

Inhaltsverzeichnis

1. Dichtungen	1
1.1 O-Ringe	1
1.1.1 Funktionsweise	1
1.1.2 O-Ringauswahl	2
1.1.3 Einbauarten	3
1.1.3.1 Radial, außendichtender Einbau (Kolbendichtung)	4
1.1.3.2 Radial, innendichtender Einbau (Stangendichtung)	5
1.1.3.3 Axial, statischer Einbau (Flanschdichtung)	7
1.1.3.4 Oberflächenbeschaffenheit im Einbauraum	8
1.1.3.5 O-Ringbezeichnungen und Normen	8
2. Schraubverbindungen	9
2.1 Schadensformen von Einschraubverbindungen	9
2.2 Schraubenfestigkeitsklassen	10
2.3 Empfohlene Mindesteinschraubtiefe in geschnittene Bauteilgewinde	10
2.4 Wahl des Durchgangslochdurchmessers	11
2.5 Abschätzen des Durchmessers von Schrauben nach VDI 2230 ¹⁾	11
3. Passfeder	14
3.1 Passfederauswahl	14
3.2 Passfederberechnung nach DIN 6892	16
4. Lager	17
4.1 Gleitlager	17
4.2 Wälzlager	17
4.2.1 Benennung, Abmessung, Auswahl	17

4.2.2	Lageranordnungen (Radiallager)	18
4.2.3	Wahl der Passung und Formgenauigkeit von Lagersitzen	19
4.2.4	Berechnung der Wälzlager nach ISO 281	21
4.2.4.1	Schmierung und Sauberkeit (eC)	21
5.	Sicherungsring	23
5.1	Sicherungsring nach DIN 471 / 472	23
5.1.1	Gestaltung der Ringnut	23
5.1.2	Tragfähigkeit der Nut F_N	24
5.1.3	Tragfähigkeit des Seeger-Ringes F_R und F_{Rg}	25
5.1.4	Ablösedrehzahl n_{abl} von Wellenringen nach DIN 471	26
6.	Anhang	27
A	Normen mit O-Ring-Standardabmessungen	27
B	Beispiele zur Abschätzung vom Schraubendurchmesser nach VDI 2230	36
C	Berechnungsprotokoll mit Berechnung von Passfedern nach DIN 6892	37
D	Berechnungsprotokoll mit Berechnung von Wälzlagern nach ISO 281	44
E	Auszug aus den Maßtabellen n. DIN 471/472 für Nut u. Seeger-Ring	49

1. Dichtungen

Dichtungen dichten Hohlräume statisch (z. B. Autoklav, Kessel) od. dynamisch (z. B. hydraulische od. pneumatische Aktuatoren) hermetisch ab. Als Verschleißteile unterliegen sie besonders bei pulsierenden Drücken od. im dynamischen Einsatz einer mehr od. weniger hohen Abnutzung. Die Abnutzung kann u. A. durch Initialschmierung (einmalige Schmierung im Zuge des Zusammenbaus), geeignete Wahl der Oberflächenrauigkeit und Dimensionierung des Dichtungsquerschnitts reduziert werden (Herstellerangaben beachten!). Ein Versagen von Dichtungen kann – besonders in der Luft- und Raumfahrt – zu schwersten Unfällen führen (Challenger-Unglück 1986).

1.1 O-Ringe

O-Ringe sind präzisionsgefertigte Dichtringe aus Elastomere („Gummi“). Sie sind ein sehr preisgünstiges Dichtelement zum Abdichten von Flüssigkeiten und Gasen.

1.1.1 Funktionsweise

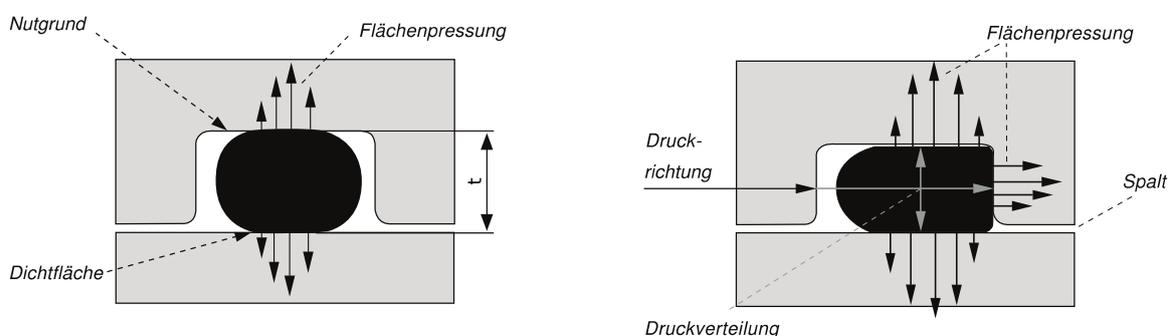


Bild 1. Schnittbilder durch einen verpressten O-Ring im Einbauraum. Links ohne und rechts mit Druckbeaufschlagung (C. Otto Gehrckens GmbH & Co. KG)

Das Maß für die Verpressung ergibt sich aus der Differenz von Nutgrundtiefe (t) und Schnurdurchmesser (d). Sie vermeidet Leckage in drucklosem Zustand.

Da der O-Ring-Werkstoff bei Kontakt mit dem Dichtmedium zu mehr od. weniger starker Volumenzunahme neigt (Quellung, Wärmeausdehnung), ist die Breite des O-Ring-Einbauraums (Nutbreite) stets größer als der Schnurdurchmesser.

1.1.2 O-Ringauswahl

Die O-Ringauswahl erfolgt in der Regel nach folgenden Kriterien:

Kriterium:	Wird beeinflusst durch:
Platzbedarf, Einbauart	Schnur- und Ringdurchmesser in mm
Druckbeständigkeit (bis 1000 bar)	Werkstoffhärte (nach Shore) und Spaltmaß
Temperaturbeständigkeit (-50 bis 200 °C)	Werkstoffwahl (Kautschukart)
Abzudichtendes Medium	Werkstoffwahl (Beständigkeitslisten)

1. Wahl des Schnurdurchmessers d_2 :

Die Größe des Spalts limitiert zusammen mit Schnurdurchmesser d_2 und Ringhärte den ertragbaren Betriebsdruck.

Schnurstärke d_2 (mm)	bis 2	2,01-3	3,01-5	5,01-7	über 7,01
O-Ring-Härte 70 Shore A					
Druck (bar)	Spaltmaß g (mm)				
≤35	0,08	0,09	0,1	0,13	0,15
≤70	0,05	0,07	0,08	0,09	0,1
≤100	0,03	0,04	0,05	0,07	0,08
O-Ring-Härte 90 Shore A					
Druck (bar)	Spaltmaß g (mm)				
≤35	0,13	0,15	0,2	0,23	0,25
≤70	0,1	0,13	0,15	0,18	0,2
≤100	0,07	0,09	0,1	0,13	0,15
≤140	0,05	0,07	0,08	0,09	0,1
≤175	0,04	0,05	0,07	0,08	0,09
≤210	0,03	0,04	0,05	0,07	0,08
≤350	0,02	0,03	0,03	0,04	0,04

2. Wahl des O-Ring-Innendurchmessers d_1

Die bevorzugte Einbauart bestimmt das Maß des O-Ring-Innendurchmessers d_1 .

1.1.3 Einbauarten

Grundsätzlich wird zwischen radial dichtend (Kolben- od. Stangendichtung) und axial dichtenden (Flanschdichtung) Einbauarten unterschieden.

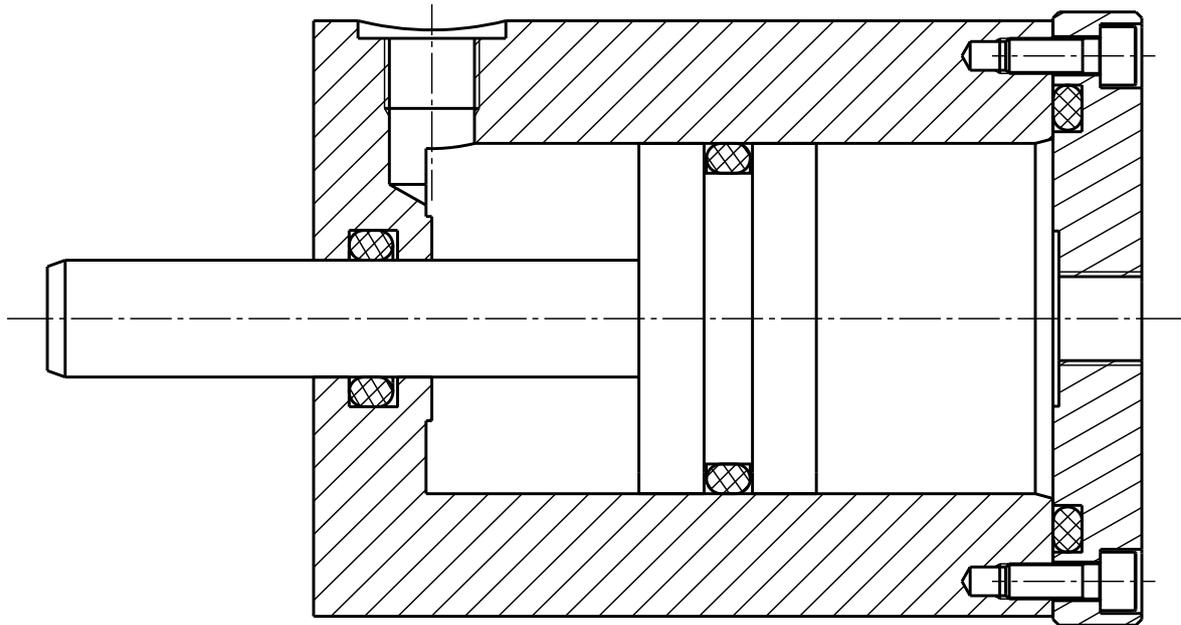


Bild 2. Schnittbild mit (v. l. n. r.): radial, dynamischer Einbau innendichtend (Stangendichtung), radial dynamischer Einbau außendichtend (Kolbendichtung) und axial, statischer Einbau

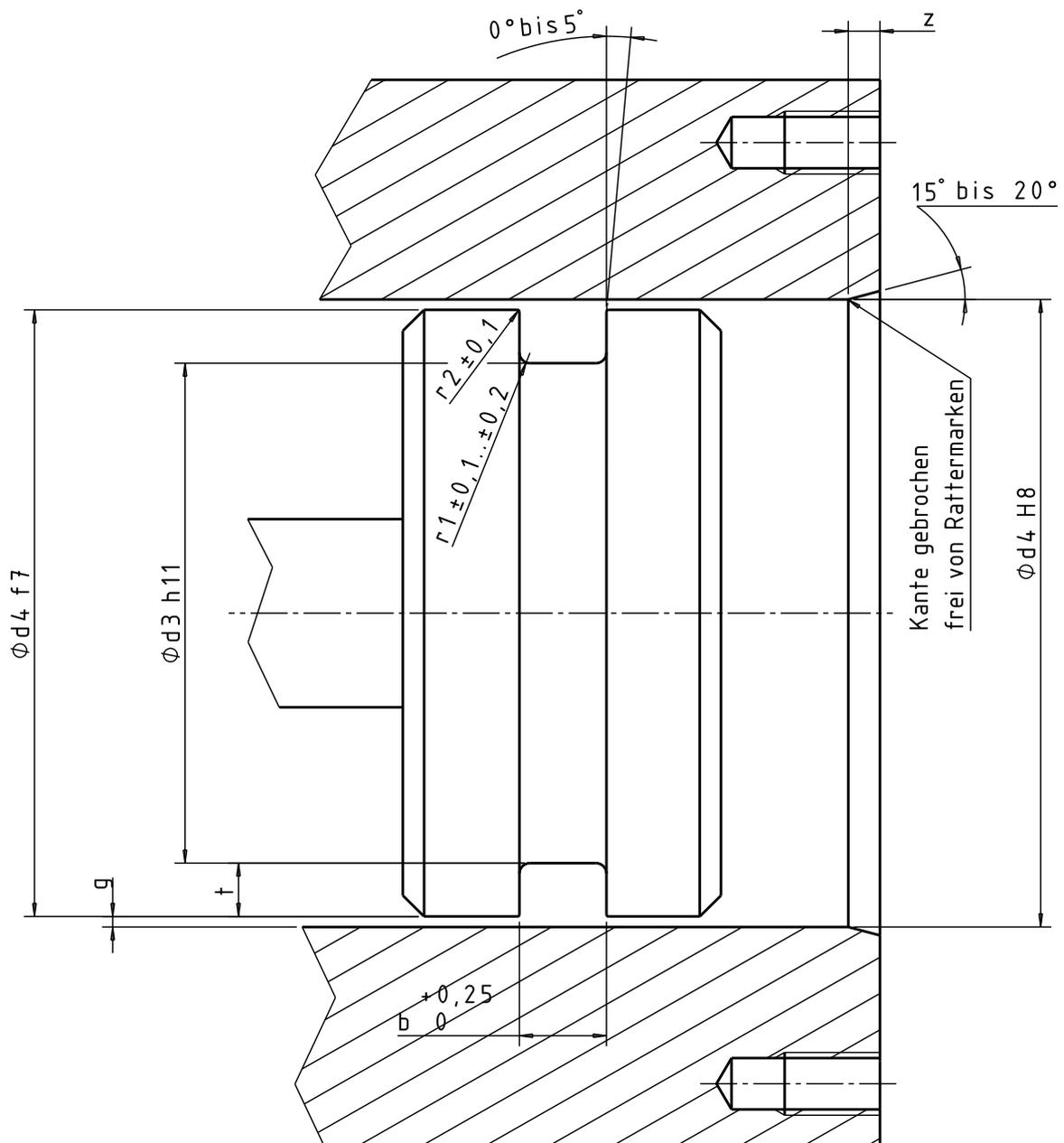
Die Bezeichnung „radial“ und „axial“ ergibt sich aus der Verformungsrichtung des Ringquerschnitts. Die O-Ringe werden überwiegend für den statischen Einbau verwendet; d. h. es findet keine Relativbewegung zwischen den abzudichtenden Maschinenteilen statt. Für dynamische Einsatzfälle wird meist auf Dichtringquerschnitte mit falloptimierter Geometrie und Werkstoffkombination zurückgegriffen. Die O-Ringe dienen hier oftmals nur als Vorspannelement des eigentlichen Dichtrings (siehe z. B. Turcon® Glyd Ring® von Trelleborg Sealing Solutions).

Die Geometrie des O-Ring-Einbauraums ist in der Regel eine einfache Rechtecknut.

Für Sonderanwendungen wird auch die fertigungstechnisch aufwendigere Trapeznut ausgeführt. Sie verhindert ein ungewolltes Herausfallen od. Herausziehen des O-Rings aus seiner Nut während der Öffnung der Dichtebene.

Die Dreiecksnut sollte – aufgrund der negativen Auswirkung auf die Haltbarkeit des O-Rings – bei Neukonstruktionen vermieden werden.

1.1.3.1 Radial, außendichtender Einbau (Kolbendichtung)



Einbaumaße in Abhängigkeit vom Schnurdurchmesser d_2 :

d_2	b	t		r1	r2	z_{min}
		statisch	dynamisch			
1	1,58	0,7	0,75	0,3	0,1	0,62
1,5	2,19	1,05	1,15	0,3	0,1	0,92
1,78	2,53	1,3	1,4	0,3	0,1	1,1
2	2,78	1,5	1,6	0,3	0,1	1,15
2,5	3,37	1,9	2	0,3	0,1	1,43
2,62	3,51	2	2,1	0,3	0,1	1,5

Fortsetzung (Kolbendichtung)

d ₂	b	t		r1	r2	z _{min}
		statisch	dynamisch			
3	3,98	2,3	2,4	0,6	0,2	1,53
3,53	4,67	2,7	2,8	0,6	0,2	1,8
4	5,23	3,1	3,3	0,6	0,2	2,03
4,5	5,9	3,5	3,8	0,6	0,2	2,28
5	6,48	3,9	4,3	0,6	0,2	2,53
5,33	6,86	4,2	4,6	0,6	0,2	2,7
5,5	7,05	4,4	4,8	1	0,2	2,83
6	7,59	4,8	5,2	1	0,2	3,09

Bestimmung des Innendurchmessers d₁:

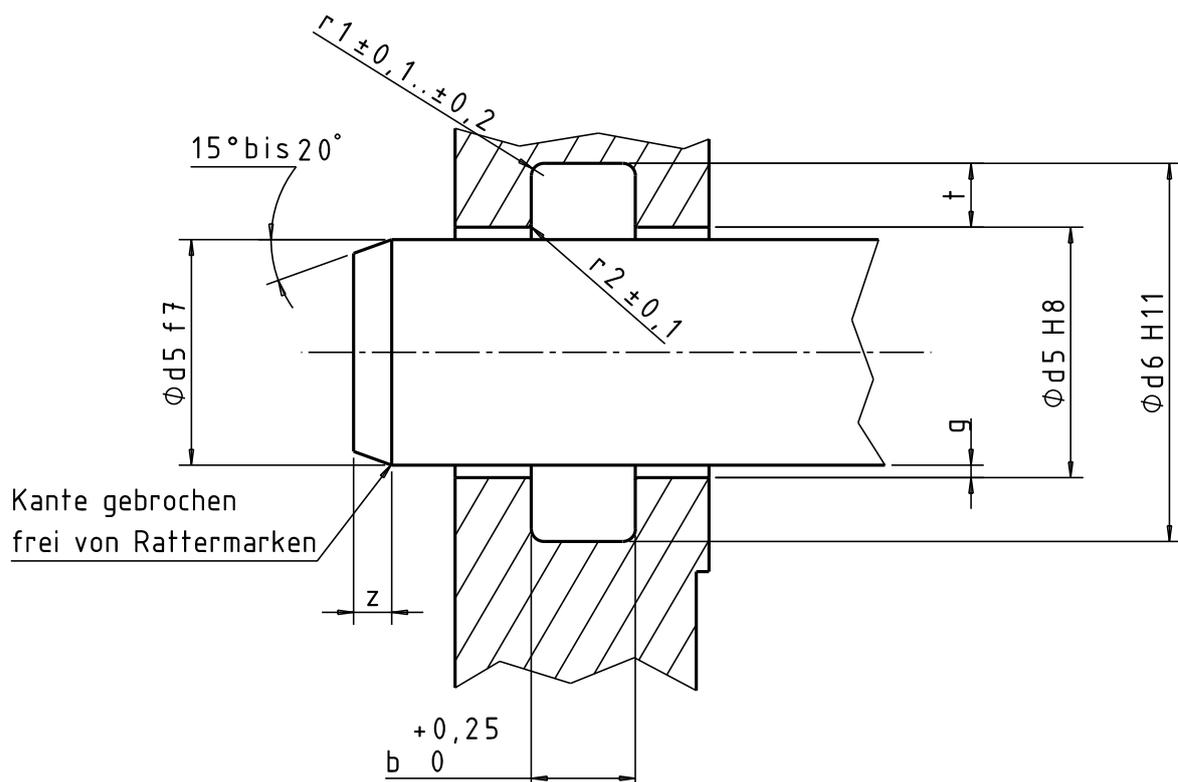
Da der Innendurchmesser des O-Rings d₁ um ca. 1 bis 6% kleiner gewählt werden soll als der Nutgrunddurchmesser d₃ muss der gewählte Innendurchmesser zwischen

$$d_{1min} = (d_4 - 2 * t) * 0,94 \quad (1)$$

und

$$d_{1max} = (d_4 - 2 * t) * 0,99 \quad (2)$$

liegen; wobei die Nuttiefe t vom gewählten Schnurdurchmesser abhängt.

