

**Diese Fassung enthält die Berichtigung vom Mai 2013 (BAnz AT 02.05.2013 B2). Die Berichtigung ist als separates Dokument im „Regelprogramm“ verfügbar.**

## KTA 3902

### Auslegung von Hebezeugen in Kernkraftwerken

Fassung 2012-11

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)

#### Inhalt

	Seite		Seite
Grundlagen .....	2	7.3 Fahrwerke .....	12
1 Anwendungsbereich .....	2	7.4 Lastaufnahmeeinrichtungen .....	12
2 Begriffe .....	2	7.5 Elektrische Ausrüstung .....	13
3 Allgemeine Bestimmungen .....	2	8 Anforderungen an Brennelement-Wechselanlagen für Leichtwasserreaktoren.....	14
4 Besondere Bestimmungen .....	2	8.1 Tragwerke .....	14
4.1 Aufzüge in Reaktorsicherheitsbehältern .....	2	8.2 Hubwerke .....	14
4.2 Krane, Winden, Laufkatzen und Lastaufnahmeeinrichtungen mit zusätzlichen Anforderungen .....	2	8.3 Fahrwerke .....	15
4.3 Krane, Winden, Laufkatzen und Lastaufnahmeeinrichtungen mit erhöhten Anforderungen .....	3	8.4 Lastaufnahmeeinrichtungen .....	15
4.4 Brennelement-Wechselanlagen für Leichtwasserreaktoren.....	3	8.5 Elektrische Ausrüstung .....	16
4.5 Einwirkungen von außen (EVA).....	3	Anhang A: Beispiele für die Einstufung von Hebezeugen .....	17
4.6 Umgebungsbedingungen .....	3	Anhang B: Lastfälle und Nachweise für Hebezeuge .....	19
4.7 Ergonomische Anforderungen .....	3	Anhang C: Wöhlerlinien für den Betriebs- und Dauerfestigkeitsnachweis der Werkstoffe S235 und S355 nach DIN EN 10025-2 .....	35
5 Aufzüge in Reaktorsicherheitsbehältern .....	3	Anhang D: Allgemeiner Spannungsnachweis und Wöhlerlinien für die Betriebs- und Dauerfestigkeitsberechnung der Stähle 1.4541, 1.4306 und 1.4571 nach DIN EN 10088-2 oder DIN EN 10088-3.....	41
5.1 Allgemeines .....	3	Anhang E: Erforderliche Performance Level nach DIN EN ISO 13849-1 für Funktionen sicherheitsbezogener Teile von Steuerungen .....	48
5.2 Personen- und Lastenaufzüge.....	3	Anhang F: Bestimmungen und Literatur, auf die in dieser Regel verwiesen wird .....	56
5.3 Fahrschacht .....	3	Anhang G: Änderungen gegenüber der Fassung 1999-06 und Erläuterungen (informativ) .....	60
6 Zusätzliche Anforderungen an Krane, Winden, Laufkatzen und Lastaufnahmeeinrichtungen .....	5		
6.1 Tragwerke .....	5		
6.2 Hubwerke .....	5		
6.3 Fahrwerke .....	7		
6.4 Lastaufnahmeeinrichtungen .....	7		
6.5 Elektrische Ausrüstung .....	8		
7 Erhöhte Anforderungen an Krane, Winden, Laufkatzen und Lastaufnahmeeinrichtungen .....	11		
7.1 Tragwerke .....	11		
7.2 Hubwerke .....	11		

## Grundlagen

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

(2) Basierend auf den Sicherheitskriterien für Kernkraftwerke des Bundesministers des Innern 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) Betriebslast, maximale

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

(2) 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.

(3) Hublast

Die Hublast setzt sich zusammen aus der maximalen Montage- 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.

(4) Lastaufnahmeeinrichtung

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

(5) 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 Triebwerkskette mit Sicherheitsbremse eine zusätzliche Beanspruchung auf das Hebezeug wirkt.

(6) Maschinenteile

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

(7) 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 Anforderungen der allgemeinen Bestimmungen des Abschnittes 3 hinaus den zusätzlichen Anforderungen des Abschnittes 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 und das Nachweisverfahren nach KTA 3205.1 Abschnitt 7.

#### 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 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 Aufzugsrichtlinie 95/16/EG erfüllen und ein Sicherheitsniveau gemäß DIN EN 81-1 besitzen.

### 5.2 Personen- und Lastenaufzüge

Personen- und Lastenaufzüge 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 Traversen, Gehänge, Gestänge (verlängerbar, anpassbar, zusammenbaubar), Anschlagmittel, Lastanschlagpunkte	Konstruktiv	Abschließbare Steuereinrichtung	
		Visuelle Kontrolle	Farbkennzeichnung der Anschlüsse	Gut unterscheidbare Farben verwenden
			Schilder, sonstige Kennzeichnungen, Markierungen	Schilder müssen dauerhaft und gut lesbar sein Orientierungspfeile, KKS <sup>1)</sup> , 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, - Schiebolzen mit Führungsrohr und Kulisse, - federbelastete Sicherungsklappe,	Verriegelung unter Last immer wirksam Konsistentes Konstruktionsprinzip (Schiebolzen immer in gleiche Richtung)
Einhaltung Fahrbereiche	Krane, Brennelement-Wechselanlagen	Steuerungstechnisch	Bereichsgrenzen, betriebliche Fahrverriegelungen Elektrisch: Wegbegrenzer	lastabhängige Fahrbereichsverriegelung mit Zustandsanzeige an den Steuerstellen
Genauere Positionierung, Verhindern von Fehlpositionierungen, Fehl- absetzen/-beladungen	Krane	Visuelle Kontrolle	Markierungen/Positionierhilfen (Kamera, Laser- messung)	gut einsehbar und eindeutig
			Positionsangaben	z. B. x-y Koordinatenanzeige
	Brennelement-Wechselanlagen	Visuelle Kontrolle	Visualisierungssystem	Von 2 Personen einsehbar
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) Folgende Angaben sind zur Dimensionierung von Tragwerken zu machen:

- Montagelasten mit zugehörigen Lastarbeitsspielen für die vorgesehene Einsatzzeit,
- Betriebslasten mit zugehörigen Lastarbeitsspielen für die vorgesehene Einsatzzeit,
- Lasten aus Einwirkungen von außen entsprechend Abschnitt 4.5,
- Umgebungsbedingungen entsprechend Abschnitt 4.6.

(2) Die Einstufung der Tragwerke muss erfolgen

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

#### 6.1.2 Nachweise

(1) Die Nachweise sind gemäß **Anhang B** Abschnitt B 1.1 zu führen.

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

(3) Bei Verbindungen mit vorgespannten Schrauben, die nach ihrer Demontage wieder remontiert werden, gelten ergänzend zu (2) folgende Festlegungen:

- Ist gemäß (2) ein Betriebsfestigkeitsnachweis zu führen, sind dabei die Spannungsspiele aus Demontage- und Remontevorgängen mit zu berücksichtigen.
- Ist gemäß (2) kein Betriebsfestigkeitsnachweis erforderlich und werden maximal 10 Demontage- und Remontevorgänge durchgeführt, darf auf einen Betriebsfestigkeitsnachweis verzichtet werden.
- Bei mehr als 10 Demontage- und Remontevorgängen ist unabhängig von den Festlegungen in (2) ein Betriebsfestigkeitsnachweis zu führen. Dabei sind sowohl die Spannungsspiele aus betrieblichen Beanspruchungen als auch die aus Demontage- und Remontevorgängen zu berücksichtigen.

#### 6.1.3 Konstruktive Gestaltung und bauliche Anforderungen

(1) Für die konstruktive Gestaltung gilt DIN 15018-2.

**Hinweis:**

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

(2) Dynamisch beanspruchte Schweißnähte müssen den Anforderungen der Bewertungsgruppe B nach DIN EN ISO 5817 genügen. Schweißnähte mit vorwiegend ruhender Be-

anspruchung müssen den Anforderungen der Bewertungsgruppe C nach DIN EN ISO 5817 genügen.

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

### 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:

- Montagelasten mit zugehörigen Lastarbeitsspielen für die vorgesehene Einsatzzeit,
- Betriebslasten mit zugehörigen Lastarbeitsspielen für die vorgesehene Einsatzzeit,
- Eigenlasten der Lastaufnahme- und Tragmittel,
- Sonderlasten, wie z. B. Lasten aus Abnahmeprüfung, wiederkehrenden Prüfungen, aus Getriebeprobelauf, aus 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.

- Einschaltdauer des Hubwerkes mit Montagelast, Betriebslast und Eigenlast sowie mit zugehöriger mittlerer Hubgeschwindigkeit und mittlerem Hubweg,
- 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 das 1,1fache der maximalen Betriebslast einzustellen. Die Ansprechtoleranz darf  $\pm 5\%$  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.

**Hinweis:**

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 Volllaststunden. 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) Getriebegehäuse aus Gusseisen mit Lamellengraphit sind nicht zulässig, ausgenommen für Serienelektrozüge. Bei geschweißten Getriebegehäusen müssen die Schweißnähte den Anforderungen der Bewertungsgruppe C nach DIN EN ISO 5817 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  $1960 \text{ N/mm}^2$  die Triebwerksgruppe  $1E_m$  zugrunde gelegt werden,

b) für die maximale Betriebslast mindestens nach Triebwerksgruppe  $2m$  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  $2m$  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 Betriebszustände 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 x Seildurchmesser und der Seilbiegeradius am Seilkeil von 1,5 x 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 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 Fahrtriebs (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<sub>m</sub>,
- 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 Schraubenverbindungen 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 allgemeinen Spannungsnachweis als auch im Betriebs- oder Dauerfestigkeitsnachweis um einen Faktor 1,12 zu erhöhen.

##### 6.4.1.2 Nachweise

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

(2) Ein Betriebs- oder Dauerfestigkeitsnachweis ist nur zu führen

- a) für Stahlbauteile nach DIN 15018-1 ab einer Spannungsspielzahl  $N_{\sigma}$  größer als  $2 \times 10^4$ ,
- b) für nichtdrehende Maschinenteile und sonstige Bauteile bei mehr als 6000 Spannungsspielen.

Hinweis:

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 (3).

### 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 ist nicht erforderlich.

(4) Kommen Schraubenverbindungen 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 allgemeinen Spannungsnachweis als auch im Betriebs- oder Dauerfestigkeitsnachweis um einen Faktor 1,12 zu erhöhen.

#### 6.4.2.2 Nachweise

Es sind die Anforderungen des Abschnittes 6.4.1.2 zu erfüllen.

#### 6.4.2.3 Konstruktive Gestaltung und bauliche Anforderungen

(1) Es sind die Anforderungen des Abschnittes 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) Kettenanschlüsselemente 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 Abschnittes 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, Geschwindig-



keiten 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 62138 Abschnitt 6 eingehalten wurden.

(3) Bei der Realisierung der für den sicheren Betrieb der Hebezeuge nach KTA 3902 Abschnitt 4.2 erforderlichen Funktionen sind grundsätzlich die Anforderungen nach DIN EN ISO 13849-1 einzuhalten, wobei die Festlegung der Performance Level nach **Anhang E** Abschnitt E 1 zu erfolgen hat (abweichend von der in DIN EN ISO 13849-1 Abschnitt 4.3 festgelegten Vorgehensweise). 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.

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 IEC 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 das 1,1fache der maximalen Betriebslast einzustellen.

Die Ansprechtoleranz darf  $\pm 5\%$  nicht überschreiten.

Die Schaltschwelle ist bei der Inbetriebsetzung des Hebezeugs 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 (Bremslüfterfähigkeit) 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.

#### Hinweis:

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. 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.

(10) 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 Fahrwegbegrenzungen vorhanden sind,
- b) bei Hubwerken am oberen und unteren Hubwegsende.

(2) Bei Einsatz von elektronischen Wegmesssystemen muss die Funktion zur Justierung (Preset) dieser Systeme durch technische Maßnahmen (z. B. Schlüsselschalter) freigegeben werden. Redundante Wegmesssysteme sind konstruktiv so auszuführen und anzuordnen, dass ein gleichzeitiger mechanisch bedingter Geberausfall nicht eintreten kann.

(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 Wegbegrenzungen und Sicherheitswegbegrenzer nur mit der zulässigen Geschwindigkeit angefahren werden können. Maßnahmen zur Begrenzung und Überwachung der zulässigen Geschwindigkeit am Fahr- und Hubwege sind nicht erforderlich, sofern

- a) bei Fahrwerken
  - aa) die mechanische Wegbegrenzung für die Nenngeschwindigkeit ausgelegt ist
  - oder
  - ab) der Nachlaufweg nach dem Ansprechen des Sicherheitswegbegrenzers so bemessen ist, dass die mechanische Wegbegrenzung 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) Folgende Angaben sind zur Dimensionierung von Tragwerken zu machen:

- Montagelasten mit zugehörigen Lastarbeitsspielen für die vorgesehene Einsatzzeit,
- Betriebslasten mit zugehörigen Lastarbeitsspielen für die vorgesehene Einsatzzeit,
- Lasten aus Einwirkungen von außen entsprechend Abschnitt 4.5,
- Umgebungsbedingungen entsprechend Abschnitt 4.6.

(2) Die Einstufung der Tragwerke muss erfolgen

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

#### 7.1.2 Nachweise

(1) Die Nachweise sind gemäß **Anhang B** Abschnitt B 2.1 zu führen.

(2) Auf den Betriebsfestigkeitsnachweis kann verzichtet werden, wenn nachgewiesen wird, dass die Spannungsspiel-

zahl unter  $2 \times 10^4$  liegt. Die Ermittlung der Spannungsspielzahl hat nach Abschnitt B 1.2.1.2 zu erfolgen.

(3) Bei Verbindungen mit vorgespannten Schrauben, die nach ihrer Demontage wieder remontiert werden, gelten ergänzend zu (2) folgende Festlegungen:

- Ist gemäß (2) ein Betriebsfestigkeitsnachweis zu führen, sind dabei die Spannungsspiele aus Demontage- und Remontevorgängen mit zu berücksichtigen.
- Ist gemäß (2) kein Betriebsfestigkeitsnachweis erforderlich und werden maximal 10 Demontage- und Remontevorgänge durchgeführt, darf auf einen Betriebsfestigkeitsnachweis verzichtet werden.
- Bei mehr als 10 Demontage- und Remontevorgängen ist unabhängig von den Festlegungen in (2) ein Betriebsfestigkeitsnachweis zu führen. Dabei sind sowohl die Spannungsspiele aus betrieblichen Beanspruchungen als auch die aus Demontage- und Remontevorgängen 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:

- Montagelasten mit zugehörigen Lastarbeitsspielen für die vorgesehene Einsatzzeit,
- Betriebslasten mit zugehörigen Lastarbeitsspielen für die vorgesehene Einsatzzeit,
- Eigenlasten der Lastaufnahme- und Tragmittel,
- 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.

- Einschaltdauer des Hubwerkes mit Montagelast, Betriebslast und Eigenlast sowie mit zugehöriger mittlerer Hubgeschwindigkeit und mittlerem Hubweg,
- Einschaltdauer, mit der die Last nach Ausfall einer Triebwerkskette bei Ausführung des Hebezeugs mit doppelter Triebwerkskette bewegt werden soll,
- 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. Die Zulässigkeit größerer Anhaltewege ist im Einzelfall nachzuweisen.

**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 einschließlich der 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 Kerninstrumentierungslinzen 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 Triebwerkskette 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 Hublastbeiwertes für die Berechnung anzusetzen. Für den Lasthaken gilt Absatz 1.

(4) Kommen Schraubenverbindungen 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 allgemeinen Spannungsnachweis als auch im Betriebs- oder Dauerfestigkeitsnachweis 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) Ein Betriebs- oder Dauerfestigkeitsnachweis ist nur zu führen

- a) für Stahlbauteile nach DIN 15018-1 ab einer Spannungsspielzahl  $N_0$  größer als  $2 \times 10^4$ ,
- b) für nichtdrehende Maschinenteile und sonstige Bauteile bei mehr als 6000 Spannungsspielen.

##### Hinweis:

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 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 7.1.2 (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 Hublastbeiwertes für die Berechnung anzusetzen.

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

##### 7.4.2.2 Nachweise

Es sind die Anforderungen des Abschnittes 7.4.1.2 zu erfüllen.

##### 7.4.2.3 Konstruktive Gestaltung und bauliche Anforderungen

Es gelten die Anforderungen des Abschnittes 6.4.2.3.

##### 7.4.3 Anschlagmittel

Es gelten die Anforderungen des Abschnittes 6.4.3.

### 7.5 Elektrische Ausrüstung

Es sind die Anforderungen des Abschnittes 6.5 zu erfüllen. Bei der Realisierung der für den sicheren Betrieb der Hebezeuge nach Abschnitt 4.3 erforderlichen Funktionen sind die Anforderungen nach DIN EN ISO 13849-1 einzuhalten, wobei die Festlegung der Performance Level nach **Anhang E** Abschnitt E 1 zu erfolgen hat (abweichend von der in DIN EN ISO 13849-1 Abschnitt 4.3 festgelegten Vorgehensweise). Den typischen Funktionen sind in **Tabelle E-1** Performance Level zugeordnet. Abweichungen von diesen Auslegungsanforderungen sind im Einzelfall zu begründen.

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 § 49 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 § 49 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) 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.
- (2) Die Einstufung der Tragwerke hat 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.

#### 8.1.2 Nachweise

- (1) Die Nachweise sind gemäß **Anhang B** Abschnitt B 2.1 zu führen.
- (2) Auf den Betriebsfestigkeitsnachweis kann verzichtet werden, wenn nachgewiesen wird, dass die Spannungsspielzahl unter  $2 \times 10^4$  liegt. Die Ermittlung der Spannungsspielzahl hat nach Abschnitt B 1.2.1.2 zu erfolgen.
- (3) Bei Verbindungen mit vorgespannten Schrauben, die nach ihrer Demontage wieder remontiert werden, gelten ergänzend zu (2) folgende Festlegungen:
  - a) Ist gemäß (2) ein Betriebsfestigkeitsnachweis zu führen, sind dabei die Spannungsspiele aus Demontage- und Remontevorgängen mit zu berücksichtigen.
  - b) Ist gemäß (2) kein Betriebsfestigkeitsnachweis erforderlich und werden maximal 10 Demontage- und Remontevorgänge durchgeführt, darf auf einen Betriebsfestigkeitsnachweis verzichtet werden.
  - c) Bei mehr als 10 Demontage- und Remontevorgängen ist unabhängig von den Festlegungen in (2) ein Betriebs-

festigkeitsnachweis zu führen. Dabei sind sowohl die Spannungsspiele aus betrieblichen Beanspruchungen als auch die aus Demontage- und Remontevorgängen 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. Die Zulässigkeit größerer Anhaltewege ist im Einzelfall nachzuweisen.

#### 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 einschließlich der Bremsen, mit Ausnahme von Greifern und deren Hublastführungen, redundant auszuführen.
- (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 Schaffseilüberwachung und eine kontinuierliche Lastmeseinrichtung 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 Hublastbeiwertes für die Berechnung anzusetzen.

(3) Kommen Schraubenverbindungen 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 allgemeinen Spannungsnachweis als auch im Betriebs- oder Dauerfestigkeitsnachweis 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) Ein Betriebs- oder Dauerfestigkeitsnachweis ist nur zu führen

- a) für Stahlbauteile nach DIN 15018-1 ab einer Spannungsspielzahl  $N_r$  größer als  $2 \times 10^4$
- b) für nichtdrehende Maschinenteile und sonstige Bauteile bei mehr als 6000 Spannungsspielen.

##### Hinweis:

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 Verwendung von austenitischen Stählen.

#### 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. Bei der Realisierung der für den sicheren Betrieb der Hebezeuge nach Abschnitt 4.4 erforderlichen Funktionen sind die Anforderungen nach DIN EN ISO 13849-1 einzuhalten, wobei die Festlegung der Performance Level nach **Anhang E** Abschnitt E 1 zu erfolgen hat (abweichend von der in DIN EN ISO 13849-1 Abschnitt 4.3 festgelegten Vorgehensweise). Den typischen Funktionen sind in **Tabelle E-1** Performance Level zugeordnet. Abweichungen von diesen Auslegungsanforderungen sind im Einzelfall zu begründen.

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 Schlackseilüberwachung 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 (9) 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

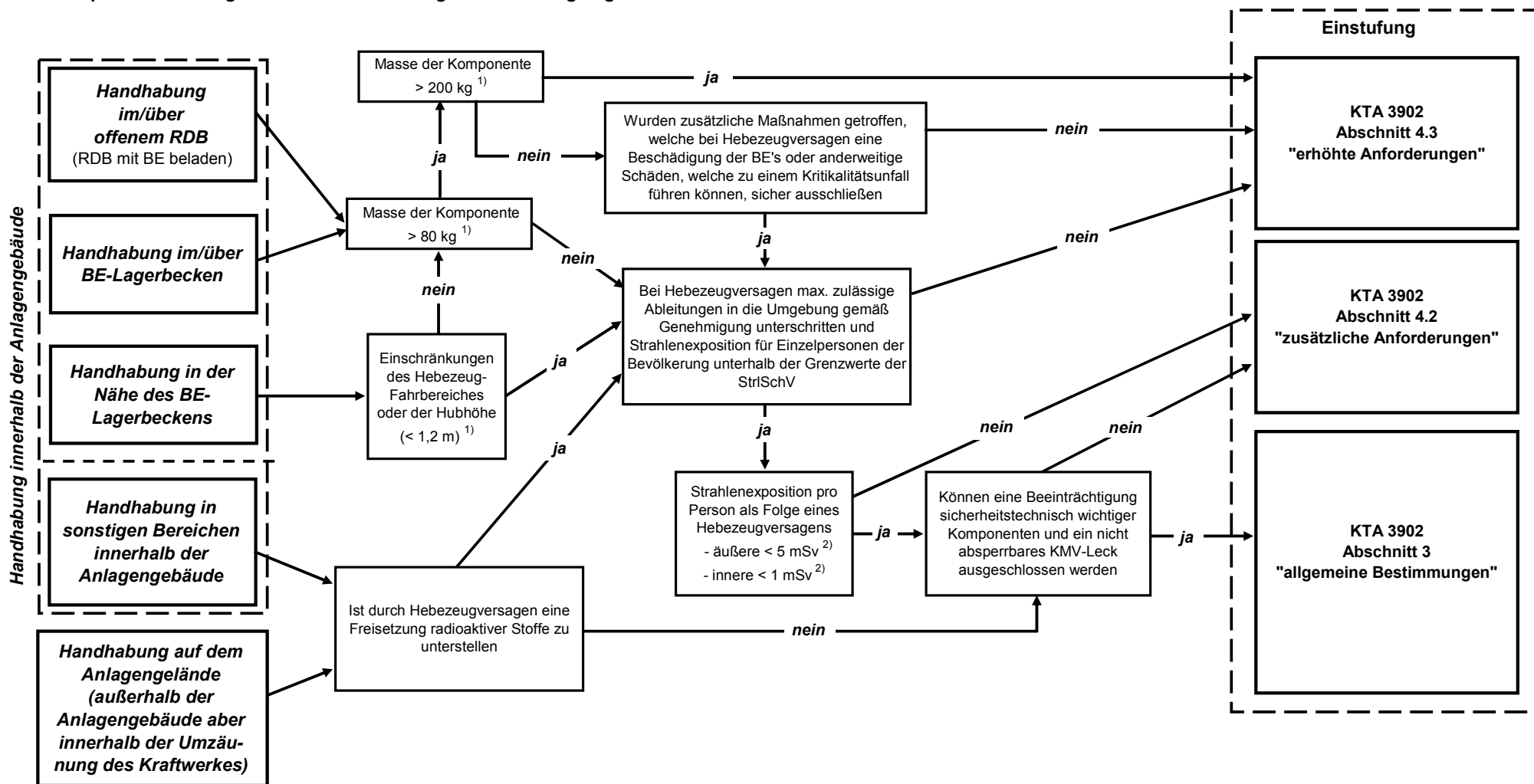
## A 1 Beispiele für die Einstufung von Hebezeugen in Druckwasserreaktor-Anlagen

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 <sub>2</sub> -Brennelemente	X	
10	Traverse für metallisches Kontaminationsschutzhemd	X	
11	Traverse für RDB-Einbauten: - Oberes Kerngerüst		X
	- Unterer 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 <sub>2</sub> -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
  - B 1.1 Tragwerke
  - B 1.2 Hubwerke
  - B 1.3 Fahrwerke
  - B 1.4 Lastaufnahmeeinrichtungen
- 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 2.2 Hubwerke
  - B 2.3 Fahrwerke
  - B 2.4 Lastaufnahmeeinrichtungen
- B 3 Nachweisführung bei Anwendung der Finite-Elemente-Methode
- B 4 Formelzeichen und Größen

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

##### B 1.1 Tragwerke

##### B 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) Bei genauer Kenntnis der Betriebsbedingungen, z. B. der tatsächlich auftretenden Belastungen und Spannungszuständen, 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.

Die Nachweisführung mit einem mehrstufigen Belastungskollektiv ist unter Berücksichtigung einer schädigungsäquivalenten Beanspruchung nach der Hypothese der linearen Schadensakkumulation (Miner-Regel) nach Formel (B 1-12) durchzuführen.

Folgende Sicherheit gegen die zulässige Oberspannung ist einzuhalten:

$$\bar{v} = \sigma_D / \bar{\sigma} \geq 1,12.$$

##### B 1.1.2 Nachweisführung

Nachweise dürfen entweder rechnerisch oder experimentell oder in Kombination rechnerisch und experimentell durchgeführt werden. Hierzu dürfen die in KTA 3201.2 Anhang B beschriebenen Rechenmethoden (z. B. Finite-Elemente-Methode) oder andere zu spezifizierende Verfahren verwendet werden. Bei Verwendung der Finite-Elemente-Methode sind die Anforderungen des Abschnitts B3 einzuhalten.

