

DIN 6892**DIN**

ICS 21.120.30

Ersatz für
DIN 6892:1998-11**Mitnehmerverbindungen ohne Anzug –
Passfedern –
Berechnung und Gestaltung**

Drive type fastenings without taper action –
Parallel keys –
Calculation and design

Liaisons par entraîner sans blocage –
Clavettes –
Calcul et dimensionnement

Gesamtumfang 48 Seiten

Normenausschuss Maschinenbau (NAM) im DIN

Inhalt

Seite

Vorwort	3
Einleitung.....	4
1 Anwendungsbereich	5
2 Normative Verweisungen.....	5
3 Symbole und Abkürzungen	6
4 Allgemeines zur Passfederberechnung	8
5 Umfassendes Berechnungsmodell für Passfederverbindung (Methode A)	9
6 Vereinfachte Berechnung von Passfederverbindungen (Methode B).....	9
6.1 Flächenpressung an den Kontaktstellen	9
6.1.1 Grundsätzliches	9
6.1.2 Wirksame Flächenpressungen.....	9
6.1.3 Zulässige Flächenpressungen	16
6.2 Nachweis der Gestaltfestigkeit.....	19
6.2.1 Wellenbeanspruchung	19
6.2.2 Nabenbeanspruchung.....	19
6.2.3 Gestaltung von Passfederverbindungen	20
7 Überschlägige Dimensionierung von Passfederverbindungen (Methode C)	21
7.1 Vereinfachende Annahmen	21
7.2 Anwendungsgrenzen	21
7.3 Zulässiges Torsionsmoment	21
7.4 Maximales Spitzentorsionsmoment.....	22
7.5 Dauerfestigkeitsabschätzung.....	22
8 Auswuchten von Wellen mit Passfedern	22
9 Angaben in technischen Unterlagen	22
Anhang A (normativ) Anwendungsfaktoren nach DIN 3990	23
Anhang B (normativ) Stütz- und Härteeinflussfaktoren.....	25
Anhang C (normativ) Passfederabmessungen nach AGMA 9002 und 9003.....	26
C.1 Geometriefaktor zur rechnerischen Angleichung	26
C.2 Dimensionierung (Methode C).....	30
Anhang D (informativ) Berechnungsbeispiele	31
D.1 Elastische Bolzenkupplung	31
D.1.1 Allgemeines	31
D.1.2 Rechengang nach Methode C	32
D.1.3 Rechengang nach Methode B	32
D.2 Abtriebswelle eines Servogetriebes für Industrieroboter	36
D.2.1 Allgemeines	36
D.2.2 Rechengang nach Methode C	37
D.2.3 Rechengang nach Methode B	37
D.2.4 Wellenbeanspruchung	39
D.2.5 Fazit.....	39
D.3 Getriebewelle.....	39
D.3.1 Allgemeines	39
D.3.2 Rechengang nach Methode C	41
D.3.3 Rechengang nach Methode B	41
D.3.4 Wellenbeanspruchung nach DIN 743.....	45
Literaturhinweise	48

Vorwort

Diese Norm wurde vom Arbeitsausschuss NA 060-34-32 AA „Wellen und Welle-Nabe-Verbindungen“ des Normenausschusses Maschinenbau (NAM) im DIN erarbeitet.

Es wird auf die Möglichkeit hingewiesen, dass einige Texte dieses Dokuments Patentrechte berühren können. Das DIN [und/oder die DKE] sind nicht dafür verantwortlich, einige oder alle diesbezüglichen Patentrechte zu identifizieren.

Änderungen

Gegenüber DIN 6892:1998-11 wurden folgende Änderungen vorgenommen:

- a) In 6.1.2.1 wurde bei der Berechnung der Flächenpressungen eine Aushebeschräge mit berücksichtigt.
- b) In 6.1.2.4 wurde die Bezugsgröße D/d in d/D geändert.
- c) In 6.1.2.5 wurden zur Berechnung des Reibschlussfaktors in den jeweiligen Berechnungsgleichungen neue Faktoren q zugeordnet.
- d) In 6.1.3.1 wurden der Lastrichtungswechselfaktor f_w und der Lastspitzenhäufigkeitsfaktor f_L neu festgesetzt. Die Unterscheidung zwischen Wechselmomenten mit zeitlich langsamen oder schnellem Momentenanstieg ist entfallen.
- e) In 6.2 sind die Bilddarstellungen für den Formfaktor und die Lebensdauer entfallen, stattdessen werden die Kerbwirkungszahlen explizit angegeben.
- f) Im Anhang C sind die Ausführungen zur maximalen Wellenbeanspruchung auf der Basis von örtlichen Spannungen entfallen.

Frühere Ausgaben

DIN 6892: 1998-11

Einleitung

Die Passfederverbindung zählt zu den mittelbaren formschlüssigen Welle-Nabe-Verbindungen. Das Torsionsmoment wird von der Welle auf die Nabe über einen Mitnehmer, die Passfeder, mittelbar übertragen.

Der hauptsächliche Einsatzzweck für Passfederverbindungen ist das Übertragen von (quasi-)statischen Torsionsmomenten. Mit Einschränkungen wird die Passfederverbindung auch bei schwellenden und wechselnden Torsionsmomenten eingesetzt.