1.1.3.2 Radial, innendichtender Einbau (Stangendichtung)

Einbaumaße in Abhängigkeit vom Schnurdurchmesser d_2 :

d_2	b	t		r_1	r_2	z_{\min}
		statisch	dynamisch			
1	1,58	0,7	0,75	0,3	0,1	0,62
1,5	2,19	1,05	1,15	0,3	0,1	0,92
1,78	2,53	1,3	1,4	0,3	0,1	1,1
2	2,78	1,5	1,6	0,3	0,1	1,15
2,5	3,37	1,9	2	0,3	0,1	1,43
2,62	3,51	2	2,1	0,3	0,1	1,5
3	3,98	2,3	2,4	0,6	0,2	1,53
3,53	4,67	2,7	2,8	0,6	0,2	1,8
4	5,23	3,1	3,3	0,6	0,2	2,03
4,5	5,9	3,5	3,8	0,6	0,2	2,28
5	6,48	3,9	4,3	0,6	0,2	2,53
5,33	6,86	4,2	4,6	0,6	0,2	2,7
5,5	7,05	4,4	4,8	1	0,2	2,83
6	7,59	4,8	5,2	1	0,2	3,09

Bestimmung des Innendurchmessers d_1 :

Da der Außendurchmesser des O-Rings ($d_1 + 2 * d_2$) ca. 1 bis 3% größer gewählt werden soll als der Einbaumaßendurchmesser d_6 , muss der gewählte Innendurchmesser zwischen

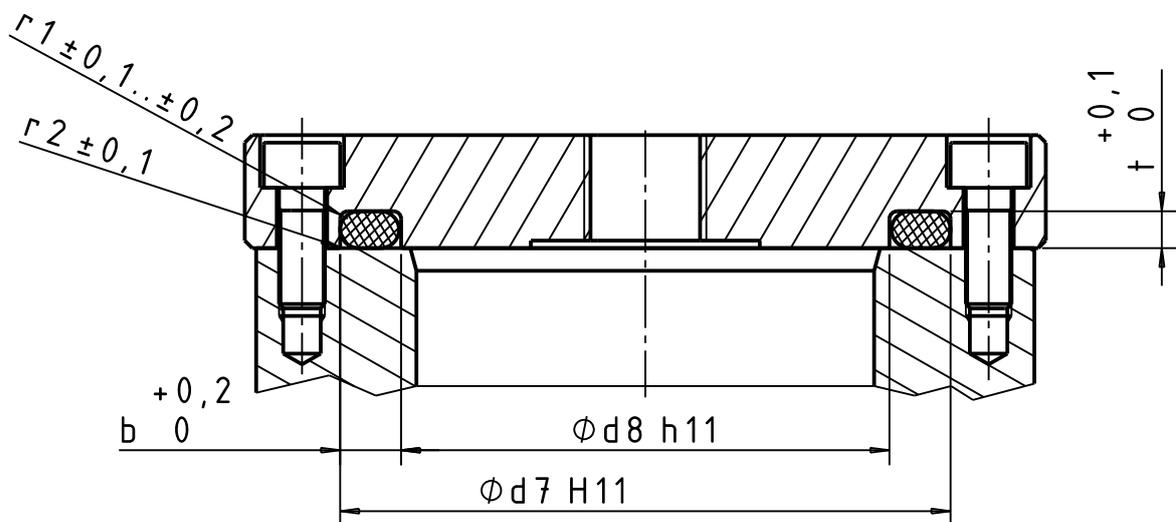
$$d_{1\min} = (d_5 + 2 * t) * 1,01 - 2 * d_2 \quad (3)$$

und

$$d_{1\max} = (d_5 + 2 * t) * 1,03 - 2 * d_2 \quad (4)$$

liegen; wobei die Nuttiefe t vom gewählten Schnurdurchmesser abhängt.

1.1.3.3 Axial, statischer Einbau (Flanschdichtung)



Einbaumaße in Abhängigkeit vom Schnurdurchmesser d_2 :

d_2	b	t	r_1	r_2
1	1,9	0,70	0,3	0,1
1,5	2,8	1,1	0,3	0,1
1,78	3,2	1,3	0,3	0,1
2	3,4	1,5	0,3	0,1
2,5	3,9	1,9	0,3	0,1
2,62	4	2	0,3	0,1
3	4,6	2,3	0,6	0,2
3,53	5,3	2,7	0,6	0,2
4	6	3,1	0,6	0,2
4,5	6,5	3,5	0,6	0,2
5	7,4	3,9	0,6	0,2
5,33	7,6	4,2	0,6	0,2
5,5	7,6	4,4	1	0,2
6	8	4,8	1	0,2

Bestimmung des Innendurchmessers d_1 bei Druck von innen:

Der Außendurchmesser des O-Rings ($d_1 + 2 * d_2$) sollte gleich dem Nut-Außendurchmesser d_7 gewählt werden.

$$d_1 = d_7 - 2 * d_2 \quad (5)$$

Bestimmung des Innendurchmessers d_1 bei Druck von außen:

Der Innendurchmesser d_1 des O-Rings sollte gleich dem Nut-Innendurchmesser d_8 gewählt werden.

$$d_1 = d_8 \quad (6)$$

1.1.3.4 Oberflächenbeschaffenheit im Einbauraum

Für alle Flächen des Einbauraums (Nutgrund, Nutflanken, Dichtfläche) und die Einführschräge ist ein

- arithmetischer Mittenrauwert R_a 1,6 μ m
und eine
- gemittelte Rautiefe R_z 6,3 μ m

von 5 aufeinanderfolgenden Einzelmessstrecken gefordert.

Zusätzlich sollte der relative Materialanteil

- R_{mr} 50-70% bei einer Schnittlinientiefe $C1 = 0,25 * R_z$ ausgehend von $C0 = 5\%$ betragen (siehe ISO 4287:2010-07).

1.1.3.5 O-Ringbezeichnungen und Normen

Die O-Ringe sind stets in der Reihenfolge **Innendurchmesser d_1 x Schnurstärke d_2** z. B. $\varnothing 40,95 \times 2,62$ oder mit Angabe von Norm- und Referenznummer z. B. AS568-130 zu bezeichnen.

Gebräuchliche Normen mit Standardabmessungen sind:

SAE AS 568 (Aerospace Standard 568 published by the Society of Automotive Engineers)

ISO 3601-1

DIN 3771

Blätter mit O-Ring-Standardabmessungen nach den angeführten Normen sind im Anhang zusammengefasst.

2. Schraubverbindungen

2.1 Schadensformen von Einschraubverbindungen



Bolzenbruch



Kraterausbruch



Gewindeumformung



Gewindeabscherung

Bild 1. Schadensbilder von Einschraubverbindungen (Quelle: UNI Siegen)

Bolzenbruch

Mögliche Ursachen: Festigkeitsklasse od. Schraubendurchmesser zu gering.

Kraterausbruch

Mögliche Ursachen: Einschraubtiefe, Gewindedurchmesser od. Festigkeit des Bauteilwerkstoffs zu gering, spröder Bauteilwerkstoff.

Gewindeumformung

Mögliche Ursachen: Einschraubtiefe, Festigkeitsklasse od. Schraubendurchmesser zu gering, weicher Schraubenwerkstoff.

Gewindeabscherung

Mögliche Ursachen: Einschraubtiefe, Gewindedurchmesser od. Festigkeit des Bauteilwerkstoffs zu gering, weicher Bauteilwerkstoff.

2.2 Schraubenfestigkeitsklassen

Genormte Schraubenfestigkeitsklassen nach ISO 898-1 sind z. B.:

4.6	4.8	5.6	5.8	6.8	8.8	10.9	12.9
-----	-----	-----	-----	-----	-----	------	------

Die Festigkeitsklasse gibt u. a. Auskunft über folgende mechanischen Eigenschaften des Schraubenwerkstoffes:

- Zugfestigkeit R_m ,
- Untere Streckgrenze R_{eL} und für Schrauben ab Festigkeitsklasse 8.8 die
- 0,2%-Dehngrenze $R_{p0,2}$.

Hierbei stellt die erste Ziffer vor dem Punkt 1/100 des Nennwerts der Zugfestigkeit dar, und das Produkt aus den beiden Ziffern ergibt die Nennwerte von 1/10 der Streckgrenze bzw.

Dehngrenze. Zum Beispiel Festigkeitsklasse 8.8: $R_m = 8 * 100 = 800 N/mm^2$

$$R_{p0,2} = 8 * 8 * 10 = 640 N/mm^2$$

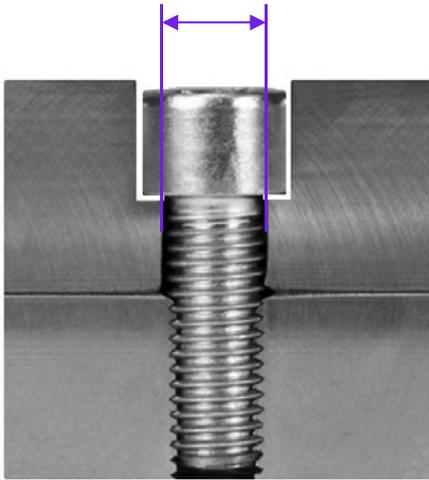
2.3 Empfohlene Mindesteinschraubtiefe in geschnittene Bauteilgewinde

Bauteilwerkstoff mit eingeschnittenem Muttergewinde Toleranz 6g/6H	R_m in $[N/mm^2]$	Empfohlene Mindest-Einschraubtiefe ohne Ansenkungen für die Schraubenfestigkeitsklassen				
		8.8 Regelgewinde	Feingewinde	10.9 Regelgewinde	Feingewinde	12.9 Regelgewinde
S235 (St37-2) 2C15 N (C15)	> 360 (Ferrit/Perlit-Gefüge)	$1,0 \cdot d$ [1,5 · d] ¹⁾	$1,25 \cdot d$	$1,25 \cdot d$ [1,8 · d] ¹⁾	$1,4 \cdot d$	$1,4 \cdot d$ [2,1 · d] ¹⁾
E 285 (St50-2) S 355 (St52-3) 2C35 N (C35 N)	> 500 (Ferrit/Perlit-Gefüge)	$0,9 \cdot d$ [1,3 · d] ¹⁾	$1,0 \cdot d$	$1,0 \cdot d$ [1,6 · d] ¹⁾	$1,2 \cdot d$	$1,2 \cdot d$ [1,8 · d] ¹⁾
C45 V 35Cr4 V 34CrMo4 V 42CrMo4 V	> 800 (Vergütungsgefüge)	$0,8 \cdot d$ [0,9 · d] ¹⁾	$0,8 \cdot d$	$0,9 \cdot d$ [1,1 · d] ¹⁾	$0,9 \cdot d$	$1,0 \cdot d$ [1,2 · d] ¹⁾
GJ L 250 (GG-25)	> 220	$1,0 \cdot d$ [1,3 · d] ¹⁾	$1,25 \cdot d$	$1,25 \cdot d$ [1,6 · d] ¹⁾	$1,4 \cdot d$	$1,4 \cdot d$ [1,8 · d] ¹⁾
Al 99,5	> 180	-	-	$2,0 \cdot d$	$2,5 \cdot d$	-
AlMg3 F18	> 180	$2 \cdot d$ [3 · d] ¹⁾	$2 \cdot d$ [3 · d] ¹⁾	-	-	-
AlMgSi1 F32	> 330	$1,4 \cdot d$	$1,4 \cdot d$	$1,6 \cdot d$	$2,0 \cdot d$	-
AlMg4,5Mn F28	> 330	$1,4 \cdot d$	$1,4 \cdot d$	$1,6 \cdot d$	$2,0 \cdot d$	-
AluMg1 F40 1	> 550	$1,1 \cdot d$	-	-	-	-
AlZn MgCu 0,5 F50	> 550	$1,0 \cdot d$	-	-	-	-
GMgAl9 Zn1	> 230	$1,4 \cdot d$	$1,4 \cdot d$	$1,6 \cdot d$	$2,0 \cdot d$	-

Bild 2. Tabelle der Einschraubtiefen nach Herstellerangaben, aufgrund von Versuchswerten M6 bis M16. (Bossard Holding .AG)

¹⁾ Werte in Klammern nach Rechenformel der VDI 2230 [theoretische Werte].

2.4 Wahl des Durchgangslochdurchmessers



Das Loch durch das die Schraube nur durchgesteckt wird, ist in der Regel um rund 10% größer, als der Gewindenenddurchmesser der Schraube (siehe EN 20273).

Bild 3. mit freundlicher Genehmigung
© Petra Hürkamp – schraube-mutter.de

2.5 Abschätzen des Durchmessers von Schrauben nach VDI 2230¹⁾

¹⁾ VDI = Verein Deutscher Ingenieure

Nachfolgendes Verfahren ermöglicht eine überschlägige Dimensionierung des Schraubendurchmessers bei Schraubverbindungen im Temperaturbereich um 20°C.

Tabelle 1. Kräfte und Durchmesser

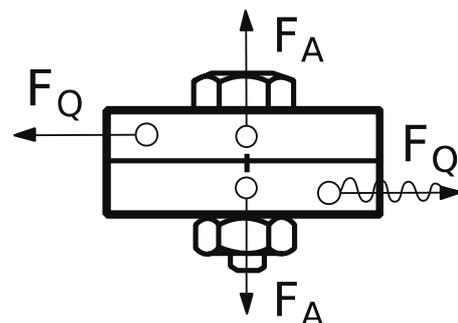
1	2	3	4
Kraft in N	Nenn Durchmesser in mm		
	Festigkeitsklasse		
	12.9	10.9	8.8
1000	M3	M3	M3
1600	M3	M3	M3
2500	M3	M3	M4
4 000	M4	M4	M5
6 300	M4	M5	M6
10 000	M5	M6	M8
16 000	M6	M8	M10
25 000	M8	M10	M12
40 000	M10	M12	M14
63 000	M12	M14	M16

Vorgangsweise A – D:

- A** Wählen sie in Spalte 1 die nächst größere Kraft zu der an der Verschraubung angreifenden Betriebskraft $F_{A,Q}$.

Wenn bei kombinierter Belastung (Längs- und Querkräfte) $F_{A,max} < F_{Q,max} / \mu_{Tmin}^{2)}$ gilt, dann ist nur $F_{Q,max}$ zu verwenden.

²⁾ μ_{Tmin} siehe Tabelle 2.



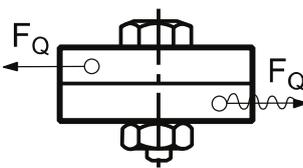
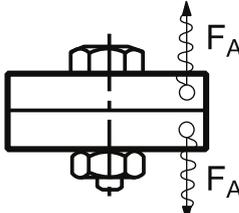
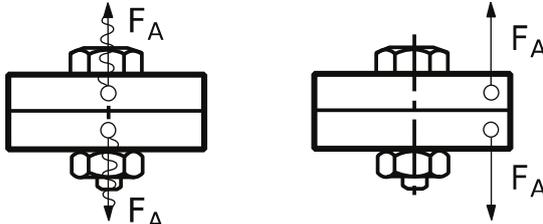
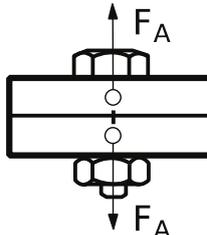
Fortsetzung Tabelle 1

100 000	M16	M18	M20
160 000	M20	M22	M24
250 000	M24	M27	M30
400 000	M30	M33	M36
630 000	M36	M39	

Tabelle 2. Haftreibungszahlen μ_T in der Trennfuge (Näherungswerte)

Stoffpaarung	Haftreibungszahl im Zustand	
	trocken	geschmiert
Stahl – Stahl/Stahlguss	0,1 bis 0,23	0,07 bis 0,12
Stahl – GG	0,12 bis 0,24	0,06 bis 0,1
GG – GG	0,15 bis 0,3	0,2
Bronze – Stahl	0,12 bis 0,28	0,18
GG – Bronze	0,28	0,15 bis 0,2
Stahl – Kupferlegierung	0,07	
Stahl – Aluminiumlegierung	0,1 bis 0,28	0,05 bis 0,18
Aluminium – Aluminium	0,21	

Die erforderliche Mindestvorspannkraft F_{Mmin} ergibt sich, indem man von dieser Zahl um folgende Anzahl Schritte weitergeht:

<p>4 Schritte</p> <p>für statische oder dynamische Querkraft.</p> 	<p>2 Schritte</p> <p>für dynamische und exzentrisch angreifende Axialkraft.</p> 
<p>1 Schritt</p> <p>für dynamisch und zentrisch oder statisch und exzentrisch angreifende Axialkraft.</p> 	<p>0 Schritte</p> <p>für statisch und zentrisch angreifende Axialkraft.</p> 

- B** Die erforderliche, ertragbare maximale Vorspannkraft F_{Mmax} ergibt sich, indem man von dieser Kraft F_{Mmin} weitergeht um:

<p>2 Schritte</p> <p>für Anziehen der Schraube mit einfachem Drehschrauber, der über Nachziehmoment eingestellt wird.</p>	
<p>1 Schritt</p> <p>für Anziehen mit Drehmomentschlüssel oder Präzisionsschrauber, der mittels dynamischer Drehmomentmessung od. Längungsmessung der Schraube eingestellt und kontrolliert wird.</p>	<p>0 Schritte</p> <p>für Anziehen über Winkelkontrolle in den überelastischen Bereich oder mittels Streckgrenzkontrolle durch Computersteuerung (z. B. MAX II Ultrasonic Bolt Tension Monitor von Dakota Ultrasonics).</p>

- C** Neben der gefundenen Zahl steht in Spalte 2 bis 4 die erforderliche Schraubenabmessung in mm für die gewählte Festigkeitsklasse der Schraube.

3. Passfeder

Die Passfeder stellt eine formschlüssige, drehmomentsteife Verbindung zwischen der Welle und einem Nabenteil (z. Rad, Kupplungsscheibe u. dgl.) her.

