

DIN 743-2

ICS 21.120.10

Ersatz für
DIN 743-2:2000-10**Tragfähigkeitsberechnung von Wellen und Achsen –
Teil 2: Formzahlen und Kerbwirkungszahlen**

Calculation of load capacity of shafts and axles –
Part 2: Theoretical stress concentration factors and fatigue notch factors

Calcul de la capacité des arbres et axes –
Partie 2: Coefficients théoriques de la concentration des contraintes, coefficients effectifs
de la cincentration des contraintes

Gesamtumfang 34 Seiten

Normenausschuss Maschinenbau (NAM) im DIN

Inhalt

Seite

Vorwort	4
1 Anwendungsbereich	5
2 Normative Verweisungen	5
3 Allgemeine Formelzeichen, Benennungen und Einheiten	5
4 Kerbwirkungszahl	6
4.1 Definition der Kerbwirkungszahl	6
4.2 Experimentell bestimmte Kerbwirkungszahlen	6
4.2.1 Passfedernut und Presssitz	6
4.2.2 Kerbwirkungszahlen für Keilwellen, Kerbzahnwellen und Zahnwellen	8
4.2.3 Kerbwirkungszahlen für Rundstäbe mit Spitzkerbe	10
4.2.4 Kerbwirkungszahlen für umlaufende Rechtecknut	11
4.3 Kerbwirkungszahlen für Kerben mit bekannter Formzahl	12
4.3.1 Absatz, Rundnut, Absatz mit Freistich, Querbohrung	12
4.3.2 Noch nicht erfasste Kerbfälle	14
5 Formzahlen	14
5.1 Definition der Formzahl	14
5.2 Formzahlen für verschiedene Kerbformen	15
5.2.1 Absatz und Rundnut	15
5.2.2 Absatz mit Freistich	22
5.2.3 Querbohrung	23
6 Größeneinflussfaktoren	24
6.1 Allgemein	24
6.2 Technologischer Größeneinflussfaktor $K_1(d_{\text{eff}})$	24
6.3 Geometrischer Größeneinflussfaktor $K_2(d)$	26
6.4 Geometrischer Größeneinflussfaktor $K_3(d)$	27
7 Einflussfaktor der Oberflächenrauheit $K_{\text{F}\sigma_s}$	28
8 Einflussfaktor der Oberflächenverfestigung K_v	30
Literaturhinweise	34

Bilder

Bild 1 — Kerbwirkungszahlen für Keilwellen, Kerbzahnwellen und Zahnwellen	8
Bild 2 — Kerbwirkungszahlen für Rundstäbe mit umlaufender Spitzkerbe [2]	10
Bild 3 — Umlaufende Rechtecknut für Sicherungsringe nach DIN 471 und Strukturradius ρ^* nach Neuber [9]	11
Bild 4 — Stützzahl n	13
Bild 5 — Formzahlen für gekerbte Rundstäbe bei Zug	16
Bild 6 — Formzahlen für gekerbte Rundstäbe bei Biegung	17
Bild 7 — Formzahlen für gekerbte Rundstäbe bei Torsion	18
Bild 8 — Formzahlen für abgesetzte Rundstäbe bei Zug	19
Bild 9 — Formzahlen für abgesetzte Rundstäbe bei Biegung	20
Bild 10 — Formzahlen für abgesetzte Rundstäbe bei Torsion	21
Bild 11 — Absatz mit Freistich	22

Bild 12 — Formzahlen für Rundstäbe mit Querböhrung bei Zug/ Druck, Biegung oder Torsion (Zug/Druck [2], Biegung und Torsion [1])	23
Bild 13 — Technologischer Größeneinflussfaktor $K_1(d_{\text{eff}})$	25
Bild 14 — Geometrischer Größeneinflussfaktor $K_2(d)$	26
Bild 15 — Geometrischer Größeneinflussfaktor $K_3(d)$	27
Bild 16 — Einflussfaktor Oberflächenrauheit $K_{F\sigma}$	29
Bild 17 — Einflussfaktor der Oberflächenverfestigung K_v für chemisch-thermische Verfahren	31
Bild 18 — Einflussfaktor der Oberflächenverfestigung K_v für mechanische Verfahren	32
Bild 19 — Einflussfaktor der Oberflächenverfestigung K_v für thermische Verfahren	32

