DIN EN 13001-3-8

ICS 21.120.10; 53.020.20 Einsprüche bis 2022-03-07

Entwurf

Krane – Konstruktion allgemein – Teil 3-8: Grenzzustände und Sicherheitsnachweise für Maschinenbauteile – Wellen; Deutsche und Englische Fassung prEN 13001-3-8:2021

Cranes –
General design –
Part 3-8: Limit states and proof competence of machinery – Shafts;
German and English version prEN 13001-3-8:2021

Appareils de levage à charge suspendue –
Conception générale –
Partie 3-8: États limites et vérification d'aptitude des éléments de mécanismes – Arbres;
Version allemande et anglaise prEN 13001-3-8:2021

Anwendungswarnvermerk

Dieser Norm-Entwurf mit Erscheinungsdatum 2022-01-07 wird der Öffentlichkeit zur Prüfung und Stellungnahme vorgelegt.

Weil die beabsichtigte Norm von der vorliegenden Fassung abweichen kann, ist die Anwendung dieses Entwurfs besonders zu vereinbaren.

Stellungnahmen werden erbeten

- vorzugsweise online im Norm-Entwurfs-Portal von DIN unter www.din.de/go/entwuerfe bzw. für Norm-Entwürfe der DKE auch im Norm-Entwurfs-Portal der DKE unter www.entwuerfe.normenbibliothek.de, sofern dort wiedergegeben;
- oder als Datei per E-Mail an nam@vdma.org möglichst in Form einer Tabelle. Die Vorlage dieser Tabelle kann im Internet unter www.din.de/go/stellungnahmen-norm-entwuerfe oder für Stellungnahmen zu Norm-Entwürfen der DKE unter www.dke.de/stellungnahme abgerufen werden;
- oder in Papierform an den DIN-Normenausschuss Maschinenbau (NAM), 60498 Frankfurt am Main, Postfach 71 08 64 oder Lyoner Str. 18, 60528 Frankfurt am Main.

Die Empfänger dieses Norm-Entwurfs werden gebeten, mit ihren Kommentaren jegliche relevanten Patentrechte, die sie kennen, mitzuteilen und unterstützende Dokumentationen zur Verfügung zu stellen.

Gesamtumfang 160 Seiten

DIN-Normenausschuss Maschinenbau (NAM)

Documents
Document Sharing Hub

Full document details: E DIN EN 13001-3-8:2022-02

Nationales Vorwort

Dieser Norm-Entwurf enthält sicherheitstechnische Festlegungen.

Die nationalen Interessen bei der Erarbeitung werden vom Ausschuss NA 060-22-10 AA „Lenkungsausschuss Krane und Hebezeuge“ und NA 060-22-10-21 AK „Konstruktion - allgemein (SpA CEN/TC 147/WG 2 u. SpA ISO/TC 96/SC 10)“ im Fachbereich „Krane und Hebezeuge“ des DIN Normenausschusses Maschinenbau (NAM) wahrgenommen. Vertreter der Hersteller und Anwender von Krane und Hebezeuge sowie der Berufsgenossenschaften sind an der Erarbeitung beteiligt.

Dieser Norm-Entwurf konkretisiert einschlägige Anforderungen von Anhang I der EU-Maschinenrichtlinie 2006/42/EG an erstmals im Europäischen Wirtschaftsraum (EWR) in Verkehr gebrachte Maschinen, um den Nachweis der Übereinstimmung mit diesen Anforderungen zu erleichtern.

Für die Anwendung wird darauf hingewiesen, dass unter dem Begriff „Kran“ alle Maschinen zum zyklischen Heben oder zum zyklischen Heben von an Haken oder anderen Lastaufnahmeeinrichtungen hängenden Lasten verstanden werden. Das bedeutet, dass diese Norm auch z. B. für Winden, die diese Definition erfüllen, anzuwenden ist.

Um Zweifelsfälle in der Übersetzung auszuschließen, ist die englische Originalfassung beigefügt. Die Nutzungsbedingungen für den deutschen Text des Norm-Entwurfes gelten gleichermaßen auch für den englischen Text.

Aktuelle Informationen zu diesem Dokument können über die Internetseiten von DIN (www.din.de) durch eine Suche nach der Dokumentennummer aufgerufen werden.

Documents
Document Sharing Hub

Full document details: E DIN EN 13001-3-8:2022-02

– Entwurf –

2021-12

prEN 13001-3-8:2021

Titel de:	Krane — Konstruktion allgemein — Teil 3-8: Grenzzustände und Sicherheitsnachweise für Maschinenbauteile — Wellen
Titel en:	Cranes — General design — Part 3-8: Limit states and proof competence of machinery — Shafts
Titel fr:	Appareils de levage à charge suspendue — Conception générale — Partie 3-8: États limites et vérification d'aptitude des éléments de mécanismes — Arbres

Documents
Document Sharing Hub

Full document details: E DIN EN 13001-3-8:2022-02

Inhalt

Seite

Europäisches Vorwort 4

1 Anwendungsbereich 5

2 Normative Verweisungen 5

3 Begriffe 6
3.1 Begriffe 6
3.2 Symbole und Abkürzungen 6

4 Allgemeines 9
4.1 Dokumentation 9
4.2 Werkstoffe 10
4.2.1 Werkstoffsorten und Werkstoffgüte für Wellen 10
4.2.2 Kerbschlagzähigkeit 19
4.3 Mechanische Bauteile — Wellen 19
4.3.1 Allgemeines 19
4.3.2 Wellen für Gleitlager 20
4.3.3 Geschweißte Wellen 20

5 Sicherheitsnachweis für Wellen 20

6 Nachweis der statischen Festigkeit 21
6.1 Allgemeines 21
6.2 Bemessungsspannungen 22
6.3 Grenzwerte der Bemessungsspannung 22
6.4 Durchführung des Nachweises 22
6.5 Durchbiegungen 23

7 Nachweis der Ermüdungsfestigkeit 23
7.1 Allgemeines 23
7.2 Verfahren basierend auf der Schwingfestigkeit: Wöhlerversuch (S-N-Methode) 25
7.2.1 Bemessungsspannung 25
7.2.2 Grenzwert der zulässigen Ermüdungsspannung $\sigma_{Rd,f}$ 36
7.3 Durchführung des Nachweises der Ermüdungsfestigkeit 43
7.3.1 Einzelnachweis 43
7.3.2 Vereinfachter Nachweis 43
7.3.3 Nachweis für mehrachsige Lasten 43

Anhang A (informativ) Werte für den Kerbfaktor f_1 44
A.1 Allgemeines 44
A.2 Beispiele für Kerbfaktoren 45

Anhang B (informativ) ε-N-Methode: Ansatz auf Basis der Dehnungsermüdung 55
B.1 Einleitung 55
B.2 Ursprung der Widerstandskurve im Ansatz auf Basis der Dehnungsermüdung 55
B.3 Bestimmung der Widerstandskurve im Ansatz auf Basis der Dehnungsermüdung für eine Stahlsorte 58
B.4 Bestimmung der Widerstandskurve für ein Maschinenbauteil 60
B.5 Ansatz auf Basis der Dehnungsermüdung: ε-N-Methode 61
B.5.1 Allgemeines 61
B.5.2 Bestimmung des Dehnungsverlaufs 61
B.5.3 Bestimmung des Auslegungsermüdungsschadens anhand des Dehnungsverlaufs 63

Documents
Document Sharing Hub

Full document details: E DIN EN 13001-3-8:2022-02

B.5.4 Bestimmung des Gesamtermüdungsschadens durch kombinierte Normal- und/oder Schubspannungen 64
B.6 Ansatz auf Basis der Dehnungsermüdung (ε-N-Methode): Nachweis der Ermüdungsfestigkeit einer Welle (Beispiel) 67
B.6.1 Einleitung 67
B.6.2 Nachweis der Ermüdungsfestigkeit 68

Anhang C (informativ) Auswahl einer geeigneten Gruppe von Krannormen für eine bestimmte Anwendung 74

Anhang D (informativ) Liste der Gefährdungen 76

Anhang ZA (informativ) Zusammenhang zwischen dieser Europäischen Norm und den grundlegenden Anforderungen der abzudeckenden Richtlinie 2006/42/EG 77

Literaturhinweise 78

Documents
Document Sharing Hub

Full document details: E DIN EN 13001-3-8:2022-02

Europäisches Vorwort

Dieses Dokument (prEN 13001-3-8:2021) wurde vom Technischen Komitee CEN/TC 147 „Krane-Sicherheit“ erarbeitet, dessen Sekretariat von DIN gehalten wird.

Dieses Dokument ist derzeit zur CEN-Umfrage vorgelegt.

Dieses Dokument wurde im Rahmen eines Mandats/Normungsauftrages erarbeitet, das/den die Europäische Kommission und die Europäische Freihandelsassoziation CEN erteilt haben, und unterstützt grundlegende Anforderungen der EU-Richtlinie(n).

Zum Zusammenhang mit EU-Richtlinie(n) siehe informativen Anhang ZA, der Bestandteil dieses Dokuments ist.

Diese Europäische Norm ist ein Teil der Normenreihe EN 13001. Die anderen Teile sind folgende:

— *Teil 1: Allgemeine Prinzipien und Anforderungen*

— *Teil 2: Lasteinwirkungen*

— *Teil 3-1: Grenzzustände und Sicherheitsnachweis von Stahltragwerken*

— *Teil 3-2: Grenzzustände und Sicherheitsnachweise von Drahtseilen in Seiltrieben*

— *Teil 3-3: Grenzzustände und Sicherheitsnachweise von Laufrad-/Schiene-Kontakten*

— *Teil 3-4: Grenzzustände und Sicherheitsnachweise für Maschinenbauteile — Lager*

— *Teil 3-5: Grenzzustände und Sicherheitsnachweis von geschmiedeten Haken*

— *Teil 3-6: Grenzzustände und Sicherheitsnachweis von Maschinenbauteilen — Hydraulikzylinder*

— *Teil 3-7: Grenzzustände und Sicherheitsnachweise für Maschinenbauteile — Verzahnungen und Getriebe*

Documents
Document Sharing Hub

Full document details: E DIN EN 13001-3-8:2022-02

1 Anwendungsbereich

Dieses Dokument ist zusammen mit den anderen Teilen der Normenreihe EN 13001 (siehe Anhang C) anzuwenden und legt gemeinsam mit ihnen grundlegende Bedingungen, Anforderungen und Verfahren fest, um so anhand der Konstruktion und der theoretischen Überprüfung Gefährdungen für Krane zu verhindern.

Spezifische Anforderungen an bestimmte Kranarten sind in der entsprechenden Europäischen Norm für die jeweilige Kranart angegeben.

Dieses Dokument behandelt spezifische Wellen und rotierende oder nicht rotierende Achsen als integrierten Bestandteil von Kranen, die nicht in den anderen Normen der Reihe EN 13001 behandelt werden (z. B. Steckbolzenverbindungen in EN 13001-3-1). Diese Norm gilt nicht für Wellen oder Achsen, die zur Standardausrüstung gehören (z. B. Getriebe, Motoren).

Die signifikanten Gefährdungssituationen und Gefährdungsereignisse, die bei bestimmungsgemäßer Verwendung und vernünftigerweise vorhersehbarer Fehlanwendung zu Gefährdungen von Personen führen können, sind in Anhang D aufgeführt. Die Abschnitte 4 bis 7 dieses Dokuments sind zur Verringerung oder Beseitigung dieser Risiken erforderlich.

Die Anwendung der Abschnitte 4 bis 7 des vorliegenden Dokuments ist notwendig, um diese Risiken in Verbindung mit den folgenden Gefährdungen zu mindern oder zu beseitigen:

— Überschreitung der Festigkeitsgrenzwerte (Fließgrenze, Bruch- und Ermüdungsfestigkeit);

— Überschreitung von Temperaturgrenzwerten des Werkstoffs oder der Komponenten.

Diese Norm behandelt keine Festigkeitsnachweise von geschweißten oder gegossenen Wellen.

Dieses Dokument gilt nicht für Krane, die vor dem Datum der Veröffentlichung dieses Dokuments als Europäische Norm hergestellt wurden und dient als Bezugsbasis für die Europäischen Normen für bestimmte Kranarten (siehe Anhang C).

ANMERKUNG prEN 13001-3-8:2021 behandelt ausschließlich die Methode der Grenzzustände in Übereinstimmung mit EN 13001-1:2015.

2 Normative Verweisungen

Die folgenden Dokumente werden im Text in solcher Weise in Bezug genommen, dass einige Teile davon oder ihr gesamter Inhalt Anforderungen des vorliegenden Dokuments darstellen. Bei datierten Verweisungen gilt nur die in Bezug genommene Ausgabe. Bei undatierten Verweisungen gilt die letzte Ausgabe des in Bezug genommenen Dokuments (einschließlich aller Änderungen).

EN 10025-2:2019, *Warmgewalzte Erzeugnisse aus Baustählen — Teil 2: Technische Lieferbedingungen für unlegierte Baustähle*

EN 10025-3:2019, *Warmgewalzte Erzeugnisse aus Baustählen — Teil 3: Technische Lieferbedingungen für normalgeglühte/normalisierend gewalzte schweißgeeignete Feinkornbaustähle*

EN 10025-4:2019, *Warmgewalzte Erzeugnisse aus Baustählen — Teil 4: Technische Lieferbedingungen für thermomechanisch gewalzte schweißgeeignete Feinkornbaustähle*

EN 10088-3:2014, *Nichtrostende Stähle — Teil 3: Technische Lieferbedingungen für Halbzeug, Stäbe, Walzdraht, gezogenen Draht, Profile und Blankstahlerzeugnisse aus korrosionsbeständigen Stählen für allgemeine Verwendung*

AVA Documents Document Sharing Hub

Full document details: E DIN EN 13001-3-8:2022-02

EN 13001-1:2015, *Krane — Konstruktion allgemein — Teil 1: Allgemeine Prinzipien und Anforderungen*

EN 13001-2:2021, *Kransicherheit — Konstruktion allgemein — Teil 2: Lasteinwirkungen*

EN 13001-3-1:2012+A2:2018, *Krane — Konstruktion allgemein — Teil 3-1: Grenzzustände und Sicherheitsnachweis von Stahltragwerken*

EN 13001-3-4:2018, *Krane — Konstruktion allgemein — Teil 3-4: Grenzzustände und Sicherheitsnachweise für Maschinenbauteile — Lager*

EN ISO 683-1:2018, *Für eine Wärmebehandlung bestimmte Stähle, legierte Stähle und Automatenstähle — Teil 1: Unlegierte Vergütungsstähle (ISO 683-1:2016)*

EN ISO 683-2:2018, *Für eine Wärmebehandlung bestimmte Stähle, legierte Stähle und Automatenstähle — Teil 2: Legierte Vergütungsstähle (ISO 683-2:2016)*

EN ISO 683-3:2019, *Für eine Wärmebehandlung bestimmte Stähle, legierte Stähle und Automatenstähle — Teil 3: Einsatzstähle (ISO 683-3:2019)*

EN ISO 683-5:2021, *Für eine Wärmebehandlung bestimmte Stähle, legierte Stähle und Automatenstähle — Teil 5: Nitrierstähle (ISO 683-5:2017)*

EN ISO 12100:2010, *Sicherheit von Maschinen — Allgemeine Gestaltungsleitsätze — Risikobeurteilung und Risikominderung (ISO 12100:2010)*

ISO 4306-1:2007, *Cranes — Vocabulary — Part 1: General*

3 Begriffe

3.1 Begriffe

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die Begriffe nach EN ISO 12100:2010 und die folgenden Begriffe. Für die Definition von Lasten gilt ISO 4306-1:2007, Abschnitt 6.

ISO und IEC stellen terminologische Datenbanken für die Verwendung in der Normung unter den folgenden Adressen bereit:

— IEC Electropedia: verfügbar unter https://www.electropedia.org

— ISO Online Browsing Platform: verfügbar unter https://www.iso.org/obp

3.1.1
Welle
zylindrischer rotierender Stab zur Übertragung von Bewegungen oder Kraft, an dem Komponenten für die Übertragung dieser Bewegungen oder Kraft befestigt sind

3.1.2
Achse
Drehspindel, auf der sich ein Bauteil (z. B. Rad, Seilrolle) dreht oder die sich mit einem daran befestigten Bauteil (bzw. Bauteilen) dreht

3.2 Symbole und Abkürzungen

Die in diesem Dokument verwendeten Symbole und Abkürzungen sind in Tabelle 1 angegeben.