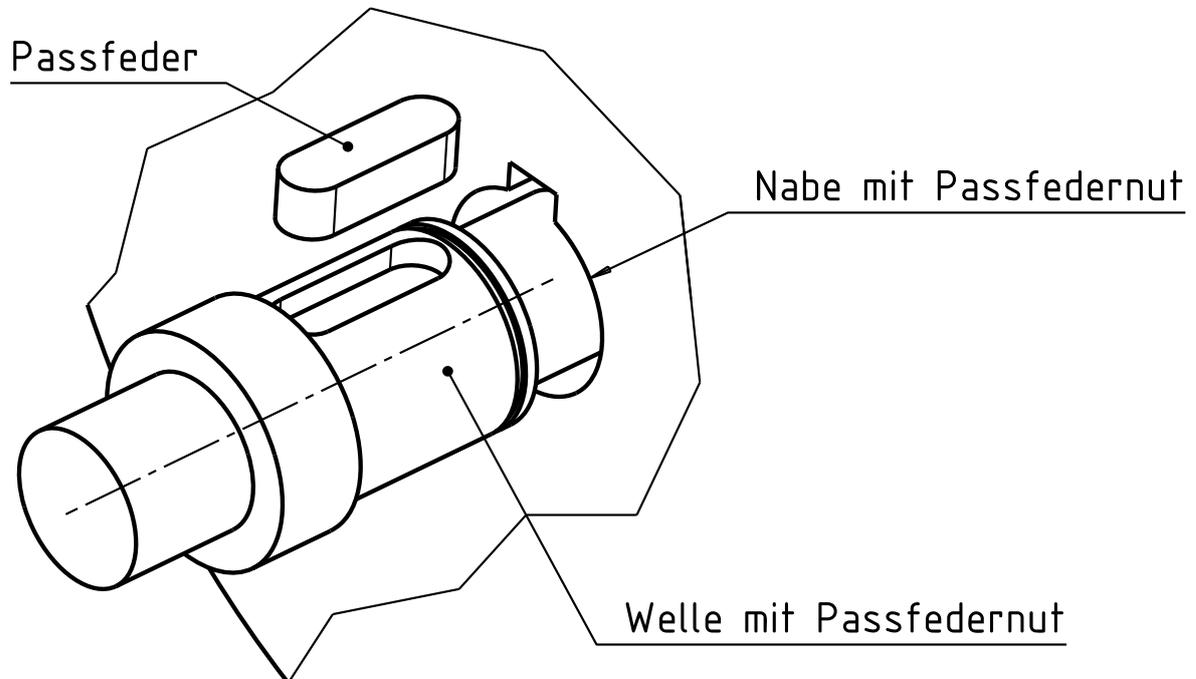


Bild 1. Beispiel einer explodierten Passfederverbindung (Passfeder Form A)

3.1 Passfederauswahl

Die Auswahl der geeigneten Form der Passfeder (A bis H) nach DIN 6885 richtet sich nach dem jeweiligen Anwendungsfall.

Form A	rundstirnige Enden
Form B	geradstirnige Enden (Meterware)
Form AB	ein Ende rund- und ein Ende geradstirnig
Form AS	rundstirnige Enden mit Gewindebohrung für Abdrückschraube
Form C	rundstirnige Enden mit Loch für Halteschraube
Form D	geradstirnige Enden mit Loch für Halteschraube
Form E	rundstirnige Enden mit 2 Löchern für Halteschrauben u. Gewindebohrung für Abdrückschraube (ab 12x8)
Form F	geradstirnige Enden mit 2 Löchern für Halteschrauben und Gewindebohrung für Abdrückschraube (ab 12x8)
Form G	geradstirnige Enden mit Loch für Halteschraube und Schrägung
Form H	geradstirnige Enden mit 2 Löchern für Halteschrauben und Schrägung

Der Passfederquerschnitt (Breite, Höhe) kann anhand des Wellendurchmesser aus DIN 6885 vorausgewählt werden:

Tabelle 1. Auszug aus DIN 6885

Paßfeder			Maße in mm								
Breite	b		4	5	6	8	10	12	14	16	18
Höhe	h		4	5	6	7	8	8	9	10	11
Wellen- \varnothing	d1	über	10	12	17	22	30	38	44	50	58
		bis	12	17	22	30	38	44	50	58	65
Wellennut											
Breite	b	fester Sitz P9	4	5	6	8	10	12	14	16	18
		leichter Sitz N9									
Tiefe	t1		2,5	3	3,5	4	5	5	5,5	6	7
		zul. Abweichung	+0,1			+0,2					
Nabennut											
Breite	b	fester Sitz P9	4	5	6	8	10	12	14	16	18
		leichter Sitz JS9									
Tiefe	t2	mit Rückenspiel	1,8	2,3	2,8	3,3	3,3	3,3	3,8	4,3	4,4
		mit Übermaß	1,2	1,7	2,2	2,4	2,4	2,4	2,9	3,4	3,4
		zul. Abweichung	+0,1			+0,2					
Länge	von		8	10	14	18	22	28	36	45	50
	bis		45	56	70	90	110	140	160	180	200

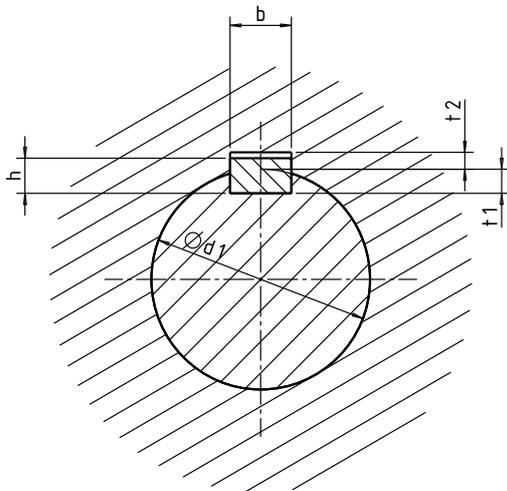


Bild 2. Querschnitt Passfeder-Welle-Nabe

Länge l	zul. Abweichung		Länge l	zul. Abweichung	
	Feder	Nut		Feder	Nut
10	-0,2	+0,2	32	-0,3	+0,3
12			36		
14			40		
16			45		
18			50		
20			56		
22			63		
25			70		
28			80		

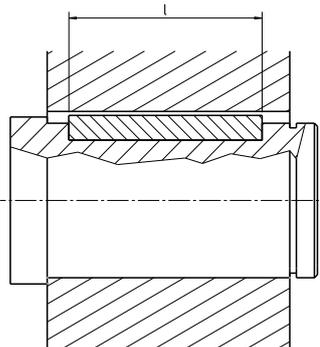


Bild 3. Längsschnitt Passfeder-Welle Nabe

3.2 Passfederberechnung nach DIN 6892

Das Abscheren der Passfeder kommt sehr selten und dann nur bei Überlasten vor. Der in zahlreichen Dauerversuchen mit Passfederverbindungen nachgewiesene Schwingungsverschleiß infolge Umlaufbiegung und/oder schwingender Torsion ist meist der entscheidende Schädigungsmechanismus, der zum Versagen der Welle-Nabe-Verbindung führt.

(GWJ Technology GmbH)

Als Unterstützung zur Berechnung von Passfedern nach DIN 6892 steht das Online-Tool „eAssistant“ von der Firma GWJ Technology GmbH auf www.eassistant.eu zur Verfügung. Ein Berechnungsprotokoll mit Erläuterungen und ein Auszug aus DIN 6892 befindet sich im Anhang.

4. Lager

Grundsätzlich lassen sich die Lager in Gleitlager und Wälzlager unterteilen.

4.1 Gleitlager

Die überwiegende Mehrheit der verbauten Lager sind Gleitlager. Man denke da z. B. nur an die Vielzahl existierender Scharniere und Gelenke. Aber auch für hochwertige Lagerungen im Kolbenmotorenbau (Kurbelwellenlager, Pleuellager) werden sie nicht zuletzt wegen ihrer hohen Stoßbelastbarkeit, kompakten Einbauabmessungen und guten Notlaufeigenschaften (=Eigenschaften bei ungünstigen Schmierungsverhältnissen) verwendet. Bei der Wahl der Lager ist zu bedenken:

- Gleitlager für den Prototypenbau und den Kleinserieneinsatz
Hier kann in vielen Fällen auf Standardabmessungen und Online-Berechnungstools für Gleitlager aus Kunststoff (igus® GmbH) oder Metall (SINTECA HandelsgmbH) zurückgegriffen werden.
- Gleitlager für den Großserieneinsatz
Die Gleitlager werden vielfach gemeinsam mit den Lagerherstellern ausgelegt und berechnet.

4.2 Wälzlager

Wälzlager zeichnen sich durch hohe Rundlaufgenauigkeiten (bes. vorgespannte Lager) und geringe Losbrechmomente aus.

4.2.1 Benennung, Abmessung, Auswahl

Die Benennung erfolgt nach der Hauptbelastungsrichtung in Axial- und Radiallager und nach der Form und Reihenanzahl seiner Wälzkörper, wie zum Beispiel „einreihiges Radial-Rillenkugellager“.

Die Abmessungen können div. Online-Wälzlagerkatalogen entnommen werden (z. B.. www.skf.com, www.schaeffler.com, www.nsk.com usw.)

Tabelle 1. Entscheidungshilfe für die Wälzlagerauswahl (Roloff/Matek)

Anforderungen/Ausführung	Wälzlagerbauformen															
	a	b	c	d	e	f	g	h	i	k	l	m	n	o	p	q
rein radial belastbar	2	2	3	1	2	3	3	3	3	3	4	4	4	0	0	0
rein axial belastbar	2	2 ¹⁾	2	3	1	0	2 ¹⁾	2	0	3 ¹⁾	3	1	2	3 ²⁾	3 ²⁾	3 ¹⁾
kombiniert belastbar	2	3 ¹⁾	3	2	1	0	2 ¹⁾	2	0	4 ¹⁾	4	1	4	0	0	2 ¹⁾
Längenausgleich im Lager	0	0	0	0	0	4	2	2 ¹⁾	4	0	0	0	0	0	0	0
Lager selbsthaltend	j	j	j ³⁾	0	1	0	0	0	0	0	0	j	j	0	0	0
Festlager	3	3 ¹⁾	3	3	2	0	3 ¹⁾	3	0	4 ¹⁾	4	3	3	3 ²⁾	3 ¹⁾	4 ¹⁾
Loslager	2	0	2	1	2	4	2 ¹⁾	2	4	0	1	2	2	0	0	0
schwimmende Lagerung	4	0	0 ⁴⁾	0	3	0	2	0	0	0	0	2	2	0	0	0
Einstellen eines Lagerspiels	0	j	0	0	0	0	0	0	0	j	j	0	0	j	j	j
Ausgleich von Schiefstellungen im Betrieb	1	1	0	0	4	1	1	1	0	1	1	4	4	1	0	4
Ausgleich von Fluchtungsfehlern	1	1	0	0	4	1	1	1	0	1	0	4	4	3 ⁵⁾	0	4
hohe Drehzahlen	4	3	2	2	4	3	3	3	2	2	2	2	2	1	1	1
hohe Laufgenauigkeit	4	4	3	2	3	3	3	3	2	2	2	2	2	2	3	2
hohe Steifigkeit	2	2	2	2	1	3	3	3	3	3	4	3	3	2	3	3
geringe Reibung	4	3	2	2	4	3	3	3	2	2	2	2	2	2	1	2
geräuscharmer Lauf	4	3	2	2	3	3	2	2	2	2	2	2	2	1	1	1
mit Kegelbohrung lieferbar	0	0	0	0	j	j	0	0	0	0	0	j	j	0	0	0

a Rillenkugellager	g Zylinderrollenlager NJ	n Pendelrollenlager
b Schrägkugellager, einreihig	h Zylinderrollenlager NUP	o Axial-Rillenkugellager
c Schrägkugellager, zweireihig, X, O	i Nadellager	p Axial-Zylinderrollenlager
d Vierpunktlager	k Kegelrollenlager, einreihig	q Axial-Pendelrollenlager
e Pendelkugellager	l Kegelrollenlager, X, O	X Lagerpaar in X-Anordnung
f Zylinderrollenlager N, NU	m Tonnenlager	O Lagerpaar in O-Anordnung

4 sehr gut geeignet	0 nicht geeignet/nein	³⁾ außer bei geteiltem Innenring
3 gut geeignet	j ja	⁴⁾ außer zweireihige Schrägkugellager
2 geeignet/möglich	¹⁾ in einer Richtung	⁵⁾ nur bei kugeligen Gehäusescheiben
1 weniger geeignet	²⁾ einreihig nur in einer Richtung	

4.2.2 Lageranordnungen (Radiallager)

Die nachfolgenden Bilder zeigen gebräuchliche Lageranordnungen.

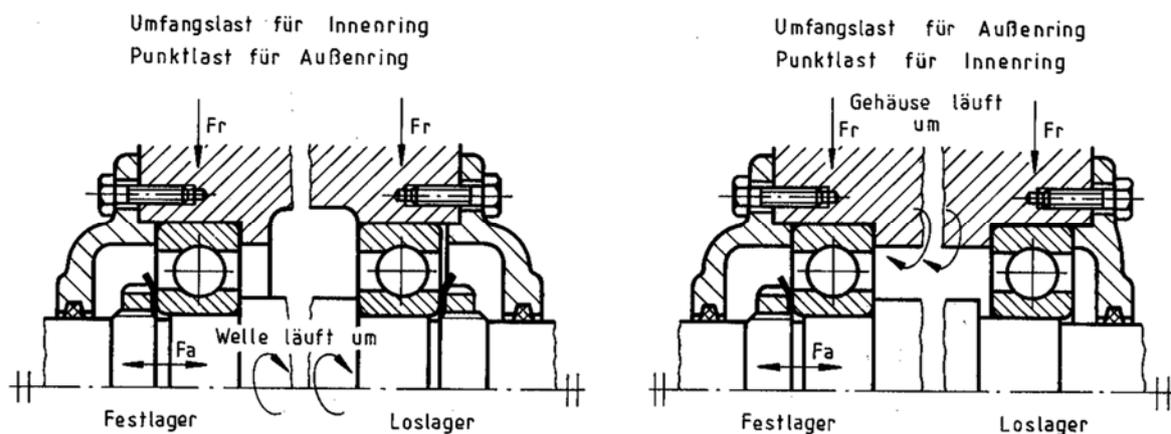


Bild 1. Festlager – Loslageranordnung

Hier nimmt das Festlager Axialkräfte (Fa) und Radialkräfte (Fr) aus beliebiger Richtung auf. Das Loslager nimmt nur Radialkräfte auf (linkes Bild Außenring, rechtes Bild Innenring axial verschiebbar).

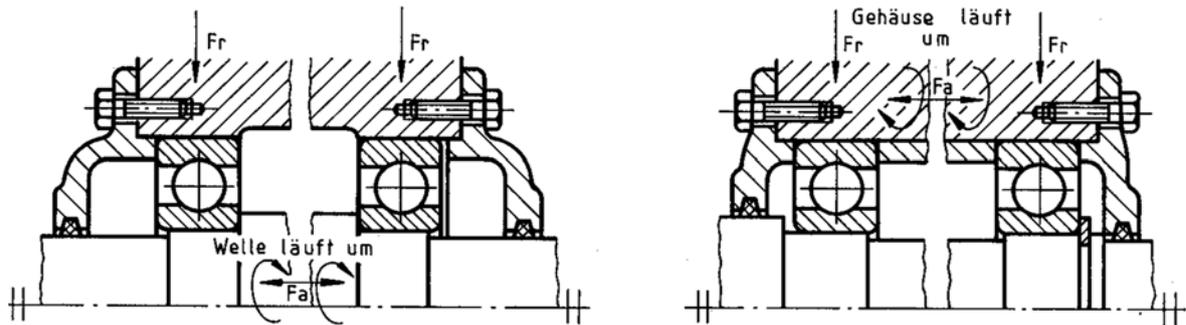


Bild 2. Angestellte Lageranordnung

Jedes Lager nimmt Axialkräfte (F_a) in die jeweils entgegengesetzte Richtung und Radialkräfte (F_r) auf (linkes Bild Außenringe, rechtes Bild Innenringe axial verschiebbar).

4.2.3 Wahl der Passung und Formgenauigkeit von Lagersitzen

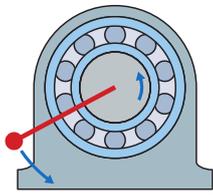
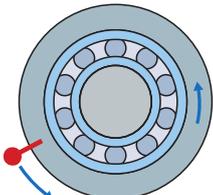
Ein wesentlicher Punkt für die Auswahl von Passungen für lose od. festsitzende Lagerringe ist das Umlaufverhältnis. Darunter ist die Bewegung eines Lagerrings relativ zur Lastrichtung zu verstehen. Unterschieden werden

- Umfangslast
- Punktlast
- unbestimmte Lastrichtung

Tabelle 2. Passungsauswahl abhängig vom Umlaufverhältnis (AB SKF)

Betriebs-Bedingungen	Schemabild Abbildung	Umlauf-verhältnis	Beispiel	Empfohlene Passung
Umlaufender Innenring		Umfangslast am Innenring	Riemengetriebe Wellen	Feste Passung f. den Innenring
Stillstehender Außenring		Punktlast am Außenring		Lose Passung f. den Außenring
Unveränderliche Belastungsrichtung		Punktlast am Innenring	Tragrollen für Förderbänder	Lose Passung f. den Innenring
Stillstehender Innenring		Umfangslast am Außenring	Radlagerung	Feste Passung f. den Außenring
Umlaufender Außenring		Unveränderliche Belastungsrichtung		

Tabelle 2. Fortsetzung

Betriebs-Bedingungen	Schemabild Abbildung	Umlauf-verhältnis	Beispiel	Empfohlene Passung
Umlaufender Innenring		Punktlast am Innenring	Vibrationsmaschinen	Feste Passung f. den Innenring
Stillstehender Außenring		Umfangslast am Außenring	Schwingsiebe od. Vibrationsmotoren	Lose Passung f. den Außenring
Belastung läuft mit Innenring um				
Stillstehender Innenring		Umfangslast am Innenring	Kreiselbrecher	Feste Passung f. den Innenring
Umlaufender Außenring		Punktlast am Außenring	(Karusellantrieb)	Lose Passung f. den Außenring
Belastung läuft mit Außenring um				

Nach Bestimmung des Umlaufverhältnisses kann dem Wälzlagerkatalog die empfohlene Toleranzklasse und Rauheit für den Lagersitzdurchmesser von Welle- u. Gehäusebohrung entnommen werden.

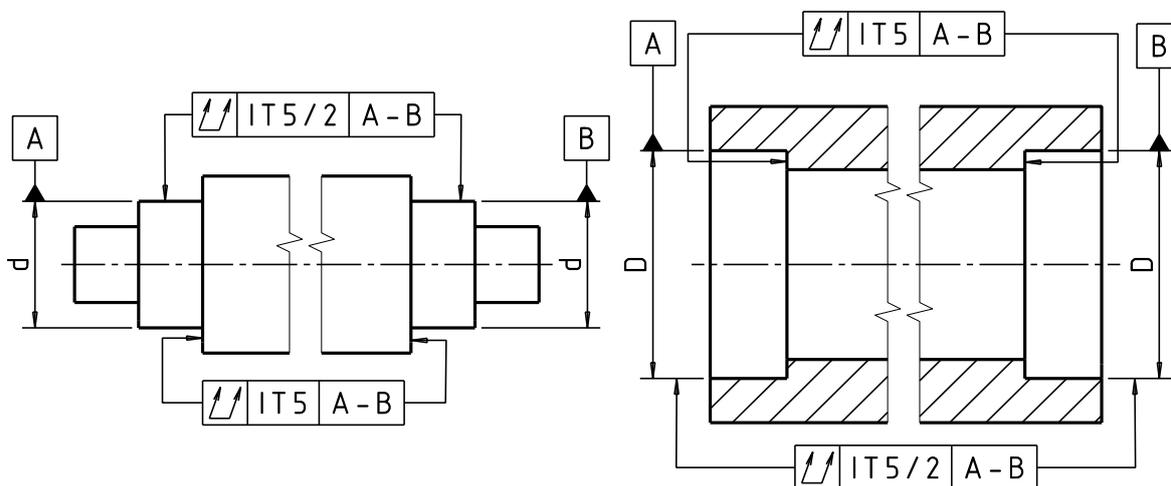


Bild 3. Formgenauigkeit von Lagersitzen für Lager mit Normaltoleranzen (CLN)

Die Bezeichnung IT5 im Toleranzrahmen bezieht sich auf die IT-Grundtoleranzgrade des ISO-Toleranzsystem für Längenmaße (siehe Tabelle 1 in ISO 286-1).