Tabellen

Tabelle 1 — Kerbwirkungszahlen $\beta_{\sigma, \tau}(d_{BK})$ für Welle-Nabeverbindungen	7
Tabelle 2 — Bezogenes Spannungsgefälle G'	14
Tabelle 3 — Formzahlkonstanten A, B, C und Exponent z	15
Tabelle 4 — Einflussfaktor der Oberflächenverfestigung K_v abhängig vom technologischen Verfahren, Richtwerte	33

Vorwort

Diese Norm wurde vom Arbeitsausschuss NA 060-34-32 AA „Wellen und Welle-Nabe-Verbindungen“ im Fachbereich Antriebstechnik des Normenausschuss Maschinenbau (NAM) im DIN Deutsches Institut für Normung e.V. erarbeitet.

DIN 743 *Tragfähigkeitsberechnung für Wellen und Achsen* besteht aus:

- *Teil 1: Einführung, Grundlagen;*
- *Teil 2: Formzahlen und Kerbwirkungszahlen;*
- *Teil 3: Werkstoff-Festigkeitswerte;*
- *Teil 4: Zeitfestigkeit, Dauerfestigkeit — Schädigungsäquivalente Spannungsamplitude;*
- *Beiblatt 1: Anwendungsbeispiele zu Teil 1 bis 3;*
- *Beiblatt 2: Anwendungsbeispiele zu Teil 4.*

Änderungen

Gegenüber DIN 743-2:2000-10 wurden folgende Änderungen vorgenommen:

a) Abschnitt 5.2

Der Absatz mit der Überschrift „Absatz mit Freistich“ wurde überarbeitet. Die Überlagerung zweier Kerbformen (Absatz, Rundnut) entfällt.

b) Abschnitt 6

- Der Abfall des technologischen Größeneinflussfaktors für Einsatzstähle (außer Cr-Ni-Mo Einsatzstähle) bei steigendem Durchmesser d_{eff} wurde bis auf $d_{\text{eff}} = 150$ mm begrenzt.
- Der Abfall des technologischen Größeneinflussfaktors für die Streckgrenze von Vergütungsstählen wurde ergänzt.

c) Redaktionelle Änderungen.

Frühere Ausgaben

DIN 743-2: 2000-10

1 Anwendungsbereich

Diese Norm legt die zur Berechnung der Bauteil-Dauerfestigkeit nach DIN 743-1 notwendigen Größeneinflussfaktoren, Oberflächenfaktoren, Formzahlen oder Kerbwirkungszahlen fest (weitere Angaben siehe [11]). Liegen dem Anwender eigene Ergebnisse oder Erkenntnisse vor, so kann er diese Größen bzw. Faktoren anstelle der hier angegebenen Faktoren bei der Berechnung verwenden.

Die angegebenen Form- und Kerbwirkungszahlen gelten für Vollwellen oder Hohlwellen mit Wanddicken, bei denen noch keine Beeinflussung der Kerbe durch die Bohrung vorliegt. Für Umlaufkerben dient die Bedingung $(D-d_i)/(2 \cdot t) \geq 3$ als Orientierung (siehe Anhang A von DIN 743-1:2010).

2 Normative Verweisungen

Die folgenden zitierten Dokumente sind für die Anwendung dieses Dokuments erforderlich. 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).

DIN 471, *Sicherungsringe für Wellen — Regelausführung und schwere Ausführung*

DIN 743-1, *Tragfähigkeitsberechnung von Wellen und Achsen — Teil 1: Einführung, Grundlagen*

DIN 743-3, *Tragfähigkeitsberechnung von Wellen und Achsen — Teil 3: Werkstoff-Festigkeitswerte*

DIN 6892, *Mitnehmerverbindungen ohne Anzug — Passfedern — Berechnung und Gestaltung*

