Bewertungsgruppe B nach DIN EN ISO 5817 oder DIN EN ISO 13919-1 genügen. Schweißnähte mit vorwiegend ruhender Beanspruchung müssen den Anforderungen der Bewertungsgruppe C nach DIN EN ISO 5817 oder DIN EN ISO 13919-1 genügen.

(4) Hohlräume in Tragwerken von Hebezeugen im Reaktorsicherheitsbehälter sind für den Fall erhöhten Außendrucks mit Druckausgleichsöffnungen zu versehen oder den Druckverhältnissen entsprechend zu dimensionieren.

(5) Bei vorgespannten Schraubverbindungen hat das Vorspannen gemäß DIN EN 1090-2 in Verbindung mit DASt Richtlinie 024 zu erfolgen. Dabei ist die planmäßig aufgebrachte Vorspannung auf die Regelvorspannkraft $F_{p,C}^* = 0,7 \cdot f_{yb} \cdot A_s$ zu begrenzen.

6.2 Hubwerke

Unter diesen Abschnitt fallen Triebwerke und Seiltriebe.

6.2.1 Triebwerke

Unter diesen Abschnitt fallen Getriebe, Seriengetriebe, Serienelektrozüge, Kupplungen und Bremsen.

6.2.1.1 Auslegung

(1) Es sind folgende Angaben für die Dimensionierung von Triebwerken zu machen:

a) Montagelasten mit zugehörigen Lastarbeitsspielen für die vorgesehene Einsatzzeit,

b) Betriebslasten mit zugehörigen Lastarbeitsspielen für die vorgesehene Einsatzzeit,

c) Eigenlasten der Lastaufnahme- und Tragmittel,

d) Sonderlasten, wie z. B. Lasten aus Abnahmeprüfung, wiederkehrenden Prüfungen, aus Getriebeprobelauf, aus Einfallen der Bremsen, mit zugehörigen Lastarbeitsspielen für die vorgesehene Einsatzzeit,

   H i n w e i s :

   Bei Verwendung von Systemen zur Erfassung der Bremswirkung ohne Prüflast als wiederkehrende Prüfung siehe auch KTA 3903 Anhang D Abschnitt D 3.1.

e) Einschaltdauer des Hubwerkes mit Montagelast, Betriebslast und Eigenlast sowie mit zugehöriger mittlerer Hubgeschwindigkeit und mittlerem Hubweg,

f) Umgebungsbedingungen entsprechend Abschnitt 4.6.

(2) Für die Bemessung von Serienbauteilen wie Bremsen, Bremsscheiben, Kupplungen sind die Auslegungsdaten zu ermitteln, die in den entsprechenden Formblättern nach KTA 3903 Anhang C gefordert sind.

(3) Für die Bemessung der Wälzlager sind die Berechnungsgrundlagen der Wälzlagerhersteller anzuwenden. Für die dynamische Belastung ist die kubische Mittelung zugelassen, wobei eine Ausfallwahrscheinlichkeit von 3 % zugrunde zu legen ist, die mit $a_1 = 0,44$ zu berücksichtigen ist. Als statische Belastung ist die maximale Prüflast anzusetzen.

6.2.1.2 Nachweise

Die Nachweise sind gemäß **Anhang B** Abschnitt B 1.2 zu führen.

6.2.1.3 Konstruktive Gestaltung und bauliche Anforderungen

6.2.1.3.1 Allgemeines

(1) Hubwerke sind mit einer Überlastsicherung auszurüsten. Diese ist auf höchstens das 1,1fache der maximalen Betriebslast einzustellen. Die Ansprechtoleranz der Überlastsicherung bezogen auf die maximale Betriebslast darf ± 5 % nicht überschreiten.

(2) Hubwerke sind mit einem Betriebsstunden- oder mit einem Lastkollektivzähler zu versehen. Ein Lastkollektivzähler ist erforderlich, wenn die Nachweise auf der Basis eines Lastkollektivs erfolgen.

H i n w e i s :

Es wird vorausgesetzt, dass die mit dem Lastkollektivzähler erfassbaren Parameter auf die Annahmen der Auslegungsberechnung abgestimmt oder auf diese übertragbar sind.

Bei Verwendung eines Betriebsstundenzählers, der nur die Laufzeit aufnimmt, bei der das Triebwerk in Bewegung ist, gelten 50 % der angezeigten Betriebsstunden als Vollaststunden. Bei Verwendung eines Lastkollektivzählers sind alle Lasten größer als 10 % der maximalen Betriebslast zu erfassen.

(3) Machen die Tragmittel mehr als 30 % der maximalen Betriebslast aus, so ist hierfür die gesamte Einschaltzeit des Triebwerkes zu erfassen.

(4) Lagergehäuse aus Gusseisen mit Lamellengraphit sind nicht zulässig.

6.2.1.3.2 Getriebe

(1) Wellen-Nabenverbindungen mit Flach-, Hohl-, Einlege-, Tangential- und Nasenkeilen sind nicht zulässig.

(2) Wellen-Nabenverbindungen mit Pressverband sind für Serien-Hubwerksgetriebe und Serienelektrozüge mit Seil zulässig, wenn sie entsprechend dem Stand der Technik berechnet und ausgeführt werden.

(3) Der Versatz zweier Passfedern muss mindestens 120 Grad betragen. Als tragende Länge der Passfeder darf nicht mehr als der 1,2fache Wert des Wellendurchmessers eingesetzt werden.

(4) Für die Ausführung von Getrieberädern sind nachstehende Anforderungen einzuhalten:

a) Bei Tragfähigkeitsberechnung nach DIN 3990-11 sind die dort genannten Anwendungsgrenzen und Anforderungen zu beachten.

b) Bei Tragfähigkeitsberechnungen nach dem Verfahren von Niemann [2] nach **Anhang B** sind die nachfolgenden Anforderungen gemäß ba) bis bg) einzuhalten.

   ba) Das Verhältnis nutzbare Zahnbreite zu Wälzkreisdurchmesser b/d_{w1} muss bei starrer, beidseitig gelagerter Ritzelwelle kleiner als oder gleich 1,2 sein.

   bb) Längsballigkeit und Profilrücknahmen sind in Größe der Zahnverformungen zulässig.

   bc) Bei fliegender Lagerung der Getrieberäder oder bei Lagerung der Getriebevorgelege auf der Tragkonstruktion oder wenn ba) nicht eingehalten werden kann, ist der Breitenfaktor durch Messungen oder durch ein entsprechend genaues numerisches Rechenverfahren zu bestimmen.

   Dieses Rechenverfahren muss alle Verformungen und Verlagerungen erfassen, die für die Lastverteilung über der Breite wesentlich sind. Weiterhin muss das Rechenverfahren Herstellungsabweichungen und Korrekturen vorzeichenrichtig berücksichtigen.

   bd) Für Zahnräder von Getrieben soll der Normalmodul m_n größer als oder gleich 1/25 der nutzbaren Zahnbreite b sein. Bei Lagerung der Getriebevorgelege auf der Tragkonstruktion oder bei fliegend angeordneten Ritzeln muss der Normalmodul m_n größer als oder gleich b/25 sein.

   be) Schleifabsätze an den Zahnflanken sind nicht zulässig.

   bf) Bei geschliffenen Verzahnungen ist die Verwendung von Protuberanzprofilen oder ein Schleifen bis zum Zahngrund mit Werkzeugkopfabrundung erforderlich.

   bg) Für ausreichende Schmierung ist zu sorgen. Die geeignete Viskosität des Schmiermittels bei Betriebstemperatur ist sicherzustellen.

(5) Getriebekästen aus Gusseisen mit Lamellengraphit sind nicht zulässig, ausgenommen für Serienelektrozüge. Bei geschweißten Getriebekästen müssen die Schweißnähte den Anforderungen der Bewertungsgruppe C nach DIN EN ISO 5817 oder DIN EN ISO 13919-1 genügen.

(6) Die Qualität der Getriebe ist so zu wählen, dass die Verzahnung ohne Belastung ein Mindesttragbild

a) bei nichtballigen Zähnen von mindestens 60 % der nutzbaren Zahnbreite, entgegen der Verformungstendenz unter Last

und

b) bei längsballigen Zähnen von mindestens 40 % der nutzbaren Zahnbreite, etwa von Zahnmitte ausgehend, entgegen der Verformungstendenz unter Last aufweist.

6.2.1.3.3 Bremsen

(1) Es sind zwei Bremsen (Betriebsbremse und Zusatzbremse) antriebsseitig vor der Getriebeabtriebsseite anzuordnen, die jeweils voneinander unabhängig wirken.

(2) Die Bremsen müssen die Anforderungen nach DIN 15434-1 erfüllen. Das erforderliche Bremsmoment jeder Bremse ist für die maximale Betriebslast zu bemessen.

(3) Für die Bremsen ist sicherzustellen, dass bei Stillstand der Triebwerke die maximale Betriebslast von der Betriebsbremse oder Zusatzbremse und die maximale Montagelast von der Betriebs- und Zusatzbremse mit der 2fachen Sicherheit gehalten werden kann. Die Bremsen müssen für die vorliegenden Betriebsbedingungen thermisch und dynamisch geeignet sein.

(4) Bei Ausfall der Betriebsbremse muss die Zusatzbremse die durch den eingetretenen Zustand erhöhte Energie des Systems sicher aufnehmen können.

(5) Bei nicht umrichterbetriebenen Antrieben muss die Zusatzbremse bei allen betrieblichen Bremsvorgängen gegenüber der Betriebsbremse verzögert einfallen. Die Verzögerungszeit ist so festzulegen, dass die Zusatzbremse bei der Bremsung mit Betriebsbremse aus maximaler Senkgeschwindigkeit mit maximaler Betriebslast spätestens bei 5 % dieser Senkgeschwindigkeit einfällt.

6.2.2 Seiltriebe

Unter diesen Abschnitt fallen Seile, Seilrollen, Seiltrommeln, Seilendbefestigungen und Seiltrommelgelenkverbindungen.

6.2.2.1 Auslegung

(1) Die Einstufung der Seiltriebe in Triebwerksgruppen hat nach DIN 15020-1 zu erfolgen, wobei der jeweils größere sich daraus ergebende Seildurchmesser zu wählen ist:

a) für die maximale Montagelast mindestens nach Triebwerksgruppe $1B_m$; bei einem Verhältnis zwischen der Mindestbruchkraft des Seiles und der statischen Seilzugkraft von mindestens 3,5 darf bei Verwendung von Seilen mit Nennfestigkeiten der Einzeldrähte bis 1960 N/mm^2 die Triebwerksgruppe $1E_m$ zugrunde gelegt werden,

b) für die maximale Betriebslast mindestens nach Triebwerksgruppe 2_m für gefährliche Transporte.

(2) Für Seilrollen und Seilschlösser sind die Auslegungsdaten für die Bemessung zu ermitteln, die in den entsprechenden Formblättern nach KTA 3903 Anhang C gefordert sind.

(3) Die Durchmesser der Seiltrommeln, Seilrollen und Ausgleichsrollen sind mindestens nach Triebwerksgruppe 2_m nach DIN 15020-1 zu bemessen.

(4) Die Seilendbefestigungen sind nach DIN 15020-1 zu bemessen.

(5) Die Seiltrommelwanddicke ist mit der maximal auflaufenden dynamischen Seilkraft S_{max} aus dem Lastkollektiv der Betriebszustände nach **Anhang B** Abschnitt B 1.2.1.1 Absatz 2 Aufzählungen a bis c zu berechnen. Kurzzeitig sehr selten auftretende Spannungsspitzen dürfen unberücksichtigt bleiben, da sie nur einen Bruchteil einer Umschlingung beaufschlagen.

(6) Für die Bemessung von Seiltrommelgelenkverbindungen sind die Betriebzustände nach **Anhang B** Abschnitt B 1.2.1.1 Absatz 2 Aufzählungen a bis c mit ihren Lastkollektiven zugrunde zu legen und nach den Berechnungsgrundlagen des Herstellers zu berechnen.

(7) Die Berechnung der Seilklemmen ist entsprechend den konstruktiven Gegebenheiten nach SEB 666211 Beiblatt 1 durchzuführen.

6.2.2.2 Nachweise

Die Nachweise sind gemäß **Anhang B** Abschnitt B 1.2.4 zu führen.

6.2.2.3 Konstruktive Gestaltung und bauliche Anforderungen

(1) Seilrollen oder Ausgleichsrollen aus Gusseisen mit Lamellengraphit sind nur dann zulässig, wenn sie in Serie hergestellt und gegen mechanische Beschädigungen geschützt sind.

(2) Die Befestigung der Drahtseilenden darf erfolgen durch:

a) Vergießen mit Metall nach DIN EN 13411-4,

b) Pressklemmen nach DIN EN 13411-3, sofern es sich um Seile mit Stahleinlage handelt,

c) Asymmetrische Seilschlösser, bei denen der Klemmwinkel von ca. 14 Grad, eine Klemmlänge von 5 · Seildurchmesser und der Seilbiegeradius am Seilkeil von 1,5 · Seildurchmesser eingehalten sind. Der Seilkeil muss mit dem Seildurchmesser gekennzeichnet sein. Das Seilschloss muss eine Bruchkraft von mindestens 85 % der Mindestbruchkraft des Seiles erreichen,

d) Klemmplatten für die Endbefestigung der Seile auf Seiltrommeln nach Abschnitt 6.4 DIN 15020-1.

(3) Auf der Seiltrommel müssen noch die nach Berechnung erforderlichen, jedoch mindestens zwei Sicherheitswindungen in tiefster Lasthakenstellung vorhanden sein.

(4) Seiltrommeln dürfen nur einlagig bewickelt werden. Das ordnungsgemäße Aufwickeln des Seiles auf der Trommel ist zu überwachen oder durch konstruktive Maßnahmen (z. B. durch Seilführungsringe) sicherzustellen.

(5) Bei geschweißten Seiltrommeln müssen die Schweißnähte den Anforderungen der Bewertungsgruppe B nach DIN EN ISO 5817 oder DIN EN ISO 13919-1 genügen.

6.3 Fahrwerke

Unter diesen Abschnitt fällt die Laufradlagerung mit Laufrädern, Laufradachsen und -wellen.

6.3.1 Auslegung

Es sind folgende Angaben für die Dimensionierung von Fahrwerken zu machen:

a) Betriebsstundenklasse nach Tabelle 5 der DIN-Berechnungsgrundsätze für Triebwerke in Hebezeugen [7],

b) Standardkollektiv nach Tabelle 6 der DIN-Berechnungsgrundsätze für Triebwerke in Hebezeugen [7],

c) Betriebsdauer des Fahrantriebs (bezogen auf 1 h) nach DIN 15070 Tabelle 4,

d) Umgebungsbedingungen entsprechend Abschnitt 4.6.

6.3.2 Nachweise

Die Nachweise sind gemäß **Anhang B** Abschnitt B 1.3 zu führen.

6.3.3 Konstruktive Gestaltung und bauliche Anforderungen

(1) Fahrwerke sind mit Radbruchstützen zu versehen.

(2) Für die Laufräder gilt DIN 15085.

6.4 Lastaufnahmeeinrichtungen

Unter diesen Abschnitt fallen Tragmittel, Lastaufnahmemittel und Anschlagmittel.

6.4.1 Tragmittel

Unter diesen Abschnitt fallen mit dem Hebezeug dauernd verbundene Einrichtungen zum Aufnehmen von Lastaufnahmemitteln, Anschlagmitteln oder Lasten (z. B. Lasthaken, Lasthakenaufhängungen, Greifer, Lasttraversen, Gehänge) sowie Unter- und Oberflaschen und Aufhängungen für Ausgleichsrollen und Seilendbefestigungen.

6.4.1.1 Auslegung

(1) Die Einstufung von Lasthaken in Triebwerksgruppen hat nach DIN 15400 zu erfolgen:

a) für die maximale Montagelast mindestens in Triebwerksgruppe $1B_m$,

b) für die maximale Betriebslast mindestens in Triebwerksgruppe 2_m.

(2) Bei Lasthaken aus nichtrostenden Stählen ist die Einstufung unter zusätzlicher Berücksichtigung der Werkstoffkennwerte vorzunehmen.

(3) Für die Auslegung von Tragmitteln als Tragwerke gelten die Anforderungen des Abschnittes 6.1.1 und für die Auslegung von Tragmitteln als Maschinenteile die des Abschnittes 6.2.1.1.

(4) Kommen Schraubverbindungen nach DIN EN ISO 898-1 und DIN EN ISO 898-2 oder DIN EN ISO 3506-1 und DIN EN ISO 3506-2 mit zusätzlicher Zugbeanspruchung zum Einsatz, so ist die ermittelte Schraubenlast sowohl im Nachweis der statischen Festigkeit als auch im Nachweis der Ermüdungsfestigkeit um einen Faktor 1,12 zu erhöhen. Diese Anforderungen werden nicht gestellt, wenn Schrauben nach KTA 3903 Anhang A Werkstoffprüfblatt WPB 3.17 zum Einsatz kommen.

6.4.1.2 Nachweise

(1) Die Nachweise sind gemäß **Anhang B** Abschnitt B 1.4 zu führen.

(2) Ein Nachweis der Ermüdungsfestigkeit ist nicht erforderlich

a) für Stahlbauteile,

aa) die nach DIN 15018-1 ausgelegt werden, wenn eine Spannungsspielzahl $N_\sigma = 2 \cdot 10^4$ nicht überschritten wird,

ab) die nach der Normenreihe DIN EN 13001 ausgelegt werden, sofern nach dieser Normenreihe für den betrachteten Anwendungsfall ein Nachweis der Ermüdungsfestigkeit nicht geführt werden muss,

b) für nichtdrehende Maschinenteile und sonstige Bauteile, wenn 6000 Spannungsspiele nicht überschritten werden.

Hinweise:

(1) Als Stahlbauteile werden in dieser Regel Tragelemente verstanden, die aus geschweißten oder verschraubten Stahlblechen oder gewalzten Stahlprofilen gefertigt sind.

(2) Unter sonstige Bauteile fallen z. B. Bauteile, bei denen eine Spannungsbewertung auf Basis von Nennspannungen nicht sinnvoll ist.

Diese Festlegung gilt in gleicher Weise auch bei der Verwendung von austenitischen Stählen.

(3) Bei Verbindungen mit vorgespannten Schrauben, die nach ihrer Demontage wieder remontiert werden, gelten ergänzend zu (2) die Festlegungen gemäß Abschnitt 6.1.2.1 (5).

6.4.1.3 Konstruktive Gestaltung und bauliche Anforderungen

(1) Die Last darf nur formschlüssig angeschlagen werden. Gegen unbeabsichtigtes Aushängen der Last sind konstruktive Sicherungsmaßnahmen vorzusehen. Verbindungen und Einzelteile müssen so beschaffen sein, dass sie sich nicht unbeabsichtigt lösen können. Sicherungseinrichtungen müssen so beschaffen oder angeordnet sein, dass eine solche unbeabsichtigte Veränderung ihrer Lage ausgeschlossen ist, in der die Sicherungsfunktion nur noch bedingt gewährleistet oder ganz aufgehoben ist.

(2) Zum Schutz vor Schäden müssen folgende Anforderungen erfüllt sein:

a) Hydraulische, pneumatische und elektrische Leitungen müssen so verlegt sein, dass Beschädigungen durch betriebsmäßige Bewegungsvorgänge vermieden werden.

b) Kann die Tragfähigkeit durch Verschleiß, Korrosion oder sonstige schädigende Einflüsse beeinträchtigt werden, muss sichergestellt sein, dass der Zustand geprüft werden kann.

c) Fest umhüllte Einzelteile müssen gegen Korrosion geschützt sein.

d) Bewegliche Umhüllungen müssen so beschaffen oder angeordnet sein, dass Teile, die einer Prüfung bedürfen, freigelegt werden können.

6.4.2 Lastaufnahmemittel

Unter diesen Abschnitt fallen die nicht zum Hebezeug gehörenden Einrichtungen, die zum Aufnehmen der Last mit dem Tragmittel des Hebezeuges verbunden werden können, z. B. Lasthaken, Lasthakenaufhängungen, Traversen, Gehänge und Greifer.

6.4.2.1 Auslegung

(1) Für die Auslegung von Lastaufnahmemitteln als Tragwerke gelten die Anforderungen des Abschnittes 6.1.1 und für die Auslegung von Lastaufnahmemitteln als Maschinenteile die des Abschnittes 6.2.1.1.

(2) Für Lasthaken gilt Abschnitt 6.4.1.1.

(3) Die Tragfähigkeit für

a) Anschlagseile nach DIN EN 13414-1 und DIN EN 13414-2,

b) Anschlagketten nach DIN EN 818-4,

c) Einzelteile für Anschlagmittel nach DIN EN 1677-1, DIN EN 1677-2, DIN EN 1677-3 und DIN EN 1677-4,

d) Schäkel nach DIN EN 13889

als feste Bestandteile des Lastaufnahmemittels darf bis maximal 50 % der in diesen Normen angegebenen Werte ausgenutzt werden. Die Berücksichtigung eines Hublastbeiwerts/Dynamikbeiwerts ist nicht erforderlich.

(4) Kommen Schraubverbindungen nach DIN EN ISO 898-1 und DIN EN ISO 898-2 oder DIN EN ISO 3506-1 und DIN EN ISO 3506-2 mit zusätzlicher Zugbeanspruchung zum Einsatz, so ist die ermittelte Schraubenlast sowohl im Nachweis der statischen Festigkeit als auch im Nachweis der Ermüdungsfestigkeit um einen Faktor 1,12 zu erhöhen. Diese Anforderungen

werden nicht gestellt, wenn Schrauben nach KTA 3903 Anhang A Werkstoffprüfblatt WPB 3.17 zum Einsatz kommen.

6.4.2.2 Nachweise

Es sind die Anforderungen des Abschnitts 6.4.1.2 zu erfüllen.

6.4.2.3 Konstruktive Gestaltung und bauliche Anforderungen

(1) Es sind die Anforderungen des Abschnitts 6.4.1.3 zu erfüllen.

(2) Anschlagseile und Anschlagketten sind als feste Bestandteile von Lastaufnahmemitteln nur dann zulässig, wenn die Seile nach DIN EN 13414-1 und DIN EN 13414-2 und die Ketten nach DIN EN 818-4 und wenn sie ohne Umlenkung mit definierten Lasteinleitungspunkten ausgeführt werden.

(3) Faserseile und gewebte Bänder sind nicht zulässig.

(4) Es sind nur Ketten nach DIN EN 818-2 mit einer inneren Breite $b_1 = 1{,}3 \cdot d$ zu verwenden.

(5) Für die Einzelteile von Anschlagmitteln gelten DIN EN 1677-1, DIN EN 1677-2, DIN EN 1677-3 und DIN EN 1677-4.

(6) Kettenanschlusselemente und Verbindungsteile müssen unlösbar in den Aufhänge- und Endgliedern ausgeführt werden.

(7) Die Verbindungselemente von Anschlagketten zu den Lastanschlagpunkten und von Anschlagseilen zu den Lastanschlagpunkten müssen verwechslungsfrei ausgeführt werden, sofern durch eine Verwechslung ein unzulässiger Zustand eintreten kann.

(8) Bei Anschlagketten dürfen nur Oberflächenbehandlungsverfahren eingesetzt werden, die eine Schädigung des Grundmaterials (z. B. Wasserstoffeinschlüsse) ausschließen.

6.4.3 Anschlagmittel

6.4.3.1 Allgemeines

(1) Unter diesen Abschnitt fallen Anschlagseile und Anschlagketten.

(2) Die Anschlagmittel sind festgelegten Transportvorgängen eindeutig zuzuordnen und dürfen nur für diese Transportvorgänge verwendet werden.

6.4.3.2 Auslegung

Die Tragfähigkeit für

a) Anschlagseile nach DIN EN 13414-1 und DIN EN 13414-2,
b) Anschlagketten nach DIN EN 818-4,
c) Einzelteile für Anschlagmittel nach DIN EN 1677-1, DIN EN 1677-2, DIN EN 1677-3 und DIN EN 1677-4,
d) Schäkel nach DIN EN 13889

darf bis maximal 50 % der in diesen Normen angegebenen Werte ausgenutzt werden. Die Berücksichtigung eines Hublastbeiwerts ist nicht erforderlich.

6.4.3.3 Konstruktive Gestaltung und bauliche Anforderungen

(1) Es dürfen nur Anschlagseile nach DIN EN 13414-1 und DIN EN 13414-2 und Anschlagketten nach DIN EN 818-4 sowie Einzelteile für Anschlagmittel nach DIN EN 1677-1, DIN EN 1677-2, DIN EN 1677-3 und DIN EN 1677-4 verwendet werden.

(2) Anschlagseile und Anschlagketten sind nur dann zulässig, wenn sie ohne Umlenkung mit definierten Lasteinleitungspunkten ausgeführt werden.

(3) Es sind die Anforderungen des Abschnitts 6.4.1.3 zu erfüllen.

(4) Es sind die Festlegungen des Abschnittes 6.4.2.3 Absätze 3 bis 8 zu berücksichtigen.

6.5 Elektrische Ausrüstung

6.5.1 Allgemeines

(1) Es sind Sicherheitsfunktionen vorzusehen, die bei Auftreten von unzulässigen Betriebszuständen oder unzulässigen Überschreitungen von Begrenzungen (Wege, Geschwindigkeiten und Lasten oder deren Kombination) bewirken, dass die betreffenden Antriebe abgeschaltet werden und ein Anfahren der Antriebe verhindert wird. Das Abschalten eines Antriebs muss einschließen, dass die erforderlichen Bremsen wirksam werden.

(2) Die Steuerung ist in eine betriebliche Steuerung und eine Sicherheitssteuerung zu unterteilen. Die Sicherheitssteuerung muss von der betrieblichen Steuerung so unabhängig sein, dass bei bestimmungsgemäßem Betrieb, Fehlfunktion oder Ausfall der betrieblichen Steuerung die Funktion der Sicherheitssteuerung erhalten bleibt. Hierbei sind folgende Vorgaben einzuhalten:

a) Funktionen, die für den Betrieb des Hebezeugs erforderlich sind und nicht das Auftreten von unzulässigen Betriebszuständen oder unzulässige Überschreitungen von Begrenzungen überwachen, z. B. Fahrsteuerbefehle, sind in der betrieblichen Steuerung auszuführen.
b) Die Sicherheitssteuerung überwacht die Einhaltung aller sicherheitstechnisch wichtigen Grenzwerte eines Hebezeugs und überführt das Hebezeug bei Auftreten von unzulässigen Betriebszuständen oder unzulässigen Überschreitungen von Begrenzungen in einen sicheren Zustand. Funktionen, die nach **Anhang E** in Performance Level c, d und e eingestuft sind, sind in der Sicherheitssteuerung auszuführen.
c) Bei Verwendung softwarebasierter Sicherheitssteuerungen ist Software einzusetzen, bei deren Entwicklung und Erstellung die Anforderungen nach DIN EN IEC 62138 Abschnitt 6 für Systeme der Klasse 2 eingehalten wurden.

(3) Bei der Realisierung der für den sicheren Betrieb der Hebezeuge erforderlichen Funktionen sind grundsätzlich die Anforderungen nach DIN EN ISO 13849-1 einzuhalten, wobei die Festlegung der Performance Level nach **Anhang E** Abschnitt E 2 zu erfolgen hat. Den typischen Funktionen sind in **Tabelle E-1** Performance Level zugeordnet. Abweichungen von dem in **Tabelle E-1** festgelegten Performance Level sind im Einzelfall zu begründen.

Hinweis:

Die Anforderungen nach DIN EN ISO 13849-1 schließen eine Berücksichtigung des Ausfallverhaltens von mechanischen Komponenten zum Anbau und Antrieb von Sensoren, die an der Ausführung der Sicherheitsfunktionen beteiligt sind, mit ein.

Anstelle der in **Tabelle E-1** festgelegten Performance Level nach DIN EN ISO 13849-1 dürfen die in der Normenreihe DIN EN 61508 definierten „Safety Integrity Levels“ (SIL) verwendet werden, wobei die Anforderungen gemäß SIL 2 nach DIN EN 61508 als gleichwertig mit den Anforderungen gemäß Performance Level „d“ nach DIN EN ISO 13849-1 und die Anforderungen gemäß SIL 3 als gleichwertig mit den Anforderungen gemäß Performance Level „e“ gelten.

(4) Sicherheitsfunktionen der Performance Level „c“ bis „e“ nach DIN EN ISO 13849-1 müssen unabhängig von den betrieblichen Steuerungsfunktionen wirken. Fehler in den betrieblichen Steuerungsfunktionen dürfen diese Sicherheitsfunktionen nicht unwirksam machen. Sicherheitsfunktionen des Performance Level „d“ sind mindestens in Kategorie 3 und Sicherheitsfunktionen des Performance Level „e“ in Kategorie 4 nach DIN EN ISO 13849-1 auszuführen. Die Reaktionszeiten aller Sicherheitsfunktionen müssen ausreichend klein sein, um die jeweilige sicherheitstechnische Aufgabe erfüllen zu können.

(5) Bei Planung, Entwurf und Ausführung der Sicherheitsfunktionen der Performance Level „c“ bis „e“ nach DIN EN ISO 13849-1 sind die in DIN EN 61513 für Funktionen der Kategorie B enthaltenen Anforderungen einzuhalten.

(6) Für alle Begrenzungs- und Verriegelungsfunktionen, die nach dieser Regel erforderlich sind, müssen zwangsläufig öffnende im Ruhestromprinzip wirkende Schalter oder eine andere Technik eingesetzt werden, mit der eine gleichwertige Sicherheit wie bei zwangsläufig öffnenden Schaltern erreicht wird.

(7) Geschlossene Arbeits- und Betriebsräume in Kranen, die sich im Kontrollbereich befinden, müssen an die Alarmanlage und die Sicherheitsbeleuchtungsanlage des Kernkraftwerks so angeschlossen sein, dass Alarme wahrgenommen werden und die Fluchtwege erkennbar sind.

(8) Es sind Maßnahmen vorzusehen, die eine eindeutige Identifizierung des aktuellen Versionsstands von Hard- und Software für Funktionen, die nach **Anhang E** in Performance Level c, d und e eingestuft sind, ermöglichen.

(9) Es sind Vorkehrungen dafür zu treffen, dass die nach KTA 3903 erforderlichen wiederkehrenden Funktionsprüfungen ohne Eingriff in die elektrische Ausrüstung (z. B. Lösen von Verdrahtungen, Ausbau von Geräteteilen) möglich sind. Hierbei ist sicherzustellen, dass bei den wiederkehrenden Funktionsprüfungen der gesamte Signalpfad erfasst werden kann.

Prüfeinrichtungen sind mit einem Zugriffsschutz zu versehen, so dass sie nur durch autorisiertes Personal aktiviert werden können.

Bei Verwendung nicht selbsttätig rückstellender Prüfeinrichtungen muss deren Aktivierung durch eine Meldung angezeigt werden. Deaktivierte Prüfeinrichtungen dürfen auch im Fehlerfall keinen Einfluss auf die Sicherheitsfunktionen der Performance Level „c“ bis „e“ nach DIN EN ISO 13849-1 haben.

Für die wiederkehrenden Prüfungen der Sicherheitswegbegrenzer der Hub- und Fahrwerke ist eine Freigabeeinrichtung vorzusehen, bei deren Betätigung es dem Kranführer nach dem Anfahren eines Sicherheitswegbegrenzers ermöglicht wird, diesen in entgegengesetzter Bewegungsrichtung und in Schleichfahrt wieder zu verlassen. Die Freigabeeinrichtung zum Verlassen des Sicherheitswegbegrenzers ist von der Funktion her abschließbar und selbsttätig rückstellend auszuführen (z. B. Schlüsseltaster) und so zu positionieren, dass für die Bedienung der Freigabeeinrichtung eine weitere Person (im Sinne des 4-Augen-Prinzips) zum Einsatz kommt.

6.5.2 Anforderungen an die elektrische Ausrüstung

(1) Der Kranschalter darf nur eingeschaltet werden können, wenn dieser mit einem Schlüsselschalter oder mit einer gleichartig gesicherten Einschaltmöglichkeit freigegeben worden ist.

(2) Die Drehstromeinspeisung ist mit einer Drehfeld- und einer Außenleiterüberwachung auszurüsten. Beim Ansprechen dieser Überwachungseinrichtungen darf der Kranschalter nicht zuschaltbar sein, bei in Betrieb befindlichem Hebezeug muss der Kranschalter abschalten. Das Ansprechen dieser Überwachungseinrichtungen muss an den Steuerstellen eine Störmeldung auslösen.

(3) Das Ansprechen von Überstromschutzeinrichtungen darf nur den zugehörigen Motorabzweig automatisch sperren, es sei denn, dass mehrere Motoren für die gleiche Funktion vorhanden sind und gleichzeitig abgeschaltet werden müssen. Bei Hubwerksmotoren müssen in den Wicklungen Temperaturüberwachungsfühler vorhanden sein. Das Ansprechen von Überstromschutzeinrichtungen muss an den Steuerstellen eine Störmeldung auslösen.

(4) Das Ansprechen der Überlastsicherung muss zur Abschaltung der Hubbewegung führen und an den Steuerstellen eine Störmeldung auslösen. Nach dem Quittieren der Störmeldung muss eine Senkbewegung möglich sein.

Die Überlastsicherung ist auf höchstens das 1,1fache der maximalen Betriebslast einzustellen.

Die Ansprechtoleranz der Überlastsicherung bezogen auf die maximale Betriebslast darf ± 5 % nicht überschreiten.

Die Schaltschwelle ist bei der Inbetriebsetzung des Hebezeuges dem Schwingverhalten beim Anheben der Last anzupassen.

(5) Hubwerke sind mit einem Betriebsstunden- oder Lastkollektivzähler entsprechend Abschnitt 6.2.1.3.1 auszurüsten. Es sind Maßnahmen zur Verhinderung eines Datenverlusts vorzusehen (z. B. redundante Datenspeicherung, Speicherung auf ausfallsicherem Medium oder regelmäßige Datensicherung).

(6) Die Hubwerksbremsen müssen jeweils einzeln und voneinander unabhängig angesteuert und allpolig geschaltet werden. Bei nicht umrichterbetriebenen Antrieben muss gemäß Abschnitt 6.2.1.3.3 Absatz 5 die Zusatzbremse gegenüber der Betriebsbremse verzögert einfallen.

Die Unterschreitung der Mindestbelagstärke der Betriebsbremse, das Nichtöffnen und das Nichtschließen der Betriebs- und Zusatzbremse (Bremslüftertätigkeit) müssen an den Steuerstellen eine Warnung auslösen. Bei elektromagnetischen Kompaktbremsen ist es zulässig, die Anzeige des Nichtöffnens und Nichtschließens aus nur einem Schalter abzuleiten. Verschiebeläufermotoren mit integrierter Bremse sind von der Anzeige des Nichtöffnens oder Nichtschließens ausgenommen.

H i n w e i s :

Bei Verwendung von Systemen zur Erfassung der Bremswirkung ohne Prüflast als wiederkehrende Prüfung siehe auch KTA 3903 Anhang D Abschnitt D 3.1.

(7) Sofern keine umrichterbetriebenen Antriebe verwendet werden, ist für Fahr- und Hubwerke neben der Nenngeschwindigkeit mindestens eine Feingeschwindigkeit erforderlich. Bei Geschwindigkeitsänderungen müssen Beschleunigungen und Verzögerungen gering gehalten werden.

(8) Bei umrichterbetriebenen Antrieben ist eine Überwachung erforderlich, dass das Hebezeug bei Nullstellung der Steuereinrichtung stillgesetzt und im Stillstand gehalten und dass bei Betätigung der Steuereinrichtung die korrekte Bewegungsrichtung ausgeführt wird.

(9) Bei elektrisch gesteuerten Lastaufnahmemitteln sind an der Steuerstelle entsprechende Stellungsanzeigen (z. B. Greifer geöffnet, Greifer geschlossen) vorzusehen.

(10) Durch eine elektrische Verriegelung ist sicherzustellen, dass der Steuerbefehl zum Abschlagen einer angeschlagenen Last (z. B. Steuersignal „Greifer öffnen“) nicht unbeabsichtigt oder an sicherheitstechnisch nicht zulässigen Stellen ausgeführt werden kann.

(11) Sofern das ordnungsgemäße Aufwickeln des Seiles auf der Trommel nicht durch konstruktive Maßnahmen sichergestellt ist, ist eine Überwachung erforderlich. Ergibt die Überwachung eine unzulässige Abweichung, muss ein Stillstand herbeigeführt und an den Steuerstellen eine Störmeldung ausgelöst werden.

6.5.3 Begrenzungsfunktionen

(1) Zur Begrenzung der Kran- und Katzfahrt sowie der Hub- und Senkbewegungen sind betriebliche Wegbegrenzer entsprechend **Tabelle E-1** vorzusehen. Zusätzliche Sicherheitswegbegrenzer entsprechend **Tabelle E-1** sind vorzusehen

a) bei Fahrwerken, wenn keine mechanischen Fahrwegendbegrenzungen vorhanden sind,

b) bei Hubwerken am oberen und unteren Hubwegsende.

(2) Bei Einsatz von elektronischen Wegmesssystemen für Sicherheitsfunktionen der Performance Level „c“ bis „e“ nach DIN EN ISO 13849-1

a) muss die Funktion zur Justierung (Preset) dieser Systeme durch technische Maßnahmen (z. B. Schlüsselschalter) freigegeben werden,

b) sind redundante Wegmesssysteme grundsätzlich so auszuführen und anzuordnen, dass ein gleichzeitiger mechanisch bedingter Geberausfall nicht eintreten kann,

c) muss bei redundanten Wegmesssystemen, bei denen die Anforderung gemäß b) nicht eingehalten werden kann, und bei nicht redundanten Wegmesssystemen eine Überwachung zur Erkennung eines mechanisch bedingten Geberausfalls vorhanden sein,

d) ist bei Verwendung von Absolutwertgebern ein schlupffreier Antrieb erforderlich.

(3) Bei Ansprechen des betrieblichen Wegbegrenzers muss der Nachlaufweg so bemessen sein, dass ein Stillstand des Antriebs vor Erreichen des Sicherheitswegbegrenzers erfolgt. Nach Ansprechen des betrieblichen Wegbegrenzers muss eine Bewegung in die jeweils entgegengesetzte Richtung möglich sein.

(4) Solange der Sicherheitswegbegrenzer betätigt ist, darf eine Bewegung des Fahr- oder Hubwerks nicht möglich sein. Für wiederkehrende Prüfungen sind Vorkehrungen zu treffen, dass eine entgegengesetzte Bewegungsrichtung nach Anfahren des Sicherheitswegbegrenzers ermöglicht wird. Das Ansprechen des Sicherheitswegbegrenzers muss an den Steuerstellen eine Störmeldung auslösen.

(5) Durch technische Maßnahmen ist sicherzustellen, dass mechanische Wegendbegrenzungen und Sicherheitswegbegrenzer nur mit der zulässigen Geschwindigkeit angefahren werden können. Maßnahmen zur Begrenzung und Überwachung der zulässigen Geschwindigkeit am Fahr- und Hubwegende sind nicht erforderlich, sofern

a) bei Fahrwerken

aa) die mechanische Wegendbegrenzung für die Nenngeschwindigkeit ausgelegt ist

oder

ab) der Nachlaufweg nach dem Ansprechen des Sicherheitswegbegrenzers so bemessen ist, dass die mechanische Wegendbegrenzung nicht oder nur mit der zulässigen Geschwindigkeit angefahren wird,

b) bei Hubwerken der Nachlaufweg nach dem Ansprechen des Sicherheitswegbegrenzers ausreichend bemessen ist.

(6) Sind aus sicherheitstechnischen Gründen Hub- und Fahrbewegungen teilweise oder ganz zu unterbinden (z. B. Fahrbewegungen über dem Brennelement-Lagerbecken), so ist dies durch eine entsprechende Verriegelungsfunktion sicherzustellen. Das Ansprechen der Verriegelung muss an den Steuerstellen eine Meldung auslösen.

6.5.4 Befehls- und Meldesysteme

6.5.4.1 Befehlssysteme

(1) Durch eine Verriegelung ist sicherzustellen, dass beim Einschalten des Hebezeugs (auch bei betätigtem Steuerorgan) kein Anlaufen von Antrieben erfolgt.

(2) Bei Antrieben mit Geschwindigkeitsstufen darf die Steuerung der Geschwindigkeit für Hub- und Fahrwerke nur von Null über die einzelnen Geschwindigkeitsstufen auf die maximale Geschwindigkeit möglich sein. Die jeweiligen Schaltstufen müssen am Steuerschalter wahrnehmbar sein.

(3) Die Steuerung muss ohne Selbsthaltung ausgeführt sein. Mechanische Steuerorgane müssen selbstrückstellend sein. Auf selbstrückstellende Steuerorgane darf verzichtet werden, wenn durch einen Freigabetaster im Steuerorgan eine Nullrückstellung elektrisch erreicht wird.

(4) An den Steuereinrichtungen müssen die Bewegungsrichtungen deutlich und übereinstimmend mit den Kennzeichnungen am Hebezeug oder Gebäude gekennzeichnet sein.

(5) An allen Steuerstellen muss ein Schalter für „Not-Halt“ vorhanden sein, mit dem alle Antriebseinrichtungen allpolig abgeschaltet werden können. Er muss auch an abgeschalteten Steuerstellen wirksam sein. Die Not-Halt-Funktion ist nach DIN EN 60204-32 in Stopp-Kategorie „0“ oder Stopp-Kategorie „1“ auszuführen. Bei Anwendung der Stopp-Kategorie „1“ ist die verzögerte sichere Abschaltung (kleiner als 0,5 s) unabhängig vom erreichten Stillstand des Antriebs einzuleiten.

(6) Bei Transportvorgängen gemäß KTA 3903 Abschnitt 9.2 (10) muss eine Abschalteinrichtung, z. B. ein zusätzlicher „Not-Halt“, vorhanden sein, mit dem alle Antriebseinrichtungen durch die Überwachungsperson allpolig ausgeschaltet werden können. Von der Position dieser Abschalteinrichtung muss ein ausreichender Überblick über den jeweiligen Arbeitsbereich möglich sein.

(7) Sind mehrere Steuerstellen vorhanden, so müssen die Steuerstellen so untereinander verriegelt sein, dass das Hebezeug jeweils nur von einer Stelle aus gesteuert werden kann.

(8) Drahtlose Steuerungen müssen den Anforderungen gemäß DIN EN 60204-32 Abschnitt 9.2.7 genügen.

6.5.4.2 Meldesysteme

(1) Die Meldesysteme sind zu unterteilen in Meldungen, z. B. für Betriebszustände oder Verriegelungen, sowie in Warnungen, z. B. für Veränderungen oder bevorstehende Änderungen der Bedingungen und in Störungen, die zu Abschaltungen führen.

(2) Meldungen sind optisch, Warnungen und Störungen sind optisch und akustisch anzuzeigen.

(3) Optische Anzeigen und Geräuschgeber müssen über einen Prüftaster prüfbar sein.

(4) Optische Anzeigen müssen solange anstehen, bis der angezeigte Zustand beseitigt ist. Bei Warnungen und Störungen muss die optische Anzeige nach dem Quittieren von Blinklicht in Ruhelicht wechseln und der Geräuschgeber abschalten. Jedes nach einer Quittierung ankommende Warnsignal oder Störmeldesignal muss den Geräuschgeber wieder in Betrieb setzen.

7 Erhöhte Anforderungen an Krane, Winden, Laufkatzen und Lastaufnahmeeinrichtungen

7.1 Tragwerke

Unter diesen Abschnitt fallen Krantragwerke, Katzrahmen, Windenrahmen.

7.1.1 Auslegung

(1) Im Rahmen dieser Regel sind zwei Nachweisverfahren zugelassen:

a) Verfahren mit globalem Sicherheitsbeiwert (σ_{zul}-Konzept) gemäß DIN 15018-1

und

b) Verfahren mit Teilsicherheitsbeiwerten gemäß der Normenreihe DIN EN 13001.

(2) Die gleichzeitige Verwendung beider Verfahren innerhalb der gesamten Nachweisführung für ein Hebezeug ist nur dann zulässig, wenn die betreffenden Bauteile einzeln klar voneinander getrennt sind, die Übertragung der Schnittgrößen innerhalb des Gesamttragwerkes vollständig erfassbar ist und das Tragverhalten der Konstruktion insgesamt zutreffend erfasst wird.

Bezüglich der Nachweisführung für EVA-Lastfälle ist Abschnitt 4.5 (5) zu beachten.

(3) Folgende Angaben sind zur Dimensionierung von Tragwerken zu machen:

a) Montagelasten mit zugehörigen Lastarbeitsspielen für die vorgesehene Einsatzzeit,

b) Betriebslasten mit zugehörigen Lastarbeitsspielen für die vorgesehene Einsatzzeit,

c) Lasten aus Einwirkungen von außen entsprechend Abschnitt 4.5,

d) Umgebungsbedingungen entsprechend Abschnitt 4.6.