Passfederverbindungen finden insbesondere dann Anwendung, wenn eine gute Montierbarkeit und spätere Demontage der Welle-Nabe-Verbindung (z. B. Austausch oder Instandsetzung) gefordert oder notwendig ist.

Zweck dieser Norm ist die Darstellung verschiedener Berechnungsmöglichkeiten zur sicheren Auslegung von Passfederverbindungen.

1 Anwendungsbereich

Diese Norm legt Gestaltungs- und Berechnungsgrundlagen für Passfederverbindungen fest, deren Teile aus metallischen Werkstoffen bestehen. Die Geometrie der Passfederverbindung ist in DIN 6885-1, DIN 6885-2 und DIN 6885-3 mit Ausnahme der Passfederlänge festgelegt. Diese Norm gilt überwiegend für im Maschinenbau angewandte Passfederverbindungen im Temperaturbereich von -40°C bis 150°C .

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 743 (alle Teile), *Tragfähigkeitsberechnung von Wellen und Achsen*

DIN 748-1:1970-01, *Zylindrische Wellenenden — Abmessungen, Nenndrehmomente*

DIN 1681:1985-06, *Stahlguss für allgemeine Verwendungszwecke — Technische Lieferbedingungen*

DIN 3990-1:1987-12, *Tragfähigkeitsberechnung von Stirnrädern — Einführung und allgemeine Einflussfaktoren*

DIN 6281:1978-04, *Stromerzeugungsaggregate mit Kolbenkraftmaschinen — Anschlussmaße für Generatoren und Kolbenkraftmaschinen*

DIN 6885-1:1968-08, *Mitnehmerverbindung ohne Anzug — Passfedern, Nuten, hohe Form*

DIN 6885-2:1967-12, *Mitnehmerverbindung ohne Anzug — Passfedern, Nuten, hohe Form für Werkzeugmaschinen; Abmessungen und Anwendung*

DIN 6885-3:1956-02, *Mitnehmerverbindung ohne Anzug — Passfedern, niedrige Form; Abmessungen und Anwendung*

DIN 7190:2001-02, *Pressverbände — Berechnungsgrundlagen und Gestaltungsregeln*

DIN EN 1561:1997-08, *Gießereiwesen — Gusseisen mit Lamellengraphit*

DIN EN 1563:1997-08, *Gießereiwesen — Gusseisen mit Kugelgraphit*

DIN EN 10025-1:2005-02, *Warmgewalzte Erzeugnisse aus unlegierten Baustählen — Technische Lieferbedingungen*

DIN EN 10277-5:1999-10, *Blankstahlerzeugnisse — Technische Lieferbedingungen — Teil 5: Vergütungsstähle*

DIN EN 10083-1:2003-08, *Vergütungsstähle — Teil 1: Technische Lieferbedingungen für Edelstähle*

DIN EN 10083-2:2003-08, *Vergütungsstähle — Teil 2: Technische Lieferbedingungen für unlegierte Stähle*

DIN EN 10084:1998-06, *Einsatzstähle — Technische Lieferbedingungen*

DIN ISO 8821:1991-10, *Mechanische Schwingungen — Vereinbarungen über die Passfeder-Art beim Auswuchten von Wellen und Verbundteilen*

AGMA 9002-A86, *Bores and keyways for flexible couplings (inch series)*

AGMA 9003-A91, *Flexible couplings — keyless fits*

3 Symbole und Abkürzungen

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die Symbole und folgenden Begriffe.

Symbol	Benennung	Einheit
A	Tiefe der Abschrägung bei Passfedern der Form G,H,J	mm
a	Länge der Aushebeschräge bei Passfedern	mm
a_0	axialer Abstand zwischen Lastein- bzw. -ableitungsstelle	mm
a_1	Abstand zwischen Nabenstirnfläche und prismatischem Teil der Passfeder	mm
b	Passfederbreite	mm
c	Breite der Nabe mit D_2 innerhalb l_{tr}	mm
d	Wellendurchmesser	mm
d_A	großer Wellendurchmesser bei abgesetzter Welle	mm
d_{BK}	Bezugsdurchmesser 40 mm	mm
D	Außendurchmesser der Nabe	mm
D_1	kleiner Außendurchmesser bei abgesetzter Nabe	mm
D_2	großer Außendurchmesser bei abgesetzter Nabe	mm
f_H	Härteeinflussfaktor	
f_L	Lastspitzenhäufigkeitsfaktor	
f_S	Stützfaktor	
f_W	Lastrichtungswechselfaktor	
F_{eq}	äquivalente Umfangskraft	N
F_{max}	maximale Umfangskraft	N
F_u	Zahnumfangskraft	N
h	Passfederhöhe	mm
i	Passfederanzahl	
K_A	Anwendungsfaktor	
K_G	Geometriefaktor für Passfedern nach AGMA-Standard	
K_{Req}	Reibschlussfaktor bei äquivalentem Torsionsmoment	
K_{Rmax}	Reibschlussfaktor bei maximalem Spitzentorsionsmoment	
K_2	Geometrischer Größeneinflussfaktor	
K_3	Geometrischer Größeneinflussfaktor	
K_v	Traganteilfaktor	
K_λ	Lastverteilungsfaktor	
$K_{\lambda,e}$	Faktor zur Berücksichtigung der nabenseitigen Lastein- bzw. -ableitung	
l_{PF}	Passfederlänge	mm
l_{1tr}	tragende Passfederlänge der Welle	mm
l_{2tr}	tragende Passfederlänge der Nabe	mm
M_b	Biegemoment	Nmm
M_t	Torsionsmoment	Nmm
M_{teq}	äquivalentes Torsionsmoment	Nmm

