

Dieser neue SNFA - Hauptkatalog steht für unser kontinuierliches Bestreben nach Gesamtqualität für uns und unsere Kunden im Bereich der Entwicklung als auch in der Produktion.

Darüber hinaus steht der Hauptkatalog im Zeichen eines ständigen Dialoges zwischen SNFA und dem Anwender.

Wir von SNFA glauben an diesen Dialog, an eine Partnerschaft die beiden, sowohl den Anwendern als auch uns hilft, gemeinsam neue Ideen und Ziele zu entwickeln.

Mit dem Know-how von mehr als 55 Jahren Wälzlagerertechnik versprechen wir Ihnen, auch weiterhin verantwortungsvoll Ihre Anforderungen an uns zu erfüllen.

Im Juli 2006 wurde die SNFA Gruppe vom schwedischen Wälzlagerhersteller SKF übernommen.

Wir sind überzeugt, dass dieser Schritt zusätzliche positive Impulse hinsichtlich Innovation, Technik und Logistik für Sie, unseren Kunden, verleihen wird.





### WIR STELLEN UNS VOR:

- 5 Die SNFA Gruppe
- 6 Technologie und Herstellung
- 13 SNFA Präzisionsschrägkugellager für den Einsatz im Werkzeugmaschinenbau und sonstigen industriellen Anwendungen
- 14 Produkt
- 15 Qualitätssystem
- 16 Produktionsprogramm
- 17 Symbole, Einheiten

### PRODUKTBESCHREIBUNG

- 18 Bauformen
- 19 Werkstoffe
- 20 CHROMEX<sup>®</sup> 40
- 22 Schrägkugellager mit Keramikkugeln
- 23 Abgedichtete Lager
- 25 Genauigkeitsklasse
- 26 Druckwinkel
- 27 Drehzahlgrenzen
- 28 Betriebstemperatur
- 29 Vibration - Geräusch

### LAGERBERECHNUNG / PRÜFUNG

- 35 Zwei- und Mehrfachanordnung
- 37 Besonderheiten bei SNFA - Lagersätzen
- 38 Universalausführungen
- 39 Vorspannung
- 40 Abhebekräfte
- 41 Steifigkeit
- 42 Zwischenringe
- 43 Axiale Federung der einzelnen Lager unter Vorspannung

### EINBAUTOLERANZEN

- 49 Bearbeitungstoleranzen der Wellen- und Gehäusesitze
- 50 Form- und Fluchtungsfehler
- 51 Anschlussmaße und -radien der Lagersitze
- 53 Anschlussmaße und -radien der Wälzlager

### SCHMIERUNG

- 56 Fettschmierung
- 59 Ölschmierung
- 61 Ölschmierung durch den Außenring
- 64 Dichtungen

### KENNZEICHNUNG

- 65 Kennzeichnung der Schrägkugellager
- 66 Markierung der Schrägkugellager
- 67 Verpackung

68	Bezeichnungsschema der Schrägkugellager
69	ISO Vergleichstabelle der SNFA Standardmaßreihen
<b>SNFA PRODUKTIONSPROGRAMM</b>	
	Tabellen der Baureihen
71	SEA ISO 18
75	SEB ISO 19
81	VEB ISO 19
87	HB ISO 19
93	EX ISO 10
99	VEX ISO 10
105	E 200 ISO 02
109	Axialschrägkugellager für Kugelumlaufspindeln Serie <b>BS 200</b> und <b>BS</b> Sonderabmessungen
112	Gehäuseeinheiten mit Axialschrägkugellager für Kugelumlaufspindeln Baureihe BSDU - BSQU - BSQU/1
115	Anwendungsbeispiele
122	Behandlung und Montage der Präzisionsschrägkugellager
126	Vergleichstabelle





# die Gruppe



## PRODUKTIONSSTÄTTEN\*

\* SNFA ein Unternehmen der SKF Gruppe.

Luft- und Raumfahrtlager:



**SNFA S.A.S.** (Frankreich)

Präzisionsschräggugellager:



**Somecat S.p.A.**  
(Italien)



**SNFA Bearings Ltd**  
(England)

## VERKAUFSGESELLSCHAFTEN\*

\* SNFA ein Unternehmen der SKF Gruppe.

Luft- und Raumfahrtlager /  
Präzisionsschräggugellager:

**SNFA S.A.S.** (Frankreich)

Präzisionsschräggugellager:

**Somecat S.p.A.**  
(Italien)

**SNFA Bearings Ltd**  
(England)

**SNFA Präzisions - Wälzlager**  
G.m.b.H. (Deutschland)

**SNFA S.A.** Fribourg (Schweiz)

Seit ihrer Gründung (1952) hat sich die SNFA-Gruppe auf die Produktion von Kugel- und Rollenlagern in höchster Präzision spezialisiert und sich durch gezielte Investitionen in Forschung und Entwicklung auf diesem Gebiet weiterentwickelt.

Die stetige Zunahme der Aktivitäten sowie die notwendige hohe Spezialisierung erforderte eine Anpassung der Struktur innerhalb der Produktion und Organisation.

Heute fertigt die SNFA-Gruppe zwei Produktfamilien:

- Zylinderrollen- und Kugellager für die Luft- und Raumfahrtindustrie.
- Präzisionsschräggugellager für industrielle Anwendungen.

In Italien ist die SNFA Gruppe durch die Somecat S.p.A. vertreten, die zusammen mit der Schwesterfirma SNFA Bearings Ltd in England einer der führenden Hersteller von Präzisions-Schräggugellagern, speziell für den Werkzeugmaschinenbau, ist.



# TECHNOLOGIE

## TECHNOLOGIE

Das Schleifen und Honen (Superfinish) der Lagerflächen erfolgt in einem festgelegten Zyklus unter Einsatz von CNC-Schleifmaschinen und speziellen Honmaschinen. Die Kontrolle erfolgt mit spezifischen Geräten.

Die SNFA-Präzisionsschrägkugellager zeichnen sich durch ihre Qualitätseigenschaften sowie durch eine hohe dynamische Leistungsfähigkeit aus.

Diese Eigenschaften sind allen Produkten der NFA-Gruppe eigen, ob Präzisionsschrägkugellager oder Präzisionslager für die Luftfahrtindustrie.

Modernste Maschinen und Kontrollsysteme garantieren die Herstellung von Produkten höchster Präzision und Qualität.

Das Ausgangsmaterial der Lagerringe sind Rohre, Stangen oder Schmiedeteile aus vakuumtgestem Kugellagerstahl 100 Cr6, oder CHROMEX® 40.







Paarung ist die Operation, bei der aus Einzellagern Lagergruppen erstellt werden.

Die Genauigkeit und Gleichmäßigkeit der Vorspannung ist sehr wichtig für die gute und gleichmäßige Funktion der Lagergruppe.

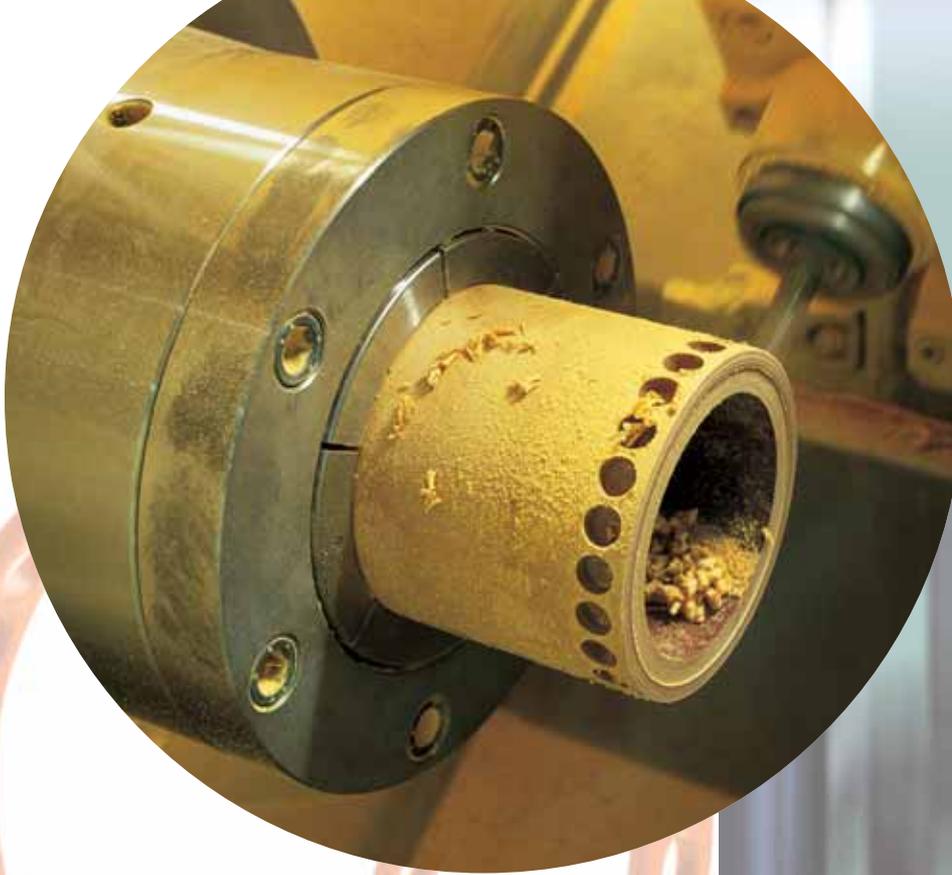
Um diese Resultate zu erzielen, wurden adäquate Apparaturen entwickelt, die in Abhängigkeit der axialen Vorspannung den dazu notwendigen Axialspalt messen.



Der Phenolharzkäfig (Hartgewebe) wird vom Halbfabrikat Rohr gefertigt.

Homogenität des Werkstoffes sowie eine präzise Bearbeitung sind Grundvoraussetzung für das korrekte Verhalten dieses wichtigen Lagerelementes.





Die Endkontrolle beinhaltet eine 100% ige Messung der Lagerringe.

Das computergestützte Meßsystem erfaßt gleichzeitig alle geometrischen Parameter der Lagerringe in höchster Genauigkeit.

Zur Erstellung einer Qualitätsanalyse werden die erfaßten und gespeicherten Werte ausgewertet.

Durch die Montage der vorselektierten Komponenten entsteht das fertige Lager.

Die Lageraußenringe müssen zur Montage aufgeweitet werden.

Dies geschieht durch Induktionserwärmung.





Die Kennzeichnung der Lager erfolgt durch einen computergeführten Laser und beinhaltet die komplette Lagerbezeichnung, d.h. Basistyp, Genauigkeitsklasse, Druckwinkel, Paarung und Vorspannung.

Ein lebensdauerbestimmender Faktor ist die Sauberkeit der Spindellager. Beim Waschen der Lager wird außerdem auf umweltverträgliche Verfahren geachtet.



Versandbereite Präzisionslager und Gruppen werden in unserem Werkslager unter kontrollierten Bedingungen (Temperatur und Feuchtigkeit) bis zum Liefertermin gelagert. Die Lagerverwaltung ist vollautomatisch.



Basis für eine optimale Produktentwicklung sind spezifische Berechnungsprogramme sowie Prüfstandsversuche. Zur Gewährleistung der Qualität wird schon in diesem Stadium die ISO-Norm 9000 mit einbezogen.

Zur kontinuierlichen Qualitätssicherung, Produktentwicklung und Produktpflege werden SNFA Spindellager regelmäßig im eigenen Versuchslabor bzw. in Feldeinsätzen nach den aktuellsten Marktforderungen getestet.

Das anwendungstechnische Beratungsteam der SNFA-Gruppe offeriert komplette Unterstützung von der Entwicklungsphase bis zum fertigen Produkt.

Um Hochleistungsprojekte in allen Einzelheiten erfassen zu können, werden fortschrittliche Computerprogramme eingesetzt. Weitere technische Unterstützung wird durch ein Rechnerprogramm, basierend auf den Katalogwerten angeboten und garantiert somit eine rasche Entscheidungshilfe.

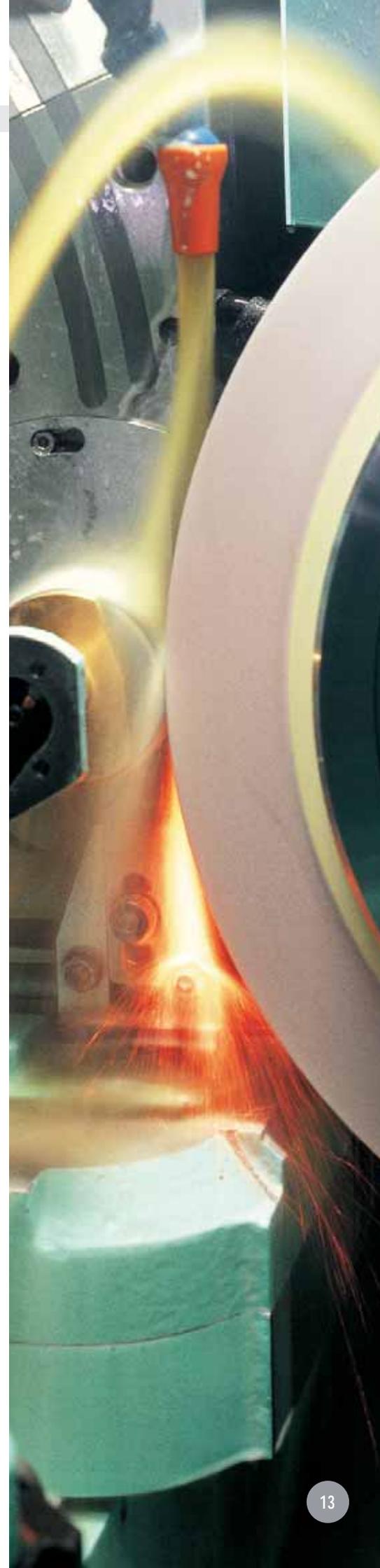


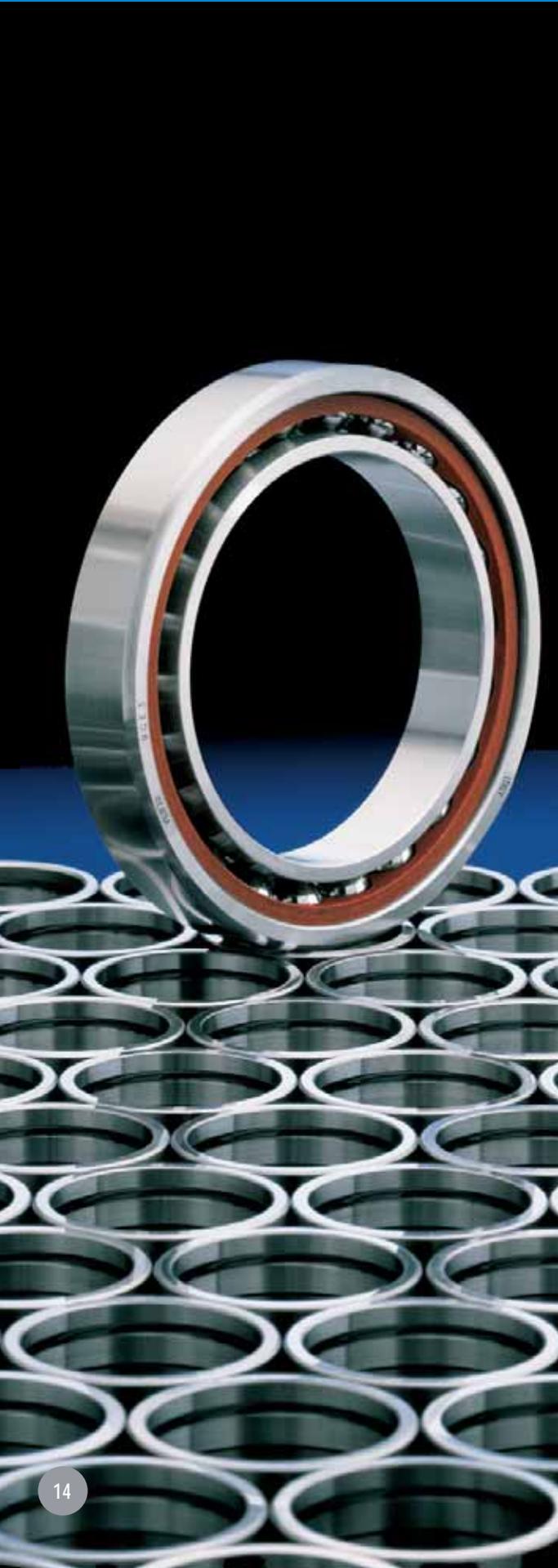
# SNFA Präzisionsschrägkugellager für den Einsatz im Werkzeugmaschinenbau und sonstigen industriellen Anwendungen

SNFA - Präzisionslager kommen weltweit als Original- oder Ersatzteile zum Einsatz; überall da, wo höchste Genauigkeit, Zuverlässigkeit, geräusch- und reibungsarme Rotationen sowie höchste Drehzahlen gefordert werden.

Der Vertrieb dieser technisch hochstehenden Produkte erfolgt direkt durch die SNFA-Organisation.

Der Katalog zeigt die gesamte SNFA-Produktpalette an Präzisions-Schrägkugellager.





## Das Produkt

Zielsetzung der SNFA-Gruppe ist das Erreichen des höchstmöglichen Niveaus hinsichtlich der Entwicklung und Produktion von Präzisionsschräggugellagern.

Die einzelnen Baureihen unterscheiden sich durch ihre Form und Größe. Grundsätzlich sind die Wälzlager mit einem Massivkäfig ausgerüstet.

Das Fertigungsprogramm beinhaltet Lager mit einem Bohrungsdurchmesser von 6 bis 280 mm (maximaler Außendurchmesser 380 mm).

Die Entwicklung richtet sich nach den internationalen Standards mit dem Hauptziel der Austauschbarkeit, d.h., SNFA - Präzisionslager entsprechen folgenden Normen:

Außendurchmesser und Radien	<b>ABMA Std 20</b> (gemäß ISO 15)
-----------------------------	--------------------------------------

Abmessungstoleranzen	<b>ABMA Std 20</b> (gemäß ISO 492)
----------------------	---------------------------------------

Funktionstoleranzen	<b>ABMA Std 20</b> (gemäß ISO 492)
---------------------	---------------------------------------

# DAS QUALITÄTSSYSTEM

## Das Qualitätssystem

Die Zertifizierung mit der ISO 9001:2000 Qualitätsnorm bestätigt unser grundsätzliches und stetiges Streben nach höchster Qualität. Das SNFA-Qualitätssystem ist ein wichtiger Bestandteil der Gruppe bzw. der Produktionsprozesse und dient der Konsolidierung des Qualitätsniveaus sowie der Befriedigung der Markterwartungen. Zur Erlangung der totalen Qualität legt man sehr großen Wert auf die Sicherheits- und Umweltaspekte. Besondere Aufmerksamkeit gilt den, an diesen Prozessen beteiligten Menschen, sowie deren Weiterbildung.



# Produktionsprogramm

Das SNFA-Produktionsprogramm (siehe Tabelle) umfasst:

- Baureihe **SEA - SEB - EX - E200** (Basisreihen)
- Baureihe **HB - VEB** und **VEX** (bestimmt für höchste Drehzahlen)
- Baureihe **BS 200** und **BS** - Sonderabmessungen mit Druckwinkel **62°** für Kugelumlaufspindeln.

Für besondere Anwendungen, z.B. sehr hohe Drehzahlen, ist die Lieferung aller Präzisions-Schräggugellager mit Keramikugeln (Hybridlager) möglich

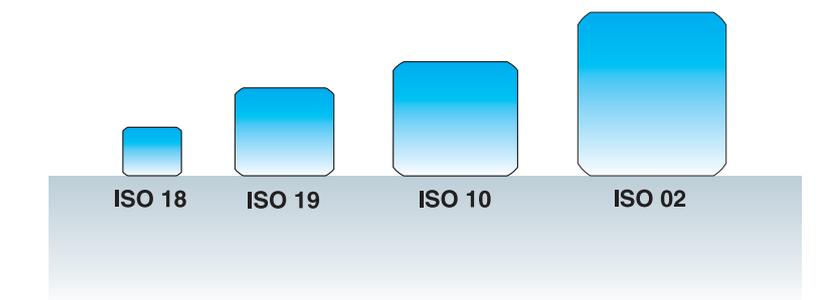
- Baureihen **BSDU - BSQU - BSQU/1**

Gehäuseeinheiten mit Kugellagern der Baureihe **BS 200** für Kugelumlaufspindeln:

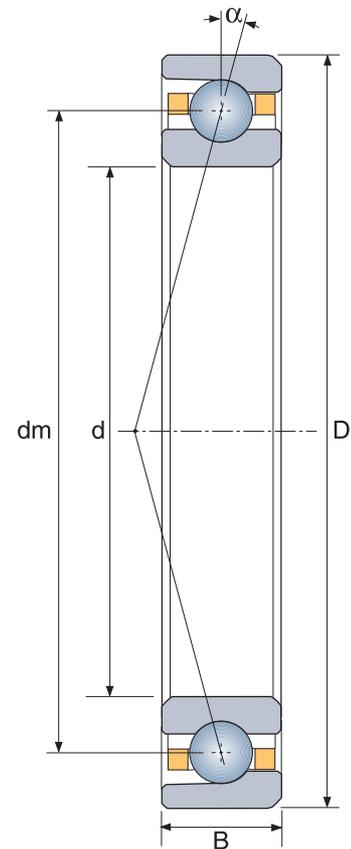
Sämtliche Baureihen werden in den Genauigkeitsklassen **ABMA ABEC 7 - ABEC 7/9 - ABEC 9** hergestellt.

Serie SNFA	ISO	Eigenschaften
<b>SEA</b>	<b>18</b>	Geringster Einbauraum, kleine Radial-/Axialbelastung Drehzahl bis zu 1.500.000 ndm (Öl)
<b>SEB</b>	<b>19</b>	Geringer Einbauraum, mittlere Radial-/Axialbelastung Drehzahl bis zu 1.500.000 ndm (Öl)
<b>VEB</b>	<b>19</b>	Geringer Einbauraum, mittlere Radial-/Axialbelastung Drehzahl über 2.500.000 ndm (Öl)
<b>HB</b>	<b>19</b>	Mittlere Radial-/Axialbelastung Drehzahl über 2.500.000 ndm (Öl)
<b>EX</b>	<b>10</b>	Hohe Radial-/Axialbelastung Drehzahl bis zu 1.500.000 ndm (Öl)
<b>VEX</b>	<b>10</b>	Gute Radial-/Axialbelastung Drehzahl über 2.500.000 ndm (Öl)
<b>E 200</b>	<b>02</b>	Sehr hohe Radial-/Axialbelastung Drehzahl bis zu 1.500.000 ndm (Öl)
<b>BS 200</b>	<b>02</b>	Überwiegend axiale Belastung Hohe axiale Steifigkeit und Tragfähigkeit
<b>BS (Spezial)</b>	-	Wie BS200

Serie HB, VEX und BS200 alternativ abgedichtet lieferbar.  
Ölschmierung durch den Aussenring möglich



<b>d</b>	: Bohrungsdurchmesser	mm
<b>D</b>	: Aussendurchmesser	mm
<b>B</b>	: Breite	mm
<b><math>\alpha</math></b>	: Druckwinkel	Grad
<b>dm</b>	: mittlerer Lagerdurchmesser	mm
<b>C<sub>33</sub></b>	: dynamische Tragzahl	daN
<b>C<sub>0</sub></b>	: statische Tragzahl	daN
<b>Ra</b>	: axiale Steifigkeit	daN/ $\mu$ m
<b>Vh</b>	: Maximaldrehzahl eines federvorgespannten Einzellagers, Ölschmierung, $\alpha = 15^\circ$ (Serie BS200 und BS $\alpha = 62^\circ$ )	U/min
<b>Cr</b>	: Reibmoment bei niedriger Drehzahl für eine Lagergruppe	daN • mm
<b>M</b>	: Gewicht	kg
<b>n</b>	: Drehzahl	U/min
<b>ndm</b>	: Drehzahlkennwert	U/min • mm



Weitere im Text enthaltene Symbole werden im jeweiligen Absatz erläutert.



# Produktbeschreibung, Bauformen

Schrägkugellager bieten die optimalste Lösung für ein ausgewogenes Verhältnis zwischen Drehzahl und Steifigkeit unter der Einwirkung von kombinierten Belastungen. Die speziellen Bauformen ermöglichen sehr hohe Drehzahlen, d.h. ndm (mittlerer Durchmesser x Drehzahl)  $>2,5 \times 10^6$ .

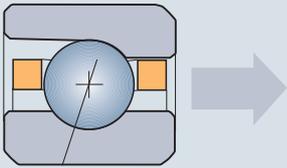
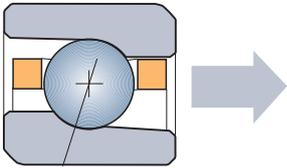
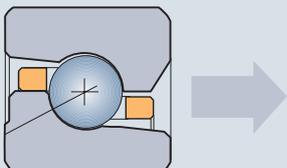
Schrägkugellager können gleichzeitig hohe radiale und axiale Belastungen in einer Richtung aufnehmen. Die bei Radialbelastung im Lager erzeugte und in axialer Richtung wirkende Kraft muß durch eine äußere Gegenkraft ausgeglichen werden.

Deshalb werden sie stets gegen ein zweites Lager angestellt.

Um die Montage des Käfigs zu ermöglichen, sind die SNFA-Schrägkugellager asymmetrisch geformt,

d.h. am Innen- und/oder Außenring ist jeweils ein Bord abgesetzt. Zum Einsatz kommen Massivkäfige aus den Materialien Hartgewebe oder Polyamid 6.6. Eine große Anzahl Kugeln gewährleistet hohe Tragfähigkeit und Steifigkeit.

Die verschiedenen Bauformen sowie deren Abmessungen werden in einheitlichen Gruppen (Baureihen) eingeordnet und ermöglichen somit eine schnelle Produktidentifikation.

	Codice forma	Serie SNFA	Caratteristiche
	<b>E-SE</b>	<b>SEA SEB EX E 200</b>	ASYMMETRISCHER AUßENRING SYMMETRISCHER INNENRING AUßENRINGGEFÜHRTER KÄFIG NICHT ZERLEGBARES LAGER  $\alpha = 15^\circ$ e $25^\circ$ $\alpha = 18^\circ$ *)
	<b>VE - H</b>	<b>HB (/S) VEB VEX (/S)</b>	ASYMMETRISCHER AUßENRING ASYMMETRISCHER INNENRING AUßENRINGGEFÜHRTER KÄFIG NICHT ZERLEGBARES LAGER  $\alpha = 15^\circ$ e $25^\circ$ $\alpha = 18^\circ$ *)
	<b>BS</b>	<b>BS 200 (/S) BS Sonderab- messungen</b>	ASYMMETRISCHER AUßENRING ASYMMETRISCHER INNENRING INNENRINGGEFÜHRTER KÄFIG NICHT ZERLEGBARES LAGER  $\alpha = 62^\circ$

\* nur auf Anfrage



## Außen- und Innenringe, Kugeln

SNFA-Lager werden aus vakuumtgestem 100Cr6 Chromstahl oder gleichwertigem Werkstoff hergestellt.