7.1.2 Nachweisführung

7.1.2.1 Nachweisführung nach dem globalen Sicherheitskonzept gemäß DIN 15018-1

(1) Die Nachweise sind gemäß **Anhang B** Abschnitt B 2.1.1 zu führen.

(2) Die Einstufung der Tragwerke muss erfolgen

a) für die maximale Montagelast in Hubklasse H1 und Beanspruchungsgruppe B2 nach DIN 15018-1

b) für die maximale Betriebslast in Hubklasse H4 und Beanspruchungsgruppe B4 nach DIN 15018-1.

(3) Sofern ein kleinerer Hublastbeiwert als aus (2) resultierend zur Anwendung kommen soll, ist der während eines Lastarbeitsspiels maximal auftretende dynamische Lastfaktor im Einzelfall rechnerisch oder experimentell nachzuweisen. Zur Bestimmung des Hublastbeiwerts ist dieser dynamische Lastfaktor mit dem Faktor 1,25 zu multiplizieren.

(4) Die bei der Lastumlagerung auftretende Belastung ist als Sonderlast nach DIN 15018-1 in ihren Auswirkungen auf das Tragwerk zu berücksichtigen.

(5) Auf den Betriebsfestigkeitsnachweis kann verzichtet werden, wenn nachgewiesen wird, dass die Spannungsspielzahl unter $2 \cdot 10^4$ liegt. Die Ermittlung der Spannungsspielzahl hat nach Abschnitt B 1.2.1.2 zu erfolgen.

(6) Bei Verbindungen mit vorgespannten Schrauben, die nach ihrer Demontage wieder remontiert werden, gelten ergänzend zu (5) folgende Festlegungen:

a) Ist gemäß (5) ein Betriebsfestigkeitsnachweis zu führen, sind dabei die Spannungsspiele aus Demontage- und Remontagevorgängen mit zu berücksichtigen.

b) Ist gemäß (5) kein Betriebsfestigkeitsnachweis erforderlich und werden maximal 10 Demontage- und Remontagevorgänge durchgeführt, darf auf einen Betriebsfestigkeitsnachweis verzichtet werden.

c) Bei mehr als 10 Demontage- und Remontagevorgängen ist unabhängig von den Festlegungen in (5) ein Betriebsfestigkeitsnachweis zu führen. Dabei sind sowohl die Spannungsspiele aus betrieblichen Beanspruchungen als auch die aus Demontage- und Remontagevorgängen zu berücksichtigen.

7.1.2.2 Nachweisführung nach dem Teilsicherheitskonzept gemäß der Normenreihe DIN EN 13001

(1) Die Festigkeitsnachweise sind gemäß **Anhang B** Abschnitt B 2.1.2 zu führen.

(2) Die Einstufung der Tragwerke muss erfolgen

a) für die maximale Montagelast in die S-Klasse S1 nach DIN EN 13001-3-1,

b) für die maximale Betriebslast in die S-Klasse S4 nach DIN EN 13001-3-1.

(3) Auf einen Nachweis der Ermüdungsfestigkeit darf verzichtet werden, wenn die diesbezüglichen Bedingungen nach DIN EN 13001-3-1 Abschnitt 6.3.3 dies zulassen. Die Ermittlung der Spannungsspielzahl hat nach Abschnitt B 1.2.1.2 zu erfolgen.

(4) Bei Verbindungen mit vorgespannten Schrauben, die nach ihrer Demontage wieder remontiert werden, gelten ergänzend zu (3) folgende Festlegungen:

a) Ist gemäß (3) ein Nachweis der Ermüdungsfestigkeit zu führen, sind dabei die Spannungsspiele aus Demontage- und Remontagevorgängen mit zu berücksichtigen.

b) Ist gemäß (3) kein Nachweis der Ermüdungsfestigkeit erforderlich und werden maximal 10 Demontage- und Remontagevorgänge durchgeführt, darf auf einen Nachweis der Ermüdungsfestigkeit verzichtet werden.

c) Bei mehr als 10 Demontage- und Remontagevorgängen ist unabhängig von den Festlegungen in Abschnitt 6.3.3 der DIN EN 13001-3-1 ein Nachweis der Ermüdungsfestigkeit zu führen. Dabei sind sowohl die Spannungsspiele aus betrieblichen Beanspruchungen als auch die aus Demontage- und Remontagevorgängen zu berücksichtigen.

7.1.3 Konstruktive Gestaltung und bauliche Anforderungen

Es sind die Anforderungen des Abschnitts 6.1.3 zu erfüllen.

7.2 Hubwerke

Unter diesen Abschnitt fallen Triebwerke und Seiltriebe.

7.2.1 Triebwerke

Unter diesen Abschnitt fallen Getriebe, Seriengetriebe, Serienelektrozüge, Kupplungen und Bremsen.

7.2.1.1 Auslegung

(1) Es sind folgende Angaben für die Dimensionierung von Triebwerken zu machen:

a) Montagelasten mit zugehörigen Lastarbeitsspielen für die vorgesehene Einsatzzeit,

b) Betriebslasten mit zugehörigen Lastarbeitsspielen für die vorgesehene Einsatzzeit,

c) Eigenlasten der Lastaufnahme- und Tragmittel,

d) Sonderlasten, wie z. B. Lasten aus Abnahmeprüfung, wiederkehrenden Prüfungen, Getriebeprobelauf sowie Einfallen der Bremsen, mit zugehörigen Lastarbeitsspielen für die vorgesehene Einsatzzeit,

Hinweis:

Bei Verwendung von Systemen zur Erfassung der Bremswirkung ohne Prüflast als wiederkehrende Prüfung siehe auch KTA 3903 Anhang D Abschnitt D 3.1.

e) Einschaltdauer des Hubwerkes mit Montagelast, Betriebslast und Eigenlast sowie mit zugehöriger mittlerer Hubgeschwindigkeit und mittlerem Hubweg,

f) Einschaltdauer, mit der die Last nach Ausfall einer Triebwerkskette bei Ausführung des Hebezeugs mit doppelter Triebwerkskette bewegt werden soll,

g) Umgebungsbedingungen entsprechend Abschnitt 4.6.

(2) Für die Bemessung des Hubwerkes mit doppelter Triebwerkskette sind beide Triebwerksketten als mittragend unter Berücksichtigung der Festlegungen des Absatzes 1 f) zu betrachten. Dieses gilt nicht für Bremsen.

(3) Die Sicherheitsbremse ist für die maximale Betriebslast unter Berücksichtigung des auslegungsbestimmenden Schadensfalls in der Triebwerkskette zu bemessen. Das Bemessungsmoment muss mindestens das 1,4fache des statischen

Lastmoments betragen. Der Anhalteweg der Sicherheitsbremse darf für den auslegungsbestimmenden Schadensfall grundsätzlich den dreifachen Anhalteweg der Betriebsbremse nicht überschreiten.

Als Basis für den theoretischen Nachweis des dreifachen Anhaltewegs dürfen folgende Annahmen getroffen werden:

a) Für die Berechnung des Anhaltewegs der Betriebsbremse dürfen das theoretische Mindestbremsmoment (zweifaches statisches Lastmoment) und die zu erwartende Totzeit von Bremse und Steuerung angesetzt werden.

b) Für die Berechnung des Anhaltewegs der Sicherheitsbremse dürfen die nominalen Werte der Totzeiten und der Bremsmomente angenommen werden.

Die Zulässigkeit größerer Anhaltewege ist im Einzelfall nachzuweisen, wobei bei langsamen Senkgeschwindigkeiten der Nachweis in Abstimmung mit dem Sachverständigen bezogen auf einen maximal zulässigen Absolutwert des Anhalteweges erbracht werden darf.

Hinweis:

Unter dem Anhalteweg der Betriebsbremse wird hier der gesamte Weg verstanden, der vom Auslösen der Bremse durch „Not-Halt“ bis zum Stillstand durchlaufen wird. Unter dem Anhalteweg der Sicherheitsbremse wird hier der gesamte Weg verstanden, der ab Eintritt des Schadensfalls bis zum Stillstand durchlaufen wird.

(4) Für die Bemessung von Serienbauteilen wie Bremsen, Bremsscheiben und Kupplungen sind die Auslegungsdaten zu ermitteln, die in den entsprechenden Formblättern nach KTA 3903 Anhang C gefordert sind.

(5) Für die Bemessung der Wälzlager sind die Berechnungsgrundlagen der Wälzlagerhersteller anzuwenden. Für die dynamische Belastung ist die kubische Mittelung zugelassen, wobei eine Ausfallwahrscheinlichkeit von 1 % zugrunde zu legen ist, die mit $a_1 = 0{,}21$ zu berücksichtigen ist. Als statische Belastung ist die maximale Prüflast anzusetzen.

7.2.1.2 Nachweise

Die Nachweise sind gemäß **Anhang B** Abschnitt B 2.2 zu führen.

7.2.1.3 Konstruktive Gestaltung und bauliche Anforderungen

7.2.1.3.1 Allgemeines

(1) Für Hubwerke gilt Abschnitt 6.2.1.3.1.

(2) Zusätzlich sind Hubwerke entweder mit einer doppelten Triebwerkskette oder mit einer Triebwerkskette mit Sicherheitsbremse auszurüsten.

(3) Bei Hubwerken mit doppelter Triebwerkskette sind alle mechanischen Bauteile im Kraftfluss gemäß Abschnitt 2 (1) a) sowie die Bremsen redundant auszuführen. Ausgenommen sind Lasthaken und Tragwerke der Unter- und Oberflasche.

(4) Die beiden Triebwerksketten müssen auch im instationären Betrieb statisch eindeutig bestimmbar sein.

(5) Bei einer Triebwerkskette mit Sicherheitsbremse müssen die Seile und Seilrollen redundant ausgeführt werden.

(6) Der Ausfall eines Bauteils innerhalb einer doppelten Triebwerkskette oder einer Triebwerkskette mit Sicherheitsbremse muss einen Stillstand des Triebwerks herbeiführen.

(7) Werden zur Aufnahme oder zur Dämpfung des Lastumlagerungsstoßes Systeme und Hilfsmedien (Flüssigkeiten, Gase) eingesetzt, so muss das System überwacht werden (z. B. Druck, Füllstand). Bei unzulässigen Abweichungen muss ein Stillstand herbeigeführt werden.

(8) Bei Hubwerken für die Handhabung von

a) Brennelementen, Steuerelementen und Kerninstrumentierungslanzen beim Druckwasserreaktor,

b) Brennelementen, Steuerstäben und Brennelementkästen beim Siedewasserreaktor,

c) Kapselungen von Kernbauteilen

sind die bei der Lastumlagerung entstehenden Belastungen an den Lastanschlagpunkten dieser Kernbauteile zu begrenzen.

Die konstruktive Gestaltung muss sicherstellen, dass die bei der Lastumlagerung entstehenden Belastungen nicht ungünstigere Beanspruchungen für die Lastanschlagpunkte ergeben als die aus dem Eigengewicht des Kernbauteils, multipliziert mit einem Lastüberhöhungsfaktor von 4.

7.2.1.3.2 Getriebe

Für die Getriebe gilt Abschnitt 6.2.1.3.2.

7.2.1.3.3 Bremsen

(1) Für Bremsen gilt Abschnitt 6.2.1.3.3.

(2) Die Sicherheitsbremse muss bei Wellen- oder Getriebebruch auf der Seiltrommel oder am Ende der Triebswerkskette wirksam werden. Durch Einrichtungen oder betriebliche Maßnahmen ist ein sicheres Absetzen der Last zu ermöglichen.

7.2.2 Seiltriebe

Unter diesen Abschnitt fallen Seile, Seilrollen, Seiltrommeln, Seilendbefestigungen und Seiltrommelgelenkverbindungen.

7.2.2.1 Auslegung

(1) Für die Auslegung der Seiltriebe gilt Abschnitt 6.2.2.1.

(2) Zusätzlich gilt, dass der Seildurchmesser so zu bestimmen ist, dass nach dem Bruch eines Bauteils in einem Seiltrieb für den noch tragenden Seiltrieb eine Mindestbruchsicherheit von 2,5 gegenüber der Mindestbruchkraft des Seiles nachgewiesen wird, wenn die maximale Betriebslast unter Berücksichtigung der beim Bruch eines Bauteils in einem Seiltrieb auftretenden dynamischen Beanspruchungen eingesetzt wird.

(3) Für Seiltrommelgelenkverbindungen sind die Auslegungskräfte und -momente um 20 % zu erhöhen.

7.2.2.2 Nachweise

Die Nachweise sind nach **Anhang B** Abschnitt B 2.2.4 zu führen.

7.2.2.3 Konstruktive Gestaltung und bauliche Anforderungen

(1) Es gelten die Anforderungen des Abschnittes 6.2.2.3.

(2) Zusätzlich ist bei einfacher Triebwerkskette mit Sicherheitsbremse jede Seiltrommel mit einer Stützlagerung zu versehen, die so ausgebildet sein muss, dass die Wirksamkeit der Sicherheitsbremse bei Wellen- und Getriebebruch gegeben ist, und dass bei Schäden an den Lagerungselementen der Seiltrommel oder bei Bruch des Trommelzapfens ein sicheres Absetzen der Last ermöglicht werden kann.

7.3 Fahrwerke

Unter diesen Abschnitt fallen die Laufradlagerung mit Laufrädern, Laufradachsen und -wellen.

7.3.1 Auslegung

Für die Auslegung der Fahrwerke gilt Abschnitt 6.3.1.

7.3.2 Nachweise

Die Nachweise sind gemäß **Anhang B** Abschnitt B 1.3 zu führen.

7.3.3 Konstruktive Gestaltung und bauliche Anforderungen

Für die konstruktive Gestaltung und baulichen Anforderungen gilt Abschnitt 6.3.3.

7.4 Lastaufnahmeeinrichtungen

Unter diesen Abschnitt fallen Tragmittel, Lastaufnahmemittel und Anschlagmittel.

7.4.1 Tragmittel

Unter diesen Abschnitt fallen mit dem Hebezeug dauernd verbundene Einrichtungen zum Aufnehmen von Lastaufnahmemitteln, Anschlagmitteln oder Lasten (z. B. Lasthaken, Lasthakenaufhängungen, Greifer, Lasttraversen, Gehänge) sowie Unter- und Oberflaschen und Aufhängungen für Ausgleichsrollen und Seilendbefestigungen.

7.4.1.1 Auslegung

(1) Die Einstufung von Lasthaken in Triebwerksgruppen hat nach Abschnitt 6.4.1.1 Absätze 1 und 2 zu erfolgen, jedoch bei Betriebslast mindestens in Triebwerksgruppe 3_m.

(2) Für die Auslegung von Tragmitteln als Tragwerke gelten die Anforderungen des Abschnittes 7.1.1 und für die Auslegung von Tragmitteln als Maschinenteile die des Abschnittes 7.2.1.1.

(3) Für nicht redundant ausgeführte Tragmittel ist das 1,25fache des Hublastbeiwerts/Dynamikbeiwerts für die Berechnung anzusetzen. Für den Lasthaken gilt Absatz 1.

(4) Kommen Schraubverbindungen nach DIN EN ISO 898-1 und DIN EN ISO 898-2 oder DIN EN ISO 3506-1 und DIN EN ISO 3506-2 mit zusätzlicher Zugbeanspruchung zum Einsatz, so ist die erforderliche Anzahl der Schrauben zu verdoppeln oder es ist die ermittelte Schraubenlast sowohl im Nachweis der statischen Festigkeit als auch im Nachweis der Ermüdungsfestigkeit um einen Faktor 1,5 zu erhöhen. Diese Anforderungen werden nicht gestellt, wenn Schrauben nach KTA 3903 Anhang A Werkstoffprüfblatt WPB 3.17 zum Einsatz kommen.

7.4.1.2 Nachweise

(1) Die Nachweise sind gemäß **Anhang B** Abschnitt B 2.4 zu führen.

(2) Es gelten die Festlegungen der Abschnitte 6.4.1.2 (2) und 6.4.1.2 (3).

7.4.1.3 Konstruktive Gestaltung und bauliche Anforderungen

Es gelten die Anforderungen des Abschnittes 6.4.1.3.

7.4.2 Lastaufnahmemittel

Unter diesen Abschnitt fallen die nicht zum Hebezeug gehörenden Einrichtungen, die zum Aufnehmen der Last mit dem Tragmittel des Hebezeuges verbunden werden können, z. B. Lasthaken, Lasthakenaufhängungen, Traversen, Gehänge und Greifer.

7.4.2.1 Auslegung

(1) Für die Auslegung von Lastaufnahmemitteln als Tragwerke gelten die Anforderungen des Abschnittes 7.1.1 und für die Auslegung von Lastaufnahmemitteln als Maschinenteile die des Abschnittes 7.2.1.1.

(2) Für Lasthaken gilt Abschnitt 7.4.1.1.

(3) Für nicht redundant ausgeführte Lastaufnahmemittel ist das 1,25fache des Hublastbeiwerts/Dynamikbeiwerts für die Berechnung anzusetzen.

(4) Es gelten die Anforderungen des Abschnitts 6.4.2.1 (3) und des Abschnitts 7.4.1.1 (4).

7.4.2.2 Nachweise

Es sind die Anforderungen des Abschnitts 7.4.1.2 zu erfüllen.

7.4.2.3 Konstruktive Gestaltung und bauliche Anforderungen

Es gelten die Anforderungen des Abschnitts 6.4.2.3.

7.4.3 Anschlagmittel

Es gelten die Anforderungen des Abschnitts 6.4.3.

7.5 Elektrische Ausrüstung

Es sind die Anforderungen des Abschnittes 6.5 zu erfüllen. Zusätzlich zum Abschnitt 6.5 gilt:

a) Bei Ausfall eines Außenleiters der Versorgung des Hubwerksmotors oder des Antriebsumrichters muss selbsttätig eine allpolige Abschaltung des Hubwerksmotors erfolgen. Der Ausfall eines Außenleiters muss an den Steuerstellen eine Störmeldung auslösen.

b) Bei Hubwerken mit einfacher Triebwerkskette ist eine Überwachung vorzusehen, die bei Schadenseintritt durch Getriebe- oder Wellenbruch die Sicherheitsbremse auslöst. Muss bei Versagen dieser Funktion als Folge eine Überschreitung der Störfallplanungswerte nach § 104 StrlSchV unterstellt werden und ist eine Ausführung der Funktion mittels softwarebasierter Systeme vorgesehen, ist die Überwachung bei Hubwerken mit einer maximalen Betriebslast größer als 5 t durch zwei unabhängige und verschiedenartige Einrichtungen zu realisieren (Ausführungsbeispiele siehe **Bilder E-2** und **E-4**). Dabei muss eine der Überwachungseinrichtungen den Getriebe- oder Wellenbruch durch kontinuierlichen Vergleich der Drehbewegungen von Antriebsmotor und Seiltrommel erfassen. Der Einfall der Sicherheitsbremse bei Bewegung des Hubwerks ist mittels Zähler zu erfassen. Das Nichtöffnen der Sicherheitsbremse ist zu überwachen.

c) Das Wiedereinschalten nach dem Ausfall eines Bauteils in einer Triebwerkskette ist nur mittels Schlüsselschalter vom elektrischen Betriebsraum aus zulässig.

d) Muss bei Versagen der Sicherheitswegbegrenzung am Hubwegende als Folge eine Überschreitung der Störfallplanungswerte nach § 104 StrlSchV unterstellt werden und ist eine Ausführung der Funktion mittels softwarebasierter Systeme vorgesehen, sind die Abschaltung bei Überschreitung der zulässigen Geschwindigkeit und der Sicherheitswegbegrenzer jeweils durch zwei unabhängige und verschiedenartige Einrichtungen zu realisieren (Ausführungsbeispiele siehe **Bilder E-1**, **E-3** und **E-4**).

e) Der Ausfall eines Bauteils innerhalb einer doppelten Triebwerkskette oder einer Triebwerkskette mit Sicherheitsbremse muss einen Stillstand des Triebwerks herbeiführen und an den Steuerstellen eine Störmeldung auslösen.

f) Werden zur Aufnahme oder zur Dämpfung des Lastumlagerungsstoßes Systeme und Hilfsmedien (Flüssigkeiten, Gase) eingesetzt, so muss das System überwacht werden (z. B. Druck, Füllstand). Bei unzulässigen Abweichungen muss ein Stillstand herbeigeführt und an den Steuerstellen eine Störmeldung ausgelöst werden.

g) Es ist eine kontinuierliche Lastanzeige an den Steuerstellen vorzusehen.

h) Sofern für bestimmte Transporte eine Lastbegrenzung im Teillastbereich der maximalen Betriebslast erforderlich ist, ist zusätzlich zu der Überlastsicherung gemäß 6.5.2 (4) vorzusehen, dass weitere Grenzwerte für Überlast eingestellt werden können.

8 Anforderungen an Brennelement-Wechselanlagen für Leichtwasserreaktoren

8.1 Tragwerke

Unter diesen Abschnitt fallen Tragwerke und Katzrahmen.

8.1.1 Auslegung

(1) Im Rahmen dieser Regel sind zwei Nachweisverfahren zugelassen:

a) Verfahren mit globalem Sicherheitsbeiwert (σ_{zul}-Konzept) gemäß DIN 15018-1

und

b) Verfahren mit Teilsicherheitsbeiwerten gemäß der Normenreihe DIN EN 13001.

(2) Die gleichzeitige Verwendung beider Verfahren innerhalb der gesamten Nachweisführung für ein Hebezeug ist nur dann zulässig, wenn die betreffenden Bauteile einzeln klar voneinander getrennt sind, die Übertragung der Schnittgrößen innerhalb des Gesamttragwerkes vollständig erfassbar ist und das Tragverhalten der Konstruktion insgesamt zutreffend erfasst wird. Bezüglich der Nachweisführung für EVA-Lastfälle ist Abschnitt 4.5 (5) zu beachten.

(3) Folgende Angaben sind zur Dimensionierung von Tragwerken zu machen:

a) Betriebslasten mit zugehörigen Lastarbeitsspielen für die vorgesehene Einsatzzeit,

b) Lasten aus Einwirkungen von außen entsprechend Abschnitt 4.5,

c) Umgebungsbedingungen entsprechend Abschnitt 4.6.

8.1.2 Nachweisführung

8.1.2.1 Nachweisführung nach dem globalen Sicherheitskonzept gemäß DIN 15018-1

(1) Die Nachweise sind gemäß **Anhang B** Abschnitt B 2.1.1 zu führen.

(2) Die Einstufung der Tragwerke für die maximale Betriebslast in Hubklasse H4 und Beanspruchungsgruppe B4 nach DIN 15018-1 zu erfolgen.

(3) Sofern ein kleinerer Hublastbeiwert als aus (2) resultierend zur Anwendung kommen soll, ist der während eines Lastarbeitsspiels maximal auftretende dynamische Lastfaktor im Einzelfall rechnerisch oder experimentell nachzuweisen. Zur Bestimmung des Hublastbeiwerts ist dieser dynamische Lastfaktor mit dem Faktor 1,25 zu multiplizieren.

(4) Die bei der Lastumlagerung auftretende Belastung ist als Sonderlast nach DIN 15018-1 in ihren Auswirkungen auf das Tragwerk zu berücksichtigen.

(5) Auf den Betriebsfestigkeitsnachweis kann verzichtet werden, wenn nachgewiesen wird, dass die Spannungsspielzahl unter $2 \cdot 10^4$ liegt. Die Ermittlung der Spannungsspielzahl hat nach Abschnitt B 1.2.1.2 zu erfolgen.

(6) Bei Verbindungen mit vorgespannten Schrauben, die nach ihrer Demontage wieder remontiert werden, gelten ergänzend zu (5) folgende Festlegungen:

a) Ist gemäß (5) ein Betriebsfestigkeitsnachweis zu führen, sind dabei die Spannungsspiele aus Demontage- und Remontagevorgängen mit zu berücksichtigen.

b) Ist gemäß (5) kein Betriebsfestigkeitsnachweis erforderlich und werden maximal 10 Demontage- und Remontagevorgänge durchgeführt, darf auf einen Betriebsfestigkeitsnachweis verzichtet werden.

c) Bei mehr als 10 Demontage- und Remontagevorgängen ist unabhängig von den Festlegungen in (5) ein Betriebsfestigkeitsnachweis zu führen. Dabei sind sowohl die Spannungsspiele aus betrieblichen Beanspruchungen als auch die aus Demontage- und Remontagevorgängen zu berücksichtigen.

8.1.2.2 Nachweisführung nach dem Teilsicherheitskonzept gemäß der Normenreihe DIN EN 13001

(1) Die Festigkeitsnachweise sind gemäß **Anhang B** Abschnitt B 2.1.2 zu führen.

(2) Die Einstufung der Tragwerke muss für die maximale Betriebslast in die S-Klasse S4 nach DIN EN 13001-3-1 erfolgen.

(3) Auf einen Nachweis der Ermüdungsfestigkeit darf verzichtet werden, wenn die diesbezüglichen Bedingungen nach DIN EN 13001-3-1 Abschnitt 6.3.3 dies zulassen. Die Ermittlung der Spannungsspielzahl hat nach Abschnitt B 1.2.1.2 zu erfolgen.

(4) Bei Verbindungen mit vorgespannten Schrauben, die nach ihrer Demontage wieder remontiert werden, gelten ergänzend zu (3) folgende Festlegungen:

a) Ist gemäß (3) ein Nachweis der Ermüdungsfestigkeit zu führen, sind dabei die Spannungsspiele aus Demontage- und Remontagevorgängen mit zu berücksichtigen.

b) Ist gemäß (3) kein Nachweis der Ermüdungsfestigkeit erforderlich und werden maximal 10 Demontage- und Remontagevorgänge durchgeführt, darf auf einen Nachweis der Ermüdungsfestigkeit verzichtet werden.

c) Bei mehr als 10 Demontage- und Remontagevorgängen ist unabhängig von den Festlegungen in Abschnitt 6.3.3 der DIN EN 13001-3-1 ein Nachweis der Ermüdungsfestigkeit zu führen. Dabei sind sowohl die Spannungsspiele aus betrieblichen Beanspruchungen als auch die aus Demontage- und Remontagevorgängen zu berücksichtigen.

8.1.3 Konstruktive Gestaltung und bauliche Anforderungen

(1) Es sind die Anforderungen des Abschnitts 6.1.3 zu erfüllen.

(2) Die Brennelement-Wechselanlagen müssen so ausgeführt werden, dass durch entsprechende Kompensationsmaßnahmen die Brückenträgerdurchbiegung ausgeglichen wird, um eine senkrechte Handhabung während des Brennelementeinsetzens und -ziehens zu ermöglichen.

8.2 Hubwerke

Unter diesen Abschnitt fallen Triebwerke und Seiltriebe.

8.2.1 Triebwerke

Unter diesen Abschnitt fallen Getriebe, Seriengetriebe, Kupplungen und Bremsen.

8.2.1.1 Auslegung

(1) Es sind folgende Angaben für die Dimensionierung von Triebwerken zu machen:

a) Betriebslasten mit zugehörigen Lastarbeitsspielen für die vorgesehene Einsatzzeit,

b) Eigenlasten der Lastaufnahmeeinrichtung,

c) Sonderlasten, wie z. B. Lasten aus Abnahmeprüfung, wiederkehrenden Prüfungen, Getriebeprobelauf sowie Einfallen der Bremsen, mit zugehörigen Lastarbeitsspielen für die vorgesehene Einsatzzeit,

Hinweis:

Bei Verwendung von Systemen zur Erfassung der Bremswirkung ohne Prüflast als wiederkehrende Prüfung siehe auch KTA 3903 Anhang D Abschnitt D 3.1.

d) Einschaltdauer des Hubwerks mit Betriebslast und Eigenlast sowie mit zugehöriger mittlerer Hubgeschwindigkeit und mittlerem Hubweg,

e) Einschaltdauer, mit der die Last nach Ausfall einer Triebwerkskette bei einer Ausführung mit doppelter Triebwerkskette bewegt werden soll,

f) Umgebungsbedingungen entsprechend Abschnitt 4.6.

(2) Für die Bemessung des Hubwerks mit doppelter Triebwerkskette sind beide Triebwerksketten als mittragend unter Berücksichtigung der Festlegungen nach (1) e) zu betrachten. Dieses gilt nicht für Bremsen.

(3) Die Sicherheitsbremse ist für die maximale Betriebslast unter Berücksichtigung des auslegungsbestimmenden Schadensfalls in der Triebwerkskette zu bemessen. Das Bemessungsmoment muss mindestens das 1,4fache des statischen Lastmoments betragen. Der Anhalteweg der Sicherheitsbremse darf für den auslegungsbestimmenden Schadensfall grundsätzlich den dreifachen Anhalteweg der Betriebsbremse nicht überschreiten.

Als Basis für den theoretischen Nachweis des dreifachen Anhaltewegs dürfen folgende Annahmen getroffen werden:

a) Für die Berechnung des Anhaltewegs der Betriebsbremse dürfen das theoretische Mindestbremsmoment (zweifaches statisches Lastmoment) und die zu erwartende Totzeit von Bremse und Steuerung angesetzt werden.

b) Für die Berechnung des Anhaltewegs der Sicherheitsbremse dürfen die nominalen Werte der Totzeiten und der Bremsmomente angenommen werden.

Die Zulässigkeit größerer Anhaltewege ist im Einzelfall nachzuweisen, wobei bei langsamen Senkgeschwindigkeiten der Nachweis in Abstimmung mit dem Sachverständigen bezogen auf einen maximal zulässigen Absolutwert des Anhalteweges erbracht werden darf.

Hinweis:

Unter dem Anhalteweg der Betriebsbremse wird hier der gesamte Weg verstanden, der vom Auslösen der Bremse durch „Not-Halt“ bis zum Stillstand durchlaufen wird. Unter dem Anhalteweg der Sicherheitsbremse wird hier der gesamte Weg verstanden, der ab Eintritt des Schadensfalls bis zum Stillstand durchlaufen wird.

(4) Für die Bemessung von Serienbauteilen wie Bremsen, Bremsscheiben und Kupplungen sind die Auslegungsdaten zu ermitteln, die in den entsprechenden Formblättern nach KTA 3903 Anhang C gefordert sind.

(5) Für die Bemessung der Wälzlager sind die Berechnungsgrundlagen der Wälzlagerhersteller anzuwenden. Für die dynamische Belastung ist die kubische Mittelung zugelassen, wobei eine Ausfallwahrscheinlichkeit von 1 % zugrunde zu legen ist, die mit $a_1 = 0{,}21$ zu berücksichtigen ist. Als statische Belastung ist die maximale Prüflast anzusetzen.

8.2.1.2 Nachweise

Die Nachweise sind gemäß **Anhang B** Abschnitt B 2.2 zu führen.

8.2.1.3 Konstruktive Gestaltung und bauliche Anforderungen

8.2.1.3.1 Allgemeines

(1) Für Hubwerke gilt Abschnitt 6.2.1.3.

(2) Zusätzlich sind Hubwerke entweder mit einer doppelten Triebwerkskette oder mit einer Triebwerkskette mit Sicherheitsbremse auszurüsten.

(3) Bei Hubwerken mit doppelter Triebwerkskette sind alle mechanischen Bauteile im Kraftfluss gemäß 2 (1) a) sowie die Bremsen redundant auszuführen. Dies gilt nicht für Greifer und deren Hublastführung.

(4) Die beiden Triebwerksketten müssen auch im instationären Betrieb statisch eindeutig bestimmbar sein.

(5) Bei einer Triebwerkskette mit Sicherheitsbremse müssen die Seile und Seilrollen redundant ausgeführt werden.

(6) Der Ausfall eines Bauteils innerhalb einer doppelten Triebwerkskette oder einer Triebwerkskette mit Sicherheitsbremse muss einen Stillstand des Triebwerks herbeiführen.

(7) Es sind eine Schlaffseilüberwachung und eine kontinuierliche Lastmesseinrichtung vorzusehen.

(8) Das Absetzen des Brennelements in eine gesicherte Position muss auch bei Energieausfall oder nach Ausfall eines Bauteils im Triebwerk möglich sein.

(9) Die Bewegungen aller handgetriebenen Teile mit Ausnahme der Notantriebe sind zuverlässig zu begrenzen.

(10) Werden zur Aufnahme oder zur Dämpfung des Lastumlagerungsstoßes Systeme und Hilfsmedien (Flüssigkeiten, Gase) eingesetzt, so muss das System überwacht werden (z. B. Druck, Füllstand). Bei unzulässigen Abweichungen muss ein Stillstand herbeigeführt werden.

(11) Bei Hubwerken für die Handhabung von

a) Brennelementen, Steuerelementen und Kerninstrumentierungslanzen beim Druckwasserreaktor,

b) Brennelementen, Steuerstäben und Brennelementkästen beim Siedewasserreaktor,

c) Kapselungen von Kernbauteilen

sind die bei der Lastumlagerung entstehenden Belastungen an den Lastanschlagpunkten dieser Kernbauteile zu begrenzen.

Die konstruktive Gestaltung muss sicherstellen, dass die bei der Lastumlagerung entstehenden Belastungen nicht ungünstigere Beanspruchungen für die Lastanschlagpunkte ergeben als die aus dem Eigengewicht des Kernbauteils, multipliziert mit einem Lastüberhöhungsfaktor von 4.

8.2.1.3.2 Getriebe

Für die Getriebe gilt Abschnitt 6.2.1.3.2.

8.2.1.3.3 Bremsen

(1) Für Bremsen gilt Abschnitt 6.2.1.3.3.

(2) Die Sicherheitsbremse muss bei Wellen- oder Getriebebruch auf der Seiltrommel oder am Ende der Triebwerkskette wirksam werden. Durch Einrichtungen oder betriebliche Maßnahmen ist ein sicheres Absetzen der Last zu ermöglichen.

8.2.2 Seiltriebe

Unter diesen Abschnitt fallen Seile, Seilrollen, Seiltrommeln, Seilendbefestigungen und Seiltrommelgelenkverbindungen.

8.2.2.1 Auslegung

(1) Für die Auslegung der Seiltriebe gilt Abschnitt 6.2.2.1.

(2) Zusätzlich zu Abschnitt 6.2.2.1 gilt, dass der Seildurchmesser so zu bestimmen ist, dass nach dem Bruch eines Bauteils in einem Seiltrieb für den noch tragenden Seiltrieb eine

Mindestbruchsicherheit von 2,5 gegenüber der Mindestbruchkraft nachgewiesen wird, wenn die maximale Betriebslast unter Berücksichtigung der beim Bruch eines Bauteils in einem Seiltrieb auftretenden dynamischen Beanspruchungen eingesetzt wird.

(3) Für Seiltrommelgelenkverbindungen sind die Auslegungskräfte und -momente um 20 % zu erhöhen.

8.2.2.2 Nachweise

Die Nachweise sind nach **Anhang B** Abschnitt B 2.2.4 zu führen.

8.2.2.3 Konstruktive Gestaltung und bauliche Anforderungen

(1) Es gelten die Anforderungen des Abschnittes 6.2.2.3.

(2) Zusätzlich ist jede Seiltrommel mit einer Stützlagerung zu versehen, die so ausgebildet sein muss, dass die Wirksamkeit der Sicherheitsbremse bei Wellen- oder Getriebebruch gegeben ist, und dass bei Schäden an den Lagerungselementen der Seiltrommel oder bei Bruch des Trommelzapfens ein sicheres Absetzen der Last ermöglicht werden kann.

8.3 Fahrwerke

Unter diesen Abschnitt fallen die Laufradlagerung mit Laufrädern, Laufradachsen und -wellen.

8.3.1 Auslegung

Für die Auslegung der Fahrwerke gilt Abschnitt 6.3.1.

8.3.2 Nachweise

Die Nachweise sind gemäß **Anhang B** Abschnitt B 1.3 zu führen.

8.3.3 Konstruktive Gestaltung und bauliche Anforderungen

Für die konstruktive Gestaltung und die baulichen Anforderungen gilt Abschnitt 6.3.3.

8.4 Lastaufnahmeeinrichtungen

Unter diesen Abschnitt fallen bei Brennelement-Wechselanlagen Greifer und Hublastführungen, z. B. Teleskopmast, Führungsrohr.

8.4.1 Auslegung

(1) Für die Auslegung von Hublastführungen als Tragwerke gelten die Anforderungen des Abschnittes 8.1 und für die Auslegung von Greifern die des Abschnittes 8.2.

(2) Für nicht redundante Bauteile ist das 1,25fache des Hublastbeiwerts/Dynamikbeiwerts für die Berechnung anzusetzen.

(3) Kommen Schraubverbindungen nach DIN EN ISO 898-1 und DIN EN ISO 898-2 oder DIN EN ISO 3506-1 und DIN EN ISO 3506-2 mit zusätzlicher Zugbeanspruchung zum Einsatz, so ist die erforderliche Anzahl der Schrauben zu verdoppeln oder es ist die ermittelte Schraubenlast sowohl im Nachweis der statischen Festigkeit als auch im Nachweis der Ermüdungsfestigkeit um einen Faktor 1,5 zu erhöhen. Diese Anforderungen werden nicht gestellt, wenn Schrauben nach KTA 3903 Anhang A Werkstoffprüfblatt WPB 3.17 zum Einsatz kommen.

8.4.2 Nachweise

(1) Die Nachweise sind gemäß **Anhang B** Abschnitt B 2.4 zu führen.

(2) Es gelten die Festlegungen des Abschnitts 6.4.1.2 (2).

8.4.3 Konstruktive Gestaltung und bauliche Anforderungen

(1) Die Last darf nur formschlüssig an den Greifer angeschlagen werden.

(2) Der Greifer muss auf doppelte, unabhängige Weise gegen unbeabsichtigtes Öffnen und Öffnen an sicherheitstechnisch nicht zulässigen Stellen verriegelt sein. Dies gilt auch bei vollem oder teilweisem Energieausfall (Strom, Hydraulik, Pneumatik).

(3) Das Absetzen des Brennelements in eine gesicherte Position muss auch bei Energieausfall weiterhin möglich sein.

8.5 Elektrische Ausrüstung

Es sind die Anforderungen des Abschnittes 6.5 und 7.5 zu erfüllen, wobei die Realisierung der Sicherheitsfunktionen gemäß Abschnitt 7.5 b) oder 7.5 d) mittels zweier verschiedenartiger Gerätesysteme nicht erforderlich ist. Zusätzlich zu den Abschnitten 6.5 und 7.5 gilt:

a) Die Endstellungen „auf“ und „zu“ des Greifers und alle zugehörigen Verriegelungen müssen optisch an den Steuerstellen angezeigt werden. Solange eine der beiden Endstellungen nicht erreicht ist, darf eine Bewegung des Hubwerkes nicht möglich sein.

b) Der Netzanschlussschalter der Brennelement-Wechselanlage darf nur eingeschaltet werden können, wenn dieser mit einem Schlüsselschalter oder mit einer gleichartig gesicherten Einschaltmöglichkeit vom Reaktorleitstand oder von einer anderen sicherheitstechnisch gleichwertigen Stelle aus freigegeben worden ist. Zwischen dieser Stelle und allen Steuerstellen muss entweder unmittelbarer Sprechverkehr möglich sein oder eine Gegensprechanlage bestehen, die an eine unterbrechungslose Stromversorgung angeschlossen ist. Eine Rücknahme der Freigabe darf keine Abschaltung des Netzanschlussschalters auslösen und muss nach Abschalten eine erneute Einschaltung verhindern.

c) Die Position des Greifers muss für alle Koordinaten angezeigt werden.

d) Die kontinuierliche Lastmesseinrichtung muss mit einer Lastanzeige, die die tatsächlichen Lasten am Seil anzeigt, auf dem Steuerpult ausgerüstet sein. Für bestimmte zugeordnete Lasten, z. B. für Brennelemente oder Steuerelemente, müssen zugeordnete betriebsartenabhängige Grenzwerte zur Hubwerksabschaltung bei Überlast oder Unterlast automatisch aktiviert werden.

e) Das Ansprechen eines Lastgrenzwertes und das Ansprechen der Schlaffseilüberwachung muss an den Steuerstellen eine entsprechende Störmeldung auslösen.

f) Fahrbewegungen müssen so verriegelt sein, dass sie nur möglich sind, wenn sich der Greifer in der für den jeweiligen Betrieb zulässigen Höhenlage befindet.

g) Zur Begrenzung der Fahrbewegungen auf den durch die Kontur des Reaktor- und Lagerbeckenbereichs sowie fester Einbauten definierten sicherheitstechnisch zulässigen Fahrbereich ist neben dem betrieblichen Wegbegrenzer nach Abschnitt 6.5.3 (1) ein von diesem unabhängiger Sicherheitswegbegrenzer vorzusehen.

h) Können Teile von Brennelement-Wechselanlagen sowohl von Hand als auch motorisch bewegt werden, darf der motorische Antrieb nicht eingeschaltet oder einschaltbar sein, solange eine Bewegung von Hand möglich ist.

i) Bei Hubwerken mit Teleskopmast ist die korrekte Reihenfolge beim Aus- und Einfahren der Mastschüsse des Teleskopmastes zu überwachen. Bei Hubwerken mit Doppelgreifern ist die korrekte Reihenfolge beim Aus- und Einfahren der beweglichen Teile (Zentrierglocke, Brennelementgreifer, Steuerelementgreifer) zu überwachen.

   Im Fehlerfall ist das Hubwerk abzuschalten.

j) Durch eine Verriegelung ist das Absetzen einer transportierten Last (z. B. Brennelement) auf eine bereits belegte Position im Lagerbecken oder im Reaktorkern zu verhindern.

k) Die elektrische Verriegelung gemäß 6.5.2 (10) ist so auszuführen, dass der Steuerbefehl zum Abschlagen der Last nur bei gleichzeitiger Freigabe durch zwei voneinander unabhängige Kriterien (z. B. Hubhöhe und Last) ausgeführt werden kann.

l) Durch eine Verriegelung ist sicherzustellen, dass beim Überfahren des Flutkompensators bei Siedewasserreaktoren und der Dichtmembran bei Druckwasserreaktoren keine Hub- oder Senkbewegungen des Haupthubwerks möglich sind.