Hinweis: Beim Eintrag der Toleranz für den Gesamtrundlauf ist der Wert der Grundtoleranz zu halbieren (IT5/2).

4.2.4 Berechnung der Wälzlager nach ISO 281

Zur Berechnung von Wälzlagern nach ISO 281 stehen div Online-Berechnungstools zur Verfügung. Ein Berechnungsbeispiel mit Erläuterungen – gerechnet mit dem Tool „eAssistant“ von der Firma GWJ Technology GmbH – ist im Anhang zu finden.

4.2.4.1 Schmierung und Sauberkeit (eC)

Da die Sauberkeit einen großen Einfluss auf die modifizierte Lagerlebensdauer (L_{nm}) hat, empfiehlt es sich die jeweiligen Komponentenhersteller zu konsultieren und schriftliche Empfehlungen bezüglich Sauberkeit und Reinheitsklasse des Schmierstoffs anzufordern.

Bei der **Fettschmierung** werden folgende Sauberkeiten unterschieden:

- hohe Sauberkeit
- normale Sauberkeit
- leichte Verunreinigung
- starke Verunreinigung
- sehr starke Verunreinigung

Bei der **Ölschmierung** erfolgt die Klassifizierung der Feststoffverschmutzung z. B. durch die Reinheitsklasse nach ISO 4406/1999. Dabei werden die mit dem elektronischen Partikelzähler gezählten Partikel pro 100ml in drei Größenbereiche eingeteilt:

- Größer $4\mu\text{m}$
- Größer $6\mu\text{m}$
- Größer $14\mu\text{m}$

Den drei Größenbereichen werden die ermittelten Partikelanzahlen in Form von Codezahlen zugeordnet, welche die Ölreinheitsklasse ergeben (z. B.: 19/17/14).

Eine Zuordnungstabelle befindet sich auf der nachfolgenden Seite.

Tabelle 3 Zuordnung ISO-Code – Partikelanzahl (Auszug ISO 4406:1999)

>4 μ m			>6 μ m			>14 μ m		
ISO Code	Partikelanzahl pro 100ml		ISO Code	Partikelanzahl pro 100ml		ISO Code	Partikelanzahl pro 100ml	
nach ISO 4406	von	bis	nach ISO 4406	von	bis	nach ISO 4406	von	bis
24	8Mio	16Mio	24	8Mio	16Mio	24	8Mio	16Mio
23	4Mio	8Mio	23	4Mio	8Mio	23	4Mio	8Mio
22	2Mio	4Mio	22	2Mio	4Mio	22	2Mio	4Mio
21	1Mio	2Mio	21	1Mio	2Mio	21	1Mio	2Mio
20	500T	1Mio	20	500T	1Mio	20	500T	1Mio
19	250T	500T	19	250T	500T	19	250T	500T
18	130T	250T	18	130T	250T	18	130T	250T
17	64000	130000	17	64000	130000	17	64000	130000
16	32000	64000	16	32000	64000	16	32000	64000
15	16000	32000	15	16000	32000	15	16000	32000
14	8000	16000	14	8000	16000	14	8000	16000
13	4000	8000	13	4000	8000	13	4000	8000
12	2000	4000	12	2000	4000	12	2000	4000
11	1000	2000	11	1000	2000	11	1000	2000
10	500	1000	10	500	1000	10	500	1000
9	250	500	9	250	500	9	250	500
8	130	250	8	130	250	8	130	250
7	64	130	7	64	130	7	64	130
6	32	64	6	32	64	6	32	64
5	16	32	5	16	32	5	16	32
4	8	16	4	8	16	4	8	16
3	4	8	3	4	8	3	4	8
2	2	4	2	2	4	2	2	4
1	1	2	1	1	2	1	1	2

5. Sicherungsring

Die Sicherungsringe – manchmal auch Seeger-Ringe genannt – sind einfache, kompakte Maschinenelemente zur axialen Sicherung von Bauteilen auf Wellen od. Achsen. Die Ringe werden im Zuge des Montagevorgangs federelastisch verformt und in diesem Zustand über die Nut der Welle od. Bohrung geschoben, wo sie nach Entlastung des Montagewerkzeugs radial einschnappen können.

5.1 Sicherungsring nach DIN 471 / 472

Der Sicherungsring nach DIN 471 / 472 unterscheidet sich vom Sprengring durch die zu den Enden hin abnehmende radiale Breite und durch die eingearbeiteten Montagelöcher. Die Ringe übertragen große Axialkräfte von dem andrückenden Maschinenteil auf die Nutwand.

5.1.1 Gestaltung der Ringnut

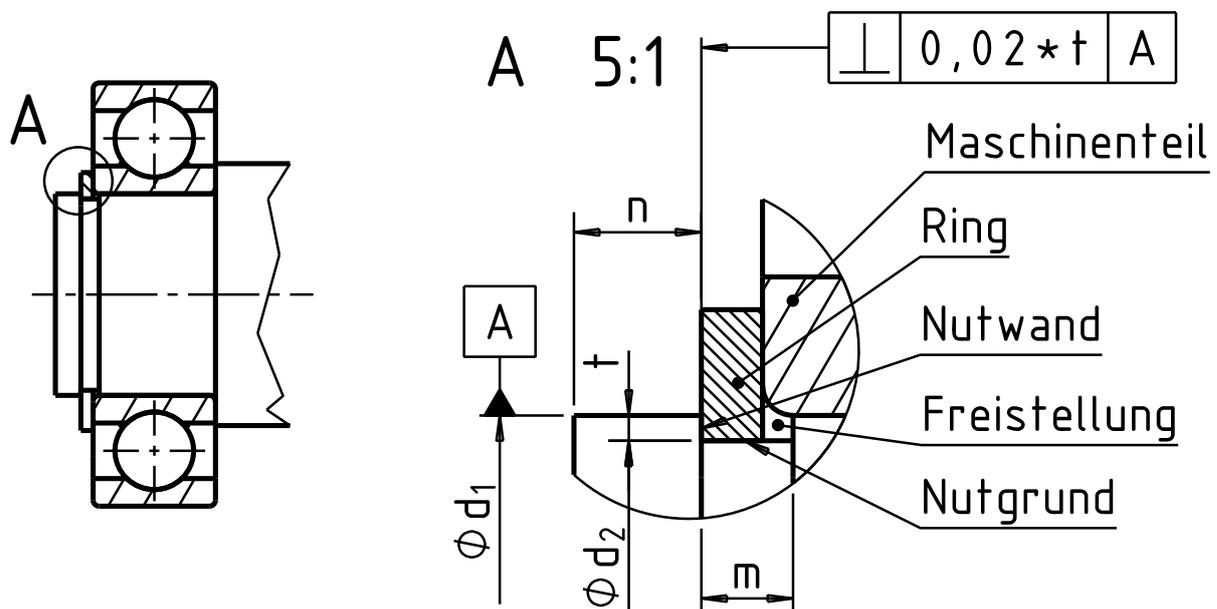


Bild 1. Sicherungsring in seiner Ringnut

Die Größe des Sicherungsringes richtet sich nach dem Wellen- od. Bohrungs-nennmaß d_1 .

Nutgrunddurchmesser d_2

Die hohen Werte aus den Tabellen führen dazu, dass der Ring mit relativ hoher Kraft auf den Nutgrund drückt. Die radiale Kraft wirkt entgegen den auftretenden Fliehkräften bei Drehzahlbelastung der Welle und gewährleistet dadurch die Einhaltung der Ablösedrehzahl n_{ab} .

Bei geringer Drehzahlbelastung und hoher Axialbelastung kann der Nutgrunddurchmesser gegenüber den Tabellenwerten verkleinert, und damit die Nutwandfläche A_N zugunsten höherer axialer Tragfähigkeit vergrößert werden auf

$$A_N = \frac{\pi}{4} * (d_1^2 - d_2^2). \quad (1)$$

Nutbreite m

Die Tabellenwerte sind Mindestwerte. Je nach Auflagebreite des Maschinenteils kann die Nutbreite in Richtung der druckentlasteten Seite vergrößert werden (Freistellung). Breite Nuten sind durch Einstechdrehen leichter herzustellen als enge.

Bundlänge n

Die Werte für die Bundlänge n sind Mindestwerte. Eine Unterschreitung führt direkt zur Erhöhung der Beanspruchungszahl q und damit zu Abzügen von den Tabellenwerten für die Tragfähigkeit der Nut F_N

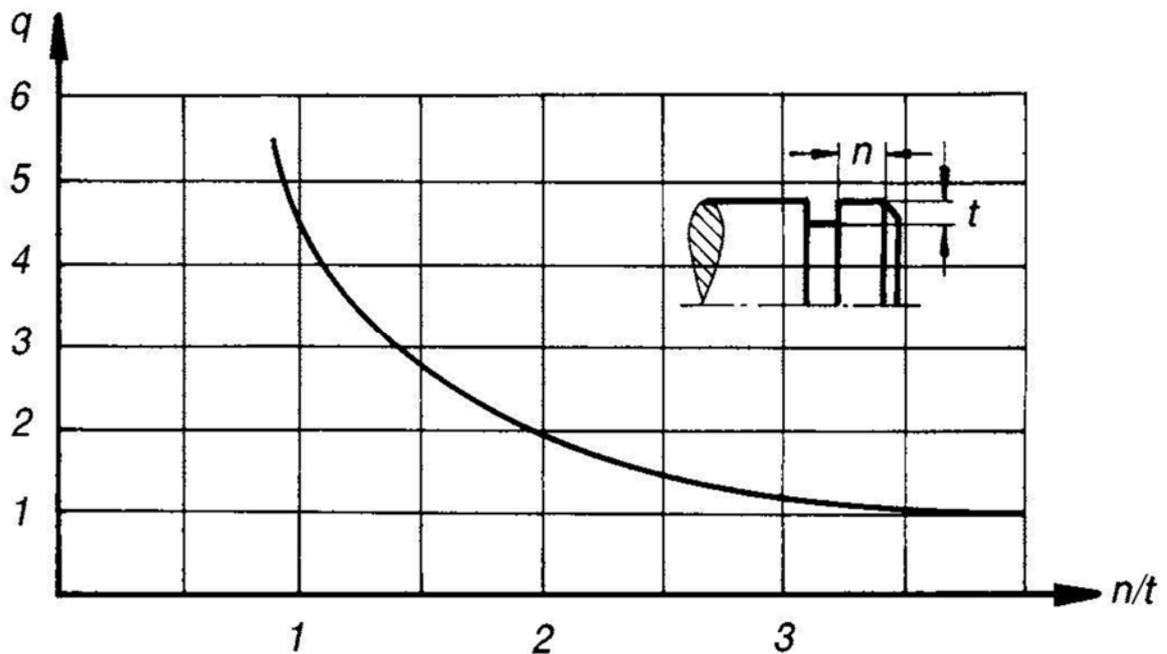


Bild 2. Beanspruchungszahl q über dem Bündlängenverhältnis n/t (Seeger-Orbis)

5.1.2 Tragfähigkeit der Nut F_N

Die Tragfähigkeit der Nut F_N ergibt sich zu

$$F_N = \frac{R_e * A_N}{q * S} \quad (2)$$

mit R_e ... Streckgrenze (lt. Maßtabellen im Anhang = 200 N/mm²),

A_N ... aus (1),

q ... Beanspruchungszahl (lt. Maßtabellen im Anhang = 1,2),

S ... Sicherheit (lt. Maßtabellen im Anhang = 1)

5.1.3 Tragfähigkeit des Seeger-Ringes F_R und F_{Rg}

Bei der Berechnung sind zwei Belastungsfälle zu unterscheiden:

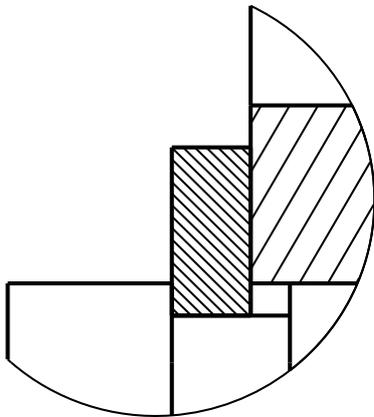


Bild 3. Scharfkantige Anlage

$$F_R = \frac{K * \varphi}{h * S} \quad (3)$$

Mit:

$$K = \frac{\pi * E * s^3}{6} * \ln\left(1 + \frac{2 * b_m}{y}\right) \quad \text{und} \quad \varphi = \frac{f}{h}$$

wobei

$E = 210 \text{ kN/mm}^2$	Elastizitätsmodul (E-Modul)
s	Dicke des Rings
$b_m = b - z$	Mittelwert der radialen Breite des Rings
b	Radiale Breite des Rings Bild 7
$z = 0,25 * b$	Mittelwert der Exzentrizität bei Wellenringen
$z = 0,3 * b$	Mittelwert der Exzentrizität bei Bohrungsringen
$y = d_2$	bei Wellenringen
$y = d_2 - 2 * b_m$	bei Bohrungsringen

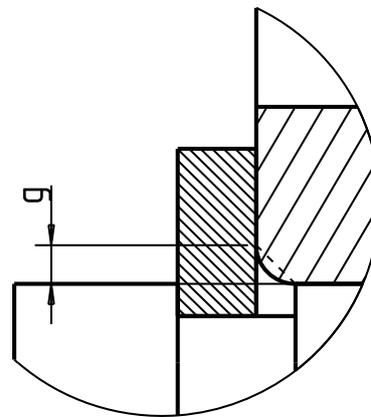


Bild 4. Anlage mit Kantenabstand g (Rundung, Fase)

$$F_{Rg} = \frac{\varphi * K}{(g + 0,05) * S} \quad (4)$$

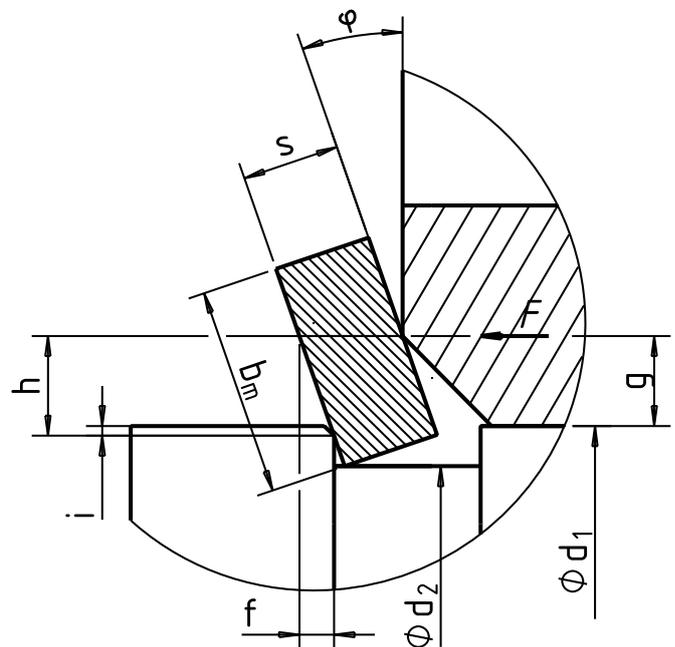


Bild 5. elastisch verformter Seeger-Ring

und

φ in [rad]	zulässiger Umstülpwinkel Bild 5 und 6
$h = g + i$	Anlage mit Kantenabstand Bild 5
g	Kantenabstand Bild 4 und 5
i	Kantenbruch der Nutwand Bild 5
$h = 0,3 + 0,002 * d_1$	scharfkantige Anlage Bild 3
$h = 0,6 = const.$	scharfkantige Anlage Bild 3, wenn $d_1 \geq 150\text{mm}$

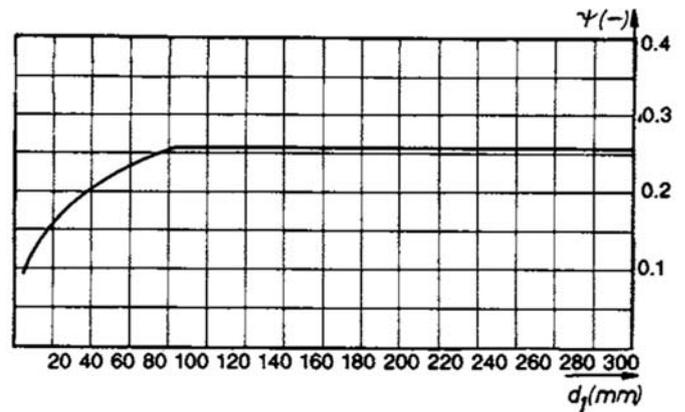


Bild 6. Zulässiger Umstülpwinkel φ

Ein Auszug aus den Maßtabellen für Nut und Ring befindet sich im Anhang.

5.1.4 Ablösedrehzahl n_{abl} von Wellenringen nach DIN 471

Die Ablösedrehzahl errechnet sich durch:

$$n_{abl} = \frac{37200000 * b}{(d_2 + b)^2} * \sqrt{\frac{d_2 - d_3}{d_3 + b}} \text{ in } [min^{-1}] \quad (5)$$

mit d_2 als Nutgrunddurchmesser (siehe Bild 5), b als radiale Breite und d_3 als Innendurchmesser des Seeger-Rings für Wellen (siehe Bild 7).

