

Die Gestaltung von Wälzlagerungen

PDF 2/8:

Kraftmaschinen, Elektromotoren

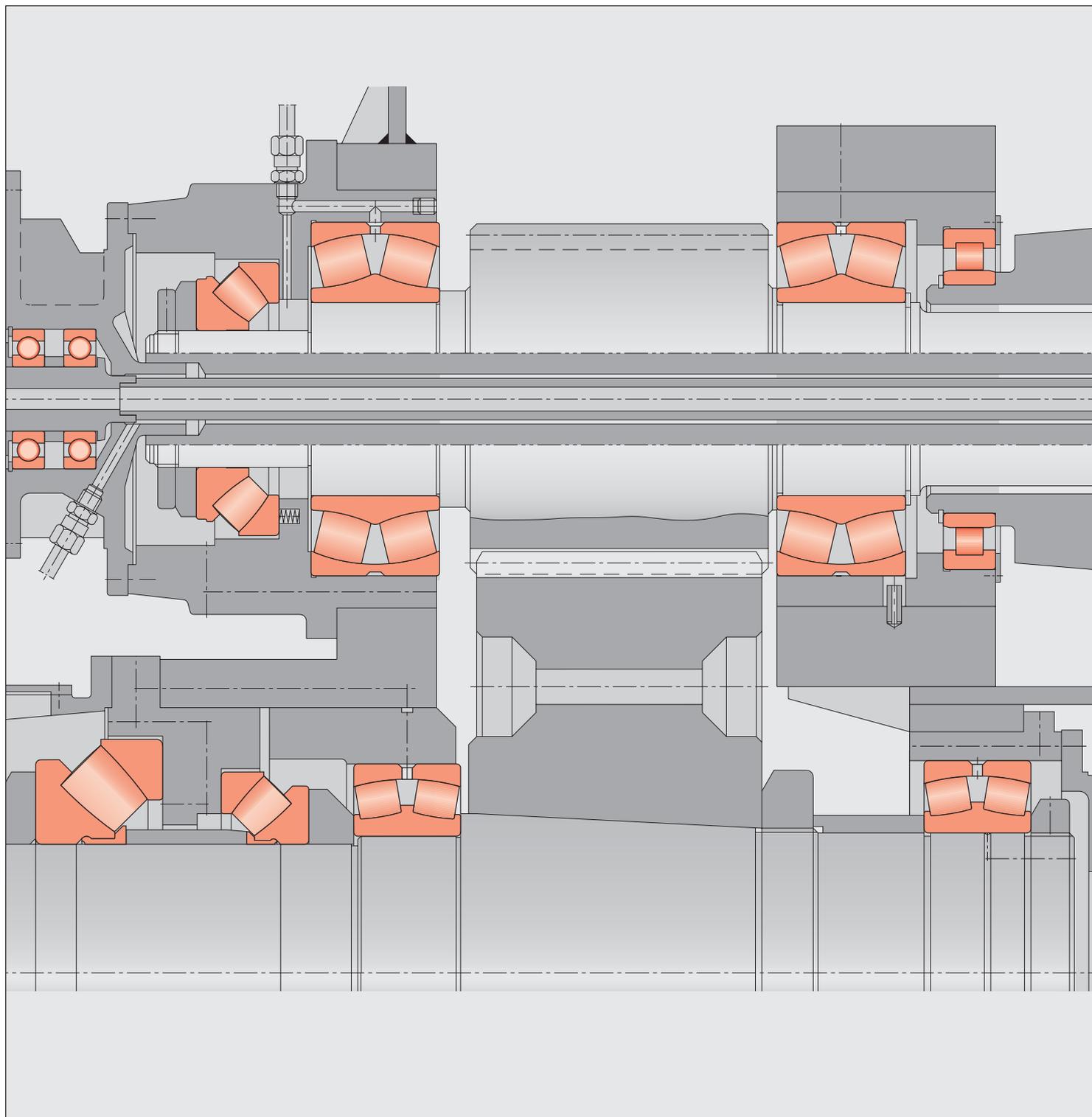
Energietechnik

Metallbearbeitungsmaschinen



FAG OEM und Handel AG

Publ.-Nr. WL 00 200/5 DA



Die Gestaltung von Wälzlagerungen

Konstruktionsbeispiele aus dem
Maschinen-, Fahrzeug- und Gerätebau

Publ.-Nr. WL 00 200/5 DA

FAG OEM und Handel AG

Ein Unternehmen der FAG Kugelfischer-Gruppe

Postfach 1260 · D-97419 Schweinfurt

Telefon (0 97 21) 91-0 · Telefax (0 97 21) 91 34 35

Telex 67345-0 fag d

<http://www.fag.de>

Vorwort

Diese Broschüre enthält Konstruktionsbeispiele für verschiedene Maschinen, Fahrzeuge und Geräte. Die Beispiele haben eines gemeinsam: Wälzlager. Deshalb stehen auch die lagerungstechnischen Fragen im Mittelpunkt der kurzen Texte. Von der Arbeitsweise der Maschine schließt man auf die Betriebsbedingungen. Daraus ergeben sich dann die geeignete Bauart und Ausführung, die Größe und Anordnung der Wälzlager, die Passung, Schmierung und Abdichtung.

Wichtige, in der Wälzlagertechnik gebräuchliche Begriffe sind kursiv gedruckt. Sie sind am Schluß in einem Stichwortverzeichnis zusammengefaßt und erläutert, zum Teil mit Hilfe von Skizzen.

Beispiel	Titel	PDF
	KRAFTMASCHINEN, ELEKTRO- MOTOREN	
1	Fahrmotor einer elektrischen Universallokomotive	2/8
2	Fahrmotor eines elektrischen Nahverkehrs-Triebzugs	2/8
3	Drehstrom-Normmotor	2/8
4	Elektromotor für ein Haushaltsgerät	2/8
5	Trommel einer Haushaltswaschmaschine	2/8
6	Vertikal-Pumpenmotor	2/8
7	Grubenlüftermotor	2/8
	ENERGIETECHNIK	
8	Rotor einer Windenergieanlage	2/8
	METALLBEARBEITUNGS- MASCHINEN	
	Hauptspindeln von Werkzeugmaschinen	2/8
9	Bohr- und Frässpindel	2/8
10	Hauptspindel einer NC-Drehmaschine . .	2/8
11	Hauptspindel einer CNC-Drehmaschine	2/8
12	Kurzbohrspindel	2/8
13	Hochgeschwindigkeits-Motorfrässpindel	2/8
14	Motorspindel einer Drehmaschine	2/8
15	Vertikal-Schnelllauf-Frässpindel	2/8
16	Bohrungsschleifspindel	2/8
17	Außenrundscheifspindel	2/8
18	Flächenschleifspindel	2/8
	Weitere Lagerungen	
19	Rundtisch einer Senkrecht-Drehmaschine .	2/8
20	Reitstockspindel	2/8
21	Drehschälmaschine für Rundstangen und Rohre	2/8
22	Schwungrad einer Karosseriepresse	2/8

1 Fahrmotor einer elektrischen Universallokomotive

Technische Daten

Frequenzumrichter gespeister Drehstrommotor.
Nennleistung 1 400 kW, maximale Drehzahl
 $4\,300\text{ min}^{-1}$ (Höchstgeschwindigkeit bei normaler
Getriebeübersetzung 200 km/h). Antrieb einseitig mit
pfeilverzahntem Ritzel.

Lagerwahl, Dimensionierung

Zur Ermittlung der Lagerbeanspruchung benutzt man
ein Lastkollektiv, das repräsentative Lastfälle für Motor-
drehmomente, Drehzahlen und Zeitanteile enthält.

Lastfall	M_d N m	n min^{-1}	q %
1	6720	1056	2
2	2240	1690	34
3	1920	2324	18
4	3200	2746	42
5	2240	4225	6

Aus dem Lastkollektiv werden die mittleren Drehzah-
len mit $2\,387\text{ min}^{-1}$ und die mittlere Fahrgeschwin-
digkeit mit 111 km/h ermittelt. Bei jedem der Lastfälle
ist für die Vor- und Rückwärtsfahrt (Zeitanteil je
50 %) die Zahnkraft am Ritzel und die Reaktionskräfte
der Lager zu berechnen.

Zusätzlich zu diesen Kräften werden die Lager durch
das Läufergewicht, den einseitigen magnetischen Zug
sowie durch Unwuchtkräfte und Fahrstöße belastet.
Da von diesen Kräften nur die Gewichtskraft des Läu-
fers G_L bekannt ist, wird diese – je nach Art der Motor-
aufhängung – mit einem Zuschlagfaktor $f_z = 1,5 \dots 2,5$
multipliziert. Mit dieser fiktiven Gewichtskraft ermit-
telt man die Lagerkräfte. Bei dem hier gezeigten Fahr-
motor, der voll abgedeutert im Drehgestell aufgehängt
ist, wird $f_z = 1,5$ gesetzt.

Die Lagerkräfte aus dem Gewicht und dem Antrieb
ergeben, geometrisch addiert, die resultierende Lager-
belastung.

Betrachtet wird bei diesem Beispiel nur das kritische
getriebeseitige Lager. Unter Berücksichtigung der
Betriebsviskosität v des Getriebeöls bei $120\text{ }^\circ\text{C}$, der
Bezugsviskosität v_1 , der Bestimmungsgrößen K_1 und K_2
wird für jeden Lastfall die *erreichbare Lebensdauer*
 $L_{hna1\dots5}$ nach der Formel $L_{hna} = a_1 \cdot a_{23} \cdot L_h$ [h] ermit-
telt. Der *Basiswert* a_{23II} bewegt sich dabei zwischen 0,8
und 3. Der *Sauberkeitsfaktor* s wird mit 1 angenom-
men. L_{hna} ergibt sich dann aus der Formel:

$$L_{hna} = \frac{100}{\frac{q_1}{L_{hna1}} + \frac{q_2}{L_{hna2}} + \frac{q_3}{L_{hna3}} + \dots}$$

Bei der Lagerwahl ist zu beachten, daß die nominelle
Laufleistung erreicht wird, wobei das Lager auf der
Antriebsseite wegen der hohen Drehzahl aber nicht zu
groß werden darf. Mit den gewählten Lagern wird die
Kundenforderung nach einer rechnerischen Lauflei-
stung von 2,5 Millionen Kilometern erfüllt.

Eingebaut sind die Zylinderrollenlager FAG
NU322E.TVP2.C5.F1 als *Loslager* auf der Antriebs-
seite; ein FAG 566513 mit Winklering HJ318E.F1 als
Festlager. Das Zylinderrollenlager FAG 566513 ist ein
NJ318E.TVP2.P64.F1, jedoch mit einem 6 mm brei-
teren Innenring. Das dadurch ermöglichte *Axialspiel*
von 6 mm wird benötigt, damit sich die Pfeilverzah-
nung am Ritzel frei einstellen kann.

Die Nachsetzzeichen bedeuten:

E	verstärkte Ausführung
TVP2	<i>Massivkäfig</i> aus glasfaserverstärktem Polyamid, <i>rollkörpergeführt</i>
C5	<i>Radialluft</i> größer als C4
F1	FAG Fertigungs- und Kontrollvorschrift für Zylinderrollenlager in Fahrmotoren, die u. a. die Anforderungen nach DIN 43283 „Zylinderrollenlager für elektrische Maschinen in Elektrofahrzeugen“ berücksichtigt.
P64	<i>Toleranzklasse</i> P6, <i>Radialluft</i> C4

Bearbeitungstoleranzen

Antriebsseite: Welle r5; Schildbohrung M6
Gegenseite: Welle n5; Schildbohrung M6

Auf der Welle werden wegen der hohen, zum Teil
stoßartigen Belastung stramme Sitze gewählt. Diese
Maßnahme mindert besonders auf der Antriebsseite
die Gefährdung durch Passungsrost.

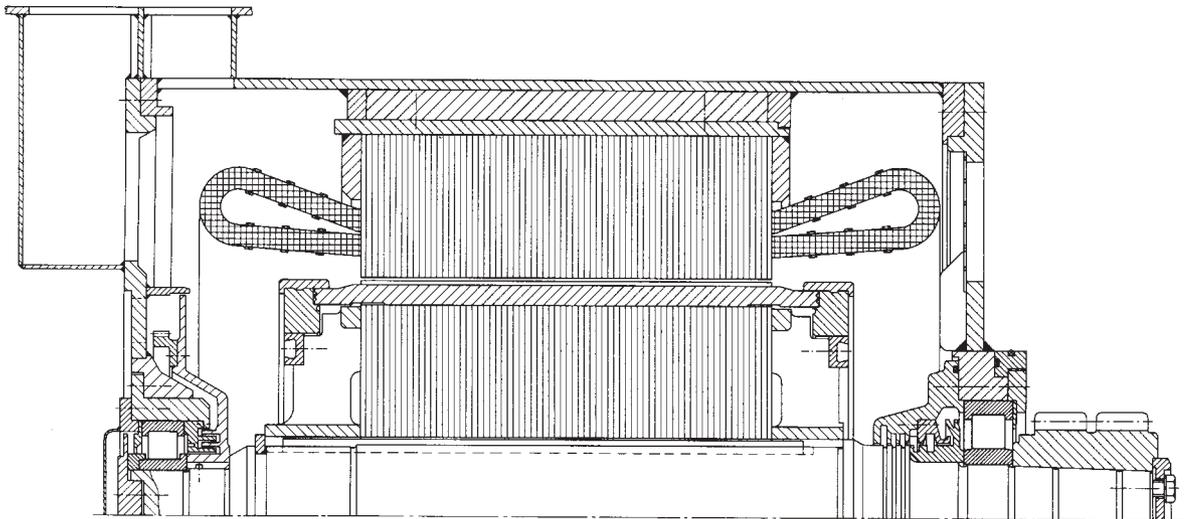
Lagerluft

Wegen der festen *Passungen* weitet sich der Lagerin-
nenring auf, und der Außenring mit dem Rollenkranz
wird eingeschnürt. Somit wird die *Radialluft* des
Lagers nach dem Einbau kleiner. Sie wird im Betrieb
noch weiter vermindert, da sich der Innenring stärker
erwärmt als der Außenring. Deshalb werden die Lager
mit vergrößerter *Radialluft* (C4...C5) eingebaut.

Schmierung, Abdichtung

Das Lager auf der Antriebsseite wird wegen der hohen Drehzahlen mit dem Getriebeöl ISO VG 320 mit *EP-Zuätzen* geschmiert. Die Abdichtung zwischen Ritzel und Lager entfällt, weshalb der Kragarm kürzer und damit die Lagerbelastung niedriger wird. Spritzkanten und Ölfanggrillen verhindern das Austreten des Öls zur Wicklung hin.

Die Lager auf der Gegenseite werden mit einem Lithiumseifenfett der *NLGI-Konsistenzklasse 3* (FAG Wälzlagerfett *Arcanol L71V*) geschmiert. Eine Nachschmierung erfolgt nach 400 000 Kilometern, längstens jedoch nach 5 Jahren. Mit mehrgängigen Labyrinth wird das Eindringen von Verunreinigungen vermieden.



2 Fahrmotor eines elektrischen Nahverkehrs-Triebzugs

Technische Daten

Eigenbelüfteter Mischstrommotor, Dauerleistung 200 kW bei einer Drehzahl von $1\,820\text{ min}^{-1}$ (Geschwindigkeit 72 km/h), Maximaldrehzahl $3\,030\text{ min}^{-1}$ (Höchstgeschwindigkeit 120 km/h), Antrieb einseitig mit schrägverzahntem Ritzel.

Lagerwahl, Dimensionierung

Die Betriebsweise der Triebfahrzeuge im Nahverkehr ist durch die kurzen Haltestellenabstände gekennzeichnet. Die periodisch wiederkehrenden Betriebszustände – Anfahren, Fahren, Bremsen – lassen sich in einem Fahrtdiagramm erfassen, in dem das Motordrehmoment in Abhängigkeit von der Fahrzeit dargestellt ist. Der kubische Mittelwert des Motordrehmoments und eine mittlere Drehzahl, die gleichfalls aus dem Fahrtdiagramm ermittelt wird, sind die Grundlagen für die Berechnung der Wälzlager. Das mittlere Moment beträgt ca. 90 % des Moments bei Dauerleistung.

Die Belastungen der Lager werden wie bei den Fahrmotoren für Vollbahnlokomotiven errechnet (Beispiel 1). Sie setzen sich zusammen aus den Reaktionskräften, die von der Zahnkraft am Antriebsritzel herrühren, und einer fiktiven Radialkraft, die das Läufergewicht, den magnetischen Zug, Unwuchten und die Fahrstöße berücksichtigt. Diese fiktive Radialkraft, die im Schwerpunkt des Rotors angreift, erhält man, indem man das Läufergewicht mit dem Zuschlagfaktor $f_z = 2$ multipliziert. Mit dem Wert 2 wird die relativ starre Aufhängung des Motors auf der Radachse in Tatzrollenlagern berücksichtigt.

Der Antrieb erfolgt über ein fliegend angeordnetes Ritzel. Auf der Seite des Ritzels ist ein Zylinderrollenlager FAG NU320E.M1.P64.F1 als *Loslager* eingebaut. An der Lagerstelle auf der Kommutatorseite sitzt ein Rillenkugellager FAG 6318M.P64.J20A.

Als Festlager nimmt es die von der 7°-Schrägverzahnung des Ritzels herrührende Axialkraft – selbst bei der relativ hohen Drehzahl – sehr sicher auf.

Nachsetzzeichen

- E verstärkte Ausführung
- M, M1 *Massivkäfig* aus Messing, rollkörpergeführt
- P64 *Toleranzklasse P6; Radialluft C4*
- F1 FAG Fertigungs- und Kontrollvorschrift für Zylinderrollenlager in Fahrmotoren, die u. a. die Anforderungen nach DIN 43283 „Zylinderrollenlager für elektrische Maschinen in Elektrofahrzeugen“ berücksichtigt.
- J20A Stromisolierung an der Mantelflächen des Lageraußenrings.

Bearbeitungstoleranzen

Zur guten Unterstützung werden die Lagerringe stramm gepaßt:
Zylinderrollenlager Welle n5; Schildbohrung M6
Rillenkugellager Welle m5; Schildbohrung K6

Lagerluft

Die festen *Passungen* und die Erwärmung infolge der relativ hohen Betriebsdrehzahl erfordern für das Zylinderrollenlager und das Rillenkugellager eine vergrößerte *Radialluft C4*.

Schmierung, Abdichtung

Die Lager werden, wie bei Fahrmotoren üblich, mit FAG Wälzlagerfett Arcanol L71V geschmiert. Die Möglichkeit zur Nachschmierung und ein *Fettregler* zum Schutz vor Überschmierung sind vorgesehen.

Betriebserfahrungen zeigen, daß *Nachschmierintervalle* von 250 000 Fahrkilometern oder längstens 5 Jahre zugelassen werden können.

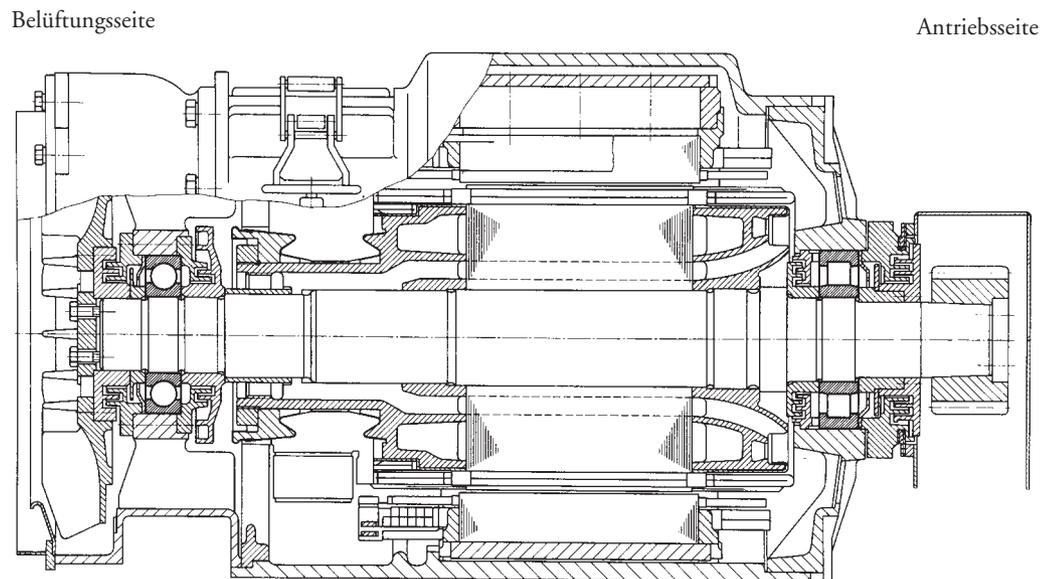
Die Lager sind auf beiden Seiten mit mehrgängigen Labyrinthen (axial gerichtete Stege) *abgedichtet*.

Stromisolierung

Bei Mischstrommotoren über 100 kW Leistung können durch magnetische Unsymmetrien elektrische Wellenspannungen entstehen. Hierdurch bildet sich zwischen Rotorwelle und Stator ein induzierter Stromkreis, der Stromdurchgangsschäden im Lager hervorrufen kann.

Um den Stromfluß zu unterbrechen, wird ein Lager (in diesem Fall das Rillenkugellager) mit einer Stromisolierung ausgeführt.

Stromisolierte Lager haben an den Mantel- und Stirnflächen des Außenrings eine Beschichtung aus Oxydkeramik.



3 Drehstrom-Normmotor

Technische Daten

Riemenantrieb: Leistung 3 kW; Läufergewicht 8 kg; Nenn Drehzahl 2800 min⁻¹; Baugröße 100 L; oberflächengekühlt nach DIN 42673, Bl. 1 – Bauform B3, Schutzart IP44, Isolationsklasse F.

Lagerwahl

Die Lagerung soll einfach, wartungsfrei und geräuscharm sein. Diese Anforderungen werden am besten von Rillenkugellagern erfüllt.

In DIN 42673 ist für Baugröße 100 L der Durchmesser des Wellenendes mit 28 mm festgelegt. Damit ist ein Bohrungsdurchmesser von 30 mm vorgegeben. Im vorliegenden Fall hat man ein Lager aus der Baureihe 62 ausgewählt, also ein FAG 6206.2ZR.C3.L207 für beide Lagerstellen. Sie führen die Läuferwelle auf der Antriebsseite und auf der Belüftungsseite. Das Feder-element auf der Antriebsseite bewirkt die spielfreie Anstellung der Lagerung und bildet zugleich eine axiale *Gegenführung* der Läuferwelle.

Durch spielfreies *Anstellen* der Rillenkugellager unterdrückt man den nachteiligen Einfluß der Lagerluft auf das Geräuschverhalten.

Dimensionierung der Lager

Bei der Nachrechnung der Lagerung geht man hier etwas anders als sonst üblich vor. Weil auch der Elektromotorenhersteller die Höhe der Belastung am Wellenende nicht kennt, gibt er die zulässige radiale Belastung in seinen Katalogen an.

Zur Ermittlung der radialen Belastbarkeit wird das antriebsseitige Rillenkugellager betrachtet.

Der Berechnung wird eine *erreichbare Lebensdauer* L_{hna} von 20 000 h und ein Basiswert a_{23II} von 1,5 zugrundegelegt. Außerdem sind noch das Läufergewicht, der einseitige magnetische Zug und die Unwucht zu berücksichtigen. Nachdem die beiden letztgenannten

Kriterien nicht bekannt sind, wird einfach das Läufergewicht mit einem Zuschlagfaktor $f_z = 1,5$ multipliziert.

Daraus errechnet sich Mitte Wellenende eine zulässige radiale Belastung von 1 kN.

Weil bei den meisten Einsatzfällen die Betriebslast kleiner als die zulässige Last ist, ergibt sich eine *erreichbare Lebensdauer* L_{hna} von mehr als 20 000 Stunden. Die *Gebrauchsdauer* der Elektromotorenlager wird daher meist durch die *Fettgebrauchsdauer* und nicht durch Werkstoffermüdung bestimmt.

Nachsetzzeichen

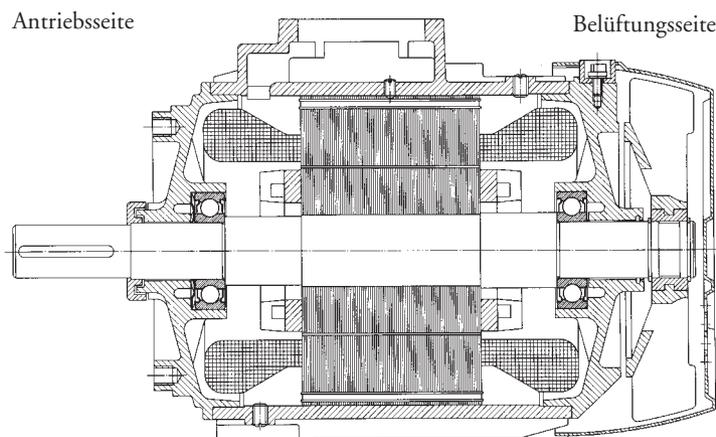
.2ZR Lager mit zwei Deckscheiben
C3 *Radialluft* größer als PN (normal)
L207 *Fettfüllung* mit Arcanol L207

Bearbeitungstoleranzen

Welle j5; Schildbohrung H6. Die Bohrungstoleranz H6 ergibt den Schiebesitz, der notwendig ist, damit sich die beiden Lager zwanglos axial einstellen können.

Schmierung, Abdichtung

Bei kleinen und mittelgroßen Elektromotoren hat sich die Lagerausführung .2ZR mit Deckscheiben auf beiden Lagerseiten durchgesetzt. Diese Lager haben eine *Fettfüllung*, die für die *Gebrauchsdauer* der Lager ausreicht. Im vorliegenden Fall sind wegen der Isolationsklasse F erhöhte Betriebstemperaturen zu berücksichtigen. Deshalb wird das FAG Hochtemperaturfett *Arcanol L207* verwendet. Die Deckscheiben verhindern den Austritt von Fett und schützen gleichzeitig das Lager vor Fremdkörpern aus dem Motorraum. Gegen den Zutritt von Staub und Nässe ist der Wellendurchgang auf der Antriebsseite als langer Spalt ausgebildet und mit einer Schutzkappe abgedeckt. Damit werden die Forderungen der Schutzart IP44 erfüllt.



4 Elektromotor für ein Haushaltsgerät

Technische Daten

Leistung 30 W; Drehzahl 3500 min⁻¹.

Lagerwahl

Elektromotoren für Haushaltsgeräte sollen geräuscharm laufen. Die Laufruhe eines Motors wird sowohl von der Lagerqualität (Form- und Lauf toleranz) und der Lagerluft als auch von der Bearbeitungsqualität der Welle und des Lagerschilds beeinflusst.

Heute entspricht bereits die Qualität von Normal lagern den gestellten Anforderungen.

Den spielfreien Lauf der Lager erreicht man mit Hilfe einer Federscheibe, die die Lagerung axial leicht vorspannt.

Die Lagersitzstellen auf der Welle und die Bohrungen in den Lagerschilden müssen gut fluchten. Damit die Federscheibe die Lager axial *anstellen* kann, sind die Außenringe in den Lagerschilden verschiebbar gepaßt.

Auf der Kollektorseite ist ein Rillenkugellager FAG 626.2ZR eingebaut, auf der anderen Seite ein FAG 609.2ZR.L91.

Nachsetzzeichen

.2ZR Lager mit Deckscheiben auf beiden Seiten; sie bilden eine Spaltdichtung
L91 Sonderfettung mit *Arcanol* L91

Dimensionierung der Lager

Der Wellendurchmesser ist meist konstruktiv gegeben und führt zu Lagern, die hinsichtlich der *Ermüdungslebensdauer* sehr sicher dimensioniert sind. Ermüdungsschäden sind selten; die Lager erreichen die geforderten Laufzeiten von 500...2000 Stunden.

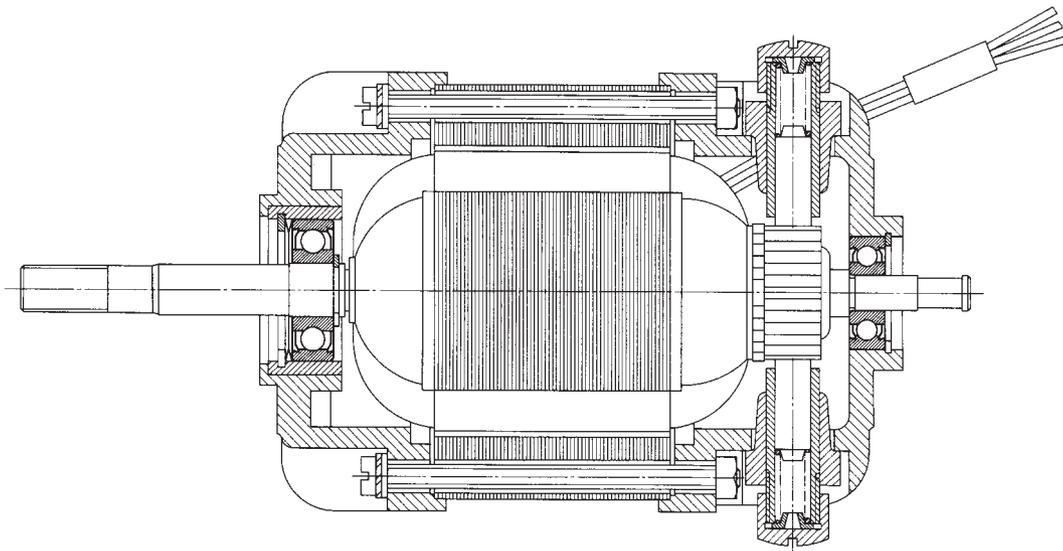
Bearbeitungstoleranzen

Welle j5; Schildbohrung H5

Die Bohrungstoleranz H5 ergibt den notwendigen Schiebesitz, damit sich die beiden Lager zwanglos axial einstellen können.

Schmierung, Abdichtung

Fettschmierung mit Lithiumseifenfett der *Konsistenzkennzahl* 2 mit besonders hohem Reinheitsgrad. Es zeichnet sich durch eine hohe Reibungsarmut aus. Der Gesamtwirkungsgrad dieses Motors wird ganz wesentlich vom Reibungsmoment der Kugellager beeinflusst. Die Lager mit Deckscheiben (Ausführung .2ZR) haben eine *Fettfüllung*, die für die *Gebrauchsdauer* der Lager ausreicht. Die von den Deckscheiben gebildete Spaltdichtung ist unter normalen Umgebungsbedingungen ein ausreichender Schutz gegen Verschmutzung.



5 Trommel einer Haushaltswaschmaschine

Technische Daten

Fassungsvermögen 4,5 kg Trockenwäsche

(Gewichtskraft $G_w = 44 \text{ N}$);

Drehzahlen: beim Waschen 50 min^{-1}
 beim Vorschleudern 800 min^{-1}
 beim Schleudern 1000 min^{-1}

Lagerwahl

Die Haushaltswaschmaschine wird auf der Frontseite gefüllt. Die Trommel ist fliegend gelagert. Am Ende des Trommelzapfens sitzt die Riemenscheibe für den Antrieb.

Die Größe der Lager richtet sich einmal nach dem Zapfendurchmesser, der aus Festigkeitsgründen festliegt, zum anderen nach den Gewichts- und Unwuchtkräften. Bei der Ermittlung der Lagerbelastung, die der Lagerdimensionierung zugrunde gelegt wird, muß man von stark vereinfachten Annahmen ausgehen, da die Belastung und die Drehzahl nicht konstant sind.

Haushaltswaschmaschinen haben im allgemeinen mehrere zum Teil vollautomatische Waschprogramme. Es gibt Programme mit oder ohne Schleudern. Beim eigentlichen Waschvorgang, d. h. einem Programmablauf ohne Schleudern, werden die Trommellager nur gering belastet, und zwar nur durch die Gewichtskräfte von Trommel und Naßwäsche. Diese Beanspruchung ist für die Dimensionierung der Lager ohne Bedeutung und wird vernachlässigt. Anders ist es beim Schleudergang: Weil sich die Wäsche ungleichmäßig auf dem Trommelumfang verteilt, entsteht eine Unwucht, die eine hohe Zentrifugalkraft hervorruft. Für die Auslegung der Lager werden allein diese Zentrifugalkraft sowie die Gewichtskräfte von Trommel G_T und Trockenwäsche G_w zugrunde gelegt. Der Riemenzug wird im allgemeinen vernachlässigt.

Die Zentrifugalkraft errechnet sich aus:

$$F_Z = m \cdot r \cdot \omega^2 \quad [\text{N}]$$

Darin bedeuten: $m = G_U/g \quad [\text{N} \cdot \text{s}^2/\text{m}]$

G_U Unwucht [N]. Als Unwucht werden 10...35 % des Fassungsvermögens an Trockenwäsche angenommen.

g Erdbeschleunigung = $9,81 \text{ m/s}^2$

r Wirkungsradius der Unwucht [m]

Radius der Waschtrommel = $d_T / 2$ [m]

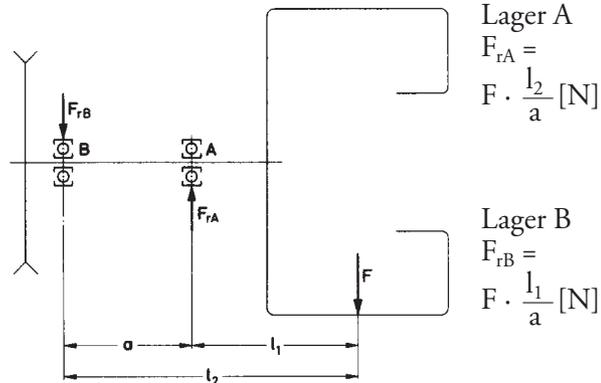
ω Winkelgeschwindigkeit = $\pi \cdot n / 30 \quad [\text{s}^{-1}]$

n Drehzahl der Trommel beim Schleudern [min^{-1}]

Die Gesamtkraft zur Ermittlung der Lagerbelastungen ergibt sich somit aus $F = F_Z + G_T + G_w \quad [\text{N}]$

Diese Kraft wirkt in der Mitte der Waschtrommel.

Als Lagerbelastungen erhält man:



Dimensionierung der Lager

Die Lager von Haushaltswaschmaschinen werden für eine *dynamische Kennzahl* $f_L = 0,85 \dots 1,0$ ausgelegt. Diese Werte entsprechen einer *nominellen Lebensdauer* von 300...500 Schleuderstunden.

Im vorliegenden Fall wurde für die trommelseitige Lagerstelle das Rillenkugellager FAG 6306.2ZR.C3 und für die Lagerstelle auf der Seite der Riemenscheibe das Rillenkugellager FAG 6305.2ZR.C3 gewählt.

Die Lager haben eine vergrößerte *Radialluft* nach C3 und sind auf beiden Seiten mit Deckscheiben (.2ZR) *abgedichtet*.

Bearbeitungstoleranzen

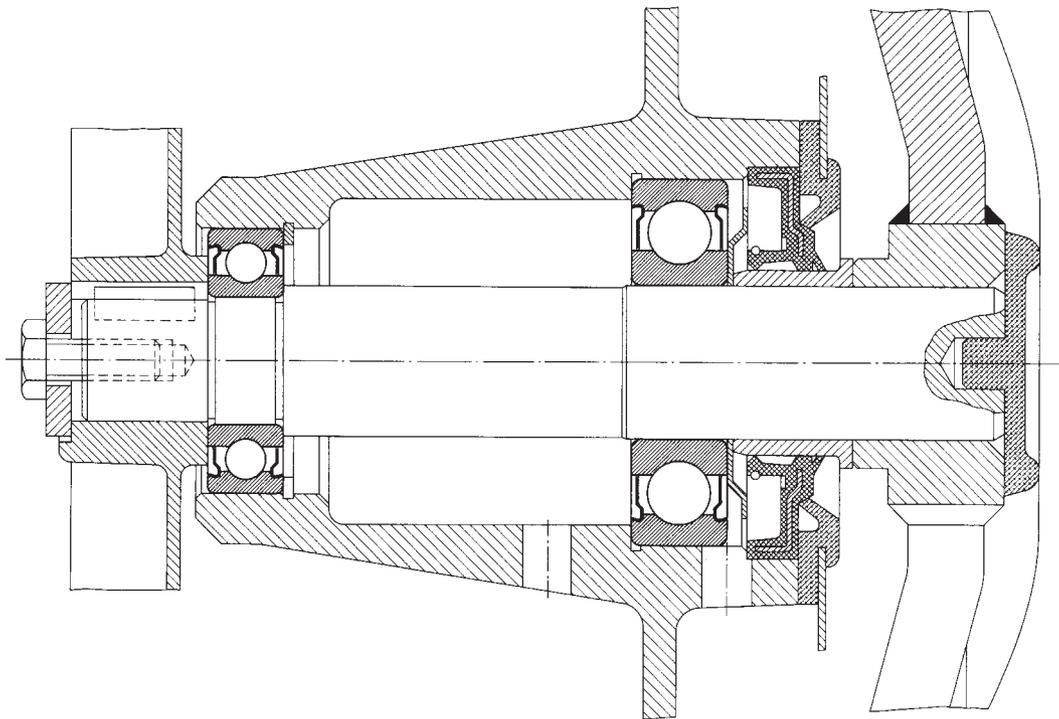
Wegen der auftretenden Unwucht G_U haben die Innenringe *Punktlast*, die Außenringe *Umfangslast*. Die Außenringe müssen daher im Gehäuse eine feste *Passung* erhalten; das erreicht man mit einer Bearbeitung der Gehäusebohrung nach M6. Die Innenringe werden weniger fest gepaßt; der Trommelzapfen hat die Toleranz h5. Damit ist gewährleistet, daß sich das *Loslager* bei Wärmedehnungen einstellt. Außerdem erleichtert die lose *Passung* die Montage.

Schmierung, Abdichtung

Die beidseitig *abgedichteten* Lager erhalten bereits bei der Herstellung eine Füllung mit Sonderfett. Die *Fettfüllung* reicht für die *Gebrauchsdauer* der Lager aus. Auf der Seite der Waschtrommel ist zusätzlich eine schleifende *Manschettenabdichtung* eingebaut.

Riemenscheibe

Trommel



6 Vertikal-Pumpenmotor

Technische Daten

Leistung 160 kW; Nenndrehzahl 3000 min⁻¹;
Gewicht von Läufer- und Pumpenlaufrad 400 kg;
Pumpenschub 9 kN nach unten; Bauform V1.

Lagerwahl

Bei der Festlegung der Lagerungskonzeption geht man zuerst von der nach unten gerichteten Hauptaxiallast aus. Sie setzt sich zusammen aus der Gewichtskraft des Läufer- und Pumpenlaufrads (4 kN), der Pumpenschubkraft (9 kN) und der Federvorspannung (1 kN). Beim Auslauf des Motors kann es zu einer Umkehr des Pumpenschubs kommen, so daß die Lager kurzzeitig auch eine nach oben gerichtete Axialkraft von 4 kN aufnehmen müssen. Die Radialkräfte sind nicht genau bekannt. Sie ergeben sich aus dem einseitigen magnetischen Zug und aus eventuellen Unwuchtkräften des Läufer- und Pumpenlaufrads. Erfahrungen aus der Praxis zeigen jedoch, daß diese Kräfte mit 50 % der Läufer- und Pumpenlaufradmasse, in diesem Fall also mit 2 kN, hinreichend berücksichtigt sind.

Im gezeigten Beispiel besteht das Traglager aus einem Schrägkugellager FAG 7316B.TVP, das die Hauptaxiallast zu übernehmen hat. Um sicherzustellen, daß keine Radialkraft auf das Lager wirkt, ist das Gehäuse in diesem Bereich nach *Spielpassung* E8 radial freige dreht. Das Rillenkugellager FAG 6216.C3 wird im Normalbetrieb nur durch eine geringe Radiallast und die axial wirkende Federvorspannung belastet; hinzu kommt beim Auslauf noch die Schubumkehrlast.

Hierdurch erfährt der Läufer eine Vertikalverschiebung nach oben (Hochsteigeweg), die durch den abgepaßten Spalt zwischen Rillenkugellager-Stirnfläche und Abschlußdeckel begrenzt wird. Um in der Schubumkehrphase Schlupf zu vermeiden, wird das Schrägkugellager über Federn mit einer axialen Mindestbelastung beaufschlagt.

Auf der Pumpenlaufradseite erfüllt ein Zylinderrollenlager FAG NU1020M1.C3 die *Loslager*funktion. Da es die vom Pumpenlaufrad herrührenden Unwuchtkräfte aufnimmt, erhalten Innen- und Außenring einen Festsitz. Die Zylinderrollenlagerausführung ergibt sich aus dem aus Festigkeitstechnischen Gründen vorgegebenen Wellendurchmesser von 100 mm. Wegen der vergleichsweise geringen Radiallast wurde die leichte Reihe NU10 ausgewählt.

Bearbeitungstoleranzen

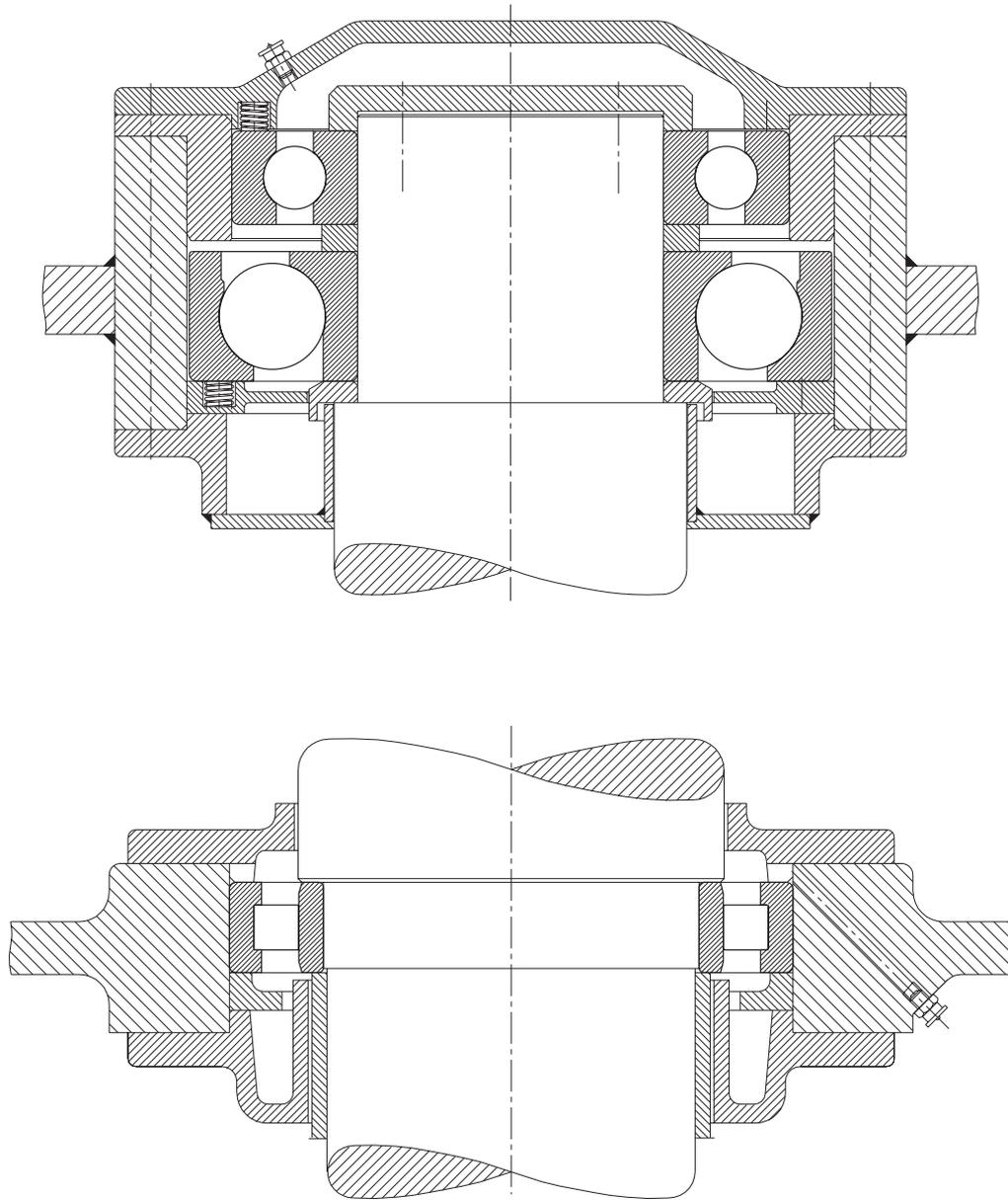
Zylinderrollenlager	Welle m5; Gehäuse M6
Rillenkugellager	Welle k5; Gehäuse H6
Schrägkugellager	Welle k5; Gehäuse E8

Schmierung

Die Lager werden mit FAG Wälzlagerfett *Arcanol* L71V geschmiert. Nachschmiermöglichkeiten sind vorgesehen. Nachschmiermenge

- für die *Loslager*stelle 15 g
- für die *Festlager*stelle 40 g

Das *Nachschmierintervall* beträgt 1000 Stunden. Das Altfett wird in ringförmigen Deckelkammern aufgefangen, die unterhalb der Lagerstellen angeordnet sind.



6: Rotorlagerung eines Vertikal-Pumpenmotors

7 Grubenlüftermotor

Technische Daten

Leistung 1800 kW; Drehzahl $n = 750 \text{ min}^{-1}$;
Axiallast $F_a = 130 \text{ kN}$; Radiallast $F_r = 3,5 \text{ kN}$;
Lager sind vertikal angeordnet.

Lagerwahl

Die Axiallast von 130 kN setzt sich zusammen aus den Gewichtskräften des Läufers und der beiden jeweils oben und unten aufgesetzten verstellbaren Lüfterräder und aus deren Axial Schub. Sie wird im oben angeordneten Traglager abgestützt.

Als Radialkräfte treten bei Senkrechtmotoren an beiden Lagerstellen nur Führungskräfte auf. Sie sind sehr gering und ergeben sich im allgemeinen aus dem einseitigen magnetischen Zug und einer eventuell auftretenden Unwucht des Läufers. Im vorliegenden Fall beträgt die Radialkraft je Lagerstelle 3,5 kN. Wenn die genauen Werte nicht bekannt sind, lassen sich diese Kräfte aus der Erfahrung heraus dadurch hinreichend berücksichtigen, daß man das halbe Läufergewicht als Radiallast im Schwerpunkt des Läufers angreifen läßt.

Als Traglager ist an der oberen Lagerstelle ein Axial-Pendelrollenlager FAG 29260E.MB eingebaut. Die radiale Führung übernimmt das darüber auf einer gemeinsamen Büchse sitzende Rillenkugellager FAG 16068M; es dient auch gleichzeitig zur axialen *Gegenführung* des Läufers. Die axiale Führung ist notwendig beim Transport und bei der Montage sowie beim Auslaufen des Motors. In diesem Betriebszustand kann die Luftgegenströmung eine Umkehr der Drehrichtung und des Axialschubs bewirken. Der axiale Führungsweg nach oben ist auf maximal 1 mm begrenzt, so daß das Axial-Pendelrollenlager in keinem Fall stark abhebt. Für den Kraftschluß im Lager sorgen Federn, die unterhalb der Gehäusescheibe angeordnet sind; ihre Federkraft ist 6 kN. Das radiale Führungslager an der unteren Lagerstelle ist ein Rillenkugellager FAG 6340M; es ist verschiebbar als *Loslager* eingebaut. Da das Lager sehr niedrig belastet ist, wird es durch Federn mit 3 kN *angestellt*.

Dimensionierung der Lager

Das Axial-Pendelrollenlager FAG 29260E.MB hat die *dynamische Tragzahl* $C = 1430 \text{ kN}$. Mit der Axiallast $F_a = 130 \text{ kN}$ und dem *Drehzahlfaktor* für Rollenlager $f_n = 0,393$ ($n = 750 \text{ min}^{-1}$) errechnet sich die *dynamische Kennzahl* $f_L = 4,3$. Die *nominelle Lebensdauer* beträgt $L_h = 65000$ Stunden.

Unter Berücksichtigung der *Betriebsviskosität* v des *Schmieröls* (Viskositätsklasse ISO VG150) bei ca. 70°C , der Bezugsviskosität v_1 und der *Bestimmungsgrößen* K_1 und K_2 läßt sich ein Basiswert a_{23II} von etwa 3 ermitteln. Der *Sauberkeitsfaktor* s wird mit 1 angesetzt. Die *erreichbare Lebensdauer* L_{hna} des *Axiallagers* ist größer als 100 000 Stunden, das Lager also sehr sicher ausgelegt. Mit *dynamischen Kennzahlen* $f_L > 6$ sind auch die beiden *Radiallager* sehr gut dimensioniert.

Bearbeitungstoleranzen

Traglagerstelle

Axial-Pendelrollenlager	Welle k5; Gehäuse E8
Rillenkugellager	Welle k5; Gehäuse H6

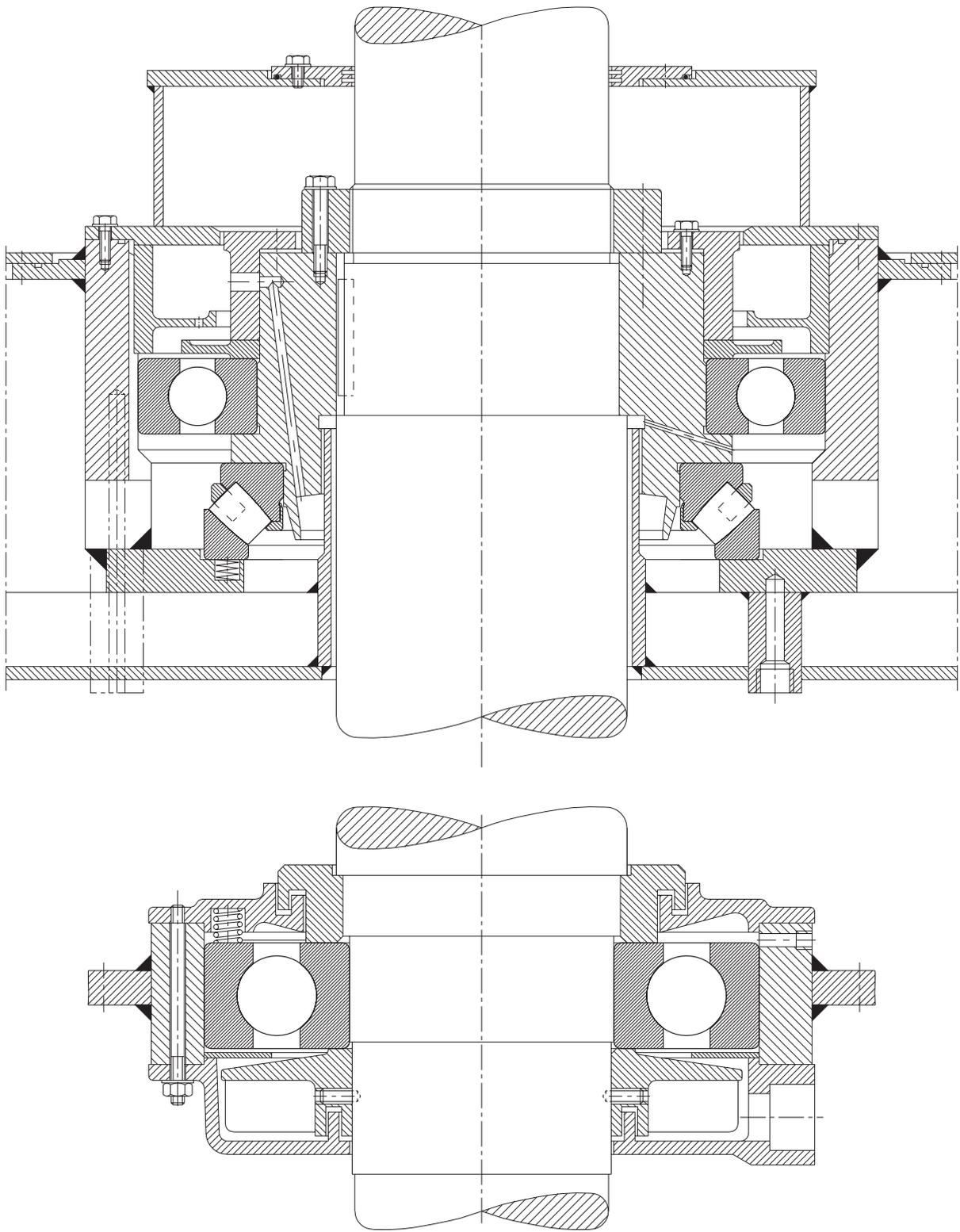
Unteres Führungslager

Rillenkugellager	Welle k5; Gehäuse H6
------------------	----------------------

Schmierung, Abdichtung

Axiallager und *Radiallager* der Traglagerstelle haben *Ölschmierung*.

Das Axial-Pendelrollenlager läuft im Ölbad und erzeugt durch seine unsymmetrische Bauweise einen selbsttätigen Ölumlaufl von innen nach außen. Das darüber sitzende Führungslager wird durch einen Förderkegel und schräg verlaufende Steigbohrungen mit *Öl* versorgt. Ein Fang- und ein Schleuderteller stellen die Schmierstoffversorgung während des Anlaufs sicher. Das untere Führungslager hat Fettschmierung und ist mit einer Nachschmiereinrichtung und einem Fettmengenregler ausgerüstet. Die Traglagerstelle und das untere Führungslager sind durch Labyrinth abgedichtet.



7: Rotorlagerung eines Grubenlüftermotors

8 Rotor einer Windenergieanlage

Windenergieanlagen zählen zu den alternativen und umweltschonenden Energiequellen. Mit ihnen werden heute Leistungen bis max. 3 200 kW erzeugt. Es gibt Horizontalrotor- und Vertikalrotor-Systeme. Die Windkraftanlage WKA60 ist 44 Meter hoch und hat einen Dreiblatt-Horizontalrotor mit 60 m Durchmesser.

Technische Daten

Nenn Drehzahl des Dreiblattrotors = 23 min^{-1} ;
Übersetzungsverhältnis des Getriebes $i = 1:57,4$;
Elektrische Leistung 1 200 kW bei Rotor-Nenn Drehzahl des Generators von $n = 1320 \text{ min}^{-1}$.

Lagerwahl

Gefordert wurde eine *Gebrauchsdauer* von 20 Jahren. Zur Abstützung des fliegend gelagerten Blattrotors wurden Pendelrollenlager FAG 231/670BK.MB (Abmessungen 670 x 1090 x 336 mm) als *Festlager* und FAG 230/900BK.MB (Abmessungen 900 x 1280 x 280 mm) als *Loslager* gewählt.

Dimensionierung der Lager

Als Richtwert zur Dimensionierung der Hauptlagerung von Windkraftanlagen gilt $P/C = 0,08 \dots 0,15$. Durch die variierenden Windkräfte mit Schwingungen und Vibrationen ist es schwer, die Belastung der Lager exakt zu ermitteln. Die *nominelle Lebensdauer* soll $L_h > 130\,000 \text{ h}$ sein. Es werden deshalb in der Regel mehrere Lastfälle mit veränderlichen Belastungen, Drehzahlen und Zeitanteilen herangezogen, daraus wird dann die mittlere äquivalente Belastung ermittelt. Beim Festlager der WKA60 treten Radialbelastungen von $F_r = 400 \dots 1\,850 \text{ kN}$ und Axialbelastungen von $F_a = 60 \dots 470 \text{ kN}$ auf. Beim Loslager ist mit Radialbelastungen von $F_r = 800 \dots 1\,500 \text{ kN}$ zu rechnen. Beim Festlager ergeben die aufzunehmenden Radial- und Axialkräfte eine mittlere *dynamisch äquivalente Belastung* von $P = 880 \text{ kN}$. Dies ergibt für das Lager FAG 231/670BK.MB mit einer *dynamischen Tragzahl* $C = 11\,000 \text{ kN}$ ein Belastungsverhältnis von $P/C = 880/11\,000 = 0,08$. Das Loslager FAG 230/900BK.MB nimmt eine mittlere Radialkraft von $F_r = P = 1\,200 \text{ kN}$ auf. Bei einer *dynamischen Tragzahl* von $11\,000 \text{ kN}$ ergibt sich ein Belastungsverhältnis von $1\,200/11\,000 = 0,11$. Für die normal belasteten Pendelrollenlager errechnen sich *Lebensdauerwerte* (nach DIN ISO 281), die weit über der Stundenzahl für 20-jährigen Dauerbetrieb liegen.

Lagereinbau

Um den Ein- und Ausbau der Lager zu erleichtern, sind die Lager mit Hydraulik-Spannhülsen FAG H31/670HGJS und FAG H30/900HGS auf der Welle befestigt. Vorteil der Hülsenbefestigung ist auch ein leichteres Einstellen der erforderlichen *Radialluft*.

Die Lager stützen sich in ungeteilten Stahllagergehäusen der Ausführung SUB (*Festlager*) und SUC (*Loslager*) ab. Die Gehäuse sind aus Stahlguß und wurden mit der Finite-Elemente-Methode überprüft.

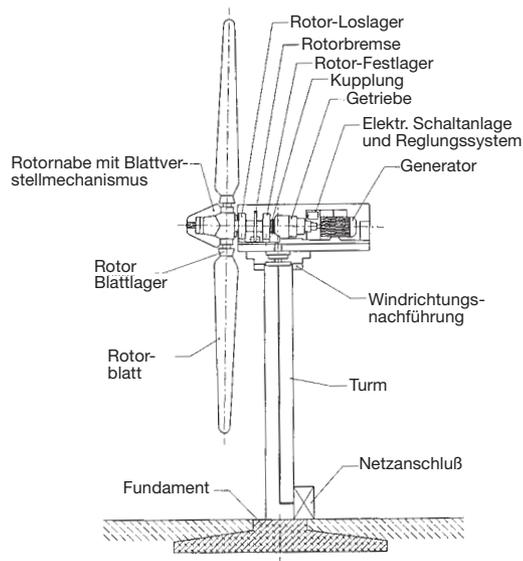
Bearbeitungstoleranzen

Die Sitzflächen der Abziehhülsen auf der Rotorwelle sind nach h9 und mit Zylinderformtoleranz IT5/2 (DIN ISO 1101) gefertigt. Die Lagersitzflächen in der Gehäusebohrung sind nach H7 bearbeitet; dies läßt bei der *Loslagerung* eine Verschiebung des Außenrings zu.

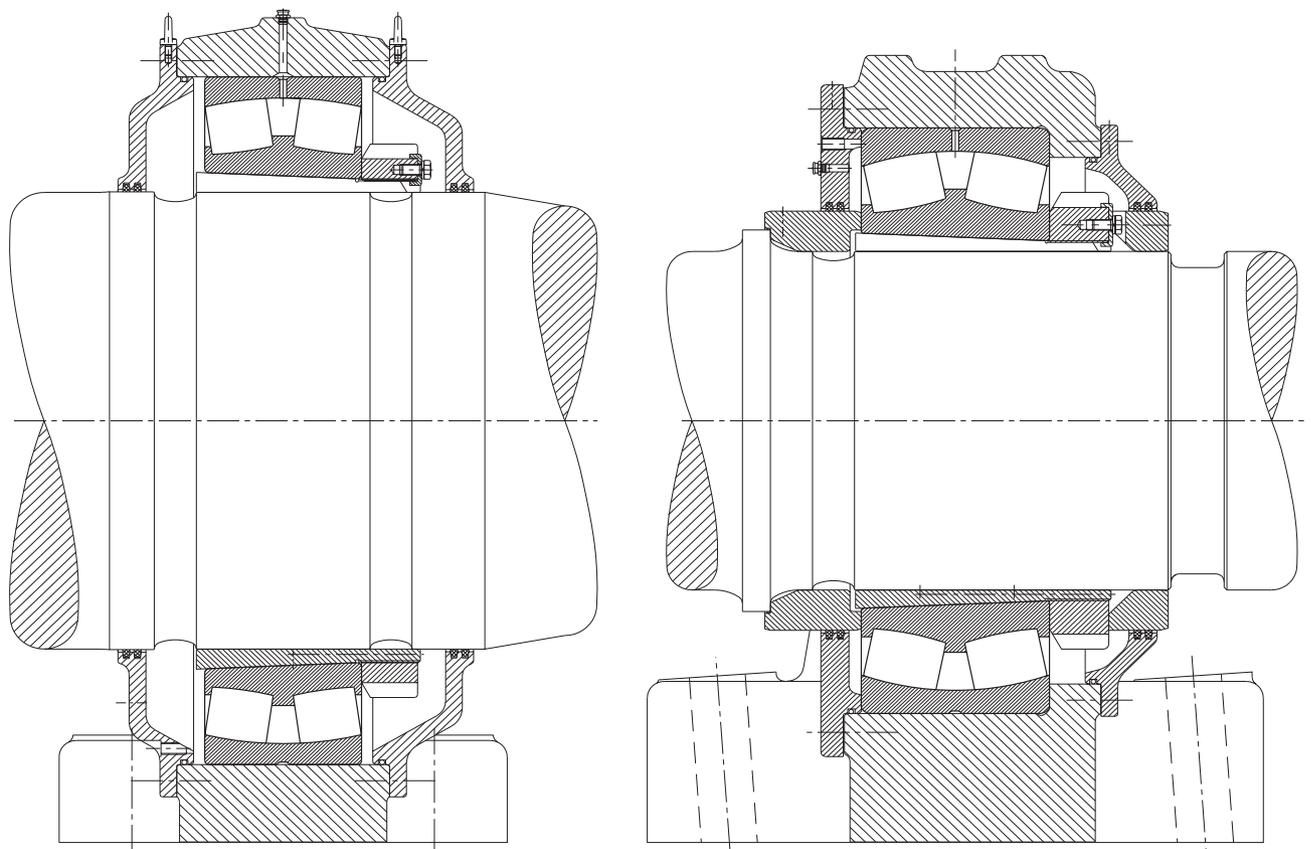
Schmierung, Abdichtung

Zur Schmierung der Lager wird ein Lithiumseifenfett der *Konsistenzklasse 2* mit Hochdruckzusätzen (FAG Wälzlagerfett Arcanol L186V) verwendet.

Die Gehäuse haben auf beiden Seiten doppelte Filzabdichtung. Ein Fettkragen im Bereich des Dichtspalts am Gehäuse verhindert das Eindringen von Staub, Schmutz und evtl. Spritzwasser.



Windenergieanlage, schematisch



8: Lagerung der Rotorwelle einer Windenergieanlage

9–18 Hauptspindeln von Werkzeugmaschinen

Herzstück einer Werkzeugmaschine ist die Haupt- oder Arbeitsspindel und ihre Lagerung. Die wesentlichen Qualitätsmerkmale des Spindel-Lager-Systems sind das Zerspanungsvolumen und die Bearbeitungspräzision. Für Werkzeugmaschinenlagerungen werden ausschließlich Wälzlager in erhöhter Genauigkeit verwendet; hauptsächlich die Bauarten Schrägkugellager, bzw. Spindellager (Radial-Schrägkugellager mit *Druckwinkel* 15 und 25°), zweiseitig wirkende Axial-Schrägkugellager, Radial- und Axial-Zylinderrollenlager sowie gelegentlich Kegelrollenlager.

Je nach den geforderten Leistungsdaten einer Werkzeugmaschine wird die Spindellagerung mit Kugel- oder Rollenlagern nach den Kriterien Steifigkeit, Reibungsverhalten, Genauigkeit, *Drehzahleignung*, Schmierung und *Abdichtung* konstruiert und ausgelegt.

Aus einer Vielzahl möglicher Werkzeugmaschinen-Spindellagerungen haben sich einige charakteristische Lageranordnungen herausgebildet, die sich im Werkzeugmaschinenbau bewährt haben (Abb. a, b, c).

Dimensionierung

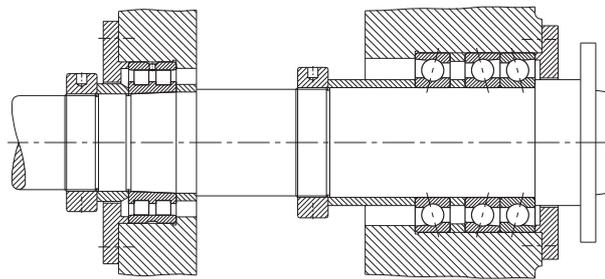
Eine Nachrechnung der Hauptspindellagerung hinsichtlich *Ermüdungslebensdauer* ist normalerweise überflüssig, da im Normalfall wegen der erforderlichen Spindel- und Lagersteifigkeit Lager mit so großem Bohrungsdurchmesser gewählt werden müssen, daß die Wälzlager bei erhöhter oder höchster Sauberkeit im Schmierpalt dauerhaft sind. Bei der Lagerdimensionierung soll z. B. die *dynamische Kennzahl* f_L bei Drehmaschinenspindeln im Bereich von 3...4,5 liegen, dies entspricht einer *nominellen Lebensdauer* von $L_h = 15\ 000 \dots 50\ 000$ h.

Beispiel: Die Hauptspindellagerung einer CNC-Drehmaschine (Abb. a) ist arbeitsseitig in drei Spindellagern (Spindellagersatz) in *Tandem-O-Anordnung* abgestützt (*Druckwinkel* $\alpha_0 = 25^\circ$, $C = 76,5$ kN, $C_0 = 76,5$ kN). Auf der Antriebsseite nimmt ein zweireihiges Zylinderrollenlager NN3018ASK.M.SP den Riemenzug auf. Aus den Schnittkräften resultieren für die beiden Spindellager in *Tandem-Anordnung* je 50 % der axialen Reaktionskräfte. Das arbeitsseitige vorderste Lager übernimmt 60 % der Radialkräfte. Es wird mit $F_r = 5$ kN, $F_a = 4$ kN bei $n = 3\ 000$ min⁻¹ belastet.

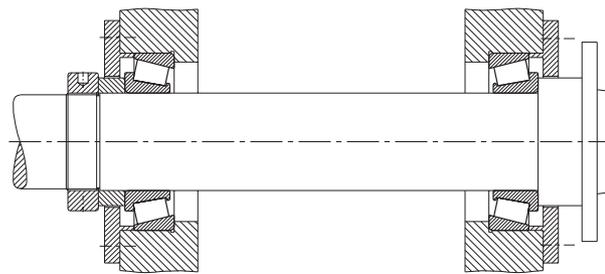
Werden die Lager mit dem Lithiumseifenfett FAG *Arcanol L74V* (*Grundölviskosität* 23 mm²/s bei 40 °C) geschmiert, ergibt dies bei 35 °C Betriebstemperatur eine *Betriebsviskosität* $\nu = 26$ mm²/s. Aus dem mittleren Lagerdurchmesser $d_m = 125$ mm und der Drehzahl $n = 3\ 000$ min⁻¹ ergibt sich eine *Bezugsviskosität* von $\nu_1 = 7$ mm²/s.

Dies führt zu einem *Viskositätsverhältnis* $\kappa = \nu/\nu_1 \approx 4$; d. h. es liegt ein voll trennender Schmierfilm in den Rollkontaktflächen vor. Mit $\kappa = 4$ erhält man aus dem a_{23} -Diagramm den *Basiswert* $a_{23II} = 3,8$. Da die Lager in der Regel relativ niedrig belastet sind ($f_{s^*} > 8$), erhält man bei erhöhter ($V = 0,5$) und höchster ($V = 0,3$) Sauberkeit einen sehr großen *Sauberkeitsfaktor* ($s = \infty$). Dadurch wird der Faktor a_{23} ($a_{23} = a_{23II} \cdot s$) und somit auch die *erreichbare Lebensdauer* ($L_{hna} = a_1 \cdot a_{23} \cdot L_h$) unendlich; es liegt *Dauerfestigkeit* vor.

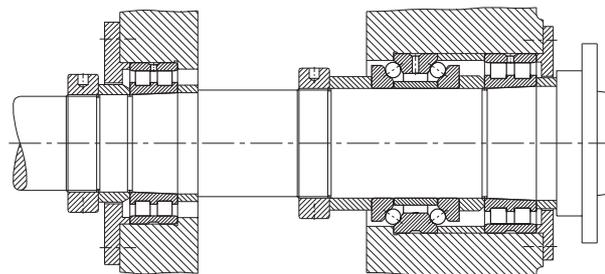
Solange also $f_{s^*} \geq 8$ ist, entscheidet bei einer guten Schmierung der Hauptspindellagerung ($\kappa \geq 4$) allein die Sauberkeit im Schmierkontakt, ob die Lagerung *dauerfest* ist oder nicht.



a: Spindellagerung mit kombiniert belasteten Universal-Spindellagern (Spindellagersatz) auf der Arbeitsseite und einem ein- oder zweireihigen Zylinderrollenlager auf der Antriebsseite, das nur Radialkräfte aufnimmt.



b: Spindellagerung mit zwei Kegelrollenlagern in *O-Anordnung*. Die Lager nehmen Radial- und Axialkräfte auf.



c: Spindellagerung mit zwei zweireihigen Zylinderrollenlagern und einem zweiseitig wirkenden Axial-Schrägkugellager. Hier erfolgt eine getrennte Aufnahme der Radial- und Axialkräfte.

9 Bohr- und Frässpindel

Technische Daten

Antriebsleistung 20 kW; Drehzahlen 11...2 240 min⁻¹.

Lagerwahl

Die Radialkräfte und die Axialkräfte werden getrennt aufgenommen. Als *Radiallager* sind zweireihige Zylinderrollenlager eingebaut; auf der Arbeitsseite ein FAG NN3024ASK.M.SP, auf der Gegenseite ein FAG NN3020ASK.M.SP. Das zweiseitig wirkende Axial-Schräggugellager FAG 234424M.SP führt die Spindel in axialer Richtung. Dieses Lager hat eine definierte Vorspannung; ein *Anstellen* ist also nicht erforderlich.

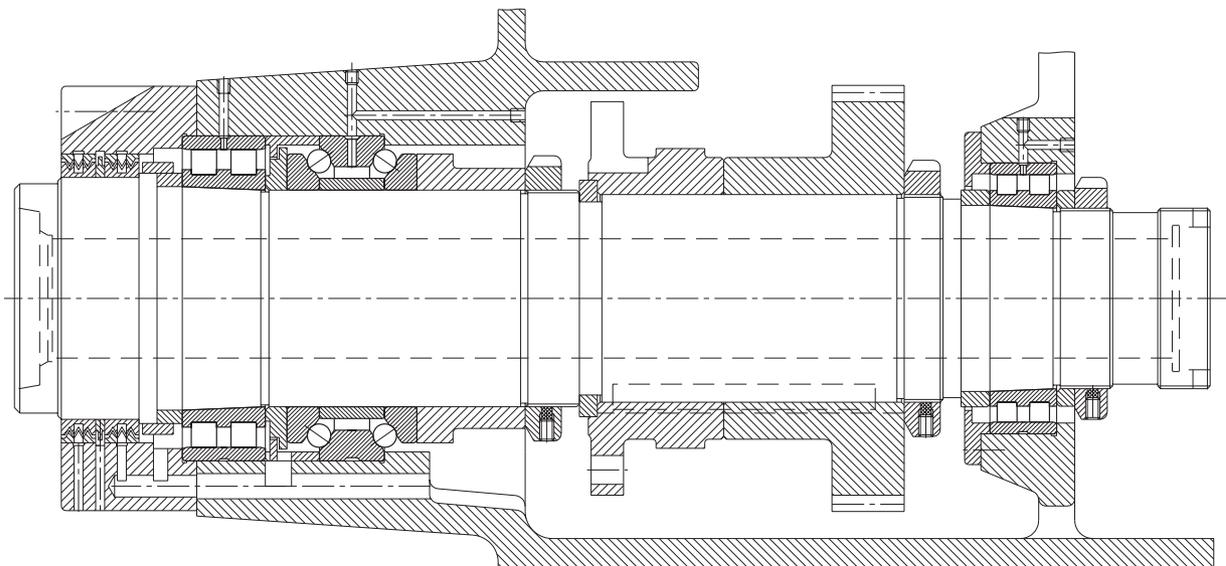
Die Bearbeitung der Gehäusebohrung wird dadurch erleichtert, daß die Außendurchmesser des *Radiallagers* und des *Axiallagers* das gleiche Nennmaß haben. Die Toleranz des Axiallagers liegt aber so, daß es im Gehäuse *Passungsspiel* hat.

Schmierung, Abdichtung

Die Lagerung hat *Ölumlafschmierung*. Die Labyrinth*dichtung* auf der Arbeitsseite besteht aus einbaufertigen, nicht berührenden Dichtelementen. Der innere Labyrinthring hält das *Schmieröl* zurück, der äußere Labyrinthring dichtet gegen die Schneidemulsion ab.

Bearbeitungstoleranzen

Lager	Sitzstelle	Durchmesser-toleranz	Formtoleranz (DIN ISO 1101)	Summenplanlauf-toleranz der Anlageschulter
Zylinderrollenlager	Welle, kegelig Gehäuse	Kegel 1:12 K5	IT1/2 IT1/2	IT1 IT1
Axial-Schräggugellager	Welle Gehäuse	h5 K5	IT1/2 IT1/2	IT1 IT1



10 Hauptspindel einer NC-Drehmaschine

Technische Daten

Antriebsleistung 27 kW;
maximale Spindeldrehzahl 9000 min⁻¹.

Lagerwahl

Von der Lagerung wird, neben sehr hoher *Drehzahl-eignung*, hohe Steifigkeit und Führungsgenauigkeit der Arbeitsspindel verlangt. Eingebaut ist auf der Arbeitsseite ein Spindellagersatz FAG B7017C.T.P4S.DTL in *Tandem-Anordnung*, auf der Antriebsseite ein Spindellagersatz FAG B71917C.T.P4S.DTL in *Tandem-Anordnung*.

Die Lager sind leicht vorgespannt (UL) und haben erhöhte Genauigkeit (P4S).

Die Lagerung hat kein *Loslager*; sie stellt ein starres Festlagersystem dar. Beide Lagersätze bilden zusammen eine *O-Anordnung*.

Dimensionierung der Lager

Die Lagergröße ergibt sich aus der erforderlichen Spindelsteifigkeit, d. h. einem möglichst großen Spindel-durchmesser. Die *Ermüdungslebensdauer* wird zwar für die Dimensionierungsbetrachtung mit herangezogen, ist jedoch in der Praxis nicht entscheidend.

Bearbeitungstoleranzen

Lager	Sitzstelle	Durchmesser-toleranz	Formtoleranz (DIN ISO 1101)	Summenplanlauf-toleranz der Anlageschulter
Spindellager	Welle	+5/-5 µm	1,5 µm	2,5 µm
Antriebs-/Arbeitsseite	Gehäuse	+2/+10 µm	3,5 µm	5 µm

Hauptspindellager fallen in der Regel nicht durch Werkstoffermüdung, sondern durch *Verschleiß* aus; entscheidend ist die *Fettgebrauchsdauer*.

Lagerluft

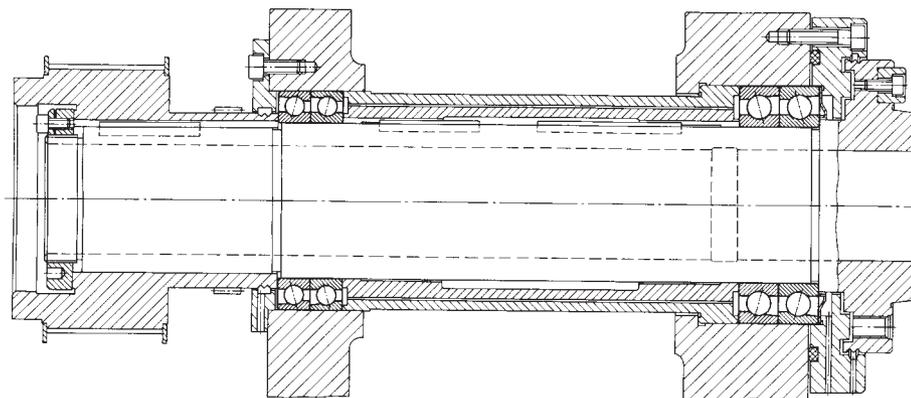
FAG Spindellager der *Universalausführung* sind für den beliebigen Einbau in *X-, O- oder Tandem-Anordnung* bestimmt. Beim Einbau in *X- oder O-Anordnung* ergibt sich eine definierte Vorspannung. Die leichte Vorspannung UL genügt den üblichen Anforderungen.

Durch gleich lange äußere und innere Distanzhülsen bleibt die in den Lagern eingearbeitete Vorspannung erhalten. Bei günstigem Lagerabstand gleichen sich axiale und radiale Wärmedehnungen der Arbeitsspindel aus, so daß die Lagervorspannung in jedem Betriebszustand unverändert bleibt.

Schmierung, Abdichtung

Mit etwa 35 % Hohlraumfüllung werden die Lager mit dem FAG Wälzlagerfett *Arcanol L74V* auf *Lebensdauer* geschmiert.

Zur *Abdichtung* dienen *Labyrinthdichtungen* mit definierten Spaltverhältnissen.



11 Hauptspindel einer CNC-Drehmaschine

Technische Daten

Antriebsleistung 25 kW;
Drehzahlbereich von 31,5...5000 min⁻¹.

Lagerwahl

Die Lager müssen die Spindel radial und axial genau führen und eine hohe Steifigkeit aufweisen. Dies erreicht man durch möglichst große Wellendurchmesser und eine entsprechende Lageranordnung. Die Lager werden vorgespannt und haben eine erhöhte Genauigkeit.

Auf der Arbeitsseite ist als *Festlager* ein Spindellagersatz FAG B7018E.T.P4S.TBTL in *Tandem-O-Anordnung* mit leichter Vorspannung eingebaut.

Auf der Antriebsseite sitzt als *Loslager* ein einreihiges Zylinderrollenlager FAG N1016K.M1.SP.

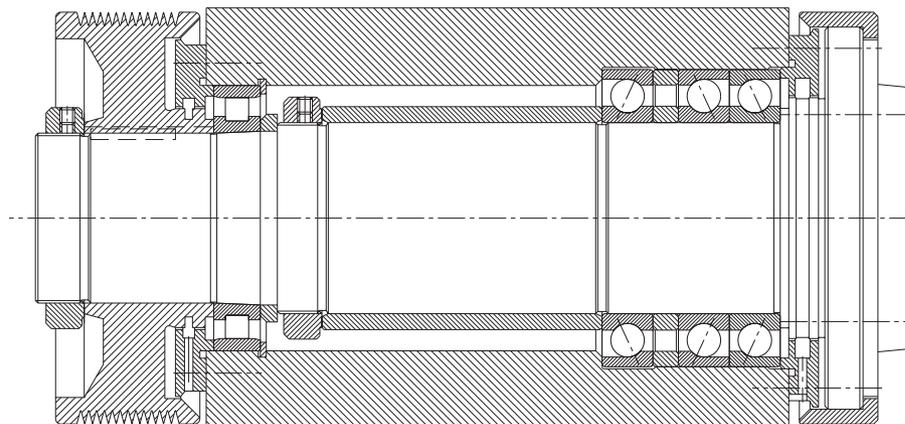
Die Lagerung ist für hohe Drehzahlen und für hohe Zerspanungsleistung geeignet.

Dimensionierung der Lager

Die Lagergröße ergibt sich in erster Linie aus der erforderlichen Spindelsteifigkeit, d. h. dem Spindeldurchmesser. Die *Ermüdungslebensdauer* wird zwar für die Dimensionierungsbetrachtung mit herangezogen, sie spielt jedoch in der Praxis keine dominierende Rolle.

Bearbeitungstoleranzen

Lager	Sitzstelle	Durchmessertoleranz	Formtoleranz (DIN ISO 1101)	Summenplanlauf toleranz der Anlageschulter
Spindellager	Welle	+5/-5 µm	1,5 µm	2,5 µm
	Gehäuse	-4/+8 µm	3,5 µm	5 µm
Zylinderrollenlager	Welle, kegelig	Kegel 1:12	1,5 µm	2,5 µm
	Gehäuse	-15/+3 µm	3,5 µm	5 µm



11: CNC-Drehmaschinenspindel

Maßgebend für die Einsatzdauer der Lager ist neben der Hertzchen Pressung vor allem die *Fettgebrauchsdauer*. Hauptspindellager fallen in der Regel nicht durch Werkstoffermüdung, sondern durch *Verschleiß* aus.

Lagerluft

FAG Spindellager der *Universalausführung* sind für den beliebigen Einbau in *X*-, *O*- oder *Tandem-Anordnung* bestimmt. Beim Einbau in *X*- oder *O*-Anordnung ergibt sich eine definierte Vorspannung. Die leichte Vorspannung UL genügt den üblichen Anforderungen.

Das Zylinderrollenlager wird durch axiales Aufpressen des konischen Innenrings auf die Spindel annähernd spielfrei eingestellt.

Schmierung, Abdichtung

Die Lager werden mit dem FAG Wälzlagerfett *Arcanol L74V* auf *Lebensdauer* geschmiert.

Bei Spindellagern füllt man ca. 35 % und bei Zylinderrollenlagern ca. 20 % des Lagerhohlraums mit *Fett*. Die *Abdichtung* übernimmt ein Labyrinth mit definiert engen Radialspalten.

12 Kurzbohrspindel

Technische Daten

Antriebsleistung 4 kW;
maximale Spindeldrehzahl 7000 min⁻¹.

Lagerwahl

Die Bohrspindel muß axial und radial genau geführt werden. Die Lagerwahl richtet sich somit nach den auftretenden Axialkräften bei größtmöglicher axialer Steifigkeit. Ein weiteres Kriterium ist der Einbauraum, der z. B. bei Mehrspindel-Bohrköpfen begrenzt ist.

Arbeitsseite:

1 Spindellagersatz FAG B71909E.T.P4S.TTL
(3er Tandem-Anordnung)

Antriebsseite:

1 Spindellagersatz FAG B71909E.T.P4S.DTL
(2er Tandem-Anordnung).

Beide Lagersätze sind auch bestellbar als 5er Satz: FAG B71909E.T.P4S.PBCL (Tandem-Paar gegen 3er Tandemsatz in O-Anordnung, leicht gegeneinander vorgespannt). Die Lagerung hat kein *Loslager*; sie stellt ein starres *Festlagersystem* dar.

Dimensionierung der Lager

Die Lagergröße ergibt sich aus der erforderlichen Spindelsteifigkeit, d. h. einem möglichst großen Spindel-durchmesser. Aus Sicht der Belastung ergibt sich in der

Regel für die Lager eine *Belastungskennzahl* $f_s > 8$ und somit *Dauerfestigkeit*. Entscheidend für die *Lagerlebensdauer* ist eine gute *Abdichtung*, damit die *Fettgebrauchsdauer* voll ausgenutzt werden kann.

Lagerluft

FAG Spindellager der *Universalausführung* sind für den beliebigen Einbau in *X*-, *O*- oder *Tandem-Anordnung* bestimmt. Beim Einbau in *X*- oder *O*-Anordnung ergibt sich eine definierte Vorspannung. Die leichte Vorspannung UL genügt den üblichen Anforderungen.

Durch gleich lange äußere und innere Distanzhülsen bleibt die in den Lagern eingearbeitete Vorspannung erhalten. Bei günstigem Lagerabstand gleichen sich axiale und radiale Wärmedehnungen der Arbeitsspindel aus, so daß die Lagervorspannung in jedem Betriebszustand unverändert bleibt.

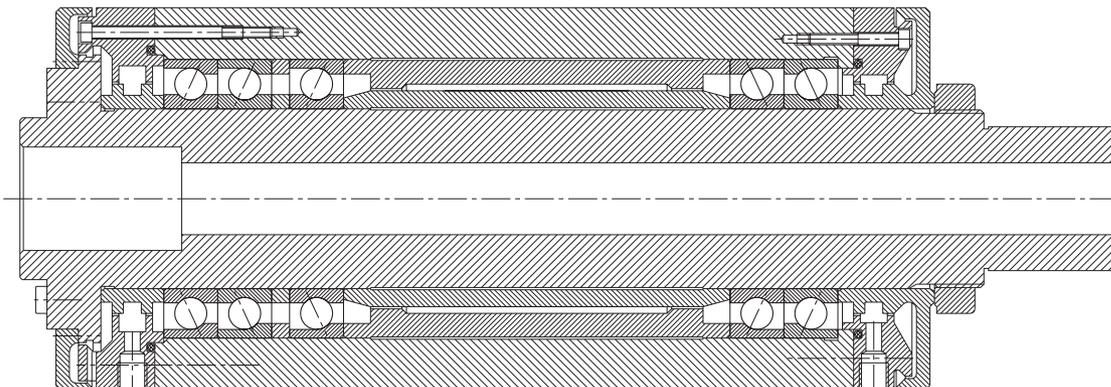
Schmierung, Abdichtung

Mit etwa 35 % Hohlraumfüllung werden die Lager mit dem FAG Wälzlagerfett *Arcanol L74V* auf *Lebensdauer* geschmiert.

Zur *Abdichtung* dienen *Labyrinthdichtungen* mit Fangnut und Abflußbohrung, an der evtl. eine Absaugung angebracht werden kann.

Bearbeitungstoleranzen

Lager	Sitzstelle	Durchmesser-toleranz	Formtoleranz (DIN ISO 1101)	Summenplanlauf-toleranz der Anlageschulter
Spindellager (Antriebs-/Arbeitsseite)	Welle	+3,5/-3,5 µm	1 µm	1,5 µm
	Gehäuse	-3/+5 µm	2 µm	3 µm



13 Hochgeschwindigkeits-Motorfrässpindel

Technische Daten

Antriebsleistung 11 kW;
maximale Spindeldrehzahl 28 000 min⁻¹.

Lagerwahl

Die Lagerung muß für sehr hohe Drehzahlen und für die besonderen thermischen Betriebsbedingungen in einer Motorspindel geeignet sein. Hierfür eignen sich besonders Hybrid-Spindellager mit Keramikkugeln. Die Frässpindel muß axial und radial hochgenau spielfrei geführt werden.

Arbeitsseite:

1 Spindellagersatz FAG HC7008E.T.P4S.DTL in *Tandem-Anordnung*.

Antriebsseite:

1 Spindellagersatz FAG HC71908E.T.P4S.DTL in *Tandem-Anordnung*.

Die Lagerpaare auf der Antriebs- und Arbeitsseite werden in *O-Anordnung* über Federn (Federkraft 300 N), entsprechend einer mittleren Vorspannung elastisch gegeneinander *angestellt*. Das Lagerpaar auf der Antriebsseite sitzt in einer Büchse, die spielfrei in einer Kugelbüchse gelagert ist, so daß axiale Längendehnungen der Welle zwanglos ausgeglichen werden können.

Dimensionierung der Lager

Lagergröße und Lageranordnung werden entsprechend der Drehzahlvorgabe und dem Spindeldurchmesser ausgewählt.

Zu berücksichtigen sind auch die Motorwärme, die sich als größerer Temperaturunterschied zwischen Lagerinnenring und Lageraußenring auswirkt, und die Ringaufweitung, die sich durch die Fliehkraft aufgrund der hohen Drehzahl bemerkbar macht. Dies würde bei einer starren Lageranordnung die Vorspannung stark erhöhen. Durch die Federvorspannung werden beide Einflüsse problemlos ausgeglichen. Dadurch erreicht die Flächenpressung im Wälzkontakt des Lagers einen relativ niedrigen Wert von $p_0 \leq 2000 \text{ N/mm}^2$ und ergibt *dauerfeste* Lager. Die Einsatzdauer der Lagerung wird somit durch die *Fettgebrauchsdauer* bestimmt.

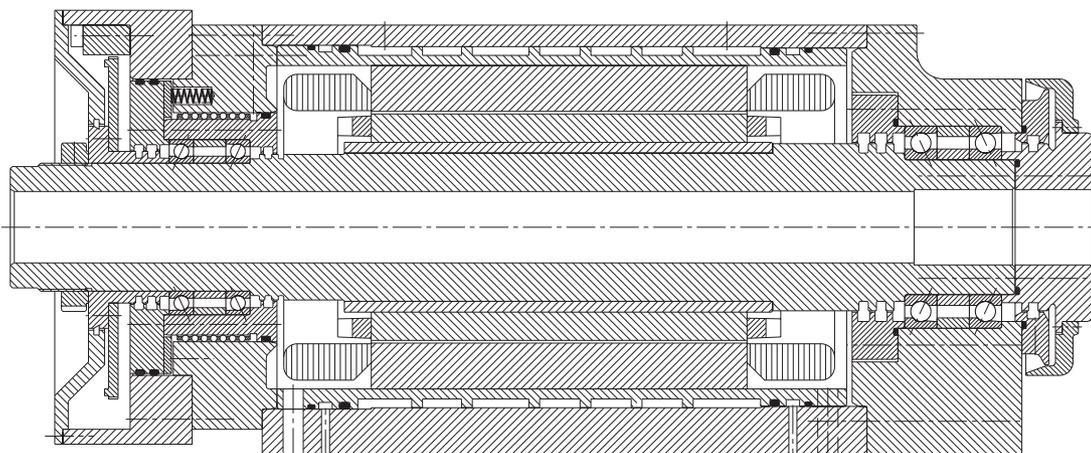
Schmierung, Abdichtung

Die Lager haben Fettschmierung mit dem Wälzlagerfett *Arcanol L207V*, das sich für die höheren thermischen Belastungen und für hohe Drehzahlen besonders eignet.

Um das *Fett* vor Verunreinigungen zu schützen und dadurch die *Fettgebrauchsdauer* zu verlängern, erfolgt die *Abdichtung* der Lagerung über Labyrinth, bestehend aus Spaltdichtung mit Spritzrillen und Fangnut.

Bearbeitungstoleranzen

Lager	Sitzstelle	Durchmessertoleranz	Formtoleranz (DIN ISO 1101)	Summenplanlauf toleranz der Anlageschulter
Spindellager (Antriebs-/Arbeitsseite)	Welle	+6/+10 µm	1 µm	1,5 µm
	Gehäuse	-3/+5 µm	2 µm	3 µm



13: Lagerung einer Hochgeschwindigkeits-Motorfrässpindel

14 Motorspindel einer Drehmaschine

Technische Daten

Antriebsleistung 18 kW;
maximale Spindeldrehzahl 4 400 min⁻¹.

Lagerwahl

Die Lager müssen eine hohe Steifigkeit haben und die Spindel radial und axial genau führen. Dies wird durch einen möglichst großen Wellendurchmesser und durch eine entsprechende Lageranordnung erreicht. Die Lager sind vorgespannt und haben eine erhöhte Genauigkeit. Des Weiteren sind die besonderen thermischen Gegebenheiten einer Motorlagerung zu berücksichtigen.

Arbeitsseite: 1 Spindellagersatz
FAG B7024E.T.P4S.QBCL
(Tandem-O-Tandem-Anordnung) als
Festlager.
Gegenseite: 1 Zylinderrollenlager
FAG N1020K.M1.SP als Loslager.

Dimensionierung der Lager

Da sich die Lagergröße in erster Linie nach dem Kriterium Spindelsteifigkeit (größerer Spindeldurchmesser)

richtet, ergeben sich Lagergrößen, deren Tragfähigkeit bei weitem ausreicht.

Für die Einsatzdauer der Lagerung ist deshalb die *Fettgebrauchsdauer* maßgebend.

Lagerluft

Die Spindellager werden mit leichter Vorspannung eingebaut. Das Zylinderrollenlager mit kegeliger Bohrung des Innenrings wird durch axiales Aufpressen auf den konischen Wellensitz der Spindel auf wenige µm *Radialspiel* eingestellt und erreicht bei Betriebstemperatur den gewünschten spielfreien Zustand.

Schmierung, Abdichtung

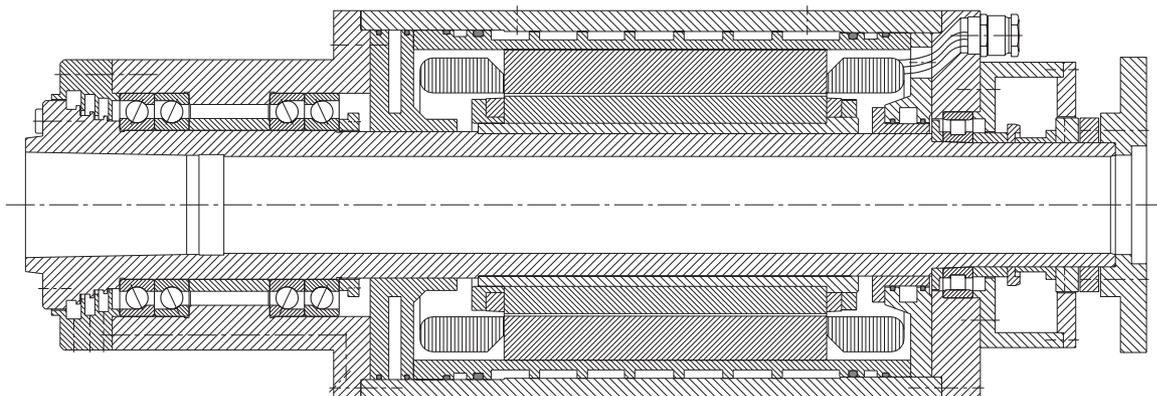
Die Lager werden mit dem Wälzlagerfett *Arcanol L207V* auf *Lebensdauer* geschmiert. Das *Fett* eignet sich speziell für höhere Temperaturen und hohe Drehzahlen.

Bei Spindellagern füllt man ca. 35 % und bei Zylinderrollenlagern ca. 20 % des Lagerhohlraums mit *Fett*.

Die *Abdichtung* übernimmt ein Stufenlabyrinth mit Fangnuten und Abflußbohrungen. Eine Spalt*dichtung* schützt das Zylinderrollenlager vor äußeren Einflüssen.

Bearbeitungstoleranzen

Lager	Sitzstelle	Durchmesser-toleranz	Formtoleranz (DIN ISO 1101)	Summenplanlauf-toleranz der Anlagenschulter
Spindellager	Welle	-5/+5 µm	1,5 µm	2,5 µm
	Gehäuse	-4/+10 µm	3,5 µm	5 µm
Zylinderrollenlager	Welle, kegelig	1:12	1,5 µm	2,5 µm
	Gehäuse	-15/+3 µm	3,5 µm	5 µm



14: Motorspindellagerung einer Drehmaschine

15 Vertikal-Schnellauf-Frässpindel

Technische Daten

Antriebsleistung 2,6/3,14 kW;
Nennzahl 500...4 000 min⁻¹.

Lagerwahl

Die Lagerung muß bei allen Drehzahlen im oben genannten Bereich betriebssicher laufen. So muß die Spindel beispielsweise bei 500 min⁻¹ und hoher Belastung radial und axial starr geführt sein. Andererseits dürfen sich die Lagerstellen bei der höchsten Drehzahl von 4 000 min⁻¹ nicht so stark erwärmen, daß die Arbeitgenauigkeit darunter leidet.

Auf der Arbeitsseite der Frässpindel ist ein Spindellagersatz FAG B7014E.T.P4S.TBTM (*Tandem-O-Anordnung*, mittlere Vorspannung) eingebaut. Die Lagergruppe ist über eine Mutter und Distanzbüchse mit 1,9 kN vorgespannt.

Das Rillenkugellager FAG 6211TB.P63 führt die Spindel auf der Antriebsseite. Damit auch dieses Lager spielfrei läuft, wurde es mit Tellerfedern leicht vorgespannt.

Dimensionierung der Lager

Das Fräsen erfordert biege- und verdrehsteife Spindeln. Dadurch liegt der Spindeldurchmesser und auch die Größe der Lager fest. Die erforderliche Steifigkeit der Lager wird durch die gewählte Anordnung und Vorspannung erreicht. Die beiden oben angeordneten Schrägkugellager entlasten die Spindel von Kräften aus dem Antrieb.

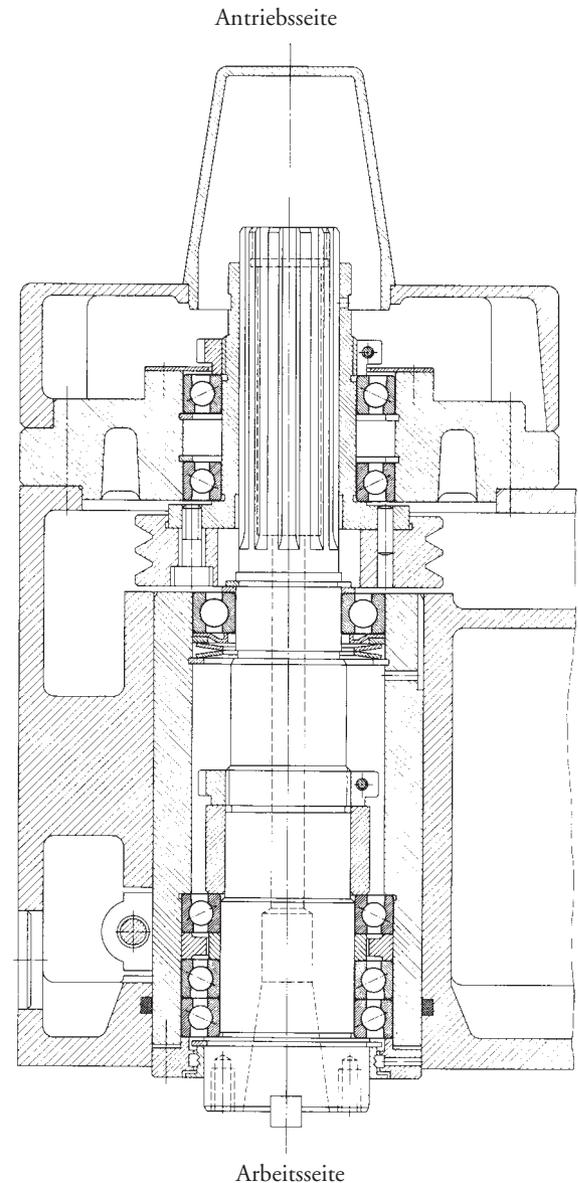
Bearbeitungstoleranzen

Sitzstelle	Durchmesser- toleranz	Zylinder- formtoleranz (DIN ISO 1101)	Summen- planlauf- toleranz der Anlagenschulter
Welle	js4	IT1/2	IT1
Gehäuse (Arbeitsseite)	JS5	IT2/2	IT2
Gehäuse (Antriebsseite)	H6	IT3/2	IT3

Schmierung, Abdichtung

Die Lager haben *Fettschmierung* (FAG Wälzlagerfett Arcanol L74V).

Eine Spaltdichtung mit Spritzrillen und Fangnut schützt die Spindellagerung vor Umgebungseinflüssen.



16 Bohrungsschleifspindel

Technische Daten

Antriebsleistung 1,3 kW; Spindeldrehzahl 16 000 min⁻¹. Die Spindel wird durch den Schleifdruck radial belastet. Die Belastung ist abhängig von der Schleifscheibengüte, dem Vorschub und der Schnitttiefe.

Lagerwahl

Hohe Schleifgeschwindigkeit beim Bohrungsschleifen erfordert eine hohe Spindeldrehzahl. Des weiteren wird eine ausreichende Starrheit und eine genaue Führung vor allem in axialer Richtung verlangt. Die Forderungen nach hoher Drehzahl und hoher Steifigkeit lassen sich mit Spindellagern erfüllen. Da die Schleifspindel in erster Linie eine hohe radiale Steifigkeit benötigt, ist es zweckmäßig, Lager mit einem *Druckwinkel* von 15° (Ausführung C) vorzusehen.

Auf der Arbeitsseite und auf der Antriebsseite ist je ein Spindellagersatz FAG B7206C.T.P4S.DTL in *Tandem-Anordnung* eingebaut. Die Belastungen werden von den in *O-Anordnung* angestellten Tandem-Lagerpaaren gleichmäßig aufgenommen. Hierzu müssen die

Zwischenringe in einer Aufspannung gleich breit und planparallel geschliffen werden. Damit die Lagerung bei allen Betriebszuständen spielfrei läuft, wird sie mit einer Schraubenfeder leicht vorgespannt. Die Vorspannung erhöht die Steifigkeit der Lagerung. Allerdings wird die Höhe der Vorspannung durch die zulässige Temperatur der Lagerung begrenzt. Je nach Verwendung der Spindel liegt die Vorspannkraft zwischen 300 und 500 N. Aus der erforderlichen Steifigkeit ergibt sich der Spindeldurchmesser, wodurch die Lagergröße vorgegeben ist.

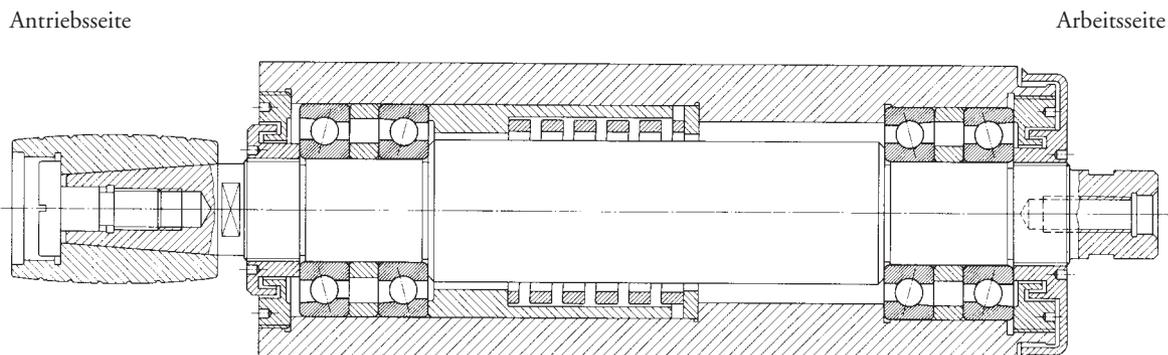
Schmierung, Abdichtung

Schmierung mit einem Fett für hochoberflächige Lager (FAG Wälzlagerfett *Arcanol L74V*). Die Lager werden bei der Montage mit einer Fettmenge versehen, die für die gesamte Betriebszeit ausreicht. Nachschmierung ist nicht notwendig.

Die *Abdichtung* der Lagerräume muß wegen der hohen Drehzahl berührungsfrei sein. Diese wird mit *Labyrinthdichtungen* erreicht.

Bearbeitungstoleranzen

Sitzstelle	Durchmessertoleranz	Zylinderformtoleranz (DIN ISO 1101)	Summenplanlauf-toleranz der Anlageschulter
Welle	js3	IT0/2	IT0
Gehäuse (Antriebsseite)	+2/+6 µm	IT1/2	IT1
Gehäuse (Arbeitsseite)	-1/+3 µm	IT1/2	IT1



16: Lagerung einer Bohrungsschleifspindel

17 Außenrundschleifspindel

Technische Daten

Antriebsleistung 11 kW; Drehzahl $n = 7\,500\text{ min}^{-1}$;
Laufgenauigkeit radial $3\text{ }\mu\text{m}$, axial $1\text{ }\mu\text{m}$.

Lagerwahl

Beim Außenrundschleifen wird sowohl hohe Zerspanungsleistung beim Schruppschleifen als auch hohe Form- und Oberflächenqualität beim Feinschleifen gefordert. Wesentliche Kriterien für die Lagerung sind hohe Steifigkeit und Laufgenauigkeit sowie gute Dämpfung und *Drehzahleignung*. Diese Forderungen werden mit *Genauigkeitslagern* erfüllt.

Hier kommen abgedichtete Universal-Spindellager mit kleinen Stahlkugeln (HSS) zum Einsatz:

- auf der Arbeitsseite als *Festlager 1* Spindellagersatz FAG HSS7020C.T.P4S.QBCL in *Doppel-O-Anordnung*.
- auf der Antriebsseite als *Loslager 1* Spindellagersatz FAG HSS7020C.T.P4S.DBL in *O-Anordnung*.

Bei noch höheren Drehzahlen sind abgedichtete Hybrid-Spindellager HCS mit kleinen Keramikugeln (geringere Zentrifugalkräfte) zweckmäßig.

Dimensionierung der Lager

Die Größe der Lager ergibt sich aus dem erforderlichen Spindeldurchmesser bzw. dem vorgegebenen

Pinolenaußendurchmesser. Der *Druckwinkel* von 15° ist günstig für eine hohe radiale Steifigkeit. Durch die Anordnung von vier Lagern auf der Arbeitsseite werden die Laufgenauigkeit und die Dämpfung verbessert.

Lagerluft

Alle Lager in *Universalausführung* UL haben im eingebauten Zustand bei der *O-Anordnung* eine leichte Vorspannung. Zwischenringe begünstigen die thermischen Verhältnisse und ergeben eine größere *Stützbasis* an der Lagerstelle. Damit sich die definierte Lagervorspannung durch die Zwischenringe nicht verändert, müssen diese exakt gleich breit und planparallel bearbeitet werden.

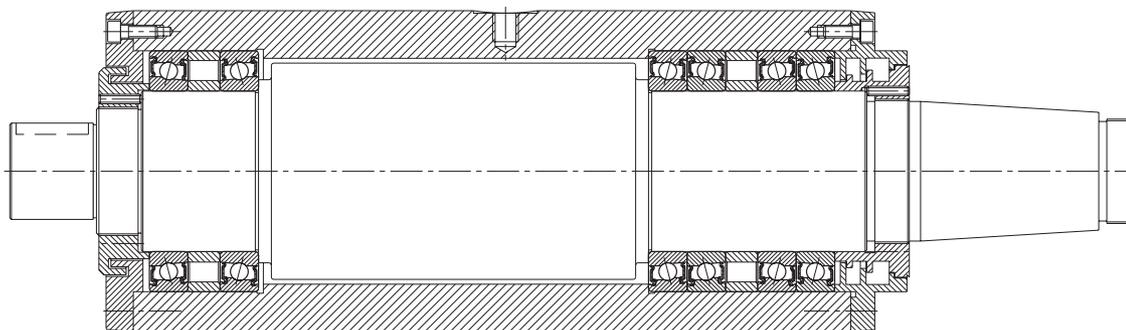
Schmierung, Abdichtung

Die abgedichteten FAG HSS-Spindellager sind wartungsfrei und mit FAG Wälzlagerfett *Arcanol* L74 for-life geschmiert.

Als zusätzliche *Abdichtung* dient auf der Schleifscheibenseite ein Labyrinth mit definiert engen Axialspalten von $0,3\text{...}0,8\text{ mm}$. Auf der Antriebsseite genügt eine einfache Labyrinth*dichtung*.

Bearbeitungstoleranzen

Lager	Sitzstelle	Durchmessertoleranz	Formtoleranz (DIN ISO 1101)	Summenplanlauf-toleranz der Anlageschulter
Spindellager (Arbeitsseite)	Welle	$+3/-3\text{ }\mu\text{m}$	$1\text{ }\mu\text{m}$	$1,5\text{ }\mu\text{m}$
	Gehäuse	$-3/+5\text{ }\mu\text{m}$	$2\text{ }\mu\text{m}$	$3,5\text{ }\mu\text{m}$
Spindellager (Antriebsseite)	Welle	$+3/-3\text{ }\mu\text{m}$	$1\text{ }\mu\text{m}$	$1,5\text{ }\mu\text{m}$
	Gehäuse	$+5/+13\text{ }\mu\text{m}$	$2\text{ }\mu\text{m}$	$3,5\text{ }\mu\text{m}$



17: Lagerung einer Außenrundschleifspindel

18 Flächenschleifspindel

Technische Daten

Leistung des Schleifmotors 220 kW; maximale Drehzahl 375 min^{-1} ; Gewichtskraft von Spindel, Rotor und Schleifkopf 30 kN; Schleifdruck maximal 10 kN.

Lagerwahl

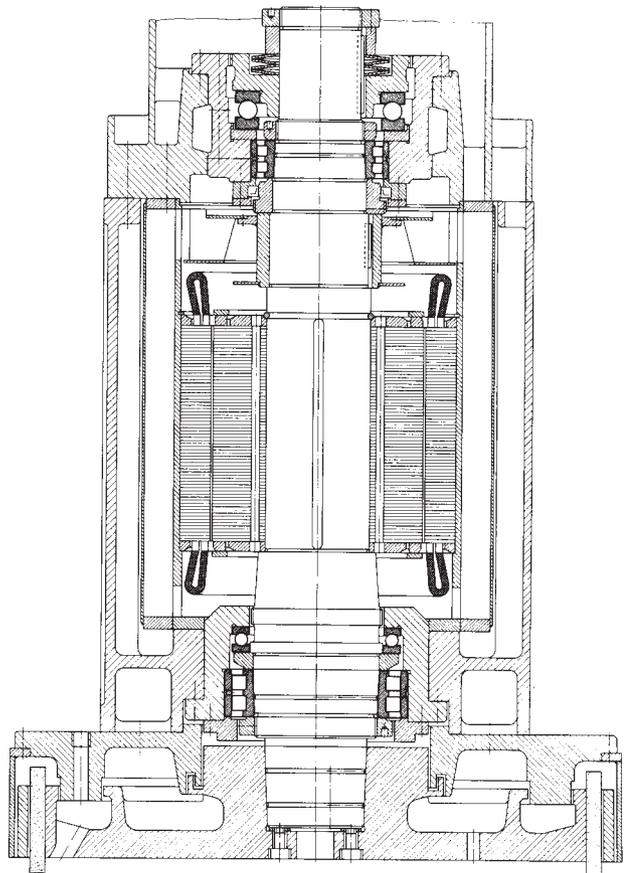
Auf der Seite des Schleifkopfs ist die Spindel in einem zweireihigen Zylinderrollenlager FAG NN3060ASK.M.SP abgestützt. Das oberhalb dieses Lagers angeordnete Axial-Rillenkugellager FAG 51164MP.P5 nimmt die axiale Komponente des Schleifdrucks auf. Am oberen Ende sind das zweireihige Zylinderrollenlager FAG NN3044ASK.M.SP und das Axial-Rillenkugellager FAG 51260M.P6 eingebaut. Das Zylinderrollenlager übernimmt die radiale Führung; das Axial-Rillenkugellager trägt das Gewicht von Rotor, Spindel und Schleifkopf. Zur Erhöhung der axialen Steifigkeit ist dieses Lager mit Tellerfedern gegen das untere Axial-Rillenkugellager *angestellt*.

Dimensionierung der Lager

Die starre Führung der Spindel in radialer Richtung wird durch formgenaue Umbauteile, feste *Passungen* der Lagerringe und eine leichte Vorspannung der Zylinderrollenlager erzielt. Die Innenringe werden dabei soweit auf den kegeligen Lagersitz geschoben, bis der *Rollkörperkranz* unter leichter Vorspannung ($5 \mu\text{m}$) umläuft. Oberflächengüte und Maßgenauigkeit der Werkstücke hängen vor allem von der axialen Steifigkeit des Spindelstocks und des Rundtisches ab, wobei der Steifigkeit der *Axiallager* besondere Bedeutung zukommt. Zur Erhöhung der Steifigkeit werden die Axiallager mit den Tellerfedern, die sich am oberen Ende der Spindel befinden, mit einer Kraft von 40 kN vorgespannt. Da die Gewichtskraft (Spindel, Rotor, Schleifkopf) 30 kN beträgt, verbleibt für das untere *Axiallager* eine Vorspannung von 10 kN. Damit ist starre spielfreie Führung der Spindel auch in axialer Richtung gewährleistet. Die rechnerische Steifigkeit beträgt $2,5 \text{ kN}/\mu\text{m}$; bei einem maximalen Schleifdruck von 10 kN weicht die Spindel also nur um $4 \mu\text{m}$ axial aus.

Schmierung, Abdichtung

Die Lager des Spindelstocks haben eine for-life-Schmierung mit dem FAG Wälzlagerfett *Arcanol*L74V. Als *Abdichtung* am oberen Spindelende genügt eine *Spaltdichtung*, da der Spindelstock oben mit einer Kappe verschlossen ist. Ein Wellendichtring verhindert, daß *Fett* in den Motor gelangt. Die untere Lagerung hat auf der Motorseite eine *Spaltdichtung* und auf der Schleifkopfseite eine *Spaltdichtung* mit vorgeschaltetem Labyrinth.



18: Lagerung einer Flächenschleifspindel

19 Rundtisch einer Senkrecht-Drehmaschine

Technische Daten

Antriebsleistung 100 kW; Drehzahlen bis $n = 200 \text{ min}^{-1}$; Drehtisch-Außendurchmesser 2 000, 2 200 oder 2 500 mm; maximaler Werkstück-Durchmesser 2 800 mm, maximale Werkstückhöhe 2 700 mm, maximales Werkstückgewicht 250 kN; Rund- und Planlaufabweichung maximal $5 \mu\text{m}$.

Lagerwahl

Die Lagerung der Planscheibe erfordert hohe Laufgenauigkeit und Starrheit. Da die Axialkraft überwiegt und durch exzentrischen Kraftangriff ein großes Kippmoment entsteht, baut man ein Axial-Rillenkugellager in erhöhter Genauigkeit (Hauptabmessungen $1250 \times 1495 \times 150 \text{ mm}$) ein. Die radiale Führung übernimmt ein Schrägkugellager in erhöhter Genauigkeit FAG 7092MP.P5 (30° Druckwinkel). Beide Lager werden mit 50 kN gegeneinander vorgespannt.

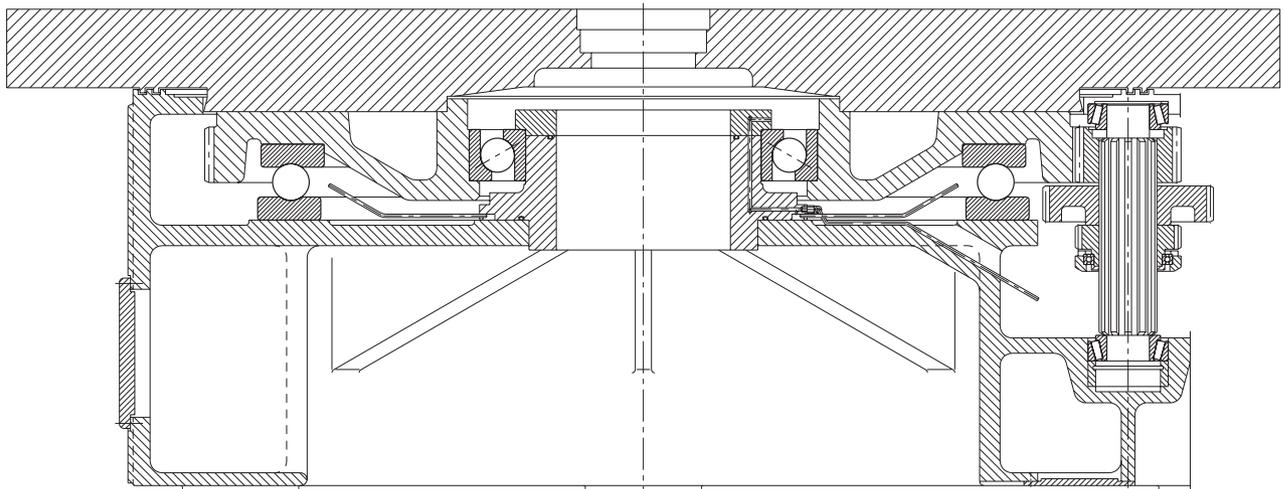
Die hohe Vorspannung garantiert eine hohe Laufgenauigkeit bei hoher radialer und axialer Momenten- oder Kippsteifigkeit unter relativ geringer Eigenerwärmung. Durch spezielle