Symbol	Benennung	Einheit
M_{tmax}	maximales Spitzentorsionsmoment	Nmm
$M_{tmaxRück}$	maximales Rückwärtstorsionsmoment	Nmm
M_{tenn}	Torsions-Nennmoment	Nmm
M_{tRmin}	minimales Reibschlussmoment	Nmm
M_{tzul}	zulässiges Torsionsmoment	Nmm
N	Nabe	
N_L	Häufigkeit der Lastspitzen	
N_W	Häufigkeit der Lastrichtungswechsel	
p_1	Flächenpressung in der Wellennut	N/mm ²
p_2	Flächenpressung in der Nabennut	N/mm ²
p_{eq}	äquivalente wirksame Flächenpressung	N/mm ²
p_{max}	maximale wirksame Flächenpressung	N/mm ²
p_{zul}	zulässige Flächenpressung	N/mm ²
q	Korrekturfaktor für Reibschluss mit Passfeder	
Q_A	Durchmesser Verhältnis der Nabe	
r	45°-Schrägung oder Rundung an der Passfeder	mm
r_2	Nutgrundradius	mm
R	Spannungsverhältnis	
R_{emin}	Minimum der Streckgrenzen von Wellen-, Naben- und Passfederwerkstoff	N/mm ²
R_e	Streckgrenze	N/mm ²
R_m	Zugfestigkeit	N/mm ²
$R_{p0,2}$	Dehngrenze	N/mm ²
s_1	45°-Schrägung oder Rundung an der Wellennutkante	mm
s_2	45°-Schrägung oder Rundung an der Nabennutkante	mm
S_F	Sicherheit gegen Fließen	
t	Nuttiefe	mm
t_1	Wellennuttiefe	mm
t_{1tr}	tragende Wellennuttiefe	mm
t_{2tr}	tragende Nabennuttiefe	mm
W	Welle	
W_t	polares Widerstandsmoment	mm ³
β_{cb}	Kerbwirkungszahl für Biegung	
β_{ct}	Kerbwirkungszahl für Torsion	
φ	Traganteil bei zwei Passfedern	
ξ	relatives Übermaß in der Fuge	
σ_{ba}	Biegeausschlagsspannung	N/mm ²
σ_{bmax}	maximale Biegespannung der Welle, örtlich	N/mm ²
σ_{bn}	Biegenennspannung der Welle	N/mm ²
σ_{bnmax}	maximale Biegenennspannung der Welle	N/mm ²

Symbol	Benennung	Einheit
τ_m	statische Torsionsnennspannung	N/mm ²
τ_{max}	maximale Torsionsspannung der Welle, örtlich	N/mm ²
τ_n	Torsionsnennspannung der Welle	N/mm ²
τ_{nmax}	maximale Torsionsnennspannung der Welle	N/mm ²
τ_{ta}	Torsionsausschlagsspannung	N/mm ²
τ_w	Torsionswechselfestigkeit	N/mm ²
τ_{tFK}	Torsionsfließgrenze für das gekerbte Bauteil	N/mm ²

4 Allgemeines zur Passfederberechnung

Aus bisherigen Untersuchungen an Passfederverbindungen geht hervor, dass meist die Welle das kritische Bauteil der Verbindung darstellt. Abscheren der Passfeder kommt sehr selten und dann nur bei Überlasten vor. Der in zahlreichen Dauerversuchen mit Passfederverbindungen (siehe [1], [2], [3], [4], [5], [6], [7]) nachgewiesene Schwingungsverschleiß infolge Umlaufbiegung und/oder schwingender Torsion ist meist der entscheidende Schädigungsmechanismus, der zum Versagen der Welle-Nabe-Verbindung führt. Von daher sind Ergebnisse aus Untersuchungen allein an genuteten Wellen nicht für eine Berechnung verwendbar (teilweise besteht noch nicht einmal tendenzielle Übereinstimmung).

Beim Festigkeitsnachweis von Passfederverbindungen ist es erforderlich, folgende Kriterien zu überprüfen:

- Flächenpressung an Welle, Passfeder und Nabe;
- Gestaltfestigkeit der Welle für:
 - Torsionsbeanspruchung, in der Regel (quasi-)statisch,
 - Biegebeanspruchung, in der Regel dynamisch;
- Gestaltfestigkeit der Nabe.

Festigkeitsnachweise für Passfederverbindungen können nach verschiedenen Methoden geführt werden. Gemäß der Genauigkeit (im Sinne der Berücksichtigung verschiedener Einflussfaktoren) bzw. Zuverlässigkeit des Verfahrens werden die Methoden A, B und C unterschieden. Die umfassendere Methode ist gegenüber der weniger genauen maßgebend.

Methode A:

Es handelt sich hierbei um einen experimentellen Festigkeitsnachweis am Bauteil unter Praxisbedingungen und/oder um eine umfassende rechnerische Beanspruchungsanalyse der kompletten Passfederverbindung bestehend aus Welle, Passfeder und Nabe.