Anhang A

Beispiele für die Einstufung von Hebezeugen

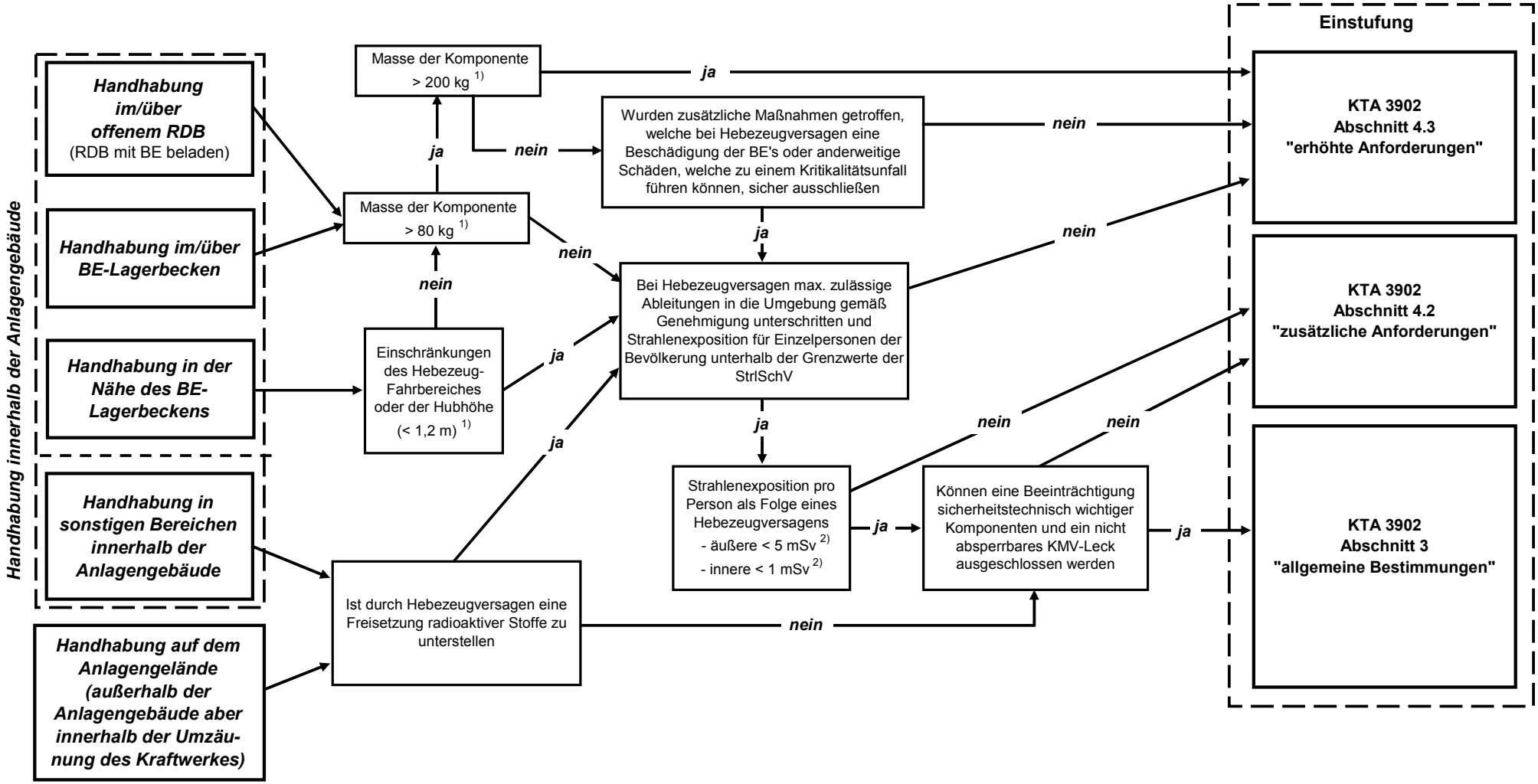
A 1 Beispiele für die Einstufung von Hebezeugen in Druckwasserreaktor-Anlagen

lfd. Nr.	Hebezeug	zusätzliche Anforderungen nach Abschnitt 4.2	erhöhte Anforderungen nach Abschnitt 4.3
1	Reaktorgebäudekran, ausgenommen Reparaturhubwerk		X
2	Halbportalkran		X
3	Konsolkran im Reaktorgebäude	X	
4	Kran im Lager für neue Brennelemente	X	
5	Hilfshub auf der BE-Wechselanlage		X
6	Traverse für Abschirmriegel über Reaktor- und Absetzbecken		X
7	Traverse für den RDB-Deckel		X
8	Traversen für den Transportbehälter für bestrahlte Brennelemente		X
9	Traversen für den Transportbehälter für unbestrahlte UO_2-Brennelemente	X	
10	Traverse für metallisches Kontaminationsschutzhemd	X	
11	Traverse für RDB-Einbauten:		
	- Oberes Kerngerüst		X
	- Unteres Kerngerüst	X	
12	Traverse für Beckenschütze		X
13	Traverse für Spannvorrichtung der RDB-Deckelschrauben	X	

A 2 Beispiele für die Einstufung von Hebezeugen in Siedewasserreaktor-Anlagen

lfd. Nr.	Hebezeug	zusätzliche Anforderungen nach Abschnitt 4.2	erhöhte Anforderungen nach Abschnitt 4.3
1	Reaktorgebäudekran, ausgenommen Reparaturhubwerk		X
2	Kran im Lager für neue Brennelemente	X	
3	Hilfshub auf der BE-Wechselanlage		X
4	Winde zur Handhabung bestrahlter Brennelemente im Lagerbecken		X
5	Traverse für RDB- und RSB-Deckel und Flutkompensator		X
6	Traverse für Abschirmriegel über Reaktor- und Absetzbecken		X
7	Traverse für Beckenschütze		X
8	Traverse für Dampfabscheider, Dampftrockner		X
9	Traverse für Transportbehälter für bestrahlte Brennelemente im Reaktorgebäude		X
10	Traverse für Transportbehälter für unbestrahlte UO_2-Brennelemente innerhalb des Reaktorgebäudes	X	
11	Traverse für metallisches Kontaminationsschutzhemd	X	
12	Traverse für Spannvorrichtung der RDB-Deckelschrauben	X	

A 3 Beispiel für das Vorgehen bei der Einstufung von Hebezeugen gemäß KTA 3902



1) Die Zahlenwerte basieren auf Erfahrung. Sie stellen Orientierungswerte dar. Die Einstufung der Hebezeuge erfolgt unter Berücksichtigung der konkreten Bedingungen (u.a. Einsatzort, Komponentengeometrie) im Rahmen des atomrechtlichen Genehmigungs- und Aufsichtsverfahrens.

2) Die Einstufung der Hebezeuge erfolgt unter Berücksichtigung der konkreten Bedingungen (u.a. Einsatzort, Häufigkeit und Dauer von Transportvorgängen) im Rahmen des atomrechtlichen Genehmigungs- und Aufsichtsverfahrens.

Anhang B

Lastfälle und Nachweise für Hebezeuge

B 1 Lastfälle und Nachweise für Krane, Winden, Laufkatzen und Lastaufnahmeeinrichtungen nach Abschnitt 6 20
B 1.1 Tragwerke 20
B 1.2 Hubwerke 21
B 1.3 Fahrwerke 25
B 1.4 Lastaufnahmeeinrichtungen 28
B 2 Lastfälle und Nachweise für Krane, Winden, Laufkatzen und Lastaufnahmeeinrichtungen nach Abschnitt 7 und für Brennelement-Wechselanlagen nach Abschnitt 8 29
B 2.1 Tragwerke 29
B 2.2 Hubwerke 30
B 2.3 Fahrwerke 31
B 2.4 Lastaufnahmeeinrichtungen 31
B 3 Nachweisführung bei Anwendung der Finite-Elemente-Methode 35
B 3.1 Allgemeines 35
B 3.2 Spannungsabsicherung bei Tragwerken unter Verwendung des globalen Sicherheitskonzepts in Verbindung mit Nachweisführungen nach DIN 15018-1 und bei nichtdrehenden Maschinenteilen 35
B 3.3 Spannungsabsicherung von Tragwerken bei Verwendung des Teilsicherheitskonzepts nach DIN EN 13001-3-1 36
B 4 Formelzeichen und Größen 37

B 1 Lastfälle und Nachweise für Krane, Winden, Laufkatzen und Lastaufnahmeeinrichtungen nach Abschnitt 6

B 1.1 Tragwerke

B 1.1.1 Nachweisführung nach dem globalen Sicherheitskonzept

(1) Die Berechnung der Betriebs- und Montagelastfälle hat nach DIN 15018-1 zu erfolgen. Für Tragwerksbauteile aus den austenitischen Stählen 1.4541, 1.4306 und 1.4571 nach DIN EN 10088-2 oder DIN EN 10088-3 sind die zulässigen Spannungen dem Abschnitt D 1 zu entnehmen.

(2) Für alle Einwirkungen von außen ist das Nachweisverfahren nach KTA 3205.1 Abschnitt 4.3 anzuwenden.

(3) Bei genauer Kenntnis der Betriebsbedingungen, z. B. der tatsächlich auftretenden Belastungen und Spannungsspielzahlen, darf der Betriebsfestigkeitsnachweis für ein einstufiges oder mehrstufiges Belastungskollektiv auf Basis einer Bauteilwöhlerlinie für die Stähle S235 und S355 nach **Anhang C** oder auf Basis einer Bauteilwöhlerlinie für die austenitischen Stähle 1.4541, 1.4306 und 1.4571 nach Abschnitt D 2 durchgeführt werden.

Hinweis:

Der Zusammenhang zwischen Spannungsspielzahl und Lastspielzahl kann aus Abschnitt B 1.2.1.2 abgeleitet werden

Die Nachweisführung mit einem mehrstufigen Belastungskollektiv ist unter Berücksichtigung einer schädigungsäquivalenten Beanspruchung nach der Hypothese der linearen Schadensakkumulation (Miner-Regel) nach Formel (B 1-14) durchzuführen.

Folgende Sicherheit gegen die zulässige Oberspannung ist einzuhalten:

$$\overline{\nu} = \sigma_D / \overline{\sigma} \geq 1{,}12. \qquad \text{(B 1-1)}$$

B 1.1.2 Nachweisführung nach dem Teilsicherheitskonzept

(1) Die Berechnung der Betriebs- und Montagelastfälle hat nach DIN EN 13001-3-1 in Verbindung mit DIN EN 13001-1 und DIN EN 13001-2 mit den Vorgaben gemäß (2) zu erfolgen.

Eine Bemessung von Tragwerksbauteilen aus austenitischen Stählen nach dem Teilsicherheitskonzept ist nur dann zulässig, wenn nach den Festlegungen in DIN EN 13001-3-1 Abschnitt 6.3.3 auf einen Nachweis der Ermüdungsfestigkeit verzichtet werden darf, wobei die Ermittlung der Spannungsspielzahl nach Abschnitt B 1.2.1.2 zu erfolgen hat.

(2) Die Nachweisführung gemäß DIN EN 13001-3-1 in Verbindung mit DIN EN 13001-1 und DIN EN 13001-2 hat unter Einhaltung folgender Vorgaben zu erfolgen:

a) Der Dynamikbeiwert Φ_2 für die Nachweisführung gemäß DIN 13001-2 ist, ungeachtet der konkreten Randbedingungen der Kranausführung und des Kranbetriebs, gemäß folgenden Formeln zu ermitteln:

   aa) für Betriebslasten: $\Phi_2 = 1{,}3 + 0{,}396 \cdot v_{h,max}$

   ab) für Montagelasten: $\Phi_2 = 1{,}1 + 0{,}132 \cdot v_{h,max}$

   Für $v_{h,max}$ ist die für den jeweiligen Lastfall maßgebliche maximale Hubgeschwindigkeit in m/s einzusetzen.

b) Sofern ein kleinerer Dynamikbeiwert als aus a) resultierend zur Anwendung kommen soll, ist der während eines Lastarbeitsspiels maximal auftretende dynamische Lastfaktor im Einzelfall rechnerisch oder experimentell nachzuweisen. Zur Bestimmung des Dynamikbeiwerts ist dieser dynamische Lastfaktor mit dem Faktor 1,12 zu multiplizieren.

c) Bei der Berechnung der Lasten aus Schräglauf ist als Reibbeiwert der Wert für gereinigte Schienen anzusetzen:

   $\mu_0 = 0{,}3$.

d) Sofern Lasten aus Wind bei Kranbetrieb nachzuweisen sind, ist zur Berechnung der Windlasten die Windstufe „Normal“ anzusetzen.

e) Beim Auftreten eines Pufferstoßes dürfen infolge einer angenommenen 1,1fachen Pufferkraft und der Kräfte aus den bewegten Massen der Eigenlasten und der gegebenenfalls geführten Hublasten keine negativen Radlasten auftreten.

f) Der spezifische Widerstandsbeiwert für den Werkstoff γ_{sm} ist gemäß Abschnitt 5.2.2 der DIN EN 13001-3-1 zu wählen, er muss jedoch mindestens zu 1,0 angesetzt werden.

g) Bei der Ermittlung der Grenzwerte der Bemessungskräfte zugbelasteter Schraubverbindungen ist der Lasteinleitungsfaktor mit α_L = 1 anzunehmen. Der spezifische Widerstandsbeiwert für gleitfeste Verbindungen γ_{ss} ist gemäß Tabelle 6 in DIN EN 13001-3-1 unter der Annahme zu wählen, dass bei Verrutschen der Verbindung eine Gefährdung entsteht.

h) Die Prüflasten sind wie folgt zu wählen:

ha) für Krane, Winden, Laufkatzen und Brennelement-Wechselanlagen gemäß KTA 3903, Tabelle 8-1, lfd. Nr. 1.4,

hb) für Lastaufnahme- und Anschlagmittel gemäß KTA 3903, Tabelle 8-1, lfd. Nr. 2.4.

Die Nachweisführung hat nach den Vorgaben des Abschnitts 4.2.4.3 der DIN EN 13001-2 mit den Prüflasten gemäß ha) und hb) unter Verwendung des Dynamikbeiwerts Φ_2 gemäß a) zu erfolgen.

i) Im Ermüdungsfestigkeitsnachweis nach DIN EN 13001-3-1 ist der spezifische Widerstandsbeiwert der Ermüdungsfestigkeit γ_{mf} für Bauteile und Schweißverbindungen sowie für Schraubverbindungen, sofern diese nicht feuerverzinkt sind, mit γ_{mf} = 1,25 anzusetzen, für feuerverzinkte Schraubverbindungen jedoch mit γ_{mf} = 1,5.

j) Der Risikobeiwert γ_n nach DIN EN 13001-2 darf wegen der unter a) bis i) getroffenen Festlegungen zu 1,0 angesetzt werden.

(3) Für alle Einwirkungen von außen ist entweder

a) das Nachweisverfahren nach DIN EN 13001-3-1 unter Verwendung folgender Teilsicherheitsbeiwerte

γ_m = 1,0

γ_P = 1,0

wobei bei Bauteilen und Schweißnähten aus austenitischen Stählen für den Wert f_y anstelle der $R_{p0,2}$-Dehngrenze die $R_{p1,0}$-Dehngrenze verwendet werden darf,

oder

b) das Nachweisverfahren nach KTA 3205.1 Abschnitt 4.2

anzuwenden.

(4) Bei genauer Kenntnis der Betriebsbedingungen, z. B. der tatsächlich auftretenden Belastungen und Spannungsspielzahlen, darf der Nachweis der Ermüdungsfestigkeit für ein einstufiges oder mehrstufiges Belastungskollektiv nach den Vorgaben der DIN EN 13001-3-1 und den Festlegungen in (2) durchgeführt werden.

Hinweis:

Der Zusammenhang zwischen Spannungsspielzahl und Lastspielzahl kann aus Abschnitt B 1.2.1.2 abgeleitet werden.

Die Nachweisführung mit einem mehrstufigen Belastungskollektiv ist unter Berücksichtigung einer schädigungsäquivalenten Beanspruchung nach der Hypothese der linearen Schadensakkumulation (Miner-Regel) nach Formel (B 1-14) durchzuführen.

Folgende Sicherheit gegen die zulässige Schwingbreite ist einzuhalten:

$$\nu = \frac{\Delta\sigma_{Rd}}{\Delta\sigma_{Sd}} \geq 1{,}12\,. \qquad \text{(B 1-2)}$$

B 1.1.3 Alternative Möglichkeiten der Nachweisführung

(1) Nachweise dürfen entweder rechnerisch oder experimentell oder in Kombination rechnerisch und experimentell durchgeführt werden.

(2) Rechnerische Nachweise der statischen Festigkeit oder der Ermüdungsfestigkeit dürfen, z. B. weil die Komplexität eines Tragwerksteils dies erfordert, unter Verwendung der Finite-Elemente-Methode nach den Vorgaben des Abschnitts B3 geführt werden.

(3) Bei Verwendung von Nachweisformen, die vom Vorgehen gemäß DIN 15018-1 und den Normen der Reihe DIN EN 13001 abweichen, ist sicherzustellen, dass das von diesen Normen geforderte Sicherheitsniveau nicht unterschritten wird.

B 1.2 Hubwerke

B 1.2.1 Auslegungsdaten

B 1.2.1.1 Ermittlung der Momente und Kräfte

(1) Für die Auslegung der Bauteile der Triebwerkskette, beginnend bei der Betriebsbremse und endend mit der Seiltrommel, sind die in der **Tabelle B 1-1** aufgeführten Momente zu ermitteln.

Hinweis:

Bei Verwendung von Systemen zur Erfassung der Bremswirkung ohne Prüflast als wiederkehrende Prüfung siehe auch KTA 3903 Anhang D Abschnitt D 3.1.

Lastfall-Nr.	Momente	Benennung	Nachweisart
1	T_M	Statisches Moment für die maximale Montagelast	Nachweis der Ermüdungsfestigkeit und Nachweis der statischen Festigkeit für die erste Stufe des Kollektivs
	$\hat{T}_M$	Dynamisches Moment für die maximale Montagelast T_M (größter Wert aus $\hat{T}_{BS}$, $\hat{T}_{BR}$, $\hat{T}_{AN}$)	
2	T_B	Statisches Moment für die maximale Betriebslast	
	$\hat{T}_B$	Dynamisches Moment für die maximale Betriebslast T_B (größter Wert aus $\hat{T}_{BS}$, $\hat{T}_{BR}$, $\hat{T}_{AN}$)	
3	T_0	Statisches Moment bei Leerfahrten, wenn Eigenlast vom halben Tragmittel plus Lastaufnahmemittel plus Anschlagmittel mehr als 30 % der maximalen Last beträgt	
	$\hat{T}_0$	Dynamisches Moment für Eigenlast T_0 (größter Wert aus $\hat{T}_{BS}$, $\hat{T}_{BR}$, $\hat{T}_{AN}$)	
4	T_{SO}	aximales Moment im Sonderlastfall, wie z. B. aus Abnahmeprüfung, wiederkehrender Prüfung, Getriebeprobelauf, gleichzeitiges Einfallen der Betriebs- und Zusatzbremse	
	$\hat{T}_{SO}$	Dynamisches Moment für Sonderlast T_{SO}	

Tabelle B 1-1: Momente

(2) Für die Berechnung der Momente $\hat{T}_M$, $\hat{T}_B$, $\hat{T}_O$ und $\hat{T}_{SO}$ sind folgende Betriebszustände zugrunde zulegen und für die jeweils zu betrachtende Schnittstelle zu berechnen:

a) Beschleunigen beim Heben:

$$\hat{T}_{BS} = T_L - T_R + \varphi_s \cdot \left[2 \cdot T_R + \left(T_{Mot} - T_L - T_R \right) \cdot \frac{J_{ab}}{J_{ab} + J_{an}} \right] \qquad \text{(B 1-3)}$$

wobei für T_{Mot} das größte während des stufenweisen Hochschaltens des Motors entstehende Motormoment für Antriebe mit Drehstrom-Schleifringläufermotoren anzusetzen ist. Wenn dieses nicht genau bekannt ist, so ist dafür bei automatischem Hochschalten durch Zeit- oder Frequenzrelais das 2/3fache Motorkippmoment, bei Hochschalten von Hand das Motorkippmoment einzusetzen. Für Antriebe mit Käfigläufermotoren ist das Anzugsmoment beim Einschalten des Motors einzusetzen. Für umrichterbetriebene Antriebe ist das durch die Strombegrenzung vorgegebene Motormoment einzusetzen.

b) Verzögern beim Senken:

$$\hat{T}_{BR} = T_L + T_R + \varphi_s \cdot \left(T_{Bre} - T_L - T_R\right) \cdot \frac{J_{ab}}{J_{ab} + J_{an}}, \qquad \text{(B 1-4)}$$

mit $\varphi_s = 2$

c) Anheben einer abgesetzten Last:

$$\hat{T}_{AN} = \left(T_L + T_R\right) \cdot \psi \qquad \text{(B 1-5)}$$

H i n w e i s :

Der Hublastbeiwert ψ wird entsprechend der Einstufung der Tragwerke gewählt.

Vorzeichenregel:

Als Vorzeichenregel gilt, dass die Drehmomente positiv einzusetzen sind, wenn sie an der zu berechnenden Triebwerkswelle antriebseitig in der Bewegungsrichtung und abtriebsseitig entgegen der Bewegungsrichtung wirken.

(3) Für nichtdrehende Maschinenteile zwischen Seiltrommel und Last sind die Auslegungskräfte aus den vorgenannten Momenten zu ermitteln.

B 1.2.1.2 Ermittlung der Spannungsspielzahl

(1) Für den Nachweis der Ermüdungsfestigkeit sind die Spannungsspielzahlen wie folgt zu ermitteln:

a) für drehende Bauteile gilt:

$$h_i = \frac{U_i}{3600 \cdot \bar{v}_i} \cdot \bar{s}_i \qquad \text{(B 1-6)}$$

$$\hat{N}_{i\sigma} = U_i \cdot \frac{n_i}{60} \cdot \hat{t}_i \qquad \text{(B 1-7)}$$

$$\hat{N}_{i\tau} = U_i \cdot Z_{Schi} \cdot \varepsilon \qquad \text{(B 1-8)}$$

$$N_{i\sigma} = 60 \cdot n_i \cdot h_i - \hat{N}_{i\sigma} \qquad \text{(B 1-9)}$$

$N_{i\tau} = 0$, da die Spannung nur statisch auftritt. (B 1-10)

b) für nicht drehende Bauteile gilt:

$$\hat{N}_{i\sigma} = U_i \cdot Z_{Schi} \cdot k_a \qquad \text{(B 1-11)}$$

$N_{i\sigma} = 0$, da die Spannung nur statisch auftritt. (B 1-12)

Es sind einzusetzen für:

ε = 10

k_a = 3

$\hat{t}_i$ = 30 s als Maximum, aber nur 50 % der Gesamtlaufzeit, wenn kein zusätzlicher Nachweis erbracht wird,

Z_{Schi} = 10 bei Hubwerken mit Feinhub und bei umrichterbetriebenen Antrieben,

Z_{Schi} = 20 bei sonstigen Antrieben.

(2) Bei Kenntnis der tatsächlichen Beanspruchung innerhalb eines Lastarbeitsspiels durch experimentelle Untersuchungen oder durch zutreffende Abschätzung des Beanspruchungsgeschehens mit geeigneten Rechenmodellen (z. B. Einbeziehung der durch Verlustarbeit aufgezehrten Schwingungsenergie, die dem System durch den Ankoppelstoß aufgeprägt wird) darf der Nachweis der Ermüdungsfestigkeit auf dieser Basis erfolgen.

B 1.2.1.3 Ermittlung der Spannungskollektive (allgemein)

(1) Aus den ermittelten Momenten nach **Tabelle B 1-1** und den daraus resultierenden Kräften sind die Bauteilspannungen zu errechnen und der Größe nach zu ordnen. Mit den zugehörigen Spannungsspielzahlen ist das Spannungskollektiv zu erstellen. Das erstellte Spannungskollektiv ist mit der Bauteilwöhlerlinie (siehe **Bild B 1-1**) zu vergleichen.

Beispiele für die Ermittlung der Spannungskollektive sind in [12] enthalten.

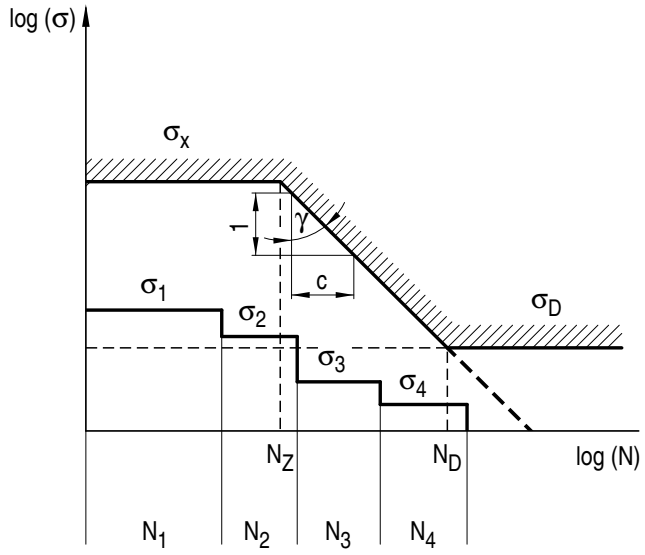


Bild B 1-1: Spannungskollektive

(2) Die Lage der Bauteilwöhlerlinie im Zeitfestigkeitsbereich, die sich in einem Diagramm mit logarithmischer Aufteilung als Gerade ergibt, ist durch die Werte für N_z und σ_x sowie N_D und σ_D zu bestimmen, wobei die Steigung nach folgender Gleichung zu ermitteln ist:

$$c = \tan\gamma = \frac{\log N_D - \log N_Z}{\log \sigma_x - \log \sigma_D} \qquad \text{(B 1-13)}$$

(3) Zum Nachweis der Ermüdungsfestigkeit sind die in den **Bildern B 1-2** bis **B 1-4** dargestellten Fälle A, B oder C zugrunde zu legen:

a) Fall A: $\sigma_1 \geq \sigma_D$

Wenn keine der Kollektivstufen die verlängerte Zeitfestigkeitslinie berührt oder überschreitet, ist $\bar{\sigma}$ aus allen Kollektivstufen zu berechnen.

b) Fall B: $\sigma_1 < \sigma_D$

$N_1 < N_D$

Über N_D hinausgehende Spannungsspielzahlen werden nicht berücksichtigt. $\bar{\sigma}$ ist aus den Kollektivstufen bis N_D zu berechnen.

c) Fall C: $\sigma_1 < \sigma_D$

$N_1 \geq N_D$

Dauerfestigkeitsberechnung mit σ_1.

(4) In den Fällen A und B ist eine schädigungsäquivalente Beanspruchung (z. B. $\bar{\sigma}$, $\bar{k}$, $\bar{\tau}$) nach der Hypothese der linearen Schadensakkumulation (Miner-Regel) nach folgender Formel zu ermitteln:

$$\overline{\sigma} = \sigma_1 \cdot \left[\frac{\sum_i N_i \left(\sigma_i / \sigma_1 \right)^c}{N_D} \right]^{1/c} \qquad \text{(B 1-14)}$$

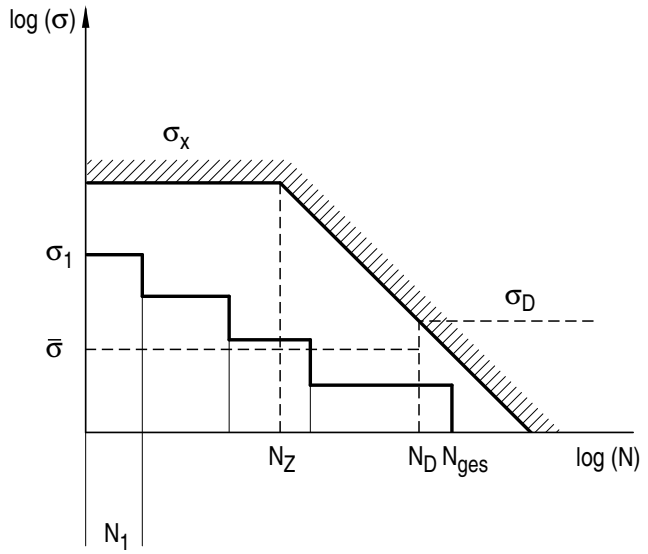


Bild B 1-2: Wöhlerlinie für Fall A

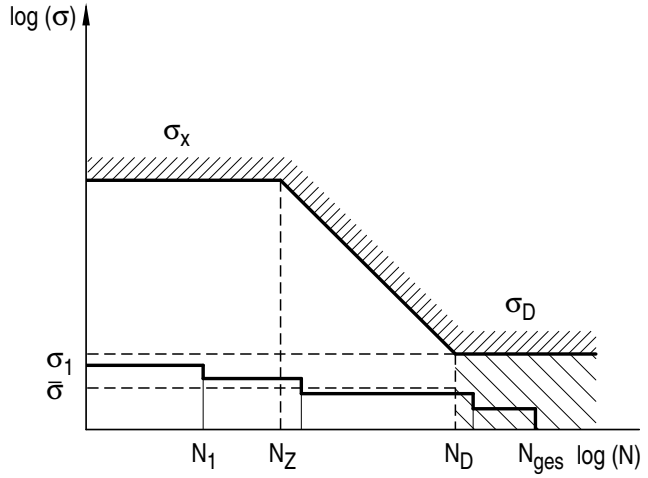


Bild B 1-3: Wöhlerlinie für Fall B

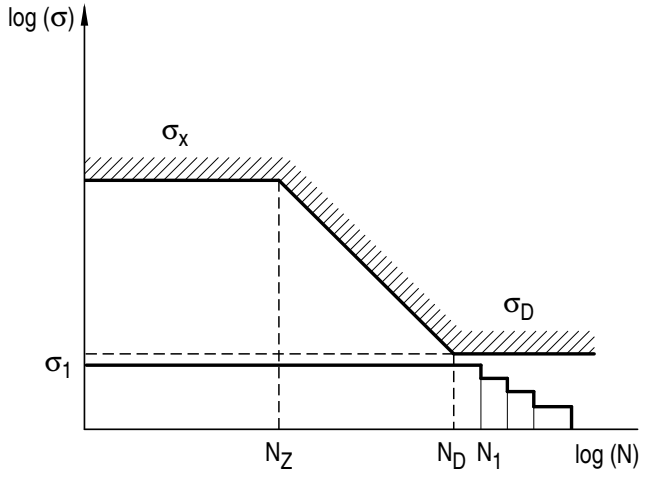


Bild B 1-4: Wöhlerlinie für Fall C

B 1.2.2 Wellen, Achsen und ähnliche Bauteile

B 1.2.2.1 Bestimmung der Wöhlerlinie

(1) Bei Wellen, Achsen und ähnlichen Bauteilen ist die Lage der Wöhlerlinie im Zeitfestigkeitsbereich bestimmt durch die Dauerfestigkeit je nach Beanspruchung σ_D (Zug, Druck, Biegung, Torsion) bei $5 \cdot 10^6$ Spannungsspielen (N_D) und für σ_X durch den Wert der Streckgrenze je nach Beanspruchung bei $1 \cdot 10^4$ Spannungsspielen (N_Z). Die Dauerfestigkeit gilt für eine Überlebenswahrscheinlichkeit von 50 %. Für die Festlegung des einzusetzenden Wertes für die Streckgrenze ist das Streckgrenzenverhältnis (Verhältnis der Streckgrenze R_{eH} oder $R_{p0,2}$ zur Zugfestigkeit R_m) des vorliegenden Werkstoffs maßgebend. Dabei gilt:

a) wenn das Streckgrenzenverhältnis weniger als 0,7 beträgt, ist der Wert der Streckgrenze R_{eH} oder $R_{p0,2}$ zu verwenden,

b) bei einem Streckgrenzenverhältnis gleich oder größer als 0,7 ist der Wert der auf $0,7 \cdot R_m$ begrenzten Zugfestigkeit zu verwenden.

Bei einer Nachweisführung unter Verwendung von [7] darf für Wellen, Achsen und ähnliche Bauteile in Lastaufnahmeeinrichtungen die Lage der Wöhlerlinie im Zeitfestigkeitsbereich entsprechend [7] mit den Stützpunkten σ_D (Dauerfestigkeit je nach Beanspruchung) bei $5 \cdot 10^6$ Spannungsspielen (N_D) und $\sigma_x = R_m$ bei $5 \cdot 10^3$ Spannungsspielen (N_Z) bestimmt werden. Die unter a) und b) beschriebenen Begrenzungen für σ_x sind hier nicht erforderlich.

Bei Verwendung der Stähle 1.4541, 1.4306 und 1.4571 nach DIN EN 10088-2 oder DIN EN 10088-3 sind die Wöhlerlinien für den Nachweis der Ermüdungsfestigkeit mit den Parametern aus der **Tabelle B 1-2** zu bestimmen.

Lfd. Nr.	Beanspruchungsverhältnis R	Parameter der Wöhlerlinie im doppeltlogarithmischen Koordinatensystem		
		Spannungskoordinate des Knickpunktes S_D (σ_D) in N/mm²	Lebensdauerkoordinate des Knickpunktes N_D	Neigung k
1	0	263,6	$5,0 \cdot 10^6$	8,77
2	-1	180,0	$5,0 \cdot 10^6$	10,8
Die Parameter gelten im Bereich $5,0 \cdot 10^3 < N \leq 5,0 \cdot 10^6$.				

Tabelle B 1-2: Wertetabelle für die Wöhlerlinien der Stähle 1.4541, 1.4306 und 1.4571 nach DIN EN 10088-2 oder DIN EN 10088-3

(2) Die Dauerfestigkeiten σ_D und τ_D sind wie folgt zu bestimmen:

$$\sigma_D = \frac{\sigma_n}{K_n},\ \tau_D = \frac{\tau_t}{K_t},\ \text{wobei } \tau_t = \frac{\sigma_n}{\sqrt{3}} \text{ ist} \qquad \text{(B 1-15)}$$

(Schubspannungen aus Querkräften sind gegebenenfalls zu berücksichtigen)

(3) Werkstoffkennwerte, Kerbwirkungszahl, Rauhigkeitsfaktor, Formzahl und Größenfaktor sind der Literatur [1], [3], [4], [5], [6], [7] oder den Normen DIN 743-2 und DIN 743-3 zu entnehmen. Andere Werkstoffe dürfen verwendet werden, wenn die erforderlichen Werte gewährleistet und nachgewiesen werden.

(4) Bei Verwendung von DIN 743-2 und DIN 743-3 zur Ermittlung der Einflussgrößen auf die Festigkeitskennwerte müssen für die Bestimmung der Wöhlerlinie

a) als Dauerfestigkeit σ_D der Wert der Bauteil-Dauerfestigkeit nach DIN 743-1 sowie

b) als Streckgrenze σ_X der Wert der Bauteil-Fließgrenze nach DIN 743-1 am betrachteten Querschnitt des konkreten Bauteils

in Abhängigkeit von der spezifisch vorliegenden Beanspruchung (Zug/Druck, Biegung oder Torsion) und dem Beanspruchungsverlauf (Wechsel-, Schwellbereich) gemäß den Vorgaben von DIN 743-1, DIN 743-2 und DIN 743-3 angesetzt werden. Dabei darf das Verhältnis der Mittelspannung zur Ausschlagsspannung in Folge der einzelnen wirkenden äußeren Belastung für alle Stufen des Beanspruchungskollektives stets als konstant vorausgesetzt werden. Die unter (1) a) und (1) b) beschriebenen Begrenzungen für die Streckgrenze des vorliegenden Werkstoffes in Abhängigkeit vom Streckgrenzenverhältnis sind zu berücksichtigen.

B 1.2.2.2 Sicherheiten für Wellen, Achsen und ähnliche Bauteile

(1) Die in **Tabelle B 1-3** angegebenen Sicherheiten sind einzuhalten.

(2) Bei Verwendung der Finite-Elemente-Methode sind die Anforderungen des Abschnitts B3 einzuhalten.

Nachweis	Belastungsart	Gleichung für Sicherheitsnachweis	Erforderliche Sicherheit für zusätzliche Anforderungen nach Abschnitt 6
Statische Festigkeit [1)]	Erste Stufe des Kollektivs	$\nu_{\sigma 1} = \sigma_x / \left(\sigma_1 \cdot \alpha_{k_n}\right)$	$\geq 1{,}25$
		$\nu_{\tau 1} = \tau_{S_t} / \left(\tau_1 \cdot \alpha_{k_t}\right)$	$\geq 1{,}25$
Betriebsfestigkeit	Kollektiv Fall A oder B	$\overline{\nu}_\sigma = \sigma_D / \overline{\sigma}$	$\geq 2{,}0$
		$\overline{\nu}_\tau = \tau_D / \overline{\tau}$	$\geq 2{,}0$
		$\left(\frac{\overline{\sigma}_n}{\sigma_D}\right)^2 + \left(\frac{\overline{\tau}_t}{\tau_D}\right)^2 \leq \left(\frac{1{,}0}{\nu}\right)^2$	$\geq 2{,}0$
Dauerfestigkeit	Erste Kollektivstufe Fall C	$\nu_\sigma = \sigma_D / \sigma_1$	$\geq 2{,}0$
		$\nu_\tau = \tau_D / \tau_1$	$\geq 2{,}0$
		$\left(\frac{\sigma_1}{\sigma_D}\right)^2 + \left(\frac{\tau_1}{\tau_D}\right)^2 \leq \left(\frac{1{,}0}{\nu}\right)^2$	$\geq 2{,}0$

[1)] Gilt nur für Hubwerke; für nichtdrehende Bauteile entfallen die Formzahlen und die erforderliche Sicherheit wird $\geq 1{,}5$, wobei für σ_x R_{eh} oder $R_{p0,2}$ einzusetzen ist.

Tabelle B 1-3: Sicherheiten für Wellen, Achsen und ähnliche Bauteile

B 1.2.2.3 Nachweise für Passfedern

(1) Die zulässige Flächenpressung für die Paarung mit Welle oder Nabe darf bei einer Passfeder betragen:

$$p_{zul} = 0{,}4 \cdot R_{p0,2}\,(R_{eH}) \qquad \text{(B 1-16)}$$

und bei zwei Passfedern:

$$p_{zul} = 0{,}3 \cdot R_{p0,2}\,(R_{eH}) \qquad \text{(B 1-17)}$$

(2) Bei gehärteter Passfederverbindung darf die zulässige Flächenpressung bei einer Passfeder betragen:

$$p_{zul} = 0{,}5 \cdot R_{p0,2}\,(R_{eH}) \qquad \text{(B 1-18)}$$

und bei zwei Passfedern:

$$p_{zul} = 0{,}4 \cdot R_{p0,2}\,(R_{eH}) \qquad \text{(B 1-19)}$$

(3) Die zulässigen Flächenpressungen gelten für Belastungen aus Betriebs- oder Montagelast mit statischem Moment. Für den Sonderlastfall dürfen diese Werte um 50 % erhöht werden.

(4) Keilwellen und Zahnwellenverbindungen sind nach Decker [4] nachzuweisen, wobei die zulässige Flächenpressung nach Gleichung $p_{zul} = 0{,}4 \cdot R_{p0,2}$ (R_{eH}) nicht überschritten werden darf.

B 1.2.3 Zahnräder

B 1.2.3.1 Ermittlung der wirksamen Spannungen und Bestimmung der Belastbarkeitslinie

(1) Die Zahnräder dürfen mit den nachfolgenden Anforderungen mit dem Berechnungsverfahren nach DIN 3990-11 oder mit dem Berechnungsverfahren nach Niemann [2] bestimmt werden.

(2) Aus den Momentenstufen sind für beide Berechnungsverfahren die Spannungsstufen für Zahnräder (Zahnfußspannung und Flankenpressung) zu berechnen und die entsprechenden Lastwechselzahlen diesen Stufen zuzuordnen.

(3) Beim Berechnungsverfahren nach DIN 3990-11 sind die wirksame Zahnfußspannung σ_F und die Flankenpressung σ_H für jede Spannungsstufe zu bestimmen, sofern sie für den Nachweis der Ermüdungsfestigkeit entsprechend den in Abschnitt B 1.2.1.3 genannten Fällen erforderlich sind.

(4) Wird das Berechnungsverfahren nach Niemann [2] für die Bestimmung der Zahnräder angewendet, dann ist wie folgt vorzugehen:

Für die Zahnräder ist nach Niemann [2] die wirksame Zahnfußspannung σ_W und die wirksame Flächenpressung k_W unter Beachtung der nachfolgenden Ergänzungen zum Tragfehlerbeiwert C_T für jede Spannungsstufe zu errechnen, sofern sie für den Nachweis der Ermüdungsfestigkeit entsprechend den in Abschnitt B 1.2.1.3 genannten Fällen erforderlich ist.

a) Für vergütete und gasnitrierte Zahnräder ist mit einem Tragfehlerbeiwert C_T = 1,7, für flamm- und einsatzgehärtete Zahnräder mit C_T = 1,5 zu rechnen. Wird mit anderen C_T-Werten gerechnet, so ist die Richtigkeit der Annahme durch Rechnung oder Versuch nachzuweisen.

b) Für den rechnerischen Nachweis darf Niemann [2] Tafel 117/1 herangezogen werden. Der hierbei einzusetzende wirksame Flankenrichtungsfehler f_{RW} darf z. B. nach der dort auf Seite 114 angegebenen Gleichung ermittelt werden, in die für den Flankenrichtungsfehler f_R das 1,4fache der Flankenlinienabweichung $f_{H\beta}$ nach DIN 3962-2 für das Ritzel einzusetzen ist. Der Faktor 1,4 berücksichtigt die wahrscheinliche Flankenlinienabweichung aus den $f_{H\beta}$-Werten von Ritzel und Rad. Die zugrunde gelegte Verzahnungsqualität ist nachzuweisen. Für vergütete Räder ist von parabelförmiger für oberflächengehärtete Räder von linearer Lastverteilung auszugehen. Die Berechnung hat z. B. nach Dudley/Winter [10] oder nach FVA [11] zu erfolgen. Das gleiche gilt für fliegend angeordnete Ritzel oder Räder.

c) Wenn die Lagerung der Getriebevorgelege auf der Tragkonstruktion vorgenommen wird, so ist hierfür stets nachzuweisen, dass das der Berechnung zugrunde gelegte und den C_T-Wert bestimmende Tragbild vorhanden ist.

(5) Über den festgelegten Spannungsstufen ist für beide Berechnungsverfahren die Belastbarkeitslinie einzutragen.

(6) Wird das Berechnungsverfahren nach DIN 3990-11 für die Bestimmung der Zahnräder angewendet, dann ist wie folgt vorzugehen:

a) Die Belastbarkeitsgrenzen für den Zeit- und Dauerfestigkeitsbereich sind nach DIN 3990-11 zu bestimmen. Die Belastbarkeitslinie nach DIN 3990-11 für eine „gewisse Grübchenbildung“ darf nicht verwendet werden.

b) Die Werkstoffkennwerte sind der **Tabelle B 1-4** zu entnehmen unter Berücksichtigung der Werkstoffqualität MQ nach DIN 3990-5. Andere Werkstoffe und Werkstoffkennwerte dürfen verwendet werden, wenn nachgewiesen ist, dass diese Werte die gleichen Anforderungen wie die Qualitätsstufe MQ erfüllen.

(7) Wird das Berechnungsverfahren nach Niemann [2] für die Bestimmung der Zahnräder angewendet, dann ist wie folgt vorzugehen:

a) Die Belastbarkeitslinie für die Zahnfuß- oder die Zahnflankentragfähigkeit (Grübchenbildung) ist wie folgt zu bestimmen:

aa) Die Zahnfußdauerfestigkeit σ_D oder die Dauerfestigkeit k_D für die Flankenpressung verläuft ab dem Wert für die Spannungsspielzahl N_D als waagerechte Gerade in den Dauerfestigkeitsbereich. Die Gleichung für σ_D ist aus Niemann [2] Tafel 121/2 und die Gleichung für k_D aus Niemann [2] Tafel 121/1 zu entnehmen, wobei zusätzlich der Einfluss der Oberflächenbeschaffenheit durch einen Rauhigkeitsfaktor y_R zu berücksichtigen ist.

$$k_D = y_G \cdot y_H \cdot y_S \cdot y_V \cdot y_R \cdot k_0 \qquad \text{(B 1-20)}$$

ab) Die Zeitfestigkeitsgerade ist durch die Spannungsspielzahl N_Z und für σ_X der Wert der zugehörigen maximalen Zeitfestigkeit max σ_Z oder durch max k_Z festgelegt. Für den Bereich N kleiner als oder gleich N_Z verläuft die Belastbarkeitslinie als waagerechte Gerade mit den Werten max σ_Z oder max k_Z. Die Größe von max σ_Z ergibt sich aus:

$$\max \sigma_Z = y_\sigma \cdot \sigma_D \qquad \text{(B 1-21)}$$

ac) Der Wert für max k_Z ist zu ermitteln aus:

$$\max k_Z = y_K \cdot y_G \cdot y_H \cdot k_0 \qquad \text{(B 1-22)}$$

ad) Abhängig von der Art der Beanspruchung, dem Werkstoff und der Wärmebehandlung sind die in der **Tabelle B 1-5** aufgeführten Werte zur Festlegung der Belastbarkeitslinie einzuhalten, wobei y_σ und y_K Lebensdauerfaktoren darstellen.

ae) Die Werkstoffkennwerte σ_0 der Zahnfußdauerfestigkeit und k_0 der Dauerfestigkeit für Flankenpressung sind der **Tabelle B 1-6** zu entnehmen. Andere Werkstoffe dürfen verwendet werden, wenn die geforderten Werkstoffkenndaten nachgewiesen und gewährleistet werden.

b) Der Rauhigkeitsfaktor y_R ist aus der Gleichung zu bestimmen:

$$y_R = Z_R^2 \qquad \text{(B 1-23)}$$

Im **Bild B 1-5** sind Kurven des Faktors Z_R abhängig von R_{z100} aufgetragen. Das Bild gilt für ein Zahnradpaar mit Achsabstand a = 100 mm und einem Ersatzkrümmungsradius im Wälzpunkt von ρ_{red} = 10 mm.

Die gemittelte Rautiefe R_z ist nach Gleichung (B 1-24) zu bestimmen. Die ermittelten Rautiefen des Ritzels R_{z1} und des Rades R_{z2} sind Mittelwerte der an mehreren Zahnflanken gemessenen Rautiefenwerte R_1.

$$R_z = \frac{R_{z1} + R_{z2}}{2} \qquad \text{(B 1-24)}$$

Hinweis:

Die gemittelte Rautiefe wird für die Werte R_{z1} und R_{z2} von Ritzel und Rad bestimmt, und zwar für den Zustand nach der Herstellung einschließlich besonderer Einlaufbehandlung oder eines Einlaufprozesses (als Teil des Fertigungsprogramms), wenn dadurch die Oberfläche geglättet wird, und ebenfalls einschließlich eines Einlaufs unter Betriebsbedingungen, wenn dies als sicher angenommen werden kann (wie aufgrund des Lastkollektivs bei einigen Kranen und Hebezeugen).

Wenn die Rauhigkeit als R_a-Wert gegeben ist, darf die folgende Näherungsgleichung verwendet werden:

$$R_a \approx \frac{R_z}{6} \qquad \text{(B 1-25)}$$

Die gemittelte relative Rautiefe (bezogen auf einen Achsabstand von a = 100 mm) ist wie folgt zu bestimmen:

$$R_{z100} = \frac{R_{z1} + R_{z2}}{2} \cdot \left(\frac{100}{a}\right)^{1/3} \qquad \text{(B 1-26)}$$

Hinweis:

Ergebnisse liegen für ρ_{red} von 7 bis 10 mm vor. Da ρ_{red} eine lineare Funktion von a ist, kann nach dem heutigen Stand diese Gleichung angesetzt werden.