Die hohe Reinheit des Materials garantiert höchste Zuverlässigkeit.

Er ist kernabgeschreckt und seine Stabilisierung umfaßt einen Unterkühlungszyklus.

Dies läßt Betriebstemperaturen bis 160°C zu, ohne die Maßstabilität CHROMEX®40 erlaubt Betriebstemperaturen bis zu 260°C und Härte zu beeinträchtigen.

Für spezielle Anwendungen werden Präzisionslager mit Keramikugeln bestückt (siehe Abschnitt über NS- Lager).



## Käfig

Der übliche Werkstoff ist ein durch Baumwollgewebe verstärktes Phenolharz. Dieser Käfigwerkstoff zeichnet sich durch gute Bearbeitbarkeit und niedrigen Reibungskoeffizienten aus.

Der leichtgewichtige Werkstoff erlaubt die Herstellung robuster, genauer und für hohe Drehzahlen geeigneter Käfige.

Einige Baureihen sind mit Käfigen aus glasfaserverstärktem Polyamid ausgerüstet. Die Spritzkäfige weisen einen reduzierten Reibungskoeffizienten, hohe Festigkeit und hervorragende Leistungsfähigkeit auf, vor allem bei einer Fettschmierung.

Die beiden Werkstoffe werden in der jeweiligen Lagerbezeichnung durch die Buchstaben C (Hartgewebe) und P (Polyamid) identifiziert. Anwendungsabhängig werden Präzisionslager auch mit Käfigen anderer Materialien bestückt, z.B. Messingkäfig = Code L , (siehe Betriebstemperatur).



# CHROMEX® 40

Dieser hochlegierte Stahl wurde ursprünglich für die Luft- und Raumfahrt entwickelt. Durch die hervorragenden Eigenschaften hat er nun auch viele Anwendungen im Bereich der Werkzeugmaschinen gefunden.

Diese moderne Legierung mit Elementen wie Molybdän, Chrom, Vanadium und Stickstoff ergibt eine weit homogenere Struktur und dadurch eine höhere Lebensdauer sowie eine grössere Korrosionsbeständigkeit.

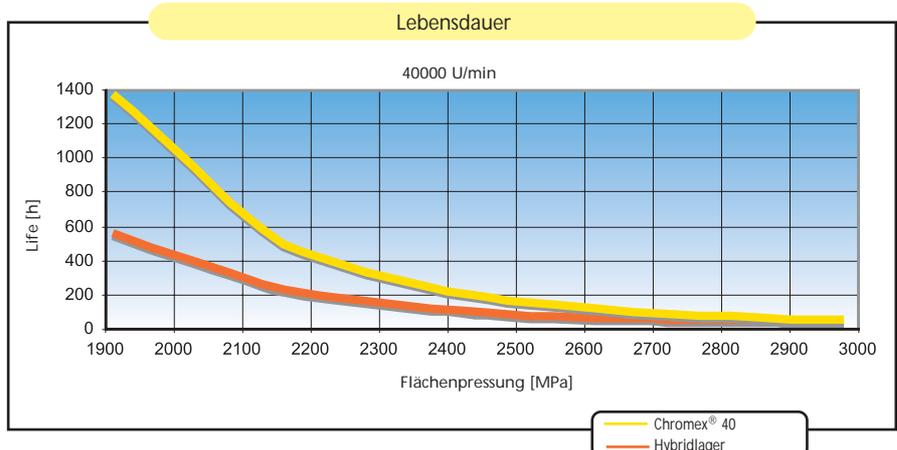
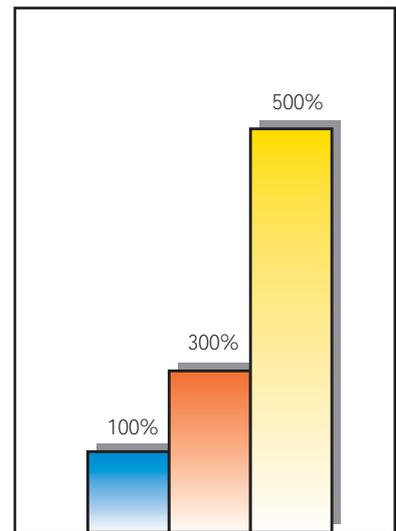
Da verbindliche Standards für die Berechnung von dynamischen Tragzahlen  $C_{33}$  für die Paarungen Keramikkugeln/100Cr6 bzw. Keramikkugeln/Chromex® 40 fehlen, verwendet SNFA die gleichen dynamischen Tragzahlen  $C_{33}$  wie für die Paarung Stahlkugeln/100Cr6.

Die Anpassung der berechneten Lebensdauerwerte erfolgt mit Faktoren, die auf Erfahrungswerten basieren.

Lebensdauer

- 100 Cr6 =  $L_{10_h}$
- 100 Cr6 + NS =  $L_{10_h} \times 3$
- Chromex® 40 + NS =  $L_{10_h} \times 5$

Chromex® 40 Lager werden grundsätzlich mit Keramikkugeln geliefert

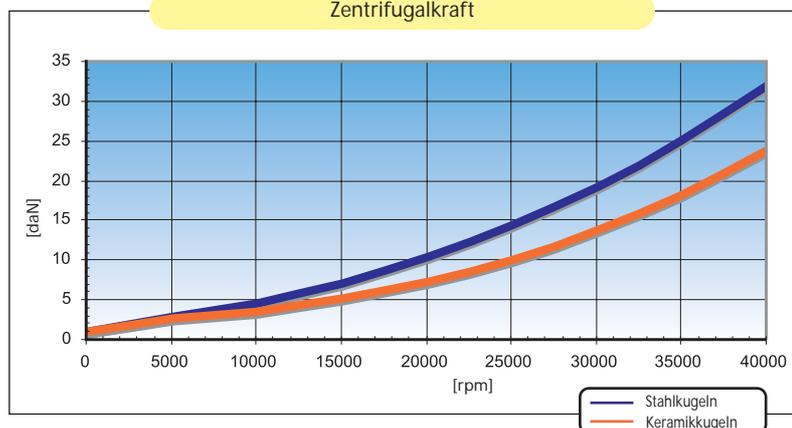


GRÖßERE KORROSIONSBESTÄNDIGKEIT

HOMOGENERE STRUKTUR

HÖHERE LEBENSDAUER

Zentrifugalkraft

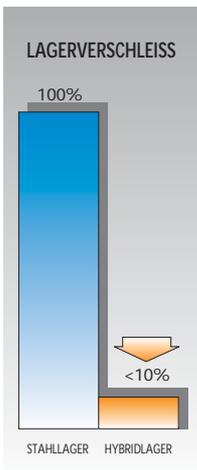
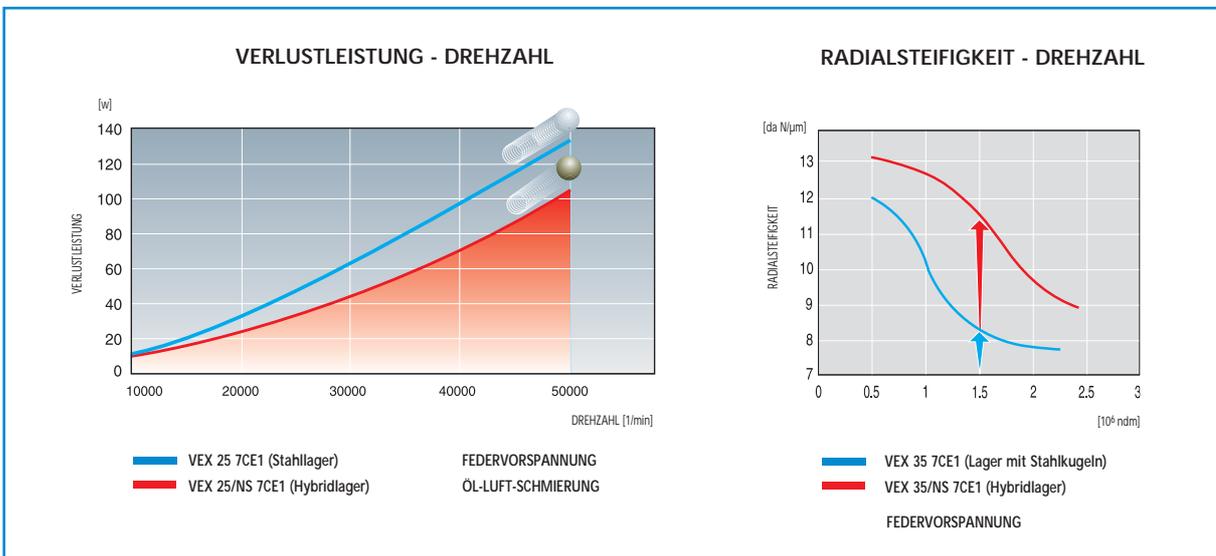


# SCHRÄGKUGELLAGER MIT KERAMIKKUGELN "NS" (Hybridlager)



Keramikugeln sind ein extrem wichtiges Element für Spindellager höchster Drehzahl. Sie vereinigen ein kleines spezifisches Gewicht, hohe Verschleissfestigkeit und grosse Härte zu einem optimalen Produkt.

In der Wälzlagerindustrie wird vorwiegend Siliziumnitrid (Si3N4) höchster Homogenität und Härte eingesetzt. Die Fabrikation von Keramikugeln ist heute so ausgereift, dass der Qualitätsstandard den der Stahlkugeln erreicht hat bzw. übertrifft.



Materialeigenschaften			Keramik Si <sub>3</sub> N <sub>4</sub>	Kugellagerstahl
Dichte	ρ	[g/cm <sup>3</sup> ]	3,19	7,80
Ausdehnungskoeffizient	α	[10 <sup>-6</sup> /°C]	20 - 1000 °C	3,20
			20 - 300 °C	-
E-modul	E	[kN/mm <sup>2</sup> ]	315	210
Poissonsche Zahl	ν		0,26	0,30
Härte HV10		20 °C	1700	700
Bruchzähigkeit	K <sub>IC</sub>	[MN/m <sup>3/2</sup> ]	6 - 8	25
Wärmeleitfähigkeit	λ	[W/m °C]	30-40	40-50
Temperatureinsatzgrenze		[°C]	ca. 1000	ca. 300
Wärmebeständigkeit			gut	schlecht
Formbeständigkeit			gut	gut
Korrosionsverhalten			gut	schlecht
Magnetismus			keiner	ja
Elektr. Isolation			gut	schlecht

# ABGEDICHTETE LAGER (kein Kontakt mit dem Innenring)



Die abgedichteten Lager der SNFA bieten die Vorteile grosser Zuverlässigkeit und Sicherheit. Die Dichtungen schützen die Lager vor Verunreinigungen und der Verschlechterung der Eigenschaften des Fettes.

Das Fett kann nicht aus dem Lager geschleudert werden und bildet eine Reserve. Diese Reserve, die sich u.a. an den Dichtungen bildet, sichert die gewünschte Leistung und Lebensdauer.

Hergestellt werden die abgedichteten Lager der Serie:

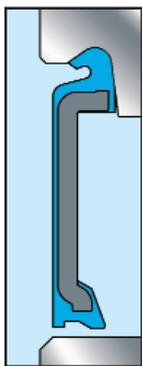
HB ISO 19, VEX ISO 10 und BS 200 ISO 02 (teilweise), ISO Reihen 10 und 19.



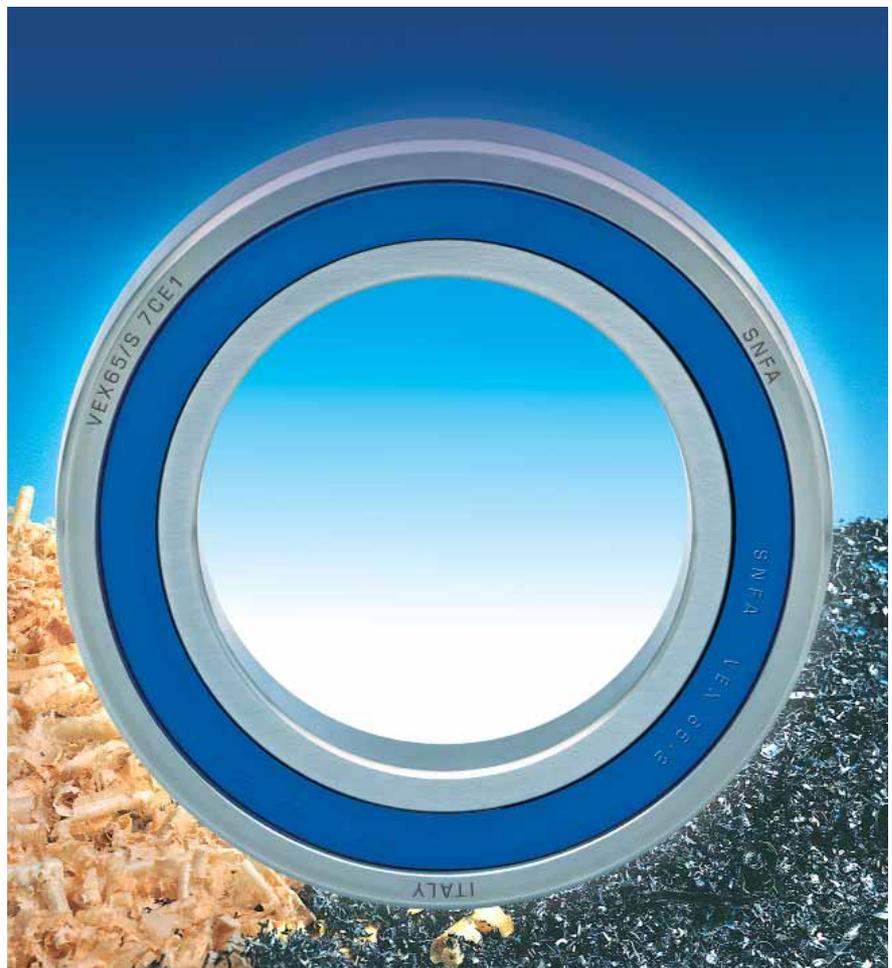


Damit werden folgende Risikofaktoren reduziert:

- Verunreinigungen durch das Waschen vor der Befettung;
- Restfeuchtigkeit;
- Verunreinigung des Schmierstoffes;
- Verwendung eines für die Anwendung ungeeigneten oder gealterten Schmierstoffes;
- Verlagerung und Alterung des Schmiermittels durch Luftzirkulation während des Einsatzes.



Die von SNFA zur Zeit hergestellten abgedichteten Lager sind speziell für hohe Drehzahlen geeignet. Dies ist der Anwendungsbereich, in dem die Vermeidung der Verschmutzung sowie der Einsatz des richtigen Schmiermittels besonders wichtig sind, um die geforderten Leistungen und Lebensdauer zu erreichen. Die Dichtungen wurden mit dem Ziel entwickelt, die innere Geometrie zu optimieren und dadurch die Sicherheit in der Anwendung zu garantieren.



## Maß- und Funktionstoleranzen der Schrägkugellager ABEC5 - ABEC 7 - ABEC 7/9 - ABEC 9 (ABMA STD 20)

### Innenring

(Werte in  $\mu\text{m}$ )

Bohrung in mm		> 0	>10	>18	>30	>50	>80	> 120	> 150	> 180	>250	> 315	> 400
		$\leq 10$	$\leq 18$	$\leq 30$	$\leq 50$	$\leq 80$	$\leq 120$	$\leq 150$	$\leq 180$	$\leq 250$	$\leq 315$	$\leq 400$	$\leq 500$
$\Delta_{dmp}$	ABEC 5	-5	-5	-6	-8	-9	-10	-13	-13	-15	-18	-23	
	ABEC 7	-4	-4	-5	-6	-7	-8	-10	-10	-12			
	ABEC 9	-2.5	-2.5	-2.5	-2.5	-4	-5	-7	-7	-8			
$K_{ia}$	ABEC 5	4	4	4	5	5	6	8	8	10	13	15	
	ABEC 7	2.5	2.5	3	4	4	5	6	6	8			
	ABEC 9	1.5	1.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	5	5			
$S_{ia}$	ABEC 5	7	7	8	8	8	9	10	10	13	15	20	
	ABEC 7	3	3	4	4	5	5	7	7	8			
	ABEC 9	1.5	1.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	5	5			
$S_d$	ABEC 5	7	7	8	8	8	9	10	10	11	13	15	
	ABEC 7	3	3	4	4	5	5	6	6	7			
	ABEC 9	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	2.5	2.5	4	5		
$V_{Bs}$	ABEC 5	5	5	5	5	6	7	8	8	10	13	15	
	ABEC 7	2.5	2.5	2.5	3	4	4	5	5	6			
	ABEC 9	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	2.5	2.5	4	5		
$\Delta_{Bs}$	ABEC 5	-40	-80	-120	-120	-150	-200	-250	-250	-300	-350	-400	
	ABEC 7	-40	-80	-120	-120	-150	-200	-250	-250	-300			
	ABEC 9	-40	-80	-120	-120	-150	-200	-250	-250	-300			
$\Delta_{B1s}$	ABEC 5	-250	-250	-250	-250	-250	-380	-380	-380	-500	-500	-630	
	ABEC 7	-250	-250	-250	-250	-250	-380	-380	-380	-500			
	ABEC 9												

ABEC 7/9 = Dimensionen gemäss ABEC 7 - ABEC 7/9 = Lauf- und Funktionstoleranzen gemäss ABEC 9

### Aussenring

(Werte in  $\mu\text{m}$ )

Aussendurchmesser in mm		> 0	> 6	>18	>30	>50	>80	>120	> 150	> 180	>250	> 315	> 400
		$\leq 6$	$\leq 18$	$\leq 30$	$\leq 50$	$\leq 80$	$\leq 120$	$\leq 150$	$\leq 180$	$\leq 250$	$\leq 315$	$\leq 400$	$\leq 500$
$\Delta_{Dmp}$	ABEC 5	-5	-5	-6	-7	-9	-10	-11	-13	-15	-18	-20	-23
	ABEC 7	-4	-4	-5	-6	-7	-8	-9	-10	-11	-13	-15	
	ABEC 9	-2.5	-2.5	-4	-4	-4	-5	-7	-8	-8	-8	-10	
$K_{ea}$	ABEC 5	5	5	6	7	8	10	11	13	15	18	20	23
	ABEC 7	3	3	4	5	5	6	7	8	10	11	13	
	ABEC 9	1.5	1.5	2.5	2.5	4	5	5	5	7	7	8	
$S_{ea}$	ABEC 5	8	8	8	8	10	11	13	14	15	18	20	23
	ABEC 7	5	5	5	5	5	6	7	8	10	10	13	
	ABEC 9	1.5	1.5	2.5	2.5	4	5	5	5	7	7	8	
$S_D$	ABEC 5	8	8	8	8	8	9	10	10	11	13	13	15
	ABEC 7	4	4	4	4	4	5	5	5	7	8	10	
	ABEC 9	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	2.5	2.5	2.5	4	5	7	
$V_{Cs}$	ABEC 5	5	5	5	5	6	8	8	8	10	11	13	15
	ABEC 7	2.5	2.5	2.5	2.5	3	4	5	5	7	7	8	
	ABEC 9	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	2.5	2.5	2.5	4	5	7	
$\Delta_{Cs}$ $\Delta_{C1s}$	ABEC 5	GLEICHE WERTE WIE INNENRING											
	ABEC 7	GLEICHE WERTE WIE INNENRING											
	ABEC 9	GLEICHE WERTE WIE INNENRING											

ABEC 7/9 = Dimensionen gemäss ABEC 7 - ABEC 7/9 = Lauf- und Funktionstoleranzen gemäss ABEC 9

Anmerkung: Auf Anfrage können Lager mit speziellen Toleranzen geliefert werden.

$\Delta_{dmp}$  = Abweichung des mittleren Bohrungsdurchmessers vom Nennmaß ( $\Delta_{dmp} = d_{mp} - d$ ).

$\Delta_{Dmp}$  = Abweichung des mittleren Aussendurchmessers vom Nennmaß ( $\Delta_{Dmp} = D_{mp} - D$ ).

$K_{ia}, K_{ea}$  = Rundlauf des Innenrings bzw. Aussenrings, gemessen am zusammengebauten Lager (Radialschlag).

$S_{ia}, S_{ea}$  = Planlauf der Seitenfläche, bezogen auf die Laufbahn des Innenrings bzw. Aussenrings, gemessen am zusammengebauten Lager (Axialschlag).

$S_d$  = Planlauf der Innenringseitenfläche zur Bohrung (Seitenschlag).

$S_D$  = Schwankung der Neigung der Mantellinie zur Bezugsseitenfläche des Aussenrings (Seitenschlag).

$V_{Bs}, V_{Cs}$  = Schwankung der Innenring- bzw. Aussenringbreite (Unterschied zwischen grösster und kleinster Breite).

$\Delta_{Bs}, \Delta_{Cs}$  = Abweichung der Innenring- bzw. Aussenringbreite vom Nennmass (Einzellager).

$\Delta_{B1s}, \Delta_{C1s}$  = Abweichung der Innenring- bzw. Aussenringbreite vom Nennmass (gepaarte Lager).

# Druckwinkel

Beim Schrägkugellager liegen unter Axialbelastung die Berührungspunkte Innenringlaufbahn/Kugel und Außenringlaufbahn/Kugel auf einer Linie. Diese Linie bildet mit der radialen Ebene einen Winkel, den Druckwinkel.

Bei SNFA-Schrägkugellagern hat dieser Winkel die Nominalwerte 12°, 15°, 18° und 25°.

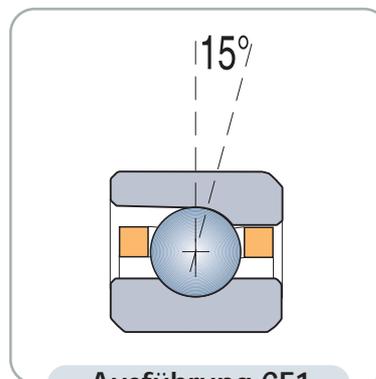
Bei der Baureihe BS 200 und BS-Sonderabmessung, die vorwiegend zur Aufnahme großer Axialbelastungen verwendet werden, beträgt der Nennwert des Druckwinkels 62°.

Das Betriebsverhalten der Schrägkugellager wird erheblich von der Größe des Druckwinkels "α" beeinflusst.

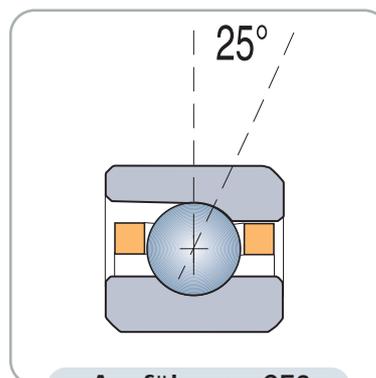
Im allgemeinen gilt, daß sich bei wachsendem Druckwinkel die axiale Steifigkeit erhöht, während sich die radiale verringert. Außerdem beeinflusst die Größe des Druckwinkels die Drehzahlgrenze, d.h. je größer der Druckwinkel, desto niedriger die Drehzahlgrenze.

Der Druckwinkel kann sich unter Betriebsbedingungen verändern, wie z.B. durch Montagesitze, unterschiedliche Betriebstemperaturen der Lagerringe, Zentrifugalkräfte (speziell bei Höchstdrehzahlen).

Eine optimale Lösung im Hinblick auf die Lebensdauer, den Drehzahlbereich und die Steifigkeit kann durch den Einbau von Lagersätzen mit verschiedenen Druckwinkeln erzielt werden (siehe Kapitel "Einbauanordnung").



Ausführung CE1



Ausführung CE3

DRUCKWINKEL	SNFA CODE
12°	0
15°	1
18°	2
25°	3
62°	62



Schrägkugellager sind besonders gut geeignet für hohe Drehzahlen.

Folgende Größen beeinflussen das Drehzahlverhalten:

**Betriebstemperaturen:** Die im SNFA-Katalog angegebenen Drehzahlen sind Höchstdrehzahlen im Dauerbetrieb, bei denen stationäre Temperaturen erreicht werden können = thermische Referenzdrehzahl.

**Schmierung:** Die max. Temperatur ist je nach Schmiertyp unterschiedlich. Für Fettschmierung ist die max. Temperatur niedriger als für ölgeschmierte Lager. Die Fettschmierung erlaubt nur etwa 65% der bei der Ölschmierung erreichten Drehzahl.

**Maßreihe:** Die Drehzahl eines Lagers wird durch den Faktor  $n \times d_m$  bestimmt. Um hohe Drehzahlen zu erreichen, muß der Lagerquerschnitt möglichst klein gehalten werden.

**Schmiegun:** Ein Konstruktionsmerkmal des Lagers, das vom Durchmesser der Kugel und dem Laufbahnradius bestimmt wird.

**Vorspannung:** Mit steigender Vorspannung sinkt die zulässige Drehzahl.

**Einbauanordnung:** Die max. Drehzahl wird durch den Einbau eines Einzellagers ermöglicht. Bei Lagersätzen aus zwei oder mehreren Lagern reduziert sich die Drehzahlgrenze entsprechend. Außerdem wird die Drehzahlgrenze durch die Paarungsart beeinflusst ("X" Anordnung meist kleinere Drehzahl als "O" Anordnung).

**Druckwinkel:** Mit zunehmenden Druckwinkel verringert sich die Drehzahlgrenze.

**Genauigkeit:** Die zulässige Drehzahl steigt mit zunehmender Genauigkeit.

Die angegebenen Grenzdrehzahlen beziehen sich auf ölgeschmierte Schrägkugellager (Minimalmengenschmierung) mit einem Druckwinkel von 15° der Genauigkeitsklasse ABEC 7, und sind nach Einbau und Vorspannung unterteilt.

**Ausnahme:** Lagerserie BS Druckwinkel 62°, grundsätzlich gefettet. Druckwinkel 15°, Genauigkeitsklasse ABEC 9.

Diese Werte müssen mit den nachfolgenden Korrekturfaktoren der Genauigkeitsklasse, des Druckwinkels und der Schmierungsart multipliziert werden.