Documents
Document Sharing Hub

Full document details: E DIN EN 13001-3-8:2022-02

Tabelle 1 — Symbole und Abkürzungen

Symbole, Abkürzungen	Beschreibung
A_v	Mindest-Kerbschlagzähigkeit
b	Exponent für die Ermüdungsfestigkeit, für einen Werkstoff (ε-N-Methode)
bp	Exponent für die Ermüdungsfestigkeit, für eine Komponente (ε-N-Methode)
c	Exponent für die Ermüdungsduktilität, für einen Werkstoff (ε-N-Methode)
C	Gesamtzahl von Arbeitsspielen (siehe EN 13001-1:2015)
cp	Exponent für die Ermüdungsduktilität, für eine Komponente (ε-N-Methode)
D_{Sd}	Auslegungsermüdungsschaden
D_{Rd}	Grenzwert des Auslegungsermüdungsschadens
d	Durchmesser
d_{equ}	Äquivalenter Durchmesser
E	Elastizitätsmodul
$f_{Rd,\sigma}$	Grenzwert der zulässigen Normalspannung
$f_{Rd,\tau}$	Grenzwert der zulässigen Schubspannung
f_u	Bruchfestigkeit des Werkstoffs
f_y	Fließgrenze des Werkstoffs
f_1	Kerbfaktor
f_2	Größenfaktor
f_3	Oberflächenrauigkeitsfaktor
f_4	Oberflächenbehandlungsfaktor
K'	Faktor für den zyklischen Widerstand (ε-N-Methode)
K_t	Spannungskonzentrationsbeiwert
k_m	Spannungskollektivbeiwert (siehe EN 13001-1:2015)
k_s	Spannungskollektivbeiwert der Welle
l_s	Auslegungszahl der Wellensätze
m_σ	Inverse Steigung der Wöhlerlinie (oder der S-N-Kurve), für Normalspannungen
m_τ	Inverse Steigung der Wöhlerlinie (oder der S-N-Kurve), für Schubspannungen
m'	zweite inverse Steigung der Wöhlerlinie
n_i	Anzahl der Spannungsspiele der Schwingbreite i
n'	Zyklischer Verfestigungsexponent (ε-N-Methode)
$\hat{n}$	Gesamtzahl von Spannungsspielen (siehe EN 13001-1:2015)

AVA Documents
Document Sharing Hub

Full document details: E DIN EN 13001-3-8:2022-02

Symbole, Abkürzungen	Beschreibung
N_{fi}	Anzahl der Spannungsspiele bis zum Versagen, für Spannungen der Schwingbreite i
N; N_f	Anzahl der Spannungsspiele bis zum Versagen
N_{Ref}	Referenzzahl der Spannungsspiele
r	Kerbradius
R	Grenzspannungsverhältnis
R_d	Bemessungswiderstand
R_a	Mittlere Tiefe des Oberflächenprofils nach EN ISO 4287:1998
S_d	Bemessungsspannung oder Auslegungskraft
s_s	Spannungsverlaufsparameter der Welle
T	Betriebstemperatur
z	Anpassungsbeiwert
ε_f'	Beiwert für die Ermüdungsduktilität (ε-N-Methode)
ε_a	Gesamtdehnungsamplitude (ε-N-Methode)
ε_{ae}	Elastische Dehnungsamplitude (ε-N-Methode)
ε_{ap}	Plastische Dehnungsamplitude (ε-N-Methode)
$\varepsilon_{e,a}$	Amplitude der elastischen Dehnung (ε-N-Methode)
$\varepsilon_{e,loc}$	Wert der elastischen örtlichen Dehnung (ε-N-Methode)
ε_r	Wert der tatsächlichen Dehnung (ε-N-Methode)
$\varepsilon_{r,a}$	Amplitude des Dehnungswerts (ε-N-Methode)
$\varepsilon_{r,i}$	Amplitude des Dehnungswerts, der Schwingbreite i (ε-N-Methode)
$\varepsilon_{r,loc}$	Wert der tatsächlichen örtlichen Dehnung (ε-N-Methode)
γ_{ff}	Sicherheitsbeiwert für die Ermüdungsfestigkeit
γ_m	Allgemeiner Widerstandsbeiwert
γ_{Mf}	Spezifischer Widerstandsbeiwert für die Ermüdungsfestigkeit
γ_p	Teilsicherheitsbeiwert (siehe EN 13001-2:2021)
γ_{Rm}	Resultierender Widerstandsbeiwert
γ_{sm}	Spezifischer Widerstandsbeiwert
υ_s	Relative Gesamtzahl der Spannungsspiele
$\sigma_{a,i}$	Bemessungsspannungsamplitude
$\hat{\sigma}_{a,i}$	Höchstwert der Bemessungsspannungsamplitude
$\sigma_{d,ref}$	Ermüdungsfestigkeit des Werkstoffs (Normalspannung)
σ_d	Ermüdungsfestigkeit der Komponente (Normalspannung)
σ_{dtr}	Alternative Ermüdungsfestigkeit (Normalspannung)
$\sigma_{e,loc}$	Elastische örtliche Spannung (ε-N-Methode)

Documents
Document Sharing Hub

Full document details: E DIN EN 13001-3-8:2022-02

Symbole, Abkürzungen	Beschreibung
$\sigma_{e,nom}$	Elastische Nennspannung (ε-N-Methode)
$\sigma_{eq,e,loc,m}$	Äquivalente elastische örtliche Mittelspannung (ε-N-Methode)
$\sigma_{eq,e,loc,a}$	Amplitude der äquivalenten elastischen örtlichen Spannung (ε-N-Methode)
$\sigma_{eq,e,loc,max}$	Maximale äquivalente elastische örtliche Spannung (ε-N-Methode)
$\sigma_{eq,e,loc,min}$	Minimale äquivalente elastische örtliche Spannung (ε-N-Methode)
σ_{eq}	Äquivalente Normalspannung
$\sigma_{eq,a}$	Amplitude der äquivalenten Normalspannung
σ_f'	Ermüdungswiderstandsbeiwert (ε-N-Methode)
σ_m	Mittelspannung
$\sigma_{r,a}$	Amplitude der tatsächlichen örtlichen Spannung (ε-N-Methode)
$\sigma_{r,loc}$	Tatsächliche örtliche Spannung (ε-N-Methode)
$\sigma_{r,m}$	Tatsächliche örtliche Mittelspannung (ε-N-Methode)
$\sigma_{Rd,f}$	Grenzwert der zulässigen Normalspannung für die Ermüdungsfestigkeit
σ_{Sd}	Bemessungswert der Normalspannung
$\sigma_{Sd,f}$	Bemessungswert der Normalspannung für die Ermüdungsfestigkeit
$\sigma_{Sd,eq}$	Äquivalenter Bemessungswert der Normalspannung
$\tau_{Rd,f}$	Grenzwert der zulässigen Schubspannung für die Ermüdungsfestigkeit
τ_{Sd}	Bemessungswert der Schubspannung

4 Allgemeines

4.1 Dokumentation

Die Dokumentation zum Sicherheitsnachweis muss Folgendes umfassen:

— Bemessungsannahmen;

— anwendbare Lasten und Lastkombinationen;

— Werkstoffsorten und Werkstoffgüte;

— relevante Grenzzustände;

— Ergebnisse aus den Berechnungen für den Sicherheitsnachweis und, soweit zutreffend, aus Prüfungen.

AVA Documents
Document Sharing Hub

Full document details: E DIN EN 13001-3-8:2022-02

4.2 Werkstoffe

4.2.1 Werkstoffsorten und Werkstoffgüte für Wellen

In Europäischen und Internationalen Normen sind Werkstoffe und spezifische Werte festgelegt. Dieses Dokument enthält eine bevorzugte Auswahl an Werkstoffen und deren mechanischen Eigenschaften.

Für Wellen ist Stahl in Übereinstimmung mit den folgenden Europäischen Normen zu verwenden; alternativ dürfen auch andere als die in diesen Normen genannten Werkstoffsorten und -güten verwendet werden, sofern die mechanischen Eigenschaften und die chemische Zusammensetzung auf die gleiche Weise wie in den entsprechenden Europäischen Normen angegeben ist:

— Vergütungsstähle (siehe Tabelle 2):

  — unlegierte Stähle: EN ISO 683-1:2018;

  — legierte Stähle: EN ISO 683-2:2018;

— Baustähle (siehe Tabelle 2);

  — unlegierte Baustähle: EN 10025-2:2019;

  — schweißgeeignete Feinkornbaustähle in den folgenden Zuständen:

    1) normalgeglüht (N) EN 10025-3:2019;

    2) thermomechanisch gewalzt (M) EN 10025-4:2019;

— nichtrostende Stähle (siehe Tabelle 2);

  — Halbzeuge (Stäbe, Walzdraht ...): EN 10088-3:2014;

— wärmebehandelte Stähle;

  — Einsatzstähle: EN ISO 683-3:2019;

  — Nitrierstähle (siehe Tabelle 2): EN ISO 683-5:2021.

Tabelle 2 enthält spezifische Werte für die Nennfestigkeiten f_u, f_y. Für weitere Informationen siehe die einschlägigen, vorstehend aufgelisteten Europäischen Normen.

Documents
Document Sharing Hub

Full document details: E DIN EN 13001-3-8:2022-02

Tabelle 2 — Spezifische Werte ausgewählter Stähle

Vergütungsstähle, im vergüteten Zustand (+QT)				
Stahl	**Norm**	**Durchmesser *d*/Dicke *t*** mm	**Nennfestigkeit**	
			f_y **Fließgrenze** N/mm²	f_u **Bruch-festigkeit** N/mm²
C22E C22R	EN ISO 683-1:2018	$d \leq 16$ oder $t \leq 8$ $16 < d \leq 40$ oder $8 < t \leq 20$	340 290	500 470
C35E C35R C35		$d \leq 16$ oder $t \leq 8$ $16 < d \leq 40$ oder $8 < t \leq 20$ $40 < d \leq 100$ oder $20 < t \leq 60$	430 380 320	630 600 550
C40E C40R C40		$d \leq 16$ oder $t \leq 8$ $16 < d \leq 40$ oder $8 < t \leq 20$ $40 < d \leq 100$ oder $20 < t \leq 60$	460 400 350	650 630 600
C45E C45R C45		$d \leq 16$ oder $t \leq 8$ $16 < d \leq 40$ oder $8 < t \leq 20$ $40 < d \leq 100$ oder $20 < t \leq 60$	490 430 370	700 650 630
C50E C50R		$d \leq 16$ oder $t \leq 8$ $16 < d \leq 40$ oder $8 < t \leq 20$ $40 < d \leq 100$ oder $20 < t \leq 60$	520 460 400	750 700 650
C55E C55R C55		$d \leq 16$ oder $t \leq 8$ $16 < d \leq 40$ oder $8 < t \leq 20$ $40 < d \leq 100$ oder $20 < t \leq 60$	550 490 420	800 750 700
C60E C60R C60		$d \leq 16$ oder $t \leq 8$ $16 < d \leq 40$ oder $8 < t \leq 20$ $40 < d \leq 100$ oder $20 < t \leq 60$	580 520 450	850 800 750
28Mn6		$d \leq 16$ oder $t \leq 8$ $16 < d \leq 40$ oder $8 < t \leq 20$ $40 < d \leq 100$ oder $20 < t \leq 60$	590 490 440	800 700 650

AVA Documents
Document Sharing Hub

Full document details: E DIN EN 13001-3-8:2022-02

Vergütungsstähle, im vergüteten Zustand (+QT)				
Stahl	**Norm**	**Durchmesser *d*/Dicke *t*** mm	**Nennfestigkeit**	
			f_y **Fließgrenze** N/mm²	f_u **Bruch-festigkeit** N/mm²
38Cr2	EN ISO 683-2:2018	$d \leq 16$ oder $t \leq 8$ $16 < d \leq 40$ oder $8 < t \leq 20$ $40 < d \leq 100$ oder $20 < t \leq 60$	550 450 350	800 700 600
46Cr2		$d \leq 16$ oder $t \leq 8$ $16 < d \leq 40$ oder $8 < t \leq 20$ $40 < d \leq 100$ oder $20 < t \leq 60$	650 550 400	900 800 650
34Cr4 34CrS4		$d \leq 16$ oder $t \leq 8$ $16 < d \leq 40$ oder $8 < t \leq 20$ $40 < d \leq 100$ oder $20 < t \leq 60$	700 590 460	900 800 700
37Cr4 37CrS4		$d \leq 16$ oder $t \leq 8$ $16 < d \leq 40$ oder $8 < t \leq 20$ $40 < d \leq 100$ oder $20 < t \leq 60$	750 630 510	950 850 750
41Cr4 41CrS4		$d \leq 16$ oder $t \leq 8$ $16 < d \leq 40$ oder $8 < t \leq 20$ $40 < d \leq 100$ oder $20 < t \leq 60$	800 660 560	1000 900 800
25CrMo4 25CrMoS4		$d \leq 16$ oder $t \leq 8$ $16 < d \leq 40$ oder $8 < t \leq 20$ $40 < d \leq 100$ oder $20 < t \leq 60$ $100 < d \leq 160$ oder $60 < t \leq 100$	700 600 450 400	900 800 700 650
34CrMo4 34CrMoS4		$d \leq 16$ oder $t \leq 8$ $16 < d \leq 40$ oder $8 < t \leq 20$ $40 < d \leq 100$ oder $20 < t \leq 60$ $100 < d \leq 160$ oder $60 < t \leq 100$ $160 < d \leq 250$ oder $100 < t \leq 160$	800 650 550 500 450	1000 900 800 750 700

Documents
Document Sharing Hub
Full document details: E DIN EN 13001-3-8:2022-02

Vergütungsstähle, im vergüteten Zustand (+QT)				
Stahl	**Norm**	**Durchmesser *d*/Dicke *t*** mm	**Nennfestigkeit**	
			f_y **Fließgrenze** N/mm²	f_u **Bruch-festigkeit** N/mm²
42CrMo4 42CrMoS4	EN ISO 683-2:2018	$d \leq 16$ oder $t \leq 8$ $16 < d \leq 40$ oder $8 < t \leq 20$ $40 < d \leq 100$ oder $20 < t \leq 60$ $100 < d \leq 160$ oder $60 < t \leq 100$ $160 < d \leq 250$ oder $100 < t \leq 160$	900 750 650 550 500	1 100 1 000 900 800 750
50CrMo4	EN ISO 683-2:2018	$d \leq 16$ oder $t \leq 8$ $16 < d \leq 40$ oder $8 < t \leq 20$ $40 < d \leq 100$ oder $20 < t \leq 60$ $100 < d \leq 160$ oder $60 < t \leq 100$ $160 < d \leq 250$ oder $100 < t \leq 160$	900 780 700 650 550	1 100 1 000 900 850 800
34CrNiMo6	EN ISO 683-2:2018	$d \leq 16$ oder $t \leq 8$ $16 < d \leq 40$ oder $8 < t \leq 20$ $40 < d \leq 100$ oder $20 < t \leq 60$ $100 < d \leq 160$ oder $60 < t \leq 100$ $160 < d \leq 250$ oder $100 < t \leq 160$	1 000 900 800 700 600	1 200 1 100 1 000 900 800
30CrNiMo8	EN ISO 683-2:2018	$d \leq 16$ oder $t \leq 8$ $16 < d \leq 40$ oder $8 < t \leq 20$ $40 < d \leq 100$ oder $20 < t \leq 60$ $100 < d \leq 160$ oder $60 < t \leq 100$ $160 < d \leq 250$ oder $100 < t \leq 160$	1 050 1 050 900 800 700	1 250 1 250 1 000 1 000 900
35NiCr6	EN ISO 683-2:2018	$d \leq 16$ oder $t \leq 8$ $16 < d \leq 40$ oder $8 < t \leq 20$ $40 < d \leq 100$ oder $20 < t \leq 60$	740 740 640	880 880 780
36NiCrMo16	EN ISO 683-2:2018	$d \leq 16$ oder $t \leq 8$ $16 < d \leq 40$ oder $8 < t \leq 20$ $40 < d \leq 100$ oder $20 < t \leq 60$ $100 < d \leq 160$ oder $60 < t \leq 100$ $160 < d \leq 250$ oder $100 < t \leq 160$	1 050 1 050 900 800 800	1 250 1 250 1 100 1 000 1 000