#### 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.

(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:

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

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:

$$\hat{T}_{BR} = T_L + T_R + \varphi_s \cdot (T_{Bre} - T_L - T_R) \cdot \frac{J_{ab}}{J_{ab} + J_{an}}, \quad (B 1-2)$$

mit  $\varphi_s = 2$

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 $\hat{T}_{BS}, \hat{T}_{BR}, \hat{T}_{AN}$ )	Betriebsfestigkeitsnachweis und statischer Nachweis 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	$T_{SO}$ $\hat{T}_{SO}$	aximales Moment im Sonderlastfall, wie z. B. aus Abnahmeprüfung, wiederkehrender Prüfung, Getriebeprobelauf, gleichzeitiges Einfallen der Betriebs- und Zusatzbremse Dynamisches Moment für Sonderlast $T_{SO}$	

**Tabelle B 1-1:** Momente

c) Anheben einer abgesetzten Last:

$$\hat{T}_{AN} = (T_L + T_R) \cdot \psi \quad (B 1-3)$$

Hinweis:

Der Hublastbeiwert  $\psi$  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 Betriebsfestigkeit oder Dauerfestigkeit sind die Spannungsspielzahlen wie folgt zu ermitteln:

a) für drehende Bauteile gilt:

$$U_i = \frac{h_i \cdot 3600}{s_i} \cdot \bar{V}_i \quad (B 1-4)$$

$$\hat{N}_{i\sigma} = U_i \cdot \frac{n_i}{60} \cdot \hat{t}_i \quad (B 1-5)$$

$$\hat{N}_{i\tau} = U_i \cdot Z_{Sch_i} \cdot \varepsilon \quad (B 1-6)$$

$$N_{i\sigma} = 60 \cdot n_i \cdot h_i - \hat{N}_{i\sigma} \quad (B 1-7)$$

$$N_{i\tau} = 0, \text{ da die Spannung nur statisch auftritt.} \quad (B 1-8)$$

b) für nicht drehende Bauteile gilt:

$$\hat{N}_{i\sigma} = U_i \cdot Z_{Sch_i} \cdot k_a \quad (B 1-9)$$

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

Es sind einzusetzen für:

$$\varepsilon = 10,$$

$$k_a = 3,$$

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

$$Z_{Sch_i} = 10 \text{ bei Hubwerken mit Feinhub und bei umrichterbetriebenen Antrieben,}$$

$$Z_{Sch_i} = 20 \text{ bei sonstigen Antrieben.}$$

(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 Betriebsfestigkeitsnachweis 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.

(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  $\sigma_x$  sowie  $N_D$  und  $\sigma_D$  zu bestimmen, wobei die Steigung nach folgender Gleichung zu ermitteln ist:

$$c = \tan \gamma = \frac{\log N_D - \log N_z}{\log \sigma_x - \log \sigma_D} \quad (B 1-11)$$

(3) Zum Nachweis der Betriebs- oder Dauerfestigkeit 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:  $\sigma_1 < \sigma_D$   
 $N_1 < N_D$

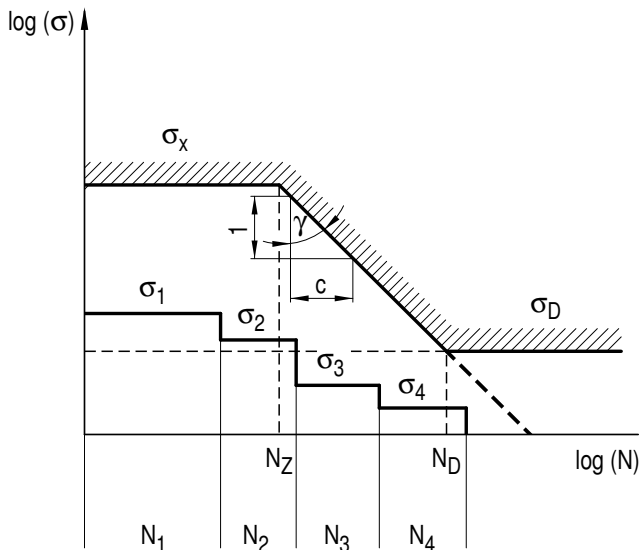
Über  $N_D$  hinausgehende Spannungsspielzahlen werden nicht berücksichtigt.  $\bar{\sigma}$  ist aus den Kollektivstufen bis  $N_D$  zu berechnen.

c) Fall C:  $\sigma_1 < \sigma_D$   
 $N_1 \geq N_D$

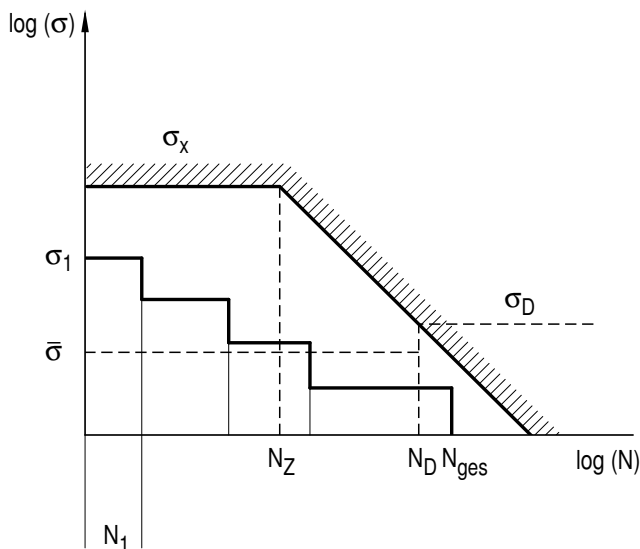
Dauerfestigkeitsberechnung mit  $\sigma_1$ .

(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:

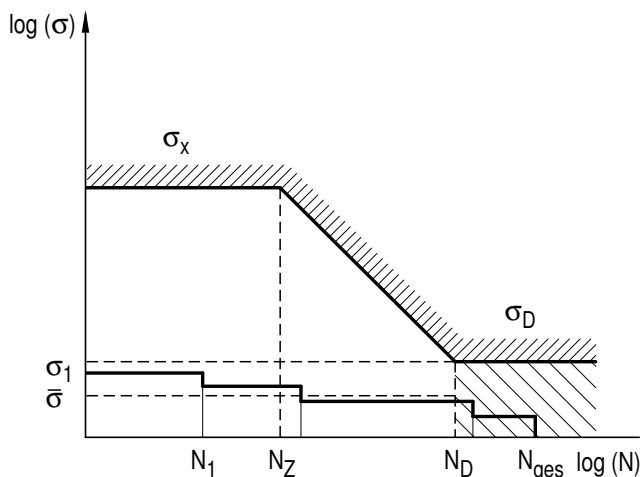
$$\bar{\sigma} = \sigma_1 \cdot \left[ \frac{\sum_i N_i (\sigma_i / \sigma_1)^c}{N_D} \right]^{1/c} \quad (B 1-12)$$



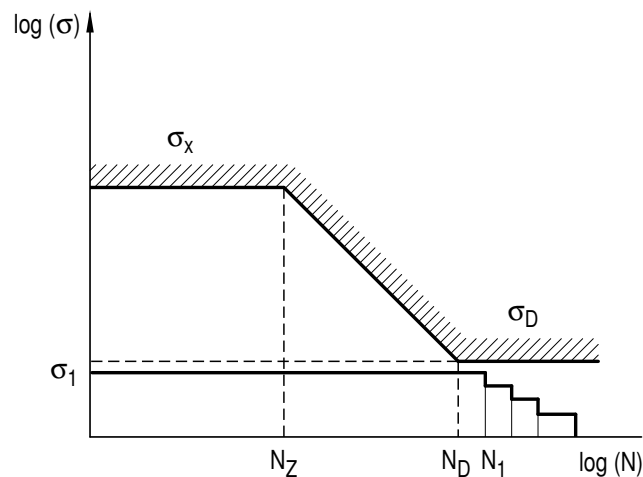
**Bild B 1-1:** Spannungskollektive



**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  $\sigma_D$  (Zug, Druck, Biegung, Torsion) bei  $5 \times 10^6$  Spannungsspielen ( $N_D$ ) und für  $\sigma_x$  durch den Wert der Streckgrenze je nach Beanspruchung bei  $1 \times 10^4$  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  $0,7 \times R_m$  begrenzten Zugfestigkeit zu verwenden.

Bei einer Nachweisführung unter Verwendung von [7] darf für Wellen, Achsen und ähnliche Bauteile in Lastaufnahme-einrichtungen die Lage der Wöhlerlinie im Zeitfestigkeitsbereich entsprechend [7] mit den Stützpunkten  $\sigma_D$  (Dauerfestigkeit je nach Beanspruchung) bei  $5 \times 10^6$  Spannungsspielen ( $N_D$ ) und  $\sigma_x = R_m$  bei  $5 \times 10^3$  Spannungsspielen ( $N_Z$ ) bestimmt werden. Die unter a) und b) beschriebenen Begrenzungen für  $\sigma_x$  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 Betriebsfestigkeitsnachweis mit den Parametern aus der **Tabelle B 1-2** zu bestimmen.

Lfd. Nr.	Beanspruchungsverhältnis R	Parameter der Wöhlerlinie im doppeltlogarithmischen Koordinatensystem		
		Spannungskoordinate des Knickpunktes $S_D (\sigma_D)$ in N/mm <sup>2</sup>	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  $\sigma_D$  und  $\tau_D$  sind wie folgt zu bestimmen:

$$\sigma_D = \frac{\sigma_n}{K_n}, \tau_D = \frac{\tau_t}{K_t}, \text{ wobei } \tau_t = \frac{\sigma_n}{\sqrt{3}} \text{ ist} \quad (\text{B 1-13})$$

(Schubspannungen aus Querkräften sind gegebenenfalls zu berücksichtigen)

(3) Werkstoffkennwerte, Kerbwirkungszahl, Rauigkeitsfaktor, 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  $\sigma_D$  der Wert der Bauteil-Dauerfestigkeit nach DIN 743-1 sowie
- b) als Streckgrenze  $\sigma_X$  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 <sup>1)</sup>	Erste Stufe des Kollektivs	$v_{\sigma_1} = \sigma_X / (\sigma_1 \cdot \alpha_{k_n})$	$\geq 1,25$
		$v_{\tau_1} = \tau_{S_t} / (\tau_1 \cdot \alpha_{k_t})$	$\geq 1,25$
Betriebsfestigkeit	Kollektiv Fall A oder B	$\bar{v}_\sigma = \sigma_D / \bar{\sigma}$	$\geq 2,0$
		$\bar{v}_\tau = \tau_D / \bar{\tau}$	$\geq 2,0$
		$\left(\frac{\bar{\sigma}_n}{\sigma_D}\right)^2 + \left(\frac{\bar{\tau}_t}{\tau_D}\right)^2 \leq \left(\frac{1,0}{v}\right)^2$	$\geq 2,0$
Dauerfestigkeit	Erste Kollektivstufe Fall C	$v_\sigma = \sigma_D / \sigma_1$	$\geq 2,0$
		$v_\tau = \tau_D / \tau_1$	$\geq 2,0$
		$\left(\frac{\sigma_1}{\sigma_D}\right)^2 + \left(\frac{\tau_1}{\tau_D}\right)^2 \leq \left(\frac{1,0}{v}\right)^2$	$\geq 2,0$

<sup>1)</sup> Gilt nur für Hubwerke; für nichtdrehende Bauteile entfallen die Formzahlen und die erforderliche Sicherheit wird  $\geq 1,5$ , wobei für  $\sigma_X$   $R_{eH}$  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:

$$p_{zul} = 0,4 \cdot R_{p0,2} (R_{eH})$$

und bei zwei Passfedern:

$$p_{zul} = 0,3 \cdot R_{p0,2} (R_{eH})$$

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

$$p_{zul} = 0,5 \cdot R_{p0,2} (R_{eH})$$

und bei zwei Passfedern:

$$p_{zul} = 0,4 \cdot R_{p0,2} (R_{eH})$$

(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 Dicker [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  $\sigma_F$  und die Flankenpressung  $\sigma_H$  für jede Spannungsstufe zu bestimmen, sofern sie für die Betriebs- und Dauerfestigkeit 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  $\sigma_W$  und die wirksame Flächenpressung  $k_{WW}$  unter Beachtung der nachfolgenden Ergänzungen zum Tragfehlerbeiwert  $C_T$  für jede Spannungsstufe zu errechnen, sofern sie für die Betriebs- oder Dauerfestigkeit 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  $\sigma_D$  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  $\sigma_D$  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 Rauigkeitsfaktor  $y_R$  zu berücksichtigen ist.

$$k_D = y_G \cdot y_H \cdot y_S \cdot y_V \cdot y_R \cdot k_0 \quad (\text{B1-14})$$

ab) Die Zeitfestigkeitsgerade ist durch die Spannungsspielzahl  $N_Z$  und für  $\sigma_X$  der Wert der zugehörigen maximalen Zeitfestigkeit  $\max \sigma_Z$  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  $\max \sigma_Z$  oder  $\max k_Z$ . Die Größe von  $\max \sigma_Z$  ergibt sich aus:

$$\max \sigma_Z = y_\sigma \cdot \sigma_D \quad (\text{B 1-15})$$

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

$$\max k_Z = y_K \cdot y_G \cdot y_H \cdot k_0 \quad (\text{B 1-16})$$

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  $y_\sigma$  und  $y_K$  Lebensdauerfaktoren darstellen.

ae) Die Werkstoffkennwerte  $\sigma_0$  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 Werkstoffkennwerte nachgewiesen und gewährleistet werden.

b) Der Rauigkeitsfaktor  $y_R$  ist aus der Gleichung zu bestimmen:

$$y_R = Z_R^2 \quad (\text{B 1-17})$$

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  $\rho_{red} = 10$  mm.

Die gemittelte Rautiefe  $R_z$  ist nach Gleichung (B 1-18) zu bestimmen. Die ermittelten Rautiefen des Ritzels  $R_{z1}$  und

des Rades  $R_{z2}$  sind Mittelwerte der an mehreren Zahnflanken gemessenen Rautiefenwerte  $R_1$ .

$$R_z = \frac{R_{z1} + R_{z2}}{2} \quad (\text{B 1-18})$$

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 Rauigkeit als  $R_a$ -Wert gegeben ist, darf die folgende Näherungsgleichung verwendet werden:

$$R_a \approx \frac{R_z}{6} \quad (\text{B 1-19})$$

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

$$R_{z100} = \frac{R_{z1} + R_{z2}}{2} \cdot \left(\frac{100}{a}\right)^{1/3} \quad (\text{B 1-20})$$

Hinweis:

Ergebnisse liegen für  $\rho_{red}$  von 7 bis 10 mm vor. Da  $\rho_{red}$  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]

$$c_{\text{korrigiert}} = c \cdot \sqrt{\frac{0,825 \cdot 0,455}{k \cdot f}} \quad (\text{B 1-21})$$

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:

$$\frac{S_{\max}}{h \cdot s} < \frac{R_{p0,2}}{v} \quad (\text{B 1-22})$$

mit der Sicherheit  $v \geq 1,5$ .

(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 1-23) nachgewiesen werden:

$$p_{\max H} = 0,418 \cdot \sqrt{\frac{R_{\max} \cdot 2,1 \cdot 10^5}{\frac{d}{2} \cdot (k - 2 \cdot r_1)}} \leq 1,85 \cdot R_m \quad (\text{B 1-23})$$

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, Rauigkeitsfaktor, 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.

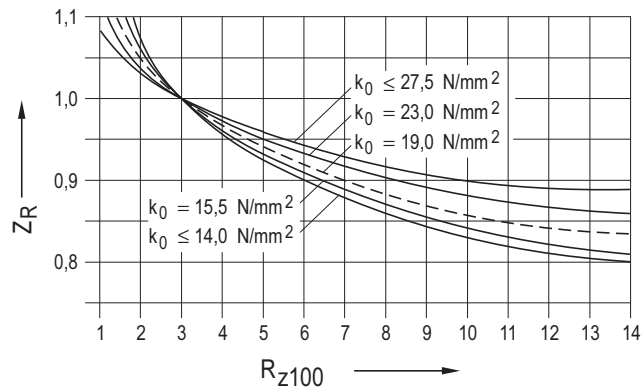
Werkstoffart und Behandlung	Bezeichnung und Wärmebehandlungsdurchmesser d in mm		Zugfestigkeit R <sub>m</sub> in N/mm <sup>2</sup> (in der Zeichnung angegeben)	Härte (HRC oder HV)	Mindesthärte HV	Dauerfestigkeit							
						σ <sub>FE</sub> in N/mm <sup>2</sup>	σ <sub>H lim</sub> in N/mm <sup>2</sup>						
Vergüteter Stahl	C 45 E+QT (W.-Nr. 1.1191)	16 < d ≤ 40	650 ≤ R <sub>m</sub> ≤ 800	—	215	460	590						
		40 < d ≤ 100	630 ≤ R <sub>m</sub> ≤ 780										
		100 < d ≤ 250	590 ≤ R <sub>m</sub> ≤ 740										
	42 CrMo 4 +QT (W.-Nr. 1.7225)	16 < d ≤ 40	1000 ≤ R <sub>m</sub> ≤ 1200					300	570	600			
		40 < d ≤ 100	900 ≤ R <sub>m</sub> ≤ 1100										
		100 < d ≤ 160	800 ≤ R <sub>m</sub> ≤ 950										
		160 < d ≤ 250	750 ≤ R <sub>m</sub> ≤ 900										
	30 CrNiMo 8 +QT (W.-Nr. 1.6580)	16 < d ≤ 40	1250 ≤ R <sub>m</sub> ≤ 1450								350	690	715
		40 < d ≤ 100	1100 ≤ R <sub>m</sub> ≤ 1300										
		100 < d ≤ 160	1000 ≤ R <sub>m</sub> ≤ 1200										
		160 < d ≤ 250	900 ≤ R <sub>m</sub> ≤ 1100										
		250 < d ≤ 500	850 ≤ R <sub>m</sub> ≤ 1000										
Einsatzgehärteter Stahl	16 MnCr 5 HH BG (W.-Nr. 1.7131)	650 ≤ R <sub>m</sub> ≤ 950 <sup>3)</sup>	HRC 58 ± 2	720	860	1470							
	20 MnCr 5 HH BG (W.-Nr. 1.7147)	800 ≤ R <sub>m</sub> ≤ 1100 <sup>3)</sup>											
	18CrNiMo7-6+HH+FP (W.-Nr. 1.6587)	950 ≤ R <sub>m</sub> ≤ 1250 <sup>3)</sup>											
	18 CrNi 8 HH BG (W.-Nr. 1.5920)	1080 ≤ R <sub>m</sub> ≤ 1330 <sup>3)</sup>											
Flammumlaufgehärteter Stahl	C 45 E+N (W.-Nr. 1.1191)	d ≤ 16	R <sub>m</sub> ≥ 620	HRC 53 ± 2	530	500	1035						
		16 < d ≤ 100	R <sub>m</sub> ≥ 580										
		100 < d ≤ 250	R <sub>m</sub> ≥ 560										
	42 CrMo 4 +QT (W.-Nr. 1.7225)	16 < d ≤ 40	1000 ≤ R <sub>m</sub> ≤ 1200					530	600	1120			
		40 < d ≤ 100	900 ≤ R <sub>m</sub> ≤ 1100										
		100 < d ≤ 160	800 ≤ R <sub>m</sub> ≤ 950										
		160 < d ≤ 250	750 ≤ R <sub>m</sub> ≤ 900										
Induktionsgehärteter Stahl	C 45 E+N (W.-Nr. 1.1191)	d ≤ 16	R <sub>m</sub> ≥ 620	HRC 53 ± 2	560	460 <sup>1)</sup> 285 <sup>2)</sup>	1035						
		16 < d ≤ 100	R <sub>m</sub> ≥ 580										
		100 < d ≤ 250	R <sub>m</sub> ≥ 560										
	42 CrMo 4 +QT (W.-Nr. 1.7225)	16 < d ≤ 40	1000 ≤ R <sub>m</sub> ≤ 1200					610	605 <sup>1)</sup> 375 <sup>2)</sup>	1120			
		40 < d ≤ 100	900 ≤ R <sub>m</sub> ≤ 1100										
		100 < d ≤ 160	800 ≤ R <sub>m</sub> ≤ 950										
		160 < d ≤ 250	750 ≤ R <sub>m</sub> ≤ 900										
Gasnitrierter Stahl (langzeitnitriert)	42 CrMo 4 +QT (W.-Nr. 1.7225)	16 < d ≤ 40	1000 ≤ R <sub>m</sub> ≤ 1200	560 ≤ HV ≤ 620	560	625	1070						
		40 < d ≤ 100	900 ≤ R <sub>m</sub> ≤ 1100										
		100 < d ≤ 160	800 ≤ R <sub>m</sub> ≤ 950										
		160 < d ≤ 250	750 ≤ R <sub>m</sub> ≤ 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	Zahnfußtragfähigkeit			Zahnflankentragfähigkeit		
	N <sub>D</sub>	N <sub>Z</sub>	y <sub>σ</sub>	N <sub>D</sub>	N <sub>Z</sub>	y <sub>K</sub>
Vergüteter Stahl	3·10 <sup>6</sup>	10 <sup>4</sup>	2,5	5·10 <sup>7</sup>	10 <sup>5</sup>	2,56
Einsatzgehärteter, induktiv gehärteter oder umlaufgehärteter Stahl	3·10 <sup>6</sup>	10 <sup>3</sup>	2,5	5·10 <sup>7</sup>	10 <sup>5</sup>	2,56
Gasnitrierter Stahl	3·10 <sup>6</sup>	10 <sup>3</sup>	1,6	2·10 <sup>6</sup>	10 <sup>5</sup>	1,69



**Bild B 1-5:** Abhängigkeit des Faktors Z<sub>R</sub> von der gemittelten relativen Rauttiefe R<sub>Z100</sub>

**Tabelle B 1-5:** Werte zur Festlegung der Belastbarkeitslinie

Werkstoffart und Behandlung	Bezeichnung und Wärmebehandlungsdurchmesser d in mm	Zugfestigkeit R <sub>m</sub> in N/mm <sup>2</sup> (in der Zeichnung angegeben)	Härte (HRC oder HV)	Mindesthärte HV	Dauerfestigkeit		
					k <sub>0</sub> in N/mm <sup>2</sup>	σ <sub>0</sub> in N/mm <sup>2</sup>	
Vergüteter Stahl	C 45 E+QT (W.-Nr. 1.1191)	16 < d ≤ 40	650 ≤ R <sub>m</sub> ≤ 800	—	215	4,2	235
		40 < d ≤ 100	630 ≤ R <sub>m</sub> ≤ 780		205	4,0	230
		100 < d ≤ 250	590 ≤ R <sub>m</sub> ≤ 740		190	3,5	220
	42 CrMo 4+QT (W.-Nr. 1.7225)	16 < d ≤ 40	1000 ≤ R <sub>m</sub> ≤ 1200		300	9,0	320
		40 < d ≤ 100	900 ≤ R <sub>m</sub> ≤ 1100		270	8,5	310
		100 < d ≤ 160	800 ≤ R <sub>m</sub> ≤ 950		240	7,8	300
		160 < d ≤ 250	750 ≤ R <sub>m</sub> ≤ 900		225	7,3	290
	30 CrNiMo 8+QT (W.-Nr. 1.6580)	16 < d ≤ 40	1250 ≤ R <sub>m</sub> ≤ 1450		350	13,0	390
		40 < d ≤ 100	1100 ≤ R <sub>m</sub> ≤ 1300		310	12,0	370
		100 < d ≤ 160	1000 ≤ R <sub>m</sub> ≤ 1200		280	11,1	350
		160 < d ≤ 250	900 ≤ R <sub>m</sub> ≤ 1100		250	10,0	340
		250 < d ≤ 500	850 ≤ R <sub>m</sub> ≤ 1000		235	9,5	320
Einsatzgehärteter Stahl	16 MnCr 5 HH BG (W.-Nr. 1.7131)	650 ≤ R <sub>m</sub> ≤ 950 <sup>3)</sup>	HRC 58 ± 2	720	50	420	
	20 MnCr 5 HH BG (W.-Nr. 1.7147)	800 ≤ R <sub>m</sub> ≤ 1100 <sup>3)</sup>		720	50	420	
	18CrNiMo7-6+HH+FP (W.-Nr. 1.6587)	950 ≤ R <sub>m</sub> ≤ 1250 <sup>3)</sup>		740	50	470	
	18 CrNi 8 HH BG (W.-Nr. 1.5920)	1080 ≤ R <sub>m</sub> ≤ 1330 <sup>3)</sup>		740	50	470	
Flammumlaufgehärteter Stahl	C 45 E+N (W.-Nr. 1.1191)	d ≤ 16	R <sub>m</sub> ≥ 620	HRC 53 ± 2	530	23	284
		16 < d ≤ 100	R <sub>m</sub> ≥ 580				
		100 < d ≤ 250	R <sub>m</sub> ≥ 560				
	42 CrMo 4 +QT (W.-Nr. 1.7225)	16 < d ≤ 40	1000 ≤ R <sub>m</sub> ≤ 1200		560	27	340
		40 < d ≤ 100	900 ≤ R <sub>m</sub> ≤ 1100				
		100 < d ≤ 160	800 ≤ R <sub>m</sub> ≤ 950				
Induktionsgehärteter Stahl	C 45 E+N (W.-Nr. 1.1191)	d ≤ 16	R <sub>m</sub> ≥ 620	HRC 53 ± 2	560	23	260 <sup>1)</sup> 160 <sup>2)</sup>
		16 < d ≤ 100	R <sub>m</sub> ≥ 580				
		100 < d ≤ 250	R <sub>m</sub> ≥ 560				
	42 CrMo 4 +QT (W.-Nr. 1.7225)	16 < d ≤ 40	1000 ≤ R <sub>m</sub> ≤ 1200		610	27	340 <sup>1)</sup> 210 <sup>2)</sup>
		40 < d ≤ 100	900 ≤ R <sub>m</sub> ≤ 1100				
		100 < d ≤ 160	800 ≤ R <sub>m</sub> ≤ 950				
		160 < d ≤ 250	750 ≤ R <sub>m</sub> ≤ 900				
		750 ≤ R <sub>m</sub> ≤ 900					
Gasnitrierter Stahl (langzeitnitriert)	42 CrMo 4 +QT (W.-Nr. 1.7225)	16 < d ≤ 40	1000 ≤ R <sub>m</sub> ≤ 1200	560 ≤ HV ≤ 620	560	27	350
		40 < d ≤ 100	900 ≤ R <sub>m</sub> ≤ 1100				
		100 < d ≤ 160	800 ≤ R <sub>m</sub> ≤ 950				
		160 < d ≤ 250	750 ≤ R <sub>m</sub> ≤ 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	$\sigma_{F_{\min}} = \max \frac{\sigma_{FG}}{\sigma_{F_1}}$	$\geq 1,40$
		$S_{H_{\min_1}} = \max \frac{\sigma_{HG}}{\sigma_{H_1}}$ Nur nachzuweisen, wenn $N_{\text{ges}} < N_Z$ ist	$\geq 1,12$
Betriebsfestigkeit	Kollektiv Fall A oder B	$\bar{\sigma}_{F_{\min}} = \frac{\sigma_{FG}}{\sigma_F}$	$\geq 1,57$
		$\bar{S}_{H_{\min}} = \frac{\sigma_{HG}}{\sigma_H}$	$\geq 1,12$
Dauerfestigkeit	erste Kollektivstufe Fall C	$\bar{\sigma}_{F_{\min}} = \frac{\sigma_{FG}}{\sigma_{F_1}}$	$\geq 1,57$
		$\bar{S}_{H_{\min}} = \frac{\sigma_{HG}}{\sigma_{H_1}}$	$\geq 1,12$

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	$v_{\sigma_1} = \max \frac{\sigma_Z}{\sigma_1}$	$\geq 1,35$
		$v_{k_1} = \max \frac{k_Z}{k_1}$ Nur nachzuweisen, wenn $N_{\text{ges}} < N_Z$ ist	$\geq 1,25$
Betriebsfestigkeit	Kollektiv Fall A oder B	$\bar{v}_{\sigma} = \frac{\sigma_D}{\sigma}$	$\geq 2,0$
		$\bar{v}_k = \frac{k_D}{k}$	$\geq 1,3$
Dauerfestigkeit	erste Kollektivstufe Fall C	$\bar{v}_{\sigma} = \frac{\sigma_D}{\sigma_1}$	$\geq 2,0$
		$\bar{v}_k = \frac{k_D}{k_1}$	$\geq 1,3$

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 Lasthaken traverse 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 Schraubenverbindungen

(1) Der allgemeine Spannungsnachweis ist für Schraubenverbindungen mit zusätzlicher Zugbeanspruchung nach VDI 2230 Blatt 1 zu führen. Hierbei sind folgende Anforderungen einzuhalten:

- Der Ausnutzungsgrad der Streckgrenzenspannung beim Anziehen ist auf 0,7 zu begrenzen,
- der Ausnutzungsgrad der Streckgrenzenspannung infolge betriebsbedingter Schraubenzusatzkräfte ist auf 0,1 zu begrenzen.