Methode B:

Die Auslegung erfolgt aufgrund einer genaueren Berücksichtigung der auftretenden Flächenpressungen. Außerdem wird ein Festigkeitsnachweis für die Welle nach dem Nennspannungskonzept durchgeführt.

Methode C:

Überschlägige Berechnung der Flächenpressungen und daraus resultierende Abschätzung für die Wellenbeanspruchung.

Abweichungen von diesen Berechnungsmethoden sind in begründeten Fällen zulässig.

Darüber hinaus sind die Angaben über zylindrische Wellenenden in DIN 748-1 zu beachten.

5 Umfassendes Berechnungsmodell für Passfederverbindung (Methode A)

Der nach dieser Methode zu führende Festigkeitsnachweis orientiert sich an experimentellen Untersuchungen, die das Auftreten von Schwingungsverschleiß in der Passfederverbindung berücksichtigen. Ersatzweise ist auch eine umfassende rechnerische Beanspruchungsanalyse der kompletten Passfederverbindung bestehend aus Welle, Passfeder und Nabe vorstellbar.

Eine allgemeingültige Vorgehensweise zur Berechnungsmethode kann zurzeit noch nicht angegeben werden.

6 Vereinfachte Berechnung von Passfederverbindungen (Methode B)

6.1 Flächenpressung an den Kontaktstellen

6.1.1 Grundsätzliches

Ein Beurteilungskriterium für die Tragfähigkeit der Passfederverbindung ist die wirksame Flächenpressung zwischen Passfeder und Wellen- bzw. Nabennutwand. Sie darf zulässige Grenzwerte, die sich aus den Werkstofffestigkeiten ergeben, nicht überschreiten. Für den Festigkeitsnachweis ist die Überprüfung der Flächenpressung an allen tragenden Flächen erforderlich.

Praktische Erfahrungen zeigen, dass bei (quasi-)statischer Torsionsbelastung an den Kontaktflächen örtlich in begrenztem Umfang die Fließgrenze überschritten werden darf, ohne dass bei duktilen Werkstoffen Sicherheit und Funktion der Passfederverbindung beeinträchtigt werden. Ebenso wenig wird die Passfeder bei Ausnutzung dieses Effektes abscheren. Durch solche lokalen plastischen Verformungen ergibt sich unter Umständen sogar eine gleichmäßigere Lastverteilung.

Das Berechnungsverfahren gilt für einseitige und mit Einschränkungen auch für wechselseitige Belastung der Passfedern.

Die Flächenpressung wird aus dem zu übertragenden Torsionsmoment berechnet. Die maßgeblichen Belastungsgrößen sind das äquivalente Torsionsmoment M_{teq} und das im Verlauf der gesamten Betriebsdauer tatsächlich auftretende maximale Spitzentorsionsmoment M_{tmax} . Das äquivalente Torsionsmoment M_{teq} wird mit Hilfe des in DIN 3990-1:1987-12, Anhang A, vorgeschlagenen Anwendungsfaktors K_A aus dem Nenntorsionsmoment M_{tnenn} bestimmt.

6.1.2 Wirksame Flächenpressungen

6.1.2.1 Berechnungsgrundlagen

Aus dem Nenntorsionsmoment M_{tnenn} wird das äquivalente Torsionsmoment M_{teq} mit dem Anwendungsfaktor K_A (siehe dazu 6.1.2.2) in Gleichung (1) berechnet.

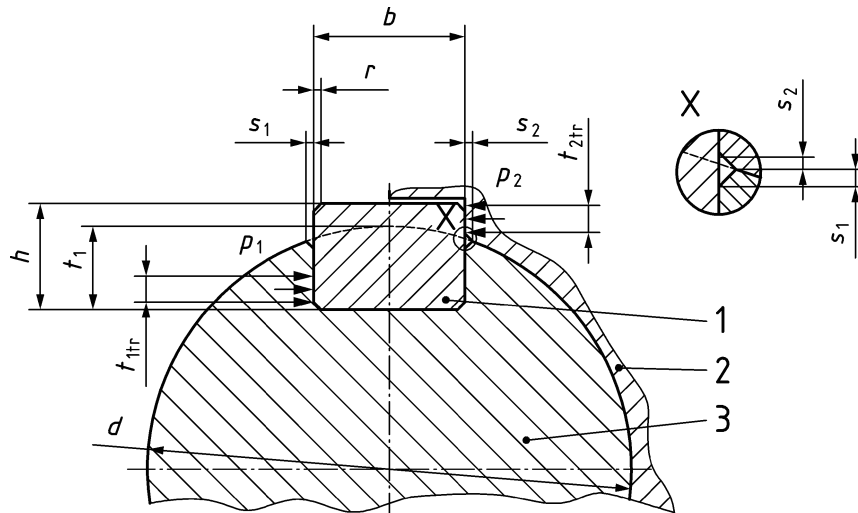
$$M_{teq} = K_A \cdot M_{tnenn} \quad (1)$$

Das im Verlauf der gesamten Betriebsdauer nur in Form von Sonderereignissen auftretende maximale Torsionsmoment M_{tmax} muss für den jeweiligen Anwendungsfall (z. B. aus Anfahrstößen, Kurzschlussmomenten, Notbremsmomenten usw.) bestimmt werden. Auch diese Sonderereignisse sind im Anwendungsfaktor K_A zu erfassen.