AVA Documents
Document Sharing Hub

Full document details: E DIN EN 13001-3-8:2022-02

Vergütungsstähle, im vergüteten Zustand (+QT)				
Stahl	**Norm**	**Durchmesser *d*/Dicke *t*** mm	**Nennfestigkeit**	
			f_y **Fließgrenze** N/mm²	f_u **Bruch-festigkeit** N/mm²
39NiCrMo3		$d \leq 16$ oder $t \leq 8$ $16 < d \leq 40$ oder $8 < t \leq 20$ $40 < d \leq 100$ oder $20 < t \leq 60$ $100 < d \leq 160$ oder $60 < t \leq 100$ $160 < d \leq 250$ oder $100 < t \leq 160$	785 735 685 635 540	980 930 880 830 740
30NiCrMo16-6	EN ISO 683-2:2018	$d \leq 16$ oder $t \leq 8$ $16 < d \leq 40$ oder $8 < t \leq 20$ $40 < d \leq 100$ oder $20 < t \leq 60$ $100 < d \leq 160$ oder $60 < t \leq 100$ $160 < d \leq 250$ oder $100 < t \leq 160$	880 880 880 790 880	1080 1080 1080 900 900
51CrV4		$d \leq 16$ oder $t \leq 8$ $16 < d \leq 40$ oder $8 < t \leq 20$ $40 < d \leq 100$ oder $20 < t \leq 60$ $100 < d \leq 160$ oder $60 < t \leq 100$ $160 < d \leq 250$ oder $100 < t \leq 160$	900 800 700 650 600	1 100 1 000 900 850 800
20MnB5		$d \leq 16$ oder $t \leq 8$ $16 < d \leq 40$ oder $8 < t \leq 20$	700 600	900 750
30MnB5		$d \leq 16$ oder $t \leq 8$ $16 < d \leq 40$ oder $8 < t \leq 20$	800 650	950 800
38MnB5		$d \leq 16$ oder $t \leq 8$ $16 < d \leq 40$ oder $8 < t \leq 20$	900 700	1 050 850
27MnCrB5-2		$d \leq 16$ oder $t \leq 8$ $16 < d \leq 40$ oder $8 < t \leq 20$ $40 < d \leq 100$ oder $20 < t \leq 60$	800 750 700	1 000 900 800
33MnCrB5-2		$d \leq 16$ oder $t \leq 8$ $16 < d \leq 40$ oder $8 < t \leq 20$ $40 < d \leq 100$ oder $20 < t \leq 60$	850 800 750	1 050 950 900
39MnCrB6-2		$d \leq 16$ oder $t \leq 8$ $16 < d \leq 40$ oder $8 < t \leq 20$ $40 < d \leq 100$ oder $20 < t \leq 60$	900 850 800	1 100 1 050 1 000

Documents
Document Sharing Hub

Full document details: E DIN EN 13001-3-8:2022-02

Vergütungsstähle, im Normalzustand (+N)				
Stahl	**Norm**	**Durchmesser *d*/Dicke *t*** mm	**Nennfestigkeit**	
			f_y **Fließgrenze** N/mm²	f_u **Bruch-festigkeit** N/mm²
C22E C22R	EN ISO 683-1:2018	$d \leq 16$ oder $t \leq 16$ $16 < d \leq 100$ oder $16 < t \leq 100$	240 210	430 410
C35E C35R C35		$d \leq 16$ oder $t \leq 16$ $16 < d \leq 100$ oder $16 < t \leq 100$ $100 < d \leq 250$ oder $100 < t \leq 250$	300 270 245	550 520 500
C40E C40R C40		$d \leq 16$ oder $t \leq 16$ $16 < d \leq 100$ oder $16 < t \leq 100$ $100 < d \leq 250$ oder $100 < t \leq 250$	320 290 260	580 550 530
C45E C45R C45		$d \leq 16$ oder $t \leq 16$ $16 < d \leq 100$ oder $16 < t \leq 100$ $100 < d \leq 250$ oder $100 < t \leq 250$	340 305 275	620 580 560
C50E C50R		$d \leq 16$ oder $t \leq 16$ $16 < d \leq 100$ oder $16 < t \leq 100$ $100 < d \leq 250$ oder $100 < t \leq 250$	355 320 290	650 610 590
C55E C55R C55		$d \leq 16$ oder $t \leq 16$ $16 < d \leq 100$ oder $16 < t \leq 100$ $100 < d \leq 250$ oder $100 < t \leq 250$	370 330 300	680 640 620
C60E C60R C60		$d \leq 16$ oder $t \leq 16$ $16 < d \leq 100$ oder $16 < t \leq 100$ $100 < d \leq 250$ oder $100 < t \leq 250$	380 340 310	710 670 650
28Mn6		$d \leq 16$ oder $t \leq 16$ $16 < d \leq 100$ oder $16 < t \leq 100$ $100 < d \leq 250$ oder $100 < t \leq 250$	345 310 290	630 600 590

AVA Documents
Document Sharing Hub

Full document details: E DIN EN 13001-3-8:2022-02

Baustähle und nichtrostende Stähle				
Stahl	**Norm**	**Durchmesser *d*/Dicke *t*** mm	**Nennfestigkeit**	
			f_y **Fließgrenze** N/mm²	f_u **Bruch-festigkeit** N/mm²
S235	EN 10025-2:2019	$t \leq 16$	235	340
		$16 < t \leq 40$	225	
		$40 < t \leq 100$	215	
		$100 < t \leq 150$	195	
S275		$t \leq 16$	275	430
		$16 < t \leq 40$	265	
		$40 < t \leq 63$	255	
		$63 < t \leq 80$	245	
		$80 < t \leq 100$	235	
		$100 < t \leq 150$	225	
S355		$t \leq 16$	355	490
		$16 < t \leq 40$	345	
		$40 < t \leq 63$	335	
		$63 < t \leq 80$	325	
		$80 < t \leq 100$	315	
		$100 < t \leq 150$	295	
S355	EN 10025-3:2019 (N) EN 10025-4:2019 (M)	$t \leq 16$	355	450
		$16 < t \leq 40$	345	
		$40 < t \leq 63$	335	
		$63 < t \leq 80$ (N)	325	
		$80 < t \leq 100$ (N)	315	
		$100 < t \leq 150$ (N)	295	
S420		$t \leq 16$	420	500
		$16 < t \leq 40$	400	
		$40 < t \leq 63$	390	
		$63 < t \leq 80$ (N)	370	
		$80 < t \leq 100$ (N)	360	
		$100 < t \leq 150$ (N)	340	

Documents
Document Sharing Hub

Full document details: E DIN EN 13001-3-8:2022-02

Baustähle und nichtrostende Stähle				
Stahl	**Norm**	**Durchmesser *d*/Dicke *t*** mm	**Nennfestigkeit** f_y **Fließgrenze** N/mm²	**Nennfestigkeit** f_u **Bruchfestigkeit** N/mm²
S460	EN 10025-3:2019 (N) EN 10025-4:2019 (M)	$t \leq 16$	460	530
		$16 < t \leq 40$	440	
		$40 < t \leq 63$	430	
		$63 < t \leq 80$ (N)	410	
		$80 < t \leq 100$ (N)	400	
X12Cr13	EN 10088-3:2014	$d \leq 160$	450[a]	650[a]
X30Cr13			650[a]	850[a]
X5CrNiCuNb16-4		$d \leq 100$	720[a]	930[a]

[a] 0,2 % – Dehngrenze und Zugfestigkeit für die folgenden Wärmebehandlungsbedingungen: QT650 für X12Cr13, QT850 für X30Cr13 und +P930 für X5CrNiCuNb16-4

Documents
Document Sharing Hub

Full document details: E DIN EN 13001-3-8:2022-02

Nitrierstähle, im vergüteten Zustand (+QT)				
Stahl	**Norm**	**Durchmesser *d*/Dicke *t*** mm	**Nennfestigkeit** f_y **Fließgrenze** N/mm²	**Nennfestigkeit** f_u **Bruchfestigkeit** N/mm²
24CrMo13-6	EN ISO 683-5:2021	$16 \leq d \leq 40$	800	1 000
		$40 < d \leq 100$	750	950
		$100 < d \leq 160$	700	900
		$160 < d \leq 250$	650	850
31CrMo12		$16 \leq d \leq 40$	835	1 030
		$40 < d \leq 100$	785	980
		$100 < d \leq 160$	735	930
		$160 < d \leq 250$	675	880
32CrAlMo7-10		$16 \leq d \leq 40$	835	1 030
		$40 < d \leq 100$	835	980
		$100 < d \leq 160$	735	930
		$160 < d \leq 250$	675	880
31CrMoV9		$16 \leq d \leq 40$	900	1 100
		$40 < \mathrm{d} \leq 100$	800	1 000
		$100 < d \leq 160$	700	900
		$160 < d \leq 250$	650	850
33CrMoV12-9		$16 \leq d \leq 40$	950	1 150
		$40 < d \leq 100$	850	1 050
		$100 < d \leq 160$	750	950
		$160 < d \leq 250$	700	900
34CrAlNi7-10		$16 \leq d \leq 40$	680	900
		$40 < t \leq 100$	650	850
		$100 < d \leq 160$	600	800
		$160 < d \leq 250$	600	800
41CrAlMo7-10		$16 \leq d \leq 40$	750	950
		$40 < d \leq 100$	720	900
		$100 < d \leq 160$	670	850
		$160 < d \leq 250$	625	800

AVA Documents
Document Sharing Hub

Full document details: E DIN EN 13001-3-8:2022-02

Nitrierstähle, im vergüteten Zustand (+QT)				
Stahl	**Norm**	**Durchmesser *d*/Dicke *t*** mm	**Nennfestigkeit** f_y **Fließgrenze** N/mm²	**Nennfestigkeit** f_u **Bruchfestigkeit** N/mm²
40CrMoV13-9		$16 \leq d \leq 40$	750	950
		$40 < d \leq 100$	720	900
		$100 < d \leq 160$	700	870
		$160 < d \leq 250$	625	800
34CrAlMo5-10		$16 \leq d \leq 100$	600	800

4.2.2 Kerbschlagzähigkeit

Die Wellen müssen eine ausreichende Duktilität aufweisen, um Sprödbruch zu verhindern.

Der Werkstoff der Welle muss nach der Wärmebehandlung eine Mindest-Kerbschlagarbeit nach Tabelle 3 für Baustähle und vergüteten Stählen aufweisen.

Tabelle 3 — Schlagversuchsanforderung für Wellen aus Baustahl oder vergütetem Stahl

Betriebstemperatur [a]	**Temperatur während des Kerbschlagversuchs**	**Kleinste Kerbschlagarbeit** *KV*
$T \geq 0$ °C	+20 °C	27 J
$T \geq -20$ °C	−0 °C	27 J
$T \geq -40$ °C	−20 °C	27/35 J [b]
$T \geq -60$ °C	−40 °C	35/42 J [b]

[a] Die Betriebstemperatur ist die niedrigste angegebene Temperatur im Betriebszustand des Raums, des Gehäuses oder des Außenbereichs, in dem sich die Welle befindet. Der Nutzen eines eventuell vorhandenen externen Heizsystems kann berücksichtigt werden (z. B. Maschinenhaus). Die Temperatur außerhalb des Betriebs muss bei der Wahl des Stahls nicht berücksichtigt werden.

[b] Für Stähle mit $f_y > 500$ N/mm²

4.3 Mechanische Bauteile — Wellen

4.3.1 Allgemeines

Diese Europäische Norm behandelt die Maschinenbauteile, vornehmlich Wellen, die üblicherweise Biege-, Schub- und/oder Torsionsspannungen unterliegen, was durch vorhandene Kerben gekennzeichnet ist.

Die Maße, Grenzabmaße und Oberflächenrauigkeit von Anpress- oder Schrumpfverbänden sollten den Angaben in den Literaturhinweisen entsprechen.

Die Gestaltung der Schrumpfkomponenten sollte den Angaben in den Literaturhinweisen entsprechen.

AVA Documents
Document Sharing Hub

Full document details: E DIN EN 13001-3-8:2022-02

Es sollten vorzugsweise Keilwellen-Verbindungen in Übereinstimmung mit den folgenden Normen verwendet werden:

— Keilwellen-Verbindungen mit gerade Flanken: ISO 14;

— Passverzahnungen mit Evolventenflanken: ISO 4156 (alle Teile).

Für die vorstehend genannten Keilwellen-Verbindungen sowie für Zahnwellen mit Evolventenflanken sind weitere Angaben in den Literaturhinweisen enthalten.

Die Kerbwirkung von Keilnuten wird in dieser Europäischen Norm berücksichtigt (siehe Bild A.9), ihre Abmessungen werden jedoch nicht festgelegt.

4.3.2 Wellen für Gleitlager

Es gilt EN 13001-3-4:2018 4.3.4.4 und 4.3.4.5.

4.3.3 Geschweißte Wellen

Schweißverbindungen mit Bauteilen aus Vergütungsstählen werden nicht empfohlen (z. B. eine auf einen Trommelflansch aus Baustahl geschweißte Seiltrommelwelle aus Vergütungsstahl). Bei solchen Verbindungen ist besonders auf den Schweißvorgang zu achten, um Warmrissbildung oder Kälterissbildung zu verhindern.

5 Sicherheitsnachweis für Wellen

Ziel des Sicherheitsnachweises für Wellen ist es, aufzuzeigen, dass die Bemessungsspannungen bzw. Auslegungskräfte S_d nicht die Bemessungswiderstände R_d überschreiten:

$$S_d \leq R_d \tag{1}$$

Die Bemessungsspannungen bzw. Auslegungskräfte S_d müssen ermittelt werden, indem die maßgeblichen Lasten, Lastkombinationen und Teilsicherheitsbeiwerte in Übereinstimmung mit EN 13001-2:2021 angewendet werden.

In den folgenden Abschnitten werden die Bemessungswiderstände R_d wie folgt dargestellt:

— Grenzwert der statischen Bemessungsspannungen f_{Rd} oder Grenzwert der zulässigen Normalspannung für die Ermüdungsfestigkeit $\sigma_{Rd,f}$;

— Grenzwert des Auslegungsermüdungsschadens D_{Rd}.

Die folgenden Sicherheitsnachweise müssen für Wellen erbracht werden:

— Nachweis der statischen Festigkeit;

— Nachweis der Ermüdungsfestigkeit.

Verfahren für die Nachweise der statischen Festigkeit und der Ermüdungsfestigkeit sind in 6.4 und 7.3 angegeben. Diese Sicherheitsnachweise basieren auf Nennspannungen, d. h. auf Spannungen, die mithilfe der herkömmlichen Elastizitätstheorie der Werkstofffestigkeit berechnet wurden. Der Einfluss lokaler Spannungsunregelmäßigkeiten wird mithilfe des spezifischen Kerbfaktors im Nachweis der Ermüdungsfestigkeit berücksichtigt.

Documents
Document Sharing Hub
Full document details: E DIN EN 13001-3-8:2022-02

Wie bereits in EN 13001-1:2015 erwähnt, können alternativ auch fortschrittlichere und anerkannte theoretische oder experimentelle Methoden angewendet werden, vorausgesetzt, sie erfüllen die Grundsätze dieser Normenreihe. Diese Methoden können technisch ausgereifte Programme sein (z. B. Verfahren von Getriebeherstellern oder die Finite-Elemente-Methode). Die Übereinstimmung mit den Grundsätzen der Normenreihe EN 13001 bedeutet vor allem Folgendes:

— der Spannungsverlauf der betrachteten Welle muss auf den Grundsätzen aus EN 13001-1:2015 basieren;

— die ungünstigsten Lasteinwirkungen (Nachweis der statischen Festigkeit) und der Lastverlauf (Nachweis der Ermüdungsfestigkeit) müssen anhand der Lastkombinationen nach EN 13001-2:2021 erstellt werden;

— gesonderte Sicherheitsnachweise müssen sowohl für die statische Festigkeit als auch für die Ermüdungsfestigkeit erbracht werden;

— die Sicherheitsnachweise müssen auf anerkannter Fachliteratur oder auf Normen, die sich speziell mit Wellen befassen, basieren und durch eine Ermüdungsversuchsdatenbank unterstützt werden: siehe Literaturhinweise (z. B. [11] oder [25]);

— zusätzlich zu den in den Abschnitten 6 und 7 ausführlich beschriebenen Sicherheitsnachweisen sollten mögliche dynamische Instabilitäten (wie z. B. Wellenauslenkung), die nicht in den Anwendungsbereich dieser Norm fallen, betrachtet und im Rahmen des Konstruktionsprozesses berücksichtigt werden.