(2) Der Betriebsfestigkeitsnachweis 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 Remontevorgängen) 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:

$$\bar{\sigma} = \sigma_1 \cdot \left[ \frac{\sum_i N_i \cdot \left( \frac{\sigma_i}{\sigma_1} \right)^c}{N_D} \right]^{\frac{1}{c}} \quad (\text{B 1-24})$$

Dabei ist einzusetzen:

$$N_D = 2 \cdot 10^6$$

$$c = 3$$

Es bedeuten:

- $\sigma_1$  vorhandene Spannungsamplitude der 1. Kollektivstufe (maximale Spannung)
- $\sigma_i$  vorhandene Spannungsamplitude der jeweiligen Kollektivstufe
- $N_i$  vorhandene Spannungsspielzahl der jeweiligen Kollektivstufe

Es ist nachzuweisen:

$$\frac{\bar{\sigma}}{\sigma_{ASV}} \leq 2,0 \quad (\text{B 1-25})$$

Es bedeutet:

$\sigma_{ASV}$  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  $\sigma_{ASG}$  (Spannungsamplitude der Dauerhaltbarkeit schlussgerollter Schrauben gemäß VDI 2230 Blatt 1) statt  $\sigma_{ASV}$  und  $c=6$  in analoger Weise ermittelt werden.

#### B 1.4.2 Lastaufnahmemittel

Für Lastaufnahmemittel gelten die Festlegungen des Abschnittes 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 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) Es gelten die Festlegungen des Abschnittes B 1.1.1 (2), wobei folgende Sicherheit gegen die zulässige Oberspannung einzuhalten ist:

$$\bar{v} = \sigma_D / \bar{\sigma} \geq 1,25.$$

##### B 2.1.2 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 2.1.3 Nachweisführung

Nachweise dürfen sowohl rechnerisch oder experimentell oder in Kombination rechnerisch und experimentell durchgeführt werden. Hierzu dürfen die in KTA 3201.2 Anhang B beschriebenen Rechenmethoden (z. B. Finite-Elemente-Methode) oder andere zu spezifizierende Verfahren verwendet werden. Bei Verwendung der Finite-Elemente-Methode sind die Anforderungen des Abschnitts B3 einzuhalten.

#### 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  $T_M$ ,  $\hat{T}_B$ ,  $\hat{T}_O$ ,  $\hat{T}_{SO}$  und  $\hat{T}_{BS1}$  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  $\hat{T}_{BS1}$  ist aus der Lastumlagerungsanalyse mit maximaler Betriebslast zu ermitteln.

Zur Ermittlung von  $\hat{T}_{BAS2}$  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 1,25-fache des Hublastbeiwertes für die Berechnung dieser Bauteile anzusetzen.

###### B 2.2.1.2 Ermittlung der Spannungsspielzahl

Für den Nachweis der Betriebsfestigkeit oder der Dauerfestigkeit 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.

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 $\hat{T}_{BS}, \hat{T}_{BR}, \hat{T}_{AN}$ )	Betriebsfestigkeitsnachweis und statischer Nachweis 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	$T_{BS1}$ $\hat{T}_{BS1}$	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 $\hat{T}_{BS}, \hat{T}_{BR}, \hat{T}_{AN}$ )	Statischer Nachweis
6	$\hat{T}_{BAS1}$	Dynamisches Moment aus der Lastumlagerung mit Betriebslast innerhalb einer Triebwerkskette	

**Tabelle B 2-1:** Momente für doppelte Triebwerkskette

**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

$$p_{zul} = 0,9 \cdot R_{p0,2} (R_{eH})$$

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.

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 $\hat{T}_{BS}, \hat{T}_{BR}, \hat{T}_{AN}$ )	Betriebsfestigkeitsnachweis und statischer Nachweis 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	$\hat{T}_{BAS2}$	Dynamisches Moment aus der Schwingwirkung der Sicherheitsbremse für den hier maßgebenden Betriebslastfall	Statischer Nachweis
6	$\hat{T}_{BAS1}$	Dynamisches Moment aus der Lastumlagerung mit Betriebslast innerhalb einer Triebwerkskette	

**Tabelle B 2-2:** Momente für Triebwerkskette mit Sicherheitsbremse

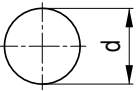
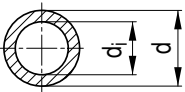
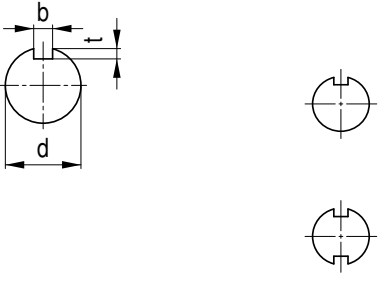
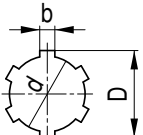
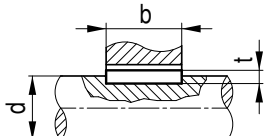
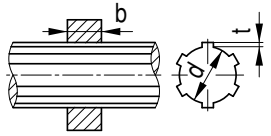
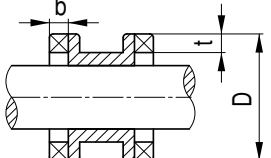
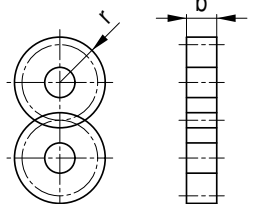
Skizze	Formel
<p>1. Welle</p> 	$NG = \frac{32 \cdot l}{G \cdot \pi \cdot d^4}$ <p>G : Gleitmodul l : Wellenlänge</p>
<p>2. Hülse</p> 	$NG = \frac{32 \cdot l}{G \cdot \pi \cdot d^4 \cdot \left[1 - (d_1 / d)^4\right]}$
<p>3. Welle mit Passfedernut</p> 	$NG = \frac{32 \cdot l}{G \cdot \pi \cdot d^4} \cdot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

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 <sup>1)</sup>	$v_{\sigma_1} = \sigma_x / (\sigma_1 \cdot \alpha_{k_n})$	$\geq 1,35$
		$v_{\tau_1} = \tau_{S_t} / (\tau_1 \cdot \alpha_{k_t})$	
	Ausfall eines Bauteils bei doppelter Triebwerkskette <sup>2)</sup>	$v_{BAS1\sigma} = \sigma_x / (\hat{\sigma}_{BAS1} \cdot \alpha_{k_n})$	
		$v_{BAS1\tau} = \tau_{S_t} / (\hat{\tau}_{BAS1} \cdot \alpha_{k_t})$	
		$v_{BAS1\sigma_V} = \sigma_x / \hat{\sigma}_{V_{BAS1}}$	
	Ausfall eines Bauteils bei einer Triebwerkskette mit Sicherheitsbremse <sup>2)</sup>	$v_{BAS1\sigma} = \sigma_x / (\hat{\sigma}_{BAS1} \cdot \alpha_{k_n})$	
		$v_{BAS1\tau} = \tau_{S_t} / (\hat{\tau}_{BAS1} \cdot \alpha_{k_t})$	
		$v_{BAS1\sigma_V} = \sigma_x / \hat{\sigma}_{V_{BAS1}}$	
		$v_{BAS2\sigma} = \sigma_x / (\hat{\sigma}_{BAS2} \cdot \alpha_{k_n})$	
		$v_{BAS2\tau} = \tau_{S_t} / (\hat{\tau}_{BAS2} \cdot \alpha_{k_t})$	
		$v_{BAS2\sigma_V} = \sigma_x / \hat{\sigma}_{V_{BAS2}}$	
Betriebsfestigkeit	Kollektiv Fall A oder B	$\bar{v}_\sigma = \sigma_D / \bar{\sigma}$	$\geq 2,5$
		$\bar{v}_\tau = \tau_D / \bar{\tau}$	
		$\left(\frac{\bar{\sigma}_n}{\sigma_D}\right)^2 + \left(\frac{\bar{\tau}_t}{\tau_D}\right)^2 \leq \left(\frac{1,0}{v}\right)^2$	
Dauerfestigkeit	Erste Kollektivstufe Fall C	$v_\sigma = \sigma_D / \sigma_1$	$\geq 2,5$
		$v_\tau = \tau_D / \tau_1$	
		$\left(\frac{\bar{\sigma}_1}{\sigma_D}\right)^2 + \left(\frac{\bar{\tau}_1}{\tau_D}\right)^2 \leq \left(\frac{1,0}{v}\right)^2$	

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

2) Wie Fußnote 1), jedoch erforderliche Sicherheit  $\geq 1,25$ .

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

**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  $\hat{T}_{BAS1}$  und  $\hat{T}_{BAS2}$  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 Lasthaken-aufhängung, Greifer, Traversen und Gehänge, Ober- und Unterflaschen gilt Abschnitt B 2.2.
- (4) Für Schraubenverbindungen gilt Abschnitt B 1.4.1.5, beim Betriebsfestigkeitsnachweis ist jedoch eine Sicherheit von mindestens 2,5 nachzuweisen.

Nachweis	Belastungsart	Gleichung für Sicherheitsnachweis	Erforderliche Sicherheit für die erhöhten Anforderungen nach Abschnitt 7 und Brennelement-Wechselanlagen
Statische Festigkeit	erste Stufe des Kollektivs	$S_{F_{\min}} = \max \frac{\sigma_{FG}}{\sigma_{F_1}}$	$\geq 1,57$
		$S_{H_{\min_1}} = \max \frac{\sigma_{HG}}{\sigma_{H_1}}$	$\geq 1,25$
	Nur nachzuweisen, wenn $N_{ges} < N_Z$ ist		
	Ausfall eines Bauteils in einer doppelten Triebwerkskette	$S_{F_{BAS1\min}} = \max \frac{\sigma_{FG}}{\sigma_{F_{BAS1}}}$	$\geq 1,57$
	Ausfall eines Bauteils bei einer Triebwerkskette mit Sicherheitsbremse <sup>2)</sup>	$S_{F_{BAS1\min}} = \max \frac{\sigma_{FG}}{\sigma_{F_{BAS1}}}$	
	$S_{F_{BAS2\min}} = \max \frac{\sigma_{FG}}{\sigma_{F_{BAS2}}}$		
Betriebsfestigkeit	Kollektiv Fall A oder B	$\bar{S}_{F_{\min}} = \frac{\sigma_{FG}}{\sigma_F}$	$\geq 1,76$
		$\bar{S}_{H_{\min}} = \frac{\sigma_{HG}}{\sigma_H}$	$\geq 1,25$
Dauerfestigkeit	erste Kollektivstufe Fall C	$\bar{S}_{F_{\min}} = \frac{\sigma_{FG}}{\sigma_{F_1}}$	$\geq 1,76$
		$\bar{S}_{H_{\min}} = \frac{\sigma_{HG}}{\sigma_{H_1}}$	$\geq 1,25$

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	$v_{\sigma_1} = \max \frac{\sigma_z}{\sigma_1}$	$\geq 1,50$
		$v_{k_1} = \max \frac{k_z}{k_1}$	$\geq 1,25$
	Nur nachzuweisen, wenn $N_{ges} < N_Z$ ist		
	Ausfall eines Bauteils in einer doppelten Triebwerkskette	$v_{BAS1} = \max \frac{\sigma_z}{\hat{\sigma}_{BAS1}}$	$\geq 1,35$
	Ausfall eines Bauteils in einer Triebwerkskette mit Sicherheitsbremse	$v_{BAS1} = \max \frac{\sigma_z}{\hat{\sigma}_{BAS1}}$	
	$v_{BAS2} = \max \frac{\sigma_z}{\hat{\sigma}_{BAS2}}$		
Betriebsfestigkeit	Kollektiv Fall A oder B	$\bar{v}_\sigma = \frac{\sigma_D}{\sigma}$	$\geq 2,5$
		$\bar{v}_k = \frac{k_D}{k}$	$\geq 1,6$
Dauerfestigkeit	erste Kollektivstufe Fall C	$\bar{v}_\sigma = \frac{\sigma_D}{\sigma_1}$	$\geq 2,5$
		$\bar{v}_k = \frac{k_D}{k_1}$	$\geq 1,6$

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 B3 einzuhalten.

(3) Abweichend von den Anforderungen in den Abschnitten 6, 7 und 8 sowie in den Abschnitten B1 und B2 gelten für die Spannungsabsicherung bei Verwendung von finite Elemente Nachweisen die Anforderungen gemäß Abschnitt B 3.2.

(4) Bei Verwendung von Finite-Elemente-Rechnungen ist die Nennspannung außerhalb der Störstelle nach DIN 15018-1 zu begrenzen.

#### B 3.2 Spannungsabsicherung

##### B 3.2.1 Allgemeiner Spannungsnachweis

(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 Spannungs-kategorien zuzuordnen, das heißt in primäre Spannungen, sekundäre Spannungen und Spannungsspitzen einzuteilen und gemäß ihrer Zuordnung in unterschiedlicher Weise zu begrenzen.

(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 Vergleichsspannung ist aus den linearisierten einzelnen Spannungskomponenten zu bilden.

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

- nur primäre Spannungsanteile erfasst werden,
- das Maximum der primären Spannungsanteile erfasst wird.

(6) Die Forderungen gemäß (5) a) und (5) b) gelten als pauschal erfüllt, wenn die Linearisierung im Abstand  $\sqrt{R} \cdot s$  zur geometrischen Unstetigkeit durchgeführt wird, wobei die Größen R und s wie folgt zu bestimmen sind:

- Schalen (z. B. Zargen, Rohre)
  - R : mittlerer kleinster Radius der Schale
  - s : kleinste Wanddicke
- Stangen und Profile
  - R, s : Radius der Stange oder Hälfte der kleinsten Querschnittsdimension

c) andere Formen

R : Hälfte der kleinsten Abmessung eines Flansches, T-Profils, Blechs oder Rundprofils, 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) Die Vergleichsspannung aus den linearisierten Spannungsanteilen darf für die Lastfälle H, HZ und HS folgende Werte nicht überschreiten:

- außerhalb der Unstetigkeitsstelle: gemäß DIN 15018-1
- an der Unstetigkeitsstelle:
  - für Lastfall H  $\sigma_v \leq 0,8 \cdot R_{p0,2}$
  - für Lastfall HZ  $\sigma_v \leq 0,9 \cdot R_{p0,2}$
  - für Lastfall HS  $\sigma_v \leq R_{p0,2}$

mit  $R_{p0,2}$  : Streckgrenze

(8) Die Spannungsbegrenzung für  $\sigma_v$  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

- im Lastfall H der Wert  $\sigma_F = 1,2 \cdot R_{p0,2}$
- im Lastfall HZ der Wert  $\sigma_F = 1,32 \cdot R_{p0,2}$
- im Lastfall HS der Wert  $\sigma_F = 1,44 \cdot R_{p0,2}$

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.

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

- der Vergleichsspannung nach der von-Mises-Hypothese und
- der größten Hauptspannung

zu verwenden.

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

##### B 3.2.2 Betriebsfestigkeitsnachweis

(1) Der Betriebsfestigkeitsnachweis bei Verwendung spezieller Festigkeitsanalysen unterscheidet sich gegenüber der in den Abschnitten B1 und B2 beschriebenen Vorgehensweise nur hinsichtlich der Ermittlung der Nennspannung. Dabei ist die im allgemeinen Spannungsnachweis ermittelte Vergleichsspannung aus den linearisierten einzelnen Spannungskomponenten zu bewerten.

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

(3) Für nichtdrehende Maschinenteile hat der Betriebsfestigkeitsnachweis 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 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 <sup>2</sup>
$J_{an}$	Antriebsseitig von der jeweiligen Schnittstelle liegende Massenträgheitsmomente	kgmm <sup>2</sup>
$K_n$	Produkt aus Kerbwirkungszahl, Rauigkeitsfaktor und Größenfaktor bei Normalspannungen	—
$K_t$	Produkt aus Kerbwirkungszahl, Rauigkeitsfaktor 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	—
$N_{it}, \hat{N}_{it}$	Zahl der Torsionsspannungsspiele für die Momentenstufen für Wellenbeanspruchung	—
$N_Z$	Spannungsspiele bei Zeitfestigkeit	—
$R_{eH}$	Streckgrenze	N/mm <sup>2</sup>
$R_m$	Zugfestigkeit	N/mm <sup>2</sup>
$R_{max}$	Radkraft	N
$R_{p0,2}$	0,2%-Dehngrenze	N/mm <sup>2</sup>
$R_z, R_a$	Rautiefe	μm
$R_{z100}$	Relative Rautiefe, bezogen auf einen Achsabstand von 100 mm	μm
$S_{max}$	Nennseilkraft multipliziert mit Hublastbeiwert	N
$S, \bar{S}$	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

Formelzeichen	Größe und Bezeichnung	Einheit
$T_L$	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
$T_O$	statisches Moment für Leerfahrten	Nmm
$\hat{T}_O$	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	—
$f_{Rw}$	wirksame Flankenrichtungsfehler	—
$h$	Seiltrommelwanddicke im Rillengrund	mm
$h_i$	Einschaltdauer des Hubwerkes, wobei Leerfahrten mit Eigenlasten ≤ 30 % der Betriebslast unberücksichtigt bleiben	Stunden
$k$	Kopfbreite der Kranschiene	mm
$\bar{k}$	Schädigungsäquivalente Zahnflankenragfähigkeit	—
$k_a$	Zahl der Spannungsspiele infolge einer Schaltung	—
$k_D, k_0$	Dauerfestigkeit für Flankenpressung von Zahnradern	N/mm <sup>2</sup>
$k_w$	wirksame Flächenpressung für Zahnradern	N/mm <sup>2</sup>
$k_Z$	Zahnflankenragfähigkeit	N/mm <sup>2</sup>
$n_i$	Drehzahl des zu berechnenden Triebwerkteils	min <sup>-1</sup>
$p_{maxH}$	Hertzsche Pressung	N/mm <sup>2</sup>
$p_{zul}$	zulässige Flächenpressung für Passfedern	N/mm <sup>2</sup>
$r_1$	Rundungshalbmesser des Schienenkopfs	mm
$s$	Seilrillensteigung	mm
$\bar{s}_1$	mittlerer Weg als Summe aus Heben und Senken innerhalb eines Lastarbeitsspiels	m

Formelzeichen	Größe und Bezeichnung	Einheit
$\hat{t}_i$	schwingbehaftete Zeit innerhalb eines Lastarbeitspiels unter Berücksichtigung von Positionierschaltungen	s
$\bar{v}_i$	mittlere Hubgeschwindigkeit	m/s
$y_K$	Lebensdauerfaktor für Zahnflanken-tragfähigkeit	—
$y_G, y_H$	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	—
$y_\sigma$	Lebensdauer für Zahnfußtragfähigkeit	—
$\alpha_{k_n}$	Formzahl für Normalspannungen	—
$\alpha_{k_t}$	Formzahl für Torsionsspannungen	—
$\gamma$	Steigungswinkel der Bauteilwöhlerlinie im Zeitfestigkeitsbereich	—
$\varepsilon$	Zahl der Torsionsspannungsspiele infolge einer Schaltung	—
$v, \bar{v}$	erforderliche Sicherheit	—
$\rho_{red}$	Ersatzkrümmungsradius im Wälzpunkt	mm
$\bar{\sigma}$	schädigungsäquivalente Zugbeanspruchung, berechnet aus den Lastwechselzahlen im Fall A und B	N/mm <sup>2</sup>
$\hat{\sigma}_{BAS1}$	maximale Spannung durch das dynamische Moment aus der Lastumlagerung mit Betriebslast innerhalb einer Triebwerkskette	N/mm <sup>2</sup>
$\hat{\sigma}_{BAS2}$	maximale Spannung durch das dynamische Moment aus der Schwingwirkung der Sicherheitsbremse für den hier maßgebenden Betriebslastfall	N/mm <sup>2</sup>
$\sigma_D, \sigma_0$	Dauerfestigkeit für Normalspannungen oder Zahnfußdauerfestigkeit	N/mm <sup>2</sup>
$\sigma_F$	wirksame Spannung am Zahnfuß	N/mm <sup>2</sup>
$\sigma_{FE}$	Zahnfuß-Grundfestigkeit	N/mm <sup>2</sup>
$\sigma_H$	wirksame Spannung an der Zahnflanke	N/mm <sup>2</sup>

Formelzeichen	Größe und Bezeichnung	Einheit
$\sigma_{FG}$	Dauerfestigkeit und statische Festigkeit am Zahnfuß	N/mm <sup>2</sup>
$\sigma_{HG}$	Dauerfestigkeit und statische Festigkeit an der Zahnflanke	N/mm <sup>2</sup>
$\sigma_{H\ lim}$	Grübchen-Dauerfestigkeit	N/mm <sup>2</sup>
$\sigma_n$	Dauerfestigkeit der Werkstoffprobe für Normalspannungen bei 50 % Überlebenswahrscheinlichkeit	N/mm <sup>2</sup>
$\sigma_w$	wirksame Zahnfußspannung	N/mm <sup>2</sup>
$\sigma_Z$	Zahnfußtragfähigkeit	N/mm <sup>2</sup>
$\hat{\sigma}_{VBAS1}$	maximale Vergleichsspannung durch das dynamische Moment aus der Lastumlagerung mit Betriebslast innerhalb einer Triebwerkskette	N/mm <sup>2</sup>
$\hat{\sigma}_{VBAS2}$	maximale Vergleichsspannung durch das dynamische Moment aus der Schwingwirkung der Sicherheitsbremse für den hier maßgebenden Betriebslastfall	N/mm <sup>2</sup>
$\hat{\tau}_{BAS1}$	maximale Torsionsspannung durch das dynamische Moment aus der Lastumlagerung mit Betriebslast innerhalb einer Triebwerkskette	N/mm <sup>2</sup>
$\hat{\tau}_{BAS2}$	Torsionsspannung durch das dynamische Moment aus der Schwingwirkung der Sicherheitsbremse für den hier maßgebenden Betriebslastfall	N/mm <sup>2</sup>
$\bar{\tau}$	schädigungsäquivalente Torsionsbeanspruchung, berechnet aus den Lastwechselzahlen im Fall A und B	N/mm <sup>2</sup>
$\tau_D$	Dauerfestigkeit für Torsionsspannungen	N/mm <sup>2</sup>
$\tau_{St}$	Torsionsstreckgrenze $\frac{\sigma_x}{\sqrt{3}}$	N/mm <sup>2</sup>
$\tau_t$	Dauerfestigkeit der Werkstoffprobe für Torsionsspannungen bei 50 % Überlebenswahrscheinlichkeit	N/mm <sup>2</sup>
$\varphi_S$	Schwingbeiwert, der die dynamische Wirkung infolge sprunghafter Momentänderung berücksichtigt	—
$\psi$	Hublastbeiwert	—

## Anhang C

### Wöhlerlinien für den Betriebs- und Dauerfestigkeitsnachweis 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 ( $N_D = 2,0 \cdot 10^6$ ;  $c = 3,32$ ).