Die wirksamen Umfangskräfte F_{eq} und F_{max} werden mit den Gleichungen (2) und (3) ermittelt. Dabei wird der Kraftangriffspunkt für die Umfangskraft am Außendurchmesser der Welle angenommen.

$$F_{eq} = \frac{2M_{teq}}{d} \quad (2)$$

$$F_{max} = \frac{2M_{tmax}}{d} \quad (3)$$



Legende

- 1) Passfeder
- 2) Nabe
- 3) Welle

Bild 1 — Geometrie und Flächenpressungen an der Passfederverbindung

Die tragenden Nuttiefen t_{1tr} und t_{2tr} zwischen Passfeder und Wellen- bzw. Nabennutwand werden mit Hilfe der Gleichungen (4) und (5) ermittelt. Berücksichtigt werden dabei die 45°-Schrägungen bzw. Rundungen an der Passfeder sowie an Wellen- bzw. Nabennutkante nach Bild 1.

— für die Wellennutwand

$$t_{1tr} = t_1 - (r + s_1) - \frac{1}{2} \left(d - \sqrt{d^2 - (b + 2s_1)^2} \right) \quad (4)$$

— für die Nabennutwand

$$t_{2tr} = h - t_1 - (r + s_2) + \frac{1}{2} \left(d - \sqrt{d^2 - (b + 2s_2)^2} \right) \quad (5)$$

Grundsätzlich trägt nur der prismatische Teil der Passfeder. Die tragende Passfederlänge l_{tr} wird für die verschiedenen Passfederformen (nach DIN 6885-1) wie folgt berechnet:

— rundstirnige Passfederformen (A, E, C):

$$l_{tr} = l_{PF} - b \quad (6)$$

— geradstirnige Passfederformen (B, D, F, G, H, J):

$$l_{tr} = l_{PF} \quad (7)$$

— kombinierte Passfederform (AB):

$$l_{tr} = l_{PF} - \frac{b}{2} \quad (8)$$

Auch bei zwei Passfedern wird die tragende Länge l_{tr} nur einfach eingesetzt.

Wenn die tragende Länge l_{2tr} der Nabennut kleiner als die so ermittelte tragende Passfederlänge l_{tr} ist, muss die tragende Länge der Wellennut entsprechend den vorliegenden geometrischen Verhältnissen reduziert werden. Bei der Welle darf in diesem Fall für die Länge l_{1tr} von jedem überstehenden prismatischen Teil bis maximal $1 \times b$ als mittragend gerechnet werden.

Die in der Wellen- bzw. Nabennut wirksamen mittleren Flächenpressungen p_1 und p_2 werden unter Berücksichtigung der im folgenden genannten Einflüsse mit den Gleichungen (9.1), (9.2) und (10.1), (10.2) ermittelt.

Das ungleichmäßige Tragen bei zwei gleichmäßig am Umfang angeordneten Passfedern wird durch einen Traganteilkfaktor K_v (siehe dazu 6.1.2.3) berücksichtigt. Bei der Passfederform G, J und H wird bei der Ermittlung der tragenden Fläche die Länge der Aushebeschräge a (Bild 2) mitberücksichtigt.

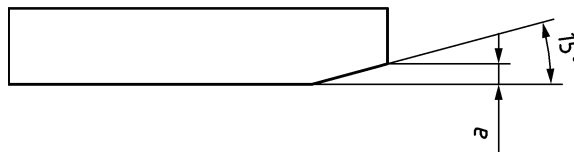


Bild 2 — Definition der Aushebeschräge bei Passfederform G, J und H

Der Lastverteilungsfaktor K_λ (siehe dazu 6.1.2.4) berücksichtigt die nicht konstante Lastverteilung über die Nutlänge und die Lastein- bzw. -ableitungsverhältnisse in der Passfederverbindung.

Mit dem Reibschlussfaktor K_R (siehe dazu 6.1.2.5) kann im Fall einer Übermaßpassung für das auftretende Torsionsmoment eine Reduzierung der äquivalenten bzw. maximalen Flächenpressung über das Rutschmoment berücksichtigt werden.

$$p_{1,eq} = K_v K_\lambda K_{Req} \frac{F_{eq}}{l_{1tr} t_{1tr} - \left(\frac{a^2}{2 \cdot \tan 15^\circ} \right)} \quad (9.1)$$

$$p_{2eq} = K_v K_\lambda K_{Req} \frac{F_{eq}}{l_{2tr} t_{2tr}} \quad (9.2)$$

$$p_{1max} = K_v K_\lambda K_{Rmax} \frac{F_{max}}{l_{1tr} t_{1tr} - \left(\frac{a^2}{2 \cdot \tan 15^\circ} \right)} \quad (10.1)$$

$$p_{2max} = K_v K_\lambda K_{Rmax} \frac{F_{max}}{l_{2tr} t_{2tr}} \quad (10.2)$$

Ergibt die Rechnung nach den Gleichungen (9.1) bzw. (9.2) einen größeren Wert als nach den Gleichungen (10.1) bzw. (10.2), dann ist für $p_{1,2max}$ der jeweils größere Wert nach den Gleichungen (9.1) bzw. (9.2) zu setzen, d. h. $p_{1,2max} = p_{1,2eq}$.

