

Tragfähigkeitsberechnung von Wellen und Achsen

Teil 1: Einführung, Grundlagen

DIN
743-1

ICS 21.120.10

Shafts and axles, calculation of load capacity – Part 1: General basis

Calcul de la capacité des arbres et axes – Partie 1: Base

Inhalt

	Seite
Vorwort	2
Einleitung	2
1 Anwendungsbereich	2
2 Normative Verweisungen	2
3 Allgemeine Formelzeichen, Benennungen und Einheiten	2
4 Nachweis des Vermeidens von Dauerbrüchen	3
4.1 Sicherheit	3
4.2 Wirkende Spannungen	3
4.3 Gestaltfestigkeitswert	4
5 Nachweis des Vermeidens von bleibender Verformung, Anriss und Gewaltbruch unter Maximalbelastung	5
5.1 Sicherheit	5
5.2 Bauteilfließgrenze	5
5.3 Wirkende Spannungen (Maximalspannungen)	6
Anhang A (informativ) Erläuterungen zum Belastungs- bzw. Spannungsverlauf, zu Querschnittsgrößen und der Entnahme von σ_{ADK} aus dem Smith-Diagramm	7
Anhang B (informativ) Schematischer Ablauf der Sicherheitsnachweise	9

Fortsetzung Seite 2 bis 10

Normenausschuss Maschinenbau (NAM) im DIN Deutsches Institut für Normung e.V.

Vorwort

Diese Norm wurde erarbeitet von Fachleuten aus dem Normenausschuss Maschinenbau (NAM) im DIN Deutsches Institut für Normung e.V., Antriebstechnik (Ant, AA 2.2) und des Instituts für Maschinenelemente und Maschinenkonstruktion der TU Dresden.

DIN 743 „Tragfähigkeitsberechnung für Wellen und Achsen“ besteht aus:

- Teil 1: „Einführung, Grundlagen“;
- Teil 2: „Formzahlen und Kerbwirkungszahlen“;
- Teil 3: „Werkstoff-Festigkeitswerte“;
- Beiblatt 1: „Anwendungsbeispiele“.

Einleitung

Eine große Anzahl von Ausfällen im Maschinenbau ist auf Schäden an Achsen und Wellen zurückzuführen. Die häufigste Ursache hierfür sind Dauerbrüche (Ermüdungsbrüche, Schwingungsbrüche). Neben der optimalen konstruktiven Gestaltung stellt die Berechnung der Sicherheit gegen das Auftreten von Dauerbrüchen und Schäden infolge Maximalbelastung (bleibende Verformung, Anriss) eine erforderliche Maßnahme dar.

Diese Norm enthält die Grundgleichungen und das methodische Vorgehen beim Tragfähigkeitsnachweis für Wellen und Achsen. Dieser Nachweis erfolgt durch die Ermittlung einer (rechnerischen) Sicherheit (Sicherheit gegen Dauerbrüche und Schäden infolge Maximalbelastung). Durch diese Sicherheit sollen sowohl die Unsicherheiten in den Berechnungsgrundlagen und Lastannahmen als auch die Bedeutung der Anlage und Folgeschäden berücksichtigt werden.

1 Anwendungsbereich

Diese Norm gilt für den Sicherheitsnachweis von Wellen und Achsen gegen

- **Ermüdungsbruch** (Dauerbruch, Schwingungsbruch) bei Überschreitung der Dauerfestigkeit.
- **bleibende Verformung** (oder Anriss oder Gewaltbruch).

Bei der Berechnung der Sicherheit gegen Ermüdungsbruch werden konstante schädigungsäquivalente Spannungsamplituden zugrunde gelegt. Diese ergeben sich aus den vereinbarten Belastungen oder sind mit geeigneten Schädigungshypothesen zu bestimmen. Bei der Berechnung der Sicherheit gegen bleibende Verformung ist die maximal auftretende Spannung maßgebend. Diese ergibt sich aus der vereinbarten oder ermittelten maximalen Belastung (siehe [1]).

Der Anwendungsbereich ist auf **Stähle** begrenzt. Geschweißte Bauteile sind gesondert nachzurechnen. Diese Norm gilt hierfür nicht. Abweichungen von der Norm sind zulässig, wenn die Zuverlässigkeit der Konstruktion durch Theorie oder Experiment nachgewiesen wird.

Die Unterlagen zur Überprüfung der Abweichungen sind der Konstruktionsdokumentation des Entwicklerbetriebes bzw. den Berechnungsunterlagen beizufügen. Wenn im folgenden nur von Wellen gesprochen wird, gelten die Ausführungen sinngemäß auch für Achsen.