B 1.2.3.2 Sicherheiten für Zahnräder

(1) Bei der Berechnung der Zahnräder nach DIN 3990-11 sind die in **Tabelle B 1-7** angegebenen Sicherheiten einzuhalten.

(2) Wird das Berechnungsverfahren nach Niemann [2] für die Bestimmung der Zahnräder angewendet, dann sind die in **Tabelle B 1-8** angegebenen Sicherheiten einzuhalten.

B 1.2.4 Seiltriebe

(1) Der Seiltrieb ist nach DIN 15020-1 zu berechnen. Zur Bestimmung des erforderlichen Seildurchmessers darf abweichend vom Beiwert c gemäß DIN 15020-1 Tabelle 2 ein korrigierter Beiwert entsprechend [13]

$$c_{korrigiert} = c \cdot \sqrt{\frac{0{,}825 \cdot 0{,}455}{k \cdot f}} \qquad \text{(B 1-27)}$$

zugrunde gelegt werden, wobei

c : Beiwert gemäß DIN 15020-1 Tabelle 2

k : Verseilfaktor des gewählten Seiles

f : Verfüllfaktor des gewählten Seiles

(2) Die Seiltrommelwanddicke muss hinsichtlich der Beanspruchung aus der Seilumschlingung folgende Bedingung erfüllen:

$$\frac{S_{max}}{h \cdot s} < \frac{R_{p0,2}}{\nu} \qquad \text{(B 1-28)}$$

mit der Sicherheit $\nu \geq 1{,}5$.

(3) Eine genaue Nachrechnung nach den in [8] und [9] angegebenen Verfahren ist zulässig.

B 1.3 Fahrwerke

B 1.3.1 Berechnung der Laufräder

(1) Die Berechnung der Laufräder aus Stahl hat nach DIN 15070 mit den Radkräften aus den häufigsten Betriebsstellungen und Betriebslast zu erfolgen.

(2) Für Montage- und Sonderlasten kann die Hertzsche Pressung (Zylinder/Ebene) mit den maximalen Radkräften nach der Gleichung (B 1-29) nachgewiesen werden:

$$p_{max\,H} = 0{,}418 \cdot \sqrt{\frac{R_{max} \cdot 2{,}1 \cdot 10^5}{\frac{d}{2} \cdot (k - 2 \cdot r_1)}} \leq 1{,}85 \cdot R_m \qquad \text{(B 1-29)}$$

wobei die Anzahl der Überrollungen nicht größer als 5000 sein darf und d der Laufraddurchmesser in mm ist.

B 1.3.2 Berechnung der Laufradachsen und Laufradwellen

(1) Die Berechnung der Laufradachsen und Laufradwellen hat mit den Radkräften aus den häufigsten Betriebsstellungen und Betriebslast für die Lastfälle H und HZ nach den DIN-Berechnungsgrundsätzen für Triebwerke in Hebezeugen [7] zu erfolgen.

(2) Für Montage- und Sonderlasten hat die Berechnung der Laufradachsen und Laufradwellen für den Lastfall HS nach den DIN-Berechnungsgrundsätzen für Triebwerke in Hebezeugen [7] zu erfolgen.

(3) Werkstoffkennwerte, Kerbwirkungszahl, Rauhigkeitsfaktor, Formzahl und Größenfaktor dürfen auch DIN 743-2 und DIN 743-3 entnommen werden.

B 1.3.3 Berechnung der Wälzlager

Für die Berechnung der Wälzlager sind die Berechnungsgrundlagen der Wälzlagerhersteller anzuwenden. Die Beanspruchungen sind nach DIN 15071 zu ermitteln.

Werkstoffart und Behandlung	Bezeichnung und Wärmebehandlungsdurchmesser d in mm		Zugfestigkeit R_m in N/mm² (in der Zeichnung angegeben)	Härte (HRC oder HV)	Mindesthärte HV	Dauerfestigkeit σ_{FE} in N/mm²	Dauerfestigkeit $\sigma_{H\,lim}$ in N/mm²
Vergüteter Stahl	C 45 E+QT (W.-Nr. 1.1191)	16 < d ≤ 40	650 ≤ R_m ≤ 800	—	215	460	590
		40 < d ≤ 100	630 ≤ R_m ≤ 780		205	445	575
		100 < d ≤ 250	590 ≤ R_m ≤ 740		190	415	535
	42 CrMo 4 +QT (W.-Nr. 1.7225)	16 < d ≤ 40	1000 ≤ R_m ≤ 1200		300	570	600
		40 < d ≤ 100	900 ≤ R_m ≤ 1100		270	510	540
		100 < d ≤ 160	800 ≤ R_m ≤ 950		240	455	480
		160 < d ≤ 250	750 ≤ R_m ≤ 900		225	425	450
	30 CrNiMo 8 +QT (W.-Nr. 1.6580)	16 < d ≤ 40	1250 ≤ R_m ≤ 1450		350	690	715
		40 < d ≤ 100	1100 ≤ R_m ≤ 1300		310	605	630
		100 < d ≤ 160	1000 ≤ R_m ≤ 1200		280	550	570
		160 < d ≤ 250	900 ≤ R_m ≤ 1100		250	495	515
		250 < d ≤ 500	850 ≤ R_m ≤ 1000		235	470	485
Einsatzgehärteter Stahl	16 MnCr 5 HH BG (W.-Nr. 1.7131)		650 ≤ R_m ≤ 950 [3]	HRC 58 ± 2	720	860	1470
	20 MnCr 5 HH BG (W.-Nr. 1.7147)		800 ≤ R_m ≤ 1100 [3]		720	860	1470
	18CrNiMo7-6+HH+FP (W.-Nr. 1.6587)		950 ≤ R_m ≤ 1250 [3]		740	1000	1500
	18 CrNi 8 HH BG (W.-Nr. 1.5920)		1080 ≤ R_m ≤ 1330 [3]		740	1000	1500
Flammumlaufgehärteter Stahl	C 45 E+N (W.-Nr. 1.1191)	d ≤ 16	R_m ≥ 620	HRC 53 ± 2	530	500	1035
		16 < d ≤ 100	R_m ≥ 580				
		100 < d ≤ 250	R_m ≥ 560				
	42 CrMo 4 +QT (W.-Nr. 1.7225)	16 < d ≤ 40	1000 ≤ R_m ≤ 1200		530	600	1120
		40 < d ≤ 100	900 ≤ R_m ≤ 1100				
		100 < d ≤ 160	800 ≤ R_m ≤ 950				
		160 < d ≤ 250	750 ≤ R_m ≤ 900				
Induktionsgehärteter Stahl	C 45 E+N (W.-Nr. 1.1191)	d ≤ 16	R_m ≥ 620	HRC 53 ± 2	560	460 [1] 285 [2]	1035
		16 < d ≤ 100	R_m ≥ 580				
		100 < d ≤ 250	R_m ≥ 560				
	42 CrMo 4 +QT (W.-Nr. 1.7225)	16 < d ≤ 40	1000 ≤ R_m ≤ 1200		610	605 [1] 375 [2]	1120
		40 < d ≤ 100	900 ≤ R_m ≤ 1100				
		100 < d ≤ 160	800 ≤ R_m ≤ 950				
		160 < d ≤ 250	750 ≤ R_m ≤ 900				
Gasnitrierter Stahl (langzeitnitriert)	42 CrMo 4 +QT (W.-Nr. 1.7225)	16 < d ≤ 40	1000 ≤ R_m ≤ 1200	560 ≤ HV ≤ 620	560	625	1070
		40 < d ≤ 100	900 ≤ R_m ≤ 1100				
		100 < d ≤ 160	800 ≤ R_m ≤ 950				
		160 < d ≤ 250	750 ≤ R_m ≤ 900				

[1] Zahngrund mitgehärtet
[2] Zahngrund nicht gehärtet
[3] Zugversuch am blindgehärteten Probestab mit 63 mm Durchmesser

Tabelle B 1-4: Werkstoffkennwerte für die Berechnung von Zahnrädern, Materialqualität MQ, nach DIN 3990-5

Werkstoffart und Behandlung	Zahnfuß-tragfähigkeit			Zahnflanken-tragfähigkeit		
	N_D	N_Z	y_σ	N_D	N_Z	y_K
Vergüteter Stahl	$3 \cdot 10^6$	10^4	2,5	$5 \cdot 10^7$	10^5	2,56
Einsatzgehärteter, induktiv gehärteter oder umlaufgehärteter Stahl	$3 \cdot 10^6$	10^3	2,5	$5 \cdot 10^7$	10^5	2,56
Gasnitrierter Stahl	$3 \cdot 10^6$	10^3	1,6	$2 \cdot 10^6$	10^5	1,69

Tabelle B 1-5: Werte zur Festlegung der Belastbarkeitslinie

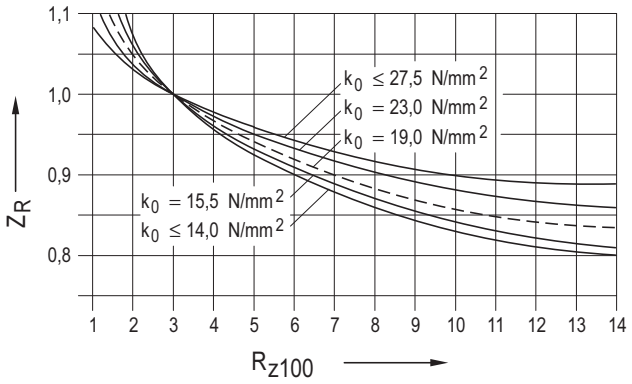


Bild B 1-5: Abhängigkeit des Faktors Z_R von der gemittelten relativen Rautiefe R_{z100}

Werkstoffart und Behandlung	Bezeichnung und Wärmebehandlungsdurchmesser d in mm		Zugfestigkeit R_m in N/mm² (in der Zeichnung angegeben)	Härte (HRC oder HV)	Mindesthärte HV	Dauerfestigkeit k_0 in N/mm²	Dauerfestigkeit σ_0 in N/mm²
Vergüteter Stahl	C 45 E+QT (W.-Nr. 1.1191)	$16 < d \leq 40$	$650 \leq R_m \leq 800$	—	215	4,2	235
		$40 < d \leq 100$	$630 \leq R_m \leq 780$		205	4,0	230
		$100 < d \leq 250$	$590 \leq R_m \leq 740$		190	3,5	220
	42 CrMo 4+QT (W.-Nr. 1.7225)	$16 < d \leq 40$	$1000 \leq R_m \leq 1200$		300	9,0	320
		$40 < d \leq 100$	$900 \leq R_m \leq 1100$		270	8,5	310
		$100 < d \leq 160$	$800 \leq R_m \leq 950$		240	7,8	300
		$160 < d \leq 250$	$750 \leq R_m \leq 900$		225	7,3	290
	30 CrNiMo 8+QT (W.-Nr. 1.6580)	$16 < d \leq 40$	$1250 \leq R_m \leq 1450$		350	13,0	390
		$40 < d \leq 100$	$1100 \leq R_m \leq 1300$		310	12,0	370
		$100 < d \leq 160$	$1000 \leq R_m \leq 1200$		280	11,1	350
		$160 < d \leq 250$	$900 \leq R_m \leq 1100$		250	10,0	340
		$250 < d \leq 500$	$850 \leq R_m \leq 1000$		235	9,5	320
Einsatzgehärteter Stahl	16 MnCr 5 HH BG (W.-Nr. 1.7131)		$650 \leq R_m \leq 950$ [3]	HRC 58 ± 2	720	50	420
	20 MnCr 5 HH BG (W.-Nr. 1.7147)		$800 \leq R_m \leq 1100$ [3]		720	50	420
	18CrNiMo7-6+HH+FP (W.-Nr. 1.6587)		$950 \leq R_m \leq 1250$ [3]		740	50	470
	18 CrNi 8 HH BG (W.-Nr. 1.5920)		$1080 \leq R_m \leq 1330$ [3]		740	50	470
Flammumlaufgehärteter Stahl	C 45 E+N (W.-Nr. 1.1191)	$d \leq 16$	$R_m \geq 620$	HRC 53 ± 2	530	23	284
		$16 < d \leq 100$	$R_m \geq 580$				
		$100 < d \leq 250$	$R_m \geq 560$				
	42 CrMo 4 +QT (W.-Nr. 1.7225)	$16 < d \leq 40$	$1000 \leq R_m \leq 1200$		560	27	340
		$40 < d \leq 100$	$900 \leq R_m \leq 1100$				
		$100 < d \leq 160$	$800 \leq R_m \leq 950$				
		$160 < d \leq 250$	$750 \leq R_m \leq 900$				
Induktionsgehärteter Stahl	C 45 E+N (W.-Nr. 1.1191)	$d \leq 16$	$R_m \geq 620$	HRC 53 ± 2	560	23	260 [1] 160 [2]
		$16 < d \leq 100$	$R_m \geq 580$				
		$100 < d \leq 250$	$R_m \geq 560$				
	42 CrMo 4 +QT (W.-Nr. 1.7225)	$16 < d \leq 40$	$1000 \leq R_m \leq 1200$		610	27	340 [1] 210 [2]
		$40 < d \leq 100$	$900 \leq R_m \leq 1100$				
		$100 < d \leq 160$	$800 \leq R_m \leq 950$				
		$160 < d \leq 250$	$750 \leq R_m \leq 900$				
Gasnitrierter Stahl (langzeitnitriert)	42 CrMo 4 +QT (W.-Nr. 1.7225)	$16 < d \leq 40$	$1000 \leq R_m \leq 1200$	$560 \leq HV \leq 620$	560	27	350
		$40 < d \leq 100$	$900 \leq R_m \leq 1100$				
		$100 < d \leq 160$	$800 \leq R_m \leq 950$				
		$160 < d \leq 250$	$750 \leq R_m \leq 900$				

[1] Zahngrund mitgehärtet
[2] Zahngrund nicht gehärtet
[3] Zugversuch am blindgehärteten Probestab mit 63 mm Durchmesser

Tabelle B 1-6: Werkstoffkennwerte für die Berechnung von Zahnrädern nach Niemann [2]

Nachweis	Belastungsart	Gleichung für Sicherheitsnachweis	Erforderliche Sicherheit für zusätzliche Anforderungen nach Abschnitt 6
Statische Festigkeit	erste Stufe des Kollektivs	$\sigma_{F_{min}} = \max \frac{\sigma_{FG}}{\sigma_{F_1}}$	$\geq 1{,}40$
		$S_{H_{min1}} = \max \frac{\sigma_{HG}}{\sigma_{H_1}}$	$\geq 1{,}12$
		Nur nachzuweisen, wenn $N_{ges} < N_Z$ ist	
Betriebsfestigkeit	Kollektiv Fall A oder B	$\overline{S}_{F_{min}} = \frac{\sigma_{FG}}{\sigma_F}$	$\geq 1{,}57$
		$\overline{S}_{H_{min}} = \frac{\sigma_{HG}}{\sigma_H}$	$\geq 1{,}12$
Dauerfestigkeit	erste Kollektivstufe Fall C	$\overline{S}_{F_{min}} = \frac{\sigma_{FG}}{\sigma_{F_1}}$	$\geq 1{,}57$
		$\overline{S}_{H_{min}} = \frac{\sigma_{HG}}{\sigma_{H_1}}$	$\geq 1{,}12$

Tabelle B 1-7: Sicherheiten für Zahnräder nach DIN 3990-11

Nachweis	Belastungsart	Gleichung für Sicherheitsnachweis	Erforderliche Sicherheit für zusätzliche Anforderungen nach Abschnitt 6
Statische Festigkeit	erste Stufe des Kollektivs	$\nu_{\sigma_1} = \max \frac{\sigma_z}{\sigma_1}$	$\geq 1{,}35$
		$\nu_{k_1} = \max \frac{k_z}{k_1}$	$\geq 1{,}25$
		Nur nachzuweisen, wenn $N_{ges} < N_Z$ ist	
Betriebsfestigkeit	Kollektiv Fall A oder B	$\overline{\nu}_\sigma = \frac{\sigma_D}{\overline{\sigma}}$	$\geq 2{,}0$
		$\overline{\nu}_k = \frac{k_D}{\overline{k}}$	$\geq 1{,}3$
Dauerfestigkeit	erste Kollektivstufe Fall C	$\overline{\nu}_\sigma = \frac{\sigma_D}{\sigma_1}$	$\geq 2{,}0$
		$\overline{\nu}_k = \frac{k_D}{k_1}$	$\geq 1{,}3$

Tabelle B 1-8: Sicherheiten für Zahnräder nach Niemann [2]

B 1.4 Lastaufnahmeeinrichtungen

B 1.4.1 Tragmittel

B 1.4.1.1 Lasthaken

Falls keine Lasthaken nach DIN 15401-1 und DIN 15401-2 oder DIN 15402-1 und DIN 15402-2 verwendet werden, ist der Nachweis in Anlehnung an DIN 15400 zu führen.

B 1.4.1.2 Lasthakenaufhängung

(1) Für die Lasthakentraverse sind die Nachweise gemäß Abschnitt B 1.2 zu führen.

(2) Falls keine Lasthakenmutter nach DIN 15413 verwendet wird, ist der Nachweis in Anlehnung an DIN 15400 zu führen.

(3) Für statisch beanspruchte Wälzlager (geringe Schwenkbewegungen) ist der Nachweis gemäß den Berechnungsgrundlagen der Lagerhersteller mit statischer Last zu führen.

B 1.4.1.3 Greifer, Traversen und Gehänge

Die Nachweise sind für Tragwerke gemäß Abschnitt B 1.1 und für Maschinenteile gemäß Abschnitt B 1.2 zu führen.

B 1.4.1.4 Ober- und Unterflaschen

(1) Die Ermittlung der Auslegungskräfte für den Eignungsnachweis nach KTA 3903 ist für Seilrollen nach Abschnitt B 1.2 vorzunehmen.

(2) Für statisch beanspruchte Wälzlager mit geringen Schwenkbewegungen ist der Nachweis nach den Berechnungsgrundlagen der Lagerhersteller mit statischer Last zu führen.

(3) Die Nachweise sind für Tragwerke gemäß Abschnitt B 1.1 und für Maschinenteile gemäß Abschnitt B 1.2 zu führen.

B 1.4.1.5 Schraubverbindungen

(1) Der Nachweis der statischen Festigkeit ist für Schraubverbindungen mit zusätzlicher Zugbeanspruchung nach VDI 2230 Blatt 1 zu führen. Hierbei sind folgende Anforderungen einzuhalten:

a) Der Ausnutzungsgrad der Streckgrenzenspannung beim Anziehen ist auf 0,7 zu begrenzen,

b) der Ausnutzungsgrad der Streckgrenzenspannung infolge betriebsbedingter Schraubenzusatzkräfte ist auf 0,1 zu begrenzen.

(2) Der Nachweis der Ermüdungsfestigkeit ist nach VDI 2230 Blatt 1 zu führen. Hierbei ist eine Sicherheit von mindestens 2,0 gegen die Spannungsamplitude der Dauerhaltbarkeit oder Zeitfestigkeit einzuhalten.

(3) Bei Vorliegen eines mehrstufigen Spannungskollektivs (z. B. infolge von Demontage- und Remontagevorgängen) ist das Beanspruchungsgeschehen beim Nachweis nach (1) auf ein schädigungsäquivalentes Einstufen-Spannungskollektiv abzubilden. Die schädigungsäquivalente Spannung zugehörig zur Spannungsspielzahl N_D ist beim Nachweis schlussvergüteter Schrauben folgendermaßen zu ermitteln:

$$\overline{\sigma} = \sigma_1 \cdot \left[\frac{\sum_i N_i \cdot \left(\frac{\sigma_i}{\sigma_1} \right)^c}{N_D} \right]^{\frac{1}{c}} \qquad \text{(B 1-30)}$$

Dabei ist einzusetzen:

$N_D = 2 \cdot 10^6$

$c = 3$

Es bedeuten:

- σ_1 vorhandene Spannungsamplitude der 1. Kollektivstufe (maximale Spannung)
- σ_i vorhandene Spannungsamplitude der jeweiligen Kollektivstufe
- N_i vorhandene Spannungsspielzahl der jeweiligen Kollektivstufe

Es ist nachzuweisen:

$$\nu = \frac{\sigma_{ASV}}{\overline{\sigma}} \geq 2{,}0 \qquad \text{(B 1-31)}$$

Es bedeutet:

σ_{ASV} Spannungsamplitude der Dauerhaltbarkeit schlussvergüteter Schrauben gemäß VDI 2230 Blatt 1

Hinweis:

Wird beim Nachweis schlussgerollter Schrauben die Spannungsamplitude der Dauerhaltbarkeit unter Berücksichtigung der Mittelspannungsabhängigkeit in geeigneter Weise ermittelt, kann die schädigungsäquivalente Spannung unter Verwendung von σ_{ASG} (Spannungsamplitude der Dauerhaltbarkeit schlussgerollter Schrauben gemäß VDI 2230 Blatt 1) statt σ_{ASV} und c=6 in analoger Weise ermittelt werden.

B 1.4.2 Lastaufnahmemittel

Für Lastaufnahmemittel gelten die Festlegungen des Abschnitts B 1.4.1.

B 2 Lastfälle und Nachweise für Krane, Winden, Laufkatzen und Lastaufnahmeeinrichtungen nach Abschnitt 7 und für Brennelement-Wechselanlagen nach Abschnitt 8

B 2.1 Tragwerke

B 2.1.1 Nachweisführung nach dem globalen Sicherheitskonzept

B 2.1.1.1 Montage- und Betriebslasten

(1) Die Berechnung hat nach DIN 15018-1 zu erfolgen. Für Tragwerksbauteile aus den austenitischen Stählen 1.4541, 1.4306 und 1.4571 nach DIN EN 10088-2 oder DIN EN 10088-3 sind die zulässigen Spannungen dem Abschnitt D 1 zu entnehmen.

(2) Für alle Einwirkungen von außen ist das Nachweisverfahren nach KTA 3205.1 Abschnitt 4.3 anzuwenden.

(3) Bei genauer Kenntnis der Betriebsbedingungen, z. B. der tatsächlich auftretenden Belastungen und Spannungsspielzahlen, darf der Betriebsfestigkeitsnachweis für ein einstufiges oder mehrstufiges Belastungskollektiv auf Basis einer Bauteilwöhlerlinie für die Stähle S235 und S355 nach **Anhang C** oder auf Basis einer Bauteilwöhlerlinie für die austenitischen Stähle 1.4541, 1.4306 und 1.4571 nach Abschnitt D 2 durchgeführt werden.

Dabei gelten die Festlegungen des Abschnitts B 1.1.1 (3), wobei folgende Sicherheit gegen die zulässige Oberspannung einzuhalten ist:

$$\overline{\nu} = \sigma_D / \overline{\sigma} \geq 1{,}25. \qquad \text{(B 2-1)}$$

B 2.1.1.2 Sonderlastfall Lastumlagerung

Die bei der Lastumlagerung auftretende Belastung ist als Sonderlast nach DIN 15018-1 (Sonderlastfall HS) zu berechnen. Hierbei sind die anzusetzenden Belastungen aus dem Nachweis gemäß Abschnitt B 2.2 zu entnehmen.

B 2.1.2 Nachweisführung nach dem Teilsicherheitskonzept

B 2.1.2.1 Montage- und Betriebslasten

(1) Die Berechnung hat nach DIN EN 13001-3-1 in Verbindung mit DIN EN 13001-1 und DIN EN 13001-2 mit den Vorgaben gemäß (2) zu erfolgen.

Eine Bemessung von Tragwerksbauteilen aus austenitischen Stählen nach dem Teilsicherheitskonzept ist nur dann zulässig, wenn nach den Festlegungen in DIN EN 13001-3-1 Abschnitt 6.3.3 auf einen Nachweis der Ermüdungsfestigkeit verzichtet werden darf, wobei die Ermittlung der Spannungsspielzahl nach Abschnitt B 1.2.1.2 zu erfolgen hat.

(2) Die Nachweisführung gemäß DIN EN 13001-3-1 in Verbindung mit DIN EN 13001-1 und DIN EN 13001-2 hat unter Einhaltung folgender Vorgaben zu erfolgen:

a) Der Dynamikbeiwert Φ_2 für die Nachweisführung gemäß DIN 13001-2 ist, ungeachtet der konkreten Randbedingungen der Kranausführung und des Kranbetriebs, gemäß folgenden Formeln zu ermitteln:

   aa) für Betriebslasten: $\Phi_2 = 1{,}4 + 0{,}528 \cdot v_{h,max}$

   ab) für Montagelasten: $\Phi_2 = 1{,}1 + 0{,}132 \cdot v_{h,max}$

   Für $v_{h,max}$ ist die für den jeweiligen Lastfall maßgebliche maximale Hubgeschwindigkeit in m/s einzusetzen.

b) Sofern ein kleinerer Dynamikbeiwert als aus a) resultierend zur Anwendung kommen soll, ist der während eines Lastarbeitsspiels maximal auftretende dynamische Lastfaktor im Einzelfall rechnerisch oder experimentell nachzuweisen. Zur Bestimmung des Dynamikbeiwerts ist dieser dynamische Lastfaktor mit dem Faktor 1,25 zu multiplizieren.

c) Es gelten die Vorgaben gemäß B 1.1.2 (2) c) bis g),

d) Die Prüflasten sind wie folgt zu wählen:

   da) für Krane, Winden, Laufkatzen und Brennelement-Wechselanlagen gemäß KTA 3903, Tabelle 8-1, lfd. Nr. 1.4,

   db) für Lastaufnahme- und Anschlagmittel gemäß KTA 3903, Tabelle 8-1, lfd. Nr. 2.4.

   Die Nachweisführung hat nach den Vorgaben des Abschnitts 4.2.4.3 der DIN EN 13001-2 mit den Prüflasten gemäß da) und db) unter Verwendung des Dynamikbeiwerts Φ_2 gemäß a) zu erfolgen.

e) Im Ermüdungsfestigkeitsnachweis nach DIN EN 13001-3-1 ist der spezifische Widerstandsbeiwert der Ermüdungsfestigkeit für Bauteile und Schweißverbindungen γ_{mf} zu 1,25, für Schraubverbindungen, sofern diese nicht feuerverzinkt sind, mit $\gamma_{mf} = 1{,}5$ und für feuerverzinkte Schraubverbindungen mit $\gamma_{mf} = 1{,}8$ anzusetzen.

f) Der Risikobeiwert γ_n nach DIN EN 13001-2 darf wegen der unter a) bis e) getroffenen Festlegungen zu 1,0 angesetzt werden.

(3) Für alle Einwirkungen von außen ist entweder

a) das Nachweisverfahren nach DIN EN 13001-3-1 unter Verwendung folgender Teilsicherheitsbeiwerte

$\gamma_m = 1{,}0$

$\gamma_P = 1{,}0$

wobei bei Bauteilen und Schweißnähten aus austenitischen Stählen für den Wert f_y anstelle der $R_{p0,2}$-Dehngrenze die $R_{p1,0}$-Dehngrenze verwendet werden darf,

oder

b) das Nachweisverfahren nach KTA 3205.1 Abschnitt 4.2

anzuwenden.

(4) Bei genauer Kenntnis der Betriebsbedingungen, z. B. der tatsächlich auftretenden Belastungen und Spannungsspielzahlen, darf der Nachweis der Ermüdungsfestigkeit für ein einstufiges oder mehrstufiges Belastungskollektiv nach den Vorgaben der DIN EN 13001-3-1 und den Festlegungen in (2) durchgeführt werden.

Hinweis:

Der Zusammenhang zwischen Spannungsspielzahl und Lastspielzahl kann aus Abschnitt B 1.2.1.2 abgeleitet werden.

Die Nachweisführung mit einem mehrstufigen Belastungskollektiv ist unter Berücksichtigung einer schädigungsäquivalenten Beanspruchung nach der Hypothese der linearen Schadensakkumulation (Miner-Regel) nach Formel (B 1-14) durchzuführen.

Folgende Sicherheit gegen die zulässige Schwingbreite ist einzuhalten:

$$\nu = \frac{\Delta\sigma_{Rd}}{\Delta\sigma_{Sd}} \geq 1{,}25 . \qquad \text{(B 2-2)}$$

B 2.1.2.2 Sonderlastfall Lastumlagerung

Die bei der Lastumlagerung auftretende Belastung ist als Lastkombination C nach DIN EN 13001-2 zu berechnen. Hierbei sind die anzusetzenden Belastungen aus dem Nachweis gemäß Abschnitt B 2.2 zu entnehmen.

B 2.1.3 Alternative Möglichkeiten der Nachweisführung

Es gelten die Festlegungen des Abschnitts B 1.1.3.

B 2.2 Hubwerke

B 2.2.1 Auslegungsdaten

B 2.2.1.1 Ermittlung der Momente und Kräfte

(1) Für die Auslegung der Bauteile der Triebwerkskette, beginnend bei der Betriebsbremse und endend mit der Seiltrommel, sind die in den **Tabellen B 2-1** und **B 2-2** aufgeführten Momente zu ermitteln.

Hinweis:

Bei Verwendung von Systemen zur Erfassung der Bremswirkung ohne Prüflast als wiederkehrende Prüfung siehe auch KTA 3903 Anhang D Abschnitt D 3.1.

(2) Für die Berechnung der Momente $\hat{T}_M$, $\hat{T}_B$, $\hat{T}_O$, $\hat{T}_{SO}$ und $\hat{T}_{BS_1}$ sind die Betriebszustände gemäß B 1.2.1.1 (2) zugrunde zu legen. Die Momente sind für die jeweils zu betrachtende Schnittstelle zu berechnen. Das Moment $\hat{T}_{BAS_1}$ ist aus der Lastumlagerungsanalyse mit maximaler Betriebslast zu ermitteln.

Zur Ermittlung von $\hat{T}_{BAS_2}$ ist der Triebstrang durch ein geeignetes Modell abzubilden und dessen dynamisches Verhalten nach Stenkamp [12] oder unter Verwendung eines numerischen Simulationsverfahrens prüffähig auszuweisen. Für die Dämpfung kann D = 0,05 eingesetzt werden, sofern für den Einzelfall kein Nachweis geführt wird.

Für die Federrate gilt $C_i = \frac{1}{NG}$, wobei C_i die Federrate einer Feder in Nm/rad und NG die Torsionsnachgiebigkeit in rad/Nm ist. Die Formeln zur Berechnung der Torsionsnachgiebigkeit sind für typische Getriebebauteile der **Tabelle B 2-3** zu entnehmen.

(3) Für nichtdrehende Maschinenteile zwischen Seiltrommel und Last sind die Auslegungskräfte aus den vorgenannten Momenten zu ermitteln.

(4) Für nicht redundant ausgeführte Bauteile zwischen Seiltrommel und Last ist das 1,25fache des Hublastbeiwertes für die Berechnung dieser Bauteile anzusetzen.

Lastfall-Nr.	Momente	Benennung	Nachweisart
1	T_M $\hat{T}_M$	Statisches Moment für die maximale Montagelast Dynamisches Moment für die maximale Montagelast T_M (größter Wert aus $\hat{T}_{BS}$, $\hat{T}_{BR}$, $\hat{T}_{AN}$)	Nachweis der Ermüdungsfestigkeit und Nachweis der statischen Festigkeit für die erste Stufe des Kollektivs
2	T_B $\hat{T}_B$	Statisches Moment für die maximale Betriebslast Dynamisches Moment für die maximale Betriebslast T_B (größter Wert aus $\hat{T}_{BS}$, $\hat{T}_{BR}$, $\hat{T}_{AN}$)	
3	T_0 $\hat{T}_0$	Statisches Moment bei Leerfahrten, wenn Eigenlast vom halben Tragmittel plus Lastaufnahmemittel plus Anschlagmittel mehr als 30 % der maximalen Last beträgt Dynamisches Moment für Eigenlast T_0 (größter Wert aus $\hat{T}_{BS}$, $\hat{T}_{BR}$, $\hat{T}_{AN}$)	
4	T_{SO} $\hat{T}_{SO}$	Maximales Moment im Sonderlastfall, wie z. B. aus Abnahmeprüfung, wiederkehrender Prüfung, Getriebeprobelauf, gleichzeitiges Einfallen der Betriebs- und Zusatzbremse Dynamisches Moment für Sonderlast T_{SO}	
5	T_{BS_1} $\hat{T}_{BS_1}$	Statisches Moment aus der gesamten Betriebslast innerhalb einer Triebwerkskette (zweite Triebwerkskette nicht mittragend) Dynamisches Moment aus der gesamten Betriebslast innerhalb einer Triebwerkskette (zweite Triebwerkskette nicht mittragend) (größter Wert aus $\hat{T}_{BS}$, $\hat{T}_{BR}$, $\hat{T}_{AN}$)	
6	$\hat{T}_{BAS_1}$	Dynamisches Moment aus der Lastumlagerung mit Betriebslast innerhalb einer Triebwerkskette	Statischer Nachweis

Tabelle B 2-1: Momente für doppelte Triebwerkskette

Lastfall-Nr.	Momente	Benennung	Nachweisart
1	T_M $\hat{T}_M$	Statisches Moment für die maximale Montagelast Dynamisches Moment für die maximale Montagelast T_M (größter Wert aus $\hat{T}_{BS}$, $\hat{T}_{BR}$, $\hat{T}_{AN}$)	Nachweis der Ermüdungsfestigkeit und Nachweis der statischen Festigkeit für die erste Stufe des Kollektivs
2	T_B $\hat{T}_B$	Statisches Moment für die maximale Betriebslast Dynamisches Moment für die maximale Betriebslast T_B (größter Wert aus $\hat{T}_{BS}$, $\hat{T}_{BR}$, $\hat{T}_{AN}$)	
3	T_0 $\hat{T}_0$	Statisches Moment bei Leerfahrten, wenn Eigenlast vom halben Tragmittel plus Lastaufnahmemittel plus Anschlagmittel mehr als 30 % der maximalen Last beträgt Dynamisches Moment für Eigenlast T_0 (größter Wert aus $\hat{T}_{BS}$, $\hat{T}_{BR}$, $\hat{T}_{AN}$)	
4	T_{SO} $\hat{T}_{SO}$	Maximales Moment im Sonderlastfall, wie z. B. aus Abnahmeprüfung, wiederkehrender Prüfung, Getriebeprobelauf, gleichzeitiges Einfallen der Betriebs- und Zusatzbremse Dynamisches Moment für Sonderlast T_{SO}	
5	$\hat{T}_{BAS_2}$	Dynamisches Moment aus der Schwingwirkung der Sicherheitsbremse für den hier maßgebenden Betriebslastfall	
6	$\hat{T}_{BAS_1}$	Dynamisches Moment aus der Lastumlagerung mit Betriebslast innerhalb einer Triebwerkskette	Nachweis der statischen Festigkeit

Tabelle B 2-2: Momente für Triebwerkskette mit Sicherheitsbremse

B 2.2.1.2 Ermittlung der Spannungsspielzahl

Für den Nachweis der Ermüdungsfestigkeit sind die Spannungsspielzahlen nach Abschnitt B 1.2.1.2 zu ermitteln.

B 2.2.1.3 Ermittlung der Spannungskollektive (allgemein)

Aus den ermittelten Momenten nach den **Tabellen B 2-1** oder **B 2-2** und den daraus resultierenden Kräften sind die Bauteilspannungen zu errechnen und der Größe nach zu ordnen. Mit den zugehörigen Spannungsspielzahlen ist das Spannungskollektiv zu erstellen. Das erstellte Spannungskollektiv ist mit der Bauteilwöhlerlinie entsprechend Abschnitt B 1.2.1.3 zu vergleichen.

B 2.2.2 Wellen, Achsen und ähnliche Bauteile

B 2.2.2.1 Bestimmung der Wöhlerlinie

Es gelten die Festlegungen des Abschnitts B 1.2.2.1.

B 2.2.2.2 Sicherheiten für Wellen, Achsen und ähnliche Bauteile

(1) Die in **Tabelle B 2-4** angegebenen Sicherheiten sind einzuhalten.

(2) Bei Verwendung der Finite-Elemente-Methode sind die Anforderungen des Abschnitts B3 einzuhalten.

B 2.2.2.3 Nachweise für Passfedern

(1) Es gelten die Festlegungen des Abschnitts B 1.2.2.3.

(2) Für die Beanspruchungen aus den Lastfällen „Lastumlagerung“ und „Einfall Sicherheitsbremse“ dürfen die zulässigen Flächenpressungen mit

$$p_{zul} = 0{,}9 \cdot R_{p0,2}\ (R_{eH}) \qquad \text{(B 2-3)}$$

angesetzt werden.

B 2.2.3 Zahnräder

B 2.2.3.1 Ermittlung der wirksamen Spannungen und Bestimmung der Belastbarkeitslinie

Es gelten die Anforderungen des Abschnitts B 1.2.3.1.

B 2.2.3.2 Sicherheiten für Zahnräder

(1) Bei der Berechnung der Zahnräder nach DIN 3990-11 sind die in **Tabelle B 2-5** angegebenen Sicherheiten einzuhalten.

(2) Wird das Berechnungsverfahren nach Niemann [2] für die Bestimmung der Zahnräder angewendet, dann sind die in **Tabelle B 2-6** angegebenen Sicherheiten einzuhalten.

B 2.2.4 Seiltriebe

(1) Der Seiltrieb ist nach B 1.2.4 zu berechnen.

(2) Bezogen auf den Nachweis der Seiltrommelwanddicke und die Seilklemmen an der Seiltrommel dürfen kurzzeitig sehr selten auftretende Spannungsspitzen aus $\hat{T}_{BAS_1}$ und $\hat{T}_{BAS_2}$ unberücksichtigt bleiben, da sie nur auf einen Bruchteil einer Umschlingung wirken.

B 2.3 Fahrwerke

Für die Fahrwerke gilt Abschnitt B 1.3.

B 2.4 Lastaufnahmeeinrichtungen

(1) Es gelten die Anforderungen des Abschnitts B 1.4.

(2) Für Tragwerke sind die Nachweise nach Abschnitt B 2.1 zu führen.

(3) Für die Nachweise der Maschinenteile von Lasthakenaufhängung, Greifer, Traversen und Gehänge, Ober- und Unterflaschen gilt Abschnitt B 2.2.

(4) Für Schraubverbindungen gilt Abschnitt B 1.4.1.5, beim Nachweis der Ermüdungsfestigkeit ist jedoch eine Sicherheit von mindestens 2,5 nachzuweisen.

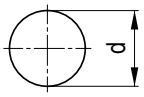
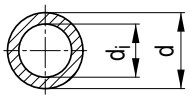
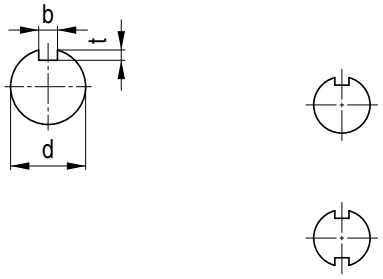
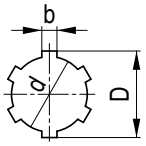
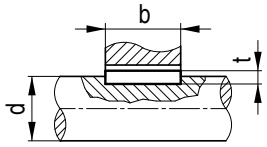
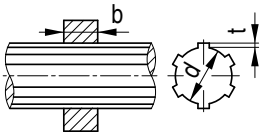
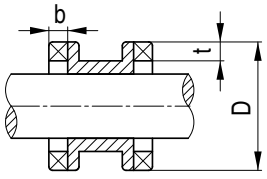
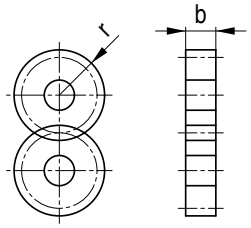
Skizze	Formel
1. Welle 	$NG = \frac{32 \cdot l}{G \cdot \pi \cdot d^4}$ G : Gleitmodul l : Wellenlänge
2. Hülse 	$NG = \frac{32 \cdot l}{G \cdot \pi \cdot d^4 \cdot \left[1 - \left(d_1 / d\right)^4\right]}$
3. Welle mit Passfedernut 	$NG = \frac{32 \cdot l}{G \cdot \pi \cdot d^4} \cdot \alpha$ $\alpha = \frac{32 \cdot \pi^3}{\left(\pi - 4 \cdot \sigma \cdot \psi\right)^4} \left[\frac{\pi}{32} - \frac{\sigma^4 \cdot \psi \cdot \left(1+\psi\right)^2}{12} - \frac{\pi \cdot \sigma^2 \cdot \psi \cdot \left(1 - \psi \cdot \sigma\right)^2}{4 \cdot \left(\pi - 4 \cdot \sigma^2 \cdot \psi\right)}\right]$ $\alpha = \frac{32 \cdot \pi^3}{\left(\pi - 8 \cdot \sigma^2 \cdot \psi\right)^4} \left[\frac{\pi}{32} - \frac{\sigma^4 \cdot \psi \cdot \left(1+\psi\right)^2}{6} - \frac{\sigma^2 \cdot \psi \cdot \left(1 - \psi \cdot \sigma\right)^2}{2}\right]$ σ = t/b ψ = b/d
4. Keilwelle 	$NG = \frac{32 \cdot l}{G \cdot \pi \cdot d^4} \cdot \alpha$ $\alpha = 1 / \left[1 - \left(z / \pi\right) \cdot \beta \cdot \left(1 - \delta^4\right)\right]^2$ β = b/d δ = D/d l : Wellenlänge z : Anzahl der Keile
5. Passfederverbindung 	$NG = \frac{6{,}4}{d^2 \cdot b \cdot t}$ d,b,t in mm
6. Keilwellenverbindung 	$NG = \frac{4}{d^2 \cdot b \cdot t \cdot z}$ d,b,t in mm
7. Zahnkupplung 	$NG = \frac{4}{D^2 \cdot b \cdot t \cdot \beta} \cdot \alpha$ α = (3 bis 4) β = (4 bis 5) für z = (6 bis 8) d,b,t in mm z : Anzahl der Zähne
8. Zahnradstufe (Stahl) 	$NG = \frac{1}{b \cdot r^2 \cdot \cos^2 \cdot \alpha} \cdot K$ $K = 6 \cdot 10^{-2}$ Geradverzahnung $K = 3{,}6 \cdot 10^{-2}$ Spiralverzahnung $K = 4{,}4 \cdot 10^{-2}$ Innenverzahnung α : Eingriffswinkel b, r in mm

Tabelle B 2-3: Formeln zur Berechnung der Torsionsnachgiebigkeit NG [rad/Nm] typischer Getriebebauteile

Nachweis	Belastungsart	Gleichung für Sicherheitsnachweis	Erforderliche Sicherheit für die erhöhten Anforderungen nach Abschnitt 7 und Brennelement-Wechselanlagen
Statische Festigkeit	Erste Stufe des Kollektivs [1]	$\nu_{\sigma 1} = \sigma_x / \left(\sigma_1 \cdot \alpha_{k_n}\right)$	$\geq 1{,}35$
		$\nu_{\tau 1} = \tau_{S_t} / \left(\tau_1 \cdot \alpha_{k_t}\right)$	
	Ausfall eines Bauteils bei doppelter Triebwerkskette [2]	$\nu_{BAS1_\sigma} = \sigma_x / \left(\hat{\sigma}_{BAS_1} \cdot \alpha_{k_n}\right)$	
		$\nu_{BAS1_\tau} = \tau_{S_t} / \left(\hat{\tau}_{BAS_1} \cdot \alpha_{k_t}\right)$	
		$\nu_{BAS1_{\sigma V}} = \sigma_x / \hat{\sigma}_{V_{BAS_1}}$	
	Ausfall eines Bauteils bei einer Triebwerkskette mit Sicherheitsbremse [2]	$\nu_{BAS1_\sigma} = \sigma_x / \left(\hat{\sigma}_{BAS_1} \cdot \alpha_{k_n}\right)$	
		$\nu_{BAS1_\tau} = \tau_{S_t} / \left(\hat{\tau}_{BAS_1} \cdot \alpha_{k_t}\right)$	
		$\nu_{BAS1_{\sigma V}} = \sigma_x / \hat{\sigma}_{V_{BAS_1}}$	
		$\nu_{BAS2_\sigma} = \sigma_x / \left(\hat{\sigma}_{BAS_2} \cdot \alpha_{k_n}\right)$	
		$\nu_{BAS2_\tau} = \tau_{S_t} / \left(\hat{\tau}_{BAS_2} \cdot \alpha_{k_t}\right)$	
		$\nu_{BAS1_{\sigma V}} = \sigma_x / \hat{\sigma}_{V_{BAS_1}}$	
Betriebsfestigkeit	Kollektiv Fall A oder B	$\overline{\nu}_\sigma = \sigma_D / \overline{\sigma}$	$\geq 2{,}5$
		$\overline{\nu}_\tau = \tau_D / \overline{\tau}$	
		$\left(\frac{\overline{\sigma}_n}{\sigma_D}\right)^2 + \left(\frac{\overline{\tau}_t}{\tau_D}\right)^2 \leq \left(\frac{1{,}0}{\nu}\right)^2$	
Dauerfestigkeit	Erste Kollektivstufe Fall C	$\nu_\sigma = \sigma_D / \sigma_1$	
		$\nu_\tau = \tau_D / \tau_1$	
		$\left(\frac{\overline{\sigma}_1}{\sigma_D}\right)^2 + \left(\frac{\overline{\tau}_1}{\tau_D}\right)^2 \leq \left(\frac{1{,}0}{\nu}\right)^2$	

[1] Gilt nur für Hubwerke; für nichtdrehende Bauteile entfallen die Formzahlen und die erforderliche Sicherheit wird ≥ 1,5, wobei für σ_x R_{eH} oder $R_{p0,2}$ einzusetzen ist.