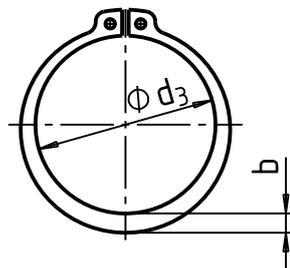
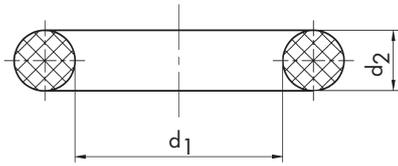


Bild 7. Wellenring

6. Anhang

A Normen mit O-Ring-Standardabmessungen

Standardabmessungen
Britische Norm BS 1806 /
Amerikanische Norm AS 568 A

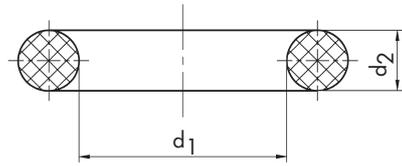


Ref.	d1	d2	Ref.	d1	d2	Ref.	d1	d2
1	0,74	1,02	111	10,78	2,62	167	177,47	2,62
2	1,07	1,27	112	12,37	2,62	168	183,83	2,62
3	1,42	1,52	113	13,95	2,62	169	190,18	2,62
4	1,78	1,78	114	15,54	2,62	170	196,53	2,62
5	2,57	1,78	115	17,13	2,62	171	202,87	2,62
6	2,9	1,78	116	18,72	2,62	172	209,23	2,62
7	3,68	1,78	117	20,29	2,62	173	215,58	2,62
8	4,48	1,78	118	21,89	2,62	174	221,93	2,62
9	5,28	1,78	119	23,47	2,62	175	228,28	2,62
10	6,07	1,78	120	25,07	2,62	176	234,63	2,62
11	7,66	1,78	121	26,64	2,62	177	240,98	2,62
12	9,25	1,78	122	28,25	2,62	178	247,33	2,62
13	10,82	1,78	123	29,82	2,62			
14	12,42	1,78	124	31,42	2,62			
15	14	1,78	125	33	2,62			
16	15,6	1,78	126	34,59	2,62	210	18,64	3,53
17	17,16	1,78	127	36,17	2,62	211	20,22	3,53
18	18,77	1,78	128	37,77	2,62	212	21,82	3,53
19	20,35	1,78	129	39,34	2,62	213	23,4	3,53
20	21,95	1,78	130	40,95	2,62	214	24,99	3,53
21	23,53	1,78	131	42,52	2,62	215	26,58	3,53
22	25,12	1,78	132	44,12	2,62	216	28,17	3,53
23	26,7	1,78	133	45,69	2,62	217	29,75	3,53
24	28,3	1,78	134	47,29	2,62	218	31,34	3,53
25	29,87	1,78	135	48,9	2,62	219	32,92	3,53
26	31,47	1,78	136	50,47	2,62	220	34,52	3,53
27	33,05	1,78	137	52,07	2,62	221	36,1	3,53
28	34,65	1,78	138	53,65	2,62	222	37,69	3,53
29	37,82	1,78	139	55,25	2,62	223	40,87	3,53
30	41	1,78	140	56,82	2,62	224	44,04	3,53
31	44,17	1,78	141	58,42	2,62	225	47,22	3,53
32	47,37	1,78	142	60	2,62	226	50,4	3,53
33	50,52	1,78	143	61,6	2,62	227	53,57	3,53
34	53,67	1,78	144	63,17	2,62	228	56,74	3,53
35	56,87	1,78	145	64,77	2,62	229	59,92	3,53
36	60,04	1,78	147	67,95	2,62	230	63,09	3,53
37	63,22	1,78	148	69,52	2,62	231	66,27	3,53
38	66,4	1,78	149	71,12	2,62	232	69,44	3,53
39	69,57	1,78	150	72,69	2,62	233	72,62	3,53
40	72,76	1,78	151	75,87	2,62	234	75,8	3,53
41	75,92	1,78	152	82,22	2,62	235	78,97	3,53
42	82,28	1,78	153	88,57	2,62	236	82,14	3,53
43	88,62	1,78	154	94,93	2,62	237	85,32	3,53
44	94,97	1,78	155	101,27	2,62	238	88,5	3,53
45	101,34	1,78	156	107,63	2,62	239	91,67	3,53
46	107,7	1,78	157	113,98	2,62	240	94,84	3,53
47	114	1,78	158	120,33	2,62	241	98,02	3,53
48	120,4	1,78	159	126,67	2,62	242	101,2	3,53
49	126,76	1,78	160	133	2,62	243	104,37	3,53
50	133,07	1,78	161	139,38	2,62	244	107,54	3,53
106	4,42	2,62	162	145,72	2,62	245	110,72	3,53
107	5,23	2,62	163	152,07	2,62	246	113,9	3,53
108	6,02	2,62	164	158,41	2,62	247	117,07	3,53
109	7,6	2,62	165	164,78	2,62	248	120,25	3,53
110	9,19	2,62	166	171,13	2,62	249	123,42	3,53

Ref.	d1	d2	Ref.	d1	d2	Ref.	d1	d2
250	126,6	3,53	345	100,97	5,33	429	126,37	6,99
251	129,77	3,53	346	104,14	5,33	430	129,54	6,99
252	132,94	3,53	347	107,32	5,33	431	132,72	6,99
253	136,12	3,53	348	110,49	5,33	432	135,9	6,99
254	139,3	3,53	349	113,67	5,33	433	139,07	6,99
255	142,47	3,53	350	116,84	5,33	434	142,24	6,99
256	145,65	3,53	351	120,02	5,33	435	145,42	6,99
257	148,82	3,53	352	123,2	5,33	436	148,6	6,99
258	151,99	3,53	353	126,37	5,33	437	151,77	6,99
259	158,35	3,53	354	129,54	5,33	438	158,12	6,99
260	164,7	3,53	355	132,72	5,33	439	164,47	6,99
261	171,05	3,53	356	135,9	5,33	440	170,82	6,99
261	177,4	3,53	357	139,07	5,33	441	177,17	6,99
263	183,75	3,53	358	142,24	5,33	442	183,52	6,99
264	190,1	3,53	359	145,42	5,33	443	189,87	6,99
265	196,44	3,53	360	148,6	5,33	444	196,22	6,99
266	202,79	3,53	361	151,77	5,33	445	202,57	6,99
267	209,14	3,53	362	158,12	5,33	445A*	208,92	6,99
268	215,49	3,53	363	164,47	5,33	446	215,27	6,99
269	221,84	3,53	364	170,82	5,33	446A*	221,62	6,99
270	228,19	3,53	365	177,17	5,33	447	227,97	6,99
271	234,54	3,53	366	183,52	5,33	447A*	234,32	6,99
272	240,89	3,53	367	189,87	5,33	448	240,67	6,99
273	247,24	3,53	368	196,22	5,33	448A*	247	6,99
274	253,59	3,53	369	202,57	5,33	449	253,57	6,99
275	266,3	3,53	370	208,92	5,33	449A*	259,7	6,99
276	279	3,53	371	215,27	5,33	450	266,07	6,99
277	291,7	3,53	372	221,62	5,33	450A*	272,40	6,99
278	304,39	3,53	373	227,97	5,33	451	278,77	6,99
279	329,8	3,53	374	234,32	5,33	451A*	285,1	6,99
280	355,2	3,53	375	240,67	5,33	452	291,47	6,99
281	380,6	3,53	376	247,02	5,33	452A*	297,8	6,99
282	405,26	3,53	377	253,37	5,33	453	304,17	6,99
283	430,66	3,53	378	266,07	5,33	454	316,87	6,99
284	456,06	3,53	379	278,77	5,33	455	329,57	6,99
325	37,47	5,33	380	291,47	5,33	456	342,27	6,99
326	40,65	5,33	381	304,17	5,33	457	354,97	6,99
327	43,82	5,33	382	329,57	5,33	458	367,67	6,99
328	47	5,33	383	354,97	5,33	459	380,37	6,99
329	50,16	5,33	384	380,37	5,33	460	393,07	6,99
330	53,34	5,33	385	405,26	5,33	461	405,26	6,99
331	56,52	5,33	386	430,66	5,33	462	417,96	6,99
332	59,7	5,33	387	456,06	5,33	463	430,66	6,99
333	62,87	5,33	388	481,46	5,33	464	443,36	6,99
334	66,04	5,33	389	506,81	5,33	465	456,06	6,99
335	69,22	5,33	390	532,2	5,33	466	468,76	6,99
336	72,4	5,33	391	557,6	5,33	467	481,46	6,99
337	75,57	5,33	392	582,68	5,33	468	494,16	6,99
338	78,74	5,33	393	608,08	5,33	469	506,86	6,99
339	81,92	5,33	394	633,48	5,33	470	532,26	6,99
340	85,09	5,33	395	658,88	5,33	471	557,66	6,99
341	88,27	5,33	425	113,67	6,99	472	582,68	6,99
342	91,44	5,33	426	116,84	6,99	473	608,08	6,99
343	94,62	5,33	427	120,02	6,99	474	633,48	6,99
344	97,8	5,33	428	123,2	6,99	475	658,88	6,99

* Diese Abmessungen sind nur in der Norm BS 1806 gelistet.

**Standardabmessungen
DIN 3771**



d1	d2	d1	d2	d1	d2	d1	d2
1,8	1,8	31,5	2,65	85	3,55	71	5,3
2	1,8	32,5	2,65	87,5	3,55	73	5,3
2,24	1,8	33,5	2,65	90	3,55	75	5,3
2,5	1,8	34,5	2,65	92,5	3,55	77,5	5,3
2,8	1,8	35,5	2,65	95	3,55	80	5,3
3,15	1,8	36,5	2,65	97,5	3,55	82,5	5,3
3,55	1,8	37,5	2,65	100	3,55	85	5,3
3,75	1,8	38,7	2,65	103	3,55	87,5	5,3
4	1,8			106	3,55	90	5,3
4,5	1,8			109	3,55	92,5	5,3
4,87	1,8	18	3,55	112	3,55	95	5,3
5	1,8	19	3,55	115	3,55	97,5	5,3
5,15	1,8	20	3,55	118	3,55	100	5,3
5,3	1,8	21,2	3,55	122	3,55	103	5,3
5,6	1,8	22,4	3,55	125	3,55	106	5,3
6	1,8	23,6	3,55	128	3,55	109	5,3
6,3	1,8	25	3,55	132	3,55	112	5,3
6,7	1,8	25,8	3,55	136	3,55	115	5,3
6,9	1,8	26,5	3,55	140	3,55	118	5,3
7,1	1,8	28	3,55	145	3,55	122	5,3
7,5	1,8	30	3,55	150	3,55	125	5,3
8	1,8	31,5	3,55	155	3,55	128	5,3
8,5	1,8	32,5	3,55	160	3,55	132	5,3
8,76	1,8	33,5	3,55	165	3,55	136	5,3
9	1,8	34,5	3,55	170	3,55	140	5,3
9,5	1,8	35,5	3,55	175	3,55	145	5,3
10	1,8	36,5	3,55	180	3,55	150	5,3
10,6	1,8	37,5	3,55	185	3,55	155	5,3
11,2	1,8	38,7	3,55	190	3,55	160	5,3
11,8	1,8	40	3,55	195	3,55	165	5,3
12,5	1,8	41,2	3,55	200	3,55	170	5,3
13,2	1,8	42,5	3,55			175	5,3
14	1,8	43,7	3,55			180	5,3
15	1,8	45	3,55			185	5,3
16	1,8	46,2	3,55			190	5,3
17	1,8	47,5	3,55	40	5,3	195	5,3
		48,7	3,55	41,2	5,3	200	5,3
		50	3,55	42,5	5,3	206	5,3
		51,5	3,55	43,7	5,3	212	5,3
		53	3,55	45	5,3	218	5,3
14	2,65	54,5	3,55	46,2	5,3	224	5,3
15	2,65	56	3,55	47,5	5,3	230	5,3
16	2,65	58	3,55	48,7	5,3	236	5,3
17	2,65	60	3,55	50	5,3	243	5,3
18	2,65	61,5	3,55	51,5	5,3	250	5,3
19	2,65	63	3,55	53	5,3	258	5,3
20	2,65	65	3,55	54,5	5,3	265	5,3
21,2	2,65	67	3,55	56	5,3	272	5,3
22,4	2,65	69	3,55	58	5,3	280	5,3
23,6	2,65	71	3,55	60	5,3	290	5,3
25	2,65	73	3,55	61,5	5,3	300	5,3
25,8	2,65	75	3,55	63	5,3	307	5,3
26,5	2,65	77,5	3,55	65	5,3	315	5,3
28	2,65	80	3,55	67	5,3	325	5,3
30	2,65	82,5	3,55	69	5,3	335	5,3

d1 d2

345 5,3
355 5,3
365 5,3
375 5,3
387 5,3

400 5,3

206 7
212 7
218 7
224 7
230 7

236 7
243 7
250 7
258 7
265 7

272 7
280 7
290 7
300 7
307 7

315 7
325 7
335 7
345 7
355 7

365 7
375 7
387 7
400 7
412 7

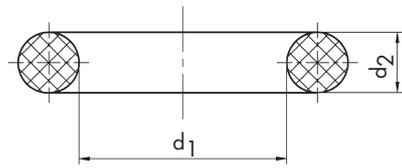
425 7
437 7
450 7
462 7
475 7

487 7
500 7
515 7
530 7
545 7

560 7
580 7
600 7
615 7
630 7

650 7
670 7

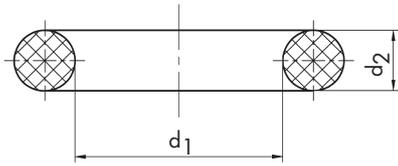
**Standardabmessungen
ISO 3601-1 Serie G**



d1	d2	d1	d2	d1	d2	d1	d2
1,8	1,8	31,5	2,65	85	3,55	71	5,3
2	1,8	32,5	2,65	87,5	3,55	73	5,3
2,24	1,8	33,5	2,65	90	3,55	75	5,3
2,5	1,8	34,5	2,65	92,5	3,55	77,5	5,3
2,8	1,8	35,5	2,65	95	3,55	80	5,3
3,15	1,8	36,5	2,65	97,5	3,55	82,5	5,3
3,55	1,8	37,5	2,65	100	3,55	85	5,3
3,75	1,8	38,7	2,65	103	3,55	87,5	5,3
4	1,8			106	3,55	90	5,3
4,5	1,8			109	3,55	92,5	5,3
4,87	1,8	18	3,55	112	3,55	95	5,3
5	1,8	19	3,55	115	3,55	97,5	5,3
5,15	1,8	20	3,55	118	3,55	100	5,3
5,3	1,8	21,2	3,55	122	3,55	103	5,3
5,6	1,8	22,4	3,55	125	3,55	106	5,3
6	1,8	23,6	3,55	128	3,55	109	5,3
6,3	1,8	25	3,55	132	3,55	112	5,3
6,7	1,8	25,8	3,55	136	3,55	115	5,3
6,9	1,8	26,5	3,55	140	3,55	118	5,3
7,1	1,8	28	3,55	145	3,55	122	5,3
7,5	1,8	30	3,55	150	3,55	125	5,3
8	1,8	31,5	3,55	155	3,55	128	5,3
8,5	1,8	32,5	3,55	160	3,55	132	5,3
8,75	1,8	33,5	3,55	165	3,55	136	5,3
9	1,8	34,5	3,55	170	3,55	140	5,3
9,5	1,8	35,5	3,55	175	3,55	145	5,3
10	1,8	36,5	3,55	180	3,55	150	5,3
10,6	1,8	37,5	3,55	185	3,55	155	5,3
11,2	1,8	38,7	3,55	190	3,55	160	5,3
11,8	1,8	40	3,55	195	3,55	165	5,3
12,5	1,8	41,2	3,55	200	3,55	170	5,3
13,2	1,8	42,5	3,55			175	5,3
14	1,8	43,7	3,55			180	5,3
15	1,8	45	3,55			185	5,3
16	1,8	46,2	3,55			190	5,3
17	1,8	47,5	3,55	40	5,3	195	5,3
		48,7	3,55	41,2	5,3	200	5,3
		50	3,55	42,5	5,3	206	5,3
		51,5	3,55	43,7	5,3	212	5,3
		53	3,55	45	5,3	218	5,3
14	2,65	54,5	3,55	46,2	5,3	224	5,3
15	2,65	56	3,55	47,5	5,3	230	5,3
16	2,65	58	3,55	48,7	5,3	236	5,3
17	2,65	60	3,55	50	5,3	243	5,3
18	2,65	61,5	3,55	51,5	5,3	250	5,3
19	2,65	63	3,55	53	5,3	258	5,3
20	2,65	65	3,55	54,5	5,3	265	5,3
21,2	2,65	67	3,55	56	5,3	272	5,3
22,4	2,65	69	3,55	58	5,3	280	5,3
23,6	2,65	71	3,55	60	5,3	290	5,3
25	2,65	73	3,55	61,5	5,3	300	5,3
25,8	2,65	75	3,55	63	5,3	307	5,3
26,5	2,65	77,5	3,55	65	5,3	315	5,3
28	2,65	80	3,55	67	5,3	325	5,3
30	2,65	82,5	3,55	69	5,3	335	5,3

d1	d2	d1	d2
345	5,3	400	7
355	5,3	412	7
365	5,3	425	7
375	5,3	437	7
387	5,3	450	7
400	5,3	462	7
		475	7
		487	7
		500	7
		515	7
109	7	530	7
112	7	545	7
115	7	560	7
118	7	580	7
122	7	600	7
125	7	615	7
128	7	630	7
132	7	650	7
136	7	670	7
140	7		
145	7		
150	7		
155	7		
160	7		
165	7		
170	7		
175	7		
180	7		
185	7		
190	7		
195	7		
200	7		
206	7		
212	7		
218	7		
224	7		
230	7		
236	7		
243	7		
250	7		
258	7		
265	7		
272	7		
280	7		
290	7		
300	7		
307	7		
315	7		
325	7		
335	7		
345	7		
355	7		
365	7		
375	7		
387	7		