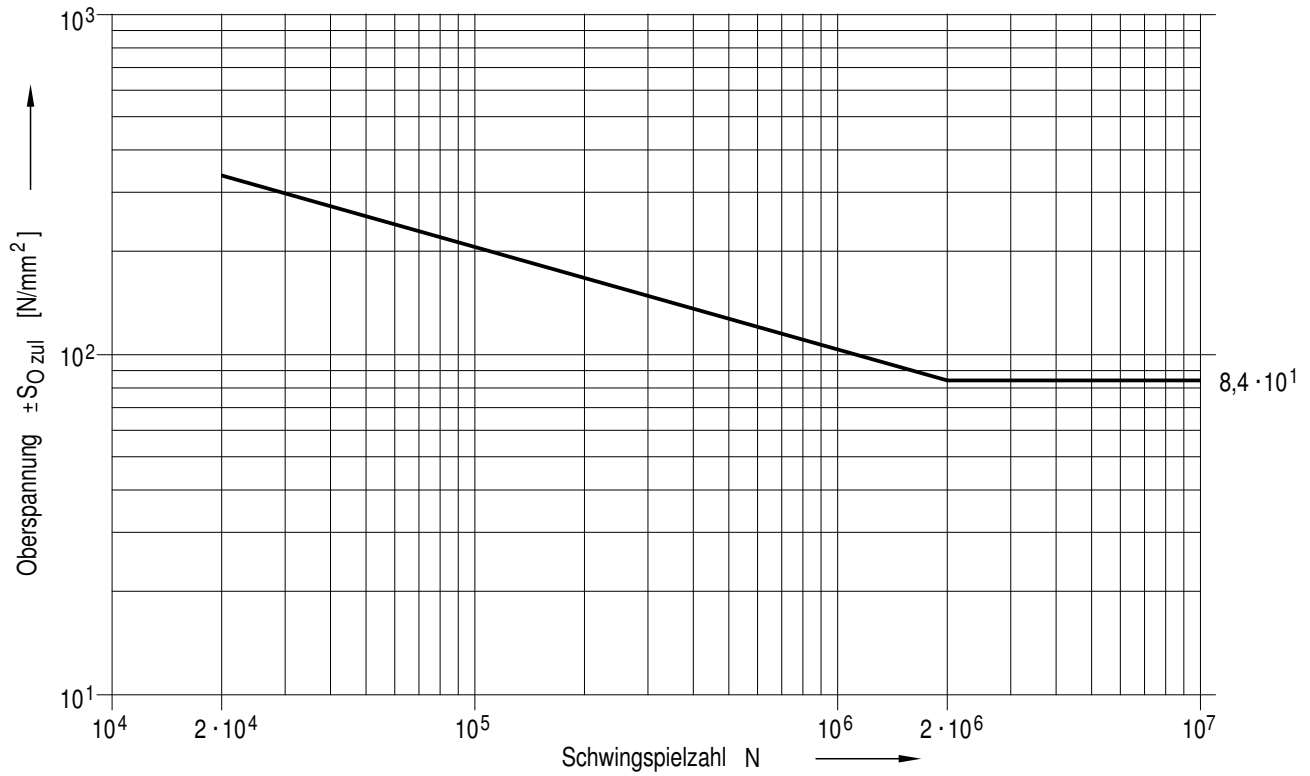
Zum Nachweis der Betriebs- oder Dauerfestigkeit sind die Festlegungen unter Abschnitt B 1.2.1.3 (3) und B 1.2.1.3 (4) zugrunde zu legen.

Lfd. Nr.	Kerbfall nach DIN 15018-1 Tabelle 10.3	Beanspruchungs- verhältnis  R	Spannungskollektiv nach DIN 15018-1 Tabelle 14	Parameter der Wöhlerlinie im doppellogarithmischen Koordinatensystem		
				Spannungs- koordinate des Knickpunktes  $S_D$ in N/mm <sup>2</sup>	Lebensdauer- koordinate 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		

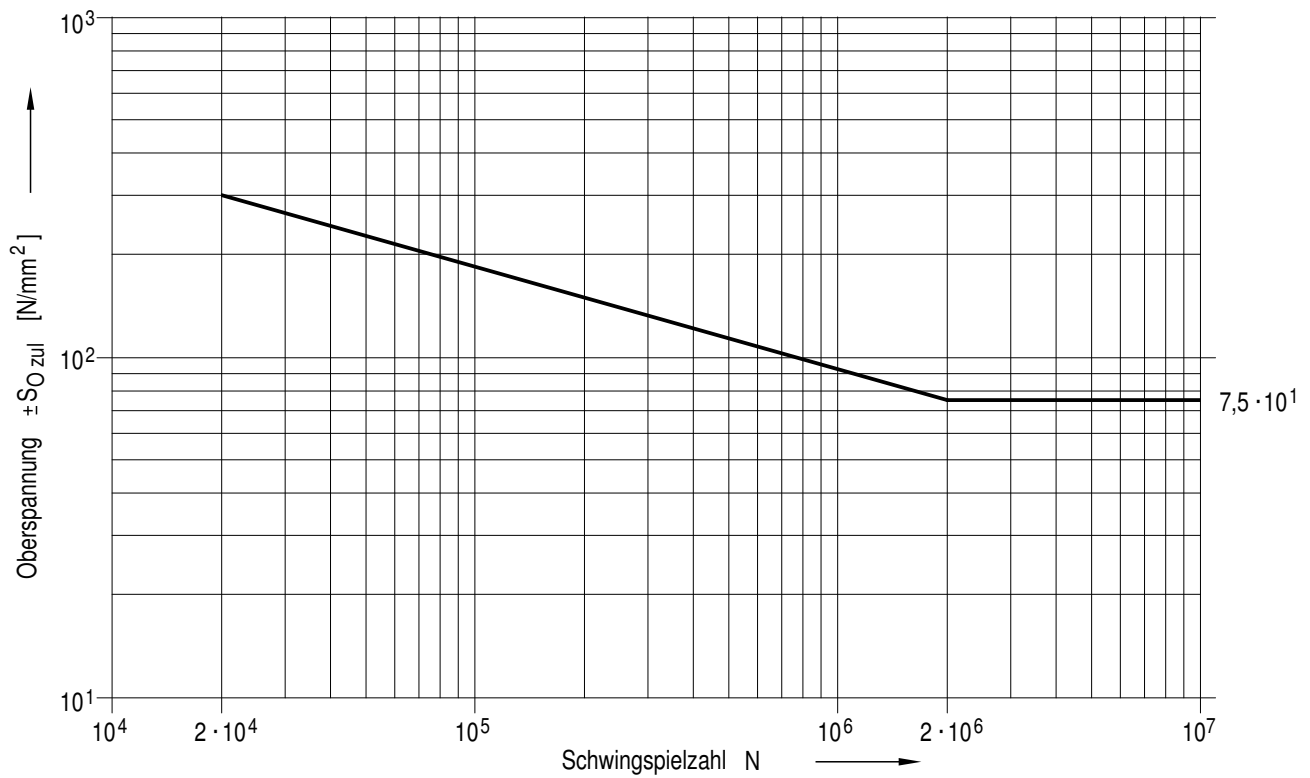
**Tabelle C-1:** Wertetabelle für die Wöhlerlinien der Bilder C-1 bis C-5

Lfd. Nr.	Kerbfall nach DIN 15018-1 Tabelle 10.3	Beanspruchungs- verhältnis  R	Spannungskollektiv nach DIN 15018-1 Tabelle 14	Parameter der Wöhlerlinie im doppellogarithmischen Koordinatensystem		
				Spannungs- koordinate des Knickpunktes  $S_D$ in N/mm <sup>2</sup>	Lebensdauer- koordinate 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		

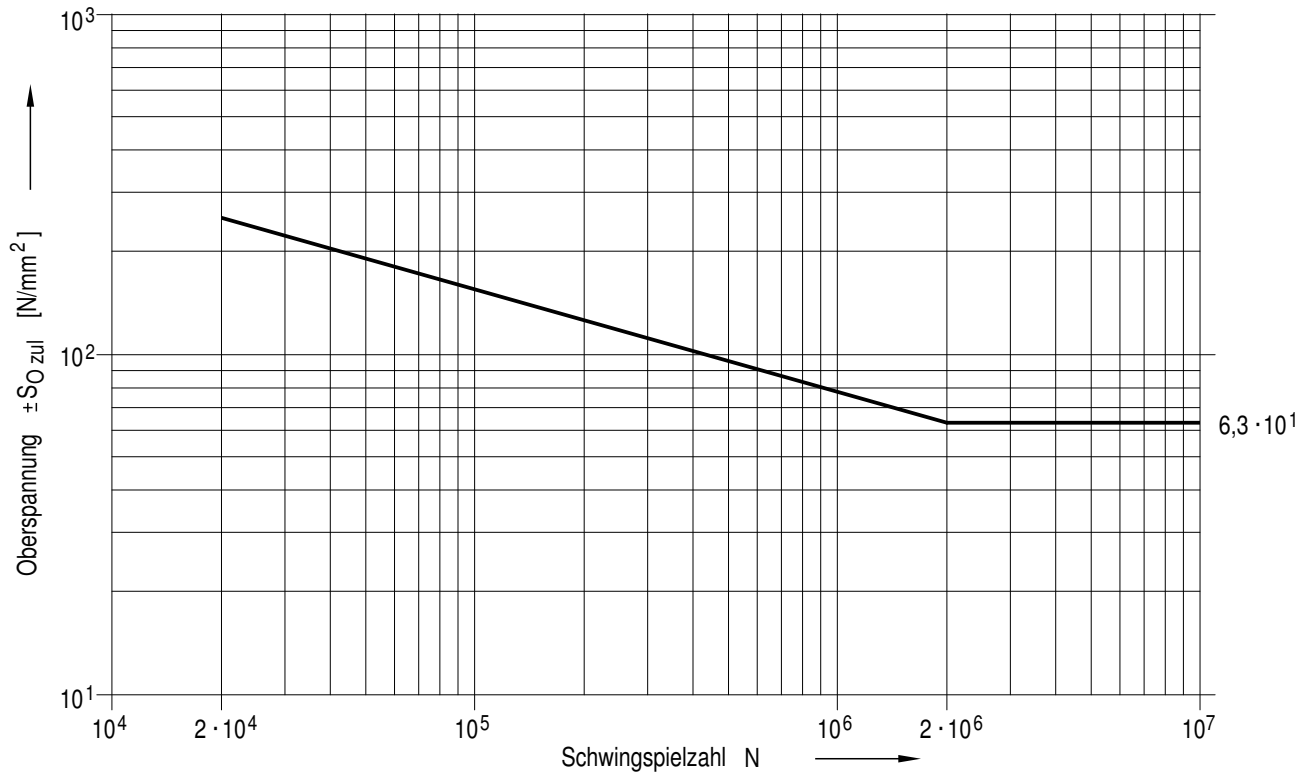
**Tabelle C-2:** Wertetabelle für die Wöhlerlinien der Bilder C-6 bis C-10



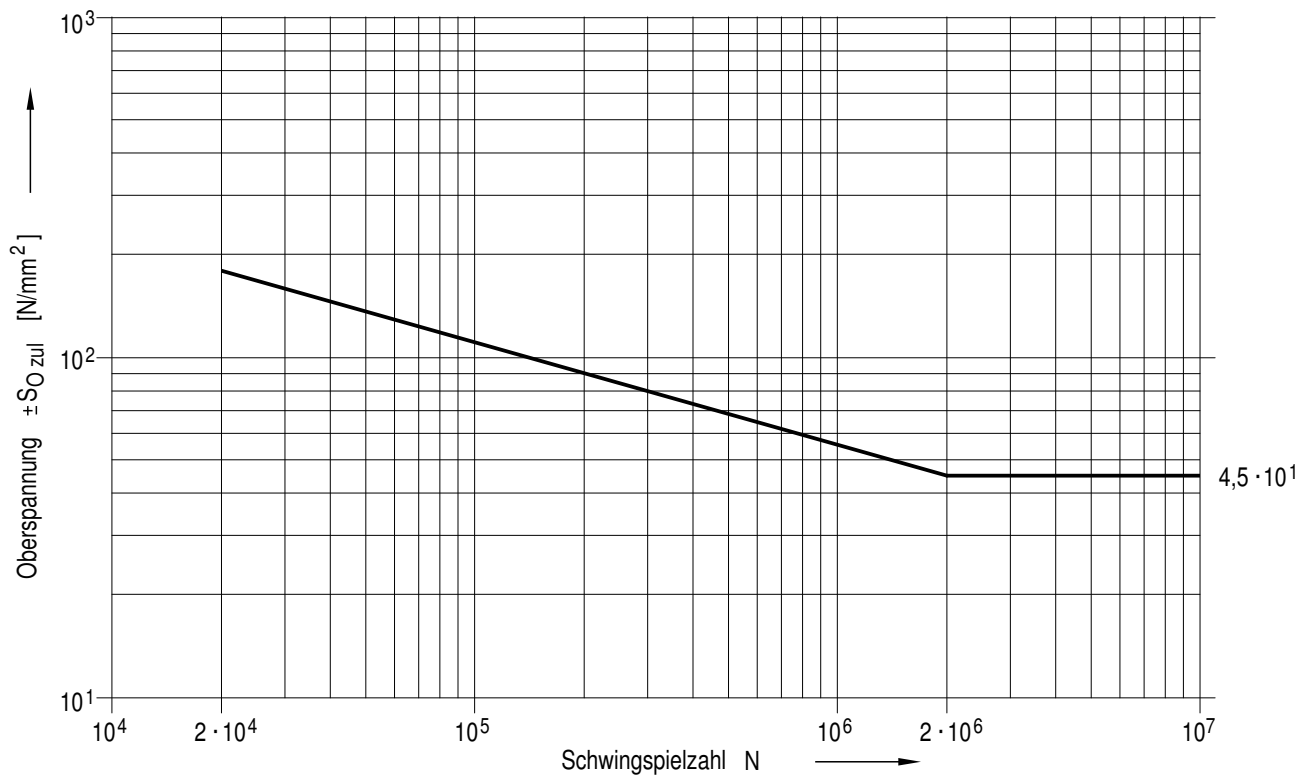
**Bild C-1:** Wöhlerlinie für den Kerbfall K 0 nach DIN 15018-1, R = -1



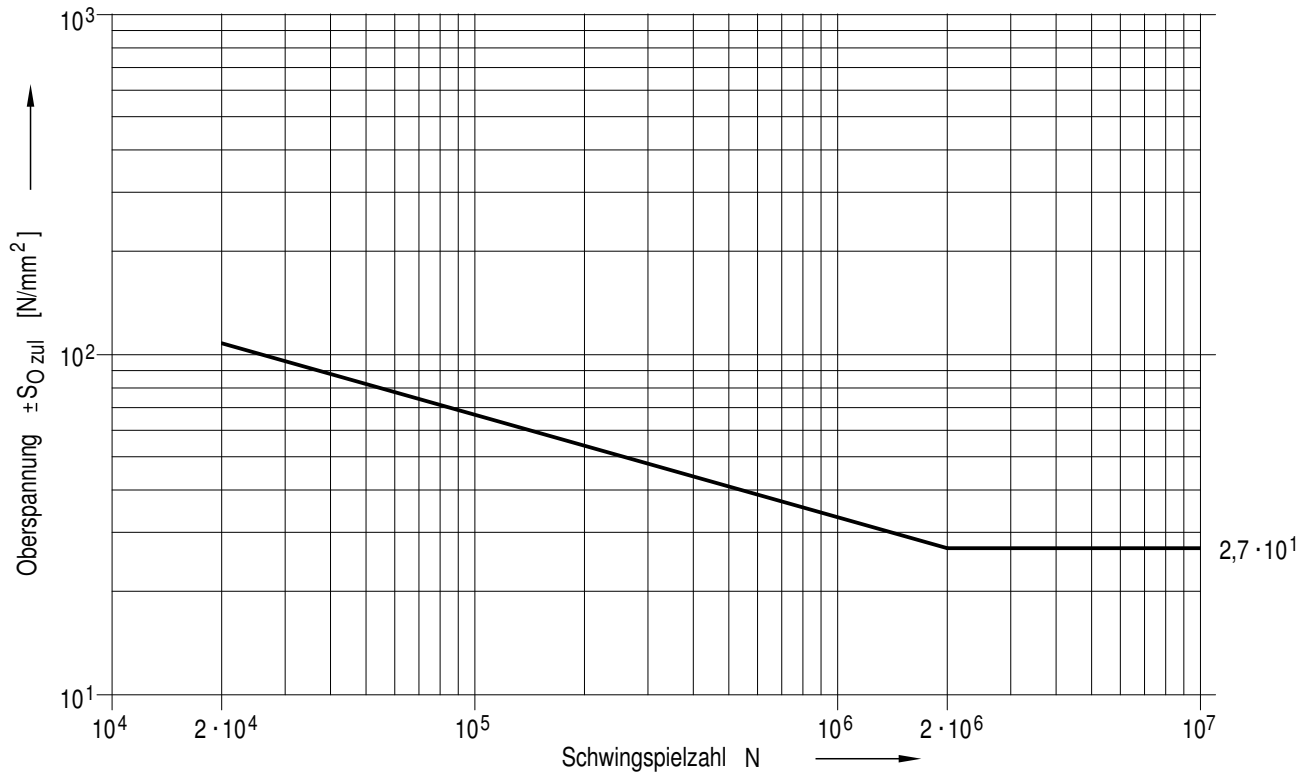
**Bild C-2:** Wöhlerlinie für den Kerbfall K 1 nach DIN 15018-1, R = -1



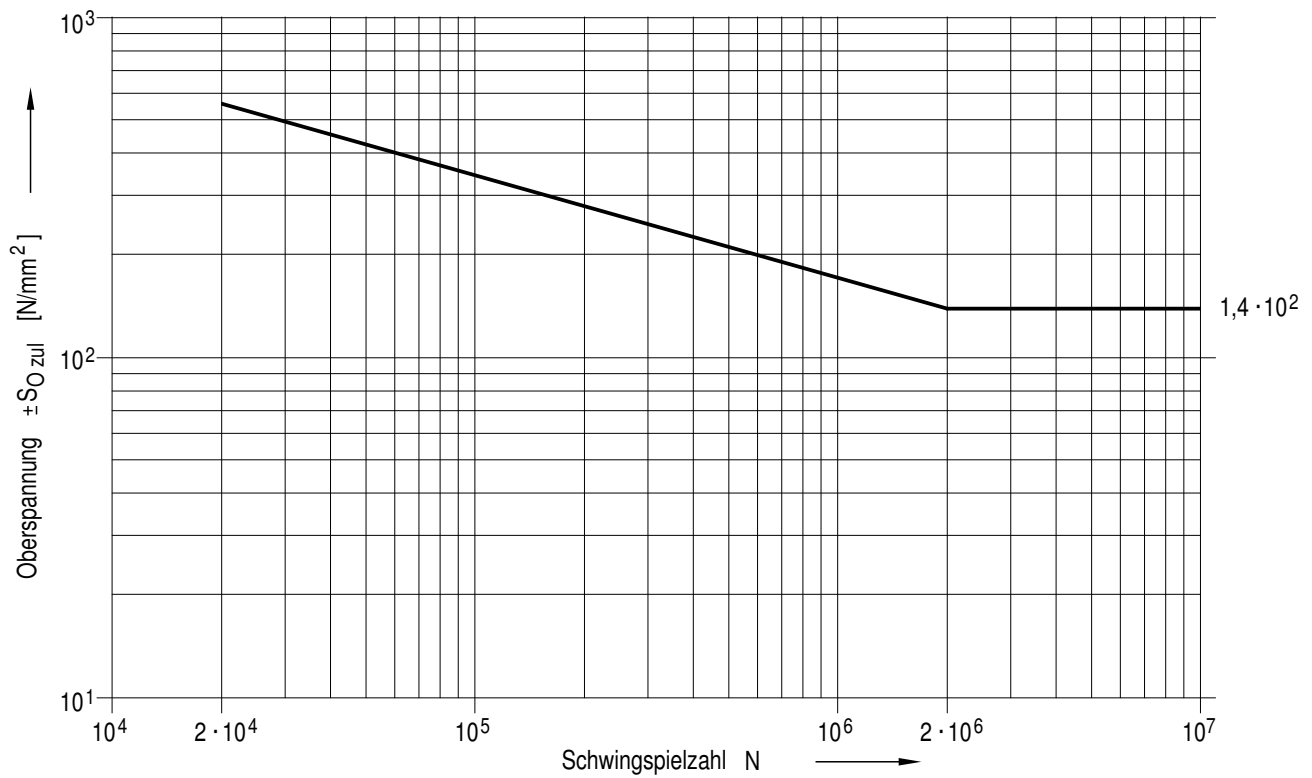
**Bild C-3:** Wöhlerlinie für den Kerbfall K 2 nach DIN 15018-1, R = -1



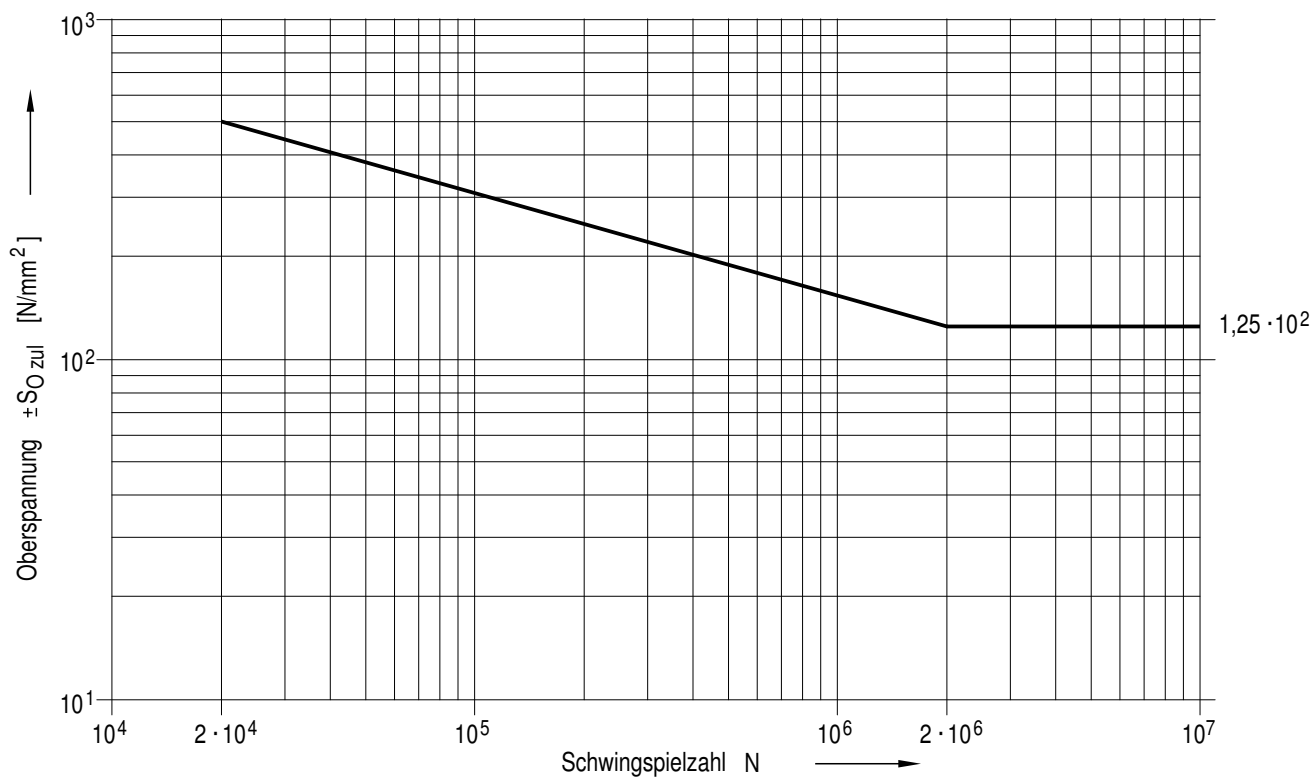
**Bild C-4:** Wöhlerlinie für den Kerbfall K 3 nach DIN 15018-1, R = -1



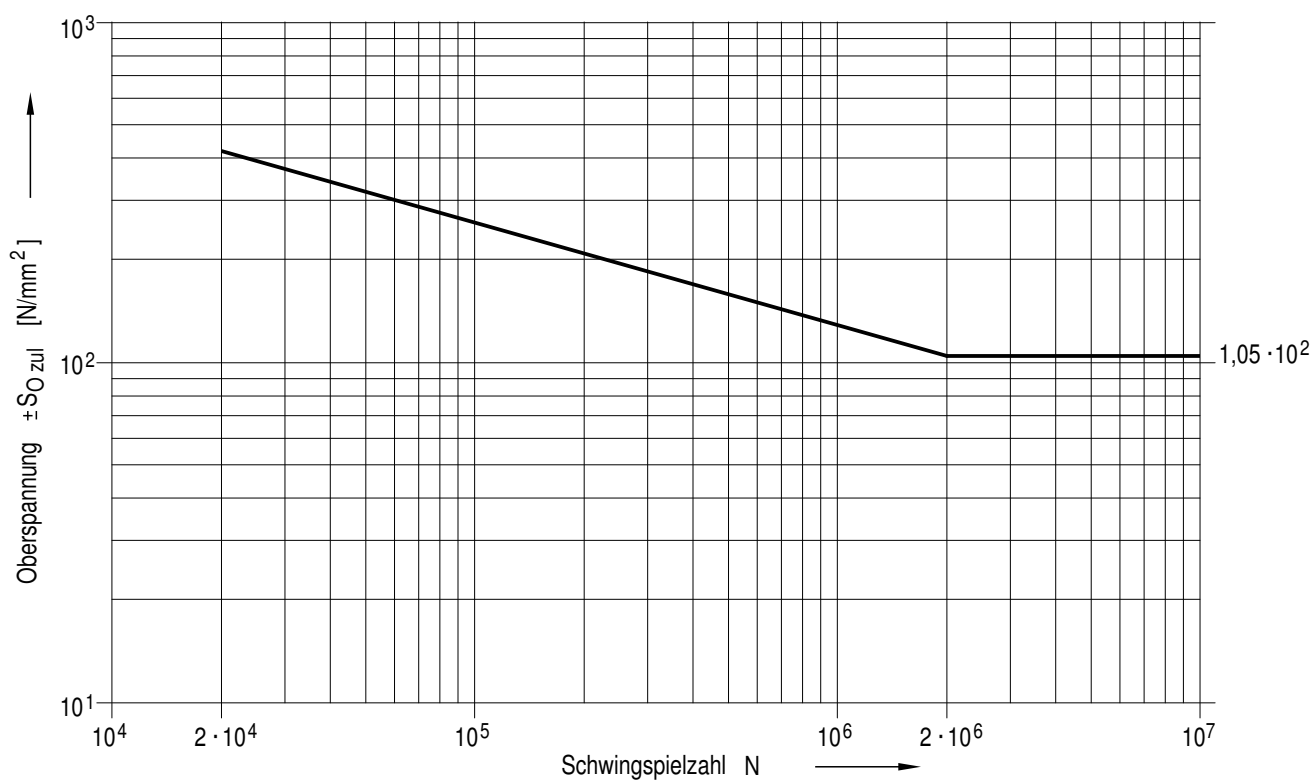
**Bild C-5:** Wöhlerlinie für die Kerbfall K 4 nach DIN 15018-1, R = -1