[2] Wie Fußnote [1], jedoch erforderliche Sicherheit ≥ 1,25.

Tabelle B 2-4: Sicherheiten für Wellen, Achsen und ähnliche Bauteile

Nachweis	Belastungsart	Gleichung für Sicherheitsnachweis	Erforderliche Sicherheit für die erhöhten Anforderungen nach Abschnitt 7 und Brennelement-Wechselanlagen
Statische Festigkeit	Erste Stufe des Kollektivs	$S_{F_{min}} = \max \frac{\sigma_{FG}}{\sigma_{F_1}}$	≥ 1,57
		$S_{H_{min_1}} = \max \frac{\sigma_{HG}}{\sigma_{H_1}}$	≥ 1,25
		Nur nachzuweisen, wenn $N_{ges} < N_Z$ ist	
	Ausfall eines Bauteils in einer doppelten Triebwerkskette	$S_{F_{BAS_1 min}} = \max \frac{\sigma_{FG}}{\sigma_{F_{BAS_1}}}$	≥ 1,57
	Ausfall eines Bauteils bei einer Triebwerkskette mit Sicherheitsbremse [2)]	$S_{F_{BAS_1 min}} = \max \frac{\sigma_{FG}}{\sigma_{F_{BAS_1}}}$	
		$S_{F_{BAS_2 min}} = \max \frac{\sigma_{FG}}{\sigma_{F_{BAS\,2}}}$	
Betriebsfestigkeit	Kollektiv Fall A oder B	$\overline{S}_{F_{min}} = \frac{\sigma_{FG}}{\sigma_F}$	≥ 1,76
		$\overline{S}_{H_{min}} = \frac{\sigma_{HG}}{\sigma_H}$	≥ 1,25
Dauerfestigkeit	Erste Kollektivstufe Fall C	$\overline{S}_{F_{min}} = \frac{\sigma_{FG}}{\sigma_{F_1}}$	≥ 1,76
		$\overline{S}_{H_{min}} = \frac{\sigma_{HG}}{\sigma_{H_1}}$	≥ 1,25

Tabelle B 2-5: Sicherheiten für Zahnräder nach DIN 3990-11

Nachweis	Belastungsart	Gleichung für Sicherheitsnachweis	Erforderliche Sicherheit für die erhöhten Anforderungen nach Abschnitt 7 und Brennelement-Wechselanlagen
Statische Festigkeit	Erste Stufe des Kollektivs	$\nu_{\sigma 1} = \max \frac{\sigma_z}{\sigma_1}$	≥ 1,50
		$\nu_{k_1} = \max \frac{k_z}{k_1}$	≥ 1,25
		Nur nachzuweisen, wenn $N_{ges} < N_Z$ ist	
	Ausfall eines Bauteils in einer doppelten Triebwerkskette	$\nu_{BAS_1} = \max \frac{\sigma_z}{\hat{\sigma}_{BAS_1}}$	≥ 1,35
	Ausfall eines Bauteils in einer Triebwerkskette mit Sicherheitsbremse	$\nu_{BAS_1} = \max \frac{\sigma_z}{\hat{\sigma}_{BAS_1}}$	
		$\nu_{BAS_2} = \max \frac{\sigma_z}{\hat{\sigma}_{BAS_2}}$	
Betriebsfestigkeit	Kollektiv Fall A oder B	$\overline{\nu}_\sigma = \frac{\sigma_D}{\overline{\sigma}}$	≥ 2,5
		$\overline{\nu}_k = \frac{k_D}{\overline{k}}$	≥ 1,6
Dauerfestigkeit	Erste Kollektivstufe Fall C	$\overline{\nu}_\sigma = \frac{\sigma_D}{\sigma_1}$	≥ 2,5
		$\overline{\nu}_k = \frac{k_D}{k_1}$	≥ 1,6

Tabelle B 2-6: Sicherheiten für Zahnräder nach Niemann [2]

B 3 Nachweisführung bei Anwendung der Finite-Elemente-Methode

B 3.1 Allgemeines

(1) Neben den in den Abschnitten B1 und B2 beschriebenen Nachweisverfahren ist es für Tragwerke sowie für nichtdrehende Maschinenteile zugelassen, die Festigkeitsnachweise auch auf Basis der Methode der finiten Elemente (FEM) zu führen.

(2) Bei Anwendung der Methode der finiten Elemente sind die Anforderungen entsprechend KTA 3201.2 Anhang C3 einzuhalten.

(3) Nachweise auf der Grundlage von Finite-Elemente-Berechnungen sind im Zusammenhang mit Nachweisführungen sowohl nach DIN 15018-1 als auch nach DIN EN 13001-3-1 zulässig.

(4) Bei Nachweisführungen nach DIN 15018-1 gelten, abweichend von den Anforderungen in den Abschnitten 6, 7 und 8 sowie in den Abschnitten B1 und B2, für die Spannungsabsicherung bei Verwendung von Nachweisen nach der Methode der Finiten Elemente die Anforderungen gemäß Abschnitt B 3.2.

(5) Bei Nachweisführungen nach dem Teilsicherheitskonzept gemäß DIN EN 13001-3-1 gelten, abweichend von den Anforderungen in den Abschnitten 6, 7 und 8 sowie in den Abschnitten B1 und B2, für die Spannungsabsicherung bei Verwendung von Nachweisen nach der Methode der Finiten Elemente die Anforderungen gemäß Abschnitt B 3.3.

B 3.2 Spannungsabsicherung bei Tragwerken unter Verwendung des globalen Sicherheitskonzepts in Verbindung mit Nachweisführungen nach DIN 15018-1 und bei nichtdrehenden Maschinenteilen

B 3.2.1 Nachweis der statischen Festigkeit

(1) Die Spannungen sind in Abhängigkeit von der erzeugenden Ursache und ihrer Auswirkung auf das Festigkeitsverhalten des Bauteils gemäß KTA 3201.2 Abschnitt 7.7.2 Spannungskategorien zuzuordnen, das heißt in primäre Spannungen, sekundäre Spannungen und Spannungsspitzen einzuteilen.

(2) Für Tragwerke sowie für nichtdrehende Maschinenteile werden außerhalb von Unstetigkeitsstellen nur primäre Spannungen betrachtet.

(3) Primäre Spannungen (P) sind solche Spannungen, die das Gleichgewicht mit äußeren Kraftgrößen (Lastgrößen) herstellen. Hierbei sind die primären Membranspannungen (P_m) definiert als Mittelwert der jeweiligen Spannungskomponente über dem für das Tragverhalten zugrunde zu legenden Querschnitt, bei Flächentragwerken jeweils als Mittelwert der Spannungskomponente über der Wanddicke. Die primären Biegespannungen (P_b) sind definiert als die über dem betrachteten Querschnitt proportional zum Abstand von der neutralen Achse linear veränderlichen Spannungen, bei Flächentragwerken als der linear veränderliche Anteil der über der Wanddicke verteilten Spannungen.

(4) Die Vergleichspannung ist aus den linearisierten einzelnen Spannungskomponenten zu bilden.

(5) Der Ort der Linearisierung außerhalb des Einflussbereichs von geometrischen Unstetigkeiten ist so zu wählen, dass

a) nur primäre Spannungsanteile erfasst werden,

b) das Maximum der primären Spannungsanteile erfasst wird.

(6) Die Forderungen gemäß (5) a) und (5) b) gelten als pauschal erfüllt, wenn

a) für schalenartige Bauteile (z. B. Zargen, Rohre) die Linearisierung im Abstand $\sqrt{R \cdot s}$ zur geometrischen Unstetigkeit durchgeführt wird, wobei die Größen R und s wie folgt zu bestimmen sind:

   R : mittlerer kleinster Radius der Schale

   s : kleinste Wanddicke

b) für Rundstahlprofile die Linearisierung im Abstand des halben Profildurchmessers, für Rechteckprofile und Bleche im Abstand der Hälfte der kleinsten Querschnittsdimension durchgeführt wird.

c) für andere Formen die Linearisierung im Abstand $\sqrt{R \cdot s}$ zur geometrischen Unstetigkeit durchgeführt wird, wobei die Größen R und s wie folgt zu bestimmen sind:

   R : Hälfte der kleinsten Abmessung eines Walzprofils, Hälfte der kleinsten Schenkelbreite eines Winkelprofils, Radius einer Bohrung

   s : kleinste Wanddicke

Die Linearisierung darf auch in anderen Abständen durchgeführt werden, jedoch muss hierfür ein geeigneter Nachweis bezüglich der Einhaltung der Forderungen gemäß (5) a) und (5) b) erbracht werden.

(7) Für die Vergleichsspannung aus den linearisierten Spannungsanteilen gilt:

a) Außerhalb der Unstetigkeitsstelle darf die Vergleichspannung infolge der nach DIN 15018-1 nachzuweisenden Lastkombinationen die in DIN 15018-1 festgelegten zulässigen Spannungen nicht überschreiten.

b) Im Bereich der Unstetigkeitsstelle darf die Vergleichspannung die zulässigen Spannungen gemäß DIN 15018-1 überschreiten, wenn infolge lokaler Spannungsumlagerungen das Gleichgewicht bei Einhaltung der zulässigen Spannungen sichergestellt ist und die Vergleichsspannung den Wert

   ba) für Lastfall H $\quad \sigma_v \le 0{,}8 \cdot R_{p0,2}$

   bb) für Lastfall HZ $\quad \sigma_v \le 0{,}9 \cdot R_{p0,2}$

   bc) für Lastfall HS $\quad \sigma_v \le R_{p0,2}$

   mit $R_{p0,2}$: Streckgrenze

   nicht überschreitet. Dabei sind zum Nachweis möglicher Spannungsumlagerungen Plausibilitätsbetrachtungen zulässig.

c) Die Spannungsbegrenzung für σ_v an der Unstetigkeitsstelle muss nicht eingehalten werden, wenn mittels Grenztragfähigkeitsanalyse gezeigt werden kann, dass die zulässigen unteren Grenzlasten gemäß KTA 3201.2 Abschnitt 7.7.4 nicht überschritten werden, wobei zur Berechnung der unteren Grenztraglast als Wert für die Fließspannung

   ca) im Lastfall H der Wert $\sigma_F = 1{,}0 \cdot R_{p0,2}$

   cb) im Lastfall HZ der Wert $\sigma_F = 1{,}10 \cdot R_{p0,2}$

   cc) im Lastfall HS der Wert $\sigma_F = 1{,}20 \cdot R_{p0,2}$

   zu verwenden ist und die spezifizierte Belastung 67 % des Wertes der unteren Grenztraglast gemäß KTA 3201.2 Abschnitt 7.7.4.1 nicht überschreiten darf.

(8) Für die Bewertung nach (7) ist als Vergleichsspannung das Maximum aus

a) der Vergleichsspannung nach der von-Mises-Hypothese und

b) der größten Hauptspannung

zu verwenden.

(9) Für die zulässigen Spannungen von Schweißnähten gilt DIN 15018-1.

B 3.2.2 Nachweis der Ermüdungsfestigkeit

(1) Für Tragwerke sind die für den Nachweis der Ermüdungsfestigkeit zulässigen Spannungen nach den Vorgaben der DIN 15018-1 zu ermitteln.

(2) Der Nachweis der Ermüdungsfestigkeit bei Verwendung der Methode der Finiten Elemente unterscheidet sich gegenüber der in den Abschnitten B1 und B2 beschriebenen Vorgehensweise nur hinsichtlich der Ermittlung der Nennspannung. Dabei ist die im Nachweis der statischen Festigkeit ermittelte Vergleichsspannung aus den linearisierten einzelnen Spannungskomponenten zu bewerten.

(3) Für nichtdrehende Maschinenteile hat der Nachweis der Ermüdungsfestigkeit gemäß den Abschnitten B 1.2.2 und B 2.2.2 und mit den erforderlichen Sicherheiten nach **Tabelle B 1-3** und **Tabelle B 2-4** zu erfolgen.

(4) Die Ermittlung der Kerbwirkungszahl darf alternativ zu den Vorgaben nach B 1.2.2.1 (3) auch auf Basis des FEM-Nachweises erfolgen. Dabei ist die Kerbwirkungszahl der Quotient aus der maximalen Vergleichsspannung (nicht linearisiert) und der nach Absatz 1 ermittelten Vergleichsspannung aus primären Membran- und Biegespannungen.

B 3.3 Spannungsabsicherung von Tragwerken bei Verwendung des Teilsicherheitskonzepts nach DIN EN 13001-3-1

B 3.3.1 Nachweis der statischen Festigkeit

(1) Die Bauteilspannungen sind unter Verwendung von Lasten, Lastkombinationen und Teilsicherheitsbeiwerten gemäß DIN EN 13001-2, Tabelle 12a, und den Festlegungen der Abschnitte B 1 und B 2 zu ermitteln.

(2) Die so ermittelten Spannungen sind in Abhängigkeit von der erzeugenden Ursache und ihrer Auswirkung auf das Festigkeitsverhalten des Bauteils gemäß KTA 3201.2 Abschnitt 7.7.2 Spannungskategorien zuzuordnen, das heißt in primäre Spannungen, sekundäre Spannungen und Spannungsspitzen einzuteilen.

(3) Außerhalb von Unstetigkeitsstellen werden nur primäre Spannungen betrachtet (siehe B 3.2.1 (3)).

(4) Die Vergleichspannung ist aus den linearisierten einzelnen Spannungskomponenten zu bilden.

(5) Der Ort der Linearisierung außerhalb des Einflussbereichs von geometrischen Unstetigkeiten ist so zu wählen, dass

a) nur primäre Spannungsanteile erfasst werden,

b) das Maximum der primären Spannungsanteile erfasst wird.

(6) Die Forderungen gemäß (5) a) und (5) b) gelten als pauschal erfüllt, wenn

a) für schalenartige Bauteile (z. B. Zargen, Rohre), die Linearisierung im Abstand $\sqrt{R \cdot s}$ zur geometrischen Unstetigkeit durchgeführt wird, wobei die Größen R und s wie folgt zu bestimmen sind:

   R : mittlerer kleinster Radius der Schale

   s : kleinste Wanddicke

b) für Rundstahlprofile die Linearisierung im Abstand des halben Profildurchmessers, für Rechteckprofile und Bleche im Abstand der Hälfte der kleinsten Querschnittsdimension durchgeführt wird.

c) für andere Formen die Linearisierung im Abstand $\sqrt{R \cdot s}$ zur geometrischen Unstetigkeit durchgeführt wird, wobei die Größen R und s wie folgt zu bestimmen sind:

   R: Hälfte der kleinsten Abmessung eines Walzprofils, Hälfte der kleinsten Schenkelbreite eines Winkelprofils, Radius einer Bohrung

   s : kleinste Wanddicke

Die Linearisierung darf auch in anderen Abständen durchgeführt werden, jedoch muss hierfür ein geeigneter Nachweis bezüglich der Einhaltung der Forderungen gemäß (5) a) und (5) b) erbracht werden.

(7) Für die Vergleichsspannung aus den linearisierten Spannungsanteilen gilt:

a) Außerhalb der Unstetigkeitsstelle darf die Vergleichspannung infolge der mit Teilsicherheitsfaktoren belegten Lastkombinationen den gemäß DIN EN 13001-3-1, Kapitel 5.2, anzusetzenden Grenzwert der Bemessungsspannung f_{Rd} nicht überschreiten.

b) Im Bereich der Unstetigkeitsstelle darf die Vergleichspannung infolge der mit Teilsicherheitsfaktoren belegten Lastkombinationen den Grenzwert der Bemessungsspannung f_{Rd} überschreiten, wenn infolge lokaler Spannungsumlagerungen das Gleichgewicht bei Einhaltung des Grenzwertes der Bemessungsspannung sichergestellt ist und die Vergleichsspannung den Wert

   $\sigma_v \leq 1{,}2 \cdot f_{Rd}$

   mit f_{Rd} : Grenzwert der Bemessungsspannung

   nicht überschreitet. Dabei sind zum Nachweis möglicher Spannungsumlagerungen Plausibilitätsbetrachtungen zulässig.

c) Die Spannungsbegrenzung für σ_v an der Unstetigkeitsstelle muss nicht eingehalten werden, wenn mittels Grenztragfähigkeitsanalyse gezeigt werden kann, dass die untere Grenztraglast gemäß KTA 3201.2 Abschnitt 7.7.4 (maximal aufnehmbare Last bei Verwendung eines linear elastischen/ideal plastischen Werkstoffgesetzes) bei Einhaltung des Grenzwertes der Bemessungsspannung f_{Rd} die Gleichgewichtsbedingungen erfüllt.

(8) Für die Bewertung nach (7) ist als Vergleichsspannung das Maximum aus

a) der Vergleichsspannung nach der von-Mises-Hypothese und

b) der größten Hauptspannung

zu verwenden.

(9) Für die Grenzspannungen von Schweißnähten gilt DIN EN 13001-3-1, Kapitel 5.2.5.

B 3.3.2 Nachweis der Ermüdungsfestigkeit

(1) Die für den Nachweis der Ermüdungsfestigkeit zulässigen Spannungen sind nach den Vorgaben der DIN EN 13001-3-1 zu ermitteln.

(2) Der Nachweis der Ermüdungsfestigkeit bei Verwendung der Methode der Finiten Elemente unterscheidet sich gegenüber der in den Abschnitten B1 und B2 beschriebenen Vorgehensweise nur hinsichtlich der Ermittlung der Nennspannung. Dabei ist die im Nachweis der statischen Festigkeit ermittelte Vergleichsspannung aus den linearisierten einzelnen Spannungskomponenten zu bewerten.

(3) Die Ermittlung der Kerbwirkungszahl darf alternativ zu den Vorgaben nach B 1.2.2.1 (3) auch auf Basis des FEM-Nachweises erfolgen. Dabei ist die Kerbwirkungszahl der Quotient aus der maximalen Vergleichsspannung (nicht linearisiert) und der nach Absatz 1 ermittelten Vergleichsspannung aus primären Membran- und Biegespannungen.

B 4 Formelzeichen und Größen

Formelzeichen	Größe und Bezeichnung	Einheit
C_i	Federrate	Nm/rad
C_T	Tragfehlerbeiwert	—
D	Dämpfung	—
J_{ab}	Abtriebsseitig von der jeweiligen Schnittstelle liegende Massenträgheitsmomente	kgmm^2
J_{an}	Antriebsseitig von der jeweiligen Schnittstelle liegende Massenträgheitsmomente	kgmm^2
K_n	Produkt aus Kerbwirkungszahl, Rauhigkeitsfaktor und Größenfaktor bei Normalspannungen	—
K_t	Produkt aus Kerbwirkungszahl, Rauhigkeitsfaktor und Größenfaktor bei Torsionsspannungen	—
N_D	Spannungsspiele bei Dauerfestigkeit	—
NG	Torsionsnachgiebigkeit	Rad/Nm
$N_{i\sigma}$, $\hat{N}_{i\sigma}$	Zahl der Spannungsspiele für die Momentenstufen von Wellen-, Achsen-, Zahnfuß- und Zahnflankenbeanspruchungen	—
$N_{i\tau}$, $\hat{N}_{i\tau}$	Zahl der Torsionsspannungsspiele für die Momentenstufen für Wellenbeanspruchung	—
N_Z	Spannungsspiele bei Zeitfestigkeit	—
R_{eH}	Streckgrenze	N/mm^2
R_m	Zugfestigkeit	N/mm^2
R_{max}	Radkraft	N
$R_{p0,2}$	0,2%-Dehngrenze	N/mm^2
R_z, R_a	Rautiefe	µm
R_{z100}	Relative Rautiefe, bezogen auf einen Achsabstand von 100 mm	µm
S_{max}	Nennseilkraft multipliziert mit Hublastbeiwert	N
$S, \overline{S}$	Erforderliche Sicherheit	—
$\hat{T}_{AN}$	Dynamisches Moment beim Anheben einer abgesetzten Last	Nmm
T_B	statisches Moment für die maximale Betriebslast	Nmm
$\hat{T}_B$	dynamisches Moment für die maximale Betriebslast	Nmm
$\hat{T}_{BAS_1}$	dynamisches Moment aus der Lastumlagerung mit Betriebslast innerhalb einer Triebwerkskette	Nmm
$\hat{T}_{BAS_2}$	dynamisches Moment aus der Schwingwirkung der Sicherheitsbremse für den hier maßgebenden Betriebslastfall	Nmm
$\hat{T}_{BR}$	dynamisches Moment beim Bremsen (Senken)	Nmm
$\hat{T}_{Bre}$	größtes Bremsmoment der Bremsen	Nmm
$\hat{T}_{BS}$	dynamisches Moment beim Beschleunigen (Heben)	Nmm
T_{BS_1}	statisches Moment aus der Betriebslast innerhalb einer Triebwerkskette	Nmm
$\hat{T}_{BS_1}$	dynamisches Moment aus der Betriebslast innerhalb einer Triebwerkskette	Nmm
T_L	größtes Beharrungsmoment aus Eigenlast und Hublast ohne Berücksichtigung des Wirkungsgrades	Nmm
T_M	statisches Moment für die maximale Montagelast	Nmm
$\hat{T}_M$	dynamisches Moment für die maximale Montagelast	Nmm
T_{mot}	größtes Motormoment	Nmm
T_0	statisches Moment für Leerfahrten	Nmm
$\hat{T}_0$	dynamisches Moment für Leerfahrten	Nmm
T_R	größtes Beharrungsmoment aus den der Bewegungsrichtung entgegenwirkenden Reibungskräften beim Heben oder Senken	Nmm
T_{SO}	maximales Moment für Sonderlastfall	Nmm
$\hat{T}_{SO}$	dynamisches Moment für Sonderlastfall	Nmm
U_i	Zahl der Lastarbeitsspiele, d.h. Heben und Senken	—
Z_R	Faktor für die relative Rautiefe	—
Z_{Sch_i}	Zahl der Schaltungen je Lastarbeitsspiel (Einschalten zum Beschleunigen und Umschalten zum Bremsen entspricht je einer Schaltung)	—
c	Steigung der Bauteilwöhlerlinie im Zeitfestigkeitsbereich	—
d	Durchmesser	mm
$f_{H\beta}$	Flankenlinienabweichung	—
f_R	Flankenrichtungsfehler	—
f_{Rd}	Grenzwert der Bemessungsspannung	N/mm^2
f_{Rw}	wirksame Flankenrichtungsfehler	—
f_y	Fließgrenze des Werkstoffs	N/mm^2
h	Seiltrommelwanddicke im Rillengrund	mm
h_i	Einschaltdauer des Hubwerkes, wobei Leerfahrten mit Eigenlasten ≤ 30 % der Betriebslast unberücksichtigt bleiben	Stunden
k	Kopfbreite der Kranschiene	mm
$\overline{k}$	Schädigungsäquivalente Zahnflankentragfähigkeit	—
k_a	Zahl der Spannungsspiele infolge einer Schaltung	—
k_D, k_0	Dauerfestigkeit für Flankenpressung von Zahnrädern	N/mm^2
k_w	wirksame Flächenpressung für Zahnräder	N/mm^2
k_Z	Zahnflankentragfähigkeit	N/mm^2
n_i	Drehzahl des zu berechnenden Triebwerkteils	min^{-1}
p_{maxH}	Hertzsche Pressung	N/mm^2
p_{zul}	zulässige Flächenpressung für Passfedern	N/mm^2
r_1	Rundungshalbmesser des Schienenkopfs	mm

Formelzeichen	Größe und Bezeichnung	Einheit
s	Seilrillensteigung	mm
$\bar{s}_i$	mittlerer Weg als Summe aus Heben und Senken innerhalb eines Lastarbeitsspiels	m
$\hat{t}_i$	schwingbehaftete Zeit innerhalb eines Lastarbeitsspiels unter Berücksichtigung von Positionierschaltungen	s
$v_{h,max}$	maximale Hubgeschwindigkeit	m/s
$\bar{v}_i$	mittlere Hubgeschwindigkeit	m/s
y_K	Lebensdauerfaktor für Zahnflankentragfähigkeit	—
y_G, y_H	Beiwert nach [2], Tafel 121/1, jedoch unter Berücksichtigung der Werkstoffe aus Tabelle B 1-5	—
y_R	Rauhigkeitsfaktor	—
y_S	Beiwert nach [2], Tafel 121/1	—
y_V	Beiwert nach [2], Tafel 121/1	—
y_σ	Lebensdauer für Zahnfußtragfähigkeit	—
α_{k_n}	Formzahl für Normalspannungen	—
α_{k_t}	Formzahl für Torsionsspannungen	—
α_L	Lasteinleitungsfaktor	—
γ	Steigungswinkel der Bauteilwöhlerlinie im Zeitfestigkeitsbereich	—
γ_m	Widerstandsbeiwert	—
γ_{mf}	spezifischer Widerstandsbeiwert für die Ermüdungsfestigkeit	—
γ_n	Risikobeiwert	—
γ_p	Teilsicherheitsbeiwert	—
γ_{sm}	spezifischer Widerstandsbeiwert für den Werkstoff	—
γ_{ss}	spezifischer Widerstandsbeiwert der gleitfesten Verbindung	—
ε	Zahl der Torsionsspannungsspiele infolge einer Schaltung	—
μ_0	Reibbeiwert	—
ν, $\bar{\nu}$	erforderliche Sicherheit	—
ρ_{red}	Ersatzkrümmungsradius im Wälzpunkt	mm
$\bar{\sigma}$	schädigungsäquivalente Zugbeanspruchung, berechnet aus den Lastwechselzahlen im Fall A und B	N/mm^2
$\hat{\sigma}_{BAS_1}$	maximale Spannung durch das dynamische Moment aus der Lastumlagerung mit Betriebslast innerhalb einer Triebwerkskette	N/mm^2
$\hat{\sigma}_{BAS_2}$	maximale Spannung durch das dynamische Moment aus der Schwingwirkung der Sicherheitsbremse für den hier maßgebenden Betriebslastfall	N/mm^2
σ_D, σ_0	Dauerfestigkeit für Normalspannungen oder Zahnfußdauerfestigkeit	N/mm^2

Formelzeichen	Größe und Bezeichnung	Einheit
σ_F	wirksame Spannung am Zahnfuß	N/mm^2
σ_{FE}	Zahnfuß-Grundfestigkeit	N/mm^2
σ_H	wirksame Spannung an der Zahnflanke	N/mm^2
σ_{FG}	Dauerfestigkeit und statische Festigkeit am Zahnfuß	N/mm^2
σ_{HG}	Dauerfestigkeit und statische Festigkeit an der Zahnflanke	N/mm^2
$\sigma_{H\,lim}$	Grübchen-Dauerfestigkeit	N/mm^2
σ_n	Dauerfestigkeit der Werkstoffprobe für Normalspannungen bei 50 % Überlebenswahrscheinlichkeit	N/mm^2
$\Delta\sigma_{Rd}$	Grenzwert der Bemessungsschwingbreite (Normalspannung)	N/mm^2
$\Delta\sigma_{Sd}$	Bemessungsschwingbreite (Normalspannung)	N/mm^2
σ_w	wirksame Zahnfußspannung	N/mm^2
σ_Z	Zahnfußtragfähigkeit	N/mm^2
$\hat{\sigma}_{V_{BAS_1}}$	maximale Vergleichsspannung durch das dynamische Moment aus der Lastumlagerung mit Betriebslast innerhalb einer Triebwerkskette	N/mm^2
$\hat{\sigma}_{V_{BAS_2}}$	maximale Vergleichsspannung durch das dynamische Moment aus der Schwingwirkung der Sicherheitsbremse für den hier maßgebenden Betriebslastfall	N/mm^2
$\hat{\tau}_{BAS_1}$	maximale Torsionsspannung durch das dynamische Moment aus der Lastumlagerung mit Betriebslast innerhalb einer Triebwerkskette	N/mm^2
$\hat{\tau}_{BAS_2}$	Torsionsspannung durch das dynamische Moment aus der Schwingwirkung der Sicherheitsbremse für den hier maßgebenden Betriebslastfall	N/mm^2
$\bar{\tau}$	schädigungsäquivalente Torsionsbeanspruchung, berechnet aus den Lastwechselzahlen im Fall A und B	N/mm^2
τ_D	Dauerfestigkeit für Torsionsspannungen	N/mm^2
τ_{St}	Torsionsstreckgrenze $\frac{\sigma_x}{\sqrt{3}}$	N/mm^2
τ_t	Dauerfestigkeit der Werkstoffprobe für Torsionsspannungen bei 50 % Überlebenswahrscheinlichkeit	N/mm^2
ϕ_2	Dynamikbeiwert der Hublast beim Anheben einer unbehinderten Last vom Boden	—
φ_S	Schwingbeiwert, der die dynamische Wirkung infolge sprunghafter Momentänderung berücksichtigt	—
ψ	Hublastbeiwert	—

Anhang C

Wöhlerlinien für den Nachweis der Ermüdungsfestigkeit der Werkstoffe S235 und S355 nach DIN EN 10025-2

Die in den **Tabellen C-1** und **C-2** sowie in den **Bildern C-1 bis C-10** dargestellten Wöhlerlinien sind zulässige Oberspannungen gemäß DIN 15018-1 Tabelle 17 und Tabelle 18. Sie entsprechen dem Spannungskollektiv S_3 in den Spannungsspielbereichen N1 bis N4 (B4 bis B6) DIN 15018-1.

In den **Tabellen C-1** und **C-2** sind für die Kerbfälle K0 bis K4 beispielhaft die zutreffenden Knickpunkte der Spannungskoordinaten S_D für R = -1 (wechselnde Beanspruchung) und R = 0 (schwellende Beanspruchung) angegeben.

Die Knickpunkte der Spannungskoordinaten $S_{D(R)}$ für andere R-Werte sind entsprechend der in DIN 15018-1 Bild 9 dargestellten Zusammenhänge zu ermitteln. Die Lebensdauerkoordinate des Knickpunktes N_D und die Neigung im Zeitfestigkeitsbereich k entsprechen für die Kerbfälle K0 bis K4 für alle $S_{D(R)}$ den in den **Tabellen C-1** und **C-2** angegebenen Werten ($N_D = 2{,}0 \cdot 10^6$; c = 3,32).

Zum Nachweis der Ermüdungsfestigkeit sind die Festlegungen unter Abschnitt B 1.2.1.3 (3) und B 1.2.1.3 (4) zugrunde zu legen.

Lfd. Nr.	Kerbfall nach DIN 15018-1 Tabelle 10.3	Beanspruchungsverhältnis R	Spannungskollektiv nach DIN 15018-1 Tabelle 14	Parameter der Wöhlerlinie im doppeltlogarithmischen Koordinatensystem		
				Spannungskoordinate des Knickpunktes S_D in N/mm²	Lebensdauerkoordinate des Knickpunktes N_D	Neigung k
1	K 0	-1	S_3	84,0	$2{,}0 \cdot 10^6$	3,32
2	K 1			75,0		
3	K 2			63,0		
4	K 3			45,0		
5	K 4			27,0		

Tabelle C-1: Wertetabelle für die Wöhlerlinien der **Bilder C-1 bis C-5**

Lfd. Nr.	Kerbfall nach DIN 15018-1 Tabelle 10.3	Beanspruchungsverhältnis R	Spannungskollektiv nach DIN 15018-1 Tabelle 14	Parameter der Wöhlerlinie im doppeltlogarithmischen Koordinatensystem		
				Spannungskoordinate des Knickpunktes S_D in N/mm²	Lebensdauerkoordinate des Knickpunktes N_D	Neigung k
1	K 0	0	S_3	140,0	$2{,}0 \cdot 10^6$	3,32
2	K 1			125,0		
3	K 2			105,0		
4	K 3			75,0		
5	K 4			45,0		