6 Nachweis der statischen Festigkeit

6.1 Allgemeines

Ein rechnerischer Nachweis der statischen Festigkeit soll übermäßige Verformungen infolge des Fließverhaltens des Werkstoffs und das Brechen von Wellen verhindern. Es sind die in EN 13001-2:2021 angegebenen Dynamik-Beiwerte zu verwenden, um äquivalente statische Lasten zu erzeugen, mit denen die dynamischen Lasteinwirkungen simuliert werden.

ANMERKUNG prEN 13001-3-7 ist in Vorbereitung für Getriebe und Getriebegehäuse und behandelt die Lasteinwirkungen auf Wellen in Getriebegehäusen.

Der Nachweis ist für die jeweiligen Maschinenbauteile durchzuführen, wobei die ungünstigsten Lasteinwirkungen aus den Lastkombinationen A, B oder C aus EN 13001-2:2021 und die nach 6.3 berechneten Widerstände berücksichtigt werden.

Für die nachstehende Liste spezifischer Kranwellen und -achsen wurden einige Lastkombinationen aus EN 13001-2:2021 ausgewählt, die in dieser Norm relevant sind:

— Seiltrommelwellen und Seilrollenachsen:

— Lastkombinationen A1, A3, B1, B3, C1, C3, C6, C7, C9, C10

— Lauf- und Traversenradwellen:

— Lastkombinationen A1, A3, B1, B3, B5, C3, C5, C6, C10

— Führungsrollenachsen:

— Lastkombinationen A1,B5, C10.

Documents
Document Sharing Hub
Full document details: E DIN EN 13001-3-8:2022-02

6.2 Bemessungsspannungen

σ_{Sd} ist der Bemessungswert der Normalspannung, τ_{Sd} ist der Bemessungswert der Schubspannung; aufgrund von Schub und Torsion kann stattdessen auch die Vergleichsspannung nach von Mises angewendet werden.

σ_{Sd} und τ_{Sd} sind Nennspannungen, d. h. Spannungen, die mithilfe der herkömmlichen Elastizitätstheorie der Werkstofffestigkeit berechnet wurden, und bei denen im Allgemeinen lokale ungleichmäßige Spannungsverteilungen außer Acht gelassen werden. Wenn alternative Verfahren mit einer höheren Präzision für den rechnerischen Spannungsnachweis verwendet werden, wie z. B. die Finite-Elemente-Methode, können durch die Verwendung solcher Spannungen bei dem in dieser Norm angegebenen Nachweis übermäßig konservative Ergebnisse erzielt werden.

6.3 Grenzwerte der Bemessungsspannung

Die Grenzwerte der Bemessungsspannung f_{Rd} müssen wie folgt berechnet werden:

$$f_{Rd\sigma} = \frac{f_y}{\gamma_{Rm}} \quad \text{für Normalspannungen} \tag{2}$$

$$f_{Rd\tau} = \frac{f_y}{\gamma_{Rm} \cdot \sqrt{3}} \quad \text{für Normalspannungen} \tag{3}$$

mit

$$\gamma_{Rm} = \gamma_m \cdot \gamma_{sm}$$

Dabei ist

f_y der Wert der Fließgrenze des Werkstoffs am Berechnungspunkt (siehe Tabelle 2);

γ_m der allgemeine Widerstandsbeiwert, mit $\gamma_m = 1{,}1$;

γ_{sm} der spezifische Widerstandsbeiwert, definiert durch:

$\gamma_{sm} = 0{,}95$ für Baustähle und nichtrostende Stähle nach Tabelle 2;

$\gamma_{sm} = \frac{f_y}{0{,}7 \cdot f_u}$ für Vergütungsstähle im vergüteten Zustand nach Tabelle 2, mit $\gamma_{sm} \geq 1{,}0$;

Dabei ist

f_u der Wert der Bruchfestigkeit des Werkstoffs (siehe Tabelle 2);

$\gamma_{sm} = \frac{f_y}{0{,}65 \cdot f_u}$ für Einsatzstähle und Nitrierstähle nach Tabelle 2 und für alle anderen Stähle, die nicht in Tabelle 2 aufgelistet sind, mit $\gamma_{sm} \geq 1{,}0$.

6.4 Durchführung des Nachweises

Für Maschinenbauteile muss der Nachweis im kritischsten Punkt im Hinblick auf die Bemessungsspannung und die Werkstoffeigenschaften erbracht werden. Für gehärtete Wellen sind beispielsweise zwei Nachweise zu erbringen, d. h. innerhalb und außerhalb der gehärteten Schicht.

Documents
Document Sharing Hub

Full document details: E DIN EN 13001-3-8:2022-02

Es ist nachzuweisen, dass:

$$\sigma_{Sd} \leq f_{Rd\sigma} \text{ und } \tau_{Sd} \leq f_{Rd\tau} \quad (4)$$

Dabei ist

σ_{Sd}, τ_{Sd} die Bemessungsspannungen, in Übereinstimmung mit 6.2;

$f_{Rd\sigma}, f_{Rd\tau}$ die dazugehörigen Grenzwerte der Bemessungsspannungen nach 6.3. Bei Verwendung der Vergleichsspannung nach von Mises ist $f_{Rd\sigma}$ der Grenzwert der Bemessungsspannung.

Im Fall von ebenen Spannungszuständen, für die die Vergleichsspannungen nach von Mises keine Anwendung finden, muss außerdem nachgewiesen werden, dass:

$$\left(\frac{\sigma_{Sd,x}}{f_{Rd\sigma,x}}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_{Sd,y}}{f_{Rd\sigma,y}}\right)^2 - \frac{\sigma_{Sd,x} \cdot \sigma_{Sd,y}}{f_{Rd\sigma,x} \cdot f_{Rd\sigma,y}} + \left(\frac{\tau_{Sd}}{f_{Rd\tau}}^2\right) \leq 1 \quad (5)$$

Dabei ist

x, y die Indizes für die orthogonalen Richtungen der Spannungskomponenten.

6.5 Durchbiegungen

Die Wellendurchbiegungen müssen berücksichtigt werden.

Für jedes Bauteil muss sichergestellt werden, dass seine Durchbiegung nicht seine ordnungsgemäße Funktionsweise beeinträchtigt (z. B. übermäßiger Randeffekt in einem Gleitlager oder Störung eines idealen Zahnflankenkontakts).

7 Nachweis der Ermüdungsfestigkeit

7.1 Allgemeines

Ein Nachweis der Ermüdungsfestigkeit soll das Versagensrisiko verhindern, das auf die Bildung von kritischen Rissen in Maschinenbauteilen unter zyklischer Belastung zurückzuführen ist.

Im Allgemeinen muss der Nachweis erbracht werden, indem die Lastkombinationen A nach EN 13001-2:2021 angewendet und alle Teilsicherheitsbeiwerte mit $\gamma_p = 1$ angenommen werden.

Bei einem Spannungsverlauf wird nur ein Teil der Gesamtzahl der Spannungsspiele von Dynamik-Beiwerten $_i$ beeinflusst. Zum Beispiel wird bei Wellen, die während des Arbeitsspiels einer Umlaufbiegung ausgesetzt sind, nur ein Teil der Spannungsspiele aufgrund der Wirkung von Dämpfung und Motoreigenschaften mit $_2$ multipliziert. Diese Spannungsspiele können durch Erfahrung oder durch Messungen bestimmt werden.

Wie bereits in EN 13001-1:2015 erwähnt, können alternativ auch fortschrittlichere und anerkannte numerische oder experimentelle Methoden für die Bestimmung der Dynamik-Beiwerte $_i$ verwendet werden.

Documents
Document Sharing Hub
Full document details: E DIN EN 13001-3-8:2022-02

Die charakteristischen Werte der Ermüdungsfestigkeit eines Maschinenbauteils enthalten den Einfluss durch:

— den Werkstoff;

— die Art der Lasteinwirkungen;

— die örtlichen Spannungskonzentrationen aufgrund der Bauteilform;

— die Größe;

— den Oberflächenzustand.

Der Nachweis der Ermüdungsfestigkeit nach 7.2 ist ein Standardverfahren für den Nachweis der Ermüdungsfestigkeit, das auf der Schwingfestigkeit basiert und üblicherweise als Wöhlerversuch (S-N-Methode) bezeichnet wird.

Der informative Anhang B enthält ein weiteres Verfahren, das als ε-N-Verfahren bezeichnet wird und auf der Dehnungsermüdung basiert; es kann für jeden örtlichen Dehnungswert angewendet werden und wird empfohlen, wenn der Spannungsverlaufsparameter kleiner ist als 0,01.

Der Spannungsverlauf und die Anzahl der Spannungsspiele sind im Spannungsverlaufsparameter ss enthalten (siehe EN 13001-1:2015), der rechnerisch oder durch Prüfung ermittelt werden kann. Der Einfluss der Mittelspannung wird in EN 13001-1:2015 behandelt und kann für Wellen nicht vernachlässigt werden. Daher ist der Spannungsverlaufsparameter ss abhängig von der Mittelspannung.

Die Unsicherheit der Werte für die Ermüdungsfestigkeit und die möglichen Folgen durch Ermüdungsschäden werden durch den spezifischen Widerstandsbeiwert für die Ermüdungsfestigkeit, γ_{Mf}, berücksichtigt, der in Tabelle 9 angegeben ist.

Zum Zweck dieser Norm wird die Ermüdungsfestigkeit einer Welle durch eine Wöhlerkurve mit zwei Steigungen und einem unteren Grenzwert der Spannungsschwingbreite dargestellt: siehe Bild 1 unten.

Im Fall von Bauteilen, bei denen die Anzahl der Spannungsspiele n_i mit einer Spannungsamplitude der Schwingbreite i größer ist als $2 \cdot 10^6$ Spiele (siehe EN 13001-1:2015), ist das nachstehende Verfahren anzuwenden:

a) Für jede Spannungsamplitude $\sigma_{a,i}$, die kleiner ist als $\sigma_{d,s}$ (mittlere alternierende Ermüdungsfestigkeit, siehe 7.2.2.3.6), wird die entsprechende reelle Zahl n_i durch $n_{i,1}$ ersetzt, was zu den äquivalenten Gesamtermüdungsschadenzyklen führt, die sich nur auf die erste Steigung m beziehen:

$$n_{i,1} = n_i \cdot \left(\frac{\sigma_{a,i}}{\sigma_{d,s}}\right)^{m'-m} \tag{6}$$

mit

n_i Anzahl der Spannungsspiele mit der Spannungsamplitude der Schwingbreite i (siehe Bild 5),

m inverse Steigung der Wöhlerlinie (siehe 7.2.2.5),

$\sigma_{a,i}$ transformierte Spannungsamplitude (siehe 7.2.2.1),

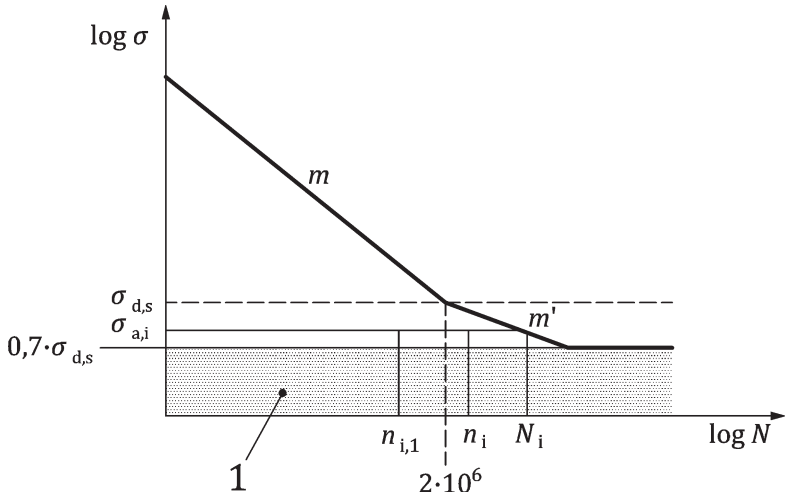
$\sigma_{d,s}$ mittlere alternierende Ermüdungsfestigkeit (siehe 7.2.2.3.6),

Documents
Document Sharing Hub
Full document details: E DIN EN 13001-3-8:2022-02

m' inverse zweite Steigung der Wöhlerlinie (siehe Bild 1), berechnet mit:

$$m' = m + \sqrt{m^2 + 1} \tag{7}$$

b) Die Spannungsamplituden $\sigma_{a,i}$, die kleiner als $0{,}7 \cdot \sigma_{d,s}$ sind, werden nicht berücksichtigt (siehe Prinzip in Bild 1 nachstehend, in dem die nicht berücksichtigten Spiele grau schraffiert dargestellt sind).



Legende
1 nicht berücksichtigte Spiele

Bild 1 — Darstellung der Wöhlerlinie

7.2 Verfahren basierend auf der Schwingfestigkeit: Wöhlerversuch (S-N-Methode)

7.2.1 Bemessungsspannung

7.2.1.1 Transformation der identifizierten Spannungsspiele in Spiele mit konstanter Mittelspannung oder konstantem Grenzspannungsverhältnis

Durch Anwendung der Anforderungen von EN 13001-1:2015 wird die Zwei-Parameter-Darstellung der Häufigkeiten von Spannungsspielen in eine Ein-Parameter-Darstellung der Häufigkeiten für die konstante Mittelspannung oder das konstante Grenzspannungsverhältnis transformiert.

Die transformierten Spannungsamplituden werden wie folgt berechnet (siehe Bild 3):

$$\sigma_{a,i}(R) = \frac{\sigma_{a,i} + \tan\alpha \cdot \sigma_{m,j}}{1 + \tan\alpha \cdot \frac{1+R}{1-R}} \tag{8}$$

$$\sigma_{a,i}(\sigma_m) = \sigma_{a,i} + \tan\alpha \cdot (\sigma_{m,j} - \sigma_m) \tag{9}$$

Dabei ist

$$\text{tg}\,\alpha = \text{tg}\,\alpha_1 = \frac{\sigma_a(R=-1)}{\sigma_a(R=0)} - 1 \text{ für } \sigma_{m,j} \geq 0 \text{ und } \sigma_m \geq 0 \tag{10}$$

$$\text{tg}\,\alpha = \text{tg}\,\alpha_2 = 1 - \frac{\sigma_a(R=-1)}{\sigma_a(R=\infty)} \text{ für } \sigma_{m,j} < 0 \text{ und } \sigma_m < 0 \tag{11}$$

AVA Documents
Document Sharing Hub

Full document details: E DIN EN 13001-3-8:2022-02

Dabei ist

$\sigma_{a,i}$ die Spannungsamplitude der Schwingbreite i aus der „Rainflow-Zählung“ (siehe EN 13001-1:2015, Bild 6);

$\sigma_{m,j}$ die Mittelspannung der Schwingbreite j aus der „Rainflow-Zählung“ (siehe EN 13001-1:2015, Bild 6);

$\sigma_{a,i}(R)$ die transformierte Spannungsamplitude für ein konstantes Grenzspannungsverhältnis;

$\sigma_{a,i}(\sigma_m)$ die transformierte Spannungsamplitude für eine konstante Mittelspannung;

R das konstante Grenzspannungsverhältnis, ausgewählt für die Ein-Parameter-Klassifikation von Spannungsspielen;

σ_m die konstante Mittelspannung, ausgewählt für die Ein-Parameter-Klassifikation von Spannungsspielen;

α_1, α_2 die Winkel zwischen der Horizontalen und den Geraden mit konstantem N in der $\sigma_a - \sigma_m$-Ebene (siehe Bild 2 und Bild 3), stets positive Zählrichtung;

N die Anzahl von Spannungsspielen bis zum Versagen durch Ermüdung für das durch $\sigma_{a,i}$ und $\sigma_{m,j}$ beschriebene Spannungsspiel;

$\sigma_a(R{=}-1)$,

$\sigma_a(R{=}0)$,

$\sigma_a(R{=}\infty)$ die Spannungsamplituden, bei denen Versagen durch Ermüdung auftritt, in Abhängigkeit von dem spezifizierten Grenzspannungsverhältnis R und der Anzahl von Spielen N.

Der Zusammenhang zwischen Spannungsamplituden beim Versagen durch Ermüdung und Mittelspannung oder Grenzspannungsverhältnis für die bei der Bewertung der Ermüdungsfestigkeit betrachtete Komponente ist in Bild 2 dargestellt.