**Standardabmessungen
ISO 3601-1 Serie A**



d1	d2	d1	d2	d1	d2	d1	d2
1,8	1,8	40	1,8	33,5	2,65	14	3,55
2	1,8	41,2	1,8	34,5	2,65	15	3,55
2,24	1,8	42,5	1,8	35,5	2,65	16	3,55
2,5	1,8	43,7	1,8	36,5	2,65	17	3,55
2,8	1,8	45	1,8	37,5	2,65	18	3,55
3,15	1,8	47,5	1,8	38,7	2,65	19	3,55
3,55	1,8	50	1,8	40	2,65	20	3,55
3,75	1,8	53	1,8	41,2	2,65	21,2	3,55
4	1,8	56	1,8	42,5	2,65	22,4	3,55
4,5	1,8	60	1,8	43,7	2,65	23,6	3,55
4,87	1,8	63	1,8	45	2,65	25	3,55
5	1,8	67	1,8	46,2	2,65	25,8	3,55
5,15	1,8	71	1,8	47,5	2,65	26,5	3,55
5,3	1,8	75	1,8	48,7	2,65	28	3,55
5,6	1,8	80	1,8	50	2,65	30	3,55
6	1,8	85	1,8	51,5	2,65	31,5	3,55
6,3	1,8	90	1,8	53	2,65	32,5	3,55
6,7	1,8	95	1,8	54,5	2,65	33,5	3,55
6,9	1,8	100	1,8	56	2,65	34,5	3,55
7,1	1,8	106	1,8	58	2,65	35,5	3,55
7,5	1,8	112	1,8	60	2,65	36,5	3,55
8	1,8	118	1,8	61,5	2,65	37,5	3,55
8,5	1,8	125	1,8	63	2,65	38,7	3,55
8,75	1,8			65	2,65	40	3,55
9	1,8			67	2,65	41,2	3,55
9,5	1,8	4,5	2,65	69	2,65	42,5	3,55
10	1,8	5,3	2,65	71	2,65	43,7	3,55
10,6	1,8	6	2,65	73	2,65	45	3,55
11,2	1,8	6,9	2,65	75	2,65	46,2	3,55
11,8	1,8	8	2,65	80	2,65	47,5	3,55
12,5	1,8	9	2,65	85	2,65	48,7	3,55
13,2	1,8	9,5	2,65	90	2,65	50	3,55
14	1,8	10	2,65	95	2,65	51,5	3,55
15	1,8	10,6	2,65	100	2,65	53	3,55
16	1,8	11,2	2,65	106	2,65	54,5	3,55
17	1,8	11,8	2,65	112	2,65	56	3,55
18	1,8	12,5	2,65	118	2,65	58	3,55
19	1,8	13,2	2,65	125	2,65	60	3,55
20	1,8	14	2,65	132	2,65	61,5	3,55
21,2	1,8	15	2,65	140	2,65	63	3,55
22,4	1,8	16	2,65	150	2,65	65	3,55
23,6	1,8	17	2,65	160	2,65	67	3,55
25	1,8	18	2,65	170	2,65	69	3,55
25,8	1,8	19	2,65	180	2,65	71	3,55
26,5	1,8	20	2,65	190	2,65	73	3,55
28	1,8	21,2	2,65	200	2,65	75	3,55
30	1,8	22,4	2,65	212	2,65	77,5	3,55
31,5	1,8	23,6	2,65	224	2,65	80	3,55
32,5	1,8	25	2,65	230	2,65	82,5	3,55
33,5	1,8	25,8	2,65	236	2,65	85	3,55
34,5	1,8	26,5	2,65	243	2,65	87,5	3,55
35,5	1,8	28	2,65	250	2,65	90	3,55
36,5	1,8	30	2,65			92,5	3,55
37,5	1,8	31,5	2,65			95	3,55
38,7	1,8	32,5	2,65			97,5	3,55

d1	d2	d1	d2	d1	d2
100	3,55	58	5,3	145	7
103	3,55	60	5,3	150	7
106	3,55	61,5	5,3	155	7
109	3,55	63	5,3	160	7
112	3,55	65	5,3	165	7
115	3,55	67	5,3	170	7
118	3,55	69	5,3	175	7
122	3,55	71	5,3	180	7
125	3,55	73	5,3	185	7
128	3,55	75	5,3	190	7
132	3,55	77,5	5,3	195	7
136	3,55	80	5,3	200	7
140	3,55	82,5	5,3	206	7
145	3,55	85	5,3	212	7
150	3,55	87,5	5,3	218	7
155	3,55	90	5,3	224	7
160	3,55	92,5	5,3	230	7
165	3,55	95	5,3	236	7
170	3,55	97,5	5,3	243	7
175	3,55	100	5,3	250	7
180	3,55	103	5,3	258	7
185	3,55	106	5,3	265	7
190	3,55	109	5,3	272	7
195	3,55	112	5,3	280	7
200	3,55	115	5,3	290	7
212	3,55	118	5,3	300	7
218	3,55	122	5,3	307	7
224	3,55	125	5,3	315	7
230	3,55	128	5,3	325	7
236	3,55	132	5,3	335	7
250	3,55	136	5,3	345	7
258	3,55	140	5,3	355	7
265	3,55	145	5,3	365	7
280	3,55	150	5,3	375	7
290	3,55	155	5,3	387	7
300	3,55	160	5,3	400	7
307	3,55	165	5,3		
315	3,55	170	5,3		
335	3,55	175	5,3		
355	3,55	180	5,3		
37,5	5,3	185	5,3		
38,7	5,3	190	5,3		
40	5,3	195	5,3		
41,2	5,3	200	5,3		
42,5	5,3				
43,7	5,3	109	7		
45	5,3	112	7		
46,2	5,3	115	7		
47,5	5,3	118	7		
48,7	5,3	122	7		
50	5,3	125	7		
51,5	5,3	128	7		
53	5,3	132	7		
54,5	5,3	136	7		
56	5,3	140	7		

B Beispiele zur Abschätzung vom Schraubendurchmesser nach VDI 2230

Beispiel 1:

Eine Verbindung von zwei Stahlbauteilen (trocken) wird dynamisch und exzentrisch durch die Axialkraft $F_A = 10700\text{N}$ belastet. Die Schraube mit der Festigkeitsklasse 8.8 soll mit einfachem Drehschrauber, der über Nachziehmoment eingestellt wird, angezogen werden.

- A 16 000N ist die nächst größere Kraft aus Tab. 1 Spalte 1
- B 2 Schritte für „exzentrische und „dynamische Axialkraft“ führen zu $F_{M\min} = 40\ 000\text{N}$
- C 2 Schritte für „Anziehen mit Drehschrauber, der über Nachziehmoment eingestellt wird“ führt zu $F_{M\max} = 100\ 000\text{N}$
- D Für $F_{M\max} = 100\ 000\text{N}$ findet man in Tab. 1 Spalte 3 (Festigkeitsklasse 8.8) einen Nenndurchmesser von M20.

Beispiel 2:

Eine Verbindung von zwei Stahlbauteilen (trocken) wird mit einer statischen Axialkraft $F_A = 7200\text{N}$ und einer dynamischen Querkraft von 1500N belastet. Die Schraube mit der Festigkeitsklasse 12.9 soll mit Drehmomentschlüssel montiert werden.

- A „Kombinierte Belastung“ mit $\mu_{T\min}$ aus Tab. 2 folgt $F_{A\max} < 1500\text{N} / 0,1$. Es ist daher mit $F_{Q\max} = 1500\text{N}$ die nächst größere Kraft aus Tab. 1 Spalte 1 von 1600N zu wählen.
- B 4 Schritte für „dynamische Querkraft“ führen zu $F_{M\min} = 10\ 000\text{N}$
- C 1 Schritt für „Anziehen mit Drehmomentschlüssel“ führt zu $F_{M\max} = 16\ 000\text{N}$
- D Für $F_{M\max} = 16\ 000\text{N}$ findet man in Tab. 1 Spalte 2 (Festigkeitsklasse 12.9) einen Nenndurchmesser von M6.

Als Unterstützung für die Abschätzung des Schraubendurchmesser steht das Online-Tool „eAssistant“ von der Firma GWJ Technology GmbH auf www.eassistant.eu zur Verfügung.

C Berechnungsprotokoll mit Berechnung von Passfedern nach DIN 6892

Johann Sinnabell
 FHWN
 Mechatronik
 Johannes Gutenberg-Straße 3
 2700 Wiener Neustadt
 Tel: 0043262289084-231
 Fax: 0043262289084-99
johann.sinnabell@fhwn.ac.at

20. August 2019 - 15:31

eAssistant
 the engineering assistant

Version 2.10

Projekt: -

Dateiname: Paßfeder.ftk

Inhalt

[Eingabewerte](#)

[Berechnungsergebnisse](#)

[Welle](#)

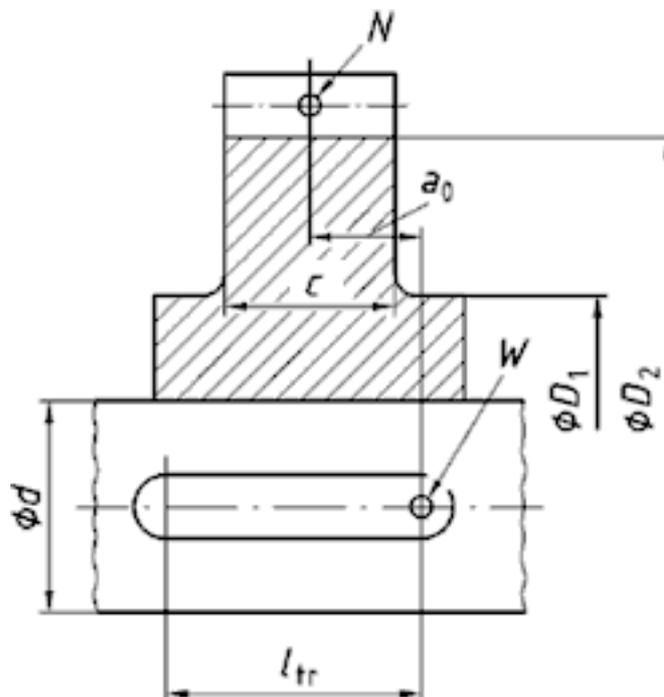
[Nabe](#)

[Paßfeder](#)

Meldungen

- Die Paßfeder ist für die eingegebenen Daten geeignet.

Eingabewerte



Wellendurchmesser (d):	80.0 mm
Anwendungsfaktor (K_A):	1.75
Anzahl Paßfedern (i_p):	1.0
Nenn Drehmoment ($M_{t\text{enn}}$):	1950.0 Nm
minimales Reibschlußdrehmoment ($M_{tR\text{min}}$):	1250.0 Nm
maximales Lastspitzendrehmoment ($M_{t\text{max}}$):	3900.0 Nm
Anzahl der Lastspitzen (N_L):	500.0
Kleinerer Außendurchmesser Nabe (D_1):	120.0 mm

Größerer Außendurchmesser Nabe (D_2):	120.0 mm
Axialer Abstand zwischen Lastein- und ableitungsstelle (a_0):	45.5 mm
Breite der Nabe (c):	91.0 mm
maximales Rückwärtsdrehmoment ($M_{tmaxRück}$):	3900.0 Nm
Anzahl der Lastrichtungswechsel (c):	1000000.0
Belastungsart:	Wechselmoment.
Mindest-Sicherheit (S_{min}):	1.2

Berechnungsergebnisse

Verwendete Berechnungsmethode:	DIN 6892:2012-08, Methode B
(1) Außendurchmesser Nabe (D):	120.0 mm
(2) Äquivalentes Drehmoment (M_{teq}):	3412.5 Nm
(3) Äquivalente Umfangskraft (F_{eq}):	85312.5 N
(4) Umfangskraft bei Lastspitzen (F_{max}):	97500.0 N
(5) Lastrichtungswechselfaktor (f_W):	0.502
(6) Lastverteilungsfaktor (K_{lambda}):	1.229
(7) Reibschlußfaktor bei äquivalentem Drehmoment (K_{Req}):	0.817
(8) Reibschlußfaktor bei maximalem Lastspitzendrehmoment (K_{Rmax}):	0.744
(9) Traganteilmfaktor Äquivalent (K_{neq}):	1.0
(10) Traganteilmfaktor Lastspitze (K_{numax}):	1.0

Welle

Materialname:	42CrMo4 vergütet
Materialnummer:	1.7225
Datenherkunft:	DIN 743, DIN EN 10084, Datenbank FORMAT, Datenbank Stahlwissen NaviMat 3.1, DIN EN 10083-1:1996-10, DIN 7190:2001-02, VDI 2230
Materialart:	Duktil
Streckgrenze (R_e):	650.0 N/mm ²
(11) Stützfaktor (f_S):	1.3
(12) Härteeinflußfaktor (f_H):	1.0
Tragende Länge (l_{1tr}):	99.0 mm
Nuttiefe (t_1):	9.0 mm
(13) Lastspitzenhäufigkeitsfaktor (f_L):	1.5
Tragende Nuttiefe (t_{1tr}):	5.358 mm
Schrägung oder Rundung (s_1):	1.0 mm
(14) Äquivalente Flächenpressung (p_{1eq}):	161.477 N/mm ²

(15) Flächenpressung bei Lastspitze (p_{1max}):	167.994 N/mm ²
(16) Zulässige Flächenpressung (p_{1zul}):	845.0 N/mm ²
(17) Sicherheit bei Betriebsbelastung (S_{1eq}):	2.629
(18) Sicherheit bei Spitzenbelastung (S_{1max}):	7.545

Nabe

Materialname:	31CrMoV9 nitriert
Materialnummer:	1.8519
Datenherkunft:	Datenbank Stahlwissen NaviMat 10, DIN EN 10085:2001-07, werkstoffe.de, VDI 2230
Materialart:	Duktil
Streckgrenze (R_e):	700.0 N/mm ²
Stützfaktor (f_s):	1.5
Härteeinflussfaktor (f_H):	1.0
Tragende Länge (l_{2tr}):	99.0 mm
Nuttiefe (t_2):	5.4 mm
Lastspitzenhäufigkeitsfaktor (f_{2L}):	1.5
Tragende Nuttiefe (t_{2tr}):	5.042 mm
Schrägung oder Rundung (s_2):	1.0 mm
Äquivalente Flächenpressung (p_{2eq}):	171.568 N/mm ²
Flächenpressung bei Lastspitze (p_{2max}):	178.493 N/mm ²
Zulässige Flächenpressung (p_{2zul}):	1050.0 N/mm ²
Sicherheit bei Betriebsbelastung (S_{2eq}):	3.075
Sicherheit bei Spitzenbelastung (S_{2max}):	8.824

Paßfeder

Paßfederbezeichnung:	DIN 6885-1 AB 22 x 14 x 110
Paßfedernormblatt:	DIN 6885 Blatt 1 - 8/1968
Paßfederauswahlmethode:	automatisch
Paßfederform:	AB
Paßfederbreite (b):	22.0 mm
Paßfederhöhe (h):	14.0 mm
Schrägung oder Rundung (r_1):	0.8 mm
Materialname:	34CrNiMo6 vergütet
Materialnummer:	1.6582
Datenherkunft:	DIN 743, DIN EN 10084, Datenbank FORMAT, Datenbank Stahlwissen NaviMat 3.1, DIN EN 10083-1:1996-10, DIN 7190:2001-02, VDI 2230
Materialart:	Duktil
Streckgrenze (R_e):	900.0 N/mm ²

Stützfaktor (f_S):	1.1
Härteeinflußfaktor (f_H):	1.0
Lastspitzenhäufigkeitsfaktor (f_{3L}):	1.5
Äquivalente Flächenpressung (p_{3eq}):	171.568 N/mm ²
Flächenpressung bei Lastspitze (p_{3max}):	178.493 N/mm ²
Zulässige Flächenpressung (p_{3zul}):	990.0 N/mm ²
Sicherheit bei Betriebsbelastung (S_{3eq}):	2.899
Sicherheit bei Spitzenbelastung (S_{3max}):	8.32

(1) Außendurchmesser der Nabe (D) ist bei abgesetzter Nabe der Außendurchmesser des Ersatzzylinders mit gleicher Verdrehsteifigkeit und errechnet sich aus:

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

bzw. bei nicht abgesetzter Nabe ist $D = D_2$

(2) Das äquivalente Drehmoment (M_{teq}) ergibt sich aus Gleichung:

$$M_{teq} = M_{tnenn} * K_A.$$

(3) Mit dem Wellendurchmesser (d) wird die äquivalente Umfangskraft (F_{eq}) zu:

$$F_{eq} = \frac{2 * M_{tnenn}}{d}$$

(4) Die Umfangskraft bei Lastspitzen (F_{max}) errechnet sich nach Gleichung:

$$F_{max} = \frac{2 * M_{tmax}}{d}$$

(5) Der Lastrichtungswechselfaktor (f_w) ist in Abhängigkeit von der Häufigkeit der Lastrichtungswechsel aus DIN 6892:2012-08 auf S. 17 in Bild 7 abzulesen.

(6) Der Lastverteilungsfaktor (K_{λ}) berücksichtigt die inhomogene Lastverteilung über die Nutlänge und die Lastein- bzw. -ableitungsverhältnisse. Er ist im eAssistant Handbuch (Lastein- bzw. -ableitung „Mitte“) und aus DIN 6892:2012-08 auf S. 14 in Bild 5 ersichtlich.

Bei einer einzelnen Passfeder gilt:

$$K_{\lambda} = K_{\lambda e} \text{ (gem. S. 12 der DIN 6892)}$$

(7) Der Reibschlußfaktor bei äquivalentem Drehmoment (K_{Req}) ergibt sich aus:

$$K_{Req} = \frac{M_{teq} - q_{eq} * M_{tRmin}}{M_{teq}}$$

wobei das minimale Reibschlussmoment (M_{tRmin}) nach DIN 7190 für eine Bohrung ohne Nut bestimmt werden kann. Der Faktor $q_{eq} = 0,5$ brücksichtigt den gegenüber der nutfreien Bohrung reduzierten Fugendruck in der Übermaßpassung.

(8) Der Reibschlußfaktor bei maximalem Drehmoment (K_{Rmax}) ergibt sich aus:

$$K_{Rmax} = \frac{M_{tmax} - q_{max} * M_{tRmin}}{M_{tmax}}$$

wobei das minimale Reibschlussmoment (M_{tRmin}) nach DIN 7190 für eine Bohrung ohne Nut bestimmt werden kann. Der Faktor $q_{max} = 0,8 > q_{eq}$ berücksichtigt den Aspekt, dass bei kurzzeitig auftretenden Spitzenlasten eine höher Flächenpressung zugelassen wird.

(9) und (10) der Traganteilkfaktor (K_{nu}) bei nur einer Passfeder ergibt sich durch die Gleichung:

$$K_v = \frac{1}{i * \varphi}$$

Sie führt mit der Passfederanzahl von $i = 1$ und dem zugeordneten Traganteil $\varphi = 1$ zum protokollierten Ergebnis (1.0).

Werte für (11) und (12) sind im eAssistant Handbuch zu finden. Durch den Stützfaktor (f_s) wird die Stützwirkung von druckbeanspruchten Bauteilen berücksichtigt. Der Härteeinflussfaktor (f_H) ergibt sich aus dem Verhältnis von Oberflächen- zu Kernfestigkeit bei oberflächengehärteten Bauteilen. Beide Werte beeinflussen die zulässige Flächenpressung (p_{zul}) proportional.

(13) Der Lastspitzenhäufigkeitsfaktor (f_L) kann im eAssistant Handbuch in Abhängigkeit von Werkstoff (duktil od. spröd) und Anzahl der Lastspitzen (N_L) eingesehen werden.

(14) Die Äquivalente Flächenpressung (p_{1eq}) ergibt sich aus:

$$p_{1eq} = K_v * K_{\lambda} * K_{Req} * \frac{F_{eq}}{l_{1tr} * t_{1tr}}$$

(15) Die Flächenpressung bei Lastspitze (p_{1max}) errechnet sich durch:

$$p_{1max} = K_v * K_{\lambda} * K_{Rmax} * \frac{F_{max}}{l_{1tr} * t_{1tr}}$$

(16) Die Zulässige Flächenpressung (p_{1zul}) für duktile Werkstoffe: $p_{1zul} = f_S * f_H * R_e$ od. $R_{p0,2}$

und für spröde Werkstoffe: $p_{1zul} = f_S * R_m$

(17) Die Sicherheit bei Betriebsbelastung (S_{1eq}) errechnet sich gem. Gleichung aus dem eAssistant Handbuch wie folgt:

$$S_{1eq} = \frac{f_W * p_{1zul}}{p_{1eq}}$$

(18) Die Sicherheit bei Spitzenbelastung (S_{1max}) errechnet sich gem. Gleichung aus dem eAssistant Handbuch wie folgt:

$$S_{1max} = \frac{f_L * p_{1zul}}{p_{1max}}$$

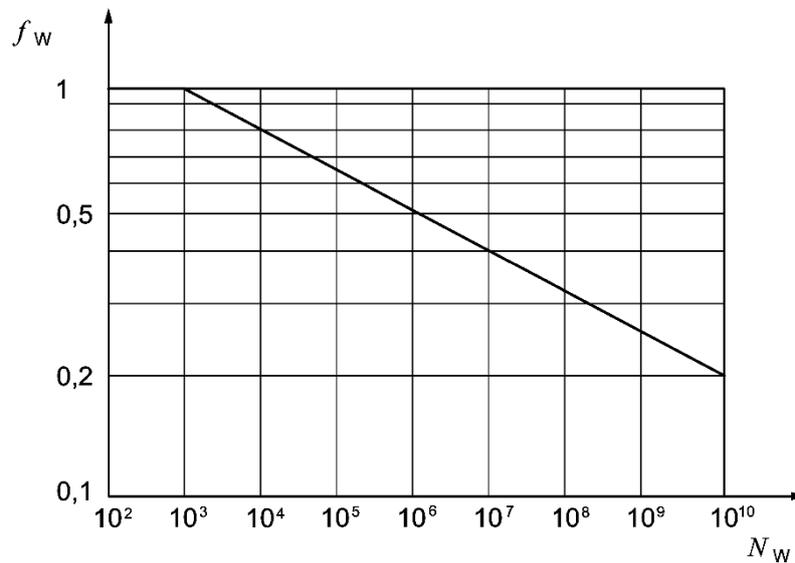


Bild 7: Lastrichtungswechselfaktor (f_w) in Abhängigkeit von der Häufigkeit der Lastrichtungswechsel (N_w)

D Berechnungsprotokoll mit Berechnung von Wälzlagern nach ISO 281

Johann Sinnabell
 FHWN
 Mechatronik
 Johannes Gutenberg-Straße 3
 2700 Wiener Neustadt
 Tel: 0043262289084-231
 Fax: 0043262289084-99
johann.sinnabell@fhwn.ac.at

25. Mai 2018 - 13:36

eAssistant
 the engineering assistant

Version 2.12
 Projekt: -
 Dateiname: Kugellager.brg

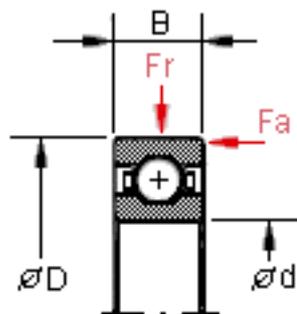
Inhalt

- [Lager Nr.1](#)
- [Gewählter Lagertyp](#)
- [Schmiermittel](#)
- [Lagerbelastung](#)
- [Berechnungsergebnisse](#)
- [Diagramm Radialkraft Fr](#)

Abkürzungen:
WLKWälzlagerkatalog
DBDatenblatt

Lager Nr.1

Gewählter Lagertyp



Lagerhersteller:	SKF (2018)
Lagerbezeichnung:	6204 WLK
Kommentar:	Rillenkugellager, einreihig (6204) (SKF Explorer / gängiges Lager)
Lagerart:	einreihige Radialrillenkugellager
X und Y Faktoren ermittelt nach:	DIN
Lagerreihen (i):	1
Teilkreisdurchmesser (D_{pw}):	$D_{pw} = (d+D)/2$ 33.5 mm
dynamische Tragzahl (C):	13500.0 N WLK
statische Tragzahl (C_0):	6600.0 N WLK
Geometriefaktor (f_0):	13.0
Innendurchmesser (d):	20.0 mm WLK
Außendurchmesser (D):	47.0 mm WLK
Breite (B):	14.0 mm WLK
Max. Referenzdrehzahl (n_{Ref}):	32000.0 1/min WLK
Max. Grenzdrehzahl (n_{Lim}):	20000.0 1/min WLK

Gewicht (m): 0.105 kg **WLK**

Schmiermittel

Schmiermittel: Standard ISO VG 100

Hinweis: Standardöl ISO Viskositätsklasse VG
100

Dichte bei 20°C (ρ_{20}): 0.9 g/cm³ **DB**

Nachweislich wirksame EP-Additive: nicht enthalten

Viskosität bei 40°C (ν_{40}): 100.0 mm²/s **DB**

Viskosität bei 100°C (ν_{100}): 11.01 mm²/s **DB**

Minimale Einsatztemperatur (T_{\min}): 10.0 °C **DB**

Maximale Einsatztemperatur (T_{\max}): 120.0 °C **DB**

Lagerbelastung

Radialbelastung (F_r): 1043.0 N

Axialbelastung (F_a): 0.0 N

Drehzahl (n): 2900.0 1/min

Erlebenswahrscheinlichkeit (S): 90.0 %

Betriebstemperatur (T): 70.0 °C

Schmierverfahren: Ölschmierung ohne Filterung (ISO
4406 -/12/9)

(1) Verunreinigungsbeiwert (e_c): 0.722

Berechnungsergebnisse

(2) Betriebsviskosität (ν): 27.11 mm²/s

(3) Bezugsviskosität (ν_1): 14.437 mm²/s

(4) Viskositätsverhältnis (κ): 1.878

Ermüdungsgrenzbelastung (aus Datenbank) (C_u): 280.0 N **WLK**

Lebensdauerbeiwert für die Zuverlässigkeit (a_1): 1.0

(5) Lebensdauerbeiwert (a_{ISO}): 13.152

(6) Radiallastfaktor (X): 1.0

(7) Axiallastfaktor (Y): 0.0

(8) Statischer Radiallastfaktor (X_0): 0.6

(9) Statischer Axiallastfaktor (Y_0): 0.5

(10) statische äquivalente Last (P_0): 1043.0 N

(11) dynamische äquivalente Last (P): 1043.0 N

(12) Statische Kennzahl (S_0): 6.328

(13) nominelle Lagerlebensdauer (L_{10}): 12462.327 h

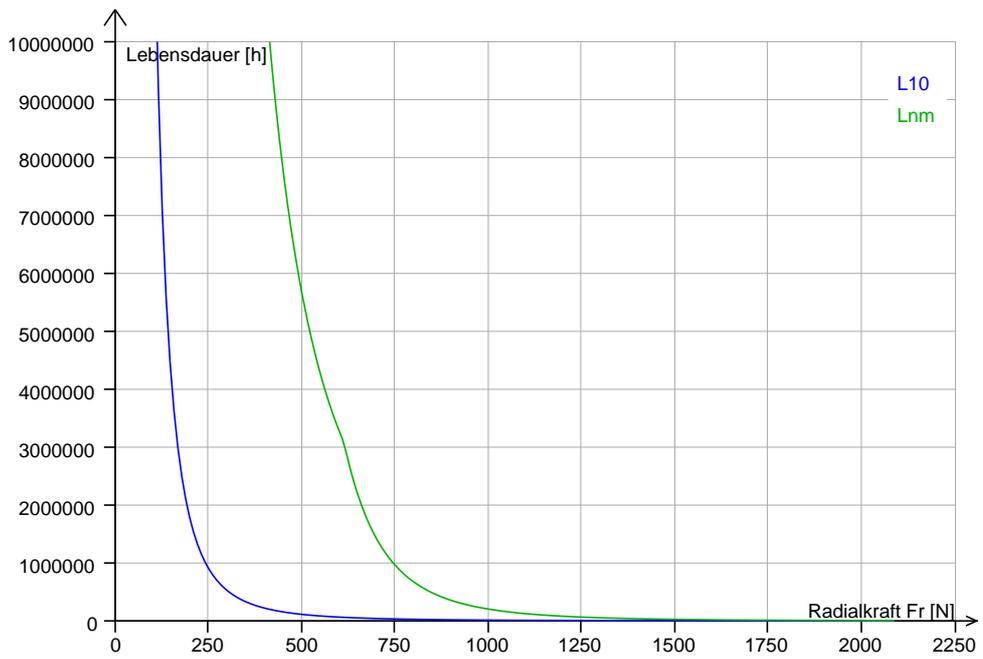
modifizierte Lagerlebensdauer für

(14) Erlebenswahrscheinlichkeit S (L_{10m}): 163898.988 h

(15) Modifizierte Lagerlebensdauer (L_{nm}): 163898.988 h

Grenzwert für F_a/F_r (e): 280.0 N **WLK**

Diagramm Radialkraft Fr



(1) Aus ISO 281 S. 45 Bild A.5 kann der Verunreinigungsbeiwert abgelesen od. über folgende Glg.

$$e_c = a * \left\{ 1 - \frac{0,6796}{D_{pw}^{\frac{1}{3}}} \right\} \text{ errechnet werden.}$$

Dabei gilt $a = 0,0864 * \kappa^{0,68} * D_{pw}^{0,55}$ mit der Einschränkung $a \leq 1$

(2) Die Betriebsviskosität (ν) bei Betriebstemperatur T kann über die Gleichung $\nu = a * e^{\frac{b}{T+95,2}}$ im Temperaturbereich von 10-100°C für VG-Öle mit einer Genauigkeit von $\pm 5\%$ berechnet werden [Quelle: Fa. Bühler Technologies GmbH]. Wobei die Koeffizienten mit

$$b = 159 * \ln \frac{\nu_{40}}{0,23} \text{ und } a = 0,23 * e^{\frac{-b}{87,7}} \text{ festgelegt sind.}$$

Die Mittelpunktviskosität (ν_{40}) ist hier in mm²/s bei 40°C und die Temperatur T in °C einzusetzen.

(3) Die Bezugviskosität (ν_1) kann aus ISO 281 S. 34 mit Glg. (29)

$$\nu_1 = 4500 * n^{-0,5} * D_{pw}^{-0,5} \text{ für } n \geq 1000 \text{ 1/min berechnet werden.}$$

(4) Mit (2) und (3) ergibt sich aus ISO 281 S. 33 nach Glg. (27) das Viskositätsverhältnis $\kappa = \frac{\nu}{\nu_1}$.

(5) Für $1 \leq \kappa \leq 4$ gilt Glg. (33) aus ISO 281 S. 37 zur Berechnung des Lebensdauerbeiwerts

$$a_{ISO} = 0,1 * \left[1 - \left(2,5671 - \frac{1,9987}{\kappa^{0,071739}} \right)^{0,83} * \left(\frac{e_c * C_u}{P} \right)^{1/3} \right]^{-9,3}$$

(6) und (7) sind in der ISO 281 auf S. 15 in der Tabelle 3 zu finden. Da $\frac{F_a}{F_r} = 0$ ist, sind die X- u. Y-Werte im Kreuzungsbereich der Spalte „Einreihige Lager“ $\frac{F_a}{F_r} \leq e$ mit der Zeile „Einreihige Radial-Rillenkugellager“ zu wählen.

(8) und (9) sind in der ISO 76 auf S. 10 in der Tabelle 2 zu finden. Es sind die Werte in der Zeile „Einreihige Radialrillenkugellager“ aus den beiden Spalten bei „Einreihige Lager“ zu wählen.

(10) Nachdem die Glg. (3) auf S. 10 der ISO 76 den größeren Wert liefert, folgt die statisch äquivalente Last aus $P_0 = F_r$.

(11) Die dynamische äquivalente Radiallast für Radialkugellager unter konstanter radialer und axialer Belastung ergibt sich durch die Gleichung (3) aus ISO 281 S. 16

$$P = X * F_r + Y * F_a$$

Da $F_a = 0$ und $X = 1$ ist (siehe Tab. 3 auf S. 16), verkürzt sie sich zu $P = F_r$.

(12) Die Berechnung der statischen Kennzahl erfolgt nach ISO 76 mit der Glg. (14) auf S. 14

$$S_0 = \frac{C_0}{P_0}$$

(13) Die nominelle Lagerlebensdauer für Radialkugellager liefert die Lebensdauergleichung aus ISO 281 S. 17, Glg. (4) $L_{10} = \left(\frac{C}{P} \right)^3$ in 10⁶ Umdrehungen. Das Ergebnis dividiert durch die Drehzahl (n) * 60 ergibt die Lebensdauer in Stunden.

(14) Die Erlebenswahrscheinlichkeit S (L_{10m}) ergibt sich nach ISO 281 S. 29 über die Gleichung:

$$L_{10m} = a_{ISO} * L_{10}$$

(15) Mit a_1 aus ISO 281 S. 28 Tab. 12 wird die Berechnung der modifizierten Lagerlebensdauer (L_{nm}) zu:

$$L_{nm} = a_1 * a_{ISO} * L_{10}$$

E Auszug aus den Maßtabellen n. DIN 471/472 für Nut u. Seeger-Ring

Tabelle 1 — Regelausführung

Maße in Millimeter

Wellen- durch- messer d_1	Ring				Nut				Ergänzende Daten ^d								
	s	d_3	a	b^a	d_5	Gewicht je 1 000 Stück in kg	d_2^b	m^c	t	n_4	d_4	F_N	F_R	g	F_{Rg}	n_{abl}	Nenn- größe der Zange nach DIN 5254
Nenn- maß	zul. Abw.	zul. Abw.	max.	≈	min.	≈	zul. Abw.	H13		min.		kN	kN		kN	min ⁻¹	
3	0,4	2,7	1,9	0,8	1,0	0,017	2,8 -0,04	0,5	0,10	0,3	7,0	0,15	0,47	0,5	0,27	360 000	3
4	0,4	3,7	2,2	0,9	1,0	0,022	3,8	0,5	0,10	0,3	8,6	0,20	0,50	0,5	0,30	211 000	
	0,6	4,7															
6	0,7	5,6	2,7	1,3	1,2	0,084	5,7	0,8	0,15	0,5	11,7	0,46	1,45	0,5	0,90	114 000	
	0,8	6,5															
8	0,8	7,4	3,2	1,5	1,2	0,158	7,6 -0,06	0,9	0,20	0,6	14,7	0,81	3,00	0,5	2,00	96 000	
	1,0	8,4															
10	1,0	9,3	3,3	1,8	1,5	0,340	9,6	1,1	0,20	0,6	17,0	1,01	4,00	1,0	2,40	84 000	
	1,0	10,2															
12	1,0	11,0	3,3	1,8	1,7	0,500	11,5	1,1	0,25	0,8	19,0	1,53	5,00	1,0	2,40	75 000	
	1,0	11,9															
14	1,0	12,9	3,5	2,1	1,7	0,640	13,4	1,1	0,30	0,9	21,4	2,15	6,35	1,0	2,40	58 000	
	1,0	13,8															
16	1,0	14,7	3,7	2,2	1,7	0,700	15,2	1,1	0,40	1,2	23,8	3,26	7,40	1,0	2,40	45 000	
	1,0	15,7															

a, b, c und ^d siehe Seite 13.

Tabelle 1 (fortgesetzt)

Maße in Millimeter

Wellen- durch- messer d_1	Ring				Nut				Ergänzende Daten ^d									
	s	d_3	a	b^a	d_5	Gewicht je 1 000 Stück in kg	d_2^b	m^c	t	n_4	d_4	F_N	F_R	g	F_{Rg}	n_{abl}	Nenn- größe der Zange nach DIN 5254	
Nenn- maß	zul. Abw.	zul. Abw.	max.	≈	min.	≈	zul. Abw.	H13	min.	min.	kN	kN	kN		kN	min ⁻¹	10	
18	1,20	16,5	+0,10	3,9	2,4	2,0	1,11	17,0	1,30	0,50	1,5	26,2	4,58	17,0	1,5	3,75	39 000	10
19	1,20	17,5	-0,36	3,9	2,5	2,0	1,22	18,0	1,30	0,50	1,5	27,2	4,48	17,0	1,5	3,80	35 000	
20	1,20	18,5		4,0	2,6	2,0	1,30	19,0	1,30	0,50	1,5	28,4	5,06	17,1	1,5	3,85	32 000	10; 19
21	1,20	19,5	+0,13 -0,42	4,1	2,7	2,0	1,42	20,0	1,30	0,50	1,5	29,6	5,36	16,8	1,5	3,75	29 000	
22	1,20	20,5		4,2	2,8	2,0	1,50	21,0	1,30	0,50	1,5	30,8	5,65	16,9	1,5	3,80	27 000	
24	1,20	22,2		4,4	3,0	2,0	1,77	22,9	1,30	0,55	1,7	33,2	6,75	16,1	1,5	3,65	27 000	
25	1,20	23,2		4,4	3,0	2,0	1,90	23,9	1,30	0,55	1,7	34,2	7,05	16,2	1,5	3,70	25 000	
26	1,20	24,2		4,5	3,1	2,0	1,96	24,9	1,30	0,55	1,7	35,5	7,34	16,1	1,5	3,70	24 000	
28	1,50	25,9	+0,21 -0,42	4,7	3,2	2,0	2,92	26,6	1,60	0,70	2,1	37,9	10,00	32,1	1,5	7,50	21 200	
29	1,50	26,9		4,8	3,4	2,0	3,20	27,6	1,60	0,70	2,1	39,1	10,37	31,8	1,5	7,45	20 000	
30	1,50	27,9		5,0	3,5	2,0	3,31	28,6	1,60	0,70	2,1	40,5	10,73	32,1	1,5	7,65	18 900	
32	1,50	29,6		5,2	3,6	2,5	3,54	30,3	1,60	0,85	2,6	43,0	13,85	31,2	2,0	5,55	16 900	19
34	1,50	31,5		5,4	3,8	2,5	3,80	32,3	1,60	0,85	2,6	45,4	14,72	31,3	2,0	5,60	16 100	
35	1,50	32,2	+0,25	5,6	3,9	2,5	4,00	33,0	1,60	1,00	3,0	46,8	17,80	30,8	2,0	5,55	15 500	
36	1,75	33,2	-0,5	5,6	4,0	2,5	5,00	34,0	1,85	1,00	3,0	47,8	18,33	49,4	2,0	9,00	14 500	
38	1,75	35,2		5,8	4,2	2,5	5,62	36,0	1,85	1,00	3,0	50,2	19,30	49,5	2,0	9,10	13 600	
40	1,75	36,5	+0,39 -0,9	6,0	4,4	2,5	6,03	37,5	1,85	1,25	3,8	52,6	25,30	51,0	2,0	9,50	14 300	19; 40

a, b, c und ^d siehe Seite 13.

Tabelle 1 (fortgesetzt)

Maße in Millimeter

Wellen- durch- messer d_1	Ring				Nutm				Ergänzende Daten ^d						Nenn- größe der Zange nach DIN 5254	
	s	d_3	a	b^a	d_5	Gewicht Je 1 000 Stück in kg	d_2^b	m^c	t	n	d_4	F_N	F_R	g		F_{Rg}
Nenn- maß	zul. Abw.	zul. Abw.	max.	≈	min.	≈	zul. Abw.	HT3	min.	min.		kN	kN		kN	min ⁻¹
42	1,75	38,5	6,5	4,5	2,5	6,5	39,5	1,85	1,25	3,8	55,7	26,70	50,0	2,0	9,45	13 000
45	1,75	41,5	6,7	4,7	2,5	7,5	42,5	1,85	1,25	3,8	59,1	28,60	49,0	2,0	9,35	11 400
48	1,75	44,5	6,9	5	2,5	7,9	45,5	1,85	1,25	3,8	62,5	30,70	49,4	2,0	9,55	10 300
50	2,0	45,8	6,9	5,1	2,5	10,2	47,0	2,15	1,50	4,5	64,5	38,00	73,3	2,0	14,40	10 500
52	2,0	47,8	7,0	5,2	2,5	11,1	49,0	2,15	1,50	4,5	66,7	39,70	73,1	2,5	11,50	9 850
55	2,0	50,8	7,2	5,4	2,5	11,4	52,0	2,15	1,50	4,5	70,2	42,00	71,4	2,5	11,40	8 960
56	2,0	51,8	7,3	5,5	2,5	11,8	53,0	2,15	1,50	4,5	71,6	42,80	70,8	2,5	11,35	8 670
58	2,0	53,8	7,3	5,6	2,5	12,6	55,0	2,15	1,50	4,5	73,6	44,30	71,1	2,5	11,50	8 200
60	2,0	55,8	7,4	5,8	2,5	12,9	57,0	2,15	1,50	4,5	75,6	46,00	69,2	2,5	11,30	7 620
62	2,0	57,8	7,5	6,0	2,5	14,3	59,0	2,15	1,50	4,5	77,8	47,50	69,3	2,5	11,45	7 240
63	2,0	58,8	7,6	6,2	2,5	15,9	60,0	2,15	1,50	4,5	79,0	48,30	70,2	2,5	11,60	7 050
65	2,5	60,8	7,8	6,3	3,0	18,2	62,0	2,65	1,50	4,5	81,4	49,80	135,6	2,5	22,70	6 640
68	2,5	63,5	8,0	6,5	3,0	21,8	65,0	2,65	1,50	4,5	84,8	52,20	135,9	2,5	23,10	6 910
70	2,5	65,5	8,1	6,6	3,0	22,0	67,0	2,65	1,50	4,5	87,0	53,80	134,2	2,5	23,00	6 530
72	2,5	67,5	8,2	6,8	3,0	22,5	69,0	2,65	1,50	4,5	89,2	55,30	131,8	2,5	22,80	6 190

a, b, c und d siehe Seite 13.

Tabelle 1 (fortgesetzt)

Maße in Millimeter

Wellen- durch- messer d_1	Ring				Nut				Ergänzende Daten ^d					Nenngröße der Zange nach DIN 5254		
	s	d_3	a	b^a	d_5	Gewicht je 1 000 Stück in kg	d_2^b	m^c	t	n	d_4	F_N	F_R		g	F_{Rg}
Nenn- maß	zul. Abw.	zul. Abw.	max.	≈	min.	≈	zul. Abw.	H13		min.		kN	kN		kN	min ⁻¹
75	2,5	70,5	8,4	7,0	3,0	24,6	72,0	2,65	1,50	4,5	92,7	57,60	130,0	2,5	22,80	5 740
78	2,5	73,5	8,6	7,3	3,0	26,2	75,0	2,65	1,50	4,5	96,1	60,00	131,3	3,0	19,75	5 450
80	2,5	74,5	8,6	7,4	3,0	27,3	76,5	2,65	1,75	5,3	98,1	71,60	128,4	3,0	19,50	6 100
82	2,5	76,5	8,7	7,6	3,0	31,2	78,5	2,65	1,75	5,3	100,3	73,50	128,0	3,0	19,60	5 860
85	3,0	79,5	8,7	7,8	3,5	36,4	81,5	3,15	1,75	5,3	103,3	76,20	215,4	3,0	33,40	5 710
88	3,0	82,5	8,8	8,0	3,5	41,2	84,5	3,15	1,75	5,3	106,5	79,00	221,8	3,0	34,85	5 200
90	3,0	84,5	8,8	8,2	3,5	44,5	86,5	3,15	1,75	5,3	108,5	80,80	217,2	3,0	34,40	4 980
95	3,0	89,5	9,4	8,6	3,5	49,0	91,5	3,15	1,75	5,3	114,8	85,50	212,2	3,5	29,25	4 550
100	3,0	94,5	9,6	9,0	3,5	53,7	96,5	3,15	1,75	5,3	120,2	90,00	206,4	3,5	29,00	4 180
105	4,0	98,0	9,9	9,3	3,5	80,0	101,0	4,15	2,00	6,0	125,8	107,60	471,8	3,5	67,70	4 740
110	4,0	103,0	10,1	9,6	3,5	82,0	106,0	4,15	2,00	6,0	131,2	113,00	457,0	3,5	66,90	4 340
115	4,0	108,0	10,6	9,8	3,5	84,0	111,0	4,15	2,00	6,0	137,3	118,20	438,6	3,5	65,50	3 970
120	4,0	113,0	11,0	10,2	3,5	86,0	116,0	4,15	2,00	6,0	143,1	123,50	424,6	3,5	64,50	3 685
125	4,0	118,0	11,4	10,4	4,0	90,0	121,0	4,15	2,00	6,0	149,0	128,70	411,5	4,0	56,50	3 420
130	4,0	123,0	11,6	10,7	4,0	100,0	126,0	4,15	2,00	6,0	154,4	134,00	395,5	4,0	55,20	3 180
135	4,0	128,0	11,8	11,0	4,0	104,0	131,0	4,15	2,00	6,0	159,8	139,20	389,5	4,0	55,40	2 950

a, b, c, d und e siehe Seite 13.

Tabelle 1 — Regelausführung

Bohrungs- durch- messer d_1	Ring										Nut					Ergänzende Daten ^d					Nenngröße der Zange nach DIN 5256
	s	d_3	a	b^a	d_5	Gewicht für 1 000 Stück in kg	d_2^b	m^c	t	n	d_4	F_N	F_R	g	F_{Rg}	Maße in Millimeter					
Nenn- maß	zul. Abw.	zul. Abw.	max.	≈	min.	≈	zul. Abw.	H13	min.	min.	KN	KN	KN	KN	KN						
8	0,80	8,7	2,4	1,1	1,0	0,14	+0,09	0,9	0,20	0,6	0,86	2,00	0,5	1,50	8; 12						
9	0,80	9,8	2,5	1,3	1,0	0,15	0	0,9	0,20	0,6	0,96	2,00	0,5	1,50							
10	1,00	10,8	3,2	1,4	1,2	0,18		1,1	0,20	0,6	1,08	4,00	0,5	2,20	8; 12						
11	1,00	11,8	3,3	1,5	1,2	0,31		1,1	0,20	0,6	1,17	4,00	0,5	2,30							
12	1,00	13,0	3,4	1,7	1,5	0,37	+0,36 -0,10	1,1	0,25	0,8	1,60	4,00	0,5	2,30	12						
13	1,00	14,1	3,6	1,8	1,5	0,42	+0,11	1,1	0,30	0,9	2,10	4,20	0,5	2,30							
14	1,00	15,1	3,7	1,9	1,7	0,52	0	1,1	0,30	0,9	2,25	4,50	0,5	2,30	12						
15	1,00	16,2	3,7	2,0	1,7	0,56		1,1	0,35	1,1	2,80	5,00	0,5	2,30							
16	1,00	17,3	3,8	2,0	1,7	0,60		1,1	0,40	1,2	3,40	5,50	1,0	2,60	12						
17	1,00	18,3	3,9	2,1	1,7	0,65		1,1	0,40	1,2	3,60	6,00	1,0	2,50							
18	1,00	19,5	4,1	2,2	2,0	0,74		1,1	0,50	1,5	4,80	6,50	1,0	2,60	19						
19	1,00	20,5	4,1	2,2	2,0	0,83		1,1	0,50	1,5	5,10	6,80	1,0	2,50							
20	1,00	21,5	4,2	2,3	2,0	0,90	+0,13 0	1,1	0,50	1,5	5,40	7,20	1,0	2,50	19						
21	1,00	22,5	4,2	2,4	2,0	1,00		1,1	0,50	1,5	5,70	7,60	1,0	2,60							
22	1,00	23,5	4,2	2,5	2,0	1,10		1,1	0,50	1,5	5,90	8,00	1,0	2,70	19						
24	1,20	25,9	4,4	2,6	2,0	1,42	+0,21	1,3	0,60	1,8	7,70	13,90	1,0	4,60							
25	1,20	26,9	4,5	2,7	2,0	1,50	0	1,3	0,60	1,8	8,00	14,60	1,0	4,70							

a, b, c und ^d siehe Seite 13.

Tabelle 1 (fortgesetzt)

Bohrungs- durch- messer d_1	Maße in Millimeter										Nenngröße der Zange nach DIN 5256				
	Ring					Nut						Ergänzende Daten ^d			
Nenn- maß	s	d_3	a	b^a	d_5	Gewicht für 1 000 Stück in kg	$d_2^{b,c}$	m^c	t	n	d_4	F_N	F_R	g	F_{Rg}
	zul. Abw.	zul. Abw.	max.	≈	min.	≈	zul. Abw.	H13	min.	min.	kN	kN	kN	kN	kN
26	1,20	27,9	+0,42 -0,21	4,7	2,8	1,60	27,2	1,30	0,60	1,8	16,1	8,40	13,85	1,0	4,60
28	1,20	30,1		4,8	2,9	1,80	29,4	1,30	0,70	2,1	17,9	10,50	13,30	1,0	4,50
30	1,20	32,1		4,8	3,0	2,06	31,4	1,30	0,70	2,1	19,9	11,30	13,70	1,0	4,60
31	1,20	33,4		5,2	3,2	2,10	32,7	1,30	0,85	2,6	20,0	14,10	13,80	1,0	4,70
32	1,20	34,4		5,4	3,2	2,21	33,7	1,30	0,85	2,6	20,6	14,60	13,80	1,0	4,70
34	1,50	36,5	+0,50 -0,25	5,4	3,3	3,20	35,7	1,60	0,85	2,6	22,6	15,40	26,20	1,5	6,30
35	1,50	37,8		5,4	3,4	3,54	37,0	1,60	1,00	3,0	23,6	18,80	26,90	1,5	6,40
36	1,50	38,8		5,4	3,5	3,70	38,0	1,60	1,00	3,0	24,6	19,40	26,40	1,5	6,40
37	1,50	39,8		5,5	3,6	3,74	39,0	1,60	1,00	3,0	25,4	19,80	27,10	1,5	6,50
38	1,50	40,8		5,5	3,7	3,90	40,0	1,60	1,00	3,0	26,4	22,50	28,20	1,5	6,70
40	1,75	43,5		5,8	3,9	4,70	42,5	1,85	1,25	3,8	27,8	27,00	44,60	2,0	8,30
42	1,75	45,5	+0,90 -0,39	5,9	4,1	5,40	44,5	1,85	1,25	3,8	29,6	28,40	44,70	2,0	8,40
45	1,75	48,5		6,2	4,3	6,00	47,5	1,85	1,25	3,8	32,0	30,20	43,10	2,0	8,20
47	1,75	50,5	+1,10 -0,46	6,4	4,4	6,10	49,5	1,85	1,25	3,8	33,5	31,40	43,50	2,0	8,30
48	1,75	51,5		6,4	4,5	6,70	50,5	1,85	1,25	3,8	34,5	32,00	43,20	2,0	8,40

a, b, c und ^d siehe Seite 13.

Tabelle 1 (fortgesetzt)

Maße in Millimeter

Bohrungs- durch- messer d_1	Ring				Nut				Ergänzende Daten ^d							
	s	d_3	a	b^a	d_5	Gewicht für 1 000 Stück in kg	d_2^b	m^c	t	n	d_4	F_N	F_R	g	F_{Rg}	Nenngröße der Zange nach DIN 5256
Nenn- maß	zul. Abw.	zul. Abw.	max.	≈	min.	≈	zul. Abw.	H13		min.		kN	kN		kN	
50	2,00	54,2	6,5	4,6	2,5	7,30	53,0	2,15	1,50	4,5	36,3	40,50	60,80	2,0	12,10	19; 40
52	2,00	56,2	6,7	4,7	2,5	8,20	55,0	2,15	1,50	4,5	37,9	42,00	60,25	2,0	12,00	
55	2,00	59,2	6,8	5,0	2,5	8,30	58,0	2,15	1,50	4,5	40,7	44,40	60,30	2,0	12,50	
56	2,00	60,2	6,8	5,1	2,5	8,70	59,0	2,15	1,50	4,5	41,7	45,20	60,30	2,0	12,60	
58	2,00	62,2	6,9	5,2	2,5	10,50	61,0	2,15	1,50	4,5	43,5	46,70	60,80	2,0	12,70	
60	2,00	64,2	7,3	5,4	2,5	11,10	63,0	2,15	1,50	4,5	44,7	48,30	61,00	2,0	13,00	
62	2,00	66,2	7,3	5,5	2,5	11,20	65,0	2,15	1,50	4,5	46,7	49,80	60,90	2,0	13,00	
63	2,00	67,2	7,3	5,6	2,5	12,40	66,0	2,15	1,50	4,5	47,7	50,60	60,80	2,0	13,00	
65	2,50	69,2	7,6	5,8	3,0	14,30	68,0	2,65	1,50	4,5	49,0	51,80	121,00	2,5	20,80	
68	2,50	72,5	7,8	6,1	3,0	16,00	71,0	2,65	1,50	4,5	51,6	54,50	121,50	2,5	21,20	
70	2,50	74,5	7,8	6,2	3,0	16,50	73,0	2,65	1,50	4,5	53,6	56,20	119,00	2,5	21,00	
72	2,50	76,5	7,8	6,4	3,0	18,10	75,0	2,65	1,50	4,5	55,6	58,00	119,20	2,5	21,00	

a, b, c und ^d siehe Seite 13.

Tabelle 1 (fortgesetzt)

Bohrungs- durch- messer d_1	Maße in Millimeter																
	Ring					Nut					Ergänzende Daten ^d						
Nenn- maß	s	d_3	a	b^a	d_5	Gewicht für 1 000 Stück in kg	d_2^b	m^c	t	n	d_4	F_N	F_R	g	F_{Rg}	Nenngröße der Zange nach DIN 5256	
	zul. Abw.	zul. Abw.	max.	≈	min.	≈	zul. Abw.	H13		min.		kN	kN		kN		
75	2,50	79,5	7,8	6,6	3,0	18,8	+0,30 0	2,65	1,50	4,5	58,6	60,00	118,00	2,5	21,00	40	
78	2,50	82,5	8,5	6,8	3,0	20,4	+0,35 0	2,65	1,50	4,5	60,1	62,30	122,50	2,5	21,80		
80	2,50	85,5	8,5	7,0	3,0	22,0		2,65	1,75	5,3	5,3	62,1	74,60	120,90	2,5		21,80
82	2,50	87,5	8,5	7,0	3,0	24,0		2,65	1,75	5,3	5,3	64,1	76,60	119,00	2,5		21,40
85	3,00	90,5	8,6	7,2	3,5	25,3		+0,35 0	3,15	1,75	5,3	66,9	79,50	201,40	3,0	31,20	40; 85
88	3,00	93,5	8,6	7,4	3,5	28,0	3,15		1,75	5,3	5,3	69,9	82,10	209,40	3,0	32,70	
90	3,00	95,5	8,6	7,6	3,5	31,0	3,15		1,75	5,3	5,3	71,9	84,00	199,00	3,0	31,40	
92	3,00	97,5	8,7	7,8	3,5	32,0	3,15		1,75	5,3	5,3	73,7	85,80	201,00	3,0	32,00	
95	3,00	100,5	8,8	8,1	3,5	35,0	+1,30 -0,54	3,15	1,75	5,3	76,5	88,60	195,00	3,0	31,40	85	
98	3,00	103,5	9,0	8,3	3,5	37,0		3,15	1,75	5,3	5,3	79,0	91,30	191,00	3,0		31,00
100	3,00	105,5	9,2	8,4	3,5	38,0		3,15	1,75	5,3	5,3	80,6	93,10	188,00	3,0		30,80
102	4,00	108,0	9,5	8,5	3,5	55,0		+0,54 0	4,15	2,00	6,0	82,0	108,80	439,00	3,0		72,60
105	4,00	112,0	9,5	8,7	3,5	56,0	4,15		2,00	6,0	6,0	85,0	112,00	436,00	3,0	73,00	
108	4,00	115,0	9,5	8,9	3,5	60,0	4,15		2,00	6,0	6,0	88,0	115,00	419,00	3,0	71,00	
110	4,00	117,0	10,4	9,0	3,5	64,5	4,15		2,00	6,0	6,0	88,2	117,00	415,00	3,0	71,00	
112	4,00	119,0	10,5	9,1	3,5	72,0	4,15	2,00	6,0	6,0	90,0	119,00	418,00	3,0	72,00		

a, b, c und d siehe Seite 13.

Tabelle 1 (fortgesetzt)

Maße in Millimeter

Bohrungs- durch- messer d_1	Ring				Nut				Ergänzende Daten ^d				Nenngröße der Zange nach DIN 5256		
	s	d_3	a	b^a	d_5	Gewicht für 1 000 Stück in kg	d_2^b	m^c	t	n	d_4	F_N		F_R	g
Nenn- maß	zul. Abw.	zul. Abw.	max.	≈	min.	≈	zul. Abw.	H13		min.		kN	kN		kN
115	4,00	122,0	10,5	9,3	3,5	74,5	+0,54 0	4,15	2,00	6,0	93,0	122,00	409,00	3,0	71,20
120	4,00	127,0	11,0	9,7	3,5	77,0		4,15	2,00	6,0	96,9	127,00	396,00	3,0	70,00
125	4,00	132,0	11,0	10,0	4,0	79,0		4,15	2,00	6,0	101,9	132,00	385,00	3,0	70,00
130	4,00	137,0	11,0	10,2	4,0	82,0		4,15	2,00	6,0	106,9	138,00	374,00	3,0	69,00
135	4,00	142,0	11,2	10,5	4,0	84,0		4,15	2,00	6,0	111,5	143,00	358,00	3,0	67,00
140	4,00	147,0	11,2	10,7	4,0	87,5	+1,50 -0,63	4,15	2,00	6,0	116,5	148,00	350,00	3,0	66,50
145	4,00	152,0	11,4	10,9	4,0	93,0	+0,63 0	4,15	2,00	6,0	121,0	153,00	336,00	3,0	65,00
150	4,00	158,0	12,0	11,2	4,0	105,0		4,15	2,50	7,5	124,8	191,00	326,00	3,0	64,00
155	4,00	164,0	12,0	11,4	4,0	107,0		4,15	2,50	7,5	129,8	206,00	324,00	3,5	55,00
160	4,00	169,0	13,0	11,6	4,0	110,0		4,15	2,50	7,5	132,7	212,00	321,00	3,5	54,40
165	4,00	174,5	13,0	11,8	4,0	125,0		4,15	2,50	7,5	137,7	219,00	319,00	3,5	54,00
170	4,00	179,5	13,5	12,2	4,0	140,0		4,15	2,50	7,5	141,6	225,00	349,00	3,5	59,00
175	4,00	184,5	13,5	12,7	4,0	150,0		4,15	2,50	7,5	146,6	232,00	351,00	3,5	59,00
180	4,00	189,5	14,2	13,2	4,0	165,0	+1,70	4,15	2,50	7,5	150,2	238,00	347,00	3,5	58,50
185	4,00	194,5	14,2	13,7	4,0	170,0	-0,72 0	4,15	2,50	7,5	155,2	245,00	349,00	3,5	59,00
190	4,00	199,5	14,2	13,8	4,0	175,0		4,15	2,50	7,5	160,2	251,00	340,00	3,5	57,50

a, b, c, d und e siehe Seite 13.