## Berechnung der Drehzahlgrenze

$$n_{\max} [\text{rpm}] = V_h \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot K_4$$

	K <sub>1</sub> Anordnung und Vorspannung		K <sub>2</sub> Genauigkeit		K <sub>3</sub> Schmierstoff		K <sub>4</sub> Druckwinkel	
	SEA - SEB - VEB EX - VEX - E200 BS200 - BS	HB	SEA - SEB - VEB EX - VEX E200 - HB	BS200 - BS	ALLE SERIEN	SEA - SEB - VEB EX - VEX E200 - HB	BS200 - BS	
T	0.90	0.90						
DDL - FFL	0.80 - 0.77	0.83 - 0.80						
TDL - TFL	0.72 - 0.66	0.75 - 0.66	ABEC 9	1.00	ÖL	1.00	15°	
TDTL - TFTL	0.64 - 0.62	0.67 - 0.64						
DDM - FFM	0.65 - 0.61	0.78 - 0.74					62°	
TDM - TFM	<b>0.58</b> - 0.49	0.70 - 0.60	ABEC 7	0.90	1.00		1	
TDTM - TFTM	0.54 - 0.48	0.64 - 0.60			Fett	<b>0.65</b>	25°	
DDF - FFF	0.40 - 0.36	0.58 - 0.54	ABEC 5	0.81	0.90		<b>0.90</b>	
TDF - TFF	0.36 - 0.24	0.52 - 0.40						
TDTF - TFTF	0.32 - 0.27	0.48 - 0.41						

Demnach beträgt die theoretische max. Drehzahl eines Lagersatzes EX 50 9CE3 TDM (Tandem-O-Anordnung, 3er-Satz, ABEC 9, mittlere Vorspannung) mit Fettschmierung = 8750 U/min, d.h.

$$n_{\max} = 25.500 \times 0.58 \times 0.65 \times 0.9 = 8.650 \text{ U/min (TDM) (Fett) (25°)}$$

Die genannten Werte sind Richtwerte, gültig für eine feste

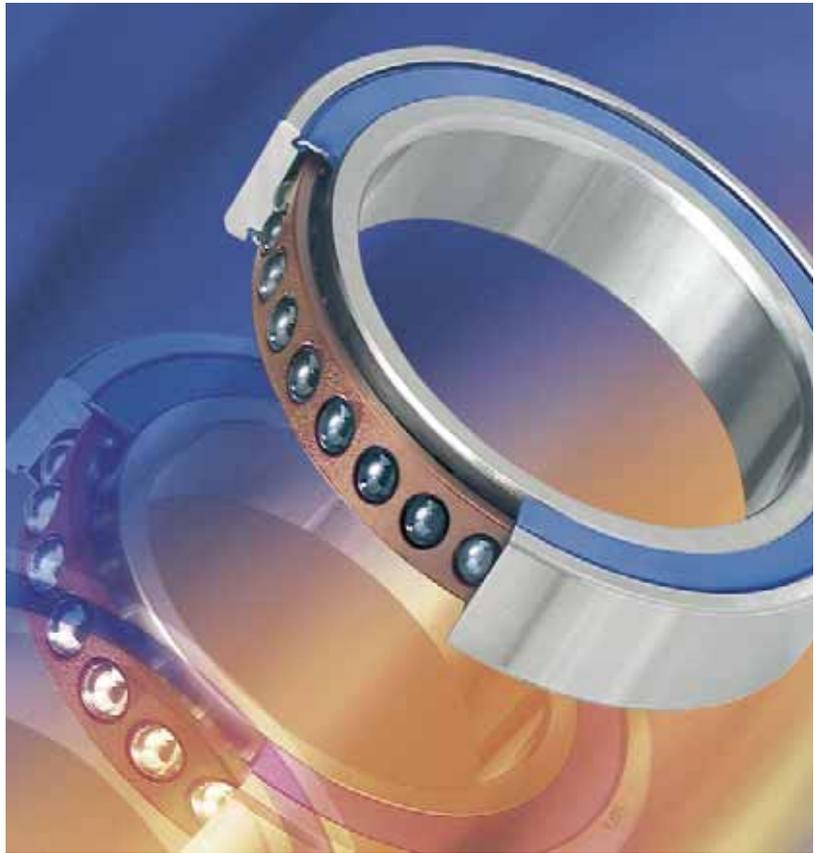
Vorspannung bei optimalen Arbeitsbedingungen, d.h. abhängig von Toleranzen, Montage, Temperatur, Schmierung usw.

Wichtig für ein gutes Laufverhalten ist der dynamische Auswuchtzustand.

Für ein Lagerpaar in TANDEM-Anordnung, vorgespannt mit Federn, beträgt die zulässige Drehzahl:

$$V_{\text{Tandem}} = V_{\text{Einzel}} \times 0.9$$

# Betriebstemperatur



Die zulässige Betriebstemperatur eines Schrägkugellagers, d.h. der Wert bei dem keine geometrischen und/oder strukturellen Veränderungen stattfinden, hängt von den verwendeten Werkstoffen ab.

Die Lagerringe und die Lagerkugeln (stabilisierter Kugellagerstahl) erlauben eine Höchsttemperatur von 150 bis 160°C, während die Käfigmaterialien; Hartgewebe "C", Polyamid "P"; lediglich eine Betriebstemperatur von ca. 120°C zulassen.

Durch den Einsatz von anderen Käfigmaterialien (z.B. Messing) kann eine höhere Betriebstemperatur erzielt werden.

Die Betriebstemperatur im Inneren der Lager ist erheblich höher als die an den Lagerringen gemessenen Temperaturen. So sollte bei einer Fettschmierung, die an den Lagerringen gemessene Temperatur einen Höchstwert von 55°C nicht überschreiten. Durch die Ölschmierung sind wesentlich höhere Betriebstemperaturen möglich (abhängig von dem jeweiligen Schmiersystem).

Das Schwingungsniveau eines Lagers ist ein eindeutiges Anzeichen für den Grad der Beschädigung des Lagers selbst und folglich auch der Maschine, in die es eingebaut ist.

In der Tat zeigt sich eine Beschädigung der Lager oder ein Funktionsfehler einer rotierenden Maschine in der Praxis häufig in einer Erhöhung der allgemeinen Schwingungen.

Mit Hilfe von Instrumenten zur Schwingungsanalyse lassen sich die so erhaltenen Spektren mit den, für die Lager typischen Frequenzspektren vergleichen, wodurch es möglich ist, zu bestimmen, ob die anormalen Schwingungen Folgen einer Beschädigung des Lagers sind oder von anderen Maschinenteilen verursacht werden.

Die, für die Lager typischen Frequenzen, sind von der Geometrie der Lager abhängig und können anhand der folgenden Formeln berechnet werden:

### Kugeldurchlauffrequenz am Lageraussering:

$$BPFO = \frac{n}{60} \cdot \frac{Z}{2} \left( 1 - \frac{\varnothing}{d_m} \cdot \cos \alpha \right) \quad [\text{Hz}]$$

### Kugeldurchlauffrequenz am Lagerinnenring:

$$BPFI = \frac{n}{60} \cdot \frac{Z}{2} \left( 1 + \frac{\varnothing}{d_m} \cdot \cos \alpha \right) \quad [\text{Hz}]$$

### Kugelumlauffrequenz:

$$BSF = 0.5 \cdot \frac{n}{60} \left( \frac{d_m}{\varnothing} - \frac{\varnothing}{d_m} \cdot \cos^2 \alpha \right) \quad [\text{Hz}]$$

### Käfigfrequenz:

$$FTF = 0.5 \cdot \frac{n}{60} \left( 1 - \frac{\varnothing}{d_m} \cdot \cos \alpha \right) \quad [\text{Hz}]$$

**n:** Drehzahl des Innenrings [Umdrehungen/min.]

**α:** Berührungswinkel [Grad] - Z: Anzahl der Kugeln - Ø: Kugeldurchmesser [mm]

Untenstehend eine Tabelle mit den häufigsten Ursachen für anomale Schwingungen:

Defekt	Dominierende Frequenz	Messrichtung der Schwingung	Bemerkungen
Beschädigung des Wälzkörpers	BSF	Radial	Defekte an den Wälzkörpern verursachen Schwingungsspitzenwerte bei Kugelumlauffrequenz und bei den Oberschwingungen (BSF, 2xBSF, 3xBSF usw.). Ausserdem sind solche Frequenzen häufig nach der Käfigfrequenz ausgerichtet (FTF), mit niedrigeren Spitzenwerten in Übereinstimmung zu $BSF \pm FTF$ , $2xBSF \pm FTF$ usw.
Beschädigung des Käfigs	BSF - FTF	Radial - Axial	Die Schwingungsfrequenz verändert sich ständig. Ausserdem verursachen die Wälzkörper in der Käfigführung anomale Frequenzen bei BSF.
Beschädigung der Ringe	BPFO -BPFI	Radial	Bei Defekten in den Laufbahnen verursachen die Kugeln eine Schwingung in Übereinstimmung zu ihrer Rollfrequenz BPFI und BPFO, je nach dem ob sich die Beschädigung auf dem Innen - oder Ausserring befindet. Im Allgemeinen entwickelt sich diese Erscheinung im Laufe der Zeit und beschädigt auch die Wälzkörper, was sich folglich auch auf BSF und deren Oberschwingungen auswirkt (siehe Beschädigung des Wälzkörpers).
Schmierung	Variabel	Radial - Axial	Im Falle von unzureichender Schmierung können Frequenzspitzenwerte im Bereich von einigen kHz auftreten, die auf mikroskopische Unebenheiten der Oberflächen zurückzuführen sind.
Unwucht des Rotors	$n/60$	Radial	Die häufigste Ursache von Schwingungen der Rotoren sind nicht bzw. ungenügend ausgewuchtete Rotormassen. Das führt dazu, dass die Umdrehungsachse des Rotors nicht mit der Trägheitsachse übereinstimmt, was zu hohen Schwingungen bei Wellenfrequenz führt.
Fluchtungsfehler	$n/60$ $0.5 \times n/60$	Radial - Axial	Eine andere häufige Ursache von Schwingungen ist ein zu grosser Fluchtungsfehler der Lagersitze. Wenn die Lagersitze nicht perfekt gleichachsig sind, so werden Schwingungen bei der Drehfrequenz der Lager und Oberschwingungen erreicht, die um so stärker sind, je grösser der Fluchtungsfehler der Lagerstellen und je höher die Drehzahl ist.
Übermässiges Spiel	$0.5 \times n/60$	Radial - Axial	Wenn zwischen zwei miteinander verbundenen mechanischen Teilen (z.B. Lager und Lagersitz) zu viel Spiel ist, so werden höhere Schwingungen bei der Drehfrequenz und bei der entsprechenden Unterschwingungen ( $0,5 \times n/60$ ) verursacht.

# Berechnung der theoretischen Lebensdauer L<sub>10</sub>; Dynamische Tragzahl C<sub>33</sub>

ISO - NORM 281

## Vorwort

Die Lebensdauer wird durch die Anzahl Umdrehungen oder Stunden bis zum Auftreten der ersten Schadenszeichen definiert.

Wenn man von gravierenden Versagen absieht, sind die üblichen Ausfallursachen folgende: Verschleiß, Blockieren, Überhitzung durch thermische oder mechanische Überbeanspruchung, die Materialermüdung sowie abrasiven Verschleiß der Laufflächen verursachen können.

Es handelt sich um komplexe und vielfach miteinander verknüpfte Erscheinungen, die rechnerisch schwierig oder gar nicht erfaßbar sind.

Eine Ausnahme ist die Materialermüdung für die eine Theorie besteht.

Aus dieser Theorie leitet sich die Berechnungsmethode der ISO-Norm 281 ab.

Die häufigste Ursache für den Lagerausfall bei hochdrehenden Anwendungen, wie Elektroschneidspindeln, ist nicht Materialermüdung, sondern Überhitzung und nachfolgendes Blockieren.

Folglich gilt es, jenen Faktoren Priorität zu geben, die die Leistungsfähigkeit der Lagerung unter solchen Bedingungen steigern, z.B. Herabsetzung der Leistungsverluste, Verbesserung der Schmierung und Kühlung, evtl. Beschränkung der Lagerbelastbarkeit.

Um das Risiko eines verfrühten Ausfalles der Lagerung zu minimieren, müssen schon in der Projektphase die ersten Lebensdauerberechnungen L<sub>10</sub> nach ISO 281 durchgeführt werden.

## Berechnung

Die ISO-Norm 281 besagt, daß die theoretische Lebensdauer einer Gruppe von Kugellagern des gleichen Typs und gleichem Druckwinkel mit Hilfe folgender Formeln zu berechnen ist:

$$L_{10} = \left( \frac{K \cdot C_{33}}{P_e} \right)^3 \quad (\text{in Millionen Umdrehungen})$$
$$L_{10h} = \frac{(L_{10} \cdot 10^6)}{(60 \cdot n)} \quad (\text{in Stunden})$$

Symbole:

**L<sub>10</sub>** Nennlebensdauer in Millionen Umdrehungen mit 10% Ausfallwahrscheinlichkeit.

**L<sub>10h</sub>** Nennlebensdauer in Stunden mit 10% Ausfallwahrscheinlichkeit.

**C<sub>33</sub>** Radiale oder axiale dynamische Belastbarkeit in daN bei der eine Million Umdrehungen mit einer Ausfallwahrscheinlichkeit von 10% erreicht werden kann. Die ISO 281 gibt eine Formel zur Berechnung von C<sub>33</sub> an, die von Qualitätsstahlringen ausgeht und die innere Lagergeometrie berücksichtigt, siehe technische Lagerdatei.

**K** Korrekturfaktor, von der Anzahl der Schrägkugellager "i" abhängig: **K = i<sup>0,7</sup>**.

**P<sub>e</sub>** äquivalente dynamische Belastung in daN; entspricht der kombinierten Wirkung von F<sub>a</sub> und F<sub>r</sub> auf eine Gruppe von "i" Lagern.

**F<sub>a</sub>** Axialbelastung der Lagergruppe (daN);

**F<sub>r</sub>** Radialbelastung der Lagergruppe (daN);

**n** Drehzahl der Lagergruppe (U/min).



- Die ISO-Norm 281 liefert die Berechnungsmethode für die Belastbarkeit ( $K \cdot C_{33}$ ) einer Gruppe von Kugellagern des gleichen Typs, wenn ein Lagersatz aus Last- und Vorlastlagern besteht, so daß die entsprechenden Lastanteile festgelegt werden können und die Lebensdauer für beide, Last- und Vorlastlager, separat berechnet werden kann.

- Die Lebensdauern  $L_{10}$  /  $L_{10h}$  sind einerseits von der Betriebsbelastung sowie der Drehzahl, andererseits vom  $C_{33}$ , d.h., von der inneren Lagergeometrie abhängig. Die ISO-Norm 281 führt die Möglichkeit auf, bei der Berechnung der Lebensdauer weitere Parameter einzubeziehen.

Diese, als korrigiert bezeichneten Lebensdauerwerte werden  $L_{10a}$  /  $L_{10ha}$  genannt.

Man erhält sie, indem der geeignete Korrekturfaktor "a" unter Berücksichtigung folgender Parameter festgelegt wird:

- Viskosität und Sauberkeit des Schmiermittels
- Reinheitsgrad des Stahls
- Ermüdungsbeständigkeit des Stahls

- Diese Berechnungen können aufgrund der Datenunsicherheit zu Fehleinschätzungen führen.

Sollte es jedoch notwendig sein, den Einfluß obiger Parameter einzuschätzen, bitten wir um diesbezügliche Kontaktaufnahme.

- Die Berechnungsmethode nach der ISO-Norm 281 gilt für Stahlkugellager in Drehzahlbereichen, bei denen die auf die Kugeln wirkenden Zentrifugalkräfte im Vergleich zur Belastung vernachlässigbar sind. Sollten die Zentrifugalkräfte jedoch nicht vernachlässigbar sein, kann SNFA Berechnungsunterlagen liefern, die diese Kräfte berücksichtigen.

# Äquivalente dynamische Belastung

(ISO Norm)

Die äquivalente dynamische Belastung errechnet sich wie folgt:

$$P_e = X F_r + Y F_a \quad (\text{daN})$$

Die Werte X und Y gehen aus den Tabellen hervor.

Im Falle eines vorgespannten Lagersatzes:

- 1) Wenn die Lagerung nur radial belastet wird, entspricht die axiale Belastung der Vorspannung

$$F_a = P_r \quad (\text{daN})$$

- 2) Wenn die Lagerung radial und axial belastet wird:

- bei fest vorgespannten Lagersätzen:
  - a) bei  $F_a \leq 3 P_r$  gilt  $F_a = 2/3 F_a + P_r$
  - b) bei  $F_a > 3 P_r$  gilt  $F_a = F_a$

- bei mit Federn vorgespannten Lagersätzen:

$$F_a = F_a + P_r \text{ Feder}$$

Einzellager oder TANDEM-Anordnung (T)

$\alpha$	$\frac{F_a}{i C_o}$	e	$\frac{F_a}{F_r} \leq e$		$\frac{F_a}{F_r} > e$	
			X	Y	X	Y
			15°	0,015 0,029 0,058 0,087 0,12 0,17 0,29 0,44 0,58	0,38 0,40 0,43 0,46 0,47 0,50 0,55 0,56 0,56	1
25°	-	0,68	1	0	0,41	0,87
62°	-	2,65	2,06	0,54	0,98	1

# Kombinierte Lebensdauer L10

Ist das Arbeitsprofil, d.h. Drehzahlen "n" mit den dazugehörigen Belastungen "F" sowie deren prozentualer Anteil "u" am Gesamtzyklus bekannt, kann eine

F1	n1	u1
F2	n2	u2
F3	n3	u3
Fn	nn	un

kombinierte Lebensdauer des Lagers nach untenstehender Formel bestimmt werden, wobei zunächst L10 (100%) für jeden Arbeitsprofilpunkt berechnet werden muß.

$$L_{10 \text{ kombiniert}} = \frac{100}{\frac{u_1}{L_{10_1}} + \frac{u_2}{L_{10_2}} + \dots + \frac{u_n}{L_{10_n}}}$$

# Zuverlässigkeitsfaktor

(ISO-Norm 281)

Durch die Bezeichnung L10 wird darauf hingewiesen, daß 10% der Lager eine unterhalb der errechneten Grenze liegende Lebensdauer aufweisen können. Die den verschiedenen Zuverlässigkeitsgraden entsprechenden Lebensdauern erhält man, indem die 90%ige Zuverlässigkeit L10 mit den folgenden Korrekturfaktoren multipliziert wird:

Zuverlässigkeit	Lebensdauer	Koeffizient
50%	L50	= 5
90%	L10	= 1
95%	L5	= 0.62
96%	L4	= 0.53
97%	L3	= 0.44
98%	L2	= 0.33
99%	L1	= 0.21

· L10

Diese theoretischen Koeffizienten, denen sich auch die ISO-Norm 281 bedient, besagen, daß die statistische Verteilung des Ausfalls durch Ermüdung innerhalb einer identischen Population unter gleichen Betriebsbedingungen betriebener Lager der genau definierten Weibull-Verteilung folgt.

Da verbindliche Standards für die Berechnung von dynamischen Tragzahlen C33 für die Paarungen Keramikkugeln/100Cr6 bzw. Keramikkugeln /Chromex®40 fehlen, verwendet SNFA die gleichen dynamischen Tragzahlen C33 wie für die Paarung Stahlkugeln/100Cr6.

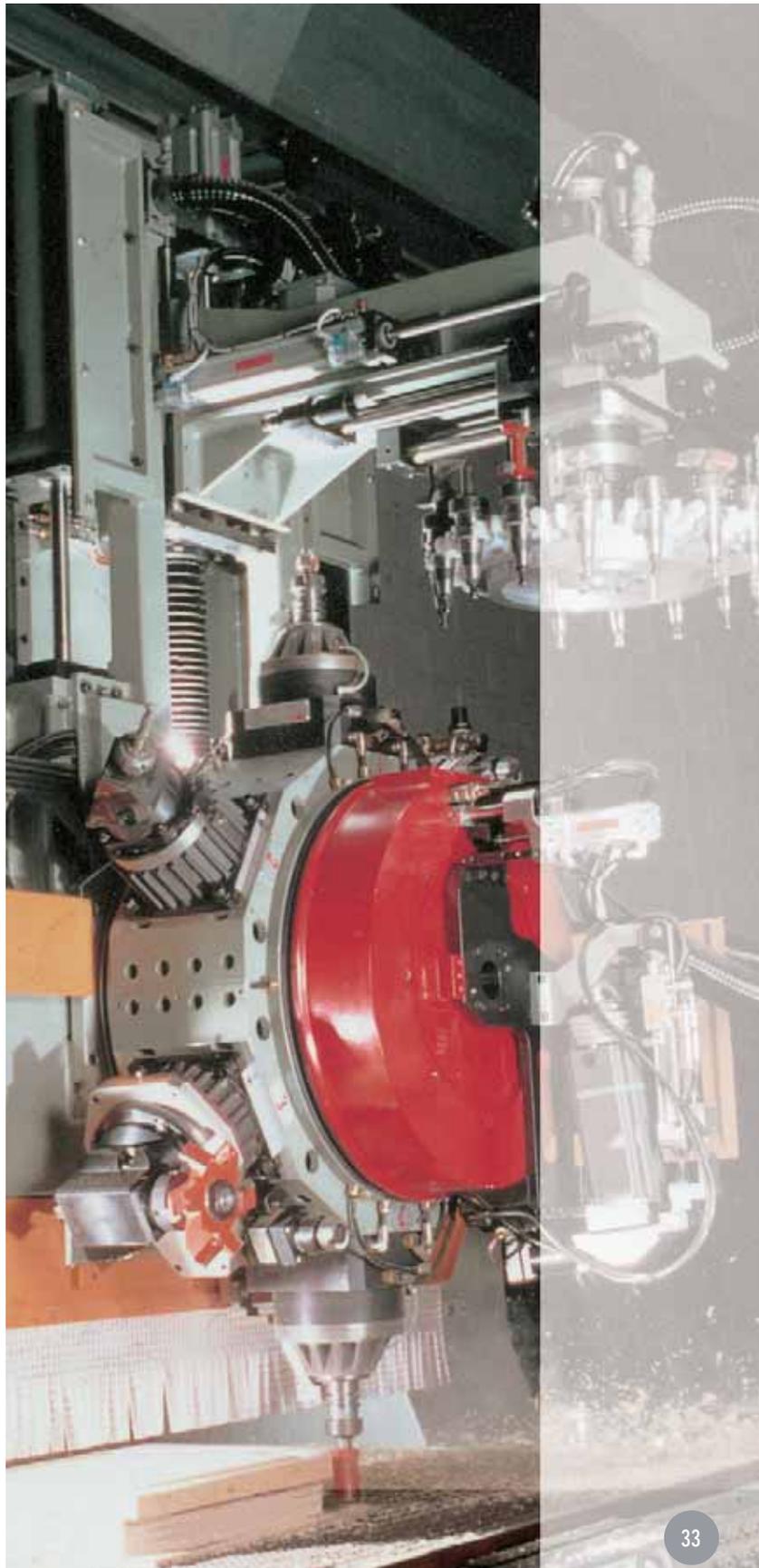
Die Anpassung der berechneten Lebensdauerwerte erfolgt mit Faktoren, die auf Erfahrungswerten basieren.

Die statische Tragzahl  $C_0$  wird angewendet um festzustellen, ob ein stationäres oder langsam drehendes Lager kurzen Belastungsspitzen, wie sie bei Stößen oder anderen Manipulationen vorkommen können, ohne Schaden widerstehen kann.

Im Werkzeugmaschinenbereich wird kontrolliert, ob die Lösekraft beim Werkzeugwechsel diesen Wert nicht überschreitet.

Die ISO-Norm 76 - 1987 definiert den  $C_0$ -Wert als jene statische Belastung, die im Kontaktbereich zwischen der meistbelasteten Kugel und der Kontaktfläche des Lagerringes  $420 \text{ daN/mm}^2$  entspricht.

In Präzisions-Schrägkugellagern führt eine gleich große oder größere Beanspruchung zur plastischen Deformation.



# Statische Lagerprüfung und äquivalente statische Belastung $P_o$

Der Zweck einer statischen Lagerkontrolle ist, sicherzustellen, daß außerordentliche äußere Belastungen, die auf eine Gruppe von "i" Lagern einwirken, keine permanente Deformation im Inneren des Lagers hervorrufen.

Um diese Prüfung auszuführen, müssen zunächst die von außen einwirkenden Belastungen mit den Radial- und Axialkomponenten  $F_r$  bzw.  $F_a$  in eine gleichwertige statische

Belastung  $P_o$  umgewandelt und anschließend mit der statischen Belastbarkeit  $C_o$  des Lagers oder der Lagergruppe verglichen werden.

Die äquivalente statische Belastung  $P_o$  wird definiert als die radiale oder axiale Belastung, die dieselbe Flächenpressung bewirken würde wie die reelle Belastung.

Den  $P_o$ -Wert erhält man aus folgender Formel:

$$P_o = X_o \cdot F_r + Y_o \cdot F_a \text{ (daN)}$$

**$F_r$**  effektive radiale Belastung (daN)

**$F_a$**  effektive axiale Belastung (daN)

**$X_o$**  radialer Belastungsfaktor

**$Y_o$**  axialer Belastungsfaktor

Tabelle 1 - Einzellager oder Tandem-Anordnung (T)

$\alpha$	$X_o$	$Y_o$
15°	0.50	0.46
25°	0.50	0.38

Tabelle 2 - "O"-Anordnung (DD)  
"X"-Anordnung (FF)

$\alpha$	$X_o$	$Y_o$
15°	1	0.92
25°	1	0.76

Nachstehende Tabelle zeigen die  $X_o$ - und  $Y_o$ -Werte für Einzellager, Tandem-, "O"- und "X"-Anordnungen.

Die Tragfähigkeit eines Lagers bei statischer Belastung ist gewährleistet, wenn folgende Voraussetzung erfüllt ist:

$$i \cdot C_o / P_o \geq S_o$$

**$i$**  Anzahl der Lager

**$1 \cdot C_o$**  statische Tragzahl (daN)

**$S_o$**  Sicherheitsfaktor mit folgenden Werten:

$S_o = 2$  bei konstanten Betriebsbedingungen

$S_o = 3$  bei sehr häufigen statischen Belastungen

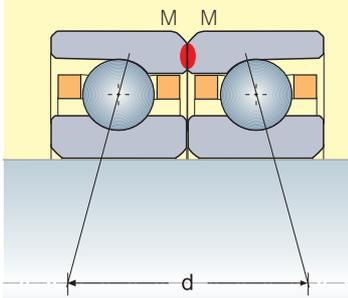
Bei Verwendung von Hybridlagern (Kugelmateriale = Keramik) müssen detailliertere Berechnungen durchgeführt werden. Wenden Sie sich in diesem Fall bitte an die Fa. SNFA.

Optimale Ausnutzung der Lagereigenschaften ist gleichbedeutend mit Erhöhung der Betriebsdauer, Verminderung des Energieverlustes durch Wärmeentwicklung, Verbesserung der dynamischen Eigenschaften (Steifigkeit und Drehzahl) sowie Senkung der Betriebskosten.

Dem jeweiligen Einsatz entsprechend müssen wichtige Kriterien wie die Drehzahl, die axiale und radiale Steifigkeit, die Grösse und Richtung der Belastungen, der Einbauraum und die Schmierungsart berücksichtigt werden. Dies ermöglicht eine geeignete Wahl der zu verwendenden Lagerart und -anzahl.