DIN 7190, *Pressverbände — Berechnungsgrundlagen und Gestaltungsregeln*

3 Allgemeine Formelzeichen, Benennungen und Einheiten

Formelzeichen	Benennungen	Einheiten
d	Bauteildurchmesser im Kerbquerschnitt	mm
D	Bauteildurchmesser am Wellenabsatz	mm
d_B	Werkstoff-Bezugsdurchmesser	mm
d_{BK}	Kerb-Bezugsdurchmesser	mm
d_{eff}	für die Wärmebehandlung maßgebender Durchmesser	mm
d_i	Bauteil-Innendurchmesser	mm
r	Kerbradius	mm
t	Kerbtiefe	mm
F	Kraft	N
M_b	Biegemoment	Nm
M_t	Torsionsmoment	Nm
Rz_B	mittlere Rauheit der Probe	μm
$\alpha_{\sigma, \tau}$	Formzahl	
$\beta_{\sigma, \tau}$	Kerbwirkungszahl	
$\beta^*_{\sigma, \tau}$	Hilfsgröße für Kerbwirkungszahl	
σ_{maxK}	maßgebende örtliche Hauptspannung im Kerbquerschnitt	N/mm^2
τ_{maxK}	maßgebende örtliche Torsionsspannung (Hauptschubspannung) im Kerbquerschnitt	N/mm^2
σ_n, τ_n	Nennspannung im Kerbquerschnitt	N/mm^2
$\sigma_{zd, bW}(d), \tau_{tW}(d)$	Wechselspannung der ungekerbten, polierten Rundprobe mit dem Durchmesser d	N/mm^2

4 Kerbwirkungszahl

4.1 Definition der Kerbwirkungszahl

Die Kerbwirkungszahl des Bauteils ist durch Gleichung (1) und (2) definiert:

$$\beta_{\sigma} = \frac{\sigma_{zd,bW}(d)}{\sigma_{zd,bWK}}, \quad (1)$$

$$\beta_{\tau} = \frac{\tau_{tW}(d)}{\tau_{tWK}} \quad (2)$$

Dabei sind in den Gleichungen (1) und (2):

$\sigma_{zd,bWK}, \tau_{tWK}$ Wechselfestigkeit des Bauteils mit dem Durchmesser d im Kerbquerschnitt (durch die Nennspannung ausgedrückt)

$\sigma_{zd,bW}(d), \tau_{tW}(d)$ Wechselfestigkeit der ungekerbten, polierten Rundprobe mit dem Durchmesser d unter sonst gleichen Bedingungen.

Die Bestimmung der Kerbwirkungszahl für Zug/Druck, Biegung β_{σ} oder Torsion β_{τ} kann entsprechend den Möglichkeiten rechnerisch oder experimentell erfolgen.

4.2 Experimentell bestimmte Kerbwirkungszahlen

Die Kerbwirkungszahlen der im folgenden angegebenen Kerbfälle wurden experimentell nur für bestimmte Probendurchmesser ($\beta_{\sigma}(d_{BK}), \beta_{\tau}(d_{BK})$ für Bezugsdurchmesser d_{BK}) ermittelt. Die Kerbwirkungszahl für den Bauteildurchmesser d ist nach Gleichung (3) zu berechnen:

$$\beta_{\sigma} = \beta_{\sigma}(d_{BK}) \cdot \frac{K_3(d_{BK})}{K_3(d)} \quad (3)$$

Dabei ist:

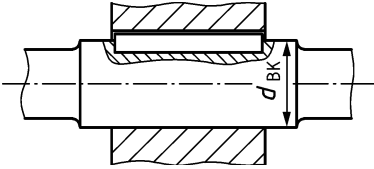
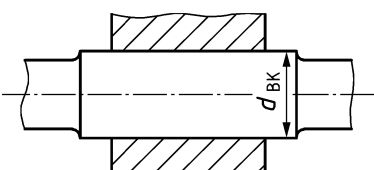
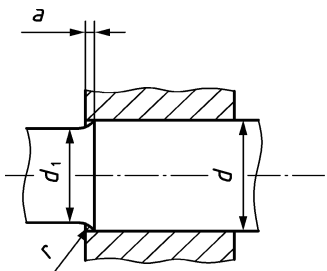
$K_3(d), K_3(d_{BK})$ geometrischer Größeneinflussfaktor (siehe Bild 15)

Gleichung (3) gilt für Zug/Druck oder Biegung, aber auch für Torsion, wenn σ durch τ ersetzt wird. Für spezielle Bauteile sind die Kerbwirkungszahlen experimentell zu bestimmen.