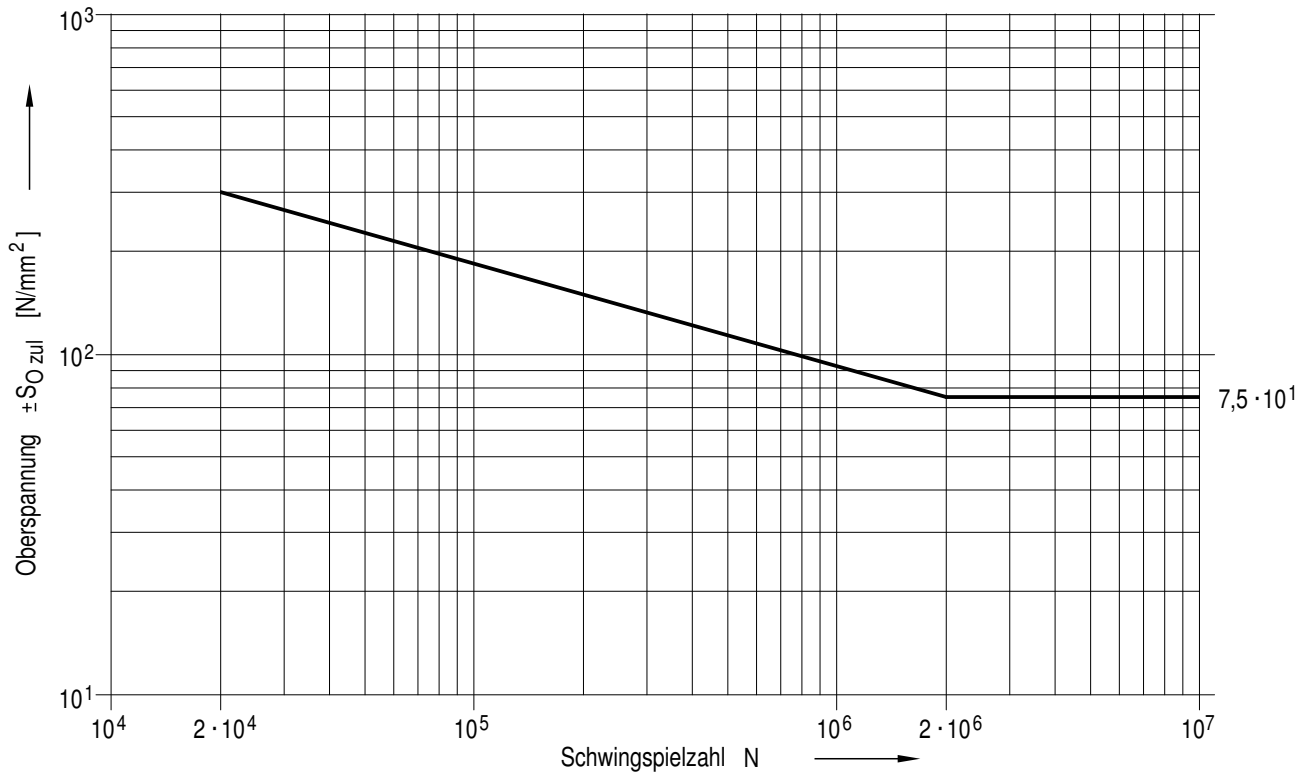
**Bild C-6:** Wöhlerlinie für den Kerbfall K 0 nach DIN 15018-1, R = 0



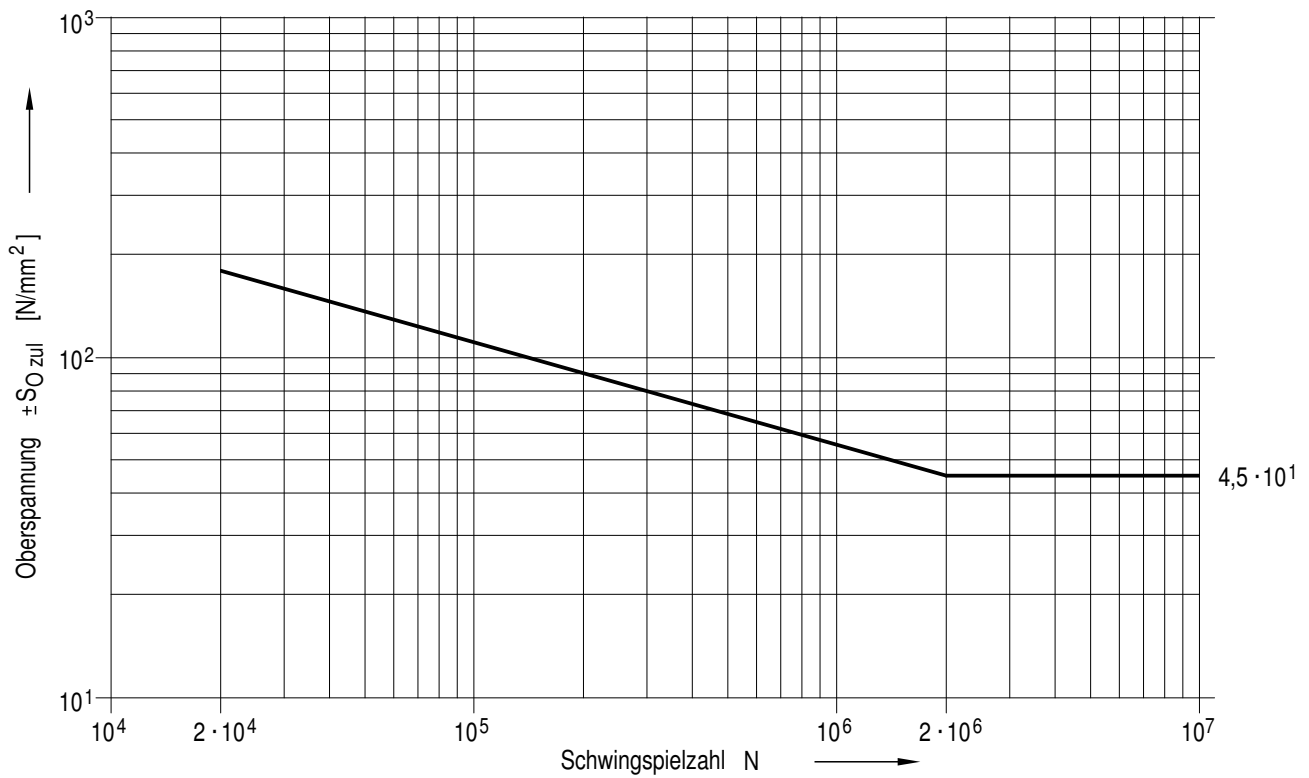
**Bild C-7:** Wöhlerlinie für den Kerbfall K 1 nach DIN 15018-1, R = 0



**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

**Allgemeiner Spannungsnachweis und Wöhlerlinien für die Betriebs- und  
Dauerfestigkeitsberechnung 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 allgemeinen Spannungsnachweis 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 Betriebsfestigkeitsnachweis 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 <sup>1)</sup>	Spannung <sup>1)</sup>	Zulässiger Wert in N/mm <sup>2</sup> für die Beanspruchungsgruppe	
		B3	B4
W 1-1	$\sigma_{Dz(0)}$	247 <sup>2)</sup>	247 <sup>2)</sup>
W 1-2	$\sigma_{Dz(0)}$	—	162 <sup>2)</sup>
K 1	$\sigma_{Dz(0)}$	210 <sup>2)</sup>	210 <sup>2)</sup>
K 2	$\sigma_{Dz(0)}$	—	174 <sup>2)</sup>
K 3	$\sigma_{Dz(0)}$	—	167 <sup>2)</sup>
K 4	$\sigma_{Dz(0)}$	150 <sup>2)</sup>	80
K 4-R	$\sigma_{\tau(-1)}$	—	103,6

<sup>1)</sup> Abkürzungen in Anlehnung an DIN 15018-1.

<sup>2)</sup> 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 allgemeinen Spannungsnachweises begrenzt.

**Tabelle D-1:** Zulässige Spannungen für den Betriebsfestigkeitsnachweis 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  $\sigma_{O,zul}$

$S_D$  : Spannungskordinate des Knickpunktes der Wöhlerlinie, synonymes Symbol  $\sigma_D$

N : Zahl der vorhandenen Spannungsspiele

$N_D$  : Lebensdauercoordinate des Knickpunktes der Wöhlerlinie

k : Neigung der Wöhlerlinie

(4) Zum Nachweis der Betriebsfestigkeit 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

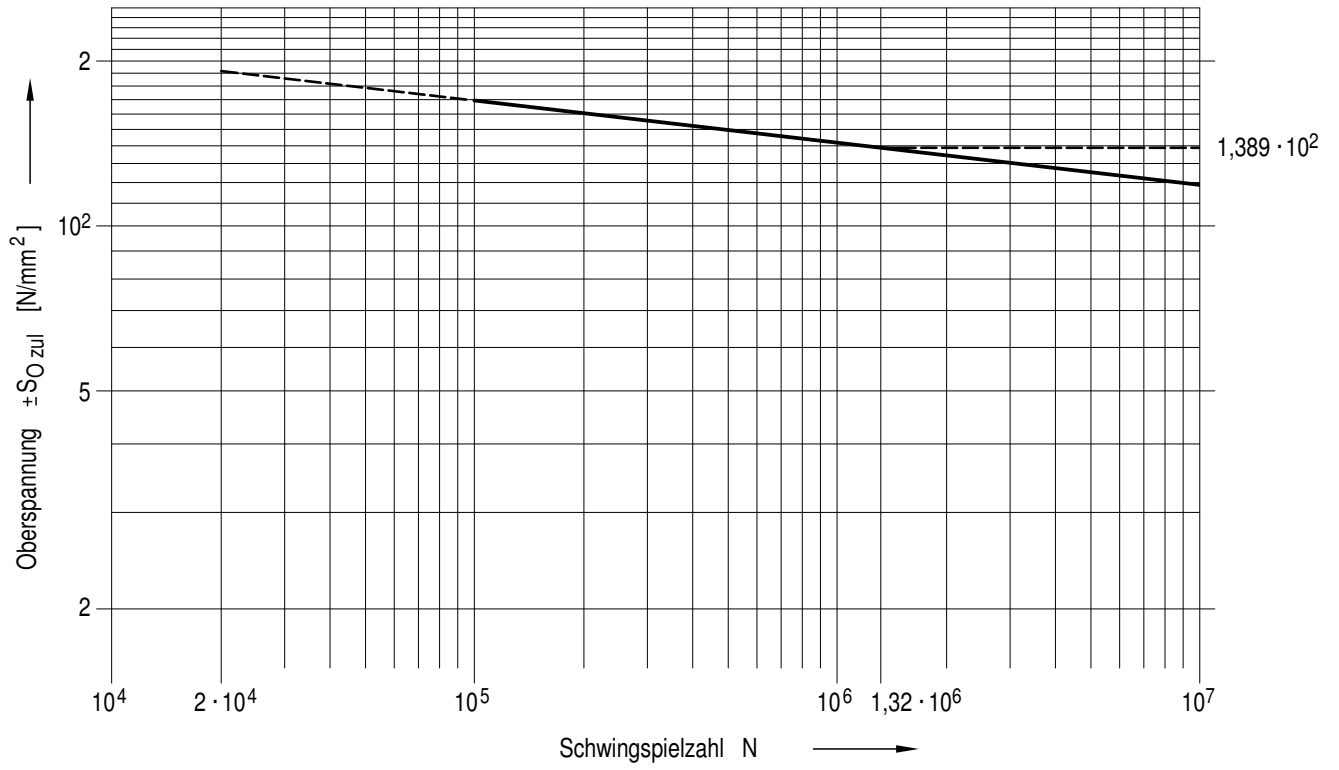
$\sigma_x$  : zulässige Spannung für den allgemeinen Spannungsnachweis

$N_z$  : Spannungsspiele bei Zeitfestigkeit.

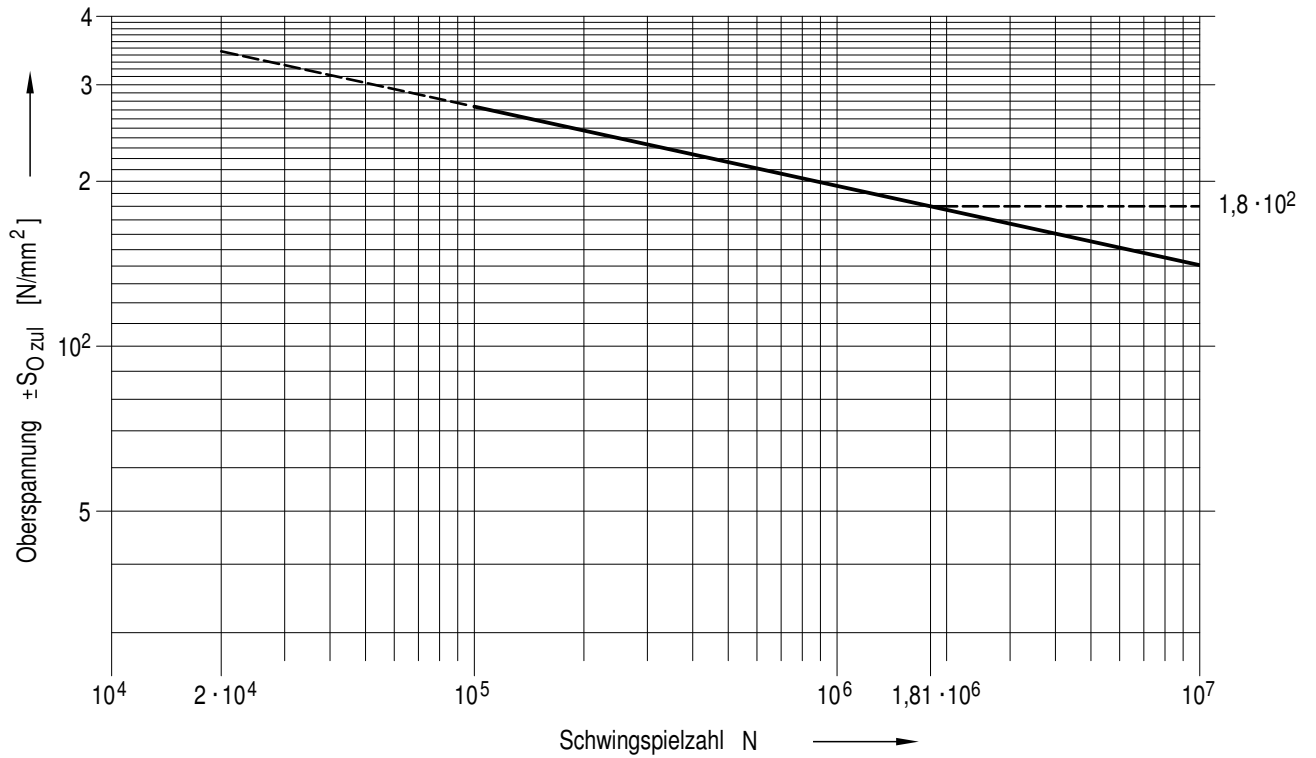
Bezeichnung	Kerbfall <sup>1)</sup>	Beanspruchungsverhältnis R	Spannungskollektiv nach DIN 15018-1 Tabelle 14	Parameter der Wöhlerlinie im doppeltlogarithmischen Koordinatensystem			Geltungsbereich nach [14]
				Spannungskordinate des Knickpunktes $S_D$ in N/mm <sup>2</sup>	Lebensdauerkoordinate des Knickpunktes $N_D$	Neigung k	
Lochstab, $K_t = 2,4$	W 1-1 <sup>2)</sup>	-1	S <sub>3</sub>	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 <sup>2)</sup>	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 <sup>2)</sup>	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 <sup>2)</sup>	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 <sup>3)</sup>	-1		34,8	$1,32 \cdot 10^7$	3,84	$1,0 \cdot 10^5 < N \leq 1,00 \cdot 10^7$

<sup>1)</sup> Abkürzungen in Anlehnung an DIN 15018-1 Abschnitt 10.3.  
<sup>2)</sup> Für die Kerbfälle W 1-1, W 1-2 und K 2 gilt: bei  $N > N_D$  ist  $S_{O,zul} = S_D$   
<sup>3)</sup> Die Spannungswerte für den Kerbfall K 4-R sind Schubspannungen

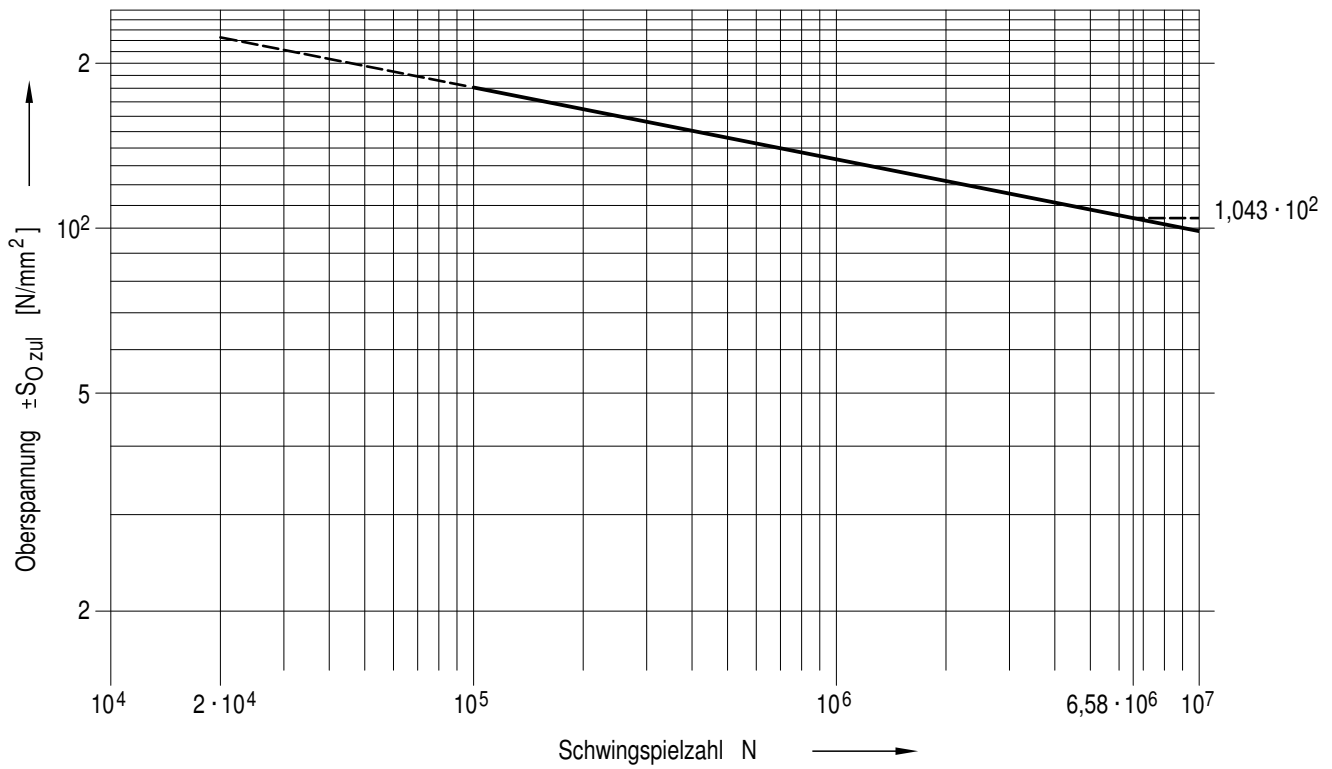
**Tabelle D-2:** Wertetabelle für die Wöhlerlinien der Bilder D-1 bis D-10



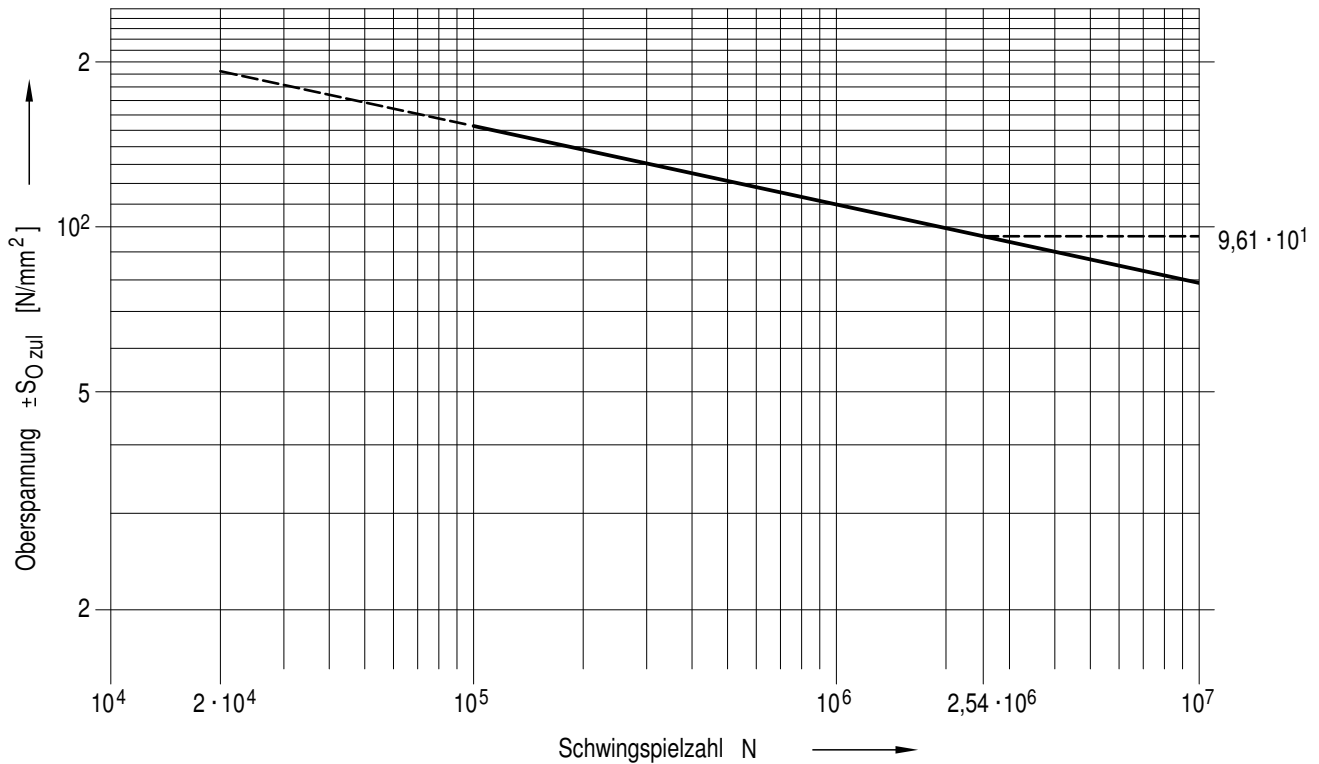
**Bild D-1:** Wöhlerlinie für den Kerbfall W 1-1 (Lochstab,  $K_t = 2,4$ ,  $R = -1$ )



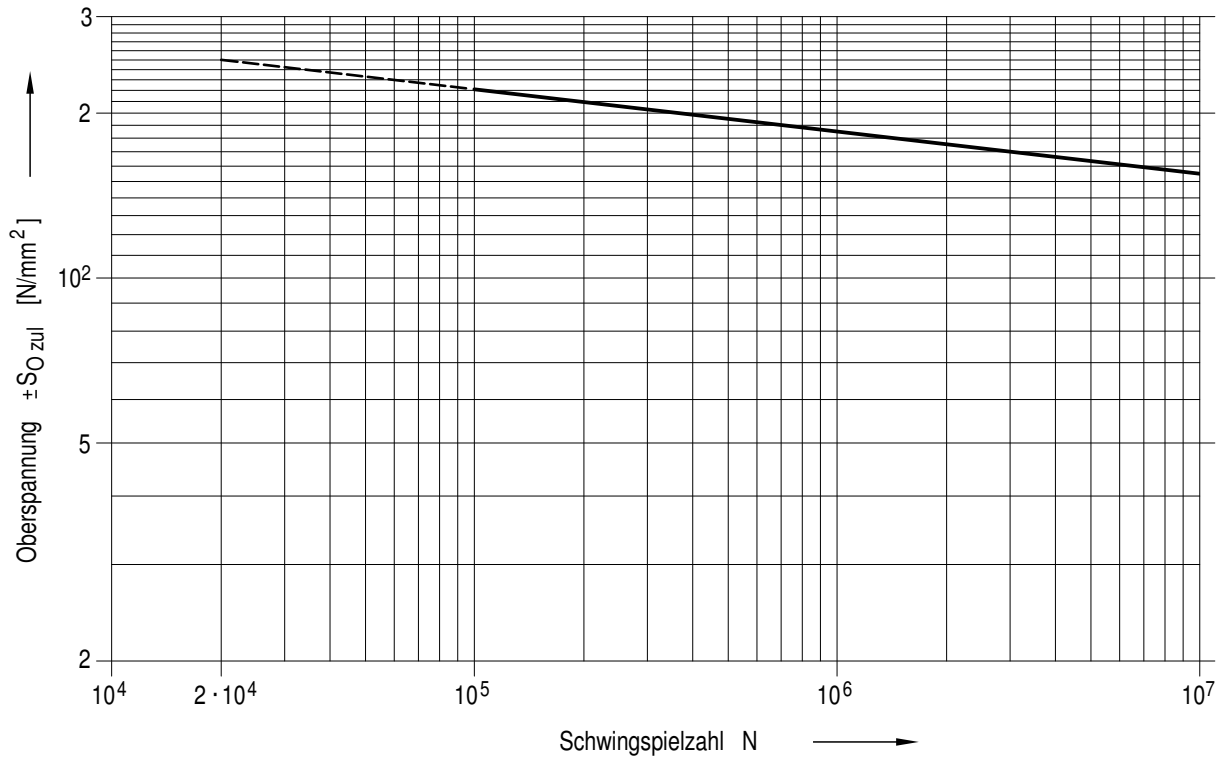
**Bild D-2:** Wöhlerlinie für den Kerbfall W 1-1 (Lochstab,  $K_t = 2,4$ ,  $R = 0$ )