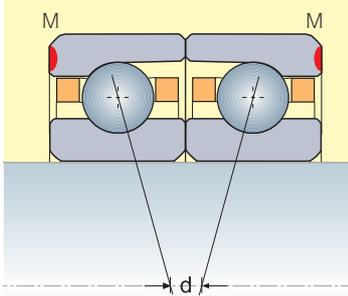
Schräglager bieten zahlreiche Kombinationsmöglichkeiten hinsichtlich ihrer Bauform, Anzahl und Anordnung. Nachstehend die geläufigsten Anordnungen bestehend aus zwei Lagern und deren charakteristischen Eigenschaften.

## Zweifachanordnung



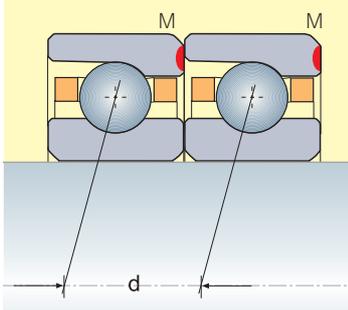
### O-Anordnung (DD)

Symmetrische Anordnung.  
Zur Aufnahme von Radial- und Axialbelastungen in ein oder zwei Richtungen geeignet. Fähig, Kippmomente durch die breite Stützfläche ( $d$ ) aufzunehmen.  
Die Vorspannung kann je nach Anwendung unterschiedlich sein.  
Beide Lager können verschiedene Druckwinkel haben.



### X-Anordnung (FF)

Gleiche Eigenschaften wie O-Anordnung, jedoch zur Aufnahme von Kippmomenten weniger geeignet. Die verminderte Stützfläche ( $d$ ) führt zu einer geringeren Systemsteifigkeit und dadurch zu einer größeren Toleranz gegenüber eventuellen Fluchtfehlern der Lagersitze.



### Tandem-Anordnung (T)

Kann hohe Axialbelastungen nur in einer Richtung aufnehmen. In den meisten Fällen muss das Lagerpaar mittels Federn vorgespannt werden. Die maximal aufnehmbaren Radialbelastungen und die Radialsteifigkeit stehen im Verhältnis zur Vorspannung.  
In diesem Fall müssen die Druckwinkel unbedingt identisch sein.

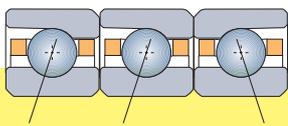
M = "Markierung" = Schriftseite des Aussenringes

# Mehrfachanordnung

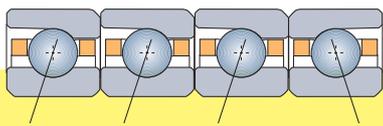
Bei Anwendungsfällen, bei denen große Belastungen auftreten, bzw. eine höhere Steifigkeit gefordert wird, kann die Zweifachanordnung durch eine Mehrfachanordnung ersetzt werden.

Beispiele:

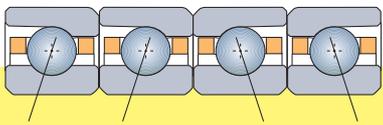
**TD**



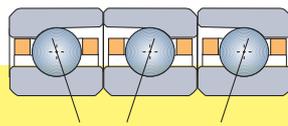
**3TD**



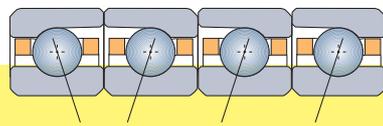
**TDT**



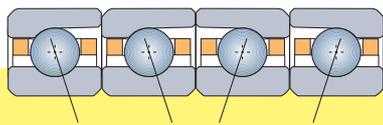
**TF**



**3TF**



**TFT**



# Sätze bestehend aus verschiedenen Lagerarten

Lagersätze in Zweifach- oder Mehrfachanordnung können aus Lagern mit verschiedenen Druckwinkel sowie verschiedenen Baureihen (Serie und Abmessungen) bestehen.

Ausgenommen davon sind Lagersätze in "Tandem-Anordnung", die sich aus identischen Wälzlagern zusammensetzen müssen.

Die wesentlichen Vorteile dieser Anordnung sind:

- bessere Gestaltung des Einbauraumes und Optimierung der Tragfähigkeit und Steifigkeit
- mögliche Verwendung niedriger Vorspannungen und dadurch:
- geringere Betriebstemperaturen bei gleichbleibender Betriebsbelastungen und Drehzahlen
- höhere Drehzahlgrenzen bei gleichbleibender Belastung.

Diese Lösung bietet eine Alternative zur Erhöhung der Vorspannung und ermöglicht eine Verringerung der Lageranzahl im Satz.

**Gruppo composto da:**

**2 cuscinetti universali = DU**

**3 cuscinetti universali = TU**

**4 cuscinetti universali = 4U**

**5 cuscinetti universali = 5U**

So kann z.B. ein TD-Satz bestehen aus:

**EX 80 7CE3 T / EX 75 7CE1 DL**

Unterschiedliche Baureihen, Abmessungen und Druckwinkel, d.h. 2 x EX80 - 25°, 1 x EX75 - 15°.

Das Betriebsverhalten der gepaarten Sätze hängt stark von der Genauigkeit der jeweiligen Umbauteile ab.

Bei der Paarung der Lager wird nach folgenden Grundsätzen gearbeitet:

- **größtmögliche** Genauigkeit der Vorspannung durch reduzierte Stirnflächenabweichung, homogene Druckwinkel

- **minimaler** Unterschied der Bohrungs- und Außendurchmesser (höchstens 1/3 der jeweiligen zulässigen Toleranz)

Um ein optimales Betriebsverhalten der Lagersätze sicherzustellen, sind folgende Punkte zu beachten:

Lagersätze dürfen nicht geteilt, bzw. mit Lagern von anderen Gruppen ausgetauscht werden. Montage gemäß dem auf der Mantelfläche markierten "V".

Die Richtung des "V" 's entspricht der Richtung der äußeren Axialkraft "Fa".

Die Mittellinie des "V" 's markiert die max. Unrundheit der einzelnen Lager.



# Lager mit Universalpaarung "U"

Universallager "U" sind wie folgt definiert: Unter einer vordefinierten axialen Kraft befinden sich die Seiten des Innen- und Außenringes in einer Flucht.

Die vordefinierten Axialkräfte sind:

leicht (L), mittel (M) und stark (F) und entsprechen den Werten in den technischen Lagertabellen.

Sie werden mit "UL", "UM" und "UF" bezeichnet.

Diese Lagerart bietet die Möglichkeit wahlweise O-, X-, oder T- Konfigurationen zu erstellen.

Bei Kombinationen von mehr als 2 Lagern müssen die Vorspannungswerte mit folgenden Faktoren multipliziert werden:

Paarung	Multiplikationskoeffizient
"O"-DD - "X"-FF	1,00
TD - TF	1,35
3TD - 3TF	1,60
TDT - TFT	2,00

Universallager sind ein Kompromiß betreffend Lagerhaltung und maßlicher Homogenität. Die bei Lagergruppen definierte Gleichmäßigkeit des Druckwinkels, sowie der Innen- und Außendurchmesser können nur bei der Montage durch Selektion erreicht werden.

Diese Gleichmäßigkeit ist speziell für Tandemanwendungen und bei hohen Drehzahlen von großer Bedeutung.

Neben den Einzel-Universallagern befinden sich in unserem Programm noch die Duplex-Universal Ausführung, die alle Vorteile einer gepaarten Lagergruppe haben.

Sie können in "O" (DD), "X" (FF) und T eingesetzt werden.

**Bezeichnung:** DUL (leichte), DUM (mittlere) und DUF (starke) Vorspannung.

**Bemerkung:** DU-Lager dürfen nicht mit Lagern anderer Gruppen vertauscht werden.

Die in den technischen Tabellen angegebenen Werte wie Drehzahl und Steifigkeit gelten für die angegebenen Vorspannungen.

Für Sätze (TD - TF) aus 3 universalgepaarten Lagern müssen unter Verwendung der "Multiplikationskoeffizienten" die neuen Werte ermittelt werden.

Die Vorspannung kann als axiale Belastung, die permanent auf die Lager wirkt, definiert werden.

Die Vorspannung ist erforderlich, um eine korrekte Funktion bei externer Belastung zu gewährleisten.

Die Vorspannung kann fest (Lager gegeneinander verspannt) oder elastisch (mit Federn) erzeugt werden.

Bei der festen Vorspannung wird der Spalt zwischen den belasteten und den vorgespannten Lagern durch Zusammenspannen (axiale Befestigung) eliminiert.

Während des Betriebes kann die Vorspannung durch thermische Effekte stark ansteigen. Dies hat einen großen Einfluß auf die max. erreichbare Drehzahl.

Bei der elastischen Vorspannung wird der thermische Effekt durch die Federn weitgehend aufgenommen. Die Variation der Vorspannung ist daher sehr gering. Folglich werden die erreichbaren max. Drehzahlen quasi nicht beeinflusst.

Die Vorspannung hat einen großen Einfluß auf die erreichbaren Drehzahlen, auf die Steifigkeit sowie die zulässigen externen Belastungen.

Um einen weiten Bereich der Anwendungen abdecken zu können, finden Sie in den technischen Lagertabellen die Vorspannungen leicht (L), mittel (M) und stark (F). Für spezifische Anwendungen liefern wir speziell definierte Vorspannungen .

In den Lagertabellen finden sich auch die den Vorspannungen entsprechenden max. erreichbaren Drehzahlen.

Bei einer festen Vorspannung können die eingestellten Werte unter Betriebsbedingungen stark ansteigen.



## Druckwinkel und Vorspannung

100%ige Kontrolle mit Spezialmeßgeräten - Genauigkeit besser 30 Winkelminuten  
Vorspannung von Lagern und Gruppen - Messung des Spaltes mittels einer Spezialpresse zwischen den unbelasteten und den vorgespannten Lagern - Genauigkeit der Spaltabstimmung besser 1µm.

Ursachen:

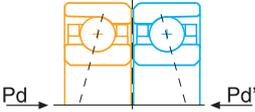
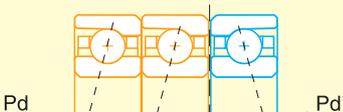
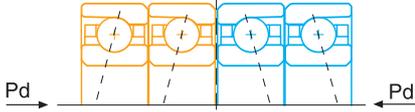
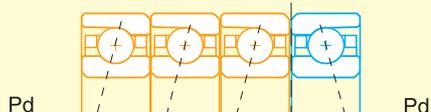
- harter Sitz;
- größere Wärmedehnung des Innenrings und der Kugeln als der Außenring (externe Kühlung);
- Zentrifugaleffekte bei sehr hohen Drehzahlen.

In solchen Fällen sollte mit reduzierten Vorspannungen im kalten Zustand gearbeitet werden, um im Betriebszustand innerhalb der vorgesehenen Werte zu liegen.

# Abhebkraft

Bei einem wechselseitig vorgespannten Lagersatz entspricht die Abhebkraft ( $P_d$ ) dem Grenzwert der äußeren axialen Belastung, oberhalb welcher die Vorspannung ihre Wirkung verliert. Bei Überschreiten dieses Grenzwertes ist eine ständige Berührung der Kugeln und Laufbahnen nicht mehr gewährleistet, im Lagerinnern entsteht ein Gleiteffekt und das, die Vorspannung tragende Lager, unterliegt einem raschen Verschleiß.

Die zulässigen Abhebkräfte können anhand folgender Tabelle berechnet werden:

BELASTUNG		VORSPANNUNG	
Belastung tragende Lager $\alpha_1$	Vorspannung tragende Lager $\alpha_2$	$\alpha_1 = \alpha_2$	$\alpha_1 = 25^\circ; \alpha_2 = 15^\circ$
<b>DD</b> 		$P_d = 2,83 \cdot Pr$ $P_{d'} = 2,83 \cdot Pr$	$P_d = 5,9 \cdot Pr$ $P_{d'} = 1,75 \cdot Pr$
<b>TD</b> 		$P_d = 4,16 \cdot Pr$ $P_{d'} = 2,08 \cdot Pr$	$P_d = 9,85 \cdot Pr$ $P_{d'} = 1,45 \cdot Pr$
<b>TDT</b> 		$P_d = 2,83 \cdot Pr$ $P_{d'} = 2,83 \cdot Pr$	$P_d = 5,9 \cdot Pr$ $P_{d'} = 1,75 \cdot Pr$
<b>3TD</b> 		$P_d = 5,4 \cdot Pr$ $P_{d'} = 1,8 \cdot Pr$	$P_d = 13,66 \cdot Pr$ $P_{d'} = 1,33 \cdot Pr$

Bemerkung:

- Bei Einsatz von X-Anordnungen FF, TF, TFT, 3TF können obige Werte ebenfalls verwendet werden.
- Achtung:  $P_d$  wird jedoch  $P_{d1}$ .

## Axiale Steifigkeit

Der Wert  $R_a$  (daN/ $\mu\text{m}$ ) eines Wälzlagers entspricht der äußeren Belastung, die eine elastische Verformung von  $1\mu\text{m}$  verursacht. Die axiale Steifigkeit hängt von der Vorspannung und dem Druckwinkel ab: sie erhöht sich mit dem Ansteigen dieser 2 Faktoren.

Der Wert  $R_a$  entspricht dem Verhältnis der Abhebkraft ( $P_d$ ) zur axialen Federung des Vorspannung tragenden

Lagers unter Einwirkung einer der Vorspannung gleichen Axialkraft. Die axiale Steifigkeit ( $R_a$ ) bleibt konstant solange die äußere Kraft nicht den Wert der Abhebkraft überschreitet.

Wenn der Kurvenverlauf der axialen Federungen bekannt ist, kann man die axiale Steifigkeit und die Abhebkraft folgendermaßen graphisch feststellen:

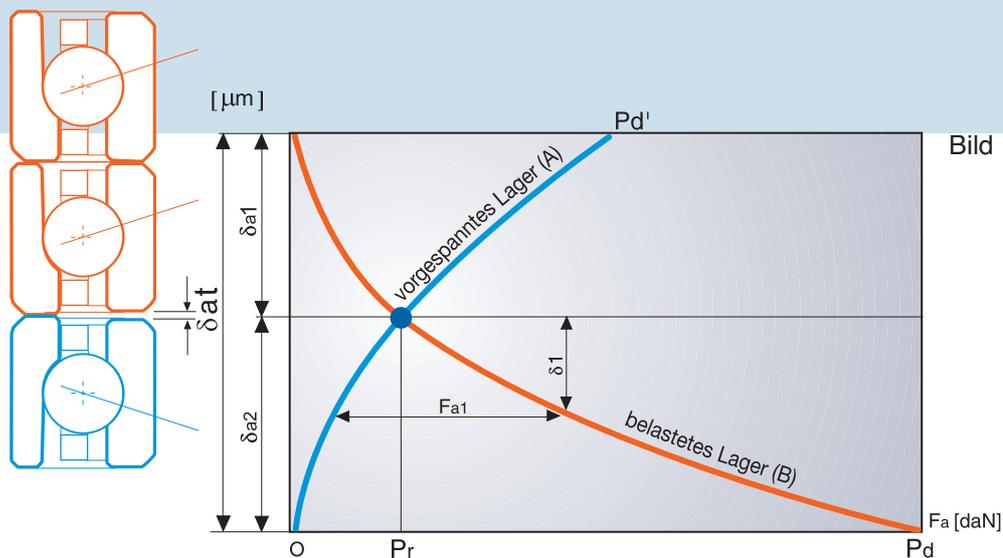


Bild 1

$\delta_{a1}$  : axiale Federung der Lager, entsprechend der Vorspannung (Abstand zwischen den Ringen).

$\delta_1$  : axiale Federung des Lagersatzes unter axialer Belastung  $F_{a1}$ .

$\delta_{a1}$  : axiale Federung der Belastung tragenden Lager unter Vorspannung.

$\delta_{a2}$  : axiale Federung der Vorspannung tragenden Lager unter Vorspannung.

$$R_a = \frac{F_{a1}}{\delta_1} = \frac{P_d}{\delta_{a2}}$$

## Radiale Steifigkeit

Die radiale Steifigkeit ist vom Druckwinkel und von der Vorspannung abhängig. Im Gegensatz zur axialen Steifigkeit verringert sie sich bei steigendem Druckwinkel. Sie ist nicht konstant, sondern verändert sich gemäß dem Verhältnis zwischen axialer und radialer Belastung. Die radiale Steifigkeit kann nicht - im Gegensatz zur axialen - direkt an der Spindel der Werkzeugmaschine gemessen werden. Die an der Spindelnase meßbare radiale elastische Verformung ist die Summe der

Verformungen der Wälzlager und der Spindel, und entspricht dem Verhältnis zwischen Achsabstand und Angriffspunkte der äußeren Kräfte. Um die radiale Steifigkeit der Spindel zu bestimmen, muß der elastische Bereich festgestellt werden. Dabei muß man das Verhalten der Wälzlager und der Welle unter kombinierten Belastungen berücksichtigen. Der Wert der radialen Steifigkeit eines Lagerpaares (O- oder X-Anordnung) kann wie folgt empirisch berechnet werden:

$\alpha = 15^\circ$	$R_r = 6 \cdot R_a$	wobei: $R_a$ = axiale Steifigkeit
$\alpha = 25^\circ$	$R_r = 2 \cdot R_a$	wobei: $R_r$ = radiale Steifigkeit

# Abstandshülsen

In vielen Einbaufällen werden zwischen den spielfrei eingestellten (vorgespannten) Lagern Abstandshülsen montiert. Dadurch werden die Stützpunkte der Lager voneinander entfernt und ein grösseres Einspannmoment erreicht. Ausserdem entsteht dadurch Platz für Schmierbohrungen oder Schmierpalten.

Um die Genauigkeit und Vorspannung der Lager zu gewährleisten, müssen innerer und äusserer Zwischenring gleich breit und planparallel sein.

Es empfiehlt sich die Seitenflächen der Abstandshülsen gleichzeitig zu schleifen und zu läppen.

Um Beschädigungen während der Montage und des Einsatzes zu vermeiden, sollte das Material der Zwischenringe oberflächengehärtet (min 45 HRC) oder vergütet sein, wie z.B.:

- ISO 100 Cr 6 (SAE 52100) : gehärtet
- UNI 38 Ni Cr Mo 4 (SAE 9840) : gehärtet und angelassen
- UNI 18 Ni Cr Mo 7 (SAE 4320) : einsetzgehärtet

Wenn gewünscht, kann die Vorspannung wie folgt verändert werden:

*O-Anordnung (DD):*

- Um die Vorspannung zu erhöhen • Verringerung der Breite der inneren Abstandshülse.
- Um die Vorspannung zu verringern • Verringerung der Breite der äusseren Abstandshülse.

*X-Anordnung (FF):*

- Um die Vorspannung zu erhöhen • Verringerung der Breite des äusseren Zwischenringes.
- Um die Vorspannung zu verringern • Verringerung der Breite des inneren Zwischenringes.

Für die Berechnung der Breitenanpassung der Abstandshülsen können die Werte der axialen Federung der Einzellager unter standardmässigen Vorspannungen den nachfolgenden Tabellen entnommen werden.

Die Zwischenwerte der Vorspannung können gemäss nachstehender Formel berechnet werden:

$$\delta a = k_a \cdot 2 \cdot 10^{-3} \cdot Pr^{2/3} \cdot Z^{-2/3} \cdot \emptyset^{-1/3} (\sin \alpha)^{-5/3}$$

wobei:

$k_a = 1$	(SEA, SEB, EX, E200)
1.18	(VEB, VEX)
1.16	(HB)
1.12	(BS)

$\delta a$	= axiale Federung	(mm)
$Pr$	= Vorspannung	(daN)
$Z$	= Kugelanzahl	
$\emptyset$	= Kugeldurchmesser	(mm)
$\alpha$	= Druckwinkel	(grad)

(Z /  $\emptyset$  siehe Hauptkatalog).

Im Falle von Lagersätzen muss berücksichtigt werden, dass die axiale Federung ( $\delta a$ ) der vorgespannten TANDEM-Anordnung geringer als die Federung des einzelnen Wälzlagers ist.

Die axiale Federung der TANDEM-Anordnung beträgt demnach:

$\delta a_{(TANDEM)} = W \cdot \delta a_{(EINZEL)}$	wobei:	Anzahl der Lager in TANDEM-Anordnung	1	2	3	4
		W	1	0,63	0,48	0,40

Die Gesamtfederung durch die Vorspannung beträgt also:

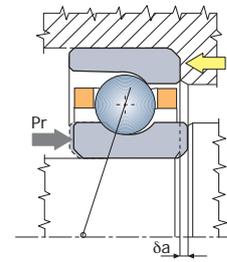
$$\delta t = \delta a1 + \delta a2$$

wobei:

$\delta t$	= Gesamtfederung durch die Vorspannung
$\delta a1$	= Federung der Belastung tragenden Lager
$\delta a2$	= Federung der Vorspannung tragenden Lager

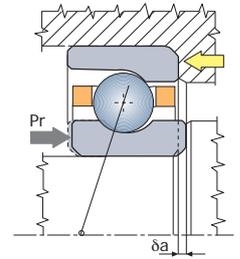
Der Wert für die Längenänderung der Abstandshülse zur Einstellung der Vorspannung ergibt sich daher aus der Differenz zwischen dem Wert  $\delta t$  der ursprünglichen und dem der gewünschten Vorspannung.

# Axiale Federung der einzelnen Lager unter Vorspannung



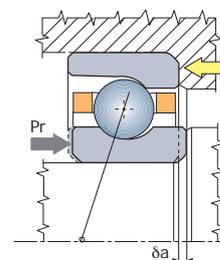
d	AXIALFEDERUNG ( $\delta a$ )											
	LEICHTE VORSpanNUNG				MITTLERE VORSpanNUNG				STARKE VORSpanNUNG			
	15° (C1)		25° (C3)		15° (C1)		25° (C3)		15° (C1)		25° (C3)	
	Pr [daN]	$\delta a$ [ $\mu$ m]	Pr [daN]	$\delta a$ [ $\mu$ m]	Pr [daN]	$\delta a$ [ $\mu$ m]	Pr [daN]	$\delta a$ [ $\mu$ m]	Pr [daN]	$\delta a$ [ $\mu$ m]	Pr [daN]	$\delta a$ [ $\mu$ m]
10	1.0	2.6	1.6	1.7	3.0	4.9	4.8	3.3	6.0	7.2	10.0	5.2
12	1.1	2.5	1.7	1.6	3.3	4.8	5.3	3.2	6.6	7.0	10.5	4.9
15	1.2	2.3	1.9	1.5	3.6	4.5	5.8	3.0	7.2	6.6	11.5	4.6
17	1.2	2.2	2.0	1.5	3.7	4.4	6.0	3.0	7.5	6.5	12.0	4.6
20	2.0	3.0	3.2	1.9	6.0	5.7	10.0	4.0	12.0	8.5	20.0	6.1
25	2.2	2.9	3.5	1.8	6.6	5.5	10.5	3.7	13.2	8.2	21.0	5.7
30	2.3	2.7	3.7	1.7	7.0	5.3	11.0	3.5	14.0	7.8	22.0	5.3
35	2.5	2.6	3.9	1.6	7.5	5.1	11.5	3.3	15.0	7.6	23.0	5.1
40	2.6	2.5	4.0	1.6	7.8	4.9	12.0	3.2	15.5	7.3	24.0	4.9
45	2.7	2.5	4.1	1.5	8.0	4.8	12.5	3.1	16.0	7.1	25.0	4.8
50	4.0	3.1	6.0	1.9	12.0	6.0	18.0	3.8	24.0	8.9	36.0	5.8
55	5.5	3.6	8.7	2.3	16.5	7.1	26.0	4.6	33.0	10.6	52.0	7.2
60	7.0	4.2	11.4	2.7	21.0	8.1	34.0	5.4	42.0	12.1	68.0	8.3
65	7.1	4.1	11.5	2.6	21.5	8.1	34.5	5.3	43.0	12.0	69.0	8.2
70	7.3	4.0	11.7	2.5	22.0	7.9	35.0	5.1	44.0	11.7	70.0	8.0
75	7.6	4.0	12.0	2.5	22.5	7.7	36.0	5.0	45.0	11.5	72.0	7.8
80	7.8	3.9	12.3	2.4	23.5	7.6	37.0	4.9	47.0	11.4	74.0	7.6
85	11.5	5.1	18.3	3.2	34.5	10.0	55.0	6.5	69.0	14.9	110.0	10.1
90	11.6	5.0	18.4	3.2	35.0	9.9	55.5	6.4	70.0	14.8	111.0	10.0
95	11.7	5.0	18.6	3.1	35.5	9.8	56.0	6.4	71.0	14.6	112.0	9.8
100	12.0	4.9	19.0	3.0	36.0	9.5	57.0	6.2	72.0	14.3	114.0	9.6
105	13.0	5.0	20.0	3.1	39.0	9.8	60.0	6.3	78.0	14.7	120.0	9.7
110	16.0	5.7	26.0	3.6	50.0	11.5	80.0	7.5	100.0	17.3	160.0	11.7
120	18.0	5.8	28.0	3.6	55.0	11.6	85.0	7.4	110.0	17.3	170.0	11.5
130	21.0	6.3	33.0	3.9	62.0	12.2	98.0	7.9	123.0	18.3	196.0	12.3
140	24.0	6.7	38.0	4.2	72.0	13.2	114.0	8.5	144.0	19.8	228.0	13.2
150	27.0	7.1	43.0	4.4	82.0	14.0	130.0	9.1	163.0	21.0	259.0	14.1
160												
170												
180												