Tabelle C-2: Wertetabelle für die Wöhlerlinien der **Bilder C-6 bis C-10**

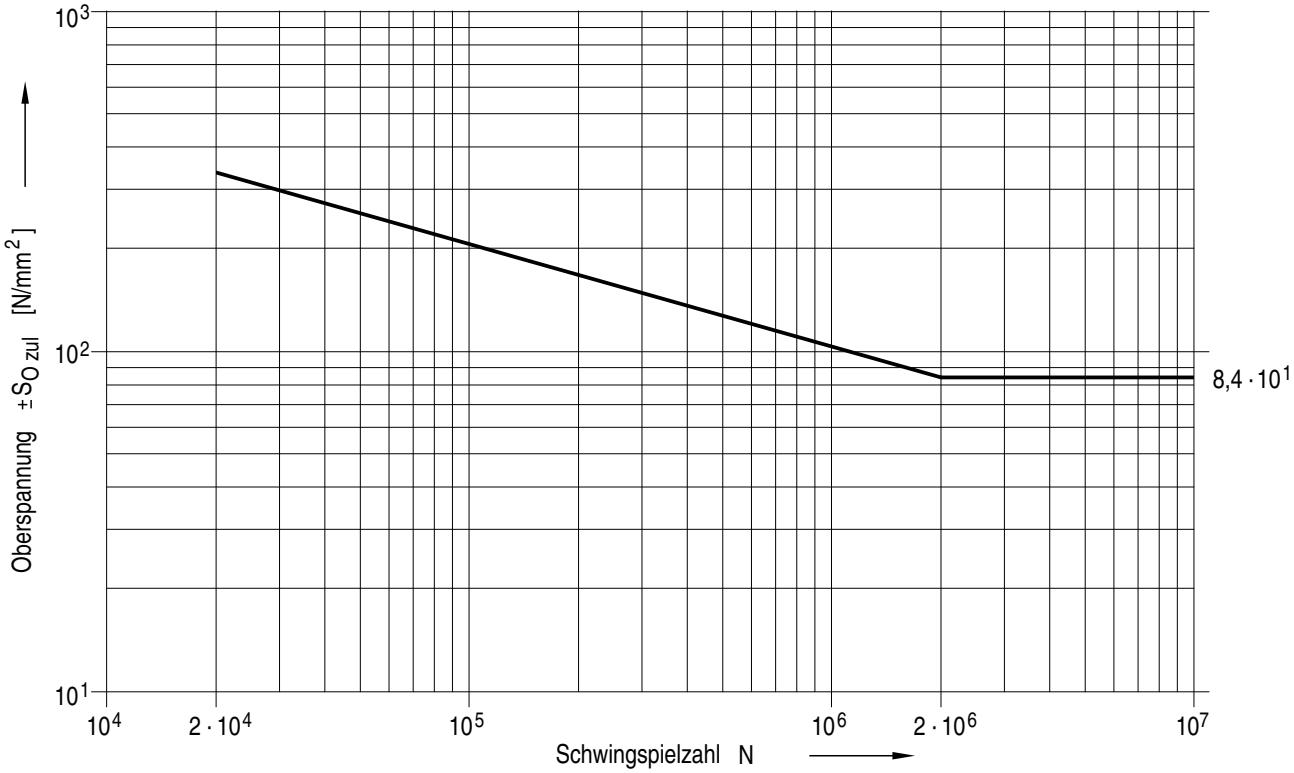


Bild C-1: Wöhlerlinie für den Kerbfall K 0 nach DIN 15018-1, R = -1

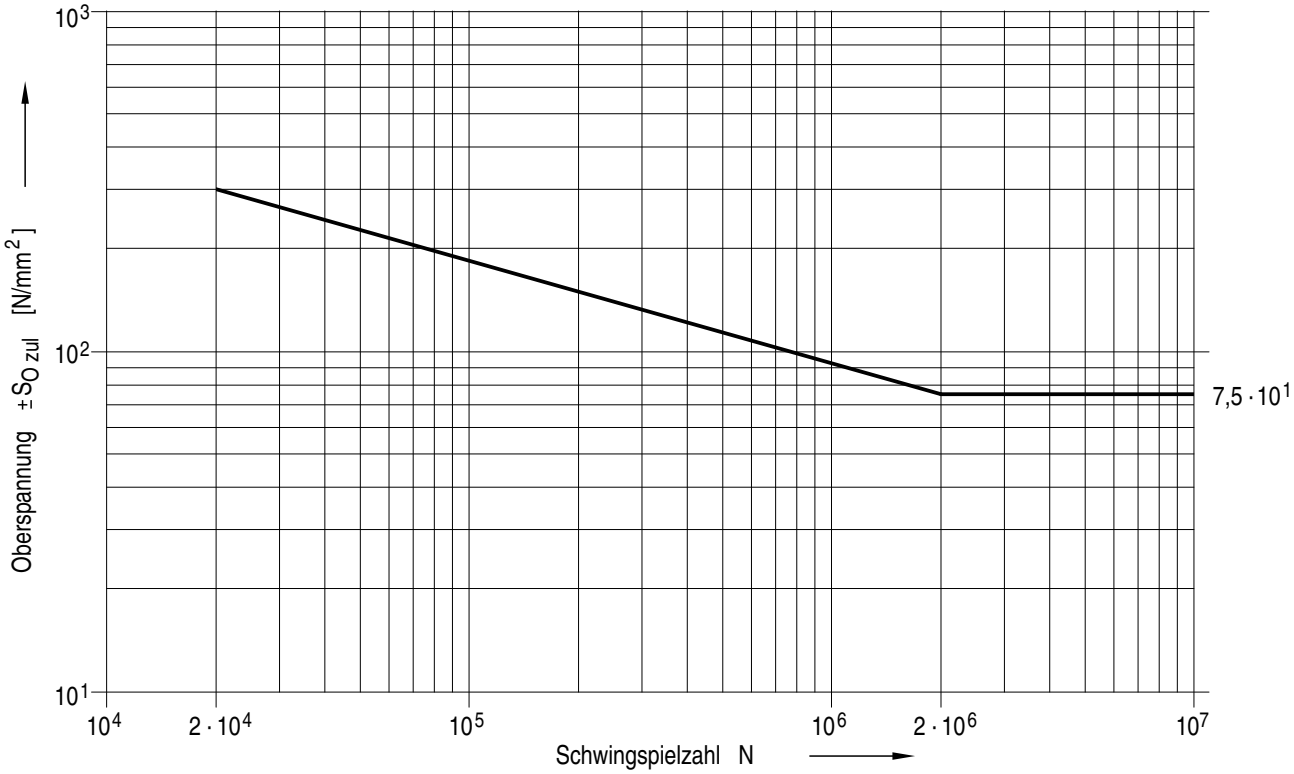


Bild C-2: Wöhlerlinie für den Kerbfall K 1 nach DIN 15018-1, R = -1

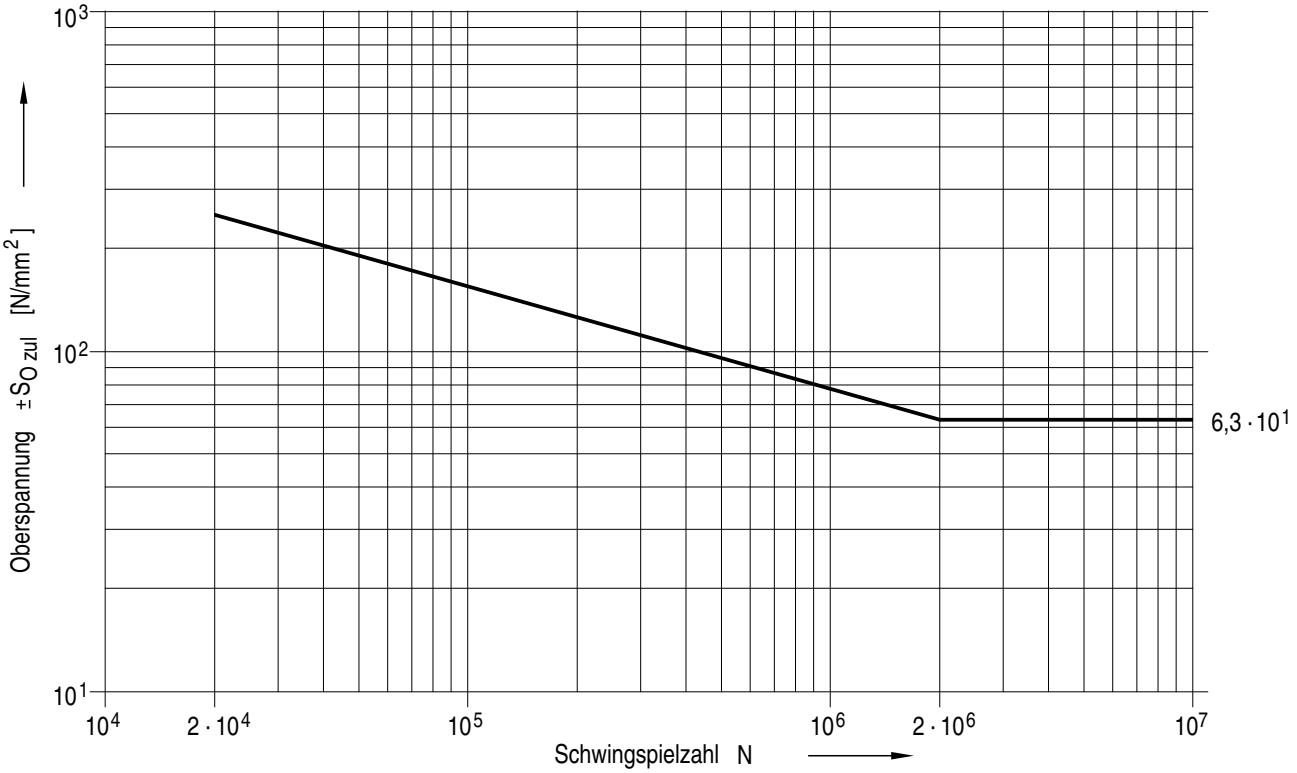


Bild C-3: Wöhlerlinie für den Kerbfall K 2 nach DIN 15018-1, R = -1

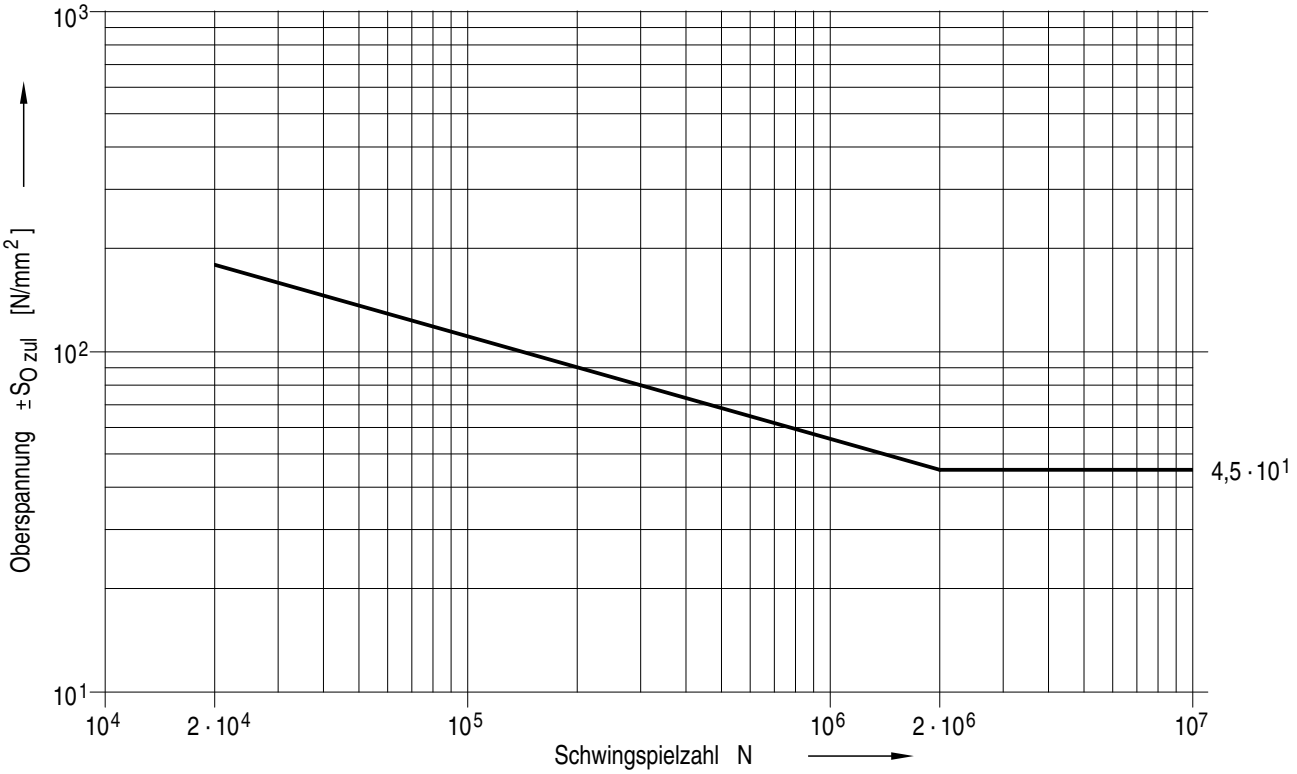


Bild C-4: Wöhlerlinie für den Kerbfall K 3 nach DIN 15018-1, R = -1

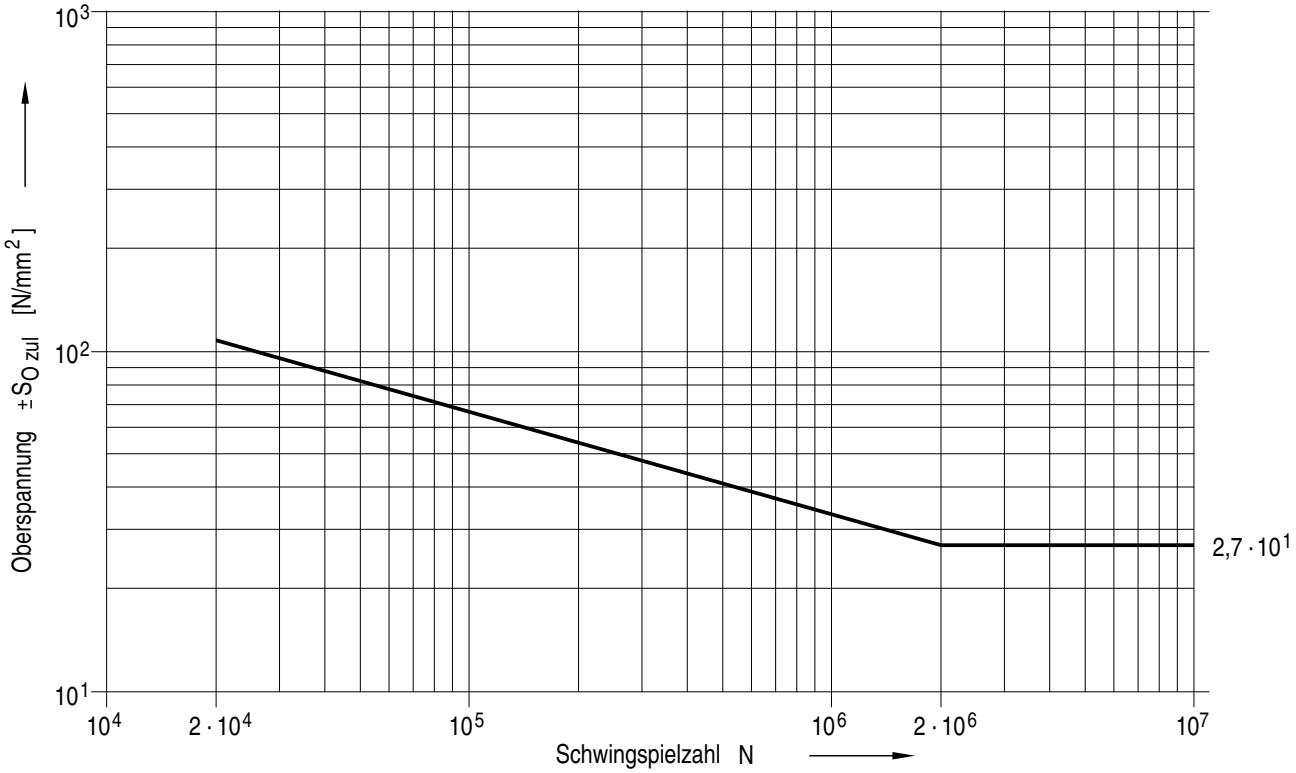


Bild C-5: Wöhlerlinie für die Kerbfall K 4 nach DIN 15018-1, R = -1

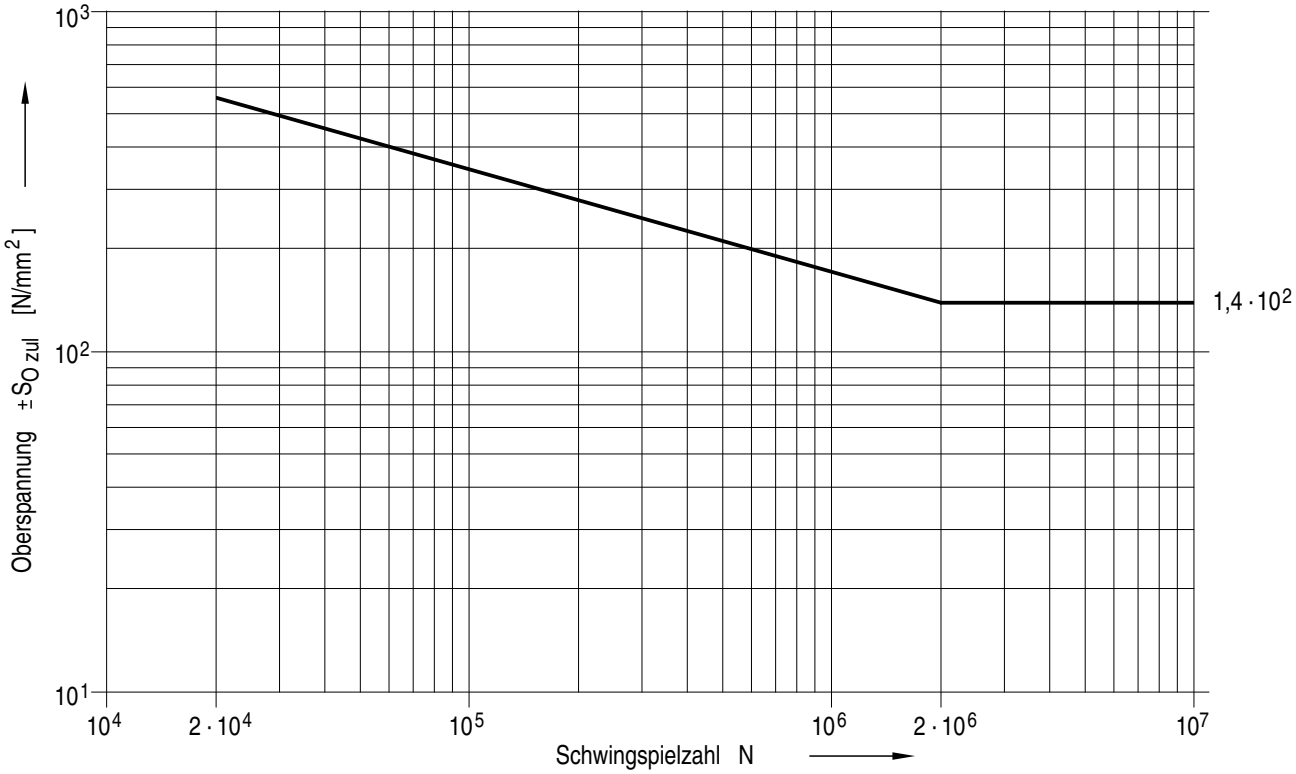


Bild C-6: Wöhlerlinie für den Kerbfall K 0 nach DIN 15018-1, R = 0

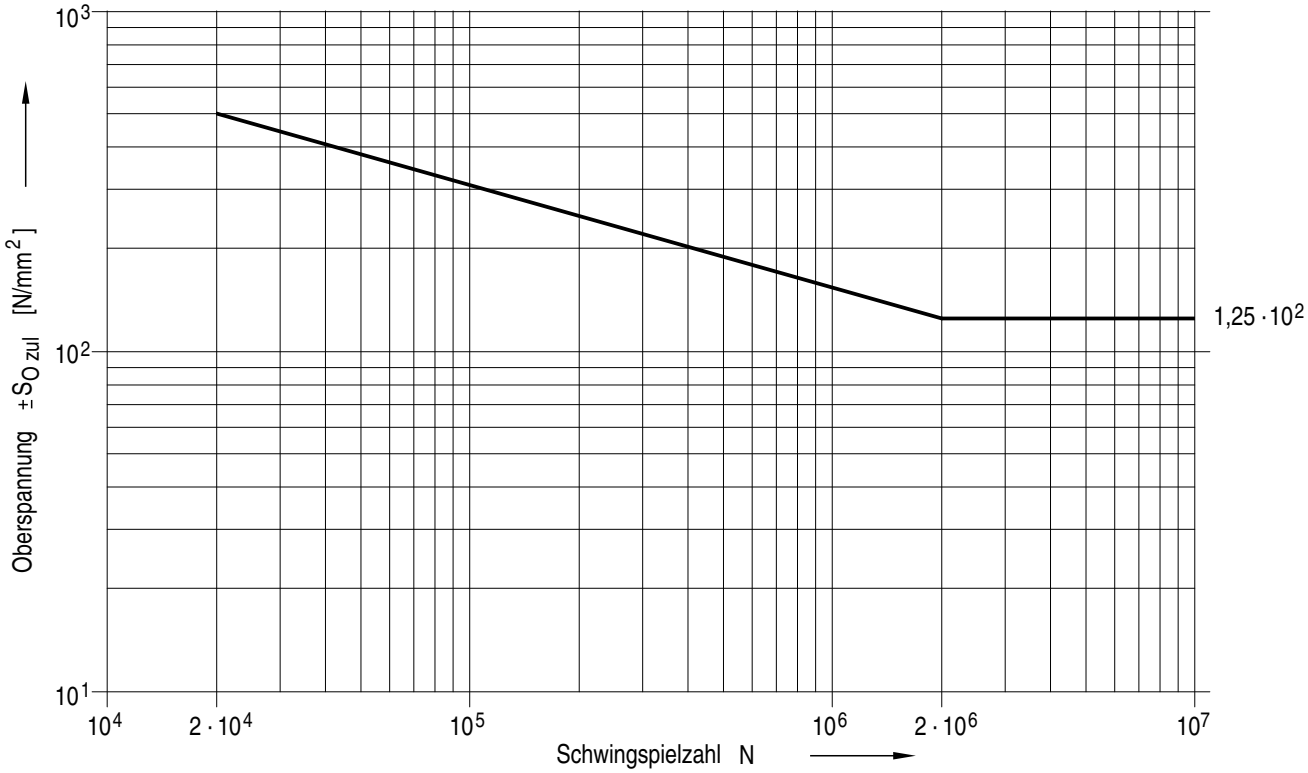


Bild C-7: Wöhlerlinie für den Kerbfall K 1 nach DIN 15018-1, R = 0

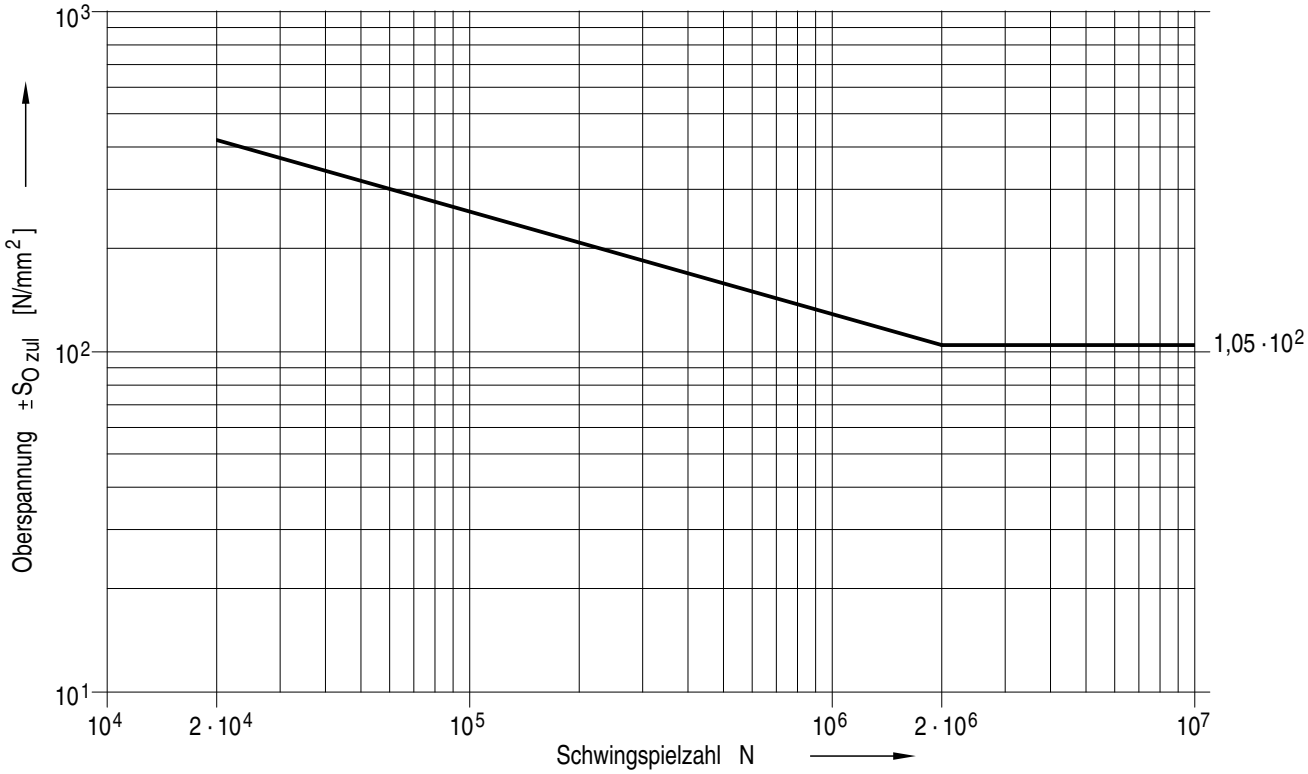


Bild C-8: Wöhlerlinie für den Kerbfall K 2 nach DIN 15018-1, R = 0

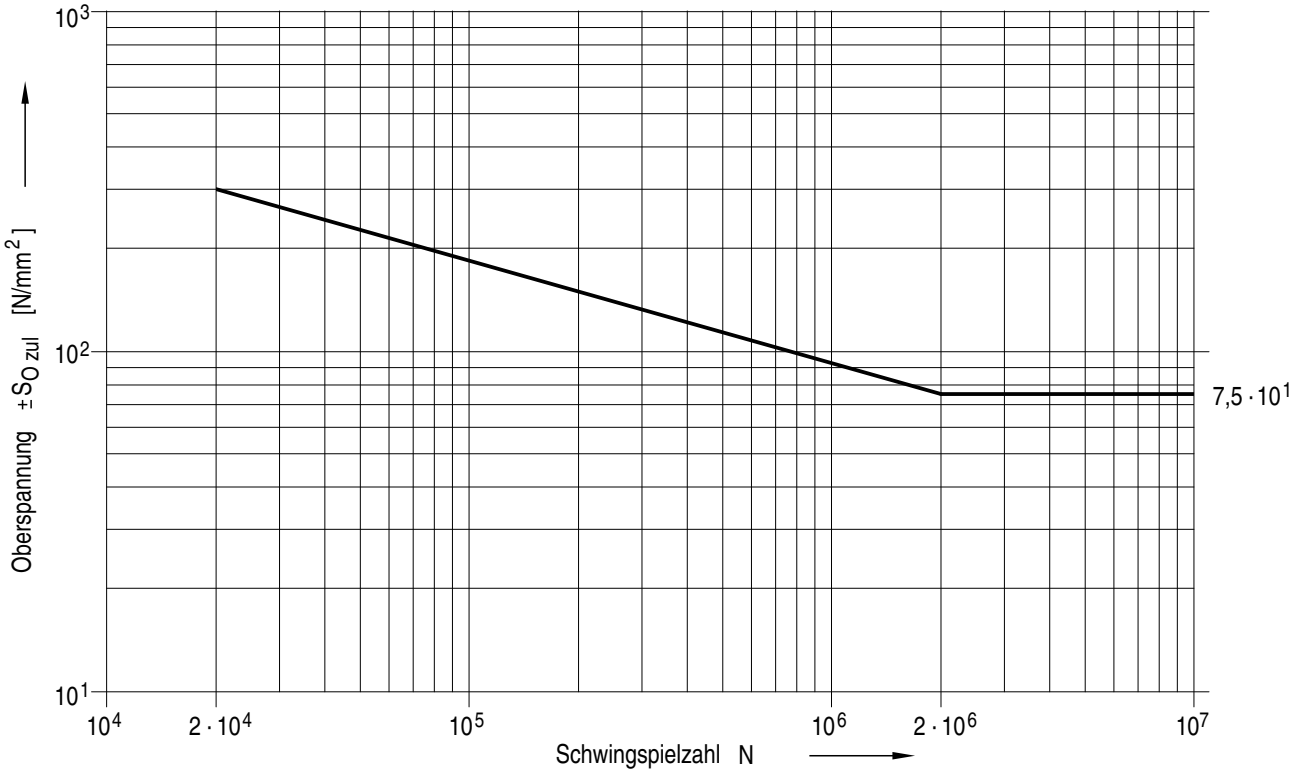


Bild C-9: Wöhlerlinie für den Kerbfall K 3 nach DIN 15018-1, R = 0

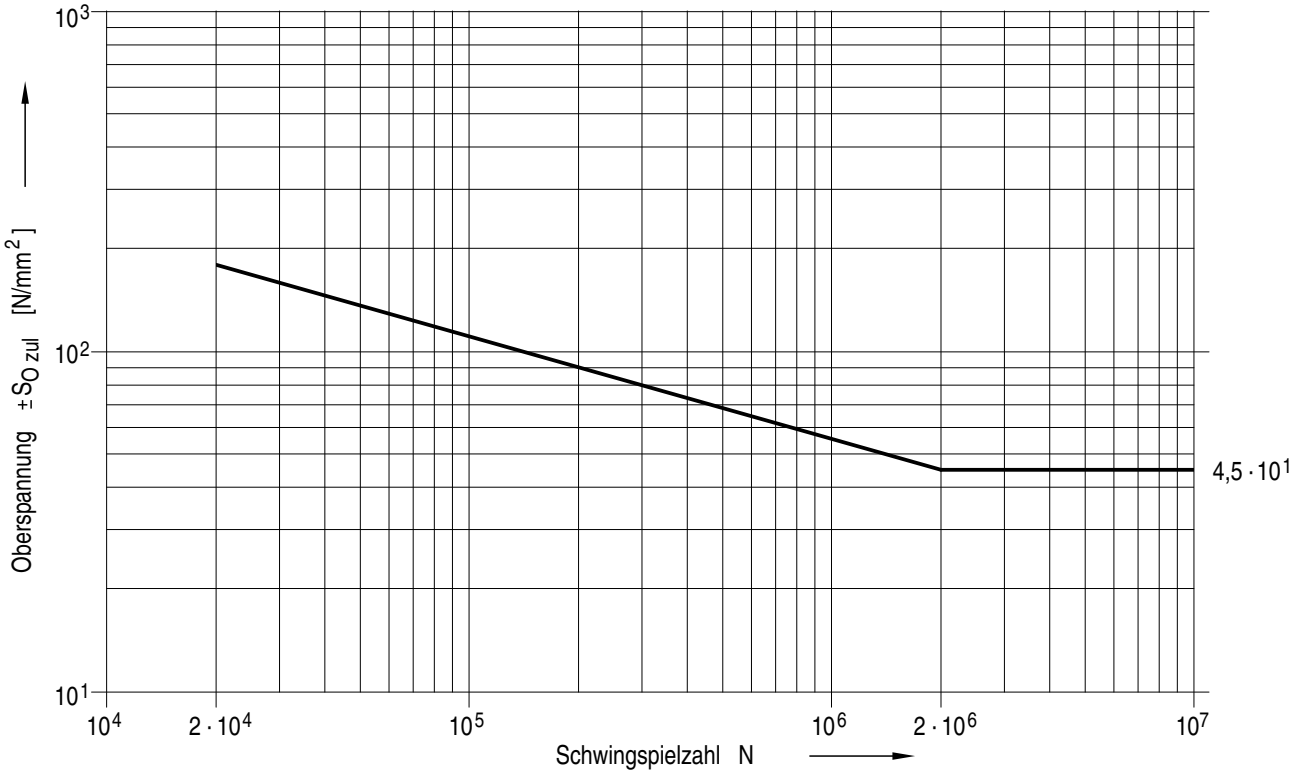


Bild C-10: Wöhlerlinie für die Kerbfall K 4 nach DIN 15018-1, R = 0

Anhang D

Nachweis der statischen Festigkeit und Wöhlerlinien für den Nachweis der Ermüdungsfestigkeit der Stähle 1.4541, 1.4306 und 1.4571 nach DIN EN 10088-2 oder DIN EN 10088-3

D 1 Zulässige Spannungen von Tragwerksbauteilen bei Einsatz der austenitischen Stähle 1.4541, 1.4306 und 1.4571 nach DIN EN 10088-2 oder DIN EN 10088-3

(1) Bei Einsatz der austenitischen Stähle 1.4541, 1.4306 und 1.4571 nach DIN EN 10088-2 oder DIN EN 10088-3 sind die zulässigen Spannungen (H oder HZ) für den Nachweis der statischen Festigkeit so festzulegen, dass die in DIN 15018-1 Tabellen 10 und 11 für ferritische Baustähle vorgegebenen Sicherheiten bis zum Erreichen der Streckgrenze $\sigma_{0,2}$ eingehalten sind.

(2) Tragwerke sind gemäß den Abschnitten 6.1.1 (2) b), 7.1.1 (2) b) oder 8.1.1 (2) für die maximale Betriebslast in die Beanspruchungsgruppen B3 oder B4 nach DIN 15018-1 einzustufen. Für ausgewählte Kerbfälle und Grenzspannungsverhältnisse sind die zulässigen Spannungen für den Nachweis der Ermüdungsfestigkeit bei Einsatz der austenitischen Stähle 1.4541, 1.4306 und 1.4571 nach DIN EN 10088-2 oder DIN EN 10088-3 in **Tabelle D-1** dargestellt.

Kerbfall [1]	Spannung [1]	Zulässiger Wert in N/mm² für die Beanspruchungsgruppe	
		B3	B4
W 1-1	$\sigma_{Dz(0)}$	247 [2]	247 [2]
W 1-2	$\sigma_{Dz(0)}$	—	162 [2]
K 1	$\sigma_{Dz(0)}$	210 [2]	210 [2]
K 2	$\sigma_{Dz(0)}$	—	174 [2]
K 3	$\sigma_{Dz(0)}$	—	167 [2]
K 4	$\sigma_{Dz(0)}$	150 [2]	80
K 4-R	$\sigma_{\tau(-1)}$	—	103,6

[1] Abkürzungen in Anlehnung an DIN 15018-1.

[2] Der angegebene Spannungswert wurde auf Grundlage der Kennwerte in **Tabelle D-2** ermittelt. Für den rechnerischen Nachweis sind die zulässigen Spannungen nach oben durch die zulässigen Spannungen des Lastfalls HZ des Nachweises der statischen Festigkeit begrenzt.

Tabelle D-1: Zulässige Spannungen für den Nachweis der Ermüdungsfestigkeit bei Einsatz austenitischer Stähle (Beispiele)

D 2 Nachweisführung unter Berücksichtigung einer schädigungsäquivalenten Beanspruchung nach der Hypothese der linearen Schadensakkumulation (Miner-Regel)

(1) Die in **Tabelle D-2** und den **Bildern D-1** bis **D-10** für ausgewählte Kerbfälle dargestellten Wöhlerlinien sind zulässige Oberspannungen, ähnlich wie sie für ferritische Stähle in DIN 15018-1 Tabelle 17 und Tabelle 18 aufgeführt sind. Diese Wöhlerlinien entsprechen dem Spannungskollektiv S_3 in den Spannungsspielbereichen N1 bis N4 (B4 bis B6) DIN 15018-1.

Das Beanspruchungsverhältnis R ist gleich 0 (schwellende Zugbeanspruchung). Für die Rohrprobe ist R gleich -1 (wechselnde Torsionsbeanspruchung).

Die Spannungswerte für den Kerbfall K4-R sind Schubspannungen, für die übrigen Kerbfälle Normalspannungen.

(2) Die den Wöhlerlinien (**Bilder D-1** bis **D-10**) zugrunde liegenden Werte sind in **Tabelle D-2** zusammengefasst.

(3) In **Tabelle D-2** und in den Wöhlerlinien bedeuten:

$S_{O,zul}$: zulässige Oberspannung; synonymes Symbol $\sigma_{O,zul}$

S_D : Spannungskoordinate des Knickpunktes der Wöhlerlinie, synonymes Symbol σ_D

N : Zahl der vorhandenen Spannungsspiele

N_D : Lebensdauerkoordinate des Knickpunktes der Wöhlerlinie

k : Neigung der Wöhlerlinie

(4) Zum Nachweis der Ermüdungsfestigkeit sind die Festlegungen unter Abschnitt B 1.2.1.3 (3) und B 1.2.1.3 (4) für den Fall A zugrunde zu legen.

Hierbei ist

σ_x : zulässige Spannung für den Nachweis der statischen Festigkeit

N_Z : Spannungsspiele bei Zeitfestigkeit.

Bezeichnung	Kerbfall [1]	Beanspruchungsverhältnis R	Spannungskollektiv nach DIN 15018-1 Tabelle 14	Parameter der Wöhlerlinie im doppeltlogarithmischen Koordinatensystem			Geltungsbereich nach [14]
				Spannungskoordinate des Knickpunktes S_D in N/mm²	Lebensdauerkoordinate des Knickpunktes N_D	Neigung k	
Lochstab, $K_t = 2,4$	W 1-1 [2]	-1	S_3	138,9	$1,32 \cdot 10^6$	13,00	$1,0 \cdot 10^5 < N \leq 1,32 \cdot 10^6$
Lochstab, $K_t = 2,4$	W 1-1 [2]	0		180,0	$1,81 \cdot 10^6$	6,96	$1,0 \cdot 10^5 < N \leq 1,81 \cdot 10^6$
Lochstab, $K_t = 4,2$	W 1-2 [2]	0		104,3	$6,58 \cdot 10^6$	7,93	$1,0 \cdot 10^5 < N \leq 6,58 \cdot 10^6$
Stumpfstoß	K 1	-1		96,1	$2,54 \cdot 10^6$	6,99	$1,0 \cdot 10^5 < N \leq 2,54 \cdot 10^6$
Stumpfstoß	K 1	0		145,9	$2,20 \cdot 10^7$	12,98	$1,0 \cdot 10^5 < N \leq 1,00 \cdot 10^7$
Kreuzstoß, K-Naht, Sondergüte	K 2 [2]	0		101,5	$5,58 \cdot 10^6$	6,19	$1,0 \cdot 10^5 < N \leq 5,58 \cdot 10^6$
Kreuzstoß K-Naht, Normalgüte	K 3	0		88,8	$2,32 \cdot 10^7$	7,51	$1,0 \cdot 10^5 < N \leq 1,00 \cdot 10^7$
Kreuzstoß, Kehlnaht	K 4	-1		20,2	$8,14 \cdot 10^6$	2,89	$1,0 \cdot 10^5 < N \leq 8,14 \cdot 10^6$
Kreuzstoß, Kehlnaht	K 4	0		29,4	$1,01 \cdot 10^7$	3,91	$1,0 \cdot 10^5 < N \leq 1,00 \cdot 10^7$
Rohrprobe, Kehlnaht	K 4-R [3]	-1		34,8	$1,32 \cdot 10^7$	3,84	$1,0 \cdot 10^5 < N \leq 1,00 \cdot 10^7$

[1] Abkürzungen in Anlehnung an DIN 15018-1 Abschnitt 10.3.

[2] Für die Kerbfälle W 1-1, W 1-2 und K 2 gilt: bei $N > N_D$ ist $S_{O,zul} = S_D$

[3] Die Spannungswerte für den Kerbfall K 4-R sind Schubspannungen

Tabelle D-2: Wertetabelle für die Wöhlerlinien der **Bilder D-1 bis D-10**

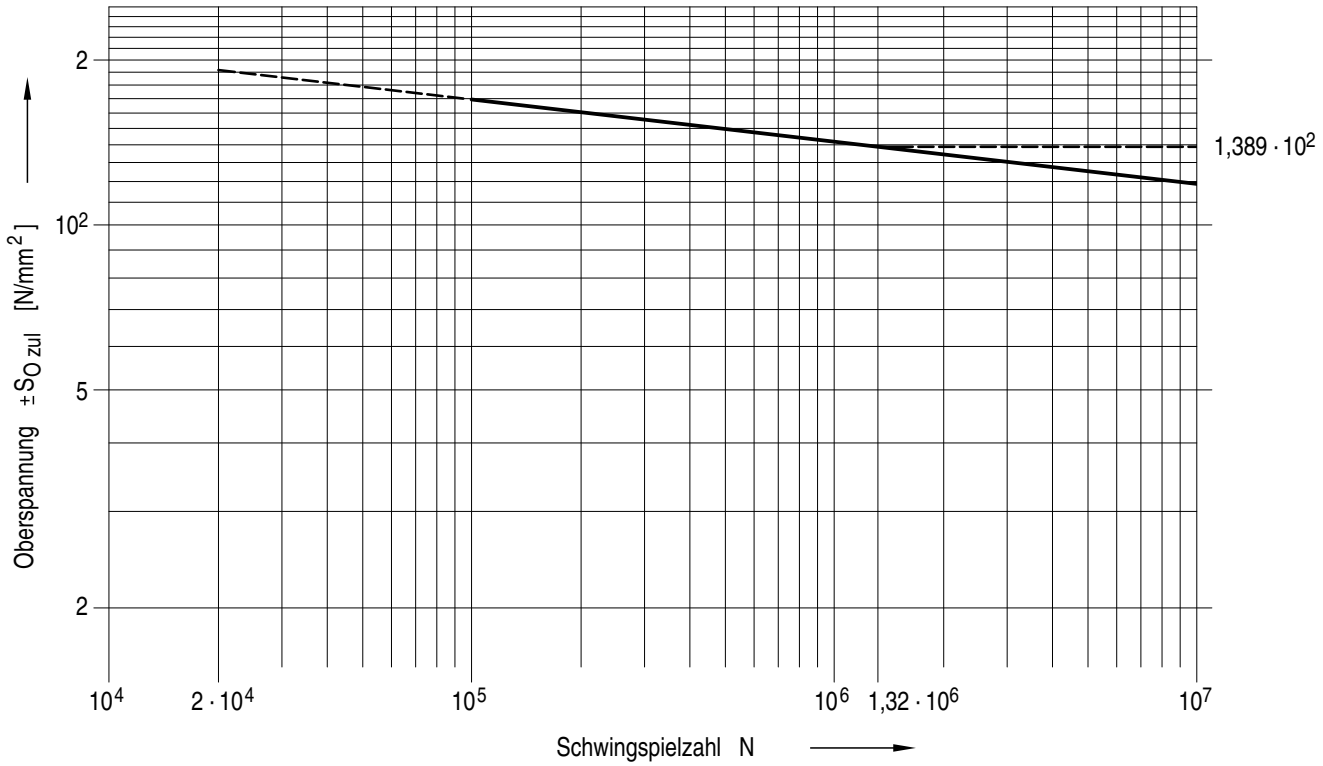


Bild D-1: Wöhlerlinie für den Kerbfall W 1-1 (Lochstab, K_t = 2,4), R = -1

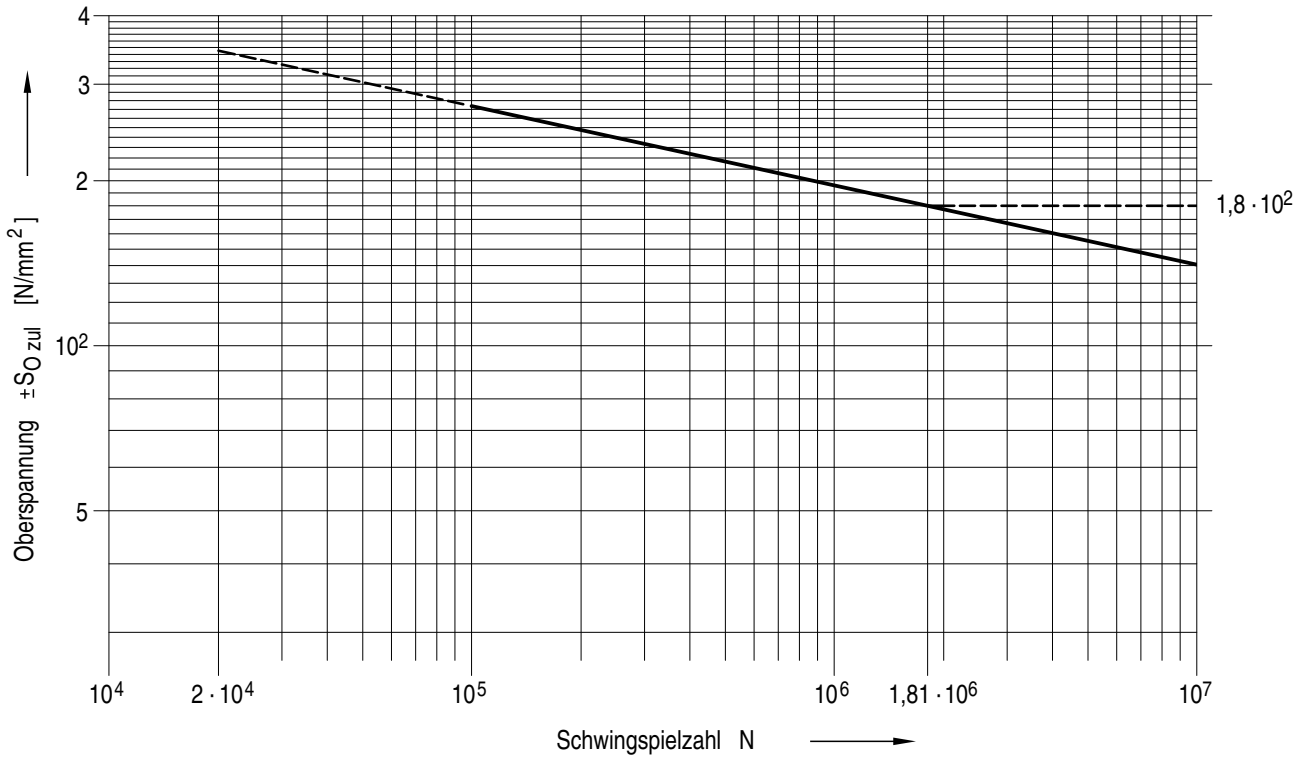


Bild D-2: Wöhlerlinie für den Kerbfall W 1-1 (Lochstab, K_t = 2,4), R = 0

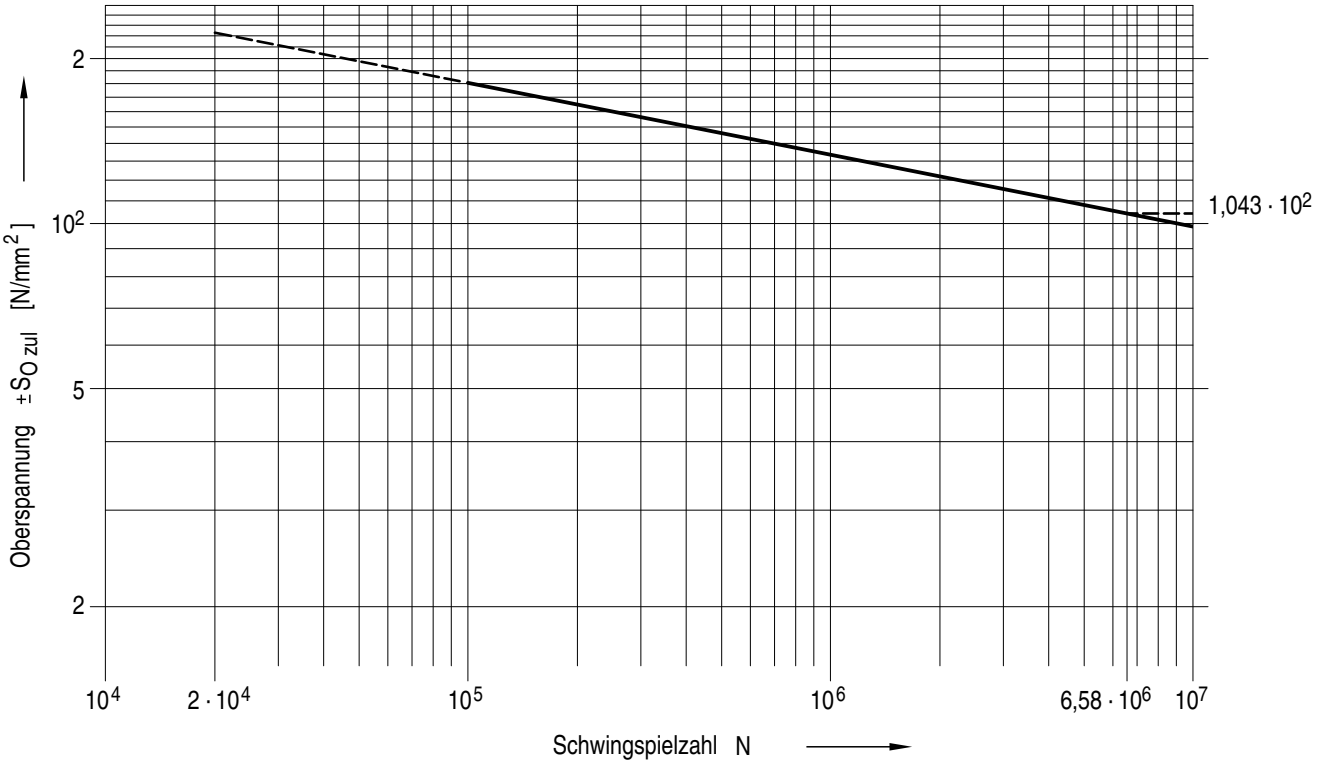


Bild D-3: Wöhlerlinie für den Kerbfall W 1-2 (Lochstab, $K_t = 4{,}2$), R = 0

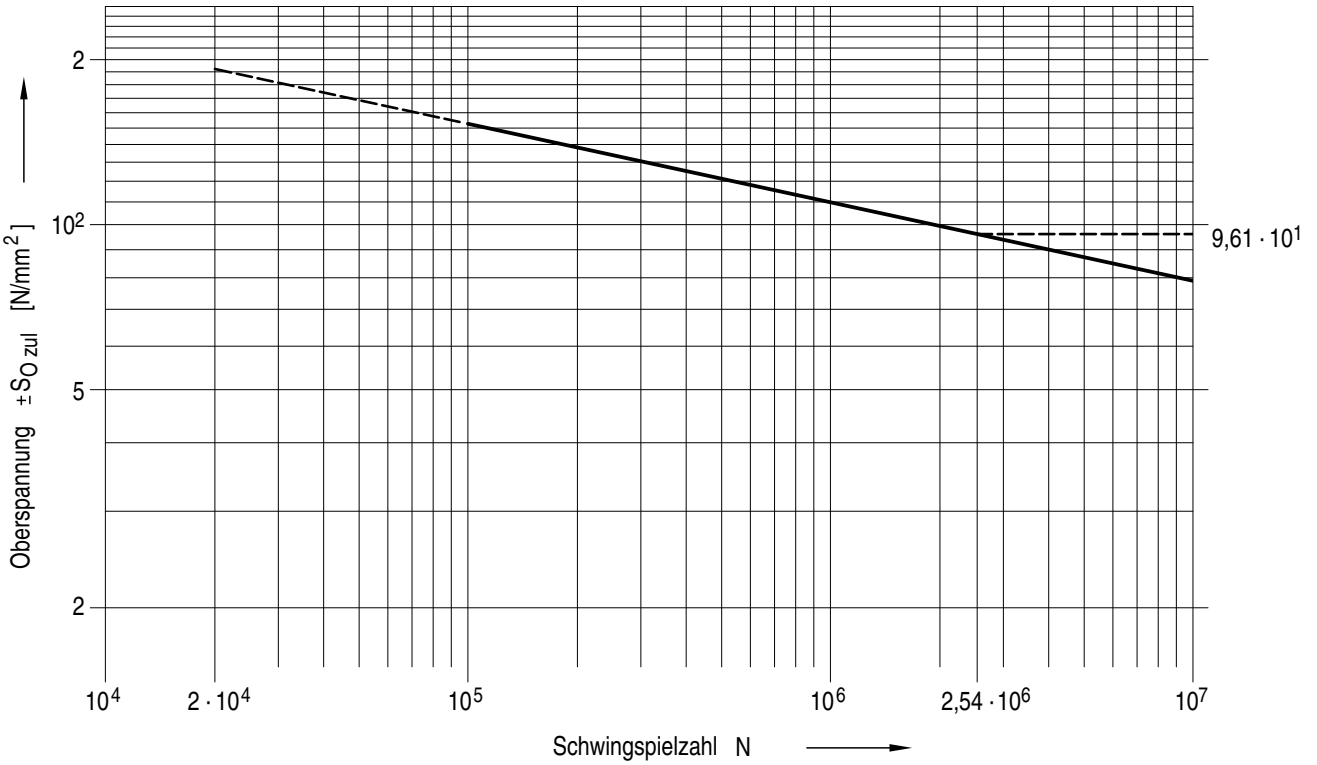


Bild D-4: Wöhlerlinie für den Kerbfall K 1 (Stumpfstoß, V-Naht), R = -1

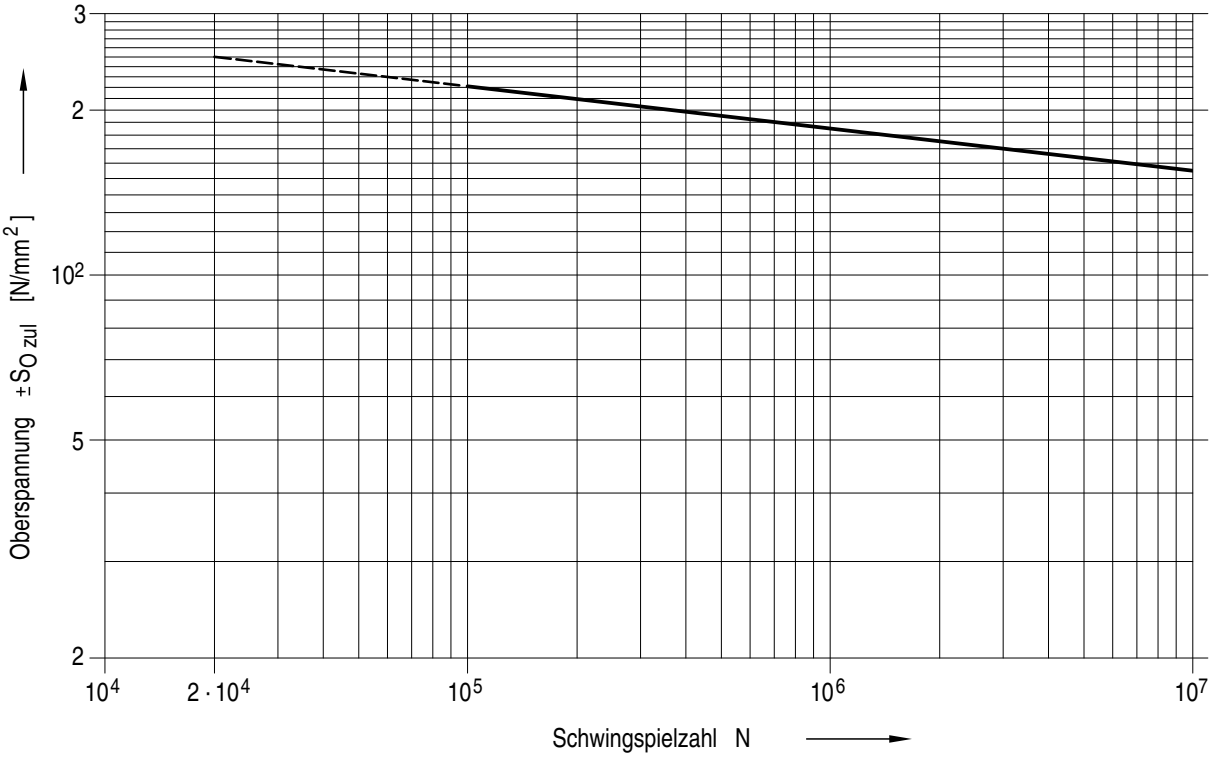


Bild D-5: Wöhlerlinie für den Kerbfall K 1 (Stumpfstoß, V-Naht), R = 0

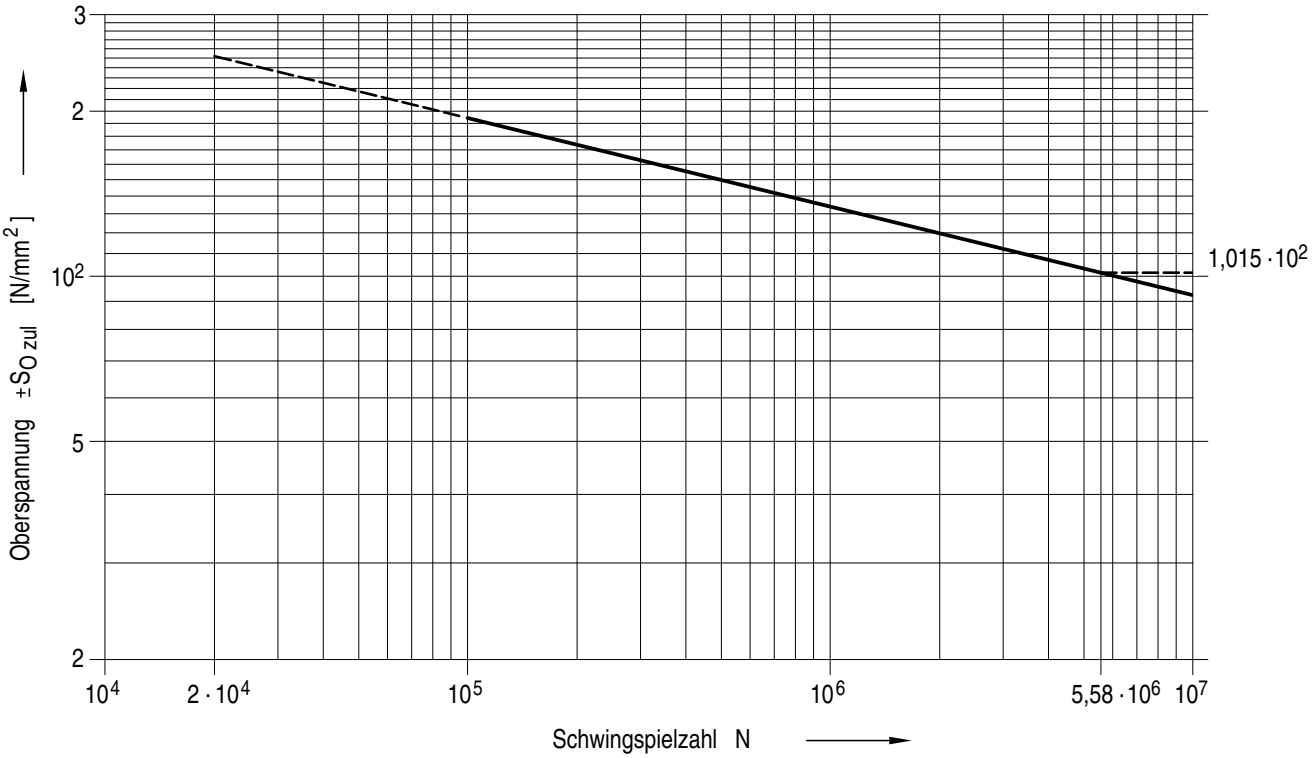


Bild D-6: Wöhlerlinie für den Kerbfall K 2 (Kreuzstoß, K-Naht, Sondergüte), R = 0