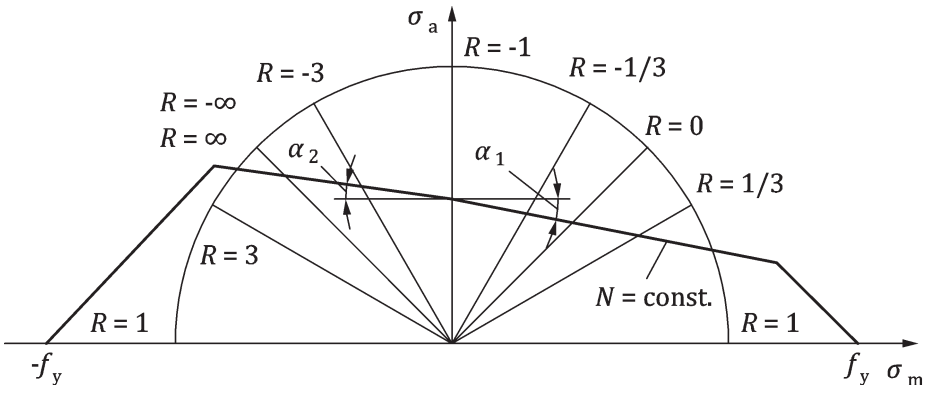


Bild 2 — Ebene der beim Nachweis der Ermüdungsfestigkeit betrachteten Komponente (vereinfachtes Haigh-Diagramm)

Die Transformation von Spannungsspielen nach den vorstehend angegebenen Gleichungen wird in Bild 3 veranschaulicht.

Documents
Document Sharing Hub
Full document details: E DIN EN 13001-3-8:2022-02

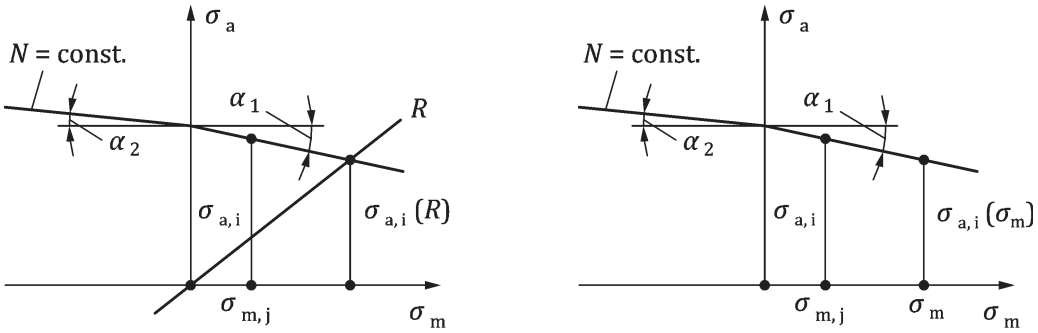


Bild 3 — Transformation von Spannungsspielen: a) für ein konstantes Grenzspannungsverhältnis, und b) für eine konstante Mittelspannung

Wird die Mittelspannung σ_m als nicht signifikant angenommen (z. B. für geschweißte Strukturen), $\alpha_1 = \alpha_2 = 0$.

Wenn $\sigma_a(R{=}0)$ und $\sigma_a(R{=}\infty)$ nicht vorliegen, kann das in Bild 4 dargestellte vereinfachte Haigh-Diagramm verwendet werden.

Dies wird durch Folgendes erreicht:

$$\alpha = \alpha_1 = \alpha_2 \tag{12}$$

$$\tan\alpha = \frac{\sigma_d}{2 \cdot f_u - \sigma_d} \tag{13}$$

Dabei ist

f_u die Bruchfestigkeit des Wellenwerkstoffs;

σ_d die Ermüdungsfestigkeit der Wellen (siehe 7.2.2.4).

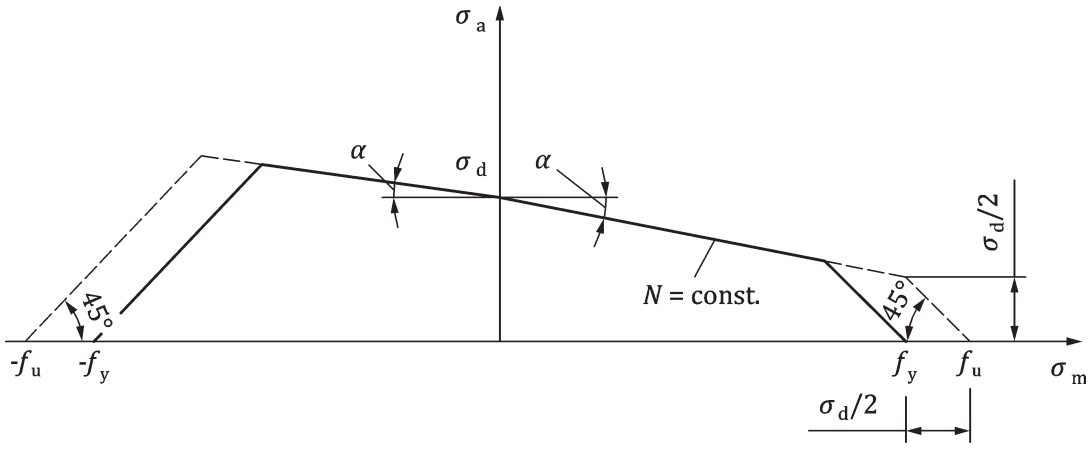


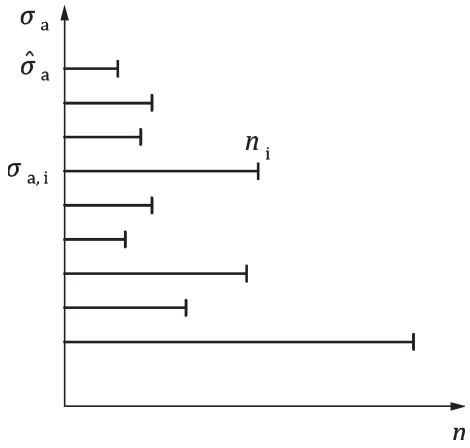
Bild 4 — vereinfachtes Haigh-Diagramm– Ebene des Bauteils

Die Transformation ergibt eine Ein-Parameter-Darstellung der Häufigkeiten von Spannungsamplituden bezogen auf das konstante Grenzspannungsverhältnis oder die konstante Mittelspannung. Bild 5 zeigt ein Beispiel für die Ein-Parameter-Darstellung von Spannungsverläufen mit diskreter Verteilung.

Die Transformation der vorstehend beschriebenen Spannungsamplituden ist für Schubspannungen nicht erforderlich.

AVA Documents
Document Sharing Hub

Full document details: E DIN EN 13001-3-8:2022-02



Legende
$\hat{\sigma}_a$ maximale Spannungsamplitude
$\sigma_{a,i}$ Spannungsamplitude der Schwingbreite i aus der „Rainflow-Zählung“
n_i Anzahl der Spannungsspiele mit der Spannungsamplitude der Schwingbreite *i*

Bild 5 — Ein-Parameter-Darstellung von Spannungsverläufen (Häufigkeiten von Spannungsamplituden bezogen auf ein konstantes Grenzspannungsverhältnis oder eine konstante Mittelspannung)

7.2.1.2 Spannungsverlaufsparameter der Welle

Analog zum Spannungsverlaufsparameter s_m, der in EN 13001-1:2015 definiert ist, wird der Spannungsverlaufsparameter der Welle wie folgt definiert:

$$s_s = k_s \times v_s \tag{14}$$

Dabei ist

k_s der Spannungskollektivbeiwert der Welle, definiert in 7.2.1.3;

v_s die relative Gesamtzahl der Spannungsspiele, definiert in 7.2.1.4.

Der Spannungsverlaufsparameter der Welle s_s muss direkt aus der Gleichung (15) und Gleichung (29) ermittelt werden.

Die Wellen können in die Klassen S_s des Spannungsverlaufsparameters s_s eingeteilt werden. Die Klassifizierung ist in Tabelle 4 angegeben. Wenn der Nachweis der Ermüdungsfestigkeit einer Welle auf einer Klasse S_s basieren soll, muss der dazugehörige Wert des Spannungsverlaufsparameters s_s nach Tabelle 4 angenommen werden.

Schubspannungen werden auf die gleiche Weise behandelt.

Tabelle 4 — Klassen S_s des Spannungsverlaufsparameters

Klasse	S_s0	S_s1	S_s2	S_s3	S_s4	S_s5	S_s6	S_s7	S_s8	S_s9
s_s	0,008	0,016	0,032	0,063	0,125	0,25	0,5	1,0	2,0	4,0

ANMERKUNG Durch eine Änderung der Wellenkonstruktion (Geometrie, Oberflächenzustand ...) ändert sich der Spannungsverlaufsparameter s_s und kann sich die Klasse S_s des Spannungsverlaufsparameters ändern.

Documents
Document Sharing Hub
Full document details: E DIN EN 13001-3-8:2022-02

7.2.1.3 Spannungskollektivbeiwert der Welle k_S und Gesamtzahl der Spannungsspiele $\hat{n}$

In Übereinstimmung mit EN 13001-1:2015 müssen die Spannungsspiele, die auf die betrachtete Komponente aufgebracht werden, wie folgt dargestellt werden:

— entweder für eine konstante Mittelspannung σ_m;

— oder für ein konstantes Grenzspannungsverhältnis R:

$$R = \frac{\sigma_b}{\sigma_u}$$

Dabei ist

σ_u der obere Grenzwert eines Spannungsspiels;

σ_b der untere Grenzwert eines Spannungsspiels.

Der Spannungskollektivbeiwert k_s der Welle errechnet sich wie folgt:

$$k_s = \sum_{i=1}^{i_{max}} \left(\frac{\sigma_{a,i}}{\hat{\sigma}_a}\right)^m \times \frac{n_i}{\hat{n}} \quad (15)$$

Dabei ist

$\sigma_{a,i}$ die Spannungsamplitude der Schwingbreite i für das konstante Grenzspannungsverhältnis R bzw. für die konstante Mittelspannung σ_m;

$\hat{\sigma}_a$ die maximale Spannungsamplitude für das konstante Grenzspannungsverhältnis R oder die konstante Mittelspannung σ_m;

n_i die Anzahl der Spannungsspiele mit der Spannungsamplitude $\sigma_{a,i}$;

$\hat{n} = \sum_i n_i$ die Gesamtzahl der Spannungsspiele während der Nutzungsdauer der Komponente.

Für die folgende Auswahl von Kranwellen/Achsen sind die vorgegebenen Werte von $\hat{n}$ und k_s angegeben:

— Seiltrommelwelle,

— Lauf- und Traversenradwellen,

— Führungsrollenachsen,

— Seilrollenachsen.

a) Seiltrommelwelle

— für eine Seiltrommelwelle ergibt sich die Gesamtzahl der Torsionsschubspannungsspiele wie folgt:

$$\hat{n} = C \cdot p \quad (16)$$

Documents
Document Sharing Hub
Full document details: E DIN EN 13001-3-8:2022-02

Dabei ist

C die Gesamtzahl der Arbeitsspiele während der Auslegungslebensdauer des Krans, siehe EN 13001-1:2015;

p die durchschnittliche Anzahl von Beschleunigungen, siehe EN 13001-1:2015.

Ein Beispiel für signifikante Torsionsspiele für die Lastkombinationen A1 und A4 während eines durchschnittlichen Arbeitsspiels ist in Bild 6 dargestellt.

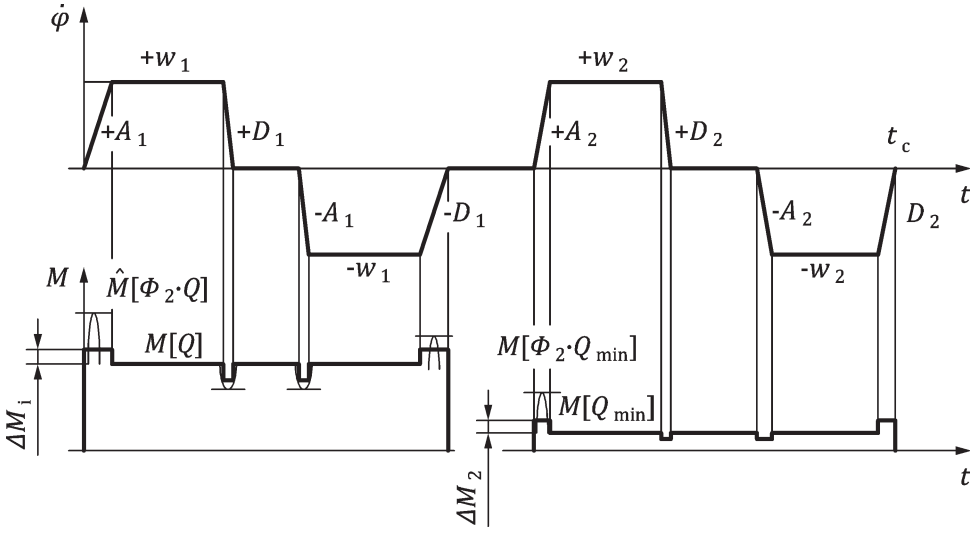


Bild 6 — Signifikante Torsionsspiele während eines durchschnittlichen Arbeitsspiels einer Trommelwelle (Beispiel)

— Basierend auf Bild 6 oben, wird der Spannungskollektivbeiwert der Seiltrommelwelle k_s für Schubspannungen wie folgt berechnet:

$$k_s = \sum_{i=1}^{C} \left(\frac{M(\phi_2 \cdot Q_i)}{\hat{M}(\phi_2 \cdot Q)}\right)^m \times \frac{C_i}{C \cdot p} + \left(\frac{M(\phi_2 \cdot Q_{min})}{\hat{M}(\phi_2 \cdot Q)}\right)^m \times \frac{C}{C \cdot p} + \sum_{i=1}^{C} \left(\frac{\phi_5 \cdot \Delta M_i)}{\hat{M}(\phi_2 \cdot Q)}\right)^m \times \frac{3 \cdot C_i}{C \cdot p} + \left(\frac{\phi_5 \cdot \Delta M_2}{\hat{M}(\phi_2 \cdot Q)}\right)^m \times \frac{3 \cdot C}{C \cdot p} \quad (17)$$

Dabei ist

$\hat{M}(\phi_2 \cdot Q)$ das maximale Drehmoment zum Heben der Nennlast, einschließlich ϕ_2;

$\hat{M}(\phi_2 \cdot Q_i)$ das Drehmoment zum Heben der Last im Bereich *i*;

$\hat{M}(\phi_2 \cdot Q_{min})$ das Drehmoment zum Heben der minimalen angehängten Last (d. h. die Summe aus dem festen Lastaufnahmemittel Q_{FA} und der Hälfte des Tragmittels G_{HM});

ΔM_i; ΔM_2 die Drehmomentschwankungen aufgrund von nominellen Beschleunigungen/Verzögerungen während des beladenen bzw. unbeladenen Teils des Arbeitsspiels.

ANMERKUNG Gleichung (17) veranschaulicht nur das Prinzip für die Berechnung von k_s in Bezug auf das spezifische durchschnittliche Arbeitsspiel in Bild 6 (typische Aufgabe, siehe EN 13001-1:2015), für die Lastkombinationen A1 und

Documents
Document Sharing Hub
Full document details: E DIN EN 13001-3-8:2022-02

A4. Wenn der Spannungsverlauf mehrere typische Aufgaben umfasst (siehe EN 13001-1:2015), ist die Berechnung von k_s komplexer, basiert aber auf demselben Prinzip.