Anwendungsgrenzen: Der Tragfähigkeitsnachweis gilt für:

- Zug/Druck, Biegung, Torsion als Einzelbeanspruchung und kombiniert im Wechsel- oder Schwellbereich; kein dominierender Querkraftschub; kein Knicken (infolge Druckspannung);
- Temperaturbereich $-40\text{ °C} \leq \vartheta \leq 150\text{ °C}$;

- Umlaufbiegung und Flachbiegung werden nicht unterschieden (da die Festigkeitswerte in DIN 743-3 für die Biegebeanspruchung durch Umlaufbiegeversuche ermittelt wurden, liegt damit den Angaben der ungünstigere Fall zugrunde);
- korrosionsfreie Umgebungsmedien (Luft, säurefreies Öl).

Die Festigkeitswerte für die Sicherheit gegen Dauerbruch sind für die Grenzlastspielzahl $N_G = 10^7$ ermittelt und kommen als Dauerfestigkeitswerte zum Ansatz.

2 Normative Verweisungen

Diese Norm enthält durch datierte oder undatierte Verweisungen Festlegungen aus anderen Publikationen. Diese normativen Verweisungen sind an den jeweiligen Stellen im Text zitiert, und die Publikationen sind nachstehend aufgeführt. Bei datierten Verweisungen gehören spätere Änderungen oder Überarbeitungen dieser Publikationen nur zu dieser Norm, falls sie durch Änderung oder Überarbeitung eingearbeitet sind. Bei undatierten Verweisungen gilt die letzte Ausgabe der in Bezug genommenen Publikation.

DIN 743-2

Tragfähigkeitsberechnung von Wellen und Achsen – Teil 2: Formzahlen und Kerbwirkungszahlen

DIN 743-3

Tragfähigkeitsberechnung von Wellen und Achsen – Teil 3: Werkstoff-Festigkeitswerte

- [1] FKM-Richtlinie: Rechnerischer Festigkeitsnachweis für Maschinenbauteile. Forschungskuratorium Maschinenbau (FKM), VDMA-Verlag Frankfurt/Main 1998

3 Allgemeine Formelzeichen, Benennungen und Einheiten

Formelzeichen	Benennungen	Einheiten
d	Bauteildurchmesser im Kerbquerschnitt, bei Ringquerschnitt Wanddicke	mm
d_B	Bezugsdurchmesser	mm
d_{eff}	für die Wärmebehandlung maßgebender Durchmesser	mm
d_i	Innendurchmesser (Bohrungsdurchmesser)	mm
n	Stützzahl	
r	Kerbradius	mm
F	Kraft	N
G	Spannungsgefälle	N/mm^3
G'	bezogenes Spannungsgefälle	mm^{-1}
H	Hilfsgröße (für negative Mittelspannung)	N^2/mm^4
$K_{\sigma,\tau}$	Gesamteinflussfaktor (Biegung bzw. Zug/Druck und Torsion)	
K_{2F}	statische Stützwirkung	
$K_{F\sigma}, K_{F\tau}$	Einflussfaktor der Oberflächenrauheit	
K_V	Einflussfaktor der Oberflächenverfestigung	
$K_1(d_{\text{eff}})$	technologischer Größeneinflussfaktor	
$K_2(d)$	geometrischer Größeneinflussfaktor (für die ungekerbte, polierte Rundprobe)	
$K_3(d)$	geometrischer Größeneinflussfaktor (für die Kerbwirkungszahl)	