4.2.1 Passfedernut und Presssitz

Für die in der Praxis häufigsten Welle-Nabe-Verbindungen sind die Kerbwirkungszahlen der Tabelle 1 zu entnehmen.

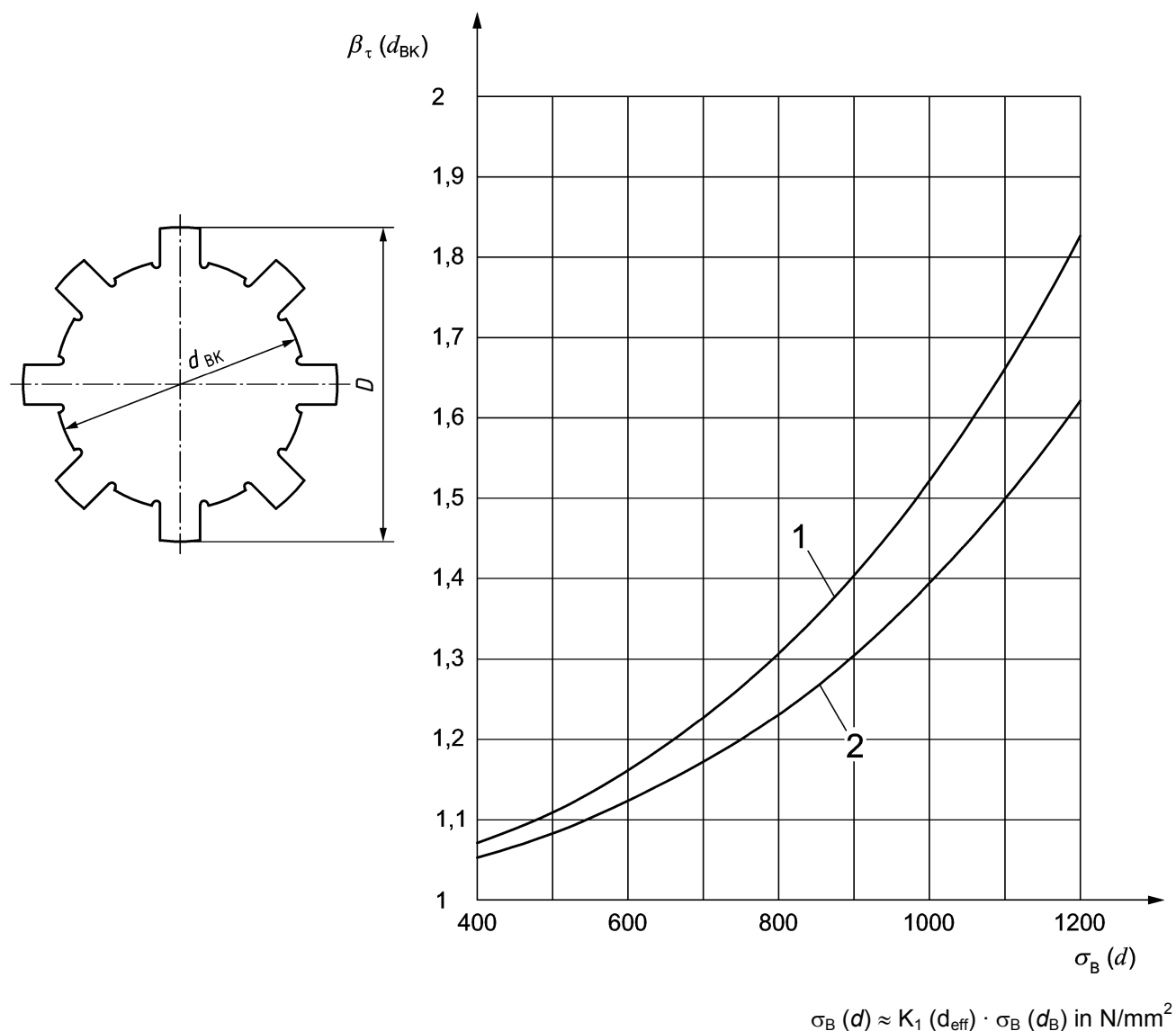
Tabelle 1 — Kerbwirkungszahlen $\beta_{\sigma, \tau}(d_{BK})$ für Welle-Nabeverbindungen