6.1.2.2 Anwendungsfaktor K_A

Der Anwendungsfaktor K_A zur Berechnung des äquivalenten Torsionsmoments M_{teq} wird mit Hilfe der Tabellen in DIN 3990, Teil 1, Anhang A, für den jeweils vorliegenden Anwendungsfall bestimmt. Die entsprechenden Tabellen A.1 bis A.3 sind im Anhang A enthalten.

Im Vorgriff auf die noch ausstehende Methode A kann bei Vorliegen eines Lastkollektivs das äquivalente Drehmoment mit Hilfe einer Schadenshypothese (z. B. Palmgren-Miner-Regel) genauer bestimmt werden.

6.1.2.3 Traganteilkfaktor K_v

Bei Verwendung von zwei Passfedern kommt es durch herstellungsbedingte Form- und Lageabweichungen zu einem ungleichmäßigen Tragen der einzelnen Passfedern. Die dadurch reduzierte Tragfähigkeit der Passfederverbindung wird durch den Traganteilkfaktor K_v (bzw. Traganteil φ) nach Gleichung (11) berücksichtigt. Wegen der nicht exakt erfassbaren Lastaufteilung werden in der Praxis i. d. R. nicht mehr als zwei Passfedern eingesetzt. Insbesondere bei Reversierbetrieb mit hohen Drehmomenten in beide Richtungen kann mit zwei Passfedern das Ausschlagen der Passfederverbindung deutlich reduziert werden, siehe Beispiel in [16].

$$K_v = \frac{1}{i \cdot \varphi} \quad (11)$$

Eine Passfeder ($i = 1$): $\varphi = 1$

Zwei Passfedern ($i = 2$): $\varphi = 0,75$ zur Berechnung der äquivalenten Flächenpressung

$\varphi = 0,9$ zur Berechnung der maximalen Flächenpressung

- Im Gegensatz zur Berechnung der äquivalenten Flächenpressung kann bei der Berechnung der maximalen Flächenpressung ein höherer Traganteil φ angesetzt werden, da ein in einzelnen Lastspitzen auftretendes Torsionsmoment M_{tmax} durch Verformungen an der Passfeder und im Nutgrund zu einem höheren Traganteil führt.
- Bei Anwendung dieser Traganteile werden duktile Werkstoffe mit ausgeprägter Fließgrenze sowie mit ausreichender Fertigungsgenauigkeit vorausgesetzt [8].
- Für spröde Werkstoffe (z. B. Grauguss) liegen bisher keine gesicherten Erkenntnisse über die Tragfähigkeit bei zwei Passfedern vor.

6.1.2.4 Lastverteilungsfaktor K_λ

Die inhomogene Lastverteilung über die Nutlänge und die Lastein- bzw. -ableitungsverhältnisse in der Passfederverbindung werden durch den Lastverteilungsfaktor K_λ berücksichtigt.

Das ungleichförmige Tragen bei zwei Passfedern wird hierbei durch folgende Annahme berücksichtigt:

— eine Passfeder: $K_\lambda = K_{\lambda e}$ (12)

— zwei Passfedern: $K_\lambda = 2 \cdot K_{\lambda e} - 1$ (13)

ANMERKUNG Die Berechnungsmethode B ist auf zwei Passfedern begrenzt. Anwendungen mit drei Passfedern sind so selten, dass sie keine Speziallösung rechtfertigen.

Der Faktor $K_{\lambda e}$ ist von der Art der Lastein- bzw. -ableitung abhängig. In Bild 3 werden unabhängig von der Momentenflussrichtung innerhalb der Passfederverbindung drei Fälle unterschieden.

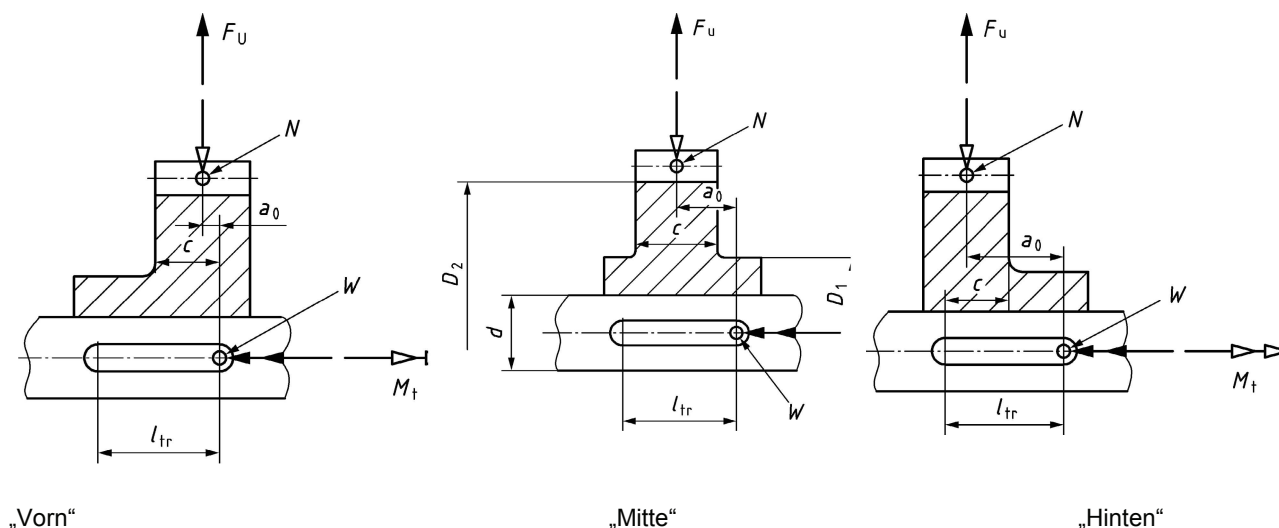


Bild 3 — Beispiele für Lastein- bzw. -ableitung an Welle und Nabe einer Passfederverbindung nach [8]