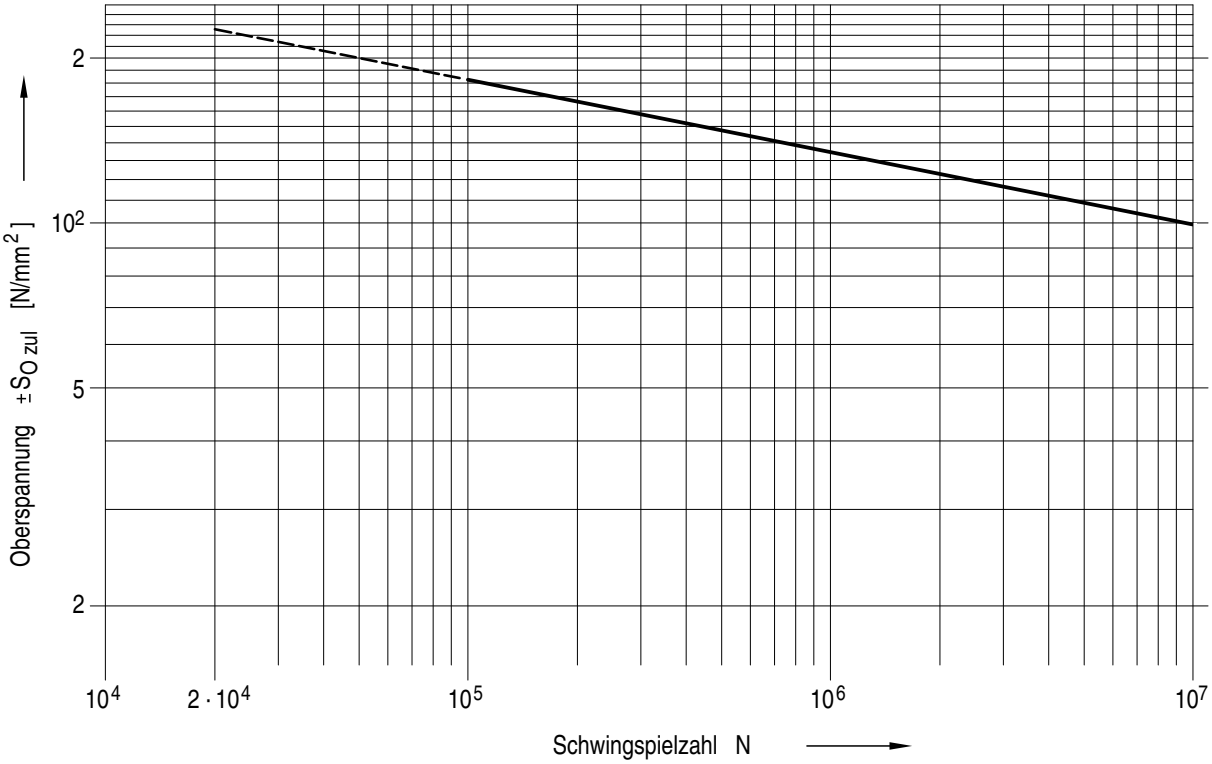


Bild D-7: Wöhlerlinie für den Kerbfall K 3 (Kreuzstoß, K-Naht, Normalgüte), R = 0

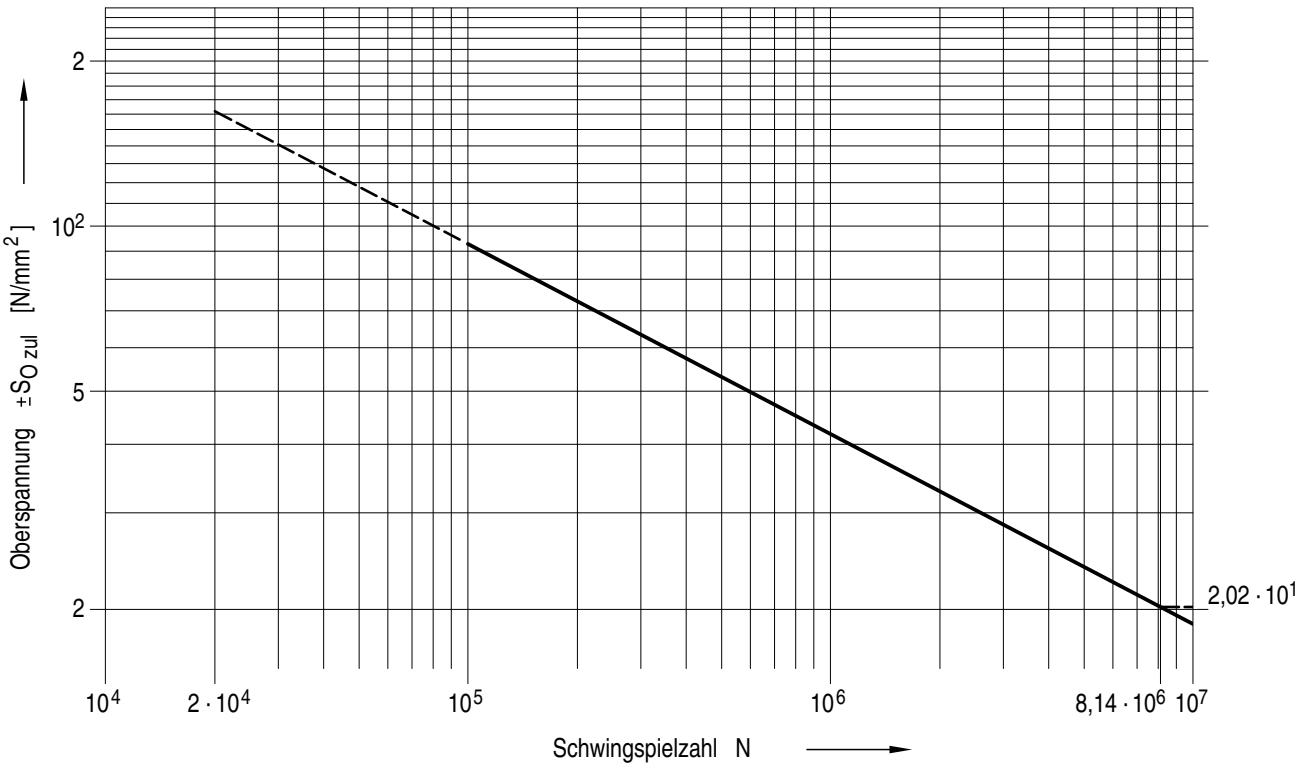


Bild D-8: Wöhlerlinie für den Kerbfall K 4 (Kreuzstoß, Kehlnaht), R = -1

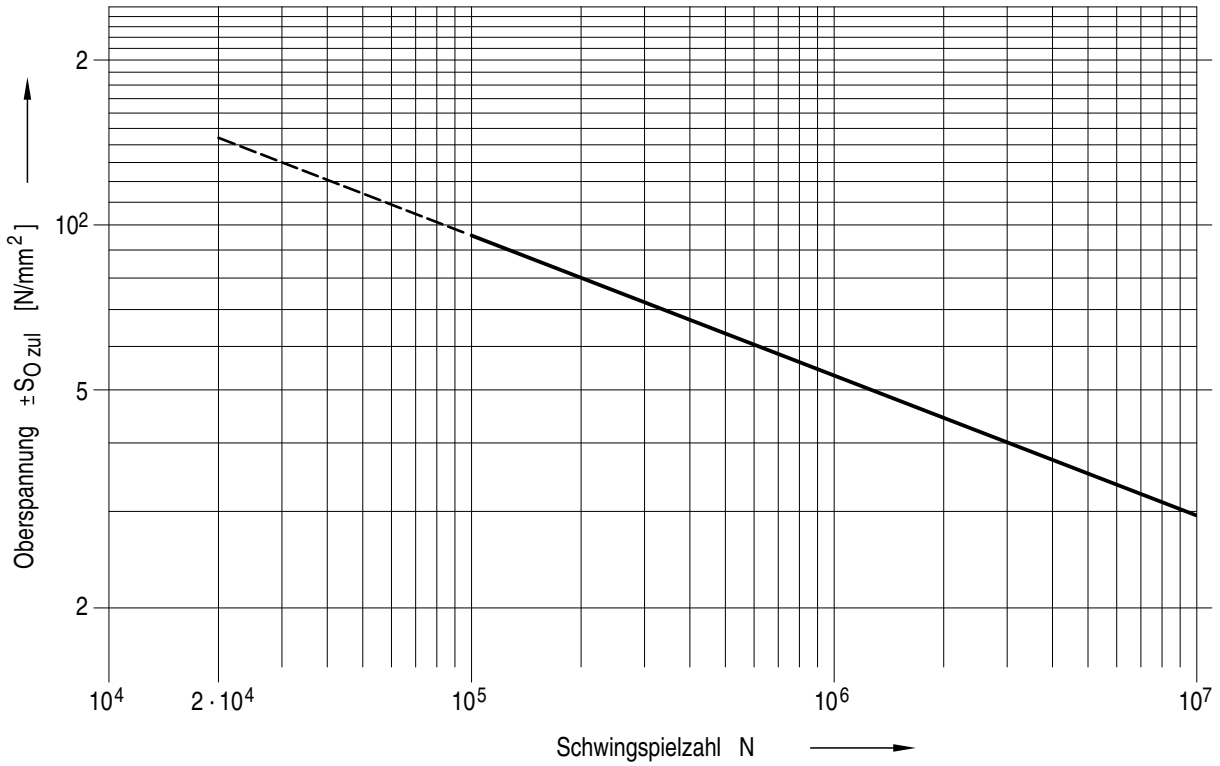


Bild D-9: Wöhlerlinie für den Kerbfall K 4 (Kreuzstoß, Kehlnaht), R = 0

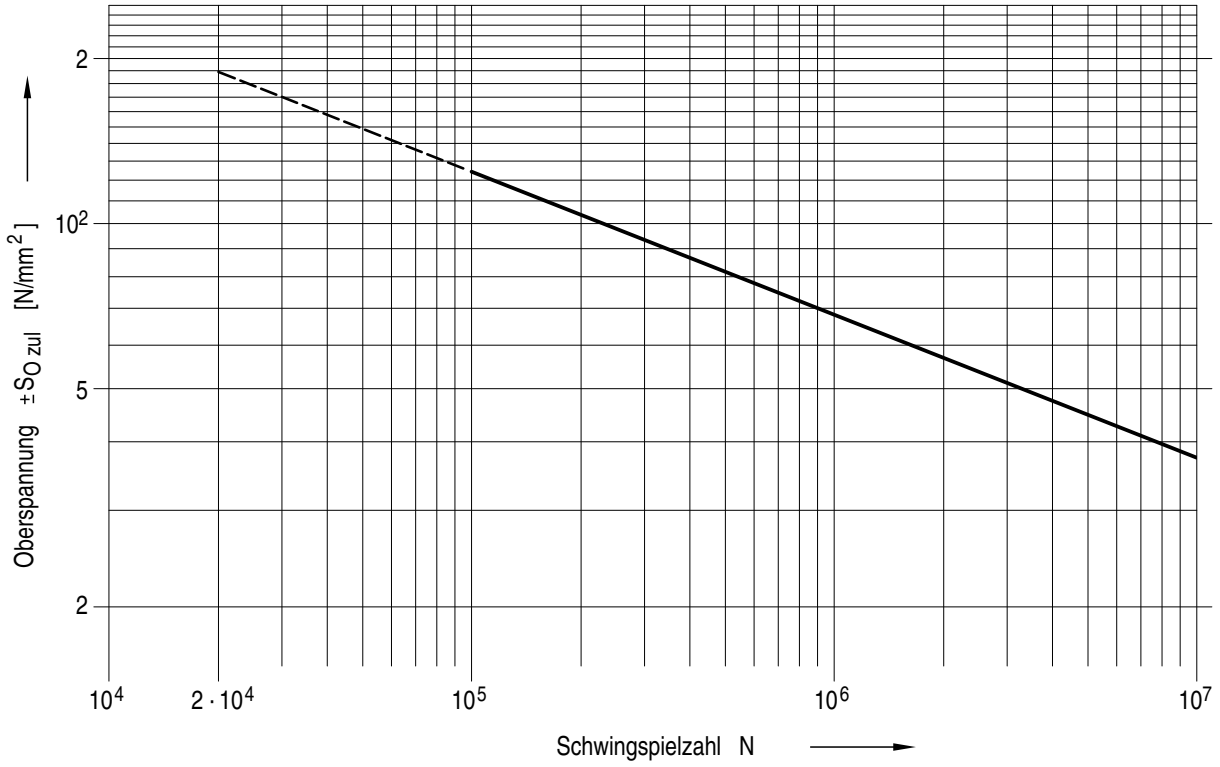


Bild D-10: Wöhlerlinie für den Kerbfall K 4-R (Rohrprobe, Kehlnaht), R = -1

Anhang E

Erforderliche Performance Level nach DIN EN ISO 13849-1 für Funktionen sicherheitsbezogener Teile von Steuerungen

E 1 Allgemeines

Bei Anwendung der Anforderungen nach DIN EN ISO 13849-1 auf Funktionen sicherheitsbezogener Teile von Steuerungen in Hebezeugen, die die Anforderungen nach KTA 3902 Abschnitte 4.2, 4.3 oder 4.4 erfüllen müssen, gelten folgende Grundsätze:

a) Die in **Tabelle E-1** festgelegten Anforderungen sind unabhängig von der im Anwendungsbereich von DIN EN ISO 13849-1 genannten Anforderungsrate anzuwenden.

b) Abweichend von den Festlegungen im Abschnitt 4.3 der DIN EN ISO 13849-1 hat die Bestimmung des erforderlichen Performance Levels gemäß dem Abschnitt E 2 zu erfolgen.

E 2 Einstufungsschema

(1) Ein Performance Level „a“ gemäß DIN EN ISO 13849-1 ist für betriebliche Funktionen erforderlich, für die eine gewisse sicherheitstechnische Relevanz gegeben ist, z. B. wenn deren Zuverlässigkeit die Ansprechhäufigkeit von Funktionen beeinflusst, für die ein PL „b“, „c“, „d“ oder „e“ gefordert wird.

(2) Ein Performance Level „b“ gemäß DIN EN ISO 13849-1 ist für betriebliche Funktionen erforderlich, denen eine mittelbare sicherheitstechnische Bedeutung zuzuordnen ist, d.h. die für den sicheren Betrieb des Hebezeugs einen unterstützenden Beitrag liefern (z. B. Drehrichtungsüberwachung, Stillstandsüberwachung, sicherheitsrelevante Informationssysteme).

(3) Ein Performance Level „c“ gemäß DIN EN ISO 13849-1 ist für Sicherheitsfunktionen erforderlich,

a) die zur Beherrschung solcher Störungsereignisse vorgesehen sind, bei denen die Gefahren gemäß Abschnitt 4.2 zu besorgen sind und bei denen Möglichkeiten gegeben sind, die Gefährdung (z. B. durch manuelles Eingreifen) zu begrenzen oder zu vermeiden,

b) die den Funktionen der PL „d“ oder „e“ vorgelagert sind.

(4) Ein Performance Level „d“ gemäß DIN EN ISO 13849-1 ist für Sicherheitsfunktionen erforderlich, die zur Beherrschung von Störungsereignissen vorgesehen sind, und bei denen

a) die Gefahren gemäß Abschnitt 4.2 zu besorgen sind und keine anderweitigen Möglichkeiten zur Vermeidung der Gefährdung oder zur Begrenzung der Schadensauswirkungen (z. B. durch manuelles Eingreifen) bestehen,

b) die Gefahren gemäß Abschnitt 4.3 oder 4.4 zu besorgen sind und Möglichkeiten gegeben sind, die Gefährdung (z. B. durch manuelles Eingreifen) zu begrenzen oder zu vermeiden.

(5) Ein Performance Level „e“ gemäß DIN EN ISO 13849-1 ist für Sicherheitsfunktionen erforderlich, die zur Beherrschung von Störungsereignissen vorgesehen sind, bei denen die Gefahren gemäß Abschnitt 4.3 oder 4.4 zu besorgen sind und keine anderweitigen Möglichkeiten zur Vermeidung der Gefährdung oder zur Begrenzung der Schadensauswirkungen (z. B. durch manuelles Eingreifen) bestehen.

Für Sicherheitsfunktionen, bei deren Versagen als Folge eine Überschreitung der Störfallplanungswerte nach § 104 StrlSchV unterstellt werden muss und für die eine Ausführung mittels softwarebasierter Systeme vorgesehen ist, ist die Funktion in zweifacher Ausführung erforderlich, wobei eine Ausführung in PL „e“ und eine zweite hiervon unabhängige und verschiedenartige Ausführung mindestens in Performance Level „c“ zu realisieren ist.

E 3 Erforderliche Performance Level gemäß DIN EN ISO 13849-1 für Funktionen sicherheitsbezogener Teile von Steuerungen in Hebezeugen nach KTA 3902 Abschnitte 4.2, 4.3 oder 4.4

(1) Den typischen Funktionen sicherheitsbezogener Teile von Steuerungen in Hebezeugen nach KTA 3902 Abschnitte 4.2, 4.3 oder 4.4 sind in **Tabelle E-1** Performance Level zugeordnet, die die Kriterien gemäß Abschnitt E 2 erfüllen.

Hinweis:

Zur Anwendung der in der Normenreihe DIN EN 61508 definierten „Safety Integrity Levels“ (SIL) anstelle der in **Tabelle E-1** festgelegten Performance Level nach DIN EN ISO 13849-1 siehe Abschnitt 6.5.1 (3).

(2) Abweichungen von den in **Tabelle E-1** aufgeführten Auslegungsanforderungen sind im Einzelfall zu begründen.

Lfd. Nr.	Funktion	Anforderung nach KTA 3902 Abschnitt	Performance Level nach DIN EN ISO 13849-1 bei Einstufung des Hebezeugs gemäß KTA 3902 Abschnitt			Bemerkung
			4.2	4.3	4.4	
	Allgemein:					
1.	Ein-/Ausschalten des Hebezeuges, Wartenfreigabe	6.5.2 (1), 8.5 b)	a	a	a	
2.	Not-Halt	6.5.4.1 (5)	d	d	d	Bei drahtlosen Steuerungen: „Stopp“
3.	Not-Halt für die Überwachungsperson bei Anwendung des „Vier-Augen-Prinzips“	6.5.4.1 (6)	d	d	— [1)]	Bei drahtlosen Steuerungen: „Stopp“
4.	Betriebs-, Stör- und Warnmeldungen	6.5.4.2	a	a	a	

[1)] Die Funktion ist nicht erforderlich, da der Verzicht auf diese Funktion zu keinen unzulässigen sicherheitstechnischen Auswirkungen führt.

Tabelle E-1: Zuordnung typischer Funktionen sicherheitsbezogener Teile von Steuerungen in Hebezeugen nach den Abschnitten 4.2 bis 4.4 zu den erforderlichen Performance Leveln nach DIN EN ISO 13849-1
(Fortsetzung siehe nachfolgende Seiten)

Lfd. Nr.	Funktion	Anforderung nach KTA 3902 Abschnitt	Performance Level nach DIN EN ISO 13849-1 bei Einstufung des Hebezeugs gemäß KTA 3902 Abschnitt			Bemerkung
			4.2	4.3	4.4	
5.	Betriebszustandsmeldungen, die solche Zustände signalisieren, die von sicherheitsrelevanten Handlungen ausgelöst werden oder von denen sicherheitsrelevante Handlungen abgeleitet werden	6.5.4.2	b	b	b	z. B. Rückmeldung einer Lastgrenzwertumschaltung
6.	Bedienfunktionen und Antriebssteuerung	6.5.4.1	a	a	a	z. B. Steuerfunktionen der Meisterschalter, Betriebsartenschalter, Steuerbefehle für Antriebsregler (z. B. Sollwertsignale)
7.	Betriebsstunden- oder Lastkollektivzähler, Zähler für den Einfall der Sicherheitsbremse	6.5.2 (5), 7.5 b)	a	a	a	
8.	Gegenseitige Verriegelung der Steuerstellen	6.5.4.1 (7)	a	a	a	Not-Halt muss auch an abgeschalteten Steuerstellen wirksam sein (Ausnahme: Stopp-Funktion auf drahtlosen Steuerungen).
9.	Drehfeld- und Außenleiterüberwachung	6.5.2 (2)	a	a	a	
10.	Überlastschutz für Motoren	6.5.2 (3)	a	a	a	
11.	**Hubwerke und Fahrwerke:** Geschwindigkeitsbegrenzung am Fahrbereichs- und Hubwegende	6.5.3 (5)	a	a	a	
12.	a) Abschaltung bei Überschreitung der zulässigen Geschwindigkeit am Fahrbereichsende	6.5.3 (5)	c	c	d	
	b) Abschaltung bei Überschreitung der zulässigen Geschwindigkeit am Hubwegende Erste Abschalteinrichtung	6.5.3 (5), 7.5	d	e	e	Beispiele siehe **Bilder E-1** und **E-4**.
	Zweite Abschalteinrichtung [1]		— [2]	c	— [2]	
13.	Betrieblicher Wegbegrenzer	6.5.3 (1) und (3)	a	a	a	Abschaltung am betrieblich zulässigen Fahr- oder Hubbereichsende
14.	Sicherheitswegbegrenzer von Fahrwerken	6.5.3 (1)	c	c	d	
15.	Stillstandsüberwachung	6.5.2 (8)	b	b	b	
16.	Nullstellungszwang	6.5.4.1 (1)	a	a	a	
17.	Richtungsüberwachung beim Anfahren aus dem Stillstand bei umrichterbetriebenen Antrieben	6.5.2 (8)	b	b	b	
18.	Verriegelung von Fahr- oder Hubbewegungen	6.5.3 (6)	c	c	— [3]	
19.	Verriegelung der Fahr- und Hubbewegung sowie Begrenzung der Fahrbewegung	8.5 a), 8.5 f), 8.5 g), 8.5 l)	— [3]	— [3]	d	

[1] Nur wenn bei Versagen dieser Funktion als Folge eine Überschreitung der Störfallplanungswerte nach § 104 StrlSchV unterstellt werden muss und die Funktion mittels softwarebasierter Systeme ausgeführt wird.

[2] Die Funktion ist nicht erforderlich, da der Verzicht auf diese Funktion zu keinen unzulässigen sicherheitstechnischen Auswirkungen führt.

[3] Die Funktion ist aus technischen Gründen nicht relevant. Zur Erfüllung der Anforderungen kommt eine andere Funktion zur Anwendung.

Tabelle E-1: Zuordnung typischer Funktionen sicherheitsbezogener Teile von Steuerungen in Hebezeugen nach den Abschnitten 4.2 bis 4.4 zu den erforderlichen Performance Leveln nach DIN EN ISO 13849-1 (Fortsetzung)

Lfd. Nr.	Funktion	Anforderung nach KTA 3902 Abschnitt	Performance Level nach DIN EN ISO 13849-1 bei Einstufung des Hebezeugs gemäß KTA 3902 Abschnitt			Bemerkung
			4.2	4.3	4.4	
	Zusätzliche Funktionen für Hubwerke:					
20.	Lastanzeige	7.5 g)	— [1]	a	a	
21.	Abschaltung bei 110 % der maximalen Betriebslast (Überlastsicherung)	6.5.2 (4)	c	d	d	
22.	Vorgelagerte variable Überlastsicherung	7.5 h)	— [1]	b	— [2]	Lastgrenzwert, der entsprechend der jeweils transportierten Last eingestellt wird. Kategorie „b“ für betriebliche Begrenzungen. Sofern Schutzfunktionen erfüllt werden müssen, sind die an „Überlastabschaltungen bei 110 % der maximalen Betriebslast“ gestellten Anforderungen gemäß lfd. Nr. 21 einzuhalten.
23.	Vorgelagerte betriebsartenabhängige Überlastsicherung	8.5 d)	— [2]	— [2]	c	Lastgrenzwert, der betriebsartenabhängig aktiviert wird, z. B. in Abhängigkeit von der transportierten Last.
24.	Unterlastsicherung, Schlaffseil	8.2.1.3.1 (7)	— [2]	— [2]	d	Störmeldung siehe 8.5 e)
25.	Einfall der Betriebs- und Zusatzbremse bei sicherheitsrelevanten Antriebsabschaltungen	6.5.1 (1)	d	d	d	
26.	Hubwerksabschaltung bei Ausfall eines Bauteils innerhalb einer doppelten Triebwerkskette oder einer Triebwerkskette mit Sicherheitsbremse	7.5 e)	— [2]	b	b	
27.	Überwachung der Hilfsmedien von Systemen zur Aufnahme oder zur Dämpfung des Lastumlagerungsstoßes	7.5 f)	— [2]	b	b	
28.	Überwachung des ordnungsgemäßen Aufwickelns des Seiles auf der Trommel	6.5.2 (11)	b	b	b	
29.	Außenleiterüberwachung des Hubwerksmotors	7.5 a)	— [1]	b	b	
30.	Abschaltung bei Überschreitung der zulässigen Hub- oder Senkgeschwindigkeit	6.5.1 (1)	c	c	c	
31.	Getriebebruchüberwachung mit Ansteuerung der Sicherheitsbremse Erste Überwachungseinrichtung	7.5 b)	— [2]	e	e	Beispiele siehe **Bilder E-2** und **E-4**.
	Zweite Überwachungseinrichtung [3]		— [1]	c [4]	— [1]	

[1] Die Funktion ist nicht erforderlich, da der Verzicht auf diese Funktion zu keinen unzulässigen sicherheitstechnischen Auswirkungen führt.

[2] Die Funktion ist aus technischen Gründen nicht relevant. Zur Erfüllung der Anforderungen kommt eine andere Funktion zur Anwendung.

[3] Nur wenn bei Versagen dieser Funktion als Folge eine Überschreitung der Störfallplanungswerte nach § 104 StrlSchV unterstellt werden muss und die Funktion mittels softwarebasierter Systeme ausgeführt wird.

[4] Nicht erforderlich bei Hubwerken mit maximaler Betriebslast gleich oder kleiner als 5 t.

Tabelle E-1: Zuordnung typischer Funktionen sicherheitsbezogener Teile von Steuerungen in Hebezeugen nach den Abschnitten 4.2 bis 4.4 zu den erforderlichen Performance Leveln nach DIN EN ISO 13849-1 (Fortsetzung)

Lfd. Nr.	Funktion	Anforderung nach KTA 3902 Abschnitt	Performance Level nach DIN EN ISO 13849-1 bei Einstufung des Hebezeugs gemäß KTA 3902 Abschnitt			Bemerkung
			4.2	4.3	4.4	
32.	Bremsenüberwachungen	6.5.2 (6) und 7.5 b)	a	a	a	Stellungsüberwachungen und Bremsbelagsüberwachungen
33.	a) Sicherheitswegbegrenzer Richtung Heben Erste Begrenzungseinrichtung	6.5.3, 7.5 d)	d	e	e	Beispiele siehe **Bilder E-3** und **E-4**.
	Zweite Begrenzungseinrichtung [1]		— [2]	c	— [2]	
	b) Sicherheitswegbegrenzer Richtung Senken	6.5.3, 6.2.2.3 (3)	c	e	e	
34.	Überwachung der korrekten Reihenfolge beim Aus- und Einfahren von Hubwerkskomponenten	8.5 i)	— [3]	— [3]	c	Z. B. durch Überwachung der höhenabhängigen Last am Seil
35.	Aufsetzverhinderung	8.5 j)	— [3]	— [3]	a	Ergänzende Funktion, die bereits vor dem Ansprechen der Unterlastabschaltung wirksam werden soll.
36.	**Funktionen für elektrisch gesteuerte Lastgreifer:** a) Öffnen des Greifers bei Vorhandensein einer mechanischen Öffnungsverriegelung	6.5.2 (10)	a	c	c	
	b) Öffnen des Greifers bei Fehlen einer mechanischen Öffnungsverriegelung	6.5.2 (10), 8.5 k)	d	Nicht zulässig	e	
37.	Stellungs- und Zustandsanzeigen des Lastgreifers	6.5.2 (9)	a	a	a	

[1] Nur wenn bei Versagen dieser Funktion als Folge eine Überschreitung der Störfallplanungswerte nach § 104 StrlSchV unterstellt werden muss und die Funktion mittels softwarebasierter Systeme ausgeführt wird.

[2] Die Funktion ist nicht erforderlich, da der Verzicht auf diese Funktion zu keinen unzulässigen sicherheitstechnischen Auswirkungen führt.

[3] Die Funktion ist aus technischen Gründen nicht relevant. Zur Erfüllung der Anforderungen kommt eine andere Funktion zur Anwendung.

Tabelle E-1: Zuordnung typischer Funktionen sicherheitsbezogener Teile von Steuerungen in Hebezeugen nach den Abschnitten 4.2 bis 4.4 zu den erforderlichen Performance Leveln nach DIN EN ISO 13849-1
(Fortsetzung)

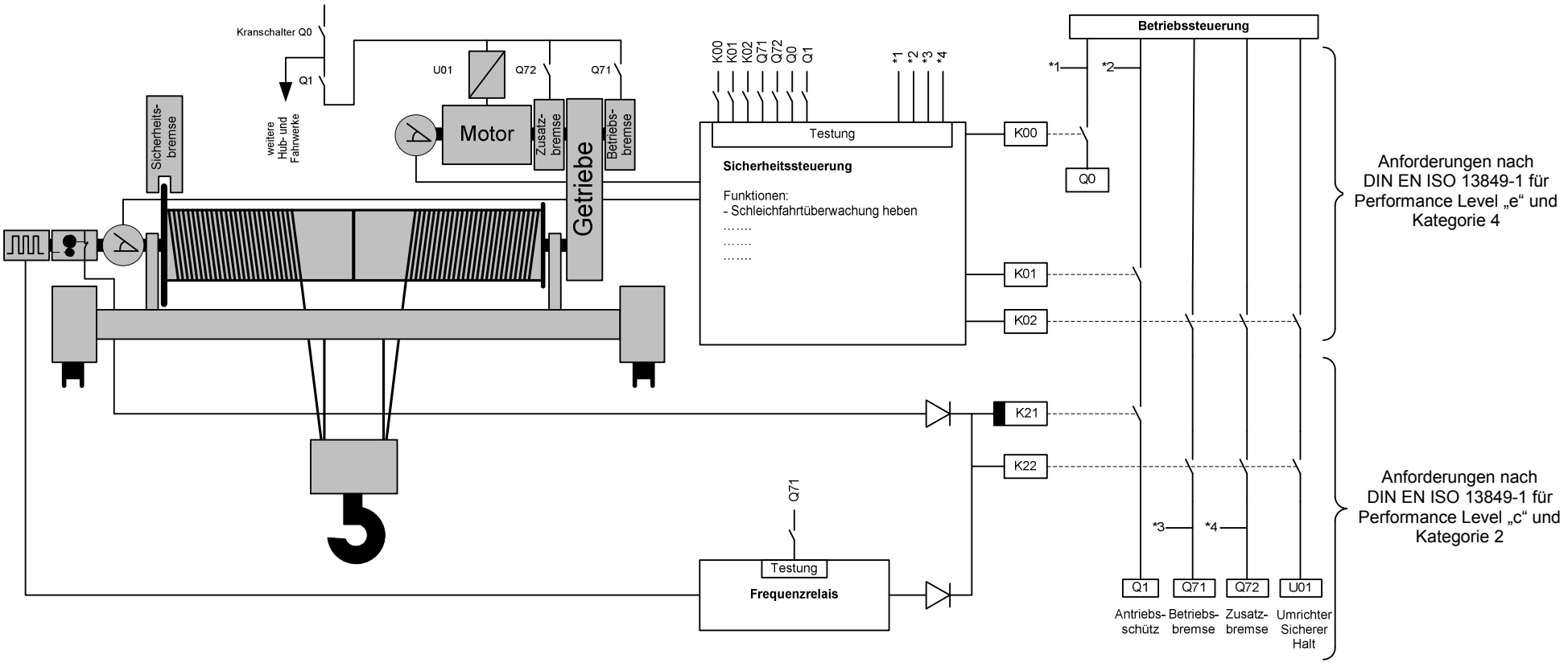


Bild E-1: Beispiel für eine Realisierung der Anforderungen gemäß **Tabelle E-1** für die Funktion lfd. Nr. 12b „Abschaltung bei Überschreitung der zulässigen Geschwindigkeit am Hubwegende“ in Hebezeugen nach den Abschnitten 4.3 oder 4.4
(Beispiel für ein Hubwerk mit einfacher Triebwerkskette und keinem ausreichenden Anhalteweg nach dem Sicherheitswegbegrenzer oben)

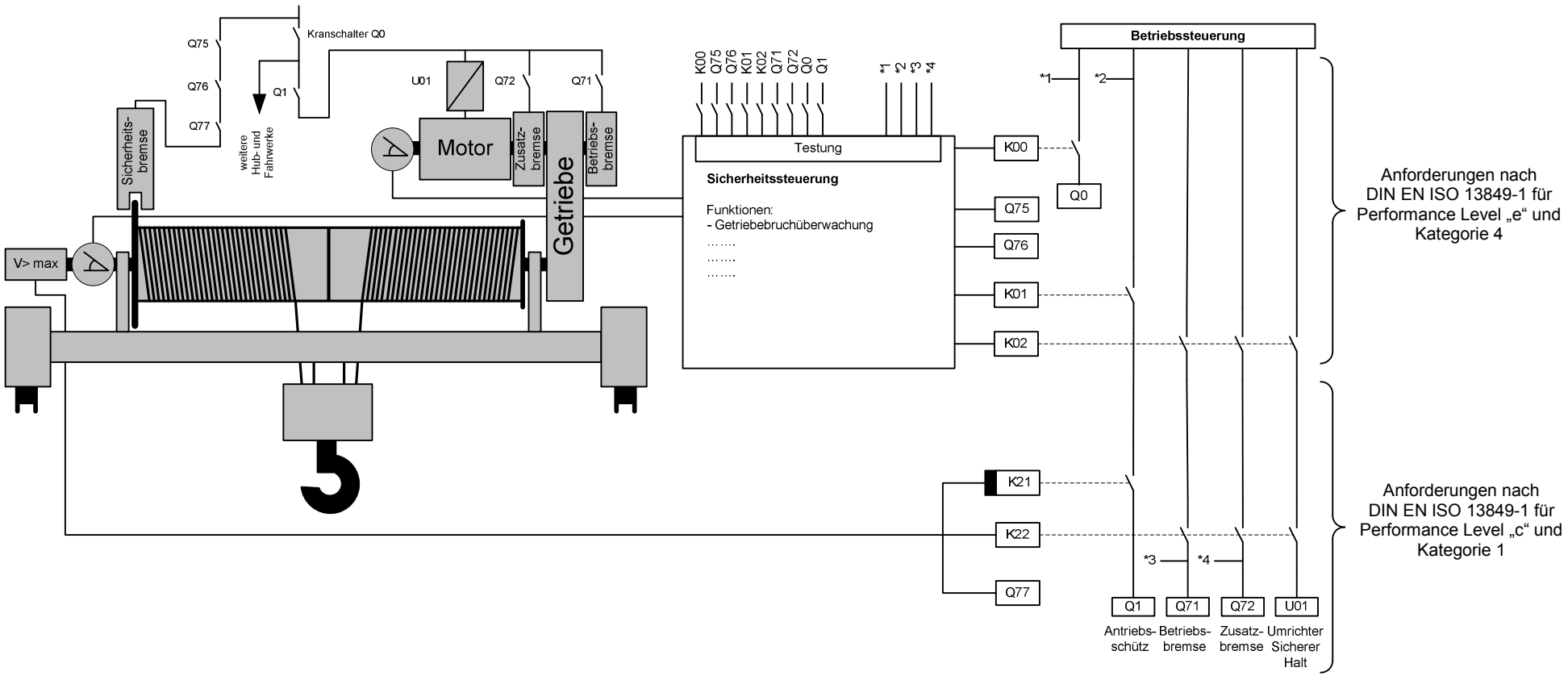


Bild E-2: Beispiel für eine Realisierung der Anforderungen gemäß **Tabelle E-1** für die Funktion lfd. Nr. 31 „Getriebebruchüberwachung mit Ansteuerung der Sicherheitsbremse“ in Hebezeugen nach den Abschnitten 4.3 oder 4.4
(Beispiel für ein Hubwerk mit einfacher Triebwerkskette und Sicherheitsbremse)

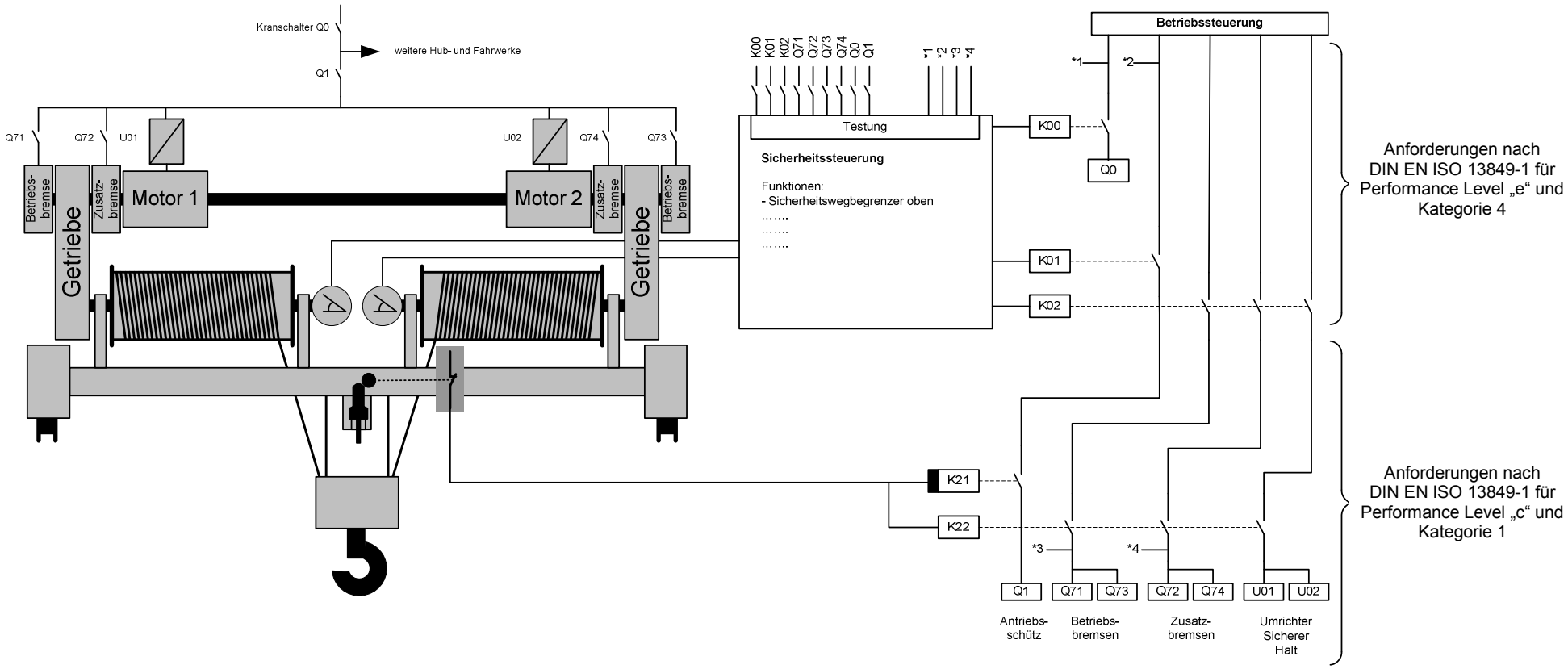


Bild E-3: Beispiel für eine Realisierung der Anforderungen gemäß **Tabelle E-1** für die Funktion lfd. Nr. 33a „Sicherheitswegbegrenzer Richtung heben“ in Hebezeugen nach den Abschnitten 4.3 oder 4.4
(Beispiel für ein Hubwerk mit doppelter Triebwerkskette und einem ausreichenden Anhalteweg nach dem Sicherheitswegbegrenzer im Hauptstromkreis Richtung heben)

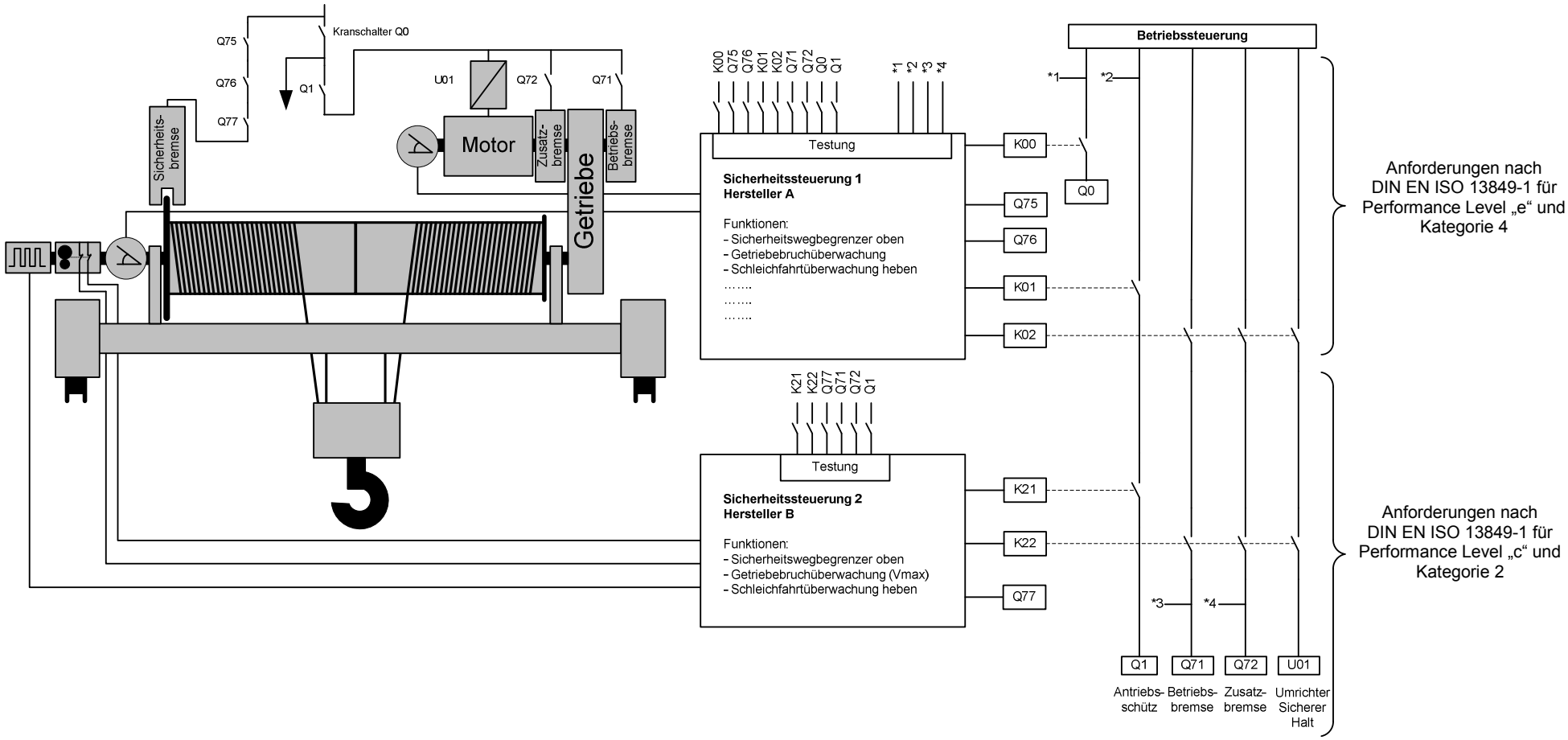


Bild E-4: Beispiel für eine Realisierung der Anforderungen gemäß **Tabelle E-1** für die Funktionen
a) lfd. Nr. 12b „Abschaltung bei Überschreitung der zulässigen Geschwindigkeit am Hubwegende“
b) lfd. Nr. 31 „Getriebebruchüberwachung mit Ansteuerung der Sicherheitsbremse“
c) lfd. Nr. 33a „Sicherheitswegbegrenzer Richtung heben“
in Hebezeugen nach den Abschnitten 4.3 oder 4.4
(Beispiel für ein Hubwerk mit einfacher Triebwerkskette und keinem ausreichenden Anhalteweg nach dem Sicherheitswegbegrenzer im Hauptstromkreis Richtung heben)

Anhang F

Bestimmungen und Literatur, 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.)