Wellen- und Nabenform		$\sigma_B(d)$ in N/mm ²								
		400	500	600	700	800	900	1000	1100	1200
	$\beta_{\sigma}(d_{BK})$	2,1 ^a	2,3 ^a	2,5 ^a	2,6 ^a	2,8 ^a	2,9 ^a	3,0 ^a	3,1 ^a	3,2 ^a
		$\beta_{\sigma}(d_{BK}) \approx 3,0 \cdot (\sigma_B(d) / 1\,000\text{ N/mm}^2)^{0,38}$								
	$\beta_{\tau}(d_{BK})$	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	1,8	1,9	2,0
		$\beta_{\tau}(d_{BK}) \approx 0,56 \cdot \beta_{\sigma}(d_{BK}) + 0,1$								
		Bei zwei Passfedern ist die Kerbwirkungszahl $\beta_{\sigma, \tau}$ mit dem Faktor 1,15 zu erhöhen (Minderung des Querschnittes) $\beta_{\sigma(2\text{Passfedern})} = 1,15 \cdot \beta_{\sigma}$								
	$\beta_{\sigma}(d_{BK})$	1,8	2,0	2,2	2,3	2,5	2,6	2,7	2,8	2,9
		$\beta_{\sigma}(d_{BK}) \approx 2,7 \cdot (\sigma_B(d) / 1\,000\text{ N/mm}^2)^{0,43}$								
	$\beta_{\tau}(d_{BK})$	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	1,8	1,9
		$\beta_{\tau}(d_{BK}) \approx 0,65 \cdot \beta_{\sigma}(d_{BK})$								
	Die Kerbwirkungszahl des Absatzes (Übergang d zu d_1) ist nach Abschnitt 4.3 zu bestimmen. Es ist dabei ein Durchmesser Verhältnis von $d_1/(1,1 \cdot d)$ für die Ermittlung der Formzahl anzunehmen. Der Presssitz beeinflusst die Kerbwirkung des Wellenübergangs im Allgemeinen nur wenig.									
	Nur bei ungünstiger Gestaltung kann es zur gegenseitigen Beeinflussung der Kerbwirkung im Wellenübergang (Radius r) und Nabensitz kommen. Dieses kann bei sehr kleinen Unterschieden zwischen d_1 und d und direkt am Nabensitz eintreten. Bei kleinen rechnerischen Sicherheiten und großer Bedeutung der Anlage ist die Haltbarkeit der Welle dann gesondert zu überprüfen (z. B. mittels FEM oder experimentell; siehe auch [7]). Hinsichtlich des minimalen Gesamtvolumens der Welle im Bereich der Welle-Nabe-Verbindung sind die Abmessungen für maximale Übertragbarkeit $d/d_1 \approx 1,1$ und $r/(d-d_1) \approx 2$ [10]. Weitere Hinweise zu Kerbwirkungszahlen und Einflüssen siehe DIN 7190.									
Nennspannungen:		Bezugsdurchmesser $d_{BK} = 40\text{ mm}$								
Zug: $\sigma_n = 4 \cdot F / (\pi \cdot d^2)$		Einflussfaktor der Oberflächenrauheit: $K_{F\sigma} = 1$ oder $K_{F\tau} = 1$								
Biegung: $\sigma_n = 32 \cdot M_b / (\pi \cdot d^3)$		Biege- oder Torsionsmoment wird auf die Nabe übertragen								
Torsion: $\tau_n = 16 \cdot M_t / (\pi \cdot d^3)$		Die Kerbwirkungszahlen gelten für die Enden des Nabensitzes.								
		Bei Zug/Druck gelten die gleichen Werte wie für Biegung								
^a		Die angegebenen $\beta_{\sigma, \tau}$ -Werte sind Richtwerte. Sie enthalten Einflüsse, die abhängig von der Passung, dem Verhältnis für τ_{tm}/σ_{ba} , der Wärmebehandlung und den Abmessungen der Nabe zu Abweichungen in der Belastbarkeit führen. Ein Übermaß zwischen Welle und Nabe erhöht die Tragfähigkeit. Mit $\tau_{tm}/\sigma_{ba} > 0,5$ steigt die Belastbarkeit, da infolge der Passfeder die durch Torsion entstehende Reibung in der Trennfuge das wirksame Biegemoment in der Welle-Nabe-Verbindung reduziert, was bei Stählen ohne harte Randschicht experimentell nachgewiesen wurde. Bei reiner Umlaufbiegung ($\tau_{tm}/\sigma_{ba} = 0$) sind dagegen Tragfähigkeitsminderungen um den Faktor 1,3 möglich. Die Tragfähigkeit von Passfederverbindungen kann abhängig von der Laufzeit durch Tribokorrosion stetig sinken. Weitere Angaben zu Kerbwirkungszahlen und Einflüssen siehe DIN 6892.								