# Axiale Federung der einzelnen Lager unter Vorspannung



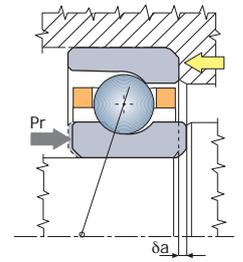
d	AXIALFEDERUNG ( $\delta a$ )											
	LEICHTE VORSPANNUNG				MITTLERE VORSPANNUNG				STARKE VORSPANNUNG			
	15° (C1)		25° (C3)		15° (C1)		25° (C3)		15° (C1)		25° (C3)	
	Pr [daN]	$\delta a$ [ $\mu$ m]	Pr [daN]	$\delta a$ [ $\mu$ m]	Pr [daN]	$\delta a$ [ $\mu$ m]	Pr [daN]	$\delta a$ [ $\mu$ m]	Pr [daN]	$\delta a$ [ $\mu$ m]	Pr [daN]	$\delta a$ [ $\mu$ m]
17	2.7	4.0	4.3	2.6	8.1	7.7	13.0	5.2	16.0	11.3	26.0	8.0
20	3.9	4.6	6.3	3.0	12.0	9.0	19.0	6.0	24.0	13.3	38.0	9.3
25	4.0	4.5	6.4	2.9	12.0	8.7	19.0	5.8	24.0	12.8	38.0	8.9
30	4.2	4.3	6.8	2.8	12.5	8.2	20.5	5.6	25.0	12.2	41.0	8.6
35	5.8	4.9	9.3	3.1	17.5	9.5	28.0	6.3	35.0	14.0	56.0	9.7
40	7.4	5.5	12.0	3.5	22.5	10.7	36.0	7.1	45.0	15.9	72.0	11.0
45	7.8	5.3	12.5	3.4	23.5	10.3	37.5	6.9	47.0	15.3	75.0	10.6
50	10.0	5.9	16.0	3.7	30.0	11.4	48.0	7.5	60.0	16.9	96.0	11.6
55	12.5	6.4	20.0	4.0	38.0	12.5	60.0	8.2	76.0	18.5	120.0	12.6
60	13.0	6.2	21.0	3.9	39.0	12.0	63.0	8.0	78.0	17.9	126.0	12.3
65	13.5	6.2	21.0	3.8	40.0	11.9	63.5	7.8	80.0	17.8	127.0	12.1
70	18.5	7.4	29.0	4.6	55.0	14.2	88.0	9.4	110.0	21.2	176.0	14.5
75	18.5	7.2	30.0	4.6	56.0	14.1	89.0	9.2	112.0	21.0	178.0	14.3
80	19.0	7.1	30.0	4.5	57.0	13.9	90.0	9.1	114.0	20.7	180.0	14.0
85	24.5	8.2	39.5	5.2	74.0	16.1	118.0	10.6	148.0	24.0	236.0	16.4
90	25.0	8.1	40.0	5.1	75.0	15.9	120.0	10.4	150.0	23.7	240.0	16.1
95	25.5	8.0	40.5	5.1	76.5	15.7	122.0	10.3	153.0	23.5	244.0	15.9
100	32.0	9.2	51.0	5.8	96.0	17.9	153.0	11.7	192.0	26.8	306.0	18.2
110	33.0	8.9	53.0	5.7	99.0	17.5	158.0	11.4	198.0	26.1	316.0	17.7
120	39.0	10.1	62.5	6.4	118.0	19.8	186.0	12.9	236.0	29.6	376.0	20.1
130	40.5	9.8	64.5	6.2	121.0	19.2	193.0	12.6	242.0	28.8	386.0	19.5
140	41.5	9.6	66.0	6.0	125.0	18.8	198.0	12.2	250.0	28.2	396.0	19.0
150	63.0	13.3	101.0	8.4	190.0	26.1	302.0	17.1	380.0	39.1	604.0	26.4
160	66.0	13.0	105.0	8.2	198.0	25.5	315.0	16.6	396.0	38.2	630.0	25.8
170	66.5	12.8	106.0	8.0	200.0	25.1	318.0	16.3	400.0	37.6	637.0	25.4
180	85.5	15.1	136.0	9.5	256.0	29.6	408.0	19.3	512.0	44.3	816.0	29.9
190	86.5	14.8	138.0	9.3	260.0	29.1	414.0	19.0	520.0	43.7	828.0	29.4
200	106.0	17.1	169.0	10.8	318.0	33.6	507.0	21.9	636.0	50.4	1014.0	34.0
220	110.0	16.7	175.0	10.5	330.0	32.8	525.0	21.3	660.0	49.1	1050.0	33.0
230	113.0	16.2	182.0	10.2	340.0	31.9	545.0	20.8	680.0	47.9	1090.0	32.3
240	115.0	16.0	185.0	10.1	350.0	31.8	555.0	20.6	700.0	47.7	1110.0	32.0
260	152.0	19.3	242.0	12.1	456.0	38.0	726.0	24.6	912.0	57.2	1452.0	38.3
280	154.0	19.0	244.0	11.9	460.0	37.4	732.0	24.2	920.0	56.3	1463.0	37.5

# Axiale Federung der einzelnen Lager unter Vorspannung



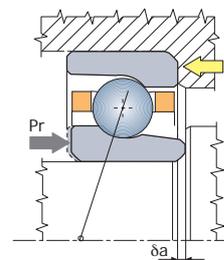
d	AXIALFEDERUNG ( $\delta a$ )											
	LEICHTE VORSPANNUNG				MITTLERE VORSPANNUNG				STARKE VORSPANNUNG			
	15° (C1)		25° (C3)		15° (C1)		25° (C3)		15° (C1)		25° (C3)	
	Pr [daN]	$\delta a$ [ $\mu$ m]	Pr [daN]	$\delta a$ [ $\mu$ m]	Pr [daN]	$\delta a$ [ $\mu$ m]	Pr [daN]	$\delta a$ [ $\mu$ m]	Pr [daN]	$\delta a$ [ $\mu$ m]	Pr [daN]	$\delta a$ [ $\mu$ m]
6	0.8	3.4	1.5	2.3	2.5	6.9	4.0	4.4	5.0	10.5	8.0	6.9
7	1.0	3.8	1.7	2.4	3.0	7.5	5.0	4.9	6.0	11.5	10.0	7.7
8	1.6	4.5	2.5	2.8	5.0	9.1	8.0	5.9	10.0	13.5	16.0	9.2
9	1.8	4.5	3.0	2.9	5.5	8.9	9.0	5.9	11.0	13.4	18.0	9.2
10	2.0	4.2	3.3	2.7	6.0	8.3	10.0	5.6	12.0	12.5	20.0	8.7
12	2.7	5.2	4.5	3.4	8.0	10.1	13.0	6.7	16.0	15.2	26.0	10.3
15	3.0	4.9	5.0	3.2	9.0	9.7	15.0	6.5	18.0	14.6	30.0	10.1
17	4.0	5.7	6.5	3.6	12.0	11.2	19.5	7.4	24.0	16.9	39.0	11.4
20	5.0	6.3	8.0	4.0	15.0	12.5	24.0	8.1	30.0	18.8	48.0	12.6
25	6.5	6.9	10.5	4.3	19.5	13.6	32.0	9.0	39.0	20.5	64.0	13.9
30	8.0	7.6	13.0	4.8	24.0	15.1	38.5	9.8	48.0	22.7	77.0	15.2
35	10.0	7.0	16.5	4.6	30.5	13.7	49.0	9.2	61.0	20.3	98.0	14.1
40	10.5	7.0	17.0	4.5	32.0	13.6	51.0	9.0	63.5	20.0	102.0	13.9
45	14.0	8.3	23.0	5.4	42.5	16.1	69.0	10.9	85.0	23.9	137.0	16.7
50	14.5	8.1	23.5	5.2	44.0	15.9	70.5	10.6	88.0	23.5	141.0	16.3
55	19.5	9.4	31.5	6.0	58.5	18.2	94.0	12.2	117.0	27.1	188.0	18.8
60	20.0	9.2	32.5	5.9	60.5	18.0	97.0	11.9	120.5	26.6	194.0	18.4
65	21.0	9.2	33.0	5.8	62.0	17.6	99.0	11.7	124.0	26.2	199.0	18.1
70	27.0	10.4	42.5	6.5	80.0	20.0	128.0	13.3	160.0	29.7	255.0	20.4
75	27.5	10.2	43.5	6.4	82.0	19.7	131.0	13.0	164.0	29.3	262.0	20.1
80	33.0	11.4	52.5	7.2	98.5	22.1	157.5	14.6	197.0	32.9	315.0	22.6
85	34.0	11.3	54.0	7.1	101.0	21.8	162.0	14.4	202.0	32.4	323.0	22.2
90	36.0	11.0	57.0	6.9	107.0	21.2	171.0	14.0	214.0	31.6	341.0	21.6
95	42.0	12.1	67.0	7.7	127.0	23.7	202.0	15.6	253.0	35.3	404.0	24.1
100	43.0	11.9	69.0	7.6	130.0	23.4	207.0	15.3	259.0	34.8	415.0	23.8
105	50.0	13.2	80.0	8.4	150.0	25.7	240.0	17.0	300.0	38.4	480.0	26.2
110	59.0	14.3	95.0	9.1	177.0	27.9	285.0	18.5	354.0	41.6	570.0	28.6
120	60.0	14.0	97.0	8.9	180.0	27.4	291.0	18.1	360.0	40.9	582.0	28.1
130	78.0	16.4	125.0	10.4	234.0	32.0	375.0	21.1	468.0	47.8	750.0	32.6
140	80.0	16.2	128.0	10.2	240.0	31.6	384.0	20.7	480.0	47.2	768.0	32.1
150	90.0	17.1	144.0	10.8	270.0	33.4	432.0	21.9	540.0	50.0	864.0	34.0
160	102.0	18.2	162.0	11.4	306.0	35.6	486.0	23.2	612.0	53.2	972.0	36.0
170	110.0	18.8	176.0	11.9	330.0	36.8	528.0	24.1	660.0	55.0	1056.0	37.3
180	123.0	19.3	197.0	12.2	369.0	37.8	591.0	24.7	738.0	56.7	1182.0	38.4
190	126.0	19.0	200.0	11.9	378.0	37.4	600.0	24.3	756.0	56.0	1200.0	37.7
200	160.0	23.0	250.0	14.2	480.0	45.1	750.0	29.0	960.0	67.6	1500.0	44.9
220	180.0	24.2	280.0	14.9	540.0	47.5	840.0	30.4	1080.0	71.4	1680.0	47.2
240	190.0	23.5	300.0	14.7	570.0	46.3	900.0	29.9	1140.0	69.7	1800.0	46.4

# Axiale Federung der einzelnen Lager unter Vorspannung



d	AXIALFEDERUNG ( $\delta a$ )											
	LEICHTE VORSPANNUNG				MITTLERE VORSPANNUNG				STARKE VORSPANNUNG			
	15° (C1)		25° (C3)		15° (C1)		25° (C3)		15° (C1)		25° (C3)	
	Pr [daN]	$\delta a$ [ $\mu$ m]	Pr [daN]	$\delta a$ [ $\mu$ m]	Pr [daN]	$\delta a$ [ $\mu$ m]	Pr [daN]	$\delta a$ [ $\mu$ m]	Pr [daN]	$\delta a$ [ $\mu$ m]	Pr [daN]	$\delta a$ [ $\mu$ m]
7	2.0	4.5	3.0	2.8	6.0	8.6	9.0	5.6	12.0	12.6	18.0	8.6
8	2.3	5.1	3.5	3.2	7.0	9.9	10.5	6.4	14.0	14.5	21.0	9.9
9	2.9	5.1	4.7	3.3	8.7	9.7	14.0	6.6	17.0	14.0	28.0	10.1
10	3.5	5.9	5.6	3.8	10.5	11.3	17.0	7.7	21.0	16.5	34.0	11.8
12	3.5	5.5	6.0	3.7	11.5	11.1	18.5	7.5	23.0	16.3	37.0	11.5
15	4.8	6.5	8.0	4.3	14.4	12.4	23.7	8.5	28.8	18.2	47.4	13.0
17	6.0	7.2	9.6	4.6	18.0	13.8	29.0	9.4	36.0	20.3	58.0	14.4
20	7.0	7.0	11.5	4.6	21.0	13.5	34.0	9.1	42.0	19.8	68.0	14.0
25	9.0	7.6	15.0	5.0	27.0	14.5	44.0	9.9	54.0	21.5	87.0	15.1
30	12.0	9.7	20.0	5.7	36.5	16.8	60.0	11.5	73.0	24.9	120.0	17.6
35	13.5	8.5	22.0	5.5	41.0	16.5	66.5	11.1	82.0	24.4	132.5	17.0
40	18.0	9.7	29.5	6.3	54.5	18.9	88.0	12.7	109.0	28.1	176.0	19.6
45	18.7	9.6	30.0	6.1	56.0	18.5	90.0	12.3	112.0	27.4	180.0	19.0
50	22.8	10.9	36.7	7.0	68.5	21.2	110.0	14.1	137.0	31.4	220.0	21.8
55	29.0	12.3	46.0	7.8	87.0	23.9	138.0	15.8	174.0	35.4	276.0	24.4
60	30.5	12.2	48.0	7.7	92.0	23.7	144.0	15.5	184.0	35.1	288.0	24.0
65	35.5	13.1	57.3	8.3	107.0	25.4	172.0	17.0	214.0	37.7	344.0	26.1
70	37.0	12.9	59.5	8.2	111.0	25.0	178.5	16.6	222.0	37.2	357.0	25.6
75	38.5	12.7	61.7	8.1	115.0	24.6	185.0	16.3	230.0	36.6	370.0	25.2
80	46.0	13.9	75.0	8.9	138.0	27.0	225.0	18.0	276.0	40.1	450.0	27.9
85	51.5	15.1	82.5	9.6	154.5	29.4	247.5	19.5	309.0	43.8	495.0	30.1
90	65.5	17.6	105.3	11.2	196.0	34.2	316.0	22.7	392.0	50.9	632.0	35.1
95	61.5	15.9	99.0	10.1	185.0	31.1	297.0	20.6	370.0	46.3	594.0	31.8
100	77.0	18.4	124.2	11.7	231.0	35.8	372.5	23.8	462.0	53.4	745.0	36.7
105	89.0	19.8	143.0	12.6	267.0	38.5	429.0	25.5	534.0	57.4	858.0	39.5
110	92.0	19.5	148.0	12.4	276.0	37.9	444.0	25.1	552.0	56.5	888.0	38.8
120	95.0	19.2	150.0	12.0	280.0	37.0	450.0	24.4	560.0	55.2	900.0	37.8
130	107.0	20.8	171.0	13.1	320.0	40.5	513.0	26.7	641.0	60.6	1027.0	41.3
140	121.0	21.4	194.0	13.5	363.0	41.8	582.0	27.4	726.0	62.5	1164.0	42.5

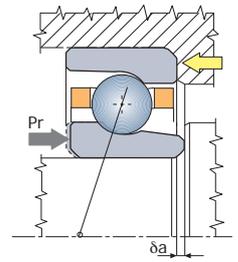
# Axiale Federung der einzelnen Lager unter Vorspannung



d	AXIALFEDERUNG ( $\delta a$ )											
	LEICHTE VORSPANNUNG				MITTLERE VORSPANNUNG				STARKE VORSPANNUNG			
	15° (C1)		25° (C3)		15° (C1)		25° (C3)		15° (C1)		25° (C3)	
VEB	Pr [daN]	$\delta a$ [ $\mu$ m]	Pr [daN]	$\delta a$ [ $\mu$ m]	Pr [daN]	$\delta a$ [ $\mu$ m]	Pr [daN]	$\delta a$ [ $\mu$ m]	Pr [daN]	$\delta a$ [ $\mu$ m]	Pr [daN]	$\delta a$ [ $\mu$ m]
8	0.9	3.4			2.7	6.7			5.5	10.4		
10	1.1	3.4	1.7	2.1	3.2	6.6	5.0	4.2	6.5	10.2	10.0	6.5
12	1.1	3.2	1.8	2.0	3.4	6.5	5.5	4.2	6.8	9.9	11.0	6.5
15	1.7	4.0	2.8	2.5	5.1	7.9	8.4	5.1	10.2	12.1	17.0	8.1
17	1.8	3.9	2.9	2.4	5.4	7.8	8.7	5.0	10.8	11.9	17.5	7.8
20	2.6	4.5	4.2	2.8	7.9	9.0	13.0	5.9	15.7	13.8	25.0	8.9
25	2.8	4.3	4.5	2.7	8.5	8.7	14.0	5.6	17.0	13.3	27.0	8.6
30	3.0	4.2	4.8	2.6	9.0	8.4	14.5	5.3	18.0	12.8	29.0	8.3
35	4.1	4.7	6.6	2.9	12.5	9.6	20.0	6.1	25.0	14.7	40.0	9.5
40	5.2	5.3	8.4	3.3	15.7	10.7	25.0	6.7	31.5	16.4	50.5	10.6
45	5.5	5.1	8.8	3.2	16.6	10.4	26.5	6.5	33.1	15.9	52.9	10.3
50	6.9	5.8	11.0	3.5	21.0	11.7	33.0	7.3	41.0	17.7	66.0	11.4
55	8.3	6.3	13.3	3.9	25.0	12.7	40.0	8.0	50.0	19.5	80.0	12.5
60	8.7	6.1	13.9	3.8	26.2	12.3	41.8	7.8	52.3	18.9	83.6	12.2
65	8.9	6.0	14.2	3.7	26.6	12.1	42.5	7.6	53.2	18.6	85.0	12.0
70	12.0	7.3	19.0	4.5	36.0	14.8	57.0	9.3	71.0	22.5	113.0	14.4
75	12.0	7.1	19.2	4.4	36.1	14.4	57.7	9.1	72.2	22.1	115.0	14.2
80	12.3	7.0	19.5	4.3	37.0	14.2	59.0	8.9	74.0	21.9	117.0	13.9
85	16.0	8.2	25.5	5.0	47.9	16.5	76.5	10.4	95.7	25.4	152.9	16.3
90	16.3	8.1	26.0	5.0	48.8	16.3	78.0	10.2	97.7	25.1	156.0	16.1
95	16.6	8.0	26.5	4.9	50.0	16.1	79.5	10.1	99.5	24.7	159.0	15.8
100	20.8	9.1	33.2	5.6	62.4	18.4	99.6	11.5	125.0	28.3	199.0	18.1
110	22.0	9.0	34.0	5.4	65.0	17.9	103.0	11.2	130.0	27.6	207.0	17.6
120	25.0	9.9	41.0	6.2	76.0	20.2	122.0	12.7	153.0	31.2	244.0	19.9

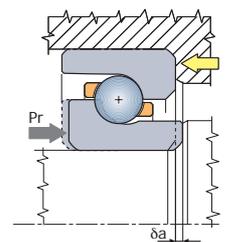
d	AXIALFEDERUNG ( $\delta a$ )											
	LEICHTE VORSPANNUNG				MITTLERE VORSPANNUNG				STARKE VORSPANNUNG			
	15° (C1)		25° (C3)		15° (C1)		25° (C3)		15° (C1)		25° (C3)	
HB	Pr [daN]	$\delta a$ [ $\mu$ m]	Pr [daN]	$\delta a$ [ $\mu$ m]	Pr [daN]	$\delta a$ [ $\mu$ m]	Pr [daN]	$\delta a$ [ $\mu$ m]	Pr [daN]	$\delta a$ [ $\mu$ m]	Pr [daN]	$\delta a$ [ $\mu$ m]
30	1.6	2.5	2.5	1.5	3.1	3.8	5.0	2.4	9.4	7.7	15.0	4.9
35	1.7	2.3	2.7	1.4	3.4	3.7	5.4	2.3	10.2	7.3	16.5	4.7
40	1.8	2.3	2.9	1.4	3.6	3.5	5.7	2.2	10.7	7.0	17.0	4.4
45	2.4	2.6	3.9	1.6	4.9	4.2	7.9	2.6	14.8	8.4	23.5	5.3
50	2.6	2.7	4.0	1.6	5.1	4.1	8.1	2.5	15.3	8.2	24.5	5.2
55	3.3	3.0	5.3	1.9	6.6	4.7	10.6	2.9	20.0	9.5	31.5	6.0
60	3.4	2.9	5.4	1.8	6.8	4.6	10.9	2.9	20.5	9.2	32.5	5.9
65	3.5	2.9	5.6	1.8	7.0	4.5	11.2	2.8	21.0	9.0	33.5	5.7
70	4.5	3.3	7.2	2.0	9.0	5.1	14.4	3.2	27.0	10.2	43.0	6.5
75	4.6	3.2	7.4	2.0	9.3	5.0	14.8	3.1	28.0	10.0	44.5	6.4
80	5.2	3.4	8.2	2.1	10.4	5.3	16.5	3.3	31.0	10.5	49.5	6.7
85	5.4	3.3	8.6	2.0	10.8	5.1	17.1	3.2	32.0	10.2	51.5	6.5
90	5.9	3.5	9.3	2.1	11.7	5.4	18.7	3.3	35.0	10.8	56.0	6.9
95	6.0	3.4	9.6	2.1	12.0	5.3	19.2	3.3	36.0	10.6	57.5	6.7
100	7.2	3.8	11.5	2.3	14.4	5.9	23.0	3.6	43.0	11.8	69.0	7.5
110	8.6	4.1	13.7	2.5	17.2	6.4	27.4	4.0	51.5	12.9	82.0	8.1
120	9.0	4.0	14.3	2.4	18.0	6.2	28.7	3.8	54.0	12.4	86.0	7.9

# Axiale Federung der einzelnen Lager unter Vorspannung



d	AXIALFEDERUNG ( $\delta a$ )											
	LEICHTE VORSpanNUNG				MITTLERE VORSpanNUNG				STARKE VORSpanNUNG			
	15° (C1)		25° (C3)		15° (C1)		25° (C3)		15° (C1)		25° (C3)	
	Pr [daN]	$\delta a$ [ $\mu$ m]	Pr [daN]	$\delta a$ [ $\mu$ m]	Pr [daN]	$\delta a$ [ $\mu$ m]	Pr [daN]	$\delta a$ [ $\mu$ m]	Pr [daN]	$\delta a$ [ $\mu$ m]	Pr [daN]	$\delta a$ [ $\mu$ m]
6	1.0	3.9			2.5	6.9			5.0	10.5		
7	1.0	3.8			3.0	7.5			6.0	11.5		
8	1.5	4.8			3.5	8.1			7.5	12.8		
9	1.5	4.4			4.0	8.2			8.0	12.4		
10	1.5	3.9			4.8	8.1			9.5	12.2		
12	2.0	4.7			6.0	9.4			12.0	14.4		
15	2.5	4.8			7.0	9.2			14.0	14.1		
17	3.0	5.2			9.0	10.4			18.5	16.2		
20	4.0	6.0			12.0	12.1			23.5	18.2		
25	4.5	5.9	7.0	3.6	13.0	11.5	21.0	7.3	26.0	17.6	43.0	11.7
30	5.0	5.5	8.0	3.4	15.0	11.1	24.0	7.0	30.0	17.0	48.0	11.0
35	6.0	6.0	10.0	3.8	18.0	12.1	30.0	7.9	37.0	18.9	59.0	12.2
40	6.5	5.9	10.5	3.7	20.0	12.1	31.0	7.5	39.0	18.2	63.0	11.8
45	7.0	5.8	11.0	3.5	21.0	11.7	33.0	7.3	41.0	17.7	66.0	11.4
50	8.5	6.4	13.0	3.8	25.0	12.7	40.0	8.0	50.0	19.5	80.0	12.5
55	9.0	6.1	14.0	3.7	27.0	12.2	43.0	7.7	54.0	18.8	86.0	12.1
60	9.2	6.0	15.0	3.7	27.5	12.1	44.0	7.6	55.0	18.6	87.0	11.8
65	11.0	6.6	17.0	4.0	33.0	13.2	52.0	8.2	65.0	20.1	104.0	12.9
70	13.0	7.1	20.0	4.3	38.0	14.1	61.0	8.9	76.0	21.7	122.0	14.0
75	14.0	6.9	22.0	4.2	42.0	13.8	67.0	8.8	84.0	21.1	134.0	13.7
80	18.0	8.0	28.0	4.8	55.0	16.1	85.0	10.0	109.0	24.6	170.0	15.7
85	18.5	7.9	29.0	4.8	56.0	15.9	89.0	10.0	111.0	24.2	178.0	15.7
90	19.0	7.7	30.0	4.7	58.0	15.5	92.0	9.8	115.0	23.7	184.0	15.3
95	23.0	8.7	38.0	5.5	70.0	17.7	113.0	11.3	140.0	27.1	227.0	17.7
100	24.0	8.8	39.0	5.5	72.0	17.6	115.0	11.1	144.0	27.0	231.0	17.5
110	25.0	8.4	40.0	5.2	76.0	17.1	121.0	10.7	152.0	26.1	242.0	16.8
120	31.0	9.5	49.0	5.9	93.0	19.2	148.0	12.1	185.0	29.3	295.0	18.9

d	AXIALFEDERUNG ( $\delta a$ )					
	LEICHTE VORSpanNUNG		MITTLERE VORSpanNUNG		STARKE VORSpanNUNG	
	62°		62°		62°	
	Pr [daN]	$\delta a$ [ $\mu$ m]	Pr [daN]	$\delta a$ [ $\mu$ m]	Pr [daN]	$\delta a$ [ $\mu$ m]
<b>BS 200</b>						
12	17.0	2.3	50.0	4.8	100.0	7.6
15	23.0	2.3	70.0	4.8	140.0	7.6
17	27.0	2.7	82.0	5.6	165.0	8.9
20	38.0	3.0	115.0	6.3	230.0	10.0
25	47.0	3.1	140.0	6.3	280.0	10.0
30	60.0	3.5	180.0	7.2	360.0	11.3
35	79.0	3.8	236.0	8.0	473.0	12.6
40	101.0	4.2	302.0	8.7	605.0	13.9
45	107.0	4.2	320.0	8.8	640.0	13.9
50	112.0	4.2	335.0	8.7	675.0	13.9
60	170.0	5.3	520.0	11.2	1040.0	17.7
75	220.0	5.4	655.0	11.2	1310.0	17.7



SERIE BS 200  
BS (SPEZIAL)

BS (spezial)						
17/47	38.0	3.0	115.0	6.3	230.0	10.0
20/47	38.0	3.0	115.0	6.3	230.0	10.0
25/62	60.0	3.5	180.0	7.2	360.0	11.3
30/62	60.0	3.5	180.0	7.2	360.0	11.3
35/72	79.0	3.8	236.0	8.0	475.0	12.6

Die Einbautoleranzen der Lagersitze von Schrägkugellagern sind sowohl aus Montagegründen, als auch aus funktionellen Gründen von grosser Wichtigkeit.

Die in den untenstehenden Tabellen aufgeführten Werte stellen eine wertvolle Richtlinie für die Konstruktion der Wellen und Gehäuse dar.

Da die Hochgenauigkeits-Schrägkugellager eine verbreitete Anwendung in Werkzeugmaschinen finden, beziehen sich die Bearbeitungstoleranzen der Wellen und Gehäuse auf dieses Anwendungsgebiet, in dem sich in der Regel die Welle dreht, während der Aussenring unbeweglich ist (Umfangslast am Aussenring).

Im Falle einer Umfangslast am Innenring wird selbstverständlich das Gehäuse mit einem Untermass toleriert, um einen Vorspannungsverlust während des Betriebs zu vermeiden.

Mit entsprechender Aufmerksamkeit sollte auch bei Wellen vorgegangen werden, die hohen Rotationsbelastungen ausgesetzt sind (zum Beispiel Wellen von Wickelmaschinen).

Die in der Tabelle angegebenen Werte sind als Orientierung gedacht und gelten für Wellen und Gehäuse aus Stahl oder ähnlichem Material.

Es können, verursacht durch thermische Effekte (hoher Temperaturunterschied zwischen Welle und Gehäuse), auch "kritische" Applikationen vorkommen, die besondere Toleranzen erfordern, um eine überhöhte Vorspannung der Lager und somit deren Verschleiss zu verhindern.

In einem solchen Fall sollte eine technische Beratung durch den Anwendungstechniker angefordert werden.