— für eine Seiltrommelwelle ergibt sich die Gesamtzahl der Biegespannungsspiele wie folgt:

$$\hat{n} = \frac{2 \cdot \overline{x} \cdot C \cdot r_r}{\pi \cdot l_d \cdot D_1} \tag{18}$$

Dabei ist

$\overline{x}$ die durchschnittliche Verlagerung der Hubbewegung in einem Arbeitsspiel, die beide Male die Hubhöhe darstellt (Anheben der Last und Anheben des Lastaufnahmemittels), siehe EN 13001-1:2015;

C die Gesamtzahl der Arbeitsspiele während der Auslegungslebensdauer des Krans, siehe EN 13001-1:2015;

l_d die Auslegungsanzahl der eingesetzten Trommeln während der Auslegungslebensdauer des Krans;

D_1 der Teilkreisdurchmesser der Seiltrommel. Bei mehrlagigen Winden ist dies das arithmetische Mittel des Durchmessers der Seiltrommel, wobei alle Seillagen auf der Trommel berücksichtigt werden;

r_r der Einscherungsbeiwert;

— für eine Seiltrommelwelle ist der Spannungskollektivbeiwert der Welle k_s für Biegespannungen:

$$k_s = \sum_{i=1}^{n_{A_1}} \left(\frac{M_b(\phi_2 \cdot Q_i)}{\widehat{M_b}(\phi_2 \cdot Q)} \right)^m \times \frac{n_{A_1}}{\hat{n}} + \sum_{i=1}^{n_{A_2}} \left(\frac{M_b(\phi_2 \cdot Q_{min})}{\widehat{M_b}(\phi_2 \cdot Q)} \right)^m \times \frac{n_{A_2}}{\hat{n}} + \sum_{i=1}^{n_{w_1}} \left(\frac{M_b(Q_i)}{\widehat{M_b}(\phi_2 \cdot Q)} \right)^m \times \frac{n_{w_1}}{\hat{n}}$$
$$+ \sum_{i=1}^{n_{w_2}} \left(\frac{M_b(Q_{min})}{\widehat{M_b}(\phi_2 \cdot Q)} \right)^m \times \frac{n_{w_2}}{\hat{n}} + \sum_{i=1}^{n_{AD_1}} \left(\frac{M_b(\phi_5 \cdot \Delta Q_i)}{\widehat{M_b}(\phi_2 \cdot Q)} \right)^m \times \frac{n_{AD_1}}{\hat{n}} + \sum_{i=1}^{n_{AD_2}} \left(\frac{M_b(\phi_5 \cdot \Delta Q_{min})}{\widehat{M_b}(\phi_2 \cdot Q)} \right)^m \times \frac{n_{AD_2}}{\hat{n}} \tag{19}$$

Dabei ist

$\widehat{M_b}(\phi_2 \cdot Q)$ das maximale Biegemoment aufgrund der Nennlast, einschließlich ϕ_2;

n_{A_1} die Gesamtzahl der Biegespannungsspiele während der Beschleunigungsphasen +A1 in Bild 6;

Q_i die angehobene Last im Bereich i;

$M_b(\phi_2 \cdot Q_{min})$ das maximale Biegemoment aufgrund der minimalen angehobenen Last Q_{min} (d. h. die Summe aus dem festen Lastaufnahmemittel Q_{FA} und der Hälfte des Tragmittels G_{HM}), einschließlich ϕ_2;

n_{A_2} die Gesamtzahl der Biegespannungsspiele während der Beschleunigungsperioden $+A_2$ in Bild 6;

n_{w_1} die Gesamtzahl der Biegespannungsspiele während der stetigen Bewegungsperioden w_1 und $-w_1$ in Bild 6;

$M_b(\phi_2 \cdot Q_i)$ das Biegemoment aufgrund der Last im Bereich i, einschließlich ϕ_2;

AVA Documents
Document Sharing Hub

Full document details: E DIN EN 13001-3-8:2022-02

$M_b(Q_i)$ das Nennbiegemoment aufgrund der Last im Bereich *i*;

n_{w_2} die Gesamtzahl der Biegespannungsspiele während der stetigen Bewegungsperioden w_2 und $-w_2$ in Bild 6;

n_{AD_1} die Gesamtzahl der Biegespannungsspiele während der Beschleunigungsperioden $+D_1$, $-A_1$, $-D_1$ in Bild 6;

$M_b \cdot (\phi_5 \cdot \Delta Q_i)$ das geänderte Biegemoment aufgrund der Belastung im Bereich *i*, einschließlich der Abweichung des Biegemoments, multipliziert mit dem Dynamik-Beiwert. ϕ_5;

$M_b \cdot (\phi_5 \cdot \Delta Q_{min})$ das geänderte Biegemoment aufgrund der minimalen angehobenen Last Q_{min}, einschließlich der Abweichung des Biegemoments, multipliziert mit dem Dynamik-Beiwert ϕ_5.

In den oben genannten Gleichungen können die konservativ als konstant angenommenen Biegemomente durch äquivalente Biegemomente ersetzt werden, die die Abweichungen durch das Abwickeln des Drahtseils auf der Trommel berücksichtigen.

In einer konservativen und vereinfachten Annahme kann $k_s = k_Q$ verwendet werden.

b) Lauf- und Traversenradwellen

— für eine Laufradwelle ergibt sich die Gesamtzahl der Torsionsschubspannungsspiele wie folgt:

$$\hat{n} = C \cdot p \tag{20}$$

Dabei ist

C die Gesamtzahl der Arbeitsspiele während der Auslegungslebensdauer des Krans, siehe EN 13001-1:2015;

p die durchschnittliche Anzahl von Beschleunigungen, siehe EN 13001-1:2015.

Ein Beispiel für signifikante Torsionsspiele für die Lastkombinationen A_1 während eines durchschnittlichen Arbeitsspiels ist in Bild 7 dargestellt.

Documents
Document Sharing Hub
Full document details: E DIN EN 13001-3-8:2022-02

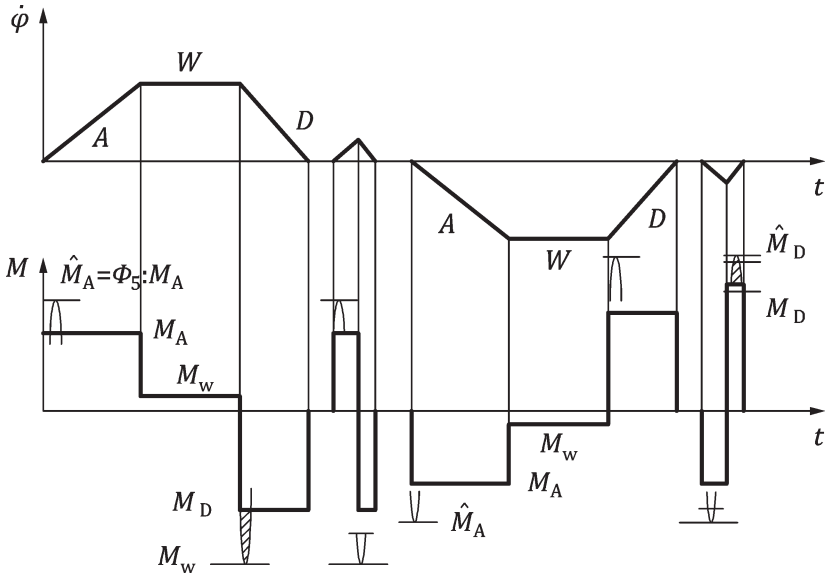


Bild 7 — Signifikante Torsionsspiele während eines durchschnittlichen Arbeitsspiels einer Radwelle (Beispiel)

— Basierend auf Bild 7 wird der Spannungskollektivbeiwert der Radwelle k_s für Schubspannungen wie folgt berechnet:

$$k_s = \left(\frac{\widehat{M}_A + \widehat{M}_D}{2 \cdot \widehat{M}_D}\right)^m \tag{21}$$

Dabei ist

$\widehat{M}_A$ das maximale Beschleunigungsmoment, einschließlich des Dynamik-Beiwerts ϕ_5;

$\widehat{M}_D$ das geänderte maximale Bremsmoment, mit:

$$\widehat{M}_D = M_w + \phi_5 \cdot (M_D - M_w)$$

Dabei ist

M_w das Drehmoment für die Fahrt mit konstanter Geschwindigkeit;

M_D das Bremsmoment;

ϕ_5 der relevante Dynamik-Beiwert für horizontale Bewegungen.

— für eine Laufradwelle (siehe EN 13001-3-3) ergibt sich die Gesamtzahl der Biegespannungsspiele wie folgt:

$$\hat{n} = \frac{2 \cdot \overline{x} \cdot C}{l_s \cdot \pi \cdot D_w} \tag{22}$$

Dabei ist

Documents
Document Sharing Hub
Full document details: E DIN EN 13001-3-8:2022-02

$\hat{x}$ die durchschnittliche Verlagerung der zugehörigen Kranbewegung, siehe EN 13001-1:2015;

C die Gesamtzahl der Arbeitsspiele während der Auslegungslebensdauer des Krans, siehe EN 13001-1:2015;

l_s die Auslegungszahl der Wellensätze, die während der Auslegungslebensdauer des Krans verwendet werden;

D_w der Raddurchmesser;

— für eine Laufradwelle ist der Biegespannungskollektivbeiwert k_s:

$$k_s = k_c \tag{23}$$

Dabei ist

k_c der Kontaktkraftkollektivbeiwert des betrachteten Rades, berechnet nach EN 13001-3-3.

Der Wert von k_c hängt von vielen Parametern ab, wie z. B. dem Kollektivbeiwert der Kranlast k_Q, den Positionen der Laufkatze, den Massen von Kran und Laufkatze. Wenn keine Daten über die Arbeitsspiele und Aufgaben des Krans vorliegen (d. h. Kran für allgemeine Werkstattanwendungen ohne festgelegte Verfahren), sollte die folgende konservative Annahme für die betrachtete Radwelle verwendet werden:

$$k_s = \left(\frac{2 \cdot F_{Sd,f,max} + F_{Sd,f,min}}{3 \cdot F_{Sd,f,max}}\right)^m \tag{24}$$

Dabei ist

$F_{Sd,f,max}$ die maximale konstruktive Kontaktkraft des angebrachten Rades, siehe EN 13001-3-3,

$F_{Sd,f,min}$ die minimale konstruktive Kontaktkraft des angebrachten Rades,

m die inverse Steigung der Wöhlerlinie nach 7.2.2.5.

c) Führungsrollenachsen

— bei einer Führungsrollenachse hängt die Gesamtzahl der Spannungsspiele aufgrund von Beschleunigungen der Antriebe und des Schräglaufs (wenn der Schräglauf als normale Belastung betrachtet wird) von der Art des Krans und der Anwendungen, den Positionen der Laufkatze sowie der Schienenqualität ab. Dieser Wert kann in der Produktnorm angegeben werden und sollte ein Vielfaches der Gesamtzahl der Arbeitsspiele C sein.

Wenn keine technischen Spezifikationen vorliegen, kann für eine nicht rotierende Achse die Gesamtzahl der Spannungsspiele wie folgt festgelegt werden:

$$\hat{n} = 2 \cdot C \tag{25}$$

Dabei ist

C die Gesamtzahl der Arbeitsspiele während der Auslegungslebensdauer des Krans, siehe EN 13001-1:2015;

— bei einer Führungsrollenachse ist der Spannungskollektivbeiwert k_s:

Documents
Document Sharing Hub
Full document details: E DIN EN 13001-3-8:2022-02

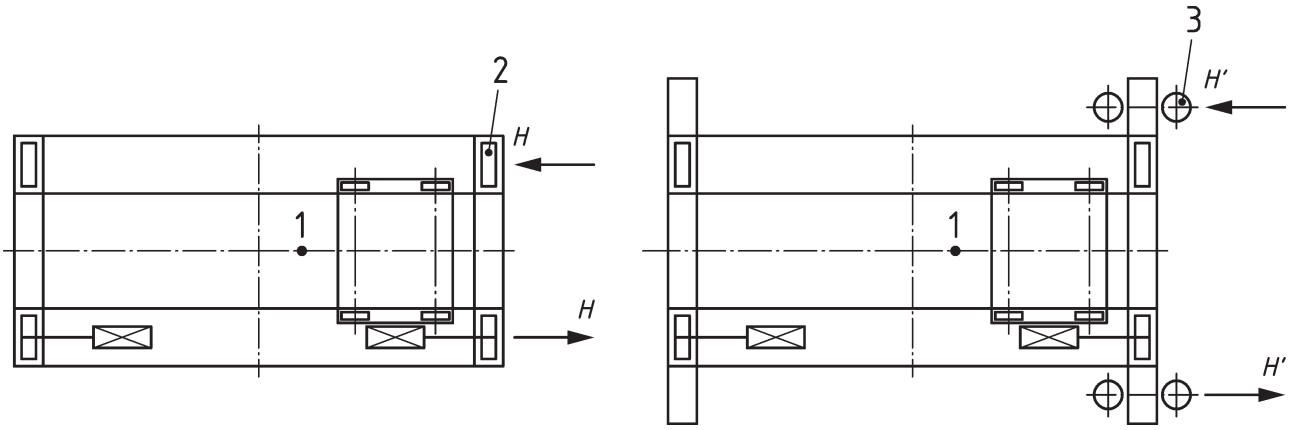
$$k_s = \sum_{i=1}^{C} \left(\frac{F_{y,i}}{F_{max}}\right)^m \times \frac{n_i}{C} + \sum_{i=1}^{C} \left(\frac{H_i}{F_{max}}\right)^m \times \frac{n_i}{C} \quad (26)$$

Dabei ist

F_{max} die maximale Kraft, die auf die Führungsrolle wirkt;

$F_{y,i}$ die Führungskraft des Bereichs i infolge des Schräglaufs, siehe EN 13001-2:2021, wenn der Schräglauf als normale Belastung betrachtet wird;

H_i die Führungskraft des Bereichs i aufgrund der Beschleunigung (siehe Bild 8 unten).



Legende
1 Schwerpunkt
2 Laufrad mit Flansch
3 Führungsrolle

Bild 8 — Kontaktkräfte H und H' aufgrund der Beschleunigung von Brückenkränen, die jeweils mit Laufrädern mit Flansch/Führungsrollen ausgestattet sind

d) Seilrollenachse

Dieser Abschnitt befasst sich nur mit Lauf- und Ausgleichsseilrollen, die in Hubwerken verwendet werden.

— für eine nicht rotierende Seilrollenachse ergibt sich die Gesamtzahl der Spannungsspiele wie folgt:

$$\hat{n} = C \quad (27)$$

Dabei ist

C die Gesamtzahl der Arbeitsspiele während der Auslegungslebensdauer des Krans, siehe EN 13001-1:2015;

— für eine Seilrollenachse wird der Spannungskollektivbeiwert k_s gleichgesetzt mit:

$$k_s = k_Q \quad (28)$$

Dabei ist

k_Q der Kollektivbeiwert der Kranlast, siehe EN 13001-1:2015.

Documents
Document Sharing Hub
Full document details: E DIN EN 13001-3-8:2022-02

7.2.1.4 Relative Gesamtzahl der Spannungsspiele ν_s

Die relative Gesamtzahl der Spannungsspiele ν_s ergibt sich wie folgt:

$$\nu_s = \frac{\hat{n}}{N_{\text{ref}}} \tag{29}$$

Dabei ist

$\hat{n}$ die Gesamtzahl der Spannungsspiele während der Auslegungslebensdauer der Komponente;

N_{ref} die Referenzzahl der Spannungsspiele: $N_{\text{ref}} = 2 \cdot 10^6$.

ANMERKUNG Siehe 7.1 für die Behandlung von Fällen, in denen die Anzahl der Spannungsspiele größer als $2 \cdot 10^6$ ist.

7.2.1.5 Bemessungswert der Ermüdungsspannung $\sigma_{\text{Sd,f}}$

Der Spannungsverlaufsparameter s_s, der in 7.2.1.2 definiert ist, muss mit Nennspannungen berechnet werden.

Eine Nennspannung ist eine Spannung im Grundwerkstoff an einer potentiellen Rissstelle, berechnet nach der einfachen Elastizitätstheorie der Werkstofffestigkeit und unter Ausschluss der Auswirkungen örtlicher Spannungskonzentrationen.

Der Bemessungswert der Normalspannung $\sigma_{\text{Sd,f}}$ wird dann wie folgt ermittelt:

$$\sigma_{\text{sd,f}} = \sigma_{\text{m}} + \hat{\sigma}_{\text{a}} \tag{30}$$

Dabei ist

$\hat{\sigma}_{\text{a}}$ die maximale Spannungsamplitude für das konstante Grenzspannungsverhältnis R oder die konstante Mittelspannung σ_{m}.

Der Bemessungswert der Schubspannung $\tau_{\text{Sd,f}}$ errechnet sich auf die gleiche Weise.

7.2.2 Grenzwert der zulässigen Ermüdungsspannung $\sigma_{\text{Rd,f}}$

7.2.2.1 Grenzwert der zulässigen Ermüdungsspannung

Der Grenzwert der zulässigen Ermüdungsspannung $\sigma_{\text{Rd,f}}$ eines Maschinenbauteils ergibt sich aus:

$$\sigma_{\text{Rd,f}} = \frac{\sigma_{\text{d}}}{\gamma_{\text{Mf}} \cdot \sqrt[m]{s_{\text{s}}}} \tag{31}$$

Dabei ist

σ_{d} die Ermüdungsfestigkeit des Bauteils für die Referenzzahl der Spannungsspiele $N_{\text{ref}} = 2 \cdot 10^6$. Die Bestimmung der Ermüdungsfestigkeit σd wird ausführlich in 7.2.2.2 bis 7.2.2.5 beschrieben;

γ_{Mf} der spezifische Widerstandsbeiwert für die Ermüdungsfestigkeit, definiert in 7.2.2.6;

s_{s} der Spannungsverlaufsparameter, definiert in 7.2.1.2;

m die inverse Steigung der Wöhlerlinie nach 7.2.2.5.