Formelzeichen	Benennungen	Einheiten
M_b	Biegemoment	Nm
R_z	gemittelte Rauhtiefe	μm
S	vorhandene Sicherheit	
$S_{\min}$	erforderliche Mindestsicherheit	
T	Torsionsmoment	Nm
$\alpha_\sigma, \alpha_\tau$	Formzahl	
β_σ, β_τ	Kerbwirkungszahl	
$\sigma_{zd,b W}, \tau_{tW}$	Werkstoff-Wechselfestigkeit für Bezugsdurchmesser d_B	N/mm^2
$\sigma_{zd,b WK}, \tau_{tWK}$	Bauteil-Wechselfestigkeit ¹⁾	N/mm^2
$\sigma_{zd,b ADK}, \tau_{tADK}$	Spannungsamplitude der Bauteil-Dauerfestigkeit für bestimmte Mittelspannung	N/mm^2
$\sigma_{zd,b ODK}, \tau_{tODK}$	Oberspannung der Bauteil-Dauerfestigkeit für bestimmte Mittelspannung	N/mm^2
σ_m, τ_m	Mittelspannung ¹⁾	N/mm^2
σ_a, τ_a	Spannungsamplitude ¹⁾	N/mm^2
σ_o, τ_o	Oberspannung (Maximalspannung) ¹⁾	N/mm^2
σ_u, τ_u	Unterspannung (Minimalspannung) ¹⁾	N/mm^2
$\sigma_{zd,b FK}, \tau_{tFK}$	Bauteil-Fließgrenze ¹⁾	N/mm^2
$\Psi_{\sigma K}, \Psi_{\tau K}$	Einflussfaktor der Mittelspannungsempfindlichkeit	
γ_F	Erhöhungsfaktor der Fließgrenze	
$\sigma_B; (R_m)$	Zugfestigkeit	N/mm^2
$\sigma_S; (R_{p0,2}, R_e)$	Streckgrenze	N/mm^2
σ_{bF}	Biegefließgrenze	N/mm^2
τ_{tF}	Torsionsfließgrenze	N/mm^2
Indizes		
A	ertragbare Amplitude	
a	vorhandene Amplitude	
b	Biege-	
bW	Biegewechsel-	
D	Dauerfestigkeit	
K	gekerbtes Bauteil	
m	Mittel-	
max	Maximal-	
t, τ	Torsion	
σ	Biegung, Zug/Druck	
v	Vergleichs-	
W	Wechsel-	
zd	Zug/Druck	

¹⁾ Nennspannung, Hauptspannung

4 Nachweis des Vermeidens von Dauerbrüchen

4.1 Sicherheit

Die rechnerische Sicherheit S muss gleich oder größer der Mindestsicherheit $S_{\min}$ sein:

$$S \geq S_{\min} \quad (1)$$

Die Grundsätze des Berechnungsverfahrens allein erfordern die Mindestsicherheit $S_{\min} = 1,2$.

Unsicherheiten bei der Annahme der Belastung, mögliche Folgeschäden usw. erfordern höhere Sicherheiten. Diese sind zu vereinbaren bzw. festzulegen.

Die rechnerische Sicherheit wird unter Berücksichtigung von Biegung, Zug/Druck und Torsion unter Annahme der Phasengleichheit ermittelt²⁾:

$$S = \frac{1}{\sqrt{\left(\frac{\sigma_{zda}}{\sigma_{zADK}} + \frac{\sigma_{ba}}{\sigma_{bADK}}\right)^2 + \left(\frac{\tau_{ta}}{\tau_{tADK}}\right)^2}} \quad (2)$$

Ist z. B. nur Biegung oder Torsion vorhanden, gilt

$$\text{für Biegung: } S = \frac{\sigma_{bADK}}{\sigma_{ba}} \quad (3)$$

$$\text{für Torsion: } S = \frac{\tau_{tADK}}{\tau_{ta}} \quad (4)$$

Gleichung (3) gilt analog für Zug/Druck, indem σ_{ba} durch σ_{zda} und σ_{bADK} durch σ_{zADK} ersetzt wird. Bei dominierendem Querkraftschub sind gesonderte Berechnungen erforderlich.³⁾

In den Gleichungen (2) bis (4) sind:

$\sigma_{zda}, \sigma_{ba}, \tau_{ta}$ Amplituden der vorhandenen Spannung infolge der äußeren Belastung in Form von Zug/Druck, Biegung und Torsion (nach Tabelle 1) und

$\sigma_{zADK}, \sigma_{bADK}, \tau_{tADK}$ ertragbare Amplituden (Festigkeit für Zug/Druck, Biegung und Torsion nach 4.3).

4.2 Wirkende Spannungen

Die Amplituden und Mittelwerte der wirkenden Spannungen werden nach den Gleichungen in der Tabelle 1 berechnet.

In Tabelle 1 sind:

F_{zda}, M_{ba}, T_a Amplituden der wirkenden äußeren Belastung bzw. die für die Werkstofffaser, z. B. aufgrund der Wellendrehung, wirksamen Amplituden der Belastung (Umlaufbiegung).

F_{zdm}, M_{bm}, T_m Mittelwerte der wirkenden äußeren Belastung.

²⁾ Es bedeuten die Indizes, z. B. für Biegung und Torsion (Zug/Druck analog) σ_{bADK} :

b Biegung

t Torsion

A (max.) Amplitude (Festigkeit)

D Dauerfestigkeit

K Kerben berücksichtigt (Gestaltfestigkeit)

³⁾ Dabei sind u. a. die geänderten Formzahlen und die anders gelegenen Orte der maßgebenden Beanspruchung zu beachten.