## Wellen und Gehäuse für Hochgenauigkeitslager ABEC 7 - ABEC 9

WELLEN AUS STAHL (rotierend)

Nenn Durchmesser der Welle in mm	$\geq$	6	10	18	30	50	80	120	180	250
	$<$	10	18	30	50	80	120	180	250	315
Toleranzwerte in $\mu\text{m}$		0 -4	0 -4	0 -4	0 -5	0 -5	+2 -4	+3 -5	+4 -6	+5 -7
ISO		-	-	h3	-	h3	-	-	-	-

GEHÄUSE AUS STAHL

Nenn Durchmesser des Gehäuses in mm	$\geq$	10	18	30	50	80	120	180	250	315
	$<$	18	30	50	80	120	180	250	315	400
Festlagerung	Toleranzen in $\mu\text{m}$	+5 0	+6 0	+7 0	+8 0	+7 -3	+9 -3	+11 -3	+13 -3	+15 -3
	ISO	H4	H4	H4	H4	-	-	-	-	-
Loslagerung	Toleranzen in $\mu\text{m}$	+7 +2	+8 +2	+9 +2	+10 +2	+10 0	+12 0	+14 0	+16 0	+18 0
	ISO	-	-	-	-	H4	H4	H4	H4	H4

N.B. Für Spezialanwendungen stehen wir gern für eine technische Beratung zur Verfügung.

## Wellen und Gehäuse für Hochgenauigkeitslager ABEC 5

WELLEN AUS STAHL (rotierend)

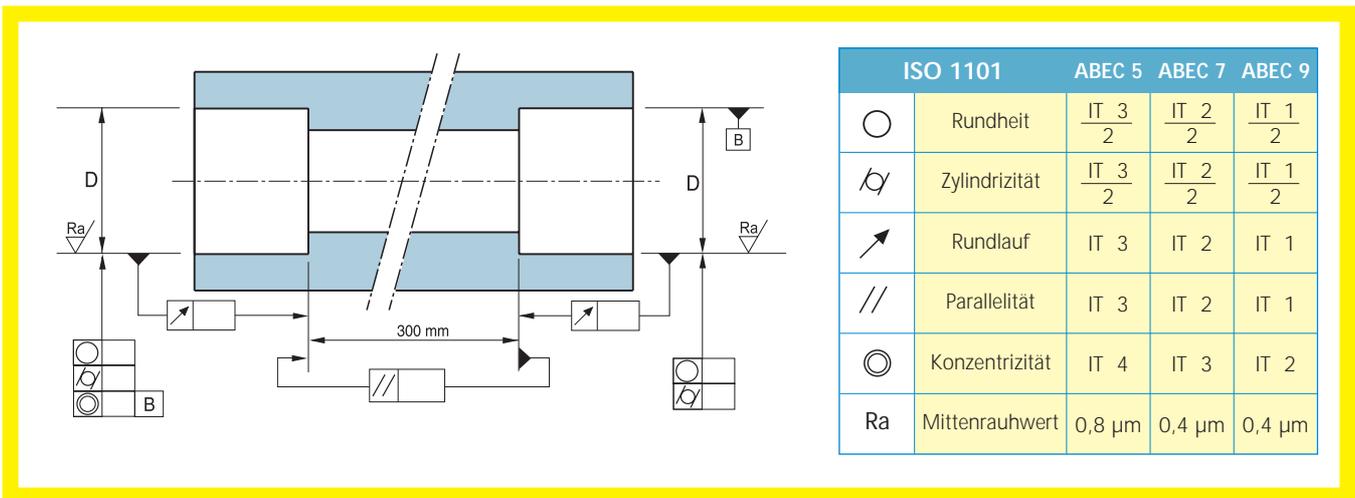
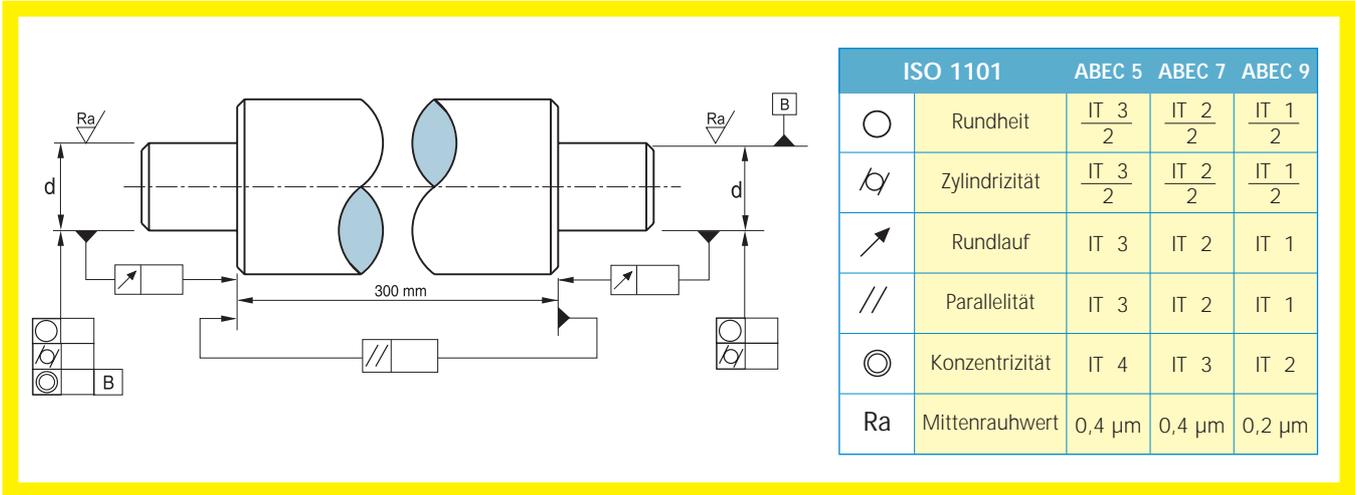
Nenn Durchmesser der Welle in mm	$\geq$	6	10	18	30	50	80	120	180	250
	$<$	10	18	30	50	80	120	180	250	315
Toleranzwerte in $\mu\text{m}$		0 -5	0 -5	0 -6	0 -7	0 -8	+3 -7	+4 -8	+5 -9	+6 -10
ISO		-	h4	h4	h4	h4	-	-	-	-

GEHÄUSE AUS STAHL

Nenn Durchmesser des Gehäuses in mm	$\geq$	10	18	30	50	80	120	180	250	315
	$<$	18	30	50	80	120	180	250	315	400
Festlagerung	Toleranzen in $\mu\text{m}$	+8 0	+9 0	+11 0	+13 0	+12 -3	+14 -4	+16 -4	+19 -4	+21 -4
	ISO	H5	H5	H5	H5	-	-	-	-	-
Loslagerung	Toleranzen in $\mu\text{m}$	+10 +2	+11 +2	+13 +2	+15 +2	+15 0	+18 0	+20 0	+23 0	+25 0
	ISO	-	-	-	-	H5	H5	H5	H5	H5

N.B. Für Spezialanwendungen stehen wir gern für eine technische Beratung zur Verfügung.

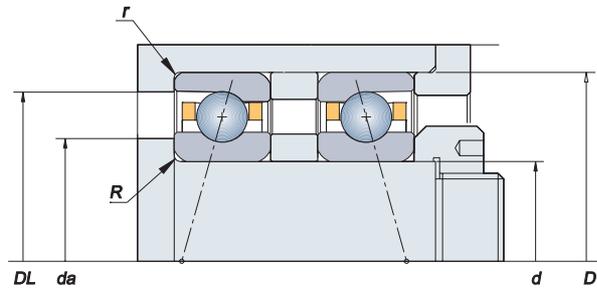
# Form- und Fluchtungsfehler (maximale zulässige Abweichungen)



Nenn Durchmesser in mm	$\geq$	6	10	18	30	50	80	120	180	250	315
	$<$	10	18	30	50	80	120	180	250	315	400
Errore di forma in micron	IT 0	0,6	0,8	1	1	1,2	1,5	2	3	-	-
	IT 1	1	1,2	1,5	1,5	2	2,5	3,5	4,5	6	7
	IT 2	1,5	2	2,5	2,5	3	4	5	7	8	9
	IT 3	2,5	3	4	4	5	6	8	10	12	13
	IT 4	4	5	6	7	8	10	12	14	16	18

# Anschlussmaße und -radien der Lagersitze

(Die maximalen Radien der Lagersitze müssen den jeweiligen  $r_{min}$  und  $R_{min}$  des Lagers entsprechen)

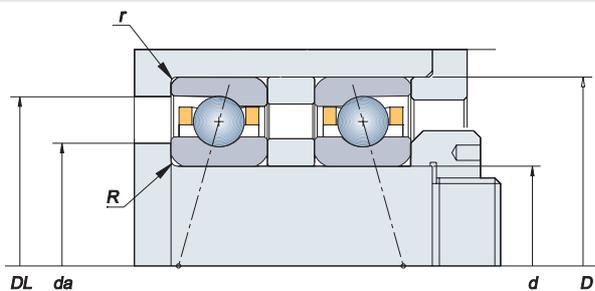


d	SERIE SEA					SERIE SEB					SERIE EX					SERIE E 200					
	D	d <sub>amin</sub>	DL <sub>max</sub>	r <sub>max</sub>	R <sub>max</sub>	D	d <sub>amin</sub>	DL <sub>max</sub>	r <sub>max</sub>	R <sub>max</sub>	D	d <sub>amin</sub>	DL <sub>max</sub>	r <sub>max</sub>	R <sub>max</sub>	D	d <sub>amin</sub>	DL <sub>max</sub>	r <sub>max</sub>	R <sub>max</sub>	
6											17	8.5	14.5	0.15	0.3						
7											19	9.5	16.5	0.15	0.3	22	11.0	19.0	0.15	0.3	
8											22	11.0	19.0	0.15	0.3	24	11.0	21.0	0.15	0.3	
9											24	12.5	20.5	0.15	0.3	26	13.0	23.0	0.15	0.3	
10	19	12.0	17.0	0.1	0.3						26	13.5	22.5	0.3	0.3	30	14.5	25.5	0.3	0.6	
12	21	14.0	19.0	0.1	0.3						28	15.0	25.0	0.15	0.3	32	16.5	27.5	0.3	0.6	
15	24	17.0	22.0	0.1	0.3						32	19.0	28.5	0.15	0.3	35	18.5	31.5	0.3	0.6	
17	26	19.0	24.0	0.1	0.3	30	19.5	27.5	0.15	0.3	35	20.5	31.5	0.15	0.3	40	21.5	35.5	0.3	0.6	
20	32	23.0	29.0	0.1	0.3	37	24.0	33.5	0.15	0.3	42	24.5	37.5	0.3	0.6	47	26.5	40.5	0.6	1.0	
25	37	28.0	34.0	0.1	0.3	42	29.0	38.5	0.15	0.3	47	29.0	43.0	0.3	0.6	52	30.5	46.5	0.6	1.0	
30	42	33.0	39.0	0.1	0.3	47	34.0	43.5	0.15	0.3	55	34.5	50.5	0.3	1.0	62	36.5	55.5	0.6	1.0	
35	47	38.0	44.0	0.1	0.3	55	39.5	50.5	0.3	0.6	62	40.5	56.5	0.3	1.0	72	44.0	63.0	0.6	1.1	
40	52	43.0	49.0	0.1	0.3	62	44.5	57.5	0.3	0.6	68	46.0	62.0	0.3	1.0	80	49.0	71.0	0.6	1.1	
45	58	48.5	54.5	0.1	0.3	68	50.0	63.0	0.3	0.6	75	50.5	69.5	0.3	1.0	85	54.0	76.0	0.6	1.1	
50	65	53.5	61.5	0.1	0.3	72	54.0	68.0	0.3	0.6	80	55.5	74.5	0.3	1.0	90	57.5	83.0	0.6	1.1	
55	72	58.5	68.5	0.1	0.3	80	59.5	75.5	0.3	1.0	90	61.5	83.5	0.6	1.1	100	63.0	92.0	0.6	1.5	
60	78	63.5	74.5	0.1	0.3	85	64.5	80.5	0.3	1.0	95	66.5	88.5	0.6	1.1	110	71.5	100.5	1.0	1.5	
65	85	69.5	80.5	0.3	0.6	90	69.5	85.5	0.3	1.0	100	71.5	93.5	0.6	1.1	120	76.5	108.5	1.0	1.5	
70	90	74.5	85.5	0.3	0.6	100	75.5	94.5	0.3	1.0	110	77.5	103.0	0.6	1.1	125	81.5	113.5	1.0	1.5	
75	95	79.5	90.5	0.3	0.6	105	80.5	99.5	0.3	1.0	115	82.5	108.0	0.6	1.1	130	86.5	118.5	1.0	1.5	
80	100	84.5	95.5	0.3	0.6	110	85.5	104.5	0.3	1.0	125	88.0	117.0	0.6	1.1	140	92.5	128.0	1.0	2.0	
85	110	90.5	104.5	0.3	1.0	120	91.5	113.5	0.6	1.1	130	93.0	122.0	0.6	1.1	150	98.5	137.0	1.0	2.0	
90	115	95.5	109.5	0.3	1.0	125	96.5	118.5	0.6	1.1	140	100.5	130.0	1.0	1.5	160	103.0	147.0	1.0	2.0	
95	120	100.5	114.5	0.3	1.0	130	101.5	123.5	0.6	1.1	145	104.0	136.0	1.0	1.5	170	112.0	153.0	1.1	2.1	
100	125	105.5	119.5	0.3	1.0	140	107.5	133.0	0.6	1.1	150	109.0	141.0	1.0	1.5	180	116.0	164.0	1.1	2.1	
105	130	110.5	124.5	0.3	1.0						160	115.0	150.0	1.0	2.0	190	122.0	173.0	1.1	2.1	
110	140	116.5	134.0	0.3	1.0	150	117.5	143.0	0.6	1.1	170	121.0	159.0	1.0	2.0	200	130.0	181.0	1.1	2.1	
120	150	126.5	144.0	0.3	1.0	165	128.0	157.0	0.6	1.1	180	131.0	169.0	1.0	2.0	215	143.0	192.0	1.1	2.1	
130	165	138.0	157.0	0.6	1.1	180	140.0	170.0	0.6	1.5	200	143.0	188.0	1.0	2.0	230	152.0	209.0	1.5	3.0	
140	175	148.0	167.0	0.6	1.1	190	151.0	180.0	0.6	1.5	210	153.0	198.0	1.0	2.0	250	165.0	225.0	1.5	3.0	
150	190	159.0	181.0	0.6	1.1	210	161.0	199.0	1.0	2.0	225	164.0	212.0	1.0	2.1						
160						220	171.0	209.0	1.0	2.0	240	175.0	226.0	1.0	2.1						
170						230	181.0	219.0	1.0	2.0	260	188.0	242.0	1.0	2.1						
180						250	192.0	238.0	1.0	2.0	280	201.0	259.0	1.0	2.1						
190						260	202.0	248.0	1.0	2.0	290	211.0	269.0	1.0	2.1						
200						280	215.0	266.0	1.0	2.1	310	220.0	290.0	1.0	2.1						
220						300	234.0	286.0	1.0	2.1	340	242.0	319.0	1.5	3.0						
230						310	244.0	296.0	1.0	2.1											
240						320	254.5	305.5	1.0	2.1	360	262.0	339.0	1.5	3.0						
260						360	278.5	342.0	1.0	2.1											
280						380	299	361	1.0	2.1											

Werte in mm

# Anschlussmaße und -radien der Lagersitze

(Die maximalen Radien der Lagersitze müssen den jeweiligen  $r_{min}$  und  $R_{min}$  des Lagers entsprechen)

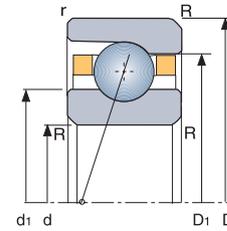


d	SERIE VEB - HB					SERIE VEX					SERIE BS 200					SERIE BS (spezial)					
	D	d <sub>amin</sub>	DL <sub>max</sub>	r <sub>max</sub>	R <sub>max</sub>	D	d <sub>amin</sub>	DL <sub>max</sub>	r <sub>max</sub>	R <sub>max</sub>	D	d <sub>amin</sub>	DL <sub>max</sub>	r <sub>max</sub>	R <sub>max</sub>	D	d <sub>amin</sub>	DL <sub>max</sub>	r <sub>max</sub>	R <sub>max</sub>	
6						17	8.5	14.5	0.15	0.3											
7						19	9.5	16.5	0.15	0.3											
8	19	10.5	16.5	0.15	0.3	22	11.0	19.0	0.15	0.3											
9						24	12.5	20.5	0.15	0.3											
10	22	13.0	19.0	0.15	0.3	26	13.5	22.5	0.3	0.3											
12	24	15.0	21.0	0.15	0.3	28	15.0	25.0	0.15	0.3	32	17.0	26.5	0.6	0.6						
15	28	17.5	25.5	0.15	0.3	32	19.0	28.5	0.15	0.3	35	20.0	30.0	0.6	0.6						
17	30	19.5	27.5	0.15	0.3	35	20.5	31.5	0.15	0.3	40	23.0	34.0	0.6	0.6	47	23.5	40.0	1.0	1.0	
20	37	24.0	33.5	0.15	0.3	42	24.5	37.5	0.3	0.6	47	27.0	40.0	0.6	1.0	47	27.0	40.0	1.0	1.0	
25	42	29.0	38.5	0.15	0.3	47	29.5	42.0	0.3	0.6	52	32.0	45.0	0.6	1.0	62	34.0	53.5	1.0	1.0	
30	47	34.0	43.5	0.15	0.3	55	36.5	48.5	0.6	1.0	62	39.0	53.5	0.6	1.0	62	39.0	53.5	1.0	1.0	
35	55	39.5	50.5	0.3	0.6	62	41.5	55.5	0.6	1.0	72	45.0	61.5	0.6	1.1	72	45.0	61.5	1.1	1.1	
40	62	44.5	57.5	0.3	0.6	68	47.0	61.0	0.6	1.0	80	51.0	69.0	0.6	1.1						
45	68	50.0	63.0	0.3	0.6	75	53.0	67.0	0.6	1.0	85	56.0	74.0	0.6	1.1						
50	72	54.0	68.0	0.3	0.6	80	57.5	72.5	0.6	1.0	90	61.0	79.0	0.6	1.1						
55	80	59.5	75.5	0.3	1.0	90	64.5	80.5	0.6	1.1											
60	85	64.5	80.5	0.3	1.0	95	69.5	85.5	0.6	1.1	110	74.0	96.0	0.6	1.5						
65	90	69.5	85.5	0.3	1.0	100	74.0	91.0	0.6	1.1											
70	100	75.5	94.5	0.3	1.0	110	80.5	99.5	0.6	1.1											
75	105	80.5	99.5	0.3	1.0	115	85.5	104.5	0.6	1.1	130	91.0	114.0	0.6	1.5						
80	110	85.5	104.5	0.3	1.0	125	91.5	113.5	0.6	1.1											
85	120	91.5	113.5	0.6	1.1	130	96.5	118.5	0.6	1.1											
90	125	96.5	118.5	0.6	1.1	140	104.0	126.0	1.0	1.5											
95	130	101.5	123.5	0.6	1.1	145	107.3	132.5	1.0	1.5											
100	140	107.5	133.0	0.6	1.1	150	112.5	137.5	1.0	1.5											
105																					
110	150	117.5	143.0	0.6	1.1	170	127.5	152.5	1.0	2.0											
120	165	128.0	157.0	0.6	1.1	180	135.5	164.0	1.0	2.0											
130																					
140																					
150																					
160																					
170																					
180																					
190																					
200																					
220																					
240																					
260																					
280																					

Werte in mm



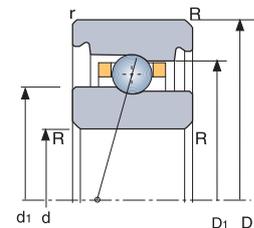
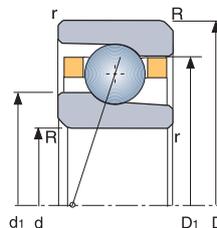
# Anschlussmaße und -radien der Schrägkugellager



d	SERIE SEA					SERIE SEB					SERIE EX					SERIE E 200				
	D	d1	D1	r <sub>min</sub>	R <sub>min</sub>	D	d1	D1	r <sub>min</sub>	R <sub>min</sub>	D	d1	D1	r <sub>min</sub>	R <sub>min</sub>	D	d1	D1	r <sub>min</sub>	R <sub>min</sub>
6											17	9.2	14.0	0.15	0.3					
7											19	10.3	15.7	0.15	0.3	22	12.1	17.9	0.15	0.3
8											22	12.1	17.9	0.15	0.3	24	13.1	18.8	0.15	0.3
9											24	13.6	19.4	0.15	0.3	26	14.8	21.3	0.15	0.3
10	19	13.1	16.1	0.1	0.3						26	15.6	20.4	0.3	0.3	30	16.3	23.7	0.3	0.6
12	21	15.1	18.1	0.1	0.3						28	17.0	23.3	0.15	0.3	32	18.0	26.0	0.3	0.6
15	24	18.1	21.1	0.1	0.3						32	20.7	26.9	0.15	0.3	35	20.8	29.1	0.3	0.6
17	26	20.1	23.0	0.1	0.3	30	21.1	25.9	0.15	0.3	35	22.7	29.3	0.15	0.3	40	24.2	32.8	0.3	0.6
20	32	24.1	28.1	0.1	0.3	37	25.7	32.0	0.15	0.3	42	27.2	34.8	0.3	0.6	47	29.0	38.0	0.6	1.0
25	37	29.1	33.1	0.1	0.3	42	30.7	36.4	0.15	0.3	47	31.7	40.3	0.3	0.6	52	33.8	43.2	0.6	1.0
30	42	34.1	38.1	0.1	0.3	47	35.8	41.4	0.15	0.3	55	37.9	47.2	0.3	1.0	62	40.3	51.7	0.6	1.0
35	47	39.1	43.1	0.1	0.3	55	41.7	48.3	0.3	0.6	62	43.9	53.2	0.3	1.0	72	47.8	59.2	0.6	1.1
40	52	44.1	48.1	0.1	0.3	62	47.2	54.8	0.3	0.6	68	49.2	58.8	0.3	1.0	80	53.3	66.8	0.6	1.1
45	58	49.6	53.6	0.1	0.3	68	52.7	60.3	0.3	0.6	75	54.3	65.7	0.3	1.0	85	58.8	71.5	0.6	1.1
50	65	55.1	60.0	0.1	0.3	72	56.7	65.3	0.3	0.6	80	59.3	70.8	0.3	1.0	90	62.4	77.7	0.6	1.1
55	72	60.7	66.5	0.1	0.3	80	62.8	72.3	0.3	1.0	90	65.8	79.2	0.6	1.1	100	69.0	86.1	0.6	1.5
60	78	65.7	72.5	0.1	0.3	85	67.8	77.3	0.3	1.0	95	70.8	84.2	0.6	1.1	110	77.4	94.6	1.0	1.5
65	85	71.7	78.5	0.3	0.6	90	72.8	82.3	0.3	1.0	100	75.8	89.2	0.6	1.1	120	83.0	102.0	1.0	1.5
70	90	76.7	83.5	0.3	0.6	100	79.3	90.5	0.3	1.0	110	82.4	97.6	0.6	1.1	125	88.0	107.0	1.0	1.5
75	95	81.7	88.5	0.3	0.6	105	84.3	95.5	0.3	1.0	115	87.4	102.6	0.6	1.1	130	93.0	112.0	1.0	1.5
80	100	86.7	93.5	0.3	0.6	110	89.3	100.5	0.3	1.0	125	94.0	111.0	0.6	1.1	140	99.4	120.6	1.0	2.0
85	110	93.2	102.1	0.3	1.0	120	96.0	109.2	0.6	1.1	130	99.0	116.0	0.6	1.1	150	106.0	129.0	1.0	2.0
90	115	98.2	107.1	0.3	1.0	125	101.0	114.2	0.6	1.1	140	106.4	123.6	1.0	1.5	160	113.9	136.4	1.0	2.0
95	120	103.2	112.1	0.3	1.0	130	106.0	119.2	0.6	1.1	145	110.5	129.5	1.0	1.5	170	120.1	144.9	1.1	2.1
100	125	108.2	117.0	0.3	1.0	140	112.4	127.5	0.6	1.1	150	115.5	134.5	1.0	1.5	180	126.5	153.5	1.1	2.1
105	130	113.2	122.0	0.3	1.0						160	122.0	143.6	1.0	2.0	190	132.3	162.7	1.1	2.1
110	140	119.8	130.6	0.3	1.0	150	122.4	137.5	0.6	1.1	170	128.5	151.5	1.0	2.0	200	139.7	170.3	1.1	2.1
120	150	129.8	140.6	0.3	1.0	165	134.0	151.0	0.6	1.1	180	138.5	161.5	1.0	2.0	215	152.3	182.7	1.1	2.1
130	165	141.8	153.2	0.6	1.1	180	146.4	163.6	0.6	1.5	200	151.7	178.3	1.0	2.0	230	162.8	197.1	1.5	3.0
140	175	151.3	163.7	0.6	1.1	190	156.4	173.6	0.6	1.5	210	161.7	188.3	1.0	2.0	250	177.0	213.0	1.5	3.0
150	190	163.3	176.7	0.6	1.1	210	168.6	191.5	1.0	2.0	225	173.2	201.8	1.0	2.1					
160						220	178.6	201.5	1.0	2.0	240	185.0	215.0	1.0	2.1					
170						230	188.6	211.5	1.0	2.0	260	199.0	231.0	1.0	2.1					
180						250	201.7	228.4	1.0	2.0	280	212.9	247.2	1.0	2.1					
190						260	211.7	238.4	1.0	2.0	290	222.9	257.2	1.0	2.1					
200						280	224.8	255.2	1.0	2.1	310	234.1	275.9	1.0	2.1					
220						300	244.8	275.2	1.0	2.1	340	257.2	302.8	1.5	3.0					
230						310	254.8	285.2	1.0	2.1										
240						320	264.8	295.2	1.0	2.1	360	277.2	322.8	1.5	3.0					
260						360	291.0	329.1	1.0	2.1										
280						380	311.0	349.0	1.0	2.1										