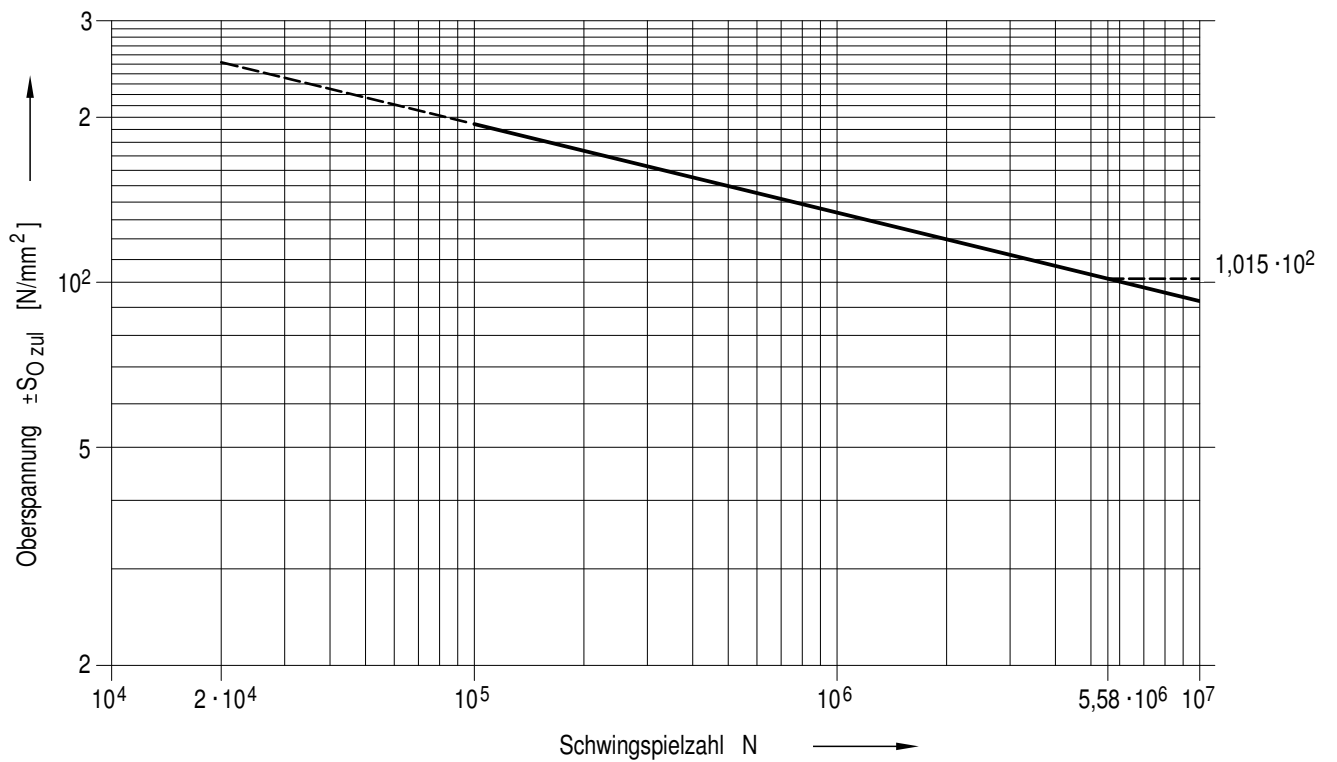
**Bild D-3:** Wöhlerlinie für den Kerbfall W 1-2 (Lochstab,  $K_t = 4,2$ ),  $R = 0$



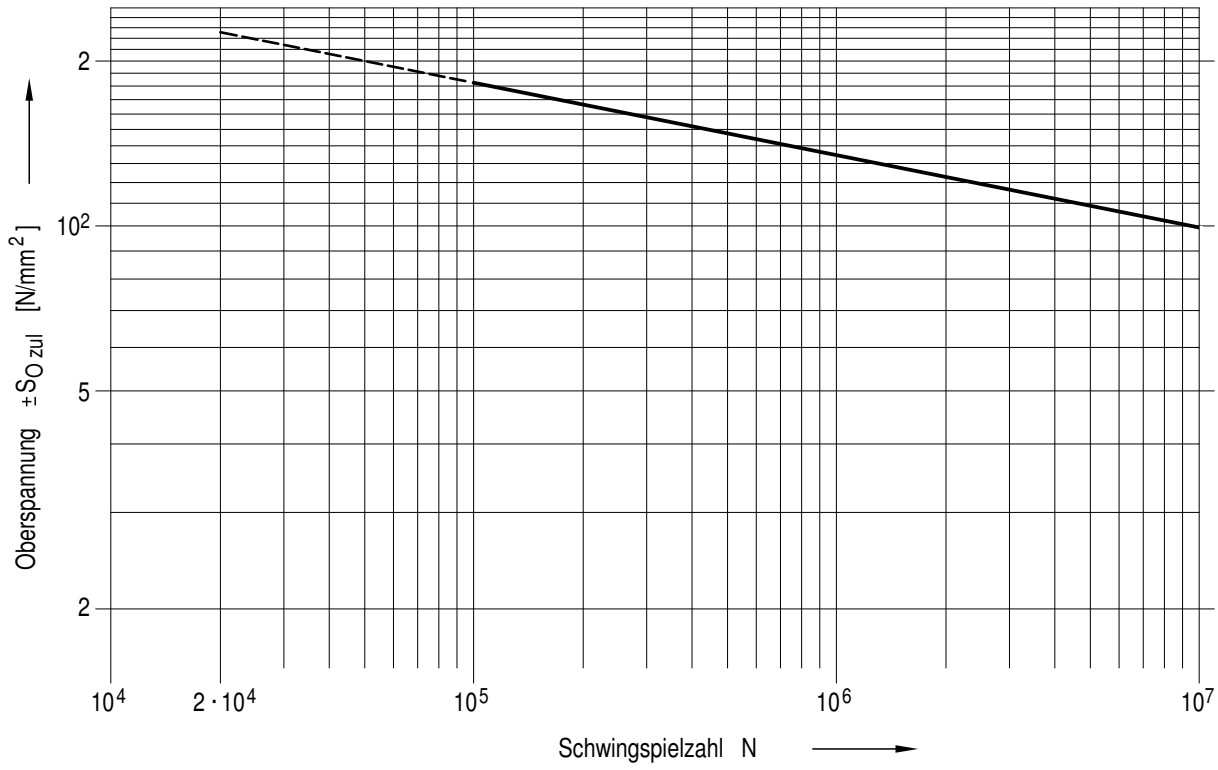
**Bild D-4:** Wöhlerlinie für den Kerbfall K 1 (Stumpfstoß, V-Naht),  $R = -1$



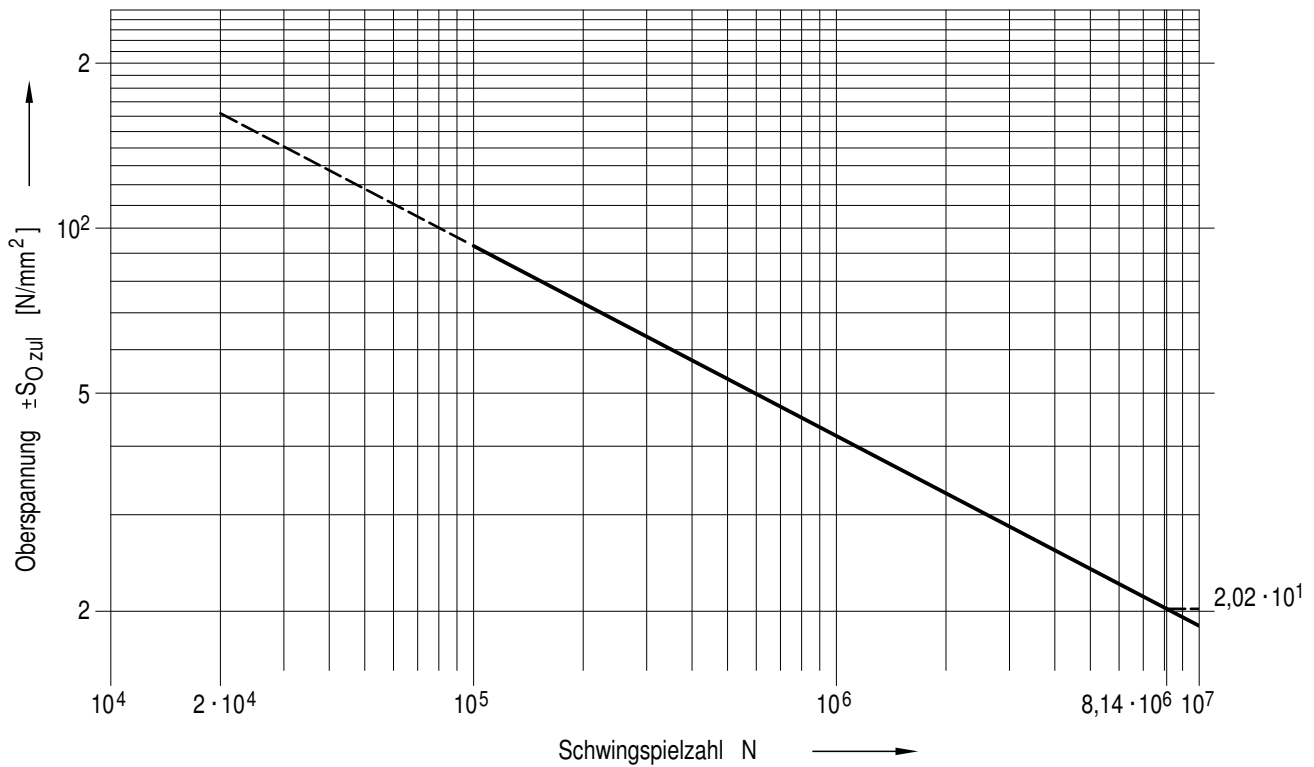
**Bild D-5:** Wöhlerlinie für den Kerbfall K 1 (Stumpfstoß, V-Naht), R = 0



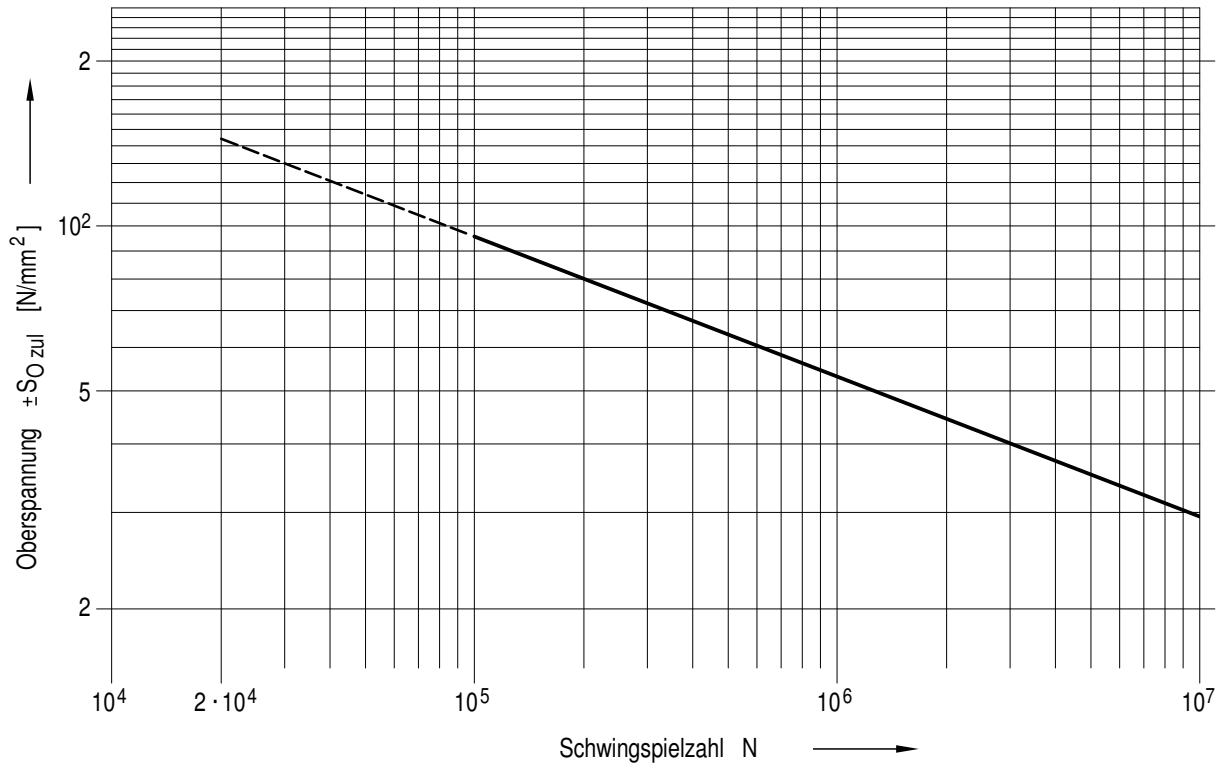
**Bild D-6:** Wöhlerlinie für den Kerbfall K 2 (Kreuzstoß, K-Naht, Sondergüte), R = 0



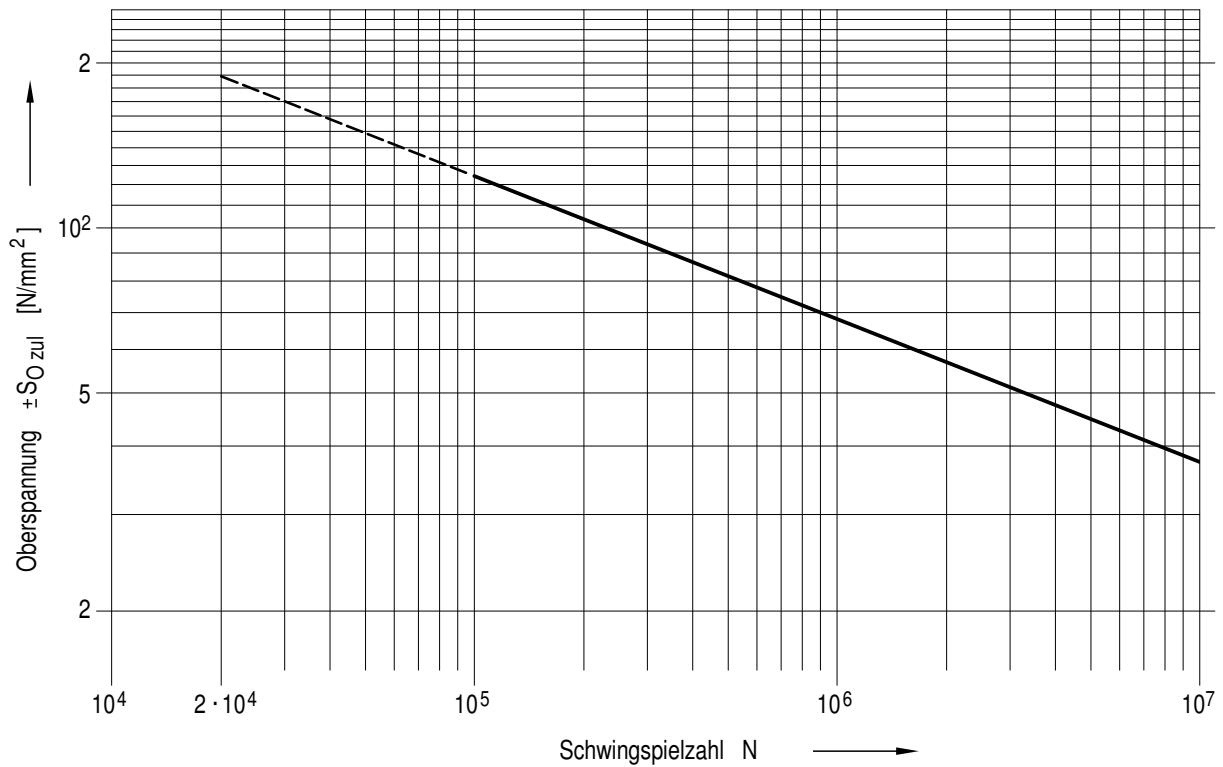
**Bild D-7:** Wöhlerlinie für den Kerbfall K 3 (Kreuzstoß, K-Naht, Normalgüte), R = 0



**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 Einstufungsschema

(1) 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, hat die Festlegung der Performance Level (PL) nicht nach der in DIN EN ISO 13849-1 Abschnitt 4.3 festgelegten Vorgehensweise, sondern nach den in den Absätzen 2 bis 6 aufgeführten Kriterien zu erfolgen.

(2) 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.

(3) 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).

(4) 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.

(5) 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.

(6) 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 § 49 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 2 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 1 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	
1.	<b>Allgemein:</b> 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	—	Bei drahtlosen Steuerungen: „Stopp“
4.	Betriebs-, Stör- und Warnmeldungen	6.5.4.2	a	a	a	
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 Lastgrenzwertschaltung

**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



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	
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: Stoppfunktion 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.	<b>Hubwerke und Fahrwerke:</b> 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	Beispiele siehe <b>Bilder E-1</b> und <b>E-4</b> .
	b) Abschaltung bei Überschreitung der zulässigen Geschwindigkeit am Hubwegende	6.5.3 (5), 7.5	d	e	e	
Erste Abschalteinrichtung Zweite Abschalteinrichtung <sup>1)</sup>	—		c	—		
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	—	
19.	Verriegelung der Fahr- und Hubbewegung sowie Begrenzung der Fahrbewegung	8.5 a), 8.5 f), 8.5 g), 8.5 l)	—	—	d	
20.	<b>Zusätzliche Funktionen für Hubwerke:</b> Lastanzeige	7.5 g)	—	a	a	
21.	Abschaltung bei 110 % der maximalen Betriebslast (Überlastsicherung)	6.5.2 (4)	c	d	d	

<sup>1)</sup> Nur wenn bei Versagen dieser Funktion als Folge eine Überschreitung der Störfallplanungswerte nach § 49 StrlSchV unterstellt werden muss und die Funktion mittels softwarebasierter Systeme ausgeführt wird.

**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	
22.	Vorgelagerte variable Überlastsicherung	7.5 h)	—	b	—	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)	—	—	c	Lastgrenzwert, der betriebsartenabhängig aktiviert wird, z. B. in Abhängigkeit von der transportierten Last.
24.	Unterlastsicherung, Schlaffseil	8.2.1.3.1 (7)	—	—	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)	—	b	b	
27.	Überwachung der Hilfsmedien von Systemen zur Aufnahme oder zur Dämpfung des Lastumlagerungsstoßes	7.5 f)	—	b	b	
28.	Überwachung des ordnungsgemäßen Aufwickelns des Seiles auf der Trommel	6.5.2 (10)	b	b	b	
29.	Außenleiterüberwachung des Hubwerksmotors	7.5 a)	—	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 Zweite Überwachungseinrichtung <sup>1)</sup>	7.5 b)	—	e	e	Beispiele siehe <b>Bilder E-2</b> und <b>E-4</b> .
			—	c <sup>2)</sup>	—	
32.	Bremsenüberwachungen	6.5.2 (6) und 7.5 b)	a	a	a	Stellungsüberwachungen und Bremsbelagsüberwachungen
33.	a) Sicherheitswegbegrenzer Richtung heben Erste Begrenzungseinrichtung Zweite Begrenzungseinrichtung <sup>1)</sup>	6.5.3, 7.5 d)	d	e	e	Beispiele siehe <b>Bilder E-3</b> und <b>E-4</b> .
			—	c	—	
	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)	—	—	c	Z. B. durch Überwachung der höhenabhängigen Last am Seil

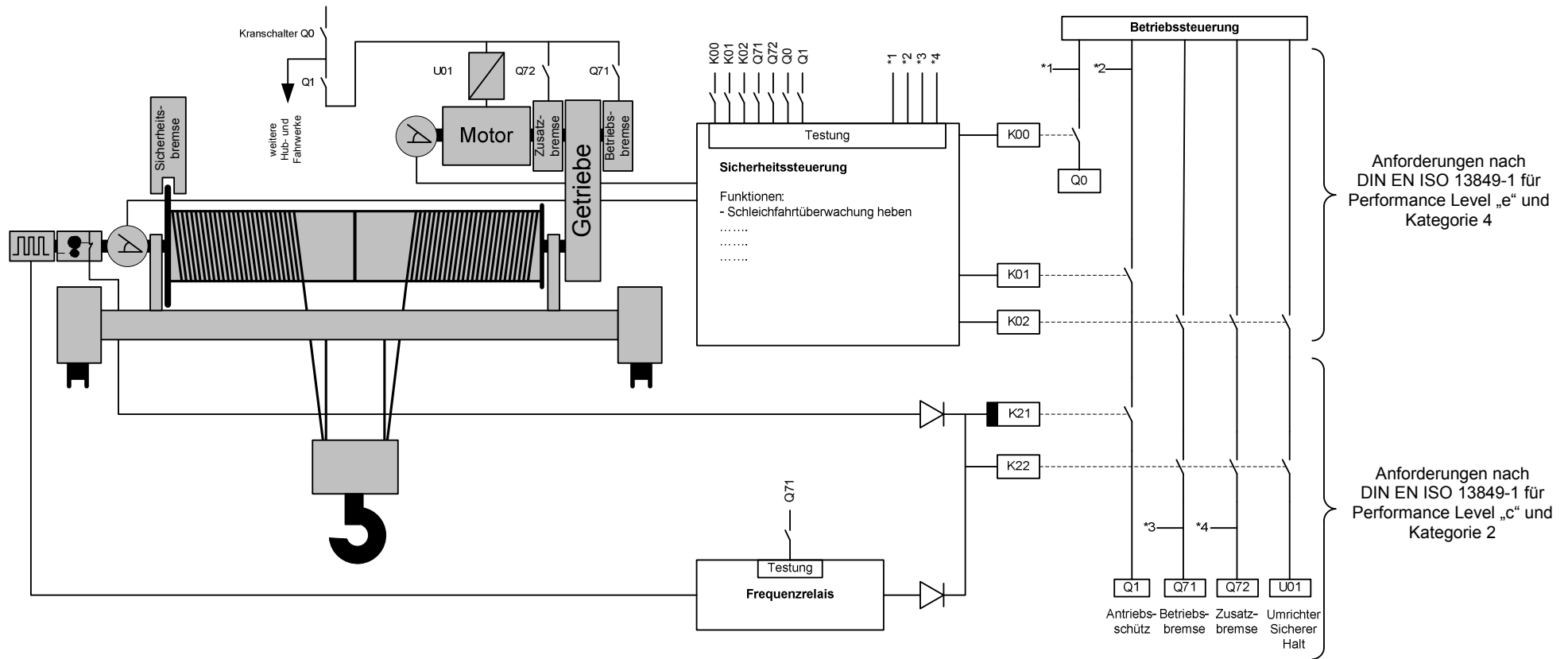
<sup>1)</sup> Nur wenn bei Versagen dieser Funktion als Folge eine Überschreitung der Störfallplanungswerte nach § 49 StrlSchV unterstellt werden muss und die Funktion mittels softwarebasierter Systeme ausgeführt wird.

<sup>2)</sup> Nicht erforderlich bei Hubwerken mit maximaler Betriebslast gleich oder kleiner als 5 t.