Für Schubspannungen wird der Grenzwert der zulässigen Ermüdungsspannung $\tau_{\text{Rd,f}}$ auf die gleiche Weise unter Verwendung von τd nach 7.2.2.4 berechnet.

Documents
Document Sharing Hub
Full document details: E DIN EN 13001-3-8:2022-02

7.2.2.2 Ermüdungsfestigkeit für Stahl und unendliche Ermüdungsbeständigkeit

Die vorhandene Ermüdungsfestigkeit muss mit der für Stahl übereinstimmen und muss der Spannungsart entsprechen, die in dem betrachteten Bauteil vorhanden ist, d. h.:

— Torsion im Fall von Schubspannung;

— Zug, gerade Biegung oder Umlaufbiegung im Fall von Normalspannung.

$\Sigma d,ref_{\mathrm{d,ref}}$ ist die Ermüdungsfestigkeit des Werkstoffs für $2 \cdot 10^6$ Spannungsspiele und eine ernannte Überlebenswahrscheinlichkeit. $\sigma_{\mathrm{d,ref}}$ sollte vorzugsweise aus Ermüdungsversuchen bestimmt werden, die mit polierten Prüfkörpern nach ISO 12107 durchgeführt werden.

Fehlen spezifische oder anerkannte Versuchsdaten, kann die Ermüdungsfestigkeit unter einer alternierend rotierenden Biegelast (Mittelspannung von null, $R = -1$) mithilfe Gleichung (21) berechnet werden:

$$\sigma_{\mathrm{d,ref}} = 0{,}45 \cdot f_{\mathrm{u}} \cdot f_{\mathrm{prob}} \tag{32}$$

Dabei ist

f_{u} die Bruchfestigkeit bei einem Bezugsdurchmesser von 7,5 mm;

f_{prob} der Überlebenswahrscheinlichkeitsfaktor, ausgewählt aus der nachstehenden Tabelle 5.

Tabelle 5 — Werte für den Überlebenswahrscheinlichkeitsfaktor f_{prob}

Überlebenswahrscheinlichkeit	50	90	97,7	99	99,9
f_{prob}	1,00	0,91	0,86	0,84	0,79

Es wird eine Überlebenswahrscheinlichkeit von 99 % empfohlen, wobei die kurzzeitige Rissausbreitungsphase in den Maschinenbauteilen, verglichen mit Strukturbauteilen, berücksichtigt ist.

Die Ermüdungsfestigkeit unter Zug/Druck wird durch Multiplikation von $\sigma_{\mathrm{d,ref}}$ mit 0,9 berechnet.

Die Ermüdungsfestigkeit unter gerader Biegung wird durch Multiplikation von $\sigma_{\mathrm{d,ref}}$ mit 1,05 berechnet.

Die Ermüdungsfestigkeit bei Torsion ergibt sich aus:

$$\tau_{\mathrm{d,ref}} = \frac{\sigma_{\mathrm{d,ref}}}{\sqrt{3}} \tag{33}$$

Die Werte für die Ermüdungsfestigkeit unter einer alternierenden Belastung können der einschlägigen Fachliteratur entnommen werden (siehe Literaturhinweise).

7.2.2.3 Korrektur der Ermüdungsfestigkeit durch weitere Einflussfaktoren

7.2.2.3.1 Allgemeines

Im Gegensatz zum Idealfall mit einem polierten Prüfkörper können die Geometrie, die Größe und der Oberflächenzustand (durch maschinelle Bearbeitung oder Oberflächenhärtung) des betrachteten Bauteils Einfluss auf die Ermüdungsfestigkeit unter einer alternierenden Belastung nehmen.

Diese Einflüsse werden durch die folgenden Faktoren berücksichtigt:

AVA Documents
Document Sharing Hub

Full document details: E DIN EN 13001-3-8:2022-02

— f_1 Kerbfaktor, siehe 7.2.2.3.2;

— f_2 Größenfaktor, siehe 7.2.2.3.3;

— f_3 Oberflächenrauigkeitsfaktor, siehe 7.2.2.3.4;

— f_4 Oberflächenbehandlungsfaktor, siehe 7.2.2.3.5.

Die Werte dieser Faktoren für alternierende Belastungen können der einschlägigen Fachliteratur entnommen oder durch Prüfungen ermittelt werden, siehe Literaturhinweise.

7.2.2.3.2 Kerbfaktor f_1

Der Einfluss von Spannungskonzentrationen wird durch den Kerbfaktor f_1 berücksichtigt.

Werte für f_1 sind in Anhang A angegeben.

7.2.2.3.3 Größenfaktor f_2

Bei gleichbleibender Nennspannung nimmt die Ermüdungsfestigkeit eines Bauteils bei steigender Bauteilgröße ab. Dies ist im Wesentlichen auf das Spannungsgefälle zurückzuführen (je nach Art der Belastung) sowie auf die Eintrittswahrscheinlichkeit von Unregelmäßigkeiten.

Der Größenfaktor f_2 ist definiert als das Verhältnis der Ermüdungsfestigkeit eines Prüfkörpers von bestimmter Größe zur Ermüdungsfestigkeit eines polierten Prüfkörpers mit einem Bezugsdurchmesser von 7,5 mm, der auf die gleiche Weise maschinell bearbeitet wurde.

Für Bauteile, die durch Rotation hergestellt werden, achsensymmetrische Bauteile, hängt der Größenfaktor f_2 von deren Durchmesser d (in [mm]) ab; für eine Welle unter gerader Biegung oder Umlaufbiegung ergibt er sich wie folgt:

$$f_2 = 9{,}308 \cdot d^{-0{,}006\,5} - 0{,}011\,6 \cdot \sqrt{d} - 8{,}169 \tag{34}$$

In Tabelle 6 sind einige repräsentative Werte angegeben:

Tabelle 6 — Größenfaktor f_2

Durchmesser d (mm)	**40**	**50**	**60**	**70**	**80**	**90**	**100**	**110**	**120**	**130**	**140**	**150**	**160**	**170**
f_2	0,84	0,82	0,8	0,79	0,77	0,76	0,75	0,74	0,73	0,72	0,71	0,7	0,69	0,68

ANMERKUNG Vorsichtig gesagt, können für eine Biegebeanspruchung die gleichen Werte wie für eine Zugbeanspruchung verwendet werden.

Für Maschinenbauteile, die nicht durch Rotation hergestellt werden, muss der Größenfaktor f_2 abgeschätzt werden, indem der unter Spannung stehende Bereich eines ‚nicht unter Rotation hergestellten Bauteils' in den Bereich eines Bauteils mit äquivalenter Achsensymmetrie konvertiert wird. Der äquivalente Durchmesser d_{equ} kann wie folgt festgelegt werden:

$$d_{\text{equ}} = \left(\frac{Bereich_{0,95}}{0{,}077}\right)^{1/2} \tag{35}$$

Dabei ist

Documents
Document Sharing Hub
Full document details: E DIN EN 13001-3-8:2022-02

$Bereich_{0,95}$ der Schnittbereich mit einer Spannung größer als 95 % der Höchstspannung, in [mm²].

7.2.2.3.4 Oberflächenrauhigkeitsfaktor f_3

Die Erfahrung zeigt, dass Teile, die mit einer groben Oberfläche hergestellt wurden, eine niedrigere Ermüdungsfestigkeit aufweisen als sorgfältig polierte Teile.

Viele Faktoren können hier Einfluss nehmen: Rauigkeit, Kalthärtung und Restspannungen. Der nachstehend für die Oberflächenrauigkeit definierte Faktor f_3 umfasst nur die Auswirkungen des ersten Einflusses dieser Art.

Der Faktor der Oberflächenrauigkeit f_3 ergibt sich wie folgt:

$$f_3 = 1 - 0{,}22 \cdot \log\frac{R_a}{0{,}4} \cdot \left(\log\frac{f_u}{200}\right) \tag{36}$$

Dabei ist

R_a die mittlere Tiefe des Oberflächenprofils nach EN ISO 4287:1998, in [µm];

f_u die Bruchfestigkeit des Werkstoffs, in [N/mm²].

7.2.2.3.5 Oberflächenbehandlungsfaktor f_4

Der Oberflächenbehandlungsfaktor f_4 berücksichtigt den Einfluss auf die Ermüdungsfestigkeit durch die Änderung des Oberflächenzustands, der von dem angewendeten technischen Verfahren abhängt.

Mindestwerte des Oberflächenbehandlungsfaktors f_4 können aus Tabelle 7 ausgewählt werden, mit $f_4 \geq 1$.

Für oberflächenbehandelte ungekerbte Wellen unter Zug/Druck gilt $f_4 = 1$.

Wenn der Nachweis der Ermüdungsfestigkeit mit den Kerbfaktoren f_1 erbracht wird, die durch Prüfungen nach einer Oberflächenbehandlung bestimmt worden sind, dann muss f_4 gleich 1,0 sein (f_4 erhöht sich mit dem Spannungskonzentrationsbeiwert K_tt, siehe Anhang A).

Tabelle 7 — Oberflächenbehandlungsfaktor in Abhängigkeit vom technischen Verfahren

Verfahren und Anforderungen		Kerbfaktor	Fall [b]	d mm	f_4
Chemo-ther-mische Prozesse	**Nitrieren** Nitriertiefe 0,1 mm bis 0,4 mm Oberflächen-härte 700 HV10 bis 1 000 HV10	— f_1 ermittelt in Übereinstimmung mit Anhang A [a] — f_1 experimentell ermittelt mit nitrierten Stählen [b] — ungekerbte Prüfstäbe/-wellen	1	$7 \leq d \leq 25$	1,15
				$25 < d$	$1{,}15 \cdot \left(\frac{25-d}{45}+1\right)$
		— f_1 experimentell ermittelt mit gekerbten Prüfstäben/-wellen, nicht nitriert	2	$7 \leq d \leq 25$	1,5
				$25 < d$	$1{,}5 \cdot \left(\frac{25-d}{31}+1\right)$
			1	$7 \leq d \leq 25$	1,2

Documents
Document Sharing Hub
Full document details: E DIN EN 13001-3-8:2022-02

Verfahren und Anforderungen		Kerbfaktor	Fall [b]	d mm	f_4
	Einsatzhärtung Einsatztiefe 0,2 mm bis 0,8 mm Oberflächenhärte 670 HV bis 750 HV	— f_1 ermittelt in Übereinstimmung mit Anhang A [a] — f_1 experimentell ermittelt mit Einsatzstählen [a] — ungekerbte Prüfstäbe/-wellen		$25 < d$	$1{,}2 \cdot \left(\frac{25-d}{45}+1\right)$
		— f_1 experimentell ermittelt mit gekerbten Prüfstäben/-wellen, nicht einsatzgehärtet	2	$7 \leq d \leq 25$	1,5
				$25 < d$	$1{,}5 \cdot \left(\frac{25-d}{31}+1\right)$
	Karbonitrieren Härtetiefe 0,2 mm bis 0,4 mm Oberflächenhärte mindestens 670 HV10	— f_1 ermittelt in Übereinstimmung mit Anhang A [a] — f_1 experimentell ermittelt mit karbonitrierten Stählen [a] — ungekerbte Prüfstäbe/-wellen	1	$7 \leq d \leq 25$	1,1
				$25 < d$	$1{,}1 \cdot \left(\frac{25-d}{45}+1\right)$
		— f_1 experimentell ermittelt mit gekerbten Prüfstäben/-wellen, nicht karbonitriert	2	$7 \leq d \leq 25$	1,4
				$25 < d$	$1{,}4 \cdot \left(\frac{25-d}{31}+1\right)$
Mechanische Prozesse	**Walzen**	— f_1 experimentell ermittelt mit ungekerbten Prüfstäben/-wellen mit mechanisch behandelten Oberflächen [a] — ungekerbte Prüfstäbe/-wellen	1	$7 \leq d \leq 25$	1,2
				$25 < d$	$1{,}2 \cdot \left(\frac{25-d}{75}+1\right)$
		— f_1 ermittelt in Übereinstimmung mit Anhang A — $F1_1$ experimentell ermittelt mit ungekerbten Prüfstäben/-wellen, ohne mechanische Behandlung	2	$7 \leq d \leq 25$	1,5
				$25 < d$	$1{,}5 \cdot \left(\frac{25-d}{65}+1\right)$
	Kugelstrahlen	— f_1 experimentell ermittelt mit mechanisch behandelten Oberflächen [a] — ungekerbte Prüfstäbe/-wellen	1	$7 \leq d \leq 42$	1,1
				$25 < d$	$1{,}1 \cdot \left(\frac{42-d}{21}+1\right)$
		— f_1 ermittelt in Übereinstimmung mit Anhang A	2	$7 \leq d \leq 25$	1,4
				$25 < d$	$1{,}4 \cdot \left(\frac{25-d}{24}+1\right)$

AVA Documents
Document Sharing Hub

Full document details: E DIN EN 13001-3-8:2022-02

Verfahren und Anforderungen		Kerbfaktor	Fall [b]	d mm	f_4
		— f_1 experimentell ermittelt mit gekerbten Prüfstäbe/-wellen, ohne mechanische Behandlung			
Thermische Prozesse	**Induktionshärten** Flammhärten Effektive Einhärtetiefe 0,9 bis 1,5 mm Oberflächenhärte 51 bis 64 HRC	— f_1 ermittelt in Übereinstimmung mit Anhang A [b] — f_1 experimentell ermittelt mit induktionsgehärteten (flammgehärteten) Stählen [a] — ungekerbte Prüfstäbe/-wellen	1	$7 \leq d \leq 25$	1,2
				$25 < d$	$1{,}2 \cdot \left(\frac{25-d}{38}+1\right)$
		— f_1 experimentell ermittelt mit gekerbten Prüfstäben/-wellen, ohne thermische Oberflächenbehandlung	2	$7 \leq d \leq 25$	1,4
				$25 < d$	$1{,}4 \cdot \left(\frac{25-d}{38}+1\right)$

[a] f_4 berücksichtigt den Festigkeitsanstieg der ungekerbten Komponente (Grundwerkstoff). Die Abnahme des Kerbfaktors f_1 ist bereits inbegriffen.

[b] Fall 1: f_4 gilt für den Anstieg der Ermüdungsfestigkeit eines ungekerbten Prüfstabs mit Oberflächenbehandlung, verglichen mit einem ungekerbten Prüfstab ohne Oberflächenbehandlung. Die Werte für Fall 1 gelten nur bei $f_1 > f_4$, anderenfalls ist f4 für den ungekerbten Fall 1 anzuwenden. Fall 2: f_4 gilt für den Anstieg der Ermüdungsfestigkeit eines gekerbten Prüfstabs mit Oberflächenbehandlung, verglichen mit einem gekerbten Prüfstab ohne Oberflächenbehandlung.

Die Enden der Oberflächenbehandlung haben einen negativen Einfluss auf die Ermüdungsfestigkeit des Werkstoffs und müssen mithilfe eines Faktors f_4 von 0,6 in diesen Übergangsbereichen berücksichtigt werden, es sei denn, andere anerkannte Werte sind verfügbar.

7.2.2.3.6 Anwendung der Einflussfaktoren

Die mittlere alternierende Ermüdungsfestigkeit $\sigma_{d,s}$ oder $\tau_{d,s}$ für das betrachtete Maschinenbauteil muss wie folgt definiert sein:

$$\sigma_{d,s} = \sigma_{d,ref} \cdot \frac{f_2 \cdot f_3 \cdot f_4}{f_1} \text{ für Biege-, Zug- oder Drucknormalspannungen} \quad (37)$$

$$\tau_{d,s} = \tau_{d,ref} \cdot \frac{f_2 \cdot f_3 \cdot f_4}{f_1} \text{ für Torsionsschubspannungen} \quad (38)$$

7.2.2.4 Ermittlung der Ermüdungsfestigkeit σ_d oder τ_d des Bauteils

Die Ermüdungsfestigkeit σ_d oder τ_d des Bauteils wird im Hinblick auf Höchstwerte bei 2 Millionen Spannungsspielen mithilfe des Grenzspannungsverhältnisses R oder der Mittelspannung σ_m nach Bild 4 oder Tabelle 8 bestimmt.