Werte in mm

# Anschlussmaße und -radien der Schrägkugellager

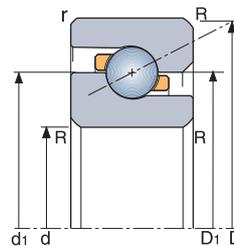


d	SERIE VEB					SERIE HB					SERIE VEX				
	D	d1	D1	r <sub>min</sub>	R <sub>min</sub>	D	d1	D1	r <sub>min</sub>	R <sub>min</sub>	D	d1	D1	r <sub>min</sub>	R <sub>min</sub>
6											17	9.2	14.0	0.15	0.3
7											19	10.3	15.7	0.15	0.3
8	19	11.3	15.7	0.15	0.3						22	12.1	17.9	0.15	0.3
9											24	13.6	19.4	0.15	0.3
10	22	14.0	17.9	0.15	0.3						26	15.6	20.4	0.3	0.3
12	24	16.0	19.9	0.15	0.3						28	17.0	23.3	0.15	0.3
15	28	19.1	23.9	0.15	0.3						32	20.7	26.9	0.15	0.3
17	30	21.1	25.9	0.15	0.3						35	22.7	29.3	0.15	0.3
20	37	25.7	32.0	0.15	0.3						42	27.2	34.8	0.3	0.6
25	42	30.7	36.4	0.15	0.3						47	32.2	39.8	0.3	0.6
30	47	35.8	41.4	0.15	0.3	47	36	41.2	0.15	0.3	55	38.7	46.3	0.6	1.0
35	55	41.7	48.3	0.3	0.6	55	42.5	47.7	0.3	0.6	62	44.2	52.8	0.6	1.0
40	62	47.2	54.8	0.3	0.6	62	48.5	53.7	0.3	0.6	68	49.7	58.2	0.6	1.0
45	68	52.7	60.3	0.3	0.6	68	53.5	59.7	0.3	0.6	75	55.7	64.2	0.6	1.0
50	72	56.7	65.3	0.3	0.6	72	58	64.2	0.3	0.6	80	60.2	69.8	0.6	1.0
55	80	62.8	72.3	0.3	1.0	80	63.9	71.3	0.3	1.0	90	67.7	77.3	0.6	1.1
60	85	67.8	77.3	0.3	1.0	85	68.9	76.3	0.3	1.0	95	72.7	82.3	0.6	1.1
65	90	72.8	82.3	0.3	1.0	90	73.9	81.3	0.3	1.0	100	77.3	87.7	0.6	1.1
70	100	79.3	90.5	0.3	1.0	100	80.9	89.3	0.3	1.0	110	84.3	95.3	0.6	1.1
75	105	84.3	95.5	0.3	1.0	105	85.9	94.3	0.6	1.0	115	89.3	100.7	0.6	1.1
80	110	89.3	100.5	0.3	1.0	110	90.7	99.6	0.6	1.0	125	95.8	109.2	0.6	1.1
85	120	96.0	109.2	0.6	1.1	120	98.2	107	0.6	1.1	130	100.8	114.2	0.6	1.1
90	125	101.0	114.2	0.6	1.1	125	102.9	112.3	0.6	1.1	140	108.3	121.7	1.0	1.5
95	130	106.0	119.2	0.6	1.1	130	107.9	117.3	0.6	1.1	145	112.4	127.6	1.0	1.5
100	140	112.4	127.5	0.6	1.1	140	114.9	125.3	0.6	1.1	150	117.4	132.6	1.0	1.5
105															
110	150	122.4	137.5	0.6	1.1	150	124.4	135.9	0.6	1.1	170	132.4	147.6	1.0	2.0
120	165	134.0	151.0	0.6	1.1	165	136.9	148.4	0.6	1.1	180	141.4	158.6	1.0	2.0
130															
140															
150															
160															
170															
180															
190															
200															
220															
240															
260															
280															

Werte in mm



# Anschlussmaße und -radien der Schrägkugellager



d	SERIE BS 200					SERIE BS (SPEZIAL)				
	D	d1	D1	r <sub>min</sub>	R <sub>min</sub>	D	d1	D1	r <sub>min</sub>	R <sub>min</sub>
6										
7										
8										
9										
10										
12	32	22.0	22.1	0.6	0.6					
15	35	25.0	25.1	0.6	0.6					
17	40	28.5	28.6	0.6	0.6	47	33.5	33.6	1.0	1.0
20	47	33.5	33.6	0.6	1.0	47	33.5	33.6	1.0	1.0
25	52	38.5	38.6	0.6	1.0	62	46.0	46.1	1.0	1.0
30	62	46.0	46.1	0.6	1.0	62	46.0	46.1	1.0	1.0
35	72	53.5	53.6	0.6	1.1	72	53.5	53.6	1.1	1.1
40	80	60.0	60.1	0.6	1.1					
45	85	65.0	65.1	0.6	1.1					
50	90	70.0	70.1	0.6	1.1					
55										
60	110	85.0	85.1	0.6	1.5					
65										
70										
75	130	102.5	102.7	0.6	1.5					

Werte in mm

# Schmierung

## Schmierung der Lager

Um jegliche Verunreinigung der Lager auszuschliessen, besteht die Möglichkeit, dem Kunden die Lager sowohl in der offenen Bauform als auch mit seitlichen Abdichtungen (/S) und bereits gefettet zu liefern. Der Vorgang erfolgt in sauberer Umgebung mit entsprechenden Geräten unmittelbar nach der Reinigung. Ausserdem werden eine genaue Dosierung und eine gleichmässige Verteilung des Fettes gewährleistet.

Ziel der Schmierung ist es, die Abwälzflächen von einander zu trennen, um so Reibung und Wärmeentwicklung im Lager zu vermeiden.

## Fettschmierung

Die Fettschmierung ist die häufigste Art der Schmierung, da sie aufgrund des einfachen und wirtschaftlichen Gebrauchs sehr vorteilhaft ist.

Wenn die Betriebsverhältnisse (Drehzahl, Temperatur, Sauberkeit) den vom Fetthersteller angegebenen Grenzwerten entsprechen, benötigen die Lager weder eine besondere Wartung noch späteres Hinzufügen von Fett (man kann deshalb von einer "einmaligen Schmierung" sprechen).

Die Wahl des Schmierfettes ist von grundlegender Bedeutung für eine optimale Funktion der Lager und hat Auswirkungen auf:

- Betriebstemperatur;
- Lebensdauer;
- Korrosionsschutz;
- Geräuschpegel.

Im Handel ist eine grosse Auswahl qualitativ hochwertiger, synthetischer Fette erhältlich.



Bei Schrägkugellagern für Werkzeugmaschinen kommen häufig Fette zur Anwendung, deren Eigenschaften denen in der untenstehenden Tabelle aufgeführten Werten entsprechen.

Schrägkugellager, die bei Anwendungen mit hohen Betriebstemperaturen eingesetzt werden, wie zum Beispiel in Elektrospeindeln, müssen mit einem Fett geschmiert werden, das seine Eigenschaften unter diesen Bedingungen nicht verschlechtert und dessen Grundöl eine entsprechende Viskosität und erhöhte Verschleissfestigkeit besitzt.

ANWENDUNG		FETTART	
Drehzahlkennwert (ndm)	Belastung	Konsistenzklasse NLGI	Dickungsmittel
Bis zu 600.000	Leicht/ Mittel	2	Lithium
Bis zu 600.000	Hoch	2	Kalzium/Lithium
Bis zu 900.000	Mittel	2	Kalzium/Barium/ Lithium
Über 900.000 bis 1.800.000	Leicht	2	Kalzium/Barium/ Lithium

## Einsatzdauer des Fettes

Die Wirksamkeit des Fettes nimmt im Laufe der Zeit unter Einfluss der Betriebsverhältnisse (Temperatur, Belastung, Verunreinigungsgrad) und in Funktion

der eigenen chemischen und physikalischen Eigenschaften ab.

Die Bestimmung dieser Vorgänge gestaltet sich recht problematisch, deshalb beruht die Berechnung der Fettlebensdauer "Lg" (in Stunden) hauptsächlich auf statistischen Daten.

Das Diagramm der Fig. 1 zeigt die Elemente für eine Bestimmung der Dauer von qualitativ guten synthetischen Fetten bei optimalen Betriebsverhältnissen; der obere Teil der Lebensdauerkurve bezieht sich auf Betriebsverhältnisse mit gemässigten Temperaturen (Spindel mit Riemenantrieb), der untere Teil bezieht sich hingegen auf Anwendungen, bei denen eine andere Wärmequelle (z.B. Elektroschindel) die Temperatur der Lager spürbar beeinflusst und zu einer Verschlechterung der Schmiermitteleigenschaften führt.

Aus dem Diagramm geht eindeutig hervor, dass die Lebensdauer der Lager bei Anwendungen mit hohen Betriebstemperaturen stärker von der Lebensdauer des Fettes abhängig ist als von der Ermüdungslebensdauer des Wälzlagerstahles.

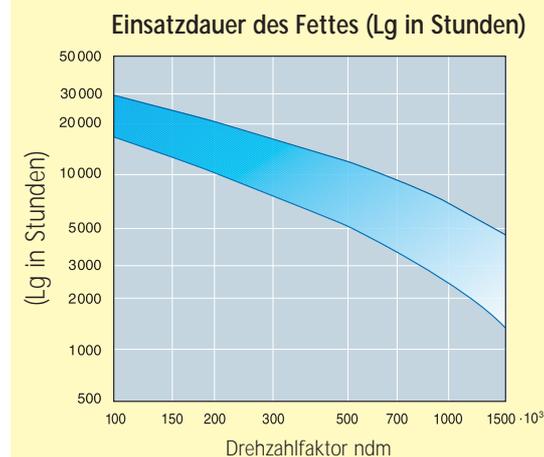


Fig.1

## Einlaufphase

Die Einlaufphase ist für die gute Funktion der Lager von grosser Bedeutung, insbesondere bei Fettschmierung.

Die Einlaufphase erlaubt ein definitives Setzen der statischen und dynamischen Teile der Lager und der Spindel; ausserdem hat das Einlaufen bei Fettschmierung die homogene Verteilung des Schmiermittels zur Aufgabe.

Die Lebensdauer und die Leistung des Lagers und des Schmiermittels werden durch eine sorgfältige Einlaufphase entscheidend beeinflusst. Bei einer Fettschmierung empfehlen wir folgende Vorgehensweise:

1 - Mit einer Anfangsdrehzahl  $n_1$  beginnen, Einlaufzeit ca. 10 bis 20 Minuten:

$$n_1 \leq n_{max} \cdot 0,1$$

2 - Die Drehzahl schrittweise erhöhen, progressive Steigerung  $\Delta n$  entspricht etwa 15% der zu erreichenden maximalen Drehzahl:

$$\Delta n \approx n_{max} \cdot 0,15$$

Nachdem sich die Betriebstemperatur der Lager stabilisiert hat, ist eine Beibehaltung der Drehzahl von 15 Minuten vor einer weiteren Erhöhung notwendig.

Während des Einlaufens ist eine Überwachung der erreichten Temperatur  $T$  mittels Temperatur-fühlern in unmittelbarer Nähe der Lager notwendig (Fig. 2).

Sollte der Aussenring des Lagers eine Temperatur von circa 55°C übersteigen, ist es ratsam, den Vorgang abzubrechen und die Spindel abkühlen zu lassen.

Das Einlaufen sollte dann von der vorherigen Stufe wieder aufgenommen werden, wobei die Drehzahl mit halbierten Schritten erhöht werden sollte.

Die Grenztemperatur von 55°C ist eine Vorsichtsmassnahme, das Lager kann eine gleichmässige Temperatur von bis zu circa 75°C aushalten, aber solche Grenzwerte sollten nicht überschritten werden, da die Innentemperatur des Lagers vorübergehend wesentlich höher sein kann.

Einlaufphase von einem Lager VEX40 9CE1 DDL mit Fettschmierung

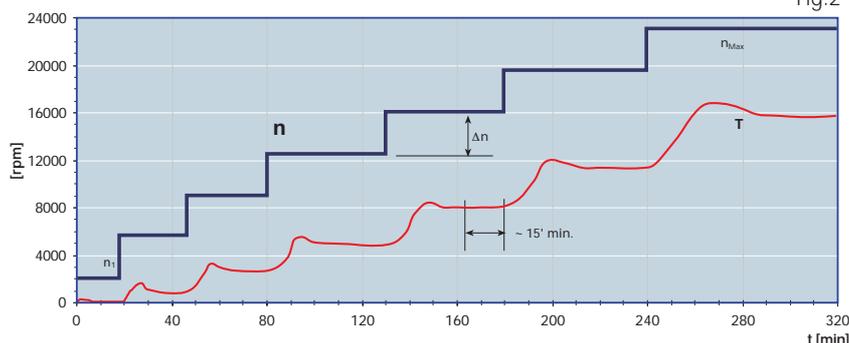


Fig.2

**Fettmenge** Die Menge des einzubringenden Fetts ist von der Baureihe des Lagers und der Betriebsdrehzahl abhängig. Die Fettmenge wird berechnet, indem man den Faktor K (Funktion der zulässigen Grenz-drehzahl, ausgedrückt in "ndm" - Fig.3) mit dem "Wert der Basisfettmenge", der in der Tabelle 4 hervorgehoben ist, multipliziert.

**Beispiel**

Lagertyp VEX 70 7 CE 1 DDL  
 Abmessungen 70 x 110 x 20  
 Max. Drehzahl 10.000 U/min

$$ndm = 10.000 \times \left[ \frac{70 + 110}{2} \right] = 900.000$$

für ndm = 900.000, K gemäss Diagramm 3 = 0,36

Basismenge gemäss Tabelle 4 = 6,9 cm<sup>3</sup>

Fettmenge = 2,48 cm<sup>3</sup> pro Wälzlager (0,36 x 6,9)

**Fettverteilung**

Das Fett muss im Lager homogen wie folgt verteilt werden:

1. Einbringen der richtigen Fettmenge in den freien Raum zwischen den Kugeln und der Lauffläche mittels einer Fettspritze.
2. Drehen des Lagers von Hand bis das Fett gut verteilt ist.

Bei kleinen Lagern, bei denen die Fettmenge sehr gering ist, wird folgendes Vorgehen vorgeschlagen: Tauchen der Lager in eine Lösungsmittel - Fettemulsion (3-5% Fett) mit anschliessendem Trocknen des Lösungsmittels. Dieser Vorgang garantiert, dass alle Teile des Lagers mit einer dünner Fettschicht überzogen sind.

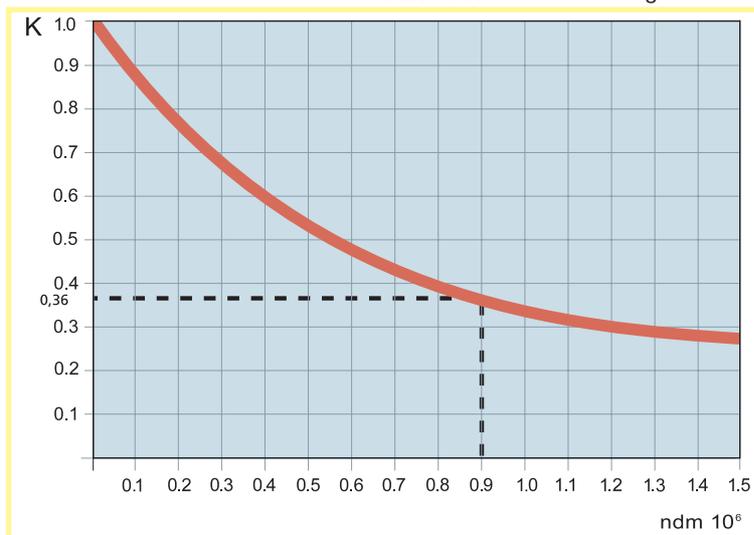
Anschliessend fetten mit der vorgesehenen Fettmenge. Voraussetzung für eine Lebensdauerschmierung sind die jeweiligen Arbeitsbedingungen und eine gute Fettqualität, d.h. die Temperatur gemessen am Aussenring sollte 55°C nicht überschreiten, das Fett muss vor Verunreinigung von aussen geschützt werden.

Bei richtiger Handhabung ist deshalb eine Nachschmierung meistens nicht erforderlich.

Sollte jedoch eine Nachschmierung erforderlich sein, empfehlen wir eine Demontage einschliesslich Auswaschen der Lager.

Die Neuschmierung erfolgt sodann wie Neumontage. Um Verunreinigung und Überfetten der Lager zu vermeiden, sollten keine Schmiernippel verwendet werden.

Faktor K Diagramm 3



**Basisfettmenge der einzelnen Lager**  
 Basisfettmenge pro Lager der Baureihen in cm<sup>3</sup>  
 (± 10% Toleranz):

d	SEA	SEB	EX	E200	VEB	HB	VEX	BS200	BS (Spezial)
6			0.1				0.1		
7			0.1	0.1			0.1		
8			0.1	0.2	0.1		0.2		
9			0.2	0.2			0.2		
10	0.1		0.2	0.3	0.1		0.2		
12	0.1		0.2	0.4	0.1		0.3	0.6	
15	0.1		0.4	0.6	0.2		0.4	0.7	
17	0.1	0.2	0.5	0.8	0.2		0.5	1.0	1.6
20	0.2	0.4	0.8	1.1	0.5		0.9	1.6	1.6
25	0.2	0.5	1.0	1.4	0.6		1.0	2.2	2.7
30	0.3	0.6	1.4	2.2	0.6	0.7	1.4	2.7	2.7
35	0.3	0.9	1.8	2.6	0.9	0.9	1.9	3.7	3.7
40	0.3	1.3	2.1	3.6	1.5	1.2	2.4	4.8	
45	0.4	1.4	3.0	4.0	1.6	1.6	2.9	5.5	
50	0.5	1.7	3.3	5.3	1.9	1.7	3.2	6.2	
55	0.9	2.2	4.6	6.9	2.5	2.3	4.1		
60	1.3	2.4	5.0	8.2	2.7	2.5	4.4	11.0	
65	1.4	2.5	5.2	10.0	2.9	2.6	5.1		
70	1.5	4.0	7.3	11.0	4.7	4.0	6.9		
75	1.6	4.3	7.7	12.0	5.0	4.2	7.3	15.0	
80	1.7	4.5	10.0	15.0	5.3	4.7	9.5		
85	3.0	6.2	11.0	19.0	7.4	6.0	10.0		
90	3.2	6.5	12.0	22.0	7.7	6.3	12.0		
95	3.3	6.8	14.0	27.0	8.0	6.6	14.0		
100	3.5	9.2	14.0	31.0	11.0	8.8	14.0		
105	4.3		18.0	37.0					
110	5.5	10.0	22.0	44.0	12.0	10.0	19.0		
120	5.9	14.0	24.0	50.0	16.0	12.0	23.0		
130	9.7	16.0	37.0	59.0					
140	10.0	17.0	39.0	66.0					
150	14.0	29.0	47.0						
160		31.0	57.0						
170		32.0	71.0						
180		48.0	87.0						
190		50.0	89.0						
200		72.0	118.0						
220		78.0	163.0						
230		80.0							
240		82.0	171.0						
260		138.0							
280		149.0							

Tabelle 4

## Ölschmierung

Wenn die Grenzen der Betriebsverhältnisse für die Fettschmierung überschritten werden, wird die Ölschmierung unerlässlich. Verschiedene Systeme der Ölschmierung können zur Anwendung kommen.

Die bekanntesten Ölschmierungen im Bereich Werkzeugmaschinen sind:

- Öleinspritz-;
- Ölnebel-;
- Minimalmengenschmierung (Luft - Öl, nur Öl).

### Öleinspritzschmierung

Die Öleinspritzung ist bei Schrägkugellagern, die mit hohen Drehzahlen und grosser Belastung laufen, vorzuziehen, das heisst, bei Bedingungen die die Schmierung mit Ölnebel wegen der Einhaltung einer niedrigen Betriebstemperatur nicht zulassen.

Das Öl wird durch seitlich angebrachte Düsen in das Lager gespritzt. Die Düsen sind so angeordnet, dass sie die Schmierung der Kontaktzonen im Lager ohne grössere Beeinträchtigungen erlauben.

Um die Bildung eines Ölüberschusses unterhalb der Lager mit einer möglichen Überhitzung zu vermeiden, müssen zusätzliche Ablaufkanäle vorgesehen werden.

Eine ausreichende Menge an Schmierstoff garantiert nicht nur eine gute Schmierung, sondern verringert auch die Wärme die durch die innere Reibung entsteht und hält so die Gesamttemperatur in kontrollierten Bereichen (**Kühlschmierung**).

In der Anlage müssen ausserdem vorgesehen werden:

Eine wirkungsvolle Ölfiltration

Ein Wärmetauscher für die von den Lagern abgegebene Wärme

Ein angemessener Ölvorrat

Ein Auffangbehälter erleichtert die Wärmeabgabe und die Setzung von eventuellen Verunreinigungen, wodurch ein vorzeitiges Altern des Schmiermittels verhindert werden kann. Ein solches Schmiersystem erfordert selbstverständlich eine genaue und sorgfältige Planung.

Was die Berechnung der Ölmenge (Durchfluss) betrifft, so existieren Regeln, die die Art des zu schmierenden Lagers (Serie und mittlerer Durchmesser) und den Montageaufbau berücksichtigen.

Bei der Bestimmung der Viskosität des Öls für ein Einspritzsystem, hält man sich normalerweise an die Klassen **ISO VG10** oder **ISO VG 15**.

Viskositätsklasse ISO	Mittlere kinematische Viskosität bei 40°C mm <sup>2</sup> /s (cSt)	Grenzwerte für kinematische Viskosität bei 40°C mm <sup>2</sup> /s (cSt)	
		minimum	maximum
VG 2	2.2	1.98	2.42
VG 3	3.2	2.88	3.52
VG 5	4.6	4.14	5.06
VG 7	6.8	6.12	7.48
VG 10	10.0	9.00	11.00
VG 15	15.0	13.50	16.50
VG 22	22.0	19.80	24.20
VG 32	32.0	28.80	35.20
VG 46	46.0	41.40	50.60
VG 68	68.0	61.20	74.80
VG 100	100.0	90.00	110.00
VG 150	150.0	135.00	165.00

### Ölmenge für Kühlschmierung

Bohrung (mm)	>		50	120
	≤	50	120	280
Ölmenge (l/h)		2 ... 24	15 ... 120	60 ... 300

## Ölnebel schmierung

Die Ölnebel schmierung ist vor allem bei Anwendungen mit hohen Drehzahlen weit verbreitet, da sie folgende Vorteile bietet:

- guter Wirkungsgrad auch bei komplizierter Anordnung der Lager;
- gemässigte Temperatur, beschränkte Leistungsminderung;
- einfache und kostengünstige Schmieranlage;
- einfache Konstruktion der Spindel (Kanalisationen, Abstände, usw.)
- guter Schutz der Lager gegen Verunreinigungen von Aussen (Überdruck in der Spindel)

Auch die Anlage mit Ölnebel schmierung muss entsprechend genauer Normen geplant werden (die Hersteller der Geräte für "Ölnebel" können die erforderlichen technischen Daten liefern), die die Eigenschaften und die Drehzahl der zu schmierenden Lager berücksichtigen.

Das für die Ölnebel schmierung empfohlene Öl entspricht dem Typ **ISO VG32**.

## Öl-Luft-Minimalmengenschmierung

Das Besondere an diesem System ist die Verwendung eines synthetischen Öls mit hoher Viskosität ( im allgemeinen **ISO VG68**), das selbst in geringen Mengen eine resistente Trennschicht zwischen den Kugeln und den Laufbahnen bildet.

Dies bedeutet, dass es möglich ist, gleichzeitig den Rollwiderstand der Kugeln zu verringern und ein gutes Verhalten auch bei starker Belastung zu erzielen.

Diese System ist aus folgenden Gründen äusserst umweltfreundlich:

- niedriger Ölverbrauch;
- nur geringe Nebelbildung.

Bei diesem System bildet die Luft das Transportmedium und das Öl wird an der Wand der Kanäle schlierenartig zur Schmierstelle transportiert.

Das Öl gelangt durch **seitlich angebrachte Düsen (Fig. 1) oder durch Bohrungen im Aussenring** (vergleiche folgende Seite Lager in Ausführung "H1" und "G1") in das Lager.

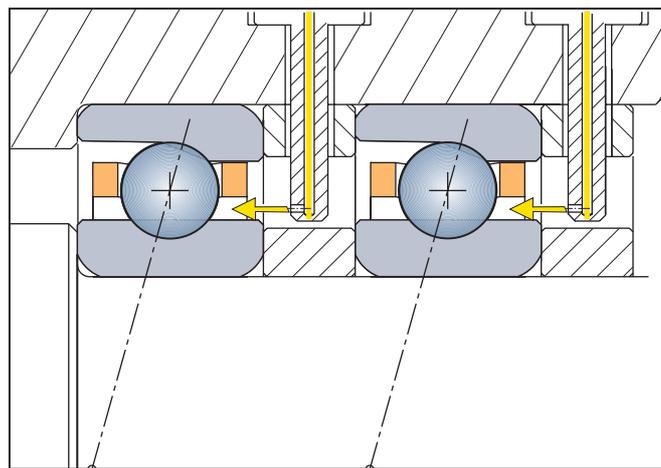


Fig. 1

Mit der Öl-Luft-Schmierung werden bei Elektroschindeln mit hoher Frequenz und hoher Leistung gute Ergebnisse erzielt.

Die Lagerreihen VEB und VEX für hohe Drehzahl in der Ausführung ...NS/H1-...NS/G1 (Keramikugeln und Aussenring mit Schmierbohrungen) können in Verbindung mit einer Öl-Luft-Schmierung sehr hohe Drehzahlkennwerte (über 2500000 ndm) erreichen.

Ölmenge:

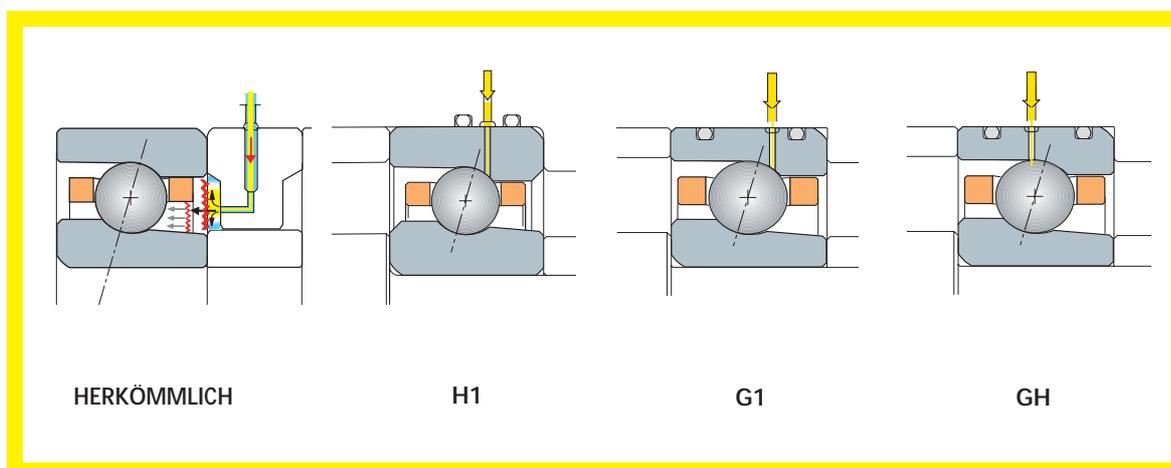
Folgende Formel ergibt die erforderliche Richtölmenge, die während der Versuche optimiert werden muss:

$$Q = 1.3 \cdot dm \quad [\text{mm}^3/\text{h}] \quad \text{für jedes Lager}$$

Wobei **dm** der mittlere Lagerdurchmesser (in mm) ist.



Ein homogener Ölfluss ist von grundsätzlicher Bedeutung. Eine separate, individuelle Schmierung jedes einzelnen Lagers wird dringend empfohlen.



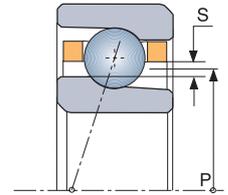
## Öl-Minimalschmierung

Diese Schmierungsart ist auch für Höchstdrehzahlen geeignet. Durch eine Einspritzung (Schmierung durch den Aussenring, Ausführung H1) wird die zum korrekten Betriebsverhalten notwendige Ölmenge dem Lager direkt zugeführt.