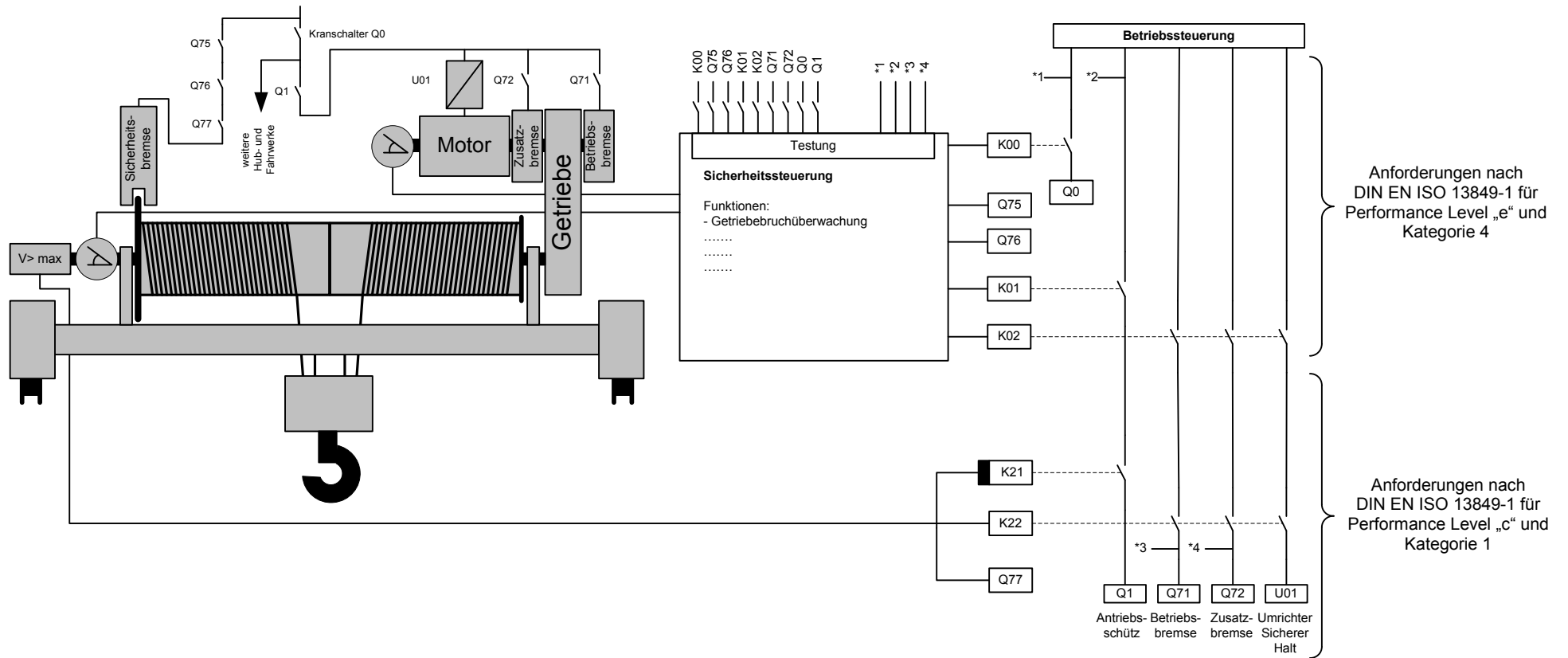
**Tabelle E-1:** Zuordnung typischer Funktionen sicherheitsbezogener Teile von Steuerungen in Hebezeugen nach den Abschnitten 4.2 bis 4.4 zu den erforderlichen Performance Leveln nach DIN EN ISO 13849-1 (Fortsetzung)

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	
35.	Aufsetzverhinderung	8.5 j)	—	—	a	Ergänzende Funktion, die bereits vor dem Ansprechen der Unterlastabschaltung wirksam werden soll.
36.	<b>Funktionen für elektrisch gesteuerte Lastgreifer:</b> a) Öffnen des Greifers bei Vorhandensein einer mechanischen Öffnungsverriegelung	6.5.2 (9)	a	c	c	
	b) Öffnen des Greifers bei Fehlen einer mechanischen Öffnungsverriegelung	6.5.2 (9), 8.5 k)	d	—	e	
37.	Stellungs- und Zustandsanzeigen des Lastgreifers	6.5.2 (9)	a	a	a	

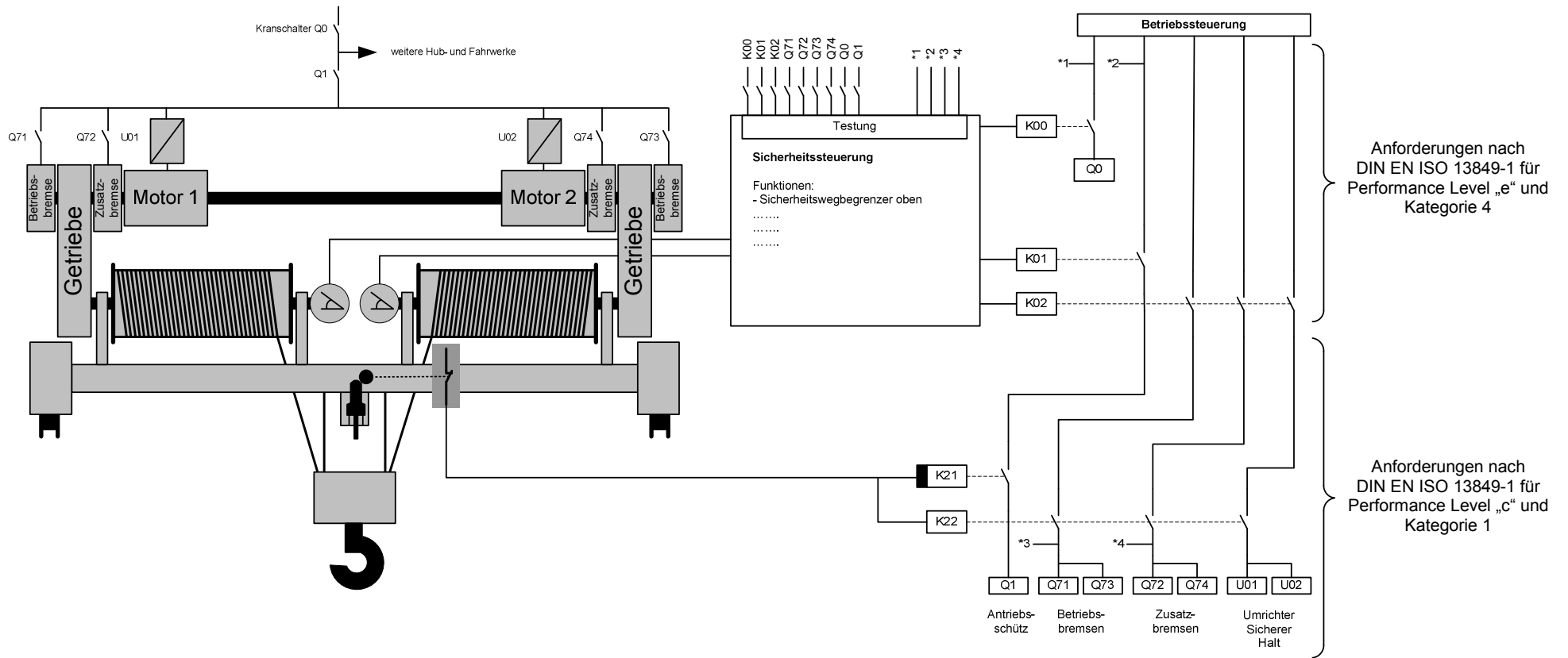
**Tabelle E-1:** Zuordnung typischer Funktionen sicherheitsbezogener Teile von Steuerungen in Hebezeugen nach den Abschnitten 4.2 bis 4.4 zu den erforderlichen Performance Leveln nach DIN EN ISO 13849-1 (Fortsetzung)



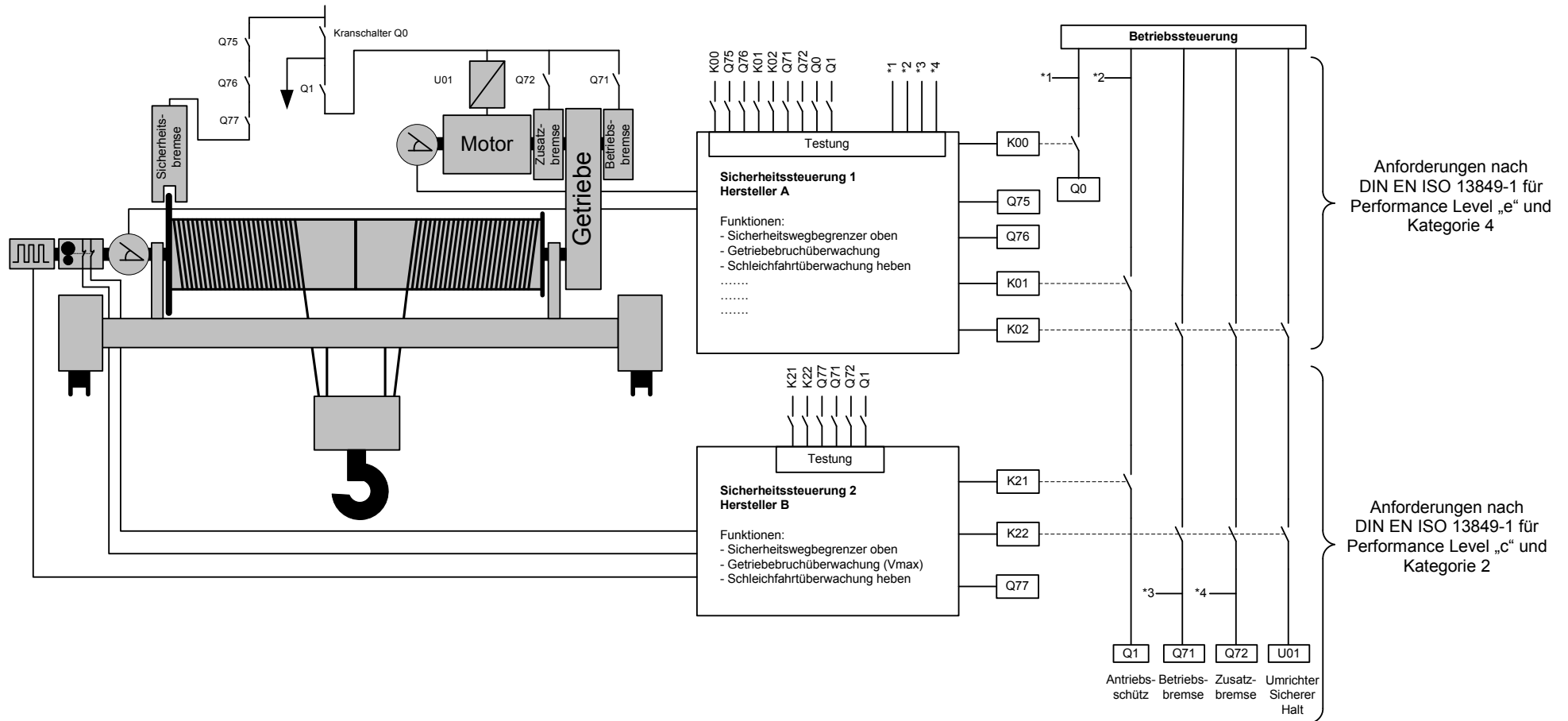
**Bild E-1:** Beispiel für eine Realisierung der Anforderungen gemäß Tabelle E-1 für die Funktion lfd. Nr. 12b „Abschaltung bei Überschreitung der zulässigen Geschwindigkeit am Hubwegende“ in Hebezeugen nach den Abschnitten 4.3 oder 4.4 (Beispiel für ein Hubwerk mit einfacher Triebwerkskette und keinem 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 Hubwedge“  
 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 95/16/EG	(1995-06-29)	Richtlinie 95/16/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 29. Juni 1995 zur Angleichung der Rechtsvorschriften der Mitgliedstaaten über Aufzüge [Amtsblatt L 213 vom 07.09.1995]
Atomgesetz (AtG)		Gesetz über die friedliche Verwendung der Kernenergie und den Schutz gegen ihre Gefahren (Atomgesetz - AtG) vom 23. Dezember 1959, Neufassung vom 15. Juli 1985 (BGBl. I S. 1565), das zuletzt durch Artikel 5 Absatz 6 des Gesetzes vom 24. Februar 2012 (BGBl. I S. 212) geändert worden ist
StrlSchV		Verordnung über den Schutz vor Schäden durch ionisierende Strahlen (Strahlenschutzverordnung - StrlSchV) vom 20. Juli 2001 (BGBl. I 2001, Nr. 38, S. 1714), , die zuletzt durch Artikel 5 Absatz 7 des Gesetzes vom 24. Februar 2012 (BGBl. I S. 212) geändert worden ist
Sicherheitskriterien	(1977-10)	Sicherheitskriterien für Kernkraftwerke vom 21. Oktober 1977 (BANz. Nr. 206 vom 3. November 1977)
Störfall-Leitlinien	(1983-10)	Leitlinien zur Beurteilung der Auslegung von Kernkraftwerken mit Druckwasserreaktoren gegen Störfälle im Sinne des § 28 Abs. 3 StrlSchV (Störfall-Leitlinien) vom 18. Oktober 1983 (Beilage zum BANz. Nr. 245 vom 31. Dezember 1983)
AtSMV	(1992-10-14)	Verordnung über den kerntechnischen Sicherheitsbeauftragten und über die Meldung von Störfällen und sonstigen Ereignissen (Atomrechtliche Sicherheitsbeauftragten- und Meldeverordnung - AtSMV), zuletzt geändert durch V v. 8.6.2010 I 755
KTA 2201.4	(2012-11)	Auslegung von Kernkraftwerken gegen seismische Einwirkungen; Teil 4: Anlagenteile
KTA 3201.2	(1996-06)	Komponenten des Primärkreises von Leichtwasserreaktoren; Teil 2: Auslegung, Konstruktion und Berechnung
KTA 3205.1	(2002-06)	Komponentenstützkonstruktionen mit nichtintegralen Anschlüssen; Teil 1: Komponentenstützkonstruktionen mit nichtintegralen Anschlüssen für Primärkreis-komponenten in Leichtwasserreaktoren
KTA 3903	(2012-11)	Prüfung und Betrieb von Hebezeugen in Kernkraftwerken
DIN EN 81-1	(2010-06)	Sicherheitsregeln für die Konstruktion und den Einbau von Aufzügen - Teil 1: Elektrisch betriebene Personen- und Lastenaufzüge; Deutsche Fassung EN 81-1:1998+A3:2009
DIN 743-1	(2000-10)	Tragfähigkeitsberechnung von Wellen und Achsen – Teil 1: Einführung, Grundlagen
DIN 743-2	(2000-10)	Tragfähigkeitsberechnung von Wellen und Achsen – Teil 2: Formzahlen und Kerbwirkungszahlen
DIN 743-3	(2000-10)	Tragfähigkeitsberechnung von Wellen und Achsen – Teil 3: Werkstoff-Festigkeitswerte
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	(2009-08)	Mechanische Eigenschaften von Verbindungselementen aus Kohlenstoffstahl und legiertem Stahl - Teil 1: Schrauben mit festgelegten Festigkeitsklassen - Regelgewinde und Feingewinde (ISO 898-1:2009); Deutsche Fassung EN ISO 898-1:2009
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 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 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	(2006-10) Schweißen - Schmelzschweißverbindungen an Stahl, Nickel, Titan und deren Legierungen (ohne Strahlschweißen) - Bewertungsgruppen von Unregelmäßigkeiten (ISO 5817:2003 + Cor. 1:2006); Deutsche Fassung EN ISO 5817:2007 (Berichtigung: 2007-10)
DIN EN 10025-2	(2005-04) Warmgewalzte Erzeugnisse aus Baustählen - Teil 2: Technische Lieferbedingungen für unlegierte Baustähle; Deutsche Fassung EN 10025-2:2004
DIN EN 10088-2	(2005-09) Nichtrostende Stähle - Teil 2: Technische Lieferbedingungen für Blech und Band aus korrosionsbeständigen Stählen für allgemeine Verwendung; Deutsche Fassung EN 10088-2:2005
DIN EN 10088-3	(2005-09) Nichtrostende Stähle - Teil 3: Technische Lieferbedingungen für Halbzeug, Stäbe, Walzdraht, gezogenen Draht, Profile und Blankstahlerzeugnisse aus korrosionsbeständigen Stählen für allgemeine Verwendung; Deutsche Fassung EN 10088-3:2005
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	(2009-02) 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	(2008-12) Sicherheit von Maschinen - Sicherheitsbezogene Teile von Steuerungen - Teil 1: Allgemeine Gestaltungsgrundsätze (ISO 13849-1:2006); Deutsche Fassung EN ISO 13849-1:2008
DIN EN 13889	(2009-02) Geschmiedete Schäkel für allgemeine Hebezwecke - Gerade und geschweißte Schäkel - Güteklasse 6 - Sicherheit; Deutsche Fassung EN 13889:2003+A1:2008
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 Gewindeschäft
DIN 15402-1	(1982-11) Lasthaken für Hebezeuge; Doppelhaken; Rohteile
DIN 15402-2	(1983-09) Lasthaken für Hebezeuge; Doppelhaken; Fertigteile mit Gewindeschäft
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 IEC 61513; VDE 0491-2	(2002-10) Kernkraftwerk - Leittechnik für Systeme mit sicherheitstechnischer Bedeutung - Allgemeine Systemanforderungen (IEC 61513:2001)
DIN EN 62138; VDE 0491-3-3	(2010-03) Kernkraftwerke - Leittechnik für Systeme mit sicherheitstechnischer Bedeutung - Softwareaspekte für rechnerbasierte Systeme zur Realisierung von Funktionen der Kategorien B oder C (IEC 62138:2004); Deutsche Fassung EN 62138:2009
SEB 666211 Beiblatt 1	(1985-08) Fördertechnik; Seiltrommeln; Berechnung der Schraubverbindung der Seilklemmen
VDI 2230 Blatt 1	(2003-02) Systematische Berechnung hochbeanspruchter Schraubenverbindungen - Zylindrische Einschraubenverbindungen (Berichtiger Nachdruck 2003-10)
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 Betriebsfestigkeitsberechnung; Empfehlung zur Lebensdauerabschätzung von Maschinenbauteilen, 4. Auflage, 1999, Herausgegeben vom Verein zur Förderung der Forschung und der Anwendung von Betriebsfestigkeitskenntnissen in der Eisenhüttenindustrie (VBFEh) im Stahlinstitut VDEh
- [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, Ausgabe 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 1999-06 und Erläuterungen

- (1) Die Anforderungen in KTA 3902 und KTA 3903 basieren nach wie vor auf der Normenreihe DIN 15018, da die als Auslegungsgrundlage vorgesehenen europäischen Normen erst als geschlossene Normenreihe mit dem Status einer harmonisierten Norm vorhanden und eingeführt sein müssen.
- (2) Der Abschnitt „Grundlagen“ wurde in Absatz 1 an die für alle KTA-Regeln einheitliche Formulierung angepasst, in Absatz 3 redaktionell überarbeitet und in den Absätzen 4 und 5 hinsichtlich der Forderungen an die Qualitätssicherung präzisiert.
- (3) Im Abschnitt 2 wurde der Begriff „Lastumlagerung“ neu aufgenommen.
- (4) In Abschnitt 4 „Besondere Bestimmungen“ wurden folgende Änderungen vorgenommen:
- Die Kriterien der Abschnitte 4.2 und 4.3 für die Notwendigkeit zusätzlicher oder erhöhter Anforderungen wurden im Regeltext und durch Aufnahme eines Einstufungsschemas in Anhang A präzisiert.
  - Im Abschnitt 4.5 wurde der Verweis auf den Anhang A von KTA 2201.4 durch eine adäquate Formulierung ersetzt, da dieser Anhang in der in Vorbereitung befindlichen Neufassung von KTA 2201.4 nicht mehr enthalten sein wird.
  - Im Abschnitt 4.7 wurden Anforderungen an die ergonomische Gestaltung aufgenommen.
- (5) Die Anforderungen an Aufzüge in Reaktorsicherheitsbehältern (Abschnitt 5) wurden unter Berücksichtigung der Aufzugsrichtlinie 95/16/EG und der Anforderungen in DIN EN 81-1 aktualisiert. Auf die Angabe der Norm DIN EN 81-2 wurde verzichtet, da ölhydraulisch betriebene Aufzüge im Reaktorsicherheitsbehälter nicht zum Einsatz kommen sollen (u.a. zwecks Minimierung der Brandlast).
- (6) Die Formulierung in 6.1.1 (3), 7.1.1 (3) und 8.1.1 (3) wurde zur Vermeidung von Missverständnissen präzisiert.
- (7) In den Abschnitten 6.1.2, 7.1.2, 8.1.2 und B 1.4.1.5 wurden Anforderungen an Verbindungen mit vorgespannten Schrauben ergänzt, die nach ihrer Demontage wieder remontriert werden.
- (8) Bei den zusätzlichen Anforderungen an Tragwerke (Abschnitt 6.1) wurden außerdem folgende Änderungen vorgenommen:
- Es wurde klargestellt, dass die Ermittlung der Spannungsspielzahl in jedem Fall nach Abschnitt B 1.2.1.2 zu erfolgen hat.
  - Es wurden Anforderungen an dynamisch beanspruchte Schweißnähte neu aufgenommen, die dem konventionellen Regelwerk entsprechen.
  - Es wurde ein Hinweis auf die Richtlinie VDI 3576 ergänzt, in der detailliertere Anforderungen als in DIN 15018-2 enthalten sind.
- (9) Bei den zusätzlichen Anforderungen an Hubwerke (Abschnitt 6.2) wurden folgende Änderungen vorgenommen:
- In den Abschnitten 6.2.1.3.2 (5) und 6.2.2.3 (5) wurden Anforderungen in Bezug auf die Bewertungsgruppe nach DIN EN ISO 5817 ergänzt.
  - Im Abschnitt 6.2.1.3.3 wurde die Einhaltung der Anforderungen nach DIN 15434-1 ergänzt und es wurden die Anforderungen an das Einfallen der Zusatzbremse präzisiert. Das verzögerte Einfallen der Zusatzbremse ist vorgesehen, um einen geringeren Verschleiß gegenüber der Betriebsbremse sicherzustellen. Diese Forderung soll bei nicht umrichterbetriebenen Antrieben für betriebliche Bremsvorgänge auch zukünftig beibehalten werden. Das gleichzeitige Einfallen beider Bremsen bei „Not-Halt“ wird nicht für erforderlich gehalten, da durch die Begrenzung der Verzögerungszeit ein sicheres Abbremsen sichergestellt wird. Sofern als Prüf- oder Sonderlastfall ein gleichzeitiges Einfallen von Betriebs- und Zusatzbremse auftreten kann, wird dies entsprechend Anhang B im Festigkeitsnachweis berücksichtigt.
- b) Im Abschnitt 6.2.2.1 wurde der Begriff „Mindestbruchkraft“ eingeführt und der Faktor für die Mindestbruchsicherheit wegen der geänderten Bezugsgröße geändert. Der geänderte Faktor ergibt sich aus dem jetzt erforderlichen Bezug auf die Mindestbruchkraft des Seiles und stellt keine inhaltliche Änderung gegenüber der bisherigen Anforderung dar. Diese Anpassung wurde erforderlich, da rechnerische Bruchkräfte in den aktuellen Normen nicht mehr verfügbar sind.
- c) Im Abschnitt 6.2.2.3 wurde die Anforderung nach einlagiger Bewicklung der Seiltrommel und einer entsprechenden Überwachung neu aufgenommen. Diese Überwachung ist erforderlich, da ein Seilüberlauf zu einer Vorschädigung des Seils und zu einer Funktionsbeeinträchtigung der Wegbegrenzer führen kann.
- (10) Bei den zusätzlichen Anforderungen an Lastaufnahmeanrichtungen (Abschnitt 6.4) wurden folgende Änderungen vorgenommen:
- Die Definition der unter diesen Abschnitt fallenden Tragmittel (Abschnitt 6.4.1) und Lastaufnahmemittel (Abschnitt 6.4.2) wurde in Übereinstimmung mit den Formulierungen in DIN 15003 präzisiert.
  - Es wurde klargestellt, dass die Schraubenlast bei Schraubenverbindungen mit zusätzlicher Zugbeanspruchung sowohl im allgemeinen Spannungsnachweis als auch im Betriebs- oder Dauerfestigkeitsnachweis um den Faktor 1,12 zu erhöhen ist (Abschnitte 6.4.1.1 und 6.4.2.1).
  - In Abschnitt 6.4.1.2 wurde ebenso wie in den Abschnitten 7.4.1.2 und 8.4.2 in Verbindung mit den Änderungen in Abschnitt B 1.2.1.2 eine Differenzierung der Anzahl von Spannungsspielen vorgenommen, ab der ein Betriebsfestigkeitsnachweis zu führen ist. Bei „sonstigen Bauteilen“ können die für Stahlbauteile nach DIN 15018-1 vorhandenen Erfahrungswerte mit der Spannungsbewertung auf Basis von Nennspannungen und den Werkstoffen nach Tabelle 8 und Abschnitt 6.4 von DIN 15018-1 nicht zugrunde gelegt werden. Deshalb wurde für diese Bauteile unter Berücksichtigung des in Abschnitt B 1.2.1.2 neu festgelegten Wertes für  $k_a$  die bisher festgelegte Anzahl von Lastarbeitsspielen, ab der ein Betriebsfestigkeitsnachweis zu führen ist, beibehalten. Für Tragwerke ist eine entsprechende Änderung der Anforderungen nicht erforderlich, da diese nach DIN 15018-1 ausgelegt werden und keine „sonstigen“ Bauteile enthalten.
  - Bei den Anforderungen an Anschlagseile, Anschlagketten und Schäkel wurde klargestellt, dass die Berücksichtigung des Hublastbeiwertes nicht erforderlich ist, da die dynamischen Einflüsse durch die Norm-Tragfähigkeit und die nach Abschnitt 4.2 erforderlichen zusätzlichen Sicherheiten durch die Begrenzung auf 50 % der Norm-Tragfähigkeit abgedeckt sind (Abschnitt 6.4.2.1).
  - Bei den Anforderungen an Anschlagmittel wurde ergänzt, dass sie festgelegten Transportvorgängen eindeutig zuzuordnen sind und nur für diese Transportvorgänge verwendet werden dürfen (Abschnitt 6.4.3.1).

(11) Die Anforderungen an die elektrische Ausrüstung (Abschnitte 6.5, 7.5 und 8.5) wurden grundlegend unter Berücksichtigung der aktuellen Normen überarbeitet, wobei im Wesentlichen folgende Änderungen vorgenommen wurden:

a) Im Rahmen des Regeländerungsverfahrens wurde geprüft, wie die für Sicherheitsleittechnik in Kernkraftwerken geltenden Vorschriften und Normen auf die elektrische Ausrüstung von Hebezeugen anzuwenden sind und durch die Anforderungen in KTA 3902 eingehalten werden. Bei der Überarbeitung der Anforderungen an die elektrische Ausrüstung von Hebezeugen in Kernkraftwerken wurde die bestehende Konzeption von KTA 3902 beibehalten, welche dadurch gekennzeichnet ist, dass auf den einschlägigen Regeln und Richtlinien für konventionelle Hebezeuge aufgebaut und darüber hinausgehende Anforderungen, die zur Einhaltung der kerntechnischen Schutzziele erforderlich sind, ergänzt werden. Diese Konzeption ist zweckmäßig, da bei den Herstellern von Hebezeugen die Anwendung der konventionellen Regeln und Richtlinien die geübte Praxis darstellt und für darüber hinausgehende Anforderungen zum Einsatz der Hebezeuge in Kernkraftwerken eine möglichst in sich geschlossene Regel mit konkreten technischen Anforderungen benötigt wird.

Die zur Einhaltung der kerntechnischen Schutzziele erforderlichen Funktionen der Hebezeuge wurden daher unter Anwendung der Performance Level der im Bereich der konventionellen Maschinentechnik eingeführten Norm DIN EN ISO 13849-1 sicherheitstechnisch eingestuft. Die in DIN EN ISO 13849-1 enthaltene Vorgehensweise zur Festlegung der Performance Level wurde hierzu durch ein den kerntechnischen Erfordernissen entsprechendes Einstufungsschema ersetzt. Die in Tabelle E-1 festgelegten Performance Level der einzelnen Funktionen sind das Ergebnis der auf den kerntechnischen Schutzziele basierenden Einstufung gemäß dem Einstufungsschema im Anhang E. Dadurch ergibt sich eine höherwertigere Ausführung der Funktionen und insgesamt ein höheres Sicherheitsniveau gegenüber der Anwendung des im informativen Anhang A von DIN EN ISO 13849-1 angegebenen Risikografs, welcher sich an Risiken zur Unfallverhütung orientiert.