Richtlinie 2014/33/EU		Richtlinie 2014/33/EU des Europäischen Parlaments und des Rates vom 26. Februar 2014 zur Angleichung der Rechtsvorschriften der Mitgliedstaaten über Aufzüge und Sicherheitsbauteile für Aufzüge (Neufassung)
Atomgesetz (AtG)		Atomgesetz in der Fassung der Bekanntmachung vom 15. Juli 1985 (BGBl. I S. 1565), das zuletzt durch Artikel 239 der Verordnung vom 19. Juni 2020 (BGBl. I S. 1328) geändert worden ist
StrlSchG		Strahlenschutzgesetz vom 27. Juni 2017 (BGBl. I S. 1966), das zuletzt durch Artikel 5 Absatz 1 des Gesetzes vom 23. Oktober 2020 (BGBl. I S. 2232) geändert worden ist
StrlSchV		Strahlenschutzverordnung vom 29. November 2018 (BGBl. I S. 2034, 2036), die zuletzt durch Artikel 1 der Verordnung vom 20. November 2020 (BGBl. I S. 2502) geändert worden ist
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 1401	(2017-11)	Allgemeine Anforderungen an die Qualitätssicherung
KTA 2201.4	(2012-11)	Auslegung von Kernkraftwerken gegen seismische Einwirkungen; Teil 4: Anlagenteile
KTA 3201.2	(2017-11)	Komponenten des Primärkreises von Leichtwasserreaktoren; Teil 2: Auslegung, Konstruktion und Berechnung
KTA 3205.1	(2018-10)	Komponentenstützkonstruktionen mit nichtintegralen Anschlüssen; Teil 1: Komponentenstützkonstruktionen mit nichtintegralen Anschlüssen für Primärkreiskomponenten in Leichtwasserreaktoren
KTA 3903	(2020-12)	Prüfung und Betrieb von Hebezeugen in Kernkraftwerken
DIN EN 81-20	(2014-11)	Sicherheitsregeln für die Konstruktion und den Einbau von Aufzügen - Aufzüge für den Personen- und Gütertransport - Teil 20: Personen- und Lastenaufzüge; Deutsche Fassung EN 81-20:2014
DIN 743-1	(2012-12)	Tragfähigkeitsberechnung von Wellen und Achsen - Teil 1: Grundlagen
DIN 743-2	(2012-12)	Tragfähigkeitsberechnung von Wellen und Achsen - Teil 2: Formzahlen und Kerbwirkungszahlen
DIN 743-3	(2012-12)	Tragfähigkeitsberechnung von Wellen und Achsen - Teil 3: Werkstoff-Festigkeitswerte (Berichtigung 2014-12)
DIN EN 818-2	(2008-12)	Kurzgliedrige Rundstahlketten für Hebezwecke - Sicherheit - Teil 2: Mitteltolerierte Rundstahlketten für Anschlagketten - Güteklasse 8; Deutsche Fassung EN 818-2:1996+A1:2008
DIN EN 818-4	(2008-12)	Kurzgliedrige Rundstahlketten für Hebezwecke - Sicherheit - Teil 4: Anschlagketten - Güteklasse 8; Deutsche Fassung EN 818-4:1996+A1:2008
DIN EN 894-1	(2009-01)	Sicherheit von Maschinen - Ergonomische Anforderungen an die Gestaltung von Anzeigen und Stellteilen - Teil 1: Allgemeine Leitsätze für Benutzer-Interaktion mit Anzeigen und Stellteilen; Deutsche Fassung EN 894-1:1997+A1:2008
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 898-2	(2012-08)	Mechanische Eigenschaften von Verbindungselementen aus Kohlenstoffstahl und legiertem Stahl - Teil 2: Muttern mit festgelegten Festigkeitsklassen - Regelgewinde und Feingewinde (ISO 898-2:2012); Deutsche Fassung EN ISO 898-2:2012
DIN EN 1090-2	(2018-09)	Ausführung von Stahltragwerken und Aluminiumtragwerken - Teil 2: Technische Regeln für die Ausführung von Stahltragwerken; Deutsche Fassung EN 1090-2:2018
DIN EN 1677-1	(2009-03)	Einzelteile für Anschlagmittel - Sicherheit - Teil 1: Geschmiedete Einzelteile, Güteklasse 8; Deutsche Fassung EN 1677-1:2000+A1:2008

DIN EN 1677-2	(2008-06)	Einzelteile für Anschlagmittel - Sicherheit - Teil 2: Geschmiedete Haken mit Sicherungsklappe, Güteklasse 8; Deutsche Fassung EN 1677-2:2000+A1:2008 (Berichtigung 2009-01)
DIN EN 1677-3	(2008-06)	Einzelteile für Anschlagmittel - Sicherheit - Teil 3: Geschmiedete, selbstverriegelnde Haken, Güteklasse 8; Deutsche Fassung EN 1677-3:2001+A1:2008 (Berichtigung 2009-01)
DIN EN 1677-4	(2009-03)	Einzelteile für Anschlagmittel - Sicherheit - Teil 4: Einzelglieder, Güteklasse 8; Deutsche Fassung EN 1677-4:2000+A1:2008
DIN EN 1993-1-8/NA	(2010-12)	Nationaler Anhang - National festgelegte Parameter - Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten - Teil 1-8: Bemessung von Anschlüssen
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 3962-2	(1978-08)	Toleranzen für Stirnradverzahnungen; Toleranzen für Flankenlinienabweichungen
DIN 3990-5	(1987-12)	Tragfähigkeitsberechnung von Stirnrädern; Dauerfestigkeitswerte und Werkstoffqualitäten
DIN 3990-11	(1989-02)	Tragfähigkeitsberechnung von Stirnrädern; Anwendungsnorm für Industriegetriebe; Detail-Methode
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 10025-2	(2019-10)	Warmgewalzte Erzeugnisse aus Baustählen - Teil 2: Technische Lieferbedingungen für unlegierte Baustähle; Deutsche Fassung EN 10025-2:2019
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 ISO 12100	(2011-03)	Sicherheit von Maschinen - Allgemeine Gestaltungsleitsätze - Risikobeurteilung und Risikominderung (ISO 12100:2010); Deutsche Fassung EN ISO 12100:2010 (Berichtigung 2013-08)
DIN EN 13001-1	(2015-06)	Krane - Konstruktion allgemein - Teil 1: Allgemeine Prinzipien und Anforderungen; Deutsche Fassung EN 13001-1:2015
DIN EN 13001-2	(2014-12)	Kransicherheit - Konstruktion allgemein - Teil 2: Lasteinwirkungen; Deutsche Fassung EN 13001-2:2014
DIN EN 13001-3-1	(2019-03)	Krane - Konstruktion allgemein - Teil 3-1: Grenzzustände und Sicherheitsnachweis von Stahltragwerken; Deutsche Fassung EN 13001-3-1:2012+A2:2018
DIN EN 13411-3	(2011-04)	Endverbindungen für Drahtseile aus Stahldraht - Sicherheit - Teil 3: Pressklemmen und Verpressen; Deutsche Fassung EN 13411-3:2004+A1:2008
DIN EN 13411-4	(2011-06)	Endverbindungen für Drahtseile aus Stahldraht - Sicherheit - Teil 4: Vergießen mit Metall und Kunstharz; Deutsche Fassung EN 13411-4:2011
DIN EN 13414-1	(2020-03)	Anschlagseile aus Stahldrahtseilen - Sicherheit - Teil 1: Anschlagseile für allgemeine Hebezwecke; Deutsche Fassung EN 13414-1:2003+A2:2008
DIN EN 13414-2	(2009-02)	Anschlagseile aus Stahldrahtseilen - Sicherheit - Teil 2: Vom Hersteller zu liefernde Informationen für Gebrauch und Instandhaltung; Deutsche Fassung EN 13414-2:2003+A2:2008
DIN EN ISO 13849-1	(2016-06)	Sicherheit von Maschinen - Sicherheitsbezogene Teile von Steuerungen - Teil 1: Allgemeine Gestaltungsleitsätze (ISO 13849-1:2015); Deutsche Fassung EN ISO 13849-1:2015
DIN EN 13889	(2009-02)	Geschmiedete Schäkel für allgemeine Hebezwecke - Gerade und geschweifte Schäkel - Güteklasse 6 - Sicherheit; Deutsche Fassung EN 13889:2003+A1:2008
DIN EN ISO 13919-1	(2020-03)	Elektronen- und Laserstrahl-Schweißverbindungen - Anforderungen und Empfehlungen für Bewertungsgruppen für Unregelmäßigkeiten - Teil 1: Stahl, Nickel, Titan und deren Legierungen (ISO 13919-1:2019); Deutsche Fassung EN ISO 13919-1:2019
DIN 15003	(1970-02)	Hebezeuge; Lastaufnahmeeinrichtungen, Lasten und Kräfte, Begriffe
DIN 15018-1	(1984-11)	Krane; Grundsätze für Stahltragwerke, Berechnung
DIN 15018-2	(1984-11)	Krane; Stahltragwerke; Grundsätze für die bauliche Durchbildung und Ausführung
DIN 15020-1	(1974-02)	Hebezeuge; Grundsätze für Seiltriebe; Berechnung und Ausführung
DIN 15070	(1977-12)	Krane; Berechnungsgrundlagen für Laufräder
DIN 15071	(1977-12)	Krane; Berechnung der Lagerbeanspruchungen der Laufräder

DIN 15085	(1977-12)	Hebezeuge; Laufräder; Technische Lieferbedingungen
DIN 15400	(1990-06)	Lasthaken für Hebezeuge; Mechanische Eigenschaften, Werkstoffe, Tragfähigkeiten und vorhandene Spannungen
DIN 15401-1	(1982-11)	Lasthaken für Hebezeuge; Einfachhaken; Rohteile
DIN 15401-2	(1983-09)	Lasthaken für Hebezeuge; Einfachhaken; Fertigteile mit Gewindeschaft
DIN 15402-1	(1982-11)	Lasthaken für Hebezeuge; Doppelhaken; Rohteile
DIN 15402-2	(1983-09)	Lasthaken für Hebezeuge; Doppelhaken; Fertigteile mit Gewindeschaft
DIN 15413	(1983-08)	Unterflaschen für Hebezeuge; Lasthakenmuttern
DIN 15434-1	(1989-01)	Antriebstechnik; Trommel- und Scheibenbremsen; Berechnungsgrundsätze
DIN EN 60204-32; VDE 0113-32	(2009-03)	Sicherheit von Maschinen - Elektrische Ausrüstung von Maschinen - Teil 32: Anforderungen für Hebezeuge (IEC 60204-32:2008); Deutsche Fassung EN 60204-32:2008
DIN EN 61508-1; VDE 0803-1	(2011-02)	Funktionale Sicherheit sicherheitsbezogener elektrischer/elektronischer/programmierbarer elektronischer Systeme - Teil 1: Allgemeine Anforderungen (IEC 61508-1:2010); Deutsche Fassung EN 61508-1:2010
DIN EN 61508-2; VDE 0803-2	(2011-02)	Funktionale Sicherheit sicherheitsbezogener elektrischer/elektronischer/programmierbarer elektronischer Systeme - Teil 2: Anforderungen an sicherheitsbezogene elektrische/elektronische/programmierbare elektronische Systeme (IEC 61508-2:2010); Deutsche Fassung EN 61508-2:2010
DIN EN 61508-3; VDE 0803-3	(2011-02)	Funktionale Sicherheit sicherheitsbezogener elektrischer/elektronischer/programmierbarer elektronischer Systeme - Teil 3: Anforderungen an Software (IEC 61508-3:2010); Deutsche Fassung EN 61508-3:2010
DIN EN 61508-4; VDE 0803-4	(2011-02)	Funktionale Sicherheit sicherheitsbezogener elektrischer/elektronischer/programmierbarer elektronischer Systeme - Teil 4: Begriffe und Abkürzungen (IEC 61508-4:2010); Deutsche Fassung EN 61508-4:2010
DIN EN 61508-5; VDE 0803-5	(2011-02)	Funktionale Sicherheit sicherheitsbezogener elektrischer/elektronischer/programmierbarer elektronischer Systeme - Teil 5: Beispiele zur Ermittlung der Stufe der Sicherheitsintegrität (safety integrity level) (IEC 61508-5:2010); Deutsche Fassung EN 61508-5:2010
DIN EN 61508-6; VDE 0803-6	(2011-02)	Funktionale Sicherheit sicherheitsbezogener elektrischer/elektronischer/programmierbarer elektronischer Systeme - Teil 6: Anwendungsrichtlinie für IEC 61508-2 und IEC 61508-3 (IEC 61508-6:2010); Deutsche Fassung EN 61508-6:2010
DIN EN 61508-7; VDE 0803-7	(2011-02)	Funktionale Sicherheit sicherheitsbezogener elektrischer/elektronischer/programmierbarer elektronischer Systeme - Teil 7: Überblick über Verfahren und Maßnahmen (IEC 61508-7:2010); Deutsche Fassung EN 61508-7:2010
DIN EN 61513; VDE 0491-2	(2013-09)	Kernkraftwerke - Leittechnik für Systeme mit sicherheitstechnischer Bedeutung - Allgemeine Systemanforderungen (IEC 61513:2011); Deutsche Fassung EN 61513:2013
DIN EN IEC 62138; VDE 0491-3-3	(2020-07)	Kernkraftwerke - Leittechnische Systeme mit sicherheitstechnischer Bedeutung - Softwareaspekte für rechnerbasierte Systeme zur Realisierung von Funktionen der Kategorien B oder C (IEC 62138:2018); Deutsche Fassung EN 62138:2019
SEB 666211 Beiblatt 1	(1985-08)	Fördertechnik; Seiltrommeln; Berechnung der Schraubverbindung der Seilklemmen
VDI 2230 Blatt 1	(2015-11)	Systematische Berechnung hochbeanspruchter Schraubenverbindungen - Zylindrische Einschraubenverbindungen
VDI 3576	(2011-03)	Schienen für Krananlagen - Schienenverbindungen, Schienenlagerungen, Schienenbefestigungen, Toleranzen für Kranbahnen

Literatur

[1]	Niemann, G.	Maschinenelemente Band 1, Springer Verlag Berlin/Göttingen/Heidelberg 1981, 2. Auflage
[2]	Niemann, G.	Maschinenelemente Band 2, Springer Verlag Berlin/Göttingen/Heidelberg 1965
[3]	Hähnchen, R.	Dauerfestigkeit für Stahl- und Gußeisen, Carl Hanser Verlag, München 1963
[4]	Decker, K.-H.	Maschinenelemente, Carl Hanser Verlag, München 1982
[5]		Leitfaden für eine Betriebsfestigkeitsrechnung; Empfehlung zur Lebensdauerabschätzung von Maschinenbauteilen, 4. Auflage, Herausgegeben vom Verein zur Förderung der Forschung und der Anwendung von Betriebsfestigkeits-Kenntnissen in der Eisenhüttenindustrie (VBFEh) im Stahlinstitut VDEh, bearbeitet von H. Gudehus und H. Zenner, Düsseldorf 1999
[6]	Dubbel, H. u. W. Beitz	Taschenbuch für den Maschinenbau, 16. Auflage korrigiert und ergänzt, Springer-Verlag, Berlin 1987
[7]	DIN-Fachbericht 1	Berechnungsgrundsätze für Triebwerke in Hebezeugen, 1. Auflage 1982, Herausgegeben vom Normenausschuß Maschinenbau, Fachbereich Fördertechnik im DIN
[8]	Dietz, P.	Ein Verfahren zur Berechnung ein- und mehrlagig bewickelter Seiltrommeln, VDI-Verlag 1972
[9]	Neugebauer, H.-J.	Berechnungsverfahren für ein- und mehrlagig bewickelte Seiltrommeln, Technische Universität Dresden 1979, Dissertation
[10]	Dudley/Winter	Zahnräder, Springer-Verlag Berlin/Göttingen/Heidelberg 1961
[11]	FVA Forschungsheft Nr. 108	Rechenprogramm zur Ermittlung der Zahnflankenkorrekturen am Ritzel zum Ausgleich der lastbedingten Zahnverformung; 1981, Herausgeber: Forschungsvereinigung Antriebstechnik e. V., Corneliusstraße 4, 6000 Frankfurt/Main
[12]	Stenkamp, W.	Hebezeuge in kerntechnischen Anlagen, Neufassung der Regel KTA 3902, Sonderdruck aus fördern + heben
[13]	Feyrer, K. et al.	Laufende Drahtseile: Bemessung und Überwachung, expert-Verlag Ehningen bei Böblingen, 1989
[14]	Bork C.-P., Ernsberger M.	Schwingfestigkeitsuntersuchungen an geschweißten Proben aus austenitischen Stählen in Kernkraftwerken zur Festlegung von Kennwerten im Regelwerk (Abschlussbericht des Vorhabens SR 2258), Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM), März 2003

Anhang G (informativ)

Änderungen gegenüber der Fassung 2012-11 und Erläuterungen

G 1 Änderungsschwerpunkte

(1) Alternativ zur Auslegung nach dem Verfahren mit globalem Sicherheitsbeiwert gemäß DIN 15018-1 wurde für Tragwerke das Verfahren mit Teilsicherheitsbeiwerten gemäß der Normenreihe DIN EN 13001 zugelassen. Hierfür wurden entsprechende Anforderungen sowohl in den Abschnitten 6 (zusätzliche Anforderungen), 7 (erhöhte Anforderungen) und 8 (Brennelement-Wechselanlagen) als auch im Anhang B aufgenommen. Die Anforderungen bei Anwendung der Normenreihe DIN EN 13001 wurden so festgelegt, dass die Auslegung nach DIN EN 13001 zu einer vergleichbaren Spannungsausnutzung führt wie die Auslegung nach DIN 15018-1. Unter Beachtung der Festlegungen in Abschnitt 6.1.1 (2), 7.1.1 (2) und 8.1.1 (2) sind beide Verfahren alternativ zulässig, da die Nachweismethodiken beider Verfahren (Verfahren mit globalem Sicherheitsbeiwert und Verfahren mit Teilsicherheitsbeiwerten) dem Stand der Technik entsprechen und zu vergleichbaren Ergebnissen führen. Die Anwendung der Normenreihe DIN EN 13001 musste auf Tragwerke beschränkt werden, weil für Maschinenteile gegenwärtig keine vollständige Normenbasis vorliegt.

(2) Die Anforderungen an die elektrische Ausrüstung wurden nach Auswertung der Betriebserfahrungen an einigen Stellen unter Berücksichtigung der aktuellen Normen präzisiert (Abschnitte 6.5, 7.5 und 8.5 sowie Anhang E).

(3) Die gesamte Regel und der Anhang F „Bestimmungen und Literatur, auf die in dieser Regel verwiesen wird“ wurden an den aktuellen Stand der Normen angepasst. Zwecks Anpassung an die aktuellen Normen werden in der gesamten Regel jetzt - soweit zutreffend - die Begriffe „Nachweis der statischen Festigkeit“ und „Nachweis der Ermüdungsfestigkeit“ sowie „Getriebekasten“ verwendet. In Formulierungen, wo explizit eine Nachweisführung nach bestimmten Normen (z. B. DIN 15018-1, DIN 3990-11) gefordert ist, wurde der in diesen Normen verwendete Begriff „Betriebsfestigkeit“ beibehalten. Der in den Abschnitten 6.3.1 und B 1.3.1 enthaltene Verweis auf DIN 15070 musste beibehalten werden, obwohl diese Norm formal zurückgezogen und durch DIN EN 13001-3-3 ersetzt wurde. Da das jetzt in KTA 3902 aufgenommene zweigleisige Auslegungskonzept (Verfahren mit globalem Sicherheitsbeiwert und Verfahren mit Teilsicherheitsbeiwerten) nur Tragwerke betrifft und für Maschinenteile aufgrund der fehlenden Normenbasis durchgängig das bisherige Auslegungskonzept beibehalten wird, muss auch die Berechnung der Laufräder weiterhin gemäß DIN 15070 erfolgen.

G 2 Erläuterungen zu Änderungen gegenüber der Fassung 2012-11

(1) Der Abschnitt „Grundlagen“ wurde in Absatz 1 an die für alle KTA-Regeln einheitliche Formulierung angepasst und im Absatz 2 um Vorgaben aus den „Sicherheitsanforderungen an Kernkraftwerke“ (SiAnf) sowie den „Interpretationen zu den Sicherheitsanforderungen an Kernkraftwerke“ ergänzt.

(2) Im Abschnitt 2 „Begriffe“ wurde eine Definition für im Kraftfluss liegende Bauteile aufgenommen, um eine einheitliche Interpretation dieses Begriffs sicherzustellen.

(3) Im Abschnitt 4 „Besondere Bestimmungen“ wurden folgende Änderungen vorgenommen:

a) Die Einstufungskriterien sind ausgehend vom Gefährdungspotenzial im Fall eines Handhabungsstörfalls in Kernkraftwerken festgelegt. Darauf basierend sind auch die Anforderungen in allen Abschnitten der Regel ausgehend von der Erfahrung mit Genehmigungs- und Aufsichtsverfahren in Kernkraftwerken formuliert. Es wurde nicht geprüft, ob oder unter welchen Bedingungen die in KTA 3902 festgelegten Anforderungen auf kerntechnische Anlagen außerhalb des Anwendungsbereichs von KTA 3902, z. B. auf Brennelement-Zwischenlager, und das dort jeweils vorliegende Gefährdungspotenzial im Fall des Versagens eines Hebezeugs übertragbar sind.

   Hinweis:

   Die Anforderungen an technische Einrichtungen in Zwischenlagern sind in der „Leitlinie für die trockene Zwischenlagerung bestrahlter Brennelemente und Wärme entwickelnder radioaktiver Abfälle in Behältern“, und in der „Leitlinie für die Zwischenlagerung von radioaktiven Abfällen mit vernachlässigbarer Wärmeentwicklung“ vom 22.11.2013 festgelegt (siehe Bundesanzeiger BAnz AT 22.01.2014 B3).

b) Der bisher im Absatz 4.5 (5) enthaltene Verweis auf das Nachweisverfahren nach KTA 3205.1 Abschnitt 7 wurde gestrichen. Stattdessen wurde ein auf die aktuelle KTA 3205.1 bezogener Verweis in den Abschnitten B 1.1.1 (2), B 1.1.2 (3), B 2.1.1.1 (2) und B 2.1.2.1 (3) aufgenommen.

c) Bei den ergonomischen Anforderungen im Abschnitt 4.7 wurde die Norm DIN EN ISO 12100 (Nachfolgenorm der in DIN EN 13557 zitierten Normen DIN EN 292-1 und DIN EN 292-2) zusätzlich aufgenommen.

(4) Im Abschnitt 5 „Aufzüge in Reaktorsicherheitsbehältern“ erfolgte durch Aufnahme der Richtlinie 2014/33/EU und der Norm DIN EN 81-20 eine Aktualisierung der Anforderungen und durch Aufnahme des Begriffs „Lastenaufzüge mit Personenbeförderung“ eine Klarstellung unter Berücksichtigung der in den aktuellen Normen verwendeten Begriffe.

(5) Im Abschnitt 6 „Zusätzliche Anforderungen an Krane, Winden, Laufkatzen und Lastaufnahmeeinrichtungen“ wurden folgende Änderungen vorgenommen:

a) Alternativ zur Auslegung nach dem Verfahren mit globalem Sicherheitsbeiwert gemäß DIN 15018-1 wurde für Tragwerke das Verfahren mit Teilsicherheitsbeiwerten gemäß der Normenreihe DIN EN 13001 zugelassen. Hierfür wurden entsprechende Anforderungen in den Abschnitten 6.1.1, 6.1.2.2, 6.1.3 und 6.4.1.2 aufgenommen. Da die Normenreihe DIN EN 13001 keine Anforderungen an die Ausführung von Kranen enthält, wurde der Hinweis im Abschnitt 6.1.3 um einen Verweis auf DIN EN 1090-2 ergänzt.

b) Da auch Elektronen- und Laserstrahlschweißen erlaubt ist, wurde in 6.1.3 (3), 6.2.1.3.2 (5) und 6.2.2.3 (5) zusätzlich zu DIN EN ISO 5817 die Norm DIN EN ISO 13919-1 als Bewertungsgrundlage für die Schweißnähte aufgenommen.

c) Da die für das Vorspannen von Schrauben bisher heranzuziehende Norm DIN 18800-7 nicht mehr gültig ist, die Festlegungen der Nachfolgenorm DIN EN 1090-2 für eine Regelvorspannung aber zu höheren Vorspannkräften führen als nach den bisherigen Festlegungen in KTA 3902 und auch nach DIN EN 13001-3-1 zulässig, wurde in 6.1.3 (5) basierend auf DIN EN 1090-2 und DASt Richtlinie 024 eine Anforderung zum Vorspannen vorgespannter Schraubverbindungen aufgenommen, mit der das bisher übliche Vorgehen nach DIN 18800-7 beibehalten wird. Diese Festlegung erfüllt sowohl die Anforderungen der DIN 15018-1 als auch die Anforderungen der Normenreihe DIN 13001.

d) Die Anforderungen an die Überlastsicherung in 6.2.1.3.1 (1) und 6.5.2 (4) wurden zur Vermeidung von Missverständnissen präzisiert.

e) Die bisher nur in den Abschnitten 7.4.1.1 (4) und 8.4.1 (3) enthaltene Regelung für Schrauben nach WPB 3.17 wurde auch in die Abschnitte 6.4.1.1 (4) und 6.4.2.1 (4) übernommen, da sie auch für Hebezeuge nach Abschnitt 4.2 gilt.

f) Im Abschnitt 6.4.1.2 wurde als Hinweis eine Erläuterung ergänzt, was unter dem in dieser Regel verwendeten Begriff „Stahlbauteile“ zu verstehen ist.

g) Im Abschnitt 6.5.1 (2) c) wurde der Verweis auf DIN EN 62138 Abschnitt 6 an die aktuelle Version angepasst.

h) Im Abschnitt 6.5.1 (3) wurden die Worte „nach KTA 3902 Abschnitt 4.2“ gestrichen, da die Anforderung allgemein und unabhängig von der Einstufung des Hebezeugs gilt.

   Mit dem neu aufgenommenen Hinweis wurde der Anwendungsumfang der gemäß DIN EN ISO 13849-1 zu betrachtenden Einrichtungen klargestellt. Erkenntnisse haben gezeigt (siehe z. B. die Weiterleitungsnachricht WLN 2014-08), dass die mechanische Anbindung der Geber an das Hebezeug nicht immer im erforderlichen Umfang betrachtet wurde.

i) Der bisherige Absatz 6.5.2 (9) wurde in zwei Absätze unterteilt, um die Festlegungen zur Stellungsanzeige und zur Verriegelung voneinander zu trennen.

j) In 6.5.3 (2) wurden Anforderungen an die Überwachung zur Erkennung eines mechanisch bedingten Geberausfalls ergänzt. Erkenntnisse haben gezeigt (siehe z. B. WLN 2014-08), dass die Überwachung der mechanischen Anbindung der Geber an das Hebezeug nicht immer im erforderlichen Umfang gegeben war.

   Die in 6.5.3 (2) d) neu aufgenommene Anforderung stellt eine Klarstellung zur Vermeidung ungeeigneter Ausführungen dar.

(6) Im Abschnitt 7 wurden folgende Änderungen vorgenommen:

a) Alternativ zur Auslegung nach dem Verfahren mit globalem Sicherheitsbeiwert gemäß DIN 15018-1 wurde für Tragwerke das Verfahren mit Teilsicherheitsbeiwerten gemäß der Normenreihe DIN EN 13001 zugelassen. Hierfür wurden entsprechende Anforderungen in den Abschnitten 7.1.1, 7.1.2.2 und 7.4.1.2 aufgenommen.

b) Da besonders bei langsam drehenden Hubwerken der Nachweis des dreifachen Anhalteweges der Betriebsbremse für die Sicherheitsbremse nur schwer zu führen ist, aber gleichzeitig bei Einhaltung eines geeigneten Absolutwerts sicherheitstechnisch unzulässige Folgen vermieden werden können, ist der Nachweis bezogen auf den Absolutwert des Anhalteweges ebenfalls zulässig. In 7.2.1.1 (3) wurde deshalb eine entsprechende Ergänzung aufgenommen.

c) Im Abschnitt 7.2.1.3.1 (3) wurde entsprechend der neu eingeführten Definition in 2 (1) „Bauteile, im Kraftfluss liegend“ eine Präzisierung der Formulierung vorgenommen.

d) Im Abschnitt 7.5 wurde der bereits im Abschnitt 6.5 ausführlich dargestellte Verweis auf den Anhang E gestrichen, da die Anforderungen des Abschnitts 6.5 ohnehin zu erfüllen sind.

(7) Im Abschnitt 8 wurden folgende Änderungen vorgenommen:

a) Alternativ zur Auslegung nach dem Verfahren mit globalem Sicherheitsbeiwert gemäß DIN 15018-1 wurde für Tragwerke das Verfahren mit Teilsicherheitsbeiwerten gemäß der Normenreihe DIN EN 13001 zugelassen. Hierfür wurden entsprechende Anforderungen in den Abschnitten 8.1.1, 8.1.2.2 und 8.4.2 aufgenommen.

b) In 8.2.1.1 (3) wurde dieselbe Ergänzung zum Anhalteweg der Sicherheitsbremse wie in 7.2.1.1 (3) aufgenommen.

c) Im Abschnitt 8.2.1.3.1 (3) wurde entsprechend der neu eingeführten Definition in 2 (1) „Bauteile, im Kraftfluss liegend“ eine Präzisierung der Formulierung vorgenommen.

d) Im Abschnitt 8.5 wurde der bereits im Abschnitt 6.5 ausführlich dargestellte Verweis auf den Anhang E gestrichen, da die Anforderungen des Abschnitts 6.5 ohnehin zu erfüllen sind.

(8) Im Anhang B wurden folgende Änderungen vorgenommen:

a) Es wurden Anforderungen für die Nachweisführung nach dem Teilsicherheitskonzept neu aufgenommen (Abschnitte B 1.1.2, B 2.1.2, B 3.3).

   Hierbei wurde die Anwendung der Normenreihe DIN EN 13001 bei austenitischen Stählen auf Fälle beschränkt, wenn nach den Festlegungen in DIN EN 13001-3-1 Abschnitt 6.3.3 auf einen Nachweis der Ermüdungsfestigkeit verzichtet werden darf. Diese Einschränkung ist notwendig, weil die Normenfassung 2019-03 der DIN EN 13001-3-1 erstmals auch für austenitische Stähle nach DIN EN 10088-2 gilt, diese Norm beim Nachweis der Ermüdungsfestigkeit jedoch nicht zwischen ferritischen und austenitischen Stählen unterscheidet. Die Anwendbarkeit des Ermüdungsfestigkeitsnachweises nach DIN EN 13001-3-1 auf austenitische Stähle im Anwendungsbereich der KTA 3902 konnte bislang nicht in ausreichendem Maß verifiziert werden. Bei Bedarf sind für den Nachweis der Ermüdungsfestigkeit austenitischer Stahlbauteile im Anwendungsbereich der KTA 3902, die nach DIN EN 13001-3-1 ausgelegt werden, Festlegungen im Einzelfall zu treffen.

   Die in den Abschnitten B 1.1.2 und B 2.1.2 aufgenommenen Detailanforderungen wurden aus folgenden Gründen so festgelegt, dass eine sachgerechte Auslegung erfolgt, eine vergleichbare Spannungsausnutzung wie bei einer Auslegung nach DIN 15018-1 sichergestellt wird, und der Risikobeiwert γ_n nach DIN EN 13001-2 zu 1,0 angesetzt werden darf:

   aa) Der Dynamikbeiwert Φ_2 wurde übereinstimmend mit dem nach DIN 15018-1, Tabelle 2, bei Betriebslasten für die Hubklasse H3 (zusätzliche Anforderungen) bzw. H4 (erhöhte Anforderungen) und bei Montagelasten für die Hubklasse H1 anzusetzenden Hublastbeiwert festgelegt.

   ab) Zur Berechnung der Windlasten wurde die Windstufe „Normal“ vorgegeben, da der daraus resultierende Staudruck dem Wert entspricht, wie er nach dem Verfahren nach DIN 15018-1 bisher erfolgreich angesetzt wurde. Bei den aerodynamischen Koeffizienten unterscheiden sich die Berechnungsansätze und die Formbeiwerte in den Berechnungsverfahren nach DIN EN 13001-2 und DIN 15018-1. Da bei Portalkränen für Kernkraftwerke keine Fachwerkbauteile zum Einsatz kommen und sich die übrigen Formbeiwerte um weniger als 10% unterscheiden, sind bei Anwendung der DIN EN 13001-2 keine gesonderten Anforderungen notwendig. Die unterschiedlichen Abschattungsfaktoren kommen nicht zum Tragen, da sie für die in Kernkraftwerken als Kastenbauweise ausgeführten Hebezeuge ohne Bedeutung sind.

   ac) Bei der Nachweisführung nach dem Teilsicherheitskonzept gemäß KTA wird durch besondere Vorgaben sichergestellt, dass das gleiche Sicherheitsniveau erreicht wird, welches bei Anwendung der DIN 15018-1 erreicht werden würde. Diesem Sicherheitsniveau müssen auch die Prüflasten gerecht werden. Es ist deshalb erforderlich, die bisherigen Prüflasten beizubehalten und die geringeren Prüflasten, wie sie nach DIN EN 13001-2 zulässig wären, auszuschließen.

   ad) Gemäß KTA 3902 Abschnitt 6.5.3 (5) ist durch technische Maßnahmen sicherzustellen, dass mechanische Wegendbegrenzungen und Sicherheitswegbegrenzer nur mit der zulässigen Geschwindigkeit angefahren werden können. Deshalb brauchen bei Auslegung nach EN 13001 keine Zusatzanforderungen hinsichtlich der anzusetzenden Nenngeschwindigkeit beim Pufferstoß in KTA 3902 aufgenommen werden. Die Anforderungen

hinsichtlich negativer Radlasten wurden aus DIN 15018-1, Abschnitt 4.3.2, übernommen.

ae) Der nach DIN EN 13001-3-1, Abschnitt 5.2.2, für bestimmte Werkstoffe zulässige spezifische Widerstandsbeiwert γ_{sm} = 0,95 wird im Anwendungsbereich der KTA 3902 zur Erhaltung des bisherigen Sicherheitsniveaus der Krananlagen nicht zugelassen.

af) Der Lasteinleitungsfaktor bei zugbelasteten Schraubverbindungen wurde übereinstimmend mit dem Anhang G in DIN EN 13001-3-1 konservativ mit α_L = 1 festgelegt, da sich die Anwendbarkeit geringerer Werte in der Praxis nur schwer nachweisen lässt.

ag) Der spezifische Widerstandsbeiwert für die Ermüdungsfestigkeit γ_{mf} wurde für Bauteile, Schweißverbindungen und auch für Schraubverbindungen in Tragwerken gemäß Abschnitt 4.2, sofern diese nicht feuerverzinkt sind, gemäß DIN EN 13001-3-1, Tabelle 9, zu 1,25 festgelegt. Für Schraubverbindungen in Tragwerken gemäß Abschnitt 4.3 und 4.4 wurde γ_{mf} abweichend von Tabelle 9 der DIN EN 13001-3-1 zu 1,5 festgelegt, da ein Vergleich der zulässigen Spannungsamplituden nach VDI 2230 Blatt 1 unter Berücksichtigung der nach KTA 3902 erforderlichen Sicherheitsbeiwerte mit dem Wert γ_{mf} = 1,5 eine gute Übereinstimmung mit den halben Grenzwerten der zulässigen Schwingbreiten nach DIN EN 13001-3-1 ergab. Da in VDI 2230 Blatt 1 für feuerverzinkte Schrauben nur um 20 % abgesenkte Dauerfestigkeitsamplituden zulässig sind, wurden für diese Schrauben um 20 % erhöhte Widerstandsbeiwerte γ_{mf} festgelegt.

ah) Die Festlegungen für Einwirkungen von außen und die Sicherheit gegen die zulässige Schwingbreite entsprechen den bisher festgelegten Anforderungen.

b) Die Anwendung der Anhänge C und D (Wöhlerlinien, deren Verwendung bei genauer Kenntnis der Betriebsbedingungen zugelassen ist) wurde auf das Nachweisverfahren mit globalem Sicherheitsbeiwert beschränkt, weil

ba) die Angaben im Anhang C aus DIN 15018-1 abgeleitet und nicht ohne Weiteres auf die Nachweisführung nach dem Teilsicherheitskonzept übertragbar sind,

bb) die Angaben im Anhang D auf experimentellen Untersuchungen basieren, die im Auftrag des Ministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit an der Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM) durchgeführt wurden und die nur für die angegebenen Werkstoffe und Kerbfälle gemäß DIN 15018-1 gelten.

c) In B 1.2.1.2 (1) a) wurde die Formel B 1-6 zur Klarstellung auf die für drehende Bauteile benötigte Größe h_i (Einschaltdauer des Hubwerkes) umgestellt. h_i ist Eingangsgröße für Formel B 1-9. U_i (Zahl der Lastarbeitsspiele) ist üblicherweise eine bekannte Größe.

d) In B 1.2.3.1 (4) b) wurde der Bezug auf die Norm DIN 3962-2 beibehalten, obwohl sie 2018-03 zurückgezogen und durch die Norm DIN ISO 1328-1 ersetzt wurde. Eine Anpassung des Regeltextes an die neue Norm wurde nicht für erforderlich gehalten, weil

da) die Norm in Verbindung mit dem Berechnungsverfahren nach NIEMANN genannt wird, das heute zwar nicht mehr vorrangig angewendet wird, jedoch nach wie vor als bewährt gilt und im Hinblick auf Hebezeuge in bestehenden Kernkraftwerken beibehalten werden soll,

db) die Auslegung von Zahnrädern nach der gültigen Norm DIN 3990-11 ebenfalls zugelassen ist, so dass keine zwingende Notwendigkeit für eine Anpassung des Regeltextes an DIN ISO 1328-1 besteht.

e) In Gleichung B 1-31 (Gleichung B 1-25 in der Regelfassung 2012-11) wurde eine Fehlerkorrektur vorgenommen.

f) Es wurde diskutiert, ob die Festlegungen zum Nachweis der Ermüdungsfestigkeit von Schraubverbindungen im Abschnitt B 1.4.1.5 präzisiert werden müssen, weil die dem Nachweis zugrunde liegende VDI 2230 Blatt 1 keine Vorgaben für den Bereich von weniger als 10^4 Spannungsspielen enthält. Nach ausführlicher Erörterung des Sachverhalts wurde aus folgenden Gründen keine Änderung der Festlegungen im Abschnitt B 1.4.1.5 vorgenommen:

- Bei mehrfach angezogenen Schraubverbindungen können infolge der wiederholten Anziehvorgänge Spannungsamplituden auftreten, die den zulässigen Schwingfestigkeitswert bei $N_z = 10^4$ nach VDI 2230 Blatt 1 unter Beachtung der Sicherheiten der KTA 3902 überschreiten.
- Die in KTA 3902 festgelegten Anforderungen an die Bemessung von Schraubverbindungen (siehe Abschnitt B 1.4.1.5) und die gegenüber VDI 2230 Blatt 1 erhöhten Sicherheiten für den Nachweis der Ermüdungsfestigkeit führen zu einer sicherheitstechnisch unbedenklichen Auslegung der Schraubverbindungen, bei der die erforderliche Vorsorge gegen Schäden im Allgemeinen auch bei einer (geringen) Anzahl von Lastwechseln infolge von Demontage- und Remontagevorgängen sichergestellt ist.
- Die Erörterung des Sachverhalts ergab keine Hinweise auf sicherheitstechnische Defizite bei bestehenden Schraubverbindungen, die gemäß den Festlegungen in KTA 3902 ausgelegt wurden, aus denen sich ergäbe, dass die erforderliche Vorsorge gegen Schäden nicht sichergestellt wäre.

Für Sonderfälle der Schraubenauslegung wurde empfohlen, die Zulässigkeit der Extrapolation der Wöhlerlinie, gegebenenfalls unter Berücksichtigung von Sicherheiten in der Nachweisführung, zu überprüfen, sofern die Spannungsamplitude aus Anziehvorgängen den zulässigen Schwingfestigkeitswert bei $N_z = 10^4$ nach VDI 2230 Blatt 1 überschreitet.

g) In den Abschnitten B 3.1 und B 3.3 wurden Festlegungen aufgenommen, die eine Nachweisführung bei Auslegung nach der Normenreihe DIN EN 13001 ermöglichen.

h) In den Abschnitten B 3.2.1 (6) und (7) wurden einige der Klarstellung dienende Änderungen und Präzisierungen vorgenommen.

i) Die im Abschnitt B 3.2.1 (7) c) festgelegten Fließspannungswerte wurden so angepasst, dass sie bei ausschließlicher Bezugnahme auf $R_{p0,2}$ den in KTA 3201.2 festgelegten Werten entsprechen, wonach

- im Lastfall H der Wert $\sigma_F = 1{,}50 \cdot S_m$
- im Lastfall HZ der Wert $\sigma_F = 1{,}65 \cdot S_m$
- im Lastfall HS der Wert $\sigma_F = 1{,}80 \cdot S_m$

zu verwenden ist und die spezifizierte Belastung jeweils 67 % des Wertes der unteren Grenztraglast gemäß KTA 3201.2, Abschnitt 7.7.4.1, nicht überschritten werden darf.

j) B 3.3.1 (7) c) wurde an die Formulierung in KTA 3201.2 angepasst.

k) B 3.3.2 (2) wurde an die Formulierung an B 3.2.2 (2) angepasst.

(9) In den Anhängen C und D erfolgte lediglich eine redaktionelle Anpassung der Begriffe. Die Anwendung dieser Anhänge ist allerdings auf das Nachweisverfahren mit globalem Sicherheitsbeiwert beschränkt (siehe Erläuterung in (8) b)).

(10) Im Anhang E wurden folgende Änderungen vorgenommen:

a) Es wurde ein Abschnitt E 1 ergänzt um klarzustellen, dass die in Tabelle E-1 festgelegten Anforderungen unabhängig von der im Anwendungsbereich von DIN EN ISO 13849-1 genannten Anforderungsrate anzuwenden sind.

b) An allen Stellen der Tabelle E-1, an denen keine Performance Level angegeben sind, wurden zur Erläuterung Fußnoten ergänzt. Bei Lfd. Nr. 36 b) wurde klargestellt, dass bei Hebezeugen nach KTA 3902 Abschnitt 4.3 elektrisch gesteuerte Lastgreifer ohne mechanische Öffnungsverriegelung nicht zulässig sind.

(11) Der Anhang F „Bestimmungen und Literatur, auf die in dieser Regel verwiesen wird“ wurde an den aktuellen Stand der Normen angepasst.