Eine zentrale Steuerung/Kontrolle des kontinuierlichen Ölflusses und Druckes ist erforderlich.

# Öleinspritzdüsen

Die Öleinspritzdüsen müssen korrekt platziert sein, um eine richtige Lagerschmierung zu gewährleisten. Das Öl oder das Öl-Luftgemisch muss zwischen dem inneren Ring und dem Käfig gebracht werden, um zum Wälzkontakt zu gelangen. Diese Position entspricht  $\varnothing P$ .



Werte "P" und "S" [in mm]

Durchmesser d	SERIE											
	SEA		SEB - VEB		EX		VEX		E 200		HB	
	P	S	P	S	P	S	P	S	P	S	P	S
6					10.10	0.90	10.10	0.90				
7					11.30	1.00	11.30	1.00				
8			12.10	0.85	13.30	1.20	13.30	1.20	13.10	1.00		
9					14.80	1.20	14.80	1.20	13.80	0.70		
10	13.40	0.30	14.80	0.75	16.50	0.90	16.50	0.90	16.10	1.30		
									17.90	1.55		
12	15.40	0.30	16.80	0.75	18.20	1.20	18.20	1.20	19.60	1.60		
15	18.40	0.30	19.80	1.15	21.90	1.20	21.90	1.20	22.30	1.45		
17	20.40	0.30	22.00	0.90	24.10	1.35	24.10	1.35	25.70	1.55		
20	24.50	0.35	26.70	1.05	28.70	1.50	28.70	1.50	30.80	1.75		
25	29.50	0.35	31.80	1.05	33.50	1.75	33.80	1.65	35.50	1.65		
30	34.50	0.35	36.80	1.00	39.70	1.90	40.30	1.65	42.40	2.05	37.0	1.02
35	39.50	0.35	43.00	1.25	45.70	1.90	46.10	1.90	49.90	2.05	43.5	1.02
40	44.50	0.35	48.70	1.45	51.10	1.90	51.60	1.85	55.80	2.50	49.5	1.02
45	50.00	0.35	54.20	1.45	56.60	2.30	57.60	1.85	60.90	2.10	54.7	1.20
50	55.60	0.45	58.40	1.65	61.60	2.30	62.30	2.10	65.20	2.75	59.2	1.20
55	61.30	0.55	64.60	1.85	68.10	2.30	69.60	1.90	72.20	3.15	65.4	1.40
60	66.40	0.65	69.60	1.85	73.10	2.30	74.60	1.85	80.20	2.80	70.4	1.40
65	72.40	0.65	74.50	1.75	78.10	2.30	79.30	2.05	86.00	3.00	75.4	1.40
70	77.40	0.65	81.50	2.20	85.20	2.80	86.50	2.15	91.00	3.00	82.6	1.60
75	82.40	0.65	86.50	2.15	90.20	2.80	91.50	2.25	95.80	2.75	87.6	1.60
80	87.40	0.65	91.50	2.15	97.00	3.00	98.50	2.70	102.70	3.30	92.5	1.70
85	94.10	0.90	98.60	2.55	102.00	3.00	103.50	2.70	110.00	4.00	99.9	1.70
90	99.10	0.90	103.50	2.50	109.50	3.10	111.00	2.65	116.00	2.05	104.8	1.80
95	104.10	0.90	108.50	2.50	113.60	3.10	115.40	3.05	123.80	3.70	109.8	1.80
100	109.10	0.90	115.40	3.00	118.80	3.25	120.40	3.05	130.30	3.75	117.0	2.00
105	114.60	1.40			126.00	4.00			137.20	4.85		
110	120.90	1.10	125.40	2.95	132.80	4.25	135.40	3.05	144.40	4.65	126.7	2.20
120	130.90	1.10	137.40	3.40	142.80	4.25	144.90	3.50	157.20	4.85	139.2	2.20
130	144.00	2.20	149.80	3.40	157.10	5.40			168.60	5.70		
140	153.20	1.85	159.80	3.35	167.10	5.40			182.50	5.50		
150	165.60	2.20	173.30	4.65	178.90	5.65						
160			183.30	4.65	190.80	5.75						
170			193.30	4.65	204.50	5.50						
180			207.40	5.65	219.50	6.55						
190			217.30	5.60	229.00	6.05						
200			231.10	6.30	240.30	6.20						
220			251.10	6.30	264.10	6.90						
230			261.00	6.20								
240			271.00	6.20	283.60	6.40						
260			298.90	7.95								
280			318.30	7.30								

# Einfluss des Verunreinigungsniveaus der Schmiermittel auf die Lagerlebensdauer



Der Reinheitsgrad der Lager beeinflusst die Lebensdauer als auch das Laufverhalten.

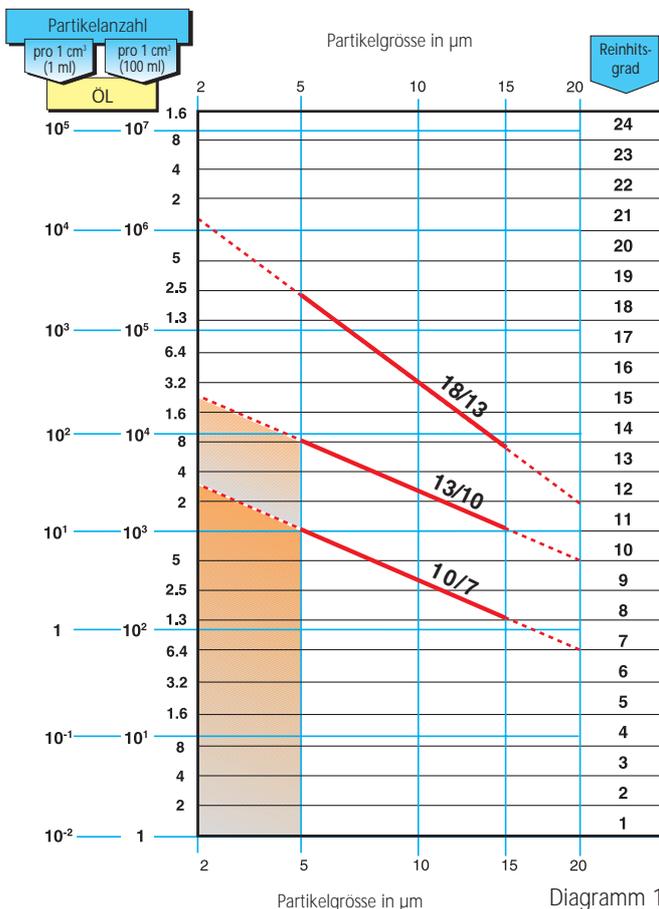
Daher ist es erforderlich, dass die gesamte Anlage ohne Verschmutzungen jeglicher Art betrieben wird.

Bei der Fettschmierung müssen alle Vorkehrungen getroffen werden, dass weder bei der Schmierung der Lager, noch während der Funktion, Verunreinigungen eindringen können (siehe Dichtungen).

Bei der Ölschmierung muss zusätzlich das Verunreinigungsniveau des Öls kontrolliert werden.



Reinheitsgrad ISO 4406



Das ist besonders zu beachten, wenn es sich um einen geschlossenen Ölkreislauf handelt. Die Feinheit und Wirksamkeit der Filter bestimmen die Anzahl und Grösse der Partikel, die das Lager erreichen werden und somit auch das Laufverhalten.

Zusätzlich gibt es flüssige Verunreinigungen (Kühlflüssigkeiten, Schneidöle), die die Eigenschaften des Schmieröls stark beeinflussen.

Das Eindringen solcher Produkte in den Kreislauf ist mit konstruktiven Massnahmen zu verhindern.

Es existieren Normen, die die Partikelgrösse und deren Anzahl, bezogen auf eine Volumeneinheit von 100 ml, klassifizieren.

Wir beziehen uns auf die ISO 4406 (siehe Diagramm 1) für hohe Genauigkeit und speziell für Elektroschindeln an die höchste Ansprüche gestellt werden.

Aus diesen Gründen schlagen wir den Reinheitsgrad 10/7 (der auch nach langem Betrieb 13/10 nicht übersteigen soll), mit einer Begrenzung der Partikelgrösse, die nie 5  $\mu\text{m}$  überschreiten sollte, vor.

# Dichtungen

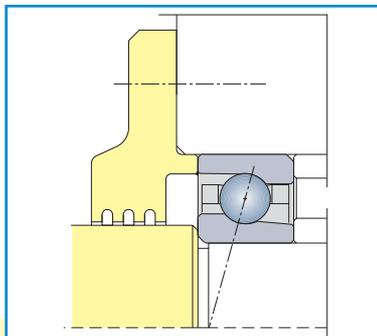
Der Reinheitsgrad der Präzisions-Schrägkugellager beeinflusst sehr stark die Lebensdauer und die Effizienz des Lagers. Daher sind Sicherheitsvorkehrungen, die das Eindringen von Schmutz- und Fremdpartikeln verursachen, notwendig.

Die einfachste Schutzmaßnahme ist der Einsatz von Lippendichtungen aus Gummi oder ähnlichen Materialien (Max. 15 m/sec).

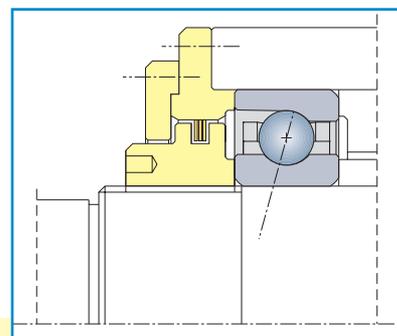
Aufgrund des Kontaktes mit dem rotierenden Element - erzeugt Reibung - ist die Verwendung dieser Art bei hohen Drehzahlen nicht geeignet. In diesem Falle ist eine berührungslose Dichtung notwendig, d.h., es entsteht keinerlei Kontakt mit sich drehenden Teilen.

Bei der Auswahl der geeigneten Dichtung müssen mehrere Faktoren berücksichtigt werden, wie z.B. die äußere Umgebung des Lagers, die Einbaulage, die Art der Schmierung und die Drehzahl.

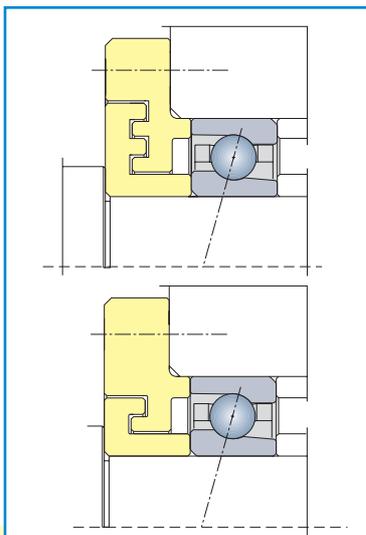
Nachfolgende Abbildungen zeigen Dichtungsarten, die in der Werkzeugmaschinenindustrie und ähnlichen Sektoren sehr häufig eingesetzt werden.



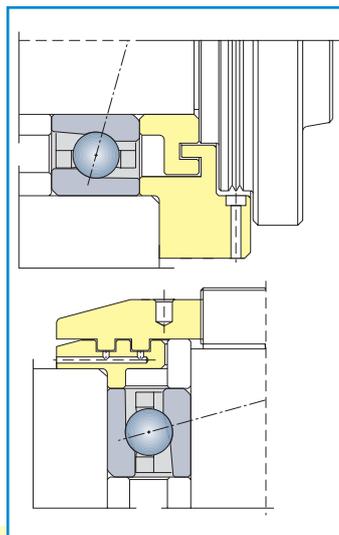
Spaltdichtung mit zusätzlichen konzentrischen Rillen.  
Anwendungsgebiet: geringes Staubaufkommen, keinerlei Einsatz von Flüssigkeiten, nicht im vorderen Arbeitsbereich der Spindel.



Spaltdichtung mit zusätzlichen elastischen Dichtelementen.  
Die Lamellenringe dürfen die rotierenden Teile nicht berühren.

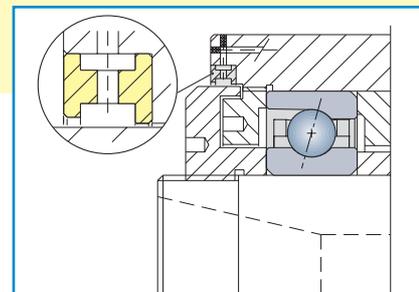


Einfach- bzw. Mehrfachlabyrinthdichtung, größere Wirksamkeit bei Flüssigkeiten (Kühlwasser usw.)



Einfach- bzw. Mehrfachlabyrinthdichtung mit zusätzlich Ablaufkanal für eingedrungene Flüssigkeiten. Der obere Labyrinthteil (Fig. 12 - vertikale Achse) verhindert das Eindringen von Fremdkörpern (Zentrifugaleffekt).

Sperrluftdichtung; große Wirksamkeit durch den Aufbau einer Barriere durch gefilterte und trockene Druckluft ( $p = 0.2 \text{ bar}$ ). Speziell geeignet bei einer Fettschmierung sowie bei einer Ölschmierung unter extremen Bedingungen.



# Kennzeichnung der Schrägkugellager



## Bei Einzellagern sowie Lagergruppen

Sie befindet sich auf der breiteren Schulter des Aussenrings, gemäss unten aufgeführter Kodierung.

• Hersteller:	SNFA
• Ursprungsland:	ITALY UK
• Baureihen:	SEA... SEB... EX... E2... HB...VEB... VEX... BS2...
• Keramikkugeln:	NS
• CHROMEX® 40	XN
• Genauigkeitsklassen:	
ABEC 5	5
ABEC 7	7
Sonder	z. B.: SQ
ABEC 7/9	7/9
ABEC 9	9
• Käfigwerkstoff	
Hartgewebe/Phenolharz	C
Polyamid 6.6	P
Messing	L
Bronze	B
Peek	K
Spezielle Materialien	X
• Käfigführung	
Aussenring	E
Innenring	I
Schmierbohrungen im Aussenring	/H1
Schmierbohrungen im Aussenring und O-Ringe	/G1
Lager mit Dichtungen	/S
Schmierbohrungen im Aussenring und O-Ringe	/GH
• Nominelle Druckwinkel	
12°	0
15°	1
18°	2
25°	3
62°	62
• Einbauanordnung:	
Tandem	T
O-Anordnung "Schulter an Schulter"	DD
X-O-Anordnung "Tandem-Schulter"	TD
X-Anordnung "Face to Face"	FF
T-X-Anordnung "Tandem-Face"	TF
T-O-T-Anordnung "Tandem-Schulter-Tandem"	TDT
T-X-T-Anordnung "Tandem-Face to Face"	TFT
Doppelt Universal	DU
Universal	U
• Vorspannung	
Leichte	L
Mittlere	M
Starke	F
Spezial	z. B.: 250 daN (nomineller Wert in daN z. B. 250)



# Markierung der Schrägkugellager

Bei gepaarten Sätzen von Schrägkugellagern mit mittleren und grossen Durchmessern wird nur ein Lager mit der kompletten Bezeichnung (Genauigkeitsklasse, Käfigwerkstoff, Käfigführung, Druckwinkel und Paarung) beschriftet.

Die restlichen Lager des Satzes werden mit der Type (z.B. SEB), Bohrungsdurchmesser, Produktionsjahr (Buchstabe), Firma (SNFA) und Herkunftsland (Italy, UK) beschriftet.

**Die Bohrung bzw. der Aussendurchmesser eines jeden Lagers wird mit der Abweichung vom Nennmass (in  $\mu\text{m}$ )**

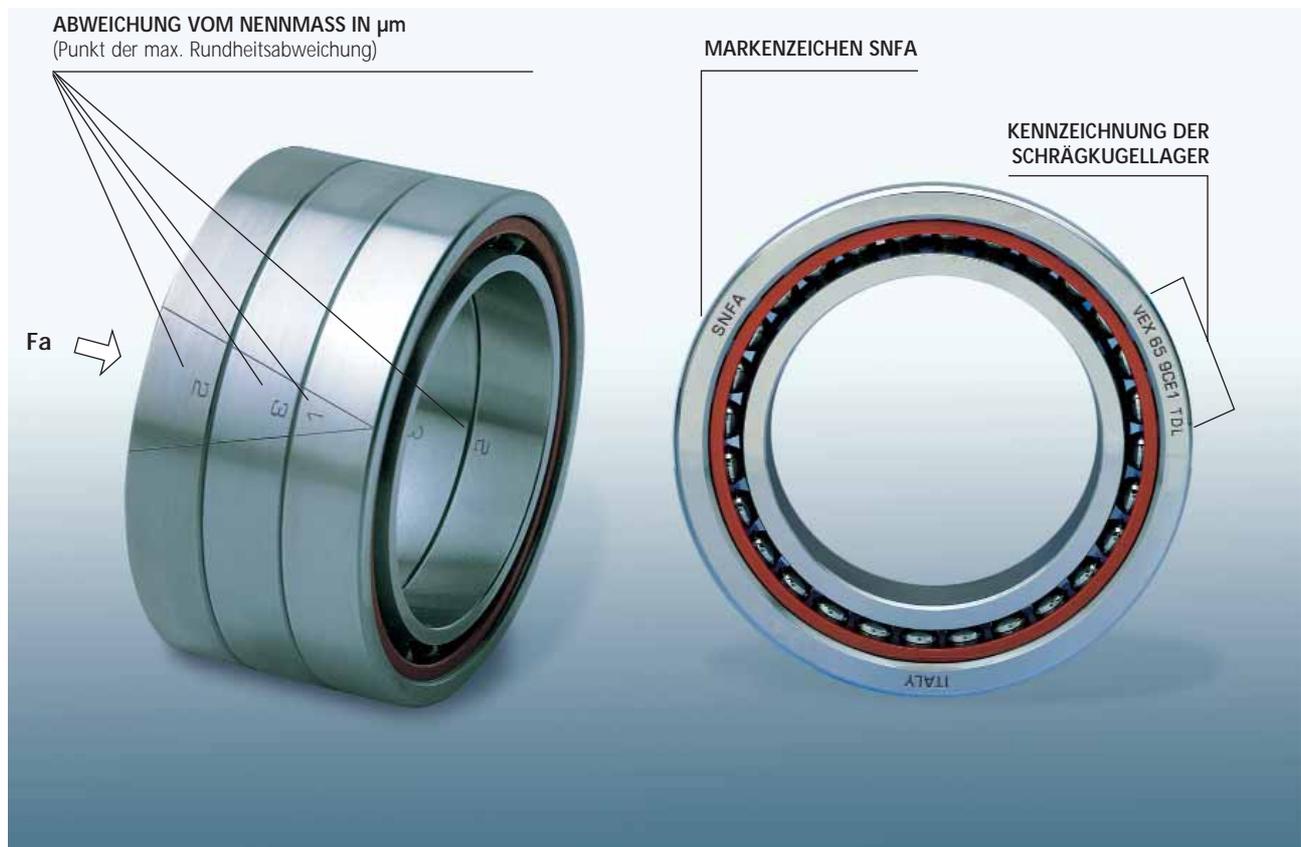
**markiert. Die Lage der Zahl gibt gleichzeitig die Lage der maximalen Rundheitsabweichung des Ringes an.**

Indem man diesen Punkt in einem Winkel von  $180^\circ$  zur maximalen Rundheitsabweichung an der Welle oder des Gehäuses ausrichtet, erreicht man eine Minimierung des Gesamtfehlers nach der Montage.

Auf der Stirnseite der Ringe können sich andere Symbole befinden, die sich auf die Herstellung beziehen: Herstellungsdatum, Seriennummer, usw.



Der Pfeil "V", der sich auf der Oberfläche des Aussendurchmessers der Lager befindet, gibt die Richtung der Axialkrafteinleitung und die jeweilige Position der Lager im Satz an. Der Pfeil befindet sich auf der Position der maximalen Rundheitsabweichung der Aussenringe.



SNFA-Präzisionlager werden in Einzel- bzw. Mehrfachverpackung geliefert.

Jede Schachtel wird mit einem Etikett mit nachstehenden Informationen versehen:

- Lagerbezeichnung
- Fettbezeichnung (befettet durch SNFA)
- Verpackungsdatum
- Effektiver Kontaktwinkel (Universallager)
- Abweichung Bohrungsaussendurchmesser = immer Minusabweichung

## CERAMIC

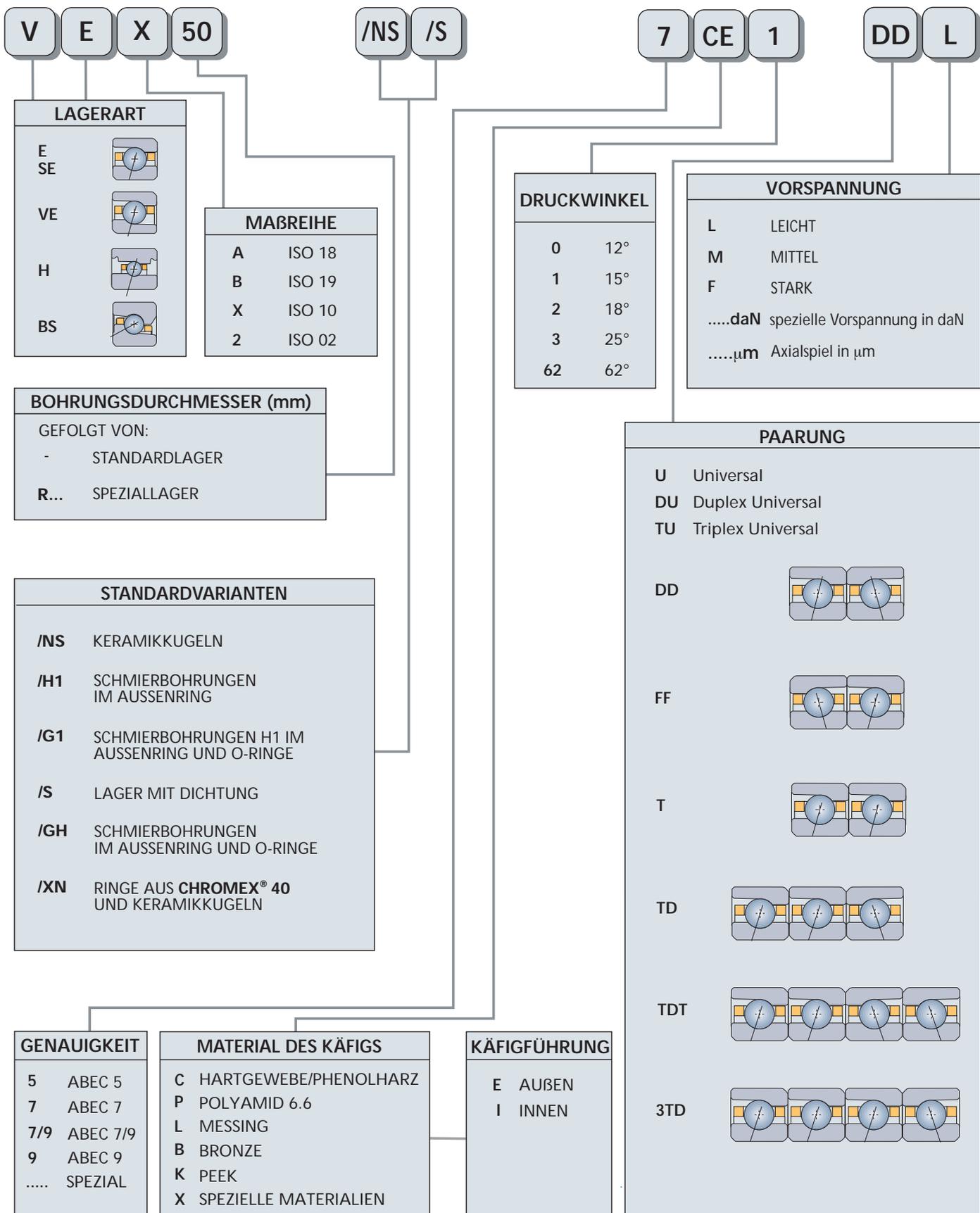
Sind die Lager mit Keramikkugeln montiert, wird zusätzlich ein Etikett mit der Aufschrift "CERAMIC" angebracht.

## CHROMEX® 40

Ringe aus CHROMEX® 40 und Keramikkugeln



# Bezeichnungsschema der Schrägkugellager



# ISO Vergleichstabelle der SNFA-Standardmaßreihen (Nennmaß)



Ø BOHRUNG	ISO 18		ISO 19		ISO 10		ISO 02					
	D	B	D	B	D	B	D	B				
6	13	3.5		15	5		17	6	19	6		
7	14	3.5		17	5	■	19	6	■	22	7	
8	16	4	■	19	6	■	22	7	■	24	8	
9	17	4		20	6	■	24	7	■	26	8	
10	■	19	5	■	22	6	■	26	8	■	30	9
12	■	21	5	■	24	6	■	28	8	■	32	10
15	■	24	5	■	28	7	■	32	9	■	35	11
17	■	26	5	■	30	7	■	35	10	■	40	12
20	■	32	7	■	37	9	■	42	12	■	47	14
25	■	37	7	■	42	9	■	47	12	■	52	15
30	■	42	7	■	47	9	■	55	13	■	62	16
35	■	47	7	■	55	10	■	62	14	■	72	17
40	■	52	7	■	62	12	■	68	15	■	80	18
45	■	58	7	■	68	12	■	75	16	■	85	19
50	■	65	7	■	72	12	■	80	16	■	90	20
55	■	72	9	■	80	13	■	90	18	■	100	21
60	■	78	10	■	85	13	■	95	18	■	110	22
65	■	85	10	■	90	13	■	100	18	■	120	23
70	■	90	10	■	100	16	■	110	20	■	125	24
75	■	95	10	■	105	16	■	115	20	■	130	25
80	■	100	10	■	110	16	■	125	22	■	140	26
85	■	110	13	■	120	18	■	130	22	■	150	28
90	■	115	13	■	125	18	■	140	24	■	160	30
95	■	120	13	■	130	18	■	145	24	■	170	32
100	■	125	13	■	140	20	■	150	24	■	180	34
105	■	130	13	■	145	20	■	160	26	■	190	36
110	■	140	16	■	150	20	■	170	28	■	200	38
120	■	150	16	■	165	22	■	180	28	■	215	40
130	■	165	18	■	180	24	■	200	33	■	230	40
140	■	175	18	■	190	24	■	210	33	■	250	42
150	■	190	20	■	210	28	■	225	35	■	270	45
160		200	20	■	220	28	■	240	38	■	290	48
170		215	22	■	230	28	■	260	42	■	310	52
180		225	22	■	250	33	■	280	46	■	320	52
190		240	24	■	260	33	■	290	46	■	340	55
200		250	24	■	280	38	■	310	51	■	360	58
220		270	24	■	300	38	■	340	56	■	400	65
240		300	28	■	320	38	■	360	56	■	440	72
260		320	28	■	360	46	■	400	65	■	480	80
280		350	33	■	380	46	■	420	65	■	500	80