- b) Es wird nicht mehr für erforderlich gehalten, für die Bezeichnung von Warn- und Störmeldungen konkrete Vorgaben zu machen. Diese Bezeichnungen wurden deshalb an allen betreffenden Stellen gestrichen.
- c) Die Anforderung in Abschnitt 6.5.1 (1) wurde allgemeiner und unter Berücksichtigung der in den aktuellen Normen enthaltenen Begriffe formuliert.
- d) In Abschnitt 6.5.1 (2) wurde neu aufgenommen, dass die Steuerung in eine betriebliche Steuerung und eine Sicherheitssteuerung zu unterteilen ist. Bei Verwendung softwarebasierter Sicherheitssteuerungen wird die Einhaltung der Anforderungen gemäß DIN EN 62138 gefordert, da DIN EN 62138 weitergehende Anforderungen enthält als die DIN EN ISO 13849-1, welche auch für softwarebasierte Steuerungen in Hebezeugen relevant sind.
- e) In Abschnitt 6.5.1 (8) wurde neu aufgenommen, dass für Sicherheitsfunktionen der aktuelle Versionsstand von Hard- und Software eindeutig identifizierbar sein muss.
- f) In Abschnitt 6.5.1 (9) wurde eine Präzisierung der Anforderungen an wiederkehrende Funktionsprüfungen vorgenommen.
- g) In Abschnitt 6.5.2 Absatz 1 wurden Anforderungen an das gesicherte Einschalten des Kranschalters aufgenommen.
- h) Die Forderung nach Begrenzung der Senkgeschwindigkeit wurde gestrichen, da sie mit den Regelungen in 6.5.1 (3) abgedeckt ist.
- i) In Abschnitt 6.5.2 (5) wurde ergänzt, dass die Daten von Lastkollektivzählern zu sichern sind. Als regelmäßige Sicherung wird z. B. die Sicherung während der wiederkehrenden Prüfungen verstanden.

j) Die Forderung nach verzögertem Einfall der Zusatzbremse wird nur für unregelmäßige Antriebe für erforderlich gehalten. Sowohl Abschnitt 6.2.1.3.3 als auch Abschnitt 6.5.2 (6) wurden dementsprechend geändert.

k) Der bisherige Absatz 6.5.2 (9) wurde geändert, weil mit der Formulierung die Beckenverriegelung und andere mögliche spezielle Verriegelungen (z. B. beim Beladen von MOX-Brennelementen) nicht abgedeckt waren. Da Anforderungen an Verriegelungen besser in den Abschnitt 6.5.3 „Begrenzungsfunktionen“ passen, wurde die geänderte Formulierung als neuer Absatz 6 in den Abschnitt 6.5.3 aufgenommen.

l) Die Anforderungen an Begrenzungsfunktionen in Abschnitt 6.5.3 wurden an mehreren Stellen präzisiert. Neu aufgenommen wurden

la) eine Anforderung an die Justierung elektronischer Wegmesssysteme um sicherzustellen, dass bei der Einstellung der auf einer Wegmessung basierenden Begrenzungsfunktionen keine Fehlbedienungen eintreten können,

lb) eine Klarstellung, dass zwischen betrieblichem und Sicherheitswegbegrenzer ein ausreichender Nachlaufweg vorhanden sein muss,

lc) die Forderung nach Maßnahmen, die sicherstellen, dass Sicherheitswegbegrenzer nur mit der zulässigen Geschwindigkeit angefahren werden können, sofern die Nachlaufwege nach dem Ansprechen der Sicherheitswegbegrenzer nicht für die Nenngeschwindigkeit ausgelegt sind.

m) Die Anforderungen an Befehlssysteme (Abschnitt 6.5.4.1) wurden präzisiert und zum Teil ergänzt. Da die Anforderungen an die Geschwindigkeitssteuerung zum Teil nur für unregelmäßige Antriebe anwendbar waren, erfolgte eine Unterteilung in zwei Absätze. Im neuen Absatz 2 wurde klargestellt, dass die Anforderung nur für Antriebe mit verschiedenen Geschwindigkeitsstufen gilt. In Übereinstimmung mit den Anforderungen an die Organisation von Transporten in KTA 3903 Abschnitt 9.2 wurden Anforderungen an die Abschaltvorrichtung für die Überwachungsperson bei Anwendung des „Vier-Augen-Prinzips“ neu aufgenommen (Absatz 6). Im neuen Absatz 8 wurden Anforderungen an drahtlose Steuerungen neu aufgenommen.

n) Bei den Anforderungen an Meldesysteme (Abschnitt 6.5.4.2) wurde klargestellt, dass Störungen stets zu Abschaltungen führen (müssen).

(12) Bei den erhöhten Anforderungen (Abschnitt 7) wurden folgende Änderungen vorgenommen:

a) In Analogie zu den zusätzlichen Anforderungen (Abschnitt 6) wurden Anpassungen an den aktuellen Stand der Normen und Präzisierungen sowie eine redaktionelle Überarbeitung vorgenommen.

b) In den Abschnitten 7.2.1.3.1 und 8.2.1.3.1 wurden Anforderungen an Hebezeuge ergänzt, die für den bestimmungsgemäßen Einsatz als Handhabungseinrichtung für Kernbauteile mit Lastanschlagpunkten vorgesehen sind, die die Anforderungen der Regel KTA 3905 erfüllen. Übereinstimmend mit den Festlegungen in KTA 3905 muss technisch sichergestellt sein, dass die bei der Lastumlagerung infolge Ausfall eines Bauteils des Hubwerkes entstehenden Belastungen nicht ungünstigere Beanspruchungen für die Lastanschlagpunkte ergeben als die aus dem Eigengewicht des Kernbauteils, multipliziert mit einem Lastüberhöhungsfaktor nicht größer als 4.

c) Bei den Anforderungen in den Abschnitten 7.4.1.1 und 8.4.1 wurde das neu aufgenommene Werkstoffprüfblatt WPB 3.17 berücksichtigt (übereinstimmend mit den Festlegungen in KTA 3905).

d) Im Abschnitt 7.4.3 wurde die Verwendung von Anschlagmitteln auch für Hebezeuge mit Einstufung nach Abschnitt

4.3 zugelassen, da die Grenze zwischen Lastaufnahmemitteln (Gehängen) und reinen Anschlagmitteln fließend ist. Aufgrund der Anforderungen in Abschnitt 4.7, der Forderung nach Zuordnung zu Transportvorgängen in 6.4.3.1 (2) und der spezifischen Betriebs- und Wartungsanleitungen ist die erforderliche Sicherheit beim Einsatz von Anschlagmitteln auch für Hebezeuge mit Einstufung nach Abschnitt 4.3 gewährleistet.

e) Bei den Anforderungen an die elektrische Ausrüstung (Abschnitt 7.5) wurden folgende Änderungen vorgenommen:

ea) Die aufgeführten Anforderungen wurden auf diejenigen beschränkt, die zusätzlich zu Abschnitt 6.5 gelten.

eb) Die in 7.5 a) geforderte Außenleiterüberwachung war nach dem bisherigen Regeltext nicht beim Stillstand wirksam. Deshalb wurde der Ausfall des Antriebsumrichters mit aufgenommen.

ec) Die allgemeinen Anforderungen an Sicherheitswegbegrenzer wurden gestrichen, da diese Anforderungen hinreichend in Abschnitt 6.5.3 geregelt sind. Eine über die in Tabelle E-1 enthaltene Differenzierung hinaus gehende spezielle Anforderung für Hebezeuge nach KTA 3902 Abschnitt 4.3 wird nicht für erforderlich gehalten.

ed) Die Anforderungen an die Überwachung von Getriebe- oder Wellenbruch in Abschnitt 7.5 b) sowie für die Sicherheitswegbegrenzung am Hubwegende (einschließlich der Überwachung der zulässigen Geschwindigkeit am Hubwegende) wurden präzisiert, wobei zusätzliche Maßnahmen für den Fall aufgenommen wurden, wenn bei Versagen dieser Funktion eine Überschreitung der Störfallplanungswerte nach § 49 StrlSchV unterstellt werden muss.

Muss als Folge eines Versagens der Sicherheitsfunktionen gemäß Abschnitt 7.5 b) oder 7.5 d) eine Überschreitung der Störfallplanungswerte nach § 49 StrlSchV unterstellt werden, werden bei einer Realisierung dieser Sicherheitsfunktionen mittels softwarebasierter Systeme die in DIN EN ISO 13849-1, Anhänge F und G, festgelegten Maßnahmen gegen Common Cause Failure (CCF) und systematischen Ausfall als nicht ausreichend angesehen. Bei Realisierung einer Sicherheitsfunktion mit nur einer Gerätetechnik kann auch bei redundanter Ausführung und Umsetzung der Maßnahmen gemäß DIN EN ISO 13849-1 ein Versagen der Sicherheitsfunktion auf Grund eines unerkannten im System enthaltenen Software- oder Hardwarefehlers nicht mit ausreichender Sicherheit ausgeschlossen werden. Ergänzend zu den Maßnahmen gemäß DIN EN ISO 13849-1 wird daher eine Realisierung dieser Sicherheitsfunktionen mittels zweier verschiedenartiger Gerätesysteme für erforderlich gehalten. Bei der Getriebebruchüberwachung mit Ansteuerung der Sicherheitsbremse von Hubwerken mit maximaler Betriebslast gleich oder kleiner als 5 t ist zusätzlich zur Sicherheitseinrichtung in PL „e“ keine zweite Sicherheitseinrichtung erforderlich, weil eine Überschreitung der Störfallplanungswerte nach § 49 StrlSchV infolge eines Versagens dieser Funktion nicht unterstellt werden muss (siehe z. B. Berichte GRS-A-3114, GRS-A-3328).

ee) Es wurde neu aufgenommen, dass der Einfall der Sicherheitsbremse bei Bewegung des Hubwerks mittels Zähler zu erfassen ist. Damit wird dem Umstand Rechnung getragen, dass Getriebe üblicherweise für eine begrenzte Anzahl des Einfallens der Sicherheitsbremse bei Drehbewegung ausgelegt werden.

(13) Die Anforderungen an Brennelement-Wechselanlagen (Abschnitt 8) wurden in Analogie zu den zusätzlichen (Abschnitt 6) und erhöhten (Abschnitt 7) Anforderungen an den aktuellen Stand der Normen angepasst und präzisiert. Zusätz-

lich wurden bei den Anforderungen an die elektrische Ausrüstung (Abschnitt 8.5) folgende Änderungen vorgenommen:

a) Die aufgeführten Anforderungen wurden auf diejenigen beschränkt, die zusätzlich zu den Abschnitten 6.5 und 7.5 gelten. Bei Brennelement-Wechselanlagen ist bei den Sicherheitsfunktionen gemäß Abschnitt 7.5 b) oder 7.5 d) zusätzlich zur Sicherheitseinrichtung in PL „e“ keine zweite Sicherheitseinrichtung erforderlich, weil eine Überschreitung der Störfallplanungswerte nach § 49 StrlSchV infolge eines Versagens der Funktionen nicht unterstellt werden muss (siehe z. B. Bericht GRS-A-3114, GRS-A-3328, Verriegelung gemäß Abschnitt 8.5 l).

b) Die Anforderung in Abschnitt 8.5 f) wurde geändert, weil das gleichzeitige Fahren und Heben (3-D-Fahrweise) zugelassen werden kann, wenn der erforderliche Kollisionsschutz durch die Steuerung sichergestellt ist. Der erste Satz konnte gestrichen werden, weil der Sachverhalt mit der Anforderung in 6.5.3 (6) abgedeckt ist.

c) Es wurden Klarstellungen und Ergänzungen vorgenommen, die sich aus der Zusammenstellung typischer sicherheitsrelevanter Funktionen (Anhang E) ergaben.

(14) Der Anhang A wurde um ein Einstufungsschema ergänzt, in dem die seit vielen Jahren bewährte Praxis bei der Anwendung der in KTA 3902 enthaltenen Einstufungsgrundsätze dargestellt ist. Die Kriterien des Einstufungsschemas werden wie folgt begründet:

a) Der Bewertung der Strahlenexposition liegen die Grenzwerte gemäß §§ 46 und 47 StrlSchV zugrunde. Grenzwerte der Strahlenschutzverordnung können auch ohne oder bei geringer Aktivitätsfreisetzung überschritten werden (z. B. wenn eine Abschirmung beschädigt wird und sich deshalb die Direktstrahlung unzulässig erhöht). Die ausreichende Unterschreitung der Grenzwerte kann nur unter Berücksichtigung der Eintrittshäufigkeit einer Freisetzung für den Einzelfall festgelegt werden. Bei Abgängen auf vorgesehenen Pfaden (Ableitungen) kann bei Einhaltung der Genehmigungswerte für die Ableitungen eine ausreichende Unterschreitung als gegeben angesehen werden.

Die im Einstufungsschema enthaltenen Einstufungskriterien wurden ausgehend vom Gefährdungspotenzial im Fall eines Handhabungsstörfalls in Kernkraftwerken festgelegt. Dem entsprechend wurden auch die gegenüber der Regelfassung 1999-06 präzisierten Richtwerte der zulässigen Strahlenexposition bei Versagen eines Hebezeugs und die in Anhang A3 aufgenommenen Beispiele für das Vorgehen bei der Einstufung von Hebezeugen ausgehend von der Erfahrung mit Genehmigungs- und Aufsichtsverfahren in Kernkraftwerken formuliert. Im Rahmen des Regeländerungsverfahrens zu KTA 3902 wurde nicht erörtert, ob oder unter welchen Bedingungen die in KTA 3902 festgelegten Kriterien für eine Auslegung gemäß Abschnitt 4.2 oder Abschnitt 4.3 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 die Auslegung von Hebezeugen in Brennelement-Zwischenlagern sind in den „Leitlinien für die trockene Zwischenlagerung bestrahlter Brennelemente und Wärme entwickelnder radioaktiver Abfälle in Behältern“ festgelegt. Dort ist u.a. geregelt, dass auf eine Auslegung nach erhöhten Anforderungen verzichtet werden kann, wenn nachgewiesen wird, dass bei Handhabungsstörfällen, z. B. einem Absturz eines Behälters, die Störfallplanungswerte der §§ 49 bzw. 50 in Verbindung mit § 117 Abs. 16 StrlSchV eingehalten werden und das Bauwerk gegen Folgelasten ausgelegt ist.

b) Bei der Einstufung im Hinblick auf die maximal zulässigen Ableitungen in die Umgebung werden sowohl die im Genehmigungsbescheid der Genehmigungs- und Aufsichtsbehörden festgelegten Genehmigungswerte für Kurzzeit-

abgaben (Ableitungen pro Tag) als auch für Langzeitabgaben (pro Jahr, über 180 aufeinanderfolgende Tage etc.) herangezogen.

- c) Der für die Strahlenexposition des Personals angegebene Wert wurde in Anlehnung an den in der StrlSchV für beruflich strahlenexponierte Personen der Kategorie B angegebenen Jahresgrenzwert festgelegt, da nicht auszuschließen ist, dass sich strahlenexponierte Personen der Kategorie B in der Nähe des Hebezeugs aufhalten.
- d) Der Wert 200 kg für die Masse der Komponente wurde in Anlehnung an das Kriterium E 2.4.1 der ATSMV und den in Anlage 1 (Fassung 2004-12) zur Bekanntmachung des BMU vom 13. Mai 1993 (RS I 5-14009) „Meldung meldepflichtiger Ereignisse in Anlagen zur Spaltung von Kernbrennstoffen“ enthaltenen Erläuterungen zu dem in Kriterium E 2.4.1 verwendeten Begriff „schwere Last“ gewählt.

(15) Im Anhang B wurden folgende Präzisierungen und Ergänzungen vorgenommen:

- a) Die Anforderungen wurden, soweit erforderlich, präzisiert, um den neu aufgenommenen Regelungen zur Verwendung der Finite-Elemente-Methode (Abschnitt B 3) sowie den neu aufgenommenen Anhängen C und D Rechnung zu tragen.
- b) Ausgehend von den Vorgaben der DIN 15018-1 wurden Regelungen neu aufgenommen, nach denen der Betriebsfestigkeitsnachweis bei genauerer Kenntnis der Betriebsbeanspruchungen auf Basis dieser Beanspruchungen erfolgen darf (Abschnitt B 1.1.1). Diese Vorgehensweise lässt eine differenzierte Betrachtung in Abhängigkeit von der Beanspruchungshöhe zu.
- c) Bei den Anforderungen an die Nachweisführung (Abschnitte B 1.1.2 und B 2.1.3) wurde basierend auf den Regelungen in KTA 3205.1 die grundlegende Anwendbarkeit anderer Berechnungsverfahren ergänzt.
- d) Der nach Abschnitt B 1.2.1.2 anzusetzende Wert  $K_a = 3$  wurde ausgehend von den vorliegenden Betriebs Erfahrungen und Messwerten festgelegt. Hierbei wurde dem Umstand Rechnung getragen, dass aufgrund von Vergleichsberechnungen und Messergebnissen geringere dynamische Beanspruchungen je Lastarbeitsspiel auftreten als bisher durch  $K_a = 10$  angenommen.
- e) Im Abschnitt B 1.2.2.1 wurde klargestellt, dass es zulässig ist, den Verlauf der Wöhlerlinie beim Betriebsfestigkeitsnachweis von Maschinenteilen in Lastaufnahmeeinrichtungen entsprechend der Literatur oder [7] zu bestimmen. Dieses Vorgehen bedeutet einen Entfall der in KTA 3902 ansonsten vorgesehenen Begrenzung auf  $R_{p0,2}$  bzw.  $0,7 \cdot R_m$ . Der statische Nachweis mit Absicherung der ersten Kollektivstufe gegen die Streckgrenze bleibt hierbei entsprechend den Festlegungen in KTA 3902 erforderlich. Voraussetzung ist hierbei, dass für den betrachteten Werkstoff die Dauerfestigkeitswerte bei einer Überlebenswahrscheinlichkeit von 50 % vorliegen, da die in KTA 3902 enthaltenen Sicherheitsfaktoren auf diese Werte ausgerichtet sind. Zusätzlich wurde eine Wertetabelle für austenitische Stähle aufgenommen (Tabelle B 1-2), die für die dort genannten Stähle bei der Bestimmung der Wöhlerlinien im Rahmen des Betriebsfestigkeitsnachweises zugrunde gelegt werden kann. Die Werte basieren auf experimentellen Untersuchungen, die an der Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung durchgeführt wurden (Bork, C.-P., Hackbarth, A., Wohler, H.: Schwingfestigkeitsuntersuchungen an geschweißten Proben aus austenitischen Stählen im Hinblick auf Lastanschlagpunkte in Kernkraftwerken, Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung, Berlin, Januar 1993).
- f) In den Abschnitten B 1.2.2.1 und B 1.3.2 wurden Regelungen zur Anwendung von DIN 743 bei der Ermittlung der Einflussgrößen auf die Festigkeitskennwerte aufgenommen. Da bei Anwendung von DIN 743 die Sicherheitsbei-

werte nach KTA 3902 unverändert bleiben, sind die erforderlichen Auslegungsanforderungen bei Anwendung von DIN 743 erfüllt.

- g) Im Abschnitt B 1.2.4 wurde eine ergänzende Regelung aufgenommen, wonach bei genormten und nicht genormten Spezialeisen der korrigierte Beiwert  $c$  nach FEYRER et al. [13] zugrunde gelegt werden darf. Der korrigierte Beiwert  $c$  kommt bei allen Seilen zum Tragen, die von dem in DIN 15020-1 zugrunde gelegten Verfüllfaktor von 0,455 und dem Verseilfaktor von 0,825 abweichen. Die Bestimmung des erforderlichen minimalen Seildurchmessers kann gemäß DIN 15020-1 auf Basis der gleichen erforderlichen statischen Sicherheit unter Verwendung eines korrigierten Beiwertes  $c$  gemäß dem angegebenen Verfahren vorgenommen werden. Dies führt im Allgemeinen zu einer Verringerung des Mindest-Seildurchmessers. Die Zulässigkeit dieses Ansatzes ist darin begründet, dass mit einem solchen Spezialeisen mindestens die gleiche Lebensdauer in dem Seiltrieb erzielt werden kann wie bei Verwendung eines Standard-Drahtseiles.
- h) In den Abschnitten B 1.4.1.5 und in B 2.4 (4) wurden die Anforderungen an die aktuelle Ausgabe der VDI 2230 angepasst.
- i) Im Abschnitt B 2.2.1.1 (4) wurde die Formulierung für die Anwendung des „Redundanzfaktors“ in der Berechnung von einfach vorhandenen Bauteilen zwecks Klarstellung präzisiert.
- j) Im Abschnitt B 2.2.2.3 wurde eine Begrenzung der Beanspruchungen von Passfedern aus den Lastfällen „Lastumlagerung“ und „Einfall Sicherheitsbremse“ neu aufgenommen. Die Begrenzung erfolgte in Anlehnung an DIN 6892 (1998-11). Auf diese Weise kann dem Einfluss von sehr seltenen Lastspitzen aus diesen Lastfällen, bei denen die Beanspruchungen die betriebsmäßig auftretenden deutlich übersteigen, im Festigkeitsnachweis eindeutig Rechnung getragen werden.
- k) Im Abschnitt B 3 wurden Regelungen zur Nachweisführung bei Anwendung der Finite-Elemente-Methode aufgenommen. Die bei der Verwendung von Finite-Elemente-Rechnungen vorgeschriebene Vorgehensweise geht davon aus, dass die Bewertung des Bereichs außerhalb der Störstelle wie bisher erfolgt (Spannungsbewertung auf Basis von Nennspannungen) und für die Vergleichsspannung innerhalb der Störstelle in Anlehnung an KTA 3205.1 Tabelle 7-7 das 1,2fache der für den ungestörten Bereich zulässigen Werte zugelassen wird. Bei Überschreitung des Grenzwertes ist die Durchführung einer Grenztragfähigkeitsanalyse zugelassen. Die hierbei anzusetzenden Werte für die Fließspannung wurden proportional zu den zulässigen Spannungen des elastischen Nachweises festgelegt. Die größte Hauptspannung ist bei der Spannungsbewertung deshalb mit zu betrachten, weil keine separate Absicherung der sekundären Spannungen erfolgt.

(16) Die neu aufgenommenen Anhänge C und D enthalten Wöhlerlinien für den Betriebs- und Dauerfestigkeitsnachweis, deren Verwendung bei genauer Kenntnis der Betriebsbedingungen zugelassen ist. Die Angaben im Anhang C sind aus DIN 15018-1 Tabellen 14 und 17 abgeleitet. Die im Anhang D angegebenen zulässigen Spannungen basieren auf experimentellen Untersuchungen, die im Auftrag des Ministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit an der Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM) durchgeführt wurden.

(17) Im neu aufgenommenen Anhang E sind die für Funktionen sicherheitsbezogener Teile von Steuerungen in Hebezeugen mit zusätzlichen oder erhöhten Anforderungen sowie von Brennelement-Wechselanlagen erforderlichen Performance Level nach DIN EN ISO 13849-1 zusammengestellt.

Das in Abschnitt E 1 vorgegebene Einstufungsschema trägt dem Erfordernis Rechnung, dass ein Lastabsturz entspre-

chend den KTA 3902 zugrunde liegenden Auslegungsgrundsätzen ausgeschlossen und dem Restrisiko zuordenbar sein muss. Die Einstufungskriterien wurden abweichend von den im informativen Anhang A von DIN EN ISO 13849-1 angegebenen Kriterien festgelegt, weil

- a) aufgrund der atomrechtlichen Rechtsgrundlagen durch entsprechende Vorsorgemaßnahmen sicherzustellen ist, dass eine Überschreitung der Störfallplanungswerte nach § 49 StrlSchV - auch infolge von Funktionsversagen an einem Hebezeug - nicht eintritt,
- b) für Funktionen, bei deren Versagen eine Überschreitung der Störfallplanungswerte nach § 49 StrlSchV unterstellt werden muss, über das Performance Level „e“ hinaus gehende Anforderungen für erforderlich gehalten werden,
- c) die für den Transport von feuerflüssigen Massen gemäß DIN EN 14492-2 Anhang B geltenden Anforderungen unter Berücksichtigung der Angaben in DIN EN ISO 13849-1 Tabelle 3 nicht ausreichend erscheinen, um für die gemäß KTA 3902 Abschnitt 4.3 zu besorgenden Gefährdungen im ausreichenden Maße Vorsorge zu treffen,
- d) der in Anhang A von DIN EN ISO 13849-1 enthaltene Risikograf aufgrund der spezifischen Gefährdungen durch Hebezeuge in einem Kernkraftwerk nicht für die Anwendung auf Hebezeuge nach KTA 3902 geeignet ist,

- e) DIN EN ISO 13849-1 von einer Risikobetrachtung ausgeht, während das KTA-Regelwerk auf deterministischen Anforderungen basiert.

Für Hubwerke mit einer Triebwerkskette und Sicherheitsbremse mit maximaler Betriebslast bis zu 5 t ist eine Überschreitung der Störfallplanungswerte nach § 49 StrlSchV infolge eines Getriebebruchs aus folgenden Gründen nicht zu unterstellen:

- bei einem unterstellten Lastabsturz deutlich geringere Folgen als bei größeren Hubwerken (z. B. 180 t),
- durch Betriebserfahrung belegte geringe Eintrittshäufigkeit eines Getriebebruchs bei nach KTA 3902 ausgelegten und geprüften Getrieben.

Deshalb wird die Forderung, die Getriebebruchüberwachung mittels zweier verschiedenartiger (dissimilarer) Einrichtungen zu realisieren, auf Hubwerke mit einer maximalen Betriebslast von mehr als 5 t beschränkt.

(18) An zahlreichen Stellen der Regel erfolgte eine Aktualisierung der Anforderungen unter Berücksichtigung der aktuellen Normen. Dabei wurden bisher geltende Anforderungen an die konstruktive Gestaltung, die in den aktuellen Vorschriften nicht mehr enthalten sind, aber für erforderlich gehalten werden, in den Regeltext übernommen (z. B. aus VBG 9a).