Der Punkt N idealisiert die Stelle der Lastein- bzw. -ableitung in der Nabe (z. B. beim Zahnrad die senkrecht zur Zeichenebene wirkende Zahnumfangskraft F_u). In der Welle ist der entsprechende Punkt W durch den Beginn der Lastein- bzw. -ableitung zwischen Welle und Passfeder festgelegt. Bei abgesetzter Nabe nach Bild 3 bedeuten:

D_1 kleiner Außendurchmesser bei abgesetzter Nabe

D_2 großer Außendurchmesser bei abgesetzter Nabe

a_0 Abstand zwischen den axialen Schnittebenen durch N und W

c Breite des Nabenteils mit D_2 innerhalb des tragenden Passfederteils, d. h. $c \leq l_{tr}$

D ist der Außendurchmesser der Nabe bzw. bei abgesetzter Nabe der Außendurchmesser des Ersatzzylinders mit gleicher Verdrehsteifigkeit und wird nach Gleichung (14) berechnet.

$$D = \frac{D_2}{\sqrt[4]{\left(\frac{D_2}{D_1}\right)^4 \left(1 - \frac{c}{l_{tr}}\right) + \frac{c}{l_{tr}}}} \quad (14)$$

Näherungsweise kann der Faktor $K_{\lambda e}$ in Abhängigkeit von a_0/l_{tr} mit den Diagrammen in den Bildern 4, 5 und 6 ermittelt werden.

Jedes Diagramm gilt nur für ein ausgezeichnetes Verhältnis a_0/l_{tr} ($a_0/l_{tr} = 0, 0,5$ und $1,0$) in Abhängigkeit vom Durchmesser Verhältnis des Außenteils Q_A . Für andere Verhältnisse a_0/l_{tr} kann zwischen den ermittelten Werten aus zwei Diagrammen interpoliert werden. Dabei ist folgendes zu beachten: Wird der Abstand a_0 negativ (N liegt rechts von W), dann ist $a_0/l_{tr} = 0$ zu setzen. Wird der Abstand a_0 größer als die Länge l_{tr} , dann ist $a_0/l_{tr} = 1$ zu setzen.

Bei der Bestimmung des Lastverteilungsfaktors K_λ ist mit der kleineren der beiden tragenden Passfedern zu rechnen.

Ein genaueres Verfahren zur Bestimmung des Lastverteilungsfaktors K_λ ist mit [9] möglich.

Bei aus der Nabennut überstehender Passfeder darf in Gleichung (14) für l_{tr} der überstehende prismatische Teil nicht mitgerechnet werden. Der Punkt W für die Krafteinleitung der Welle liegt in diesem Fall am Ende der Nabennut.

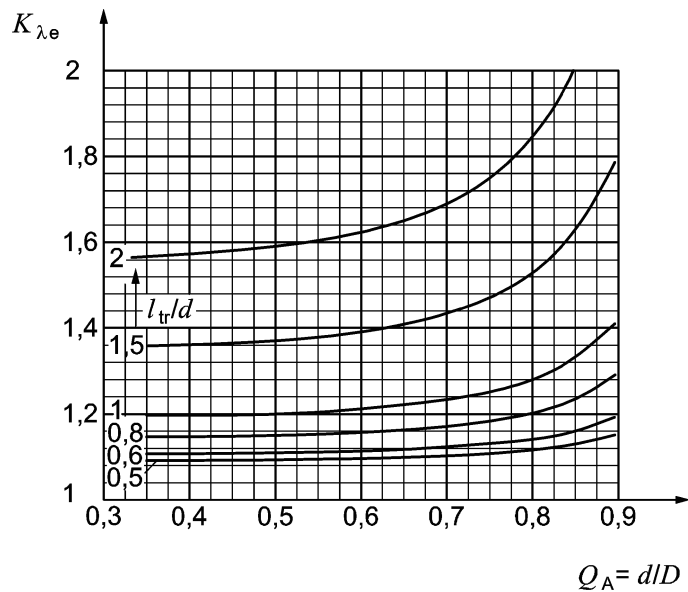


Bild 4 — Bestimmung des Faktors $K_{\lambda e}$ für nabenseitige Lastein- bzw. -ableitung „Vorn“
nach Bild 3a, berechnet nach [8] und [9] mit $a_0/l_{tr} = 0$