4.2.2 Kerbwirkungszahlen für Keilwellen, Kerbzahnwellen und Zahnwellen

Die Kerbwirkungszahlen für Keilwellen, Kerbzahnwellen und Zahnwellen bei Torsion und Biegung können näherungsweise aus Bild 1 abgelesen oder nach den unter Bild 1 angegebenen Gleichungen berechnet werden.

Die Kerbwirkungszahlen können bei relativ steifer Nabe und ungünstiger Gestaltung aufgrund der konzentrierten Lastenleitung am Übergang Welle-Nabe wesentlich größer sein. Die Werte gelten für die Welle ohne Nabeneinfluss.



Legende

- 1 Keilwellen und Kerbzahnwellen
- 2 Zahnwellen mit Evolventenverzahnung

Bild 1 — Kerbwirkungszahlen für Keilwellen, Kerbzahnwellen und Zahnwellen

Bezugsdurchmesser $d_{BK} = 29 \text{ mm}$

Kerbwirkungszahlen

$$\beta_{\tau}^*(d_{BK}) = \exp\left(4,2 \cdot 10^{-7} \left(\frac{\sigma_B(d)}{N / \text{mm}^2}\right)^2\right)$$

Torsion:

— Keilwellen und Kerbzahnwellen:

$$\beta_{\tau}(d_{BK}) = \beta_{\tau}^*(d_{BK})$$

— Zahnwellen mit Evolventenverzahnung:

$$\beta_{\tau}(d_{BK}) = 1 + 0,75 (\beta_{\tau}^*(d_{BK}) - 1)$$

Biegung:

— Keilwellen

$$\beta_{\sigma}(d_{BK}) = 1 + 0,45 \cdot (\beta_{\tau}^*(d_{BK}) - 1)$$

— Kerbzahnwellen

$$\beta_{\sigma}(d_{BK}) = 1 + 0,65 \cdot (\beta_{\tau}^*(d_{BK}) - 1)$$

— Zahnwellen mit Evolventenverzahnung:

$$\beta_{\sigma}(d_{BK}) = 1 + 0,49 \cdot (\beta_{\tau}^*(d_{BK}) - 1)$$

Zug/Druck:

— Für Zug/Druck gelten näherungsweise dieselben Werte wie für Biegung

Einflussfaktor der Oberflächenrauheit:

$$K_{F\tau} = 1 \text{ oder } K_{F\sigma} = 1$$

Einsatzstähle einsatzgehärtet:

$$\beta_{\tau}(d_{BK}) = 1,0; \beta_{\sigma}(d_{BK}) = 1,0; K_V = 1$$

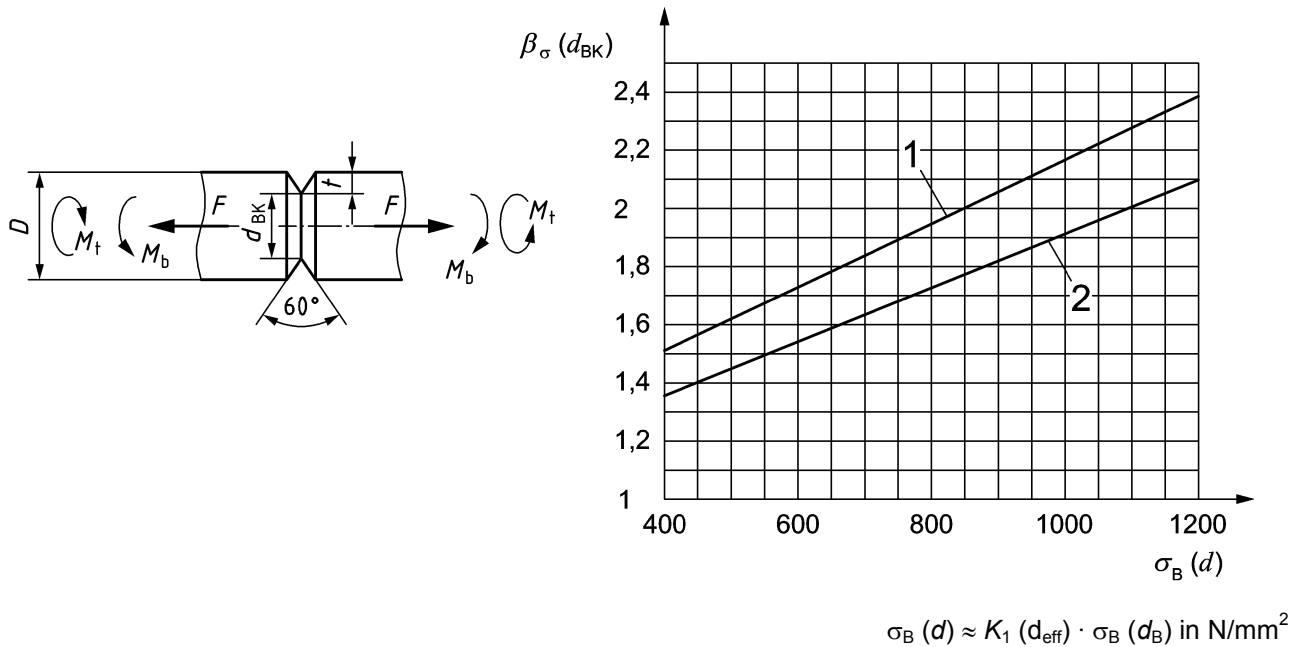
Nennspannungen:

$$\text{Torsion: } \tau_n = 16 \cdot M_t / (\pi \cdot d^3);$$

$$\text{Biegung: } \sigma_n = 32 \cdot M_b / (\pi \cdot d^3)$$

4.2.3 Kerbwirkungszahlen für Rundstäbe mit Spitzkerbe

Die Kerbwirkungszahlen für Rundstäbe mit umlaufender Spitzkerbe bei Zug/Druck, Biegung oder Torsion sind aus Bild 2 abzulesen oder nach der unter Bild 2 angegebenen Gleichung zu berechnen.



Legende

- 1 Zug/Druck
- 2 Biegung

Bild 2 — Kerbwirkungszahlen für Rundstäbe mit umlaufender Spitzkerbe [2]

Bezugsdurchmesser: $d_{BK} = 15 \text{ mm}$

Kerbwirkungszahlen:

Zug/Druck:

$$\beta_\sigma(d_{BK}) = 0,109 \frac{\sigma_B(d)}{100 \text{ N/mm}^2} + 1,074$$

Biegung:

$$\beta_\sigma(d_{BK}) = 0,0923 \frac{\sigma_B(d)}{100 \text{ N/mm}^2} + 0,985$$

Torsion:

$$\beta_\tau(d_{BK}) = 0,80 \cdot \beta_{\sigma\text{Biegung}}(d_{BK})$$

Nennspannungen:

Zug-Druck: $\sigma_n = 4 \cdot F / (\pi \cdot d^2)$

Biegung: $\sigma_n = 32 \cdot M_b / (\pi \cdot d^3)$

Torsion: $\tau_n = 16 \cdot M_t / (\pi \cdot d^3)$

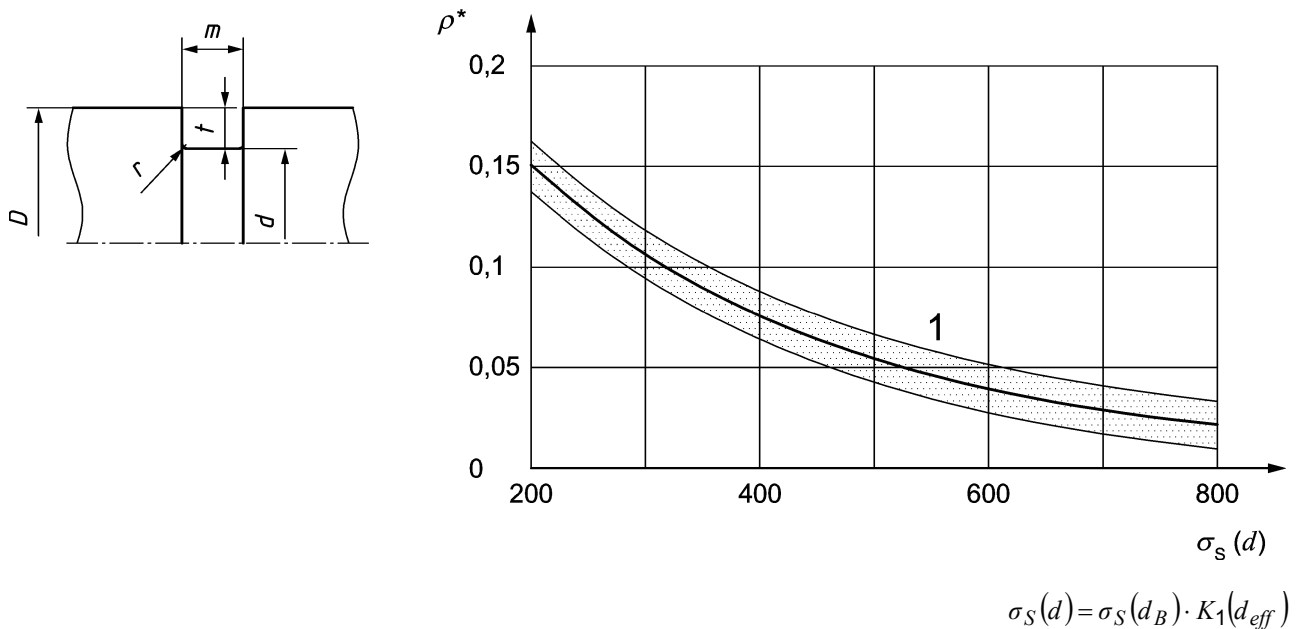
Radius im Kerbgrund: $r = 0,1 \text{ mm}$

mittlere Rauheit der Kerbe: $Rz_B = 20 \text{ }\mu\text{m}$

$t/d = 0,05$ bis $0,20$; für andere Werte weichen die Kerbwirkungszahlen von diesen Angaben ab.

4.2.4 Kerbwirkungszahlen für umlaufende Rechtecknut

Die Gleichungen für die Berechnung der Kerbwirkungszahlen für die Kerbform Rechtecknut sind unterhalb Bild 3 angegeben (Verfahren nach [3], [4], [5], [6], [8]).



Legende

1 Stähle

Bild 3 —Umlaufende Rechtecknut für Sicherungsringe nach DIN 471 und Strukturradius ρ^* nach Neuber [9]

ANMERKUNG Ergibt sich bei Zug/Druck oder Biegung $\beta_\sigma > 4$, ist mit $\beta_\sigma = 4$ zu rechnen. Ergibt sich bei Torsion $\beta_\tau > 2,5$, ist mit $\beta_\tau = 2,5$ zu rechnen.

Werden wesentliche Zug/Druckbelastungen an der Nutflanke eingeleitet, siehe [8].

Kerbwirkungszahlen:

Zug/Druck: $\beta_\sigma^*(d_{BK}) = 0,9 \cdot (1,27 + 1,17 \cdot \sqrt{t/r_f})$

Biegung: $\beta_\sigma^*(d_{BK}) = 0,9 \cdot (1,14 + 1,08 \cdot \sqrt{t/r_f})$