AVA Documents
Document Sharing Hub

Full document details: E DIN EN 13001-3-8:2022-02

Tabelle 8 — Ermüdungsfestigkeit des Bauteils σ_d oder τ_d

Spannungsart	Bezug	Bedingung	Ermüdungsfestigkeit σ_d oder τ_d
Normal-spannungen	Mittelspannung σ_m	$0 \le \sigma_m \le f_u - (\sigma_{d,s}/2)$	$\frac{2 \cdot (f_u - \sigma_{d,s})}{2 \cdot f_u - \sigma_{d,s}} \cdot \sigma_m + \sigma_{d,s} \le f_u$
	Grenz-spannungs-verhältnis R	$-1 \le R \le \frac{2 \cdot f_u}{2 \cdot f_u - \sigma_{d,s}}$	$\frac{\sigma_{d,s}}{1 - \frac{f_u - \sigma_{d,s}}{2 \cdot f_u - \sigma_{d,s}} \cdot (1+R)} \le f_u$
Schub-spannungen	Mittelspannung τ_m	$0 \le \tau_m \le \frac{f_u}{\sqrt{3}} - \frac{\tau_{d,s}}{2}$	$\tau_{d,s} + \tau_m \le \frac{f_u}{\sqrt{3}}$
	Grenz-spannungs-verhältnis R	$-1 \le R \le \frac{\frac{f_u}{\sqrt{3}}}{\frac{f_u}{\sqrt{3}} - \frac{\tau_{d,s}}{2}}$	$\tau_{d,s} \cdot (2+R) \le \frac{f_u}{\sqrt{3}}$

7.2.2.5 Bestimmung der inversen Steigung m der Wöhlerlinie

Die inverse Steigung im Intervall zwischen $n = 1\,000$ Spielen und $n = 2 \cdot 10^6$ Spielen wird wie folgt berechnet:

— für Normalspannungen aus:

$$m_\sigma = \frac{\mathrm{Log}(2{\cdot}10^6) - \mathrm{Log}(1\,000)}{\mathrm{Log}(0{,}9{\cdot}f_u) - \mathrm{Log}(\sigma_d)} \tag{39}$$

— für Schubspannungen aus:

$$m_\tau = \frac{\mathrm{Log}(2{\cdot}10^6) - \mathrm{Log}(1\,000)}{\mathrm{Log}\left(\frac{0{,}9 \cdot f_u}{\sqrt{3}}\right) - \mathrm{Log}(\tau_d)} \tag{40}$$

7.2.2.6 Spezifischer Widerstandsbeiwert γ_{Mf}

Für die Überlebenswahrscheinlichkeit von 99 %, wie in 7.2.2.2 empfohlen, muss der Beiwert γ_{Mf} von Tabelle 9 nachstehend verwendet werden:

Tabelle 9 — Spezifischer Widerstandsbeiwert γ_{Mf}

Art des Mechanismus	Betriebssichere Bauteile	Nicht betriebssichere Bauteile	
		Keine Gefährdung für Personen [a]	Gefährdung für Personen
Horizontale Bewegungen	1,00	1,05	1,10
Heben, Wippen	1,15	1,20	1,25
Für die Definition von „betriebssicher“ und „nicht betriebssicher“ siehe EN 13001-3-1:2012+A2:2018.			

[a] Wird ein Risikobeiwert γ n ≥ 1,2 angewandt, kann diese Spalte auf jedes nicht betriebssichere Bauteil angewendet werden.

Documents
Document Sharing Hub
Full document details: E DIN EN 13001-3-8:2022-02

7.3 Durchführung des Nachweises der Ermüdungsfestigkeit

7.3.1 Einzelnachweis

Für die zu konstruierenden Maschinenbauteile muss nachgewiesen werden, dass:

$$\sigma_{Sd,f} \leq \sigma_{Rd,f} \text{ and } \tau_{Sd,f} \leq \tau_{Rd,f} \quad (41)$$

Dabei ist

$\sigma_{Sd,f}, \tau_{Sd,f}$ die Bemessungswerte der Ermüdungsspannungen, in Übereinstimmung mit 7.2.1.5;

$\sigma_{Rd,f}, \tau_{Rd,f}$ die Grenzwerte der zulässigen Ermüdungsspannungen, in Übereinstimmung mit 7.2.2.1.

7.3.2 Vereinfachter Nachweis

Für Bauteile mit mindestens der Anzahl n_i an Spannungsspielen (entsprechend einer Spannungsamplitude $\sigma_{a,i}$ von über $2 \cdot 10^6$ Spannungsspielen) könnte der nachstehend aufgeführte vereinfachte Nachweis erbracht werden:

$$\sigma_{a,i} \leq \frac{\sigma_{d,s}}{\gamma_{Mf}} \quad (42)$$

Dabei ist

$\sigma_{d,s}$ die alternierende Ermüdungsfestigkeit für das Maschinenbauteil, in Übereinstimmung mit 7.2.2.3.6.

7.3.3 Nachweis für mehrachsige Lasten

Zusätzlich zum separaten Nachweis für $\sigma_{Sd,f}$ und $\tau_{Sd,f}$ (siehe 7.3.1), sofern $\left(\frac{\tau_{Sd,f}}{\sigma_{Sd,f}}\right) > 0{,}20$, muss der kombinierte Einfluss von phasengleich und proportional schwankenden Schwingbreiten von Normal- und Schubspannungen berücksichtigt werden, indem ein Sicherheitsbeiwert γ_{ff} für die Ermüdung wie folgt berechnet wird:

$$\gamma_{ff} = \frac{1}{\sqrt{\left(\frac{\sigma_{Sd,f}}{\sigma_{Rd,f}}\right)^2 + \left(\frac{\tau_{Sd,f}}{\tau_{Rd,f}}\right)^2}} \quad (43)$$

Für die zu konstruierenden Maschinenbauteile muss nachgewiesen werden, dass:

$$\gamma_{ff} \geq 1{,}0 \quad (44)$$

Documents
Document Sharing Hub
Full document details: E DIN EN 13001-3-8:2022-02

Anhang A
(informativ)

Werte für den Kerbfaktor f_1

A.1 Allgemeines

Dieser Anhang enthält Vorschläge für Werte für die folgenden Fälle (nach [11]):

— Bild A.2 bis Bild A.7: Welle mit Kerbe oder Wellenbund, für unterschiedliche Lastarten;

— Bild A.8: Keilwelle;

— Bild A.9: Welle mit Keilnut;

— Tabelle A.1: Naben-Wellen-Verbindung;

— Bild A.10: Welle mit Bohrung.

Für die in Bild A.2 bis Bild A.7 dargestellten Fälle ergibt sich der Kerbfaktor f_1 wie folgt:

$$f_1 = z \cdot K_t \tag{A.1}$$

Dabei ist

z der Anpassungsbeiwert mit Berücksichtigung des Fließverhaltens am Grund der Kerbe, nach Bild A.1;

K_t der statische Spannungskonzentrationsbeiwert. Bild A.2 bis Bild A.7 enthalten Vorschläge für Werte für übliche Fälle.

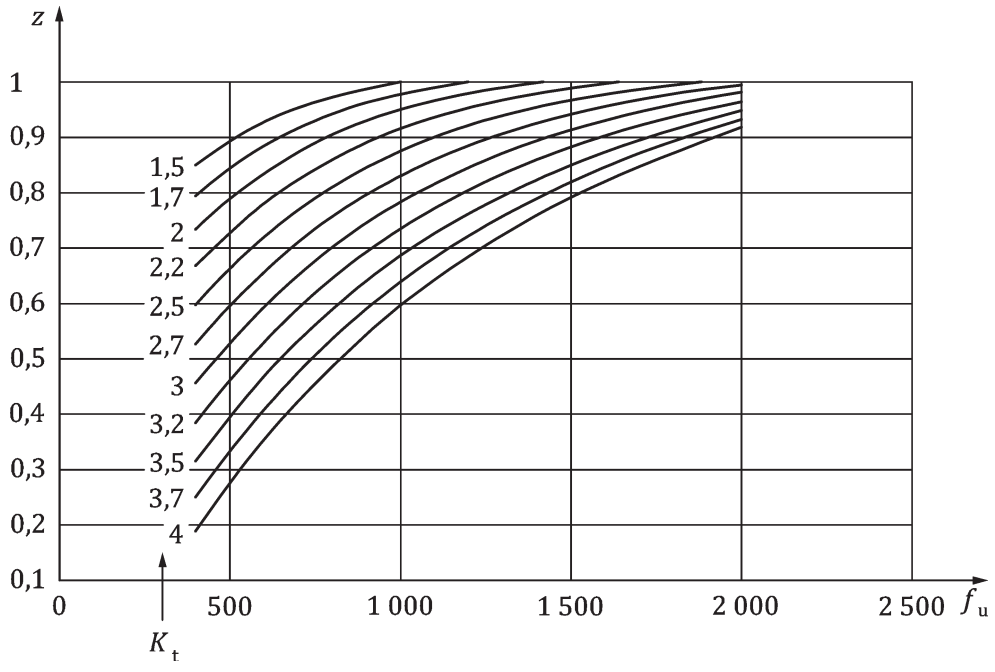


Bild A.1 — Anpassungsbeiwert z

Documents
Document Sharing Hub
Full document details: E DIN EN 13001-3-8:2022-02

A.2 Beispiele für Kerbfaktoren

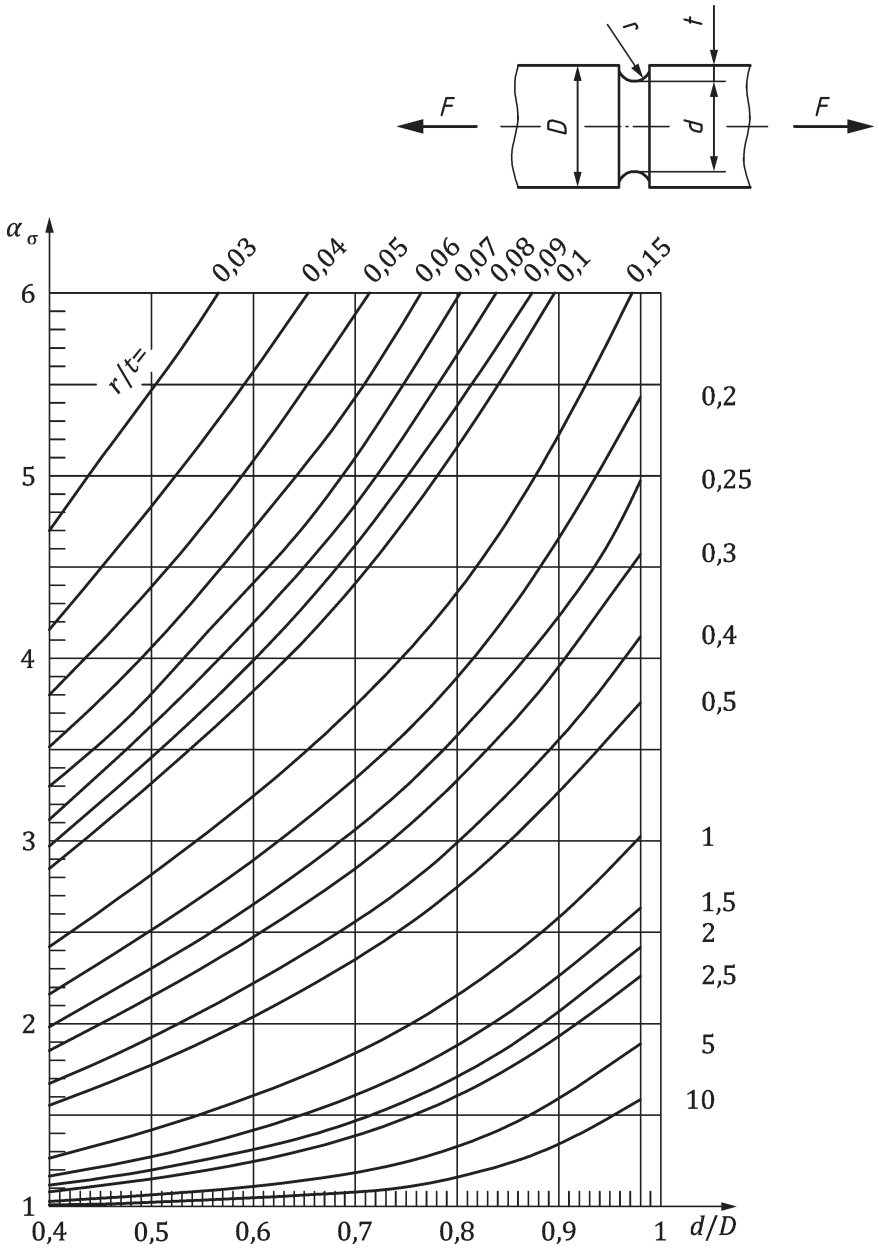


Bild A.2 — Spannungskonzentrationsbeiwert K_t für eine Welle mit Kerbe, zugbelastet

$$K_t = 1 + \frac{1}{\sqrt{0{,}22 \cdot \frac{r}{t} + 2{,}74 \cdot \frac{r}{d} \cdot \left(1+2 \cdot \frac{r}{d}\right)^2}} \qquad \text{(A.2)}$$

Documents
Document Sharing Hub
Full document details: E DIN EN 13001-3-8:2022-02

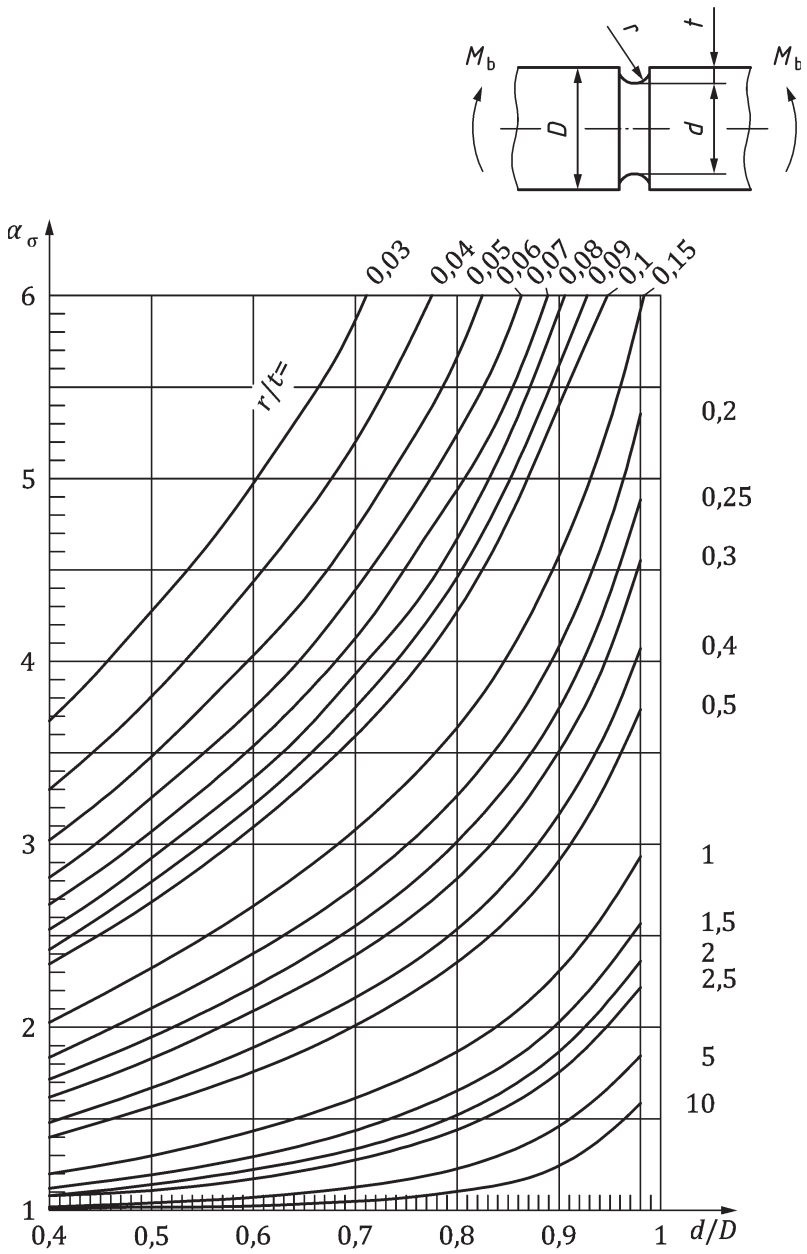


Bild A.3 — Spannungskonzentrationsbeiwert K_t für eine Welle mit Kerbe, biegebelastet

Documents
Document Sharing Hub
Full document details: E DIN EN 13001-3-8:2022-02