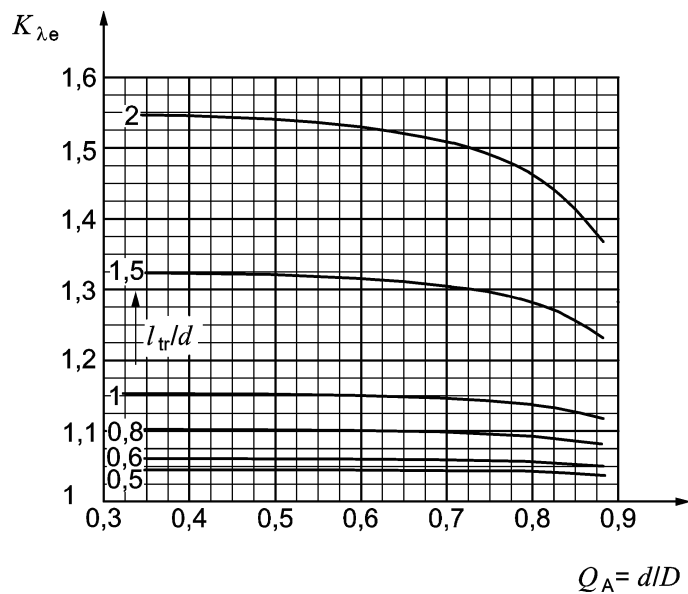


Bild 5 — Bestimmung des Faktors $K_{\lambda e}$ für nabenseitige Lastein- bzw. -ableitung "Mitte"
nach Bild 3b, berechnet nach [8] und [9] mit $a_0/l_{tr} = 0,5$

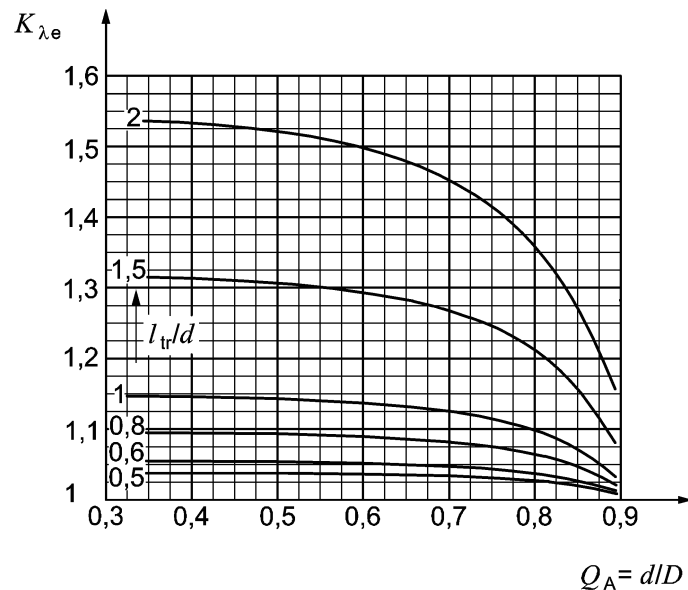


Bild 6 — Bestimmung des Faktors $K_{\lambda e}$ für nabenseitige Lastein- bzw. -ableitung "Hinten"
nach Bild 3c, berechnet nach [8] und [9] mit $a_0/l_{tr} = 1,0$

6.1.2.5 Reibschlussfaktor K_R

Über den Reibschlussfaktor K_R kann berücksichtigt werden, dass bei einer Übermaßpassung ein Teil des Torsionsmomentes durch Reibschluss übertragen wird. Dies wird bei der Berechnung der äquivalenten wirksamen Flächenpressung p_{eq} und bei der maximalen wirksamen Flächenpressung p_{max} berücksichtigt. Bei schwingender Last hemmt eine Übermaßpassung außerdem das Auftreten von Schwingungsverschleiß. Eine Spiel- oder Übergangspassung wirkt sich nachteilig auf die Wellenfestigkeit aus (siehe 6.2).

Zur Bestimmung des Reibschlussfaktors ist von dem minimalen Reibschlussmoment M_{tRmin} der Übermaßpassung auszugehen. Es kann z. B. nach DIN 7190 für die nuttfreie Bohrung bestimmt werden. Der aufgrund der Passfeder gegenüber der nuttfreien Bohrung reduzierte Fugendruck wird durch den Faktor q berücksichtigt. Das für die Kraftübertragung wirksame Reibschlussmoment wird damit vermindert. Mit dem im Verlauf der gesamten Betriebszeit wirkenden äquivalenten Torsionsmoment M_{teq} gilt:

— für $M_{teq} > q_{eq} \cdot M_{tRmin}$

$$K_{Req} = \frac{M_{teq} - q_{eq} \cdot M_{tRmin}}{M_{teq}} \quad \text{mit } q_{eq} = 0,5 \quad (15)$$

$q_{eq} = 0,5$ besagt, dass wegen der größeren Verdrehsteifigkeit der Nabe gegenüber der Welle nur ca. die Hälfte des Rutschmomentes schlupfarm übertragen werden kann (vergleiche auch [10] und [11])

Für das im Verlauf der gesamten Betriebszeit auftretende maximale Spitzentorsionsmoment M_{tmax} gilt:

— für $M_{tmax} > q_{max} \cdot M_{tRmin}$

$$K_{Rmax} = \frac{M_{tmax} - q_{max} \cdot M_{tRmin}}{M_{tmax}} \quad \text{mit } q_{max} = 0,8 \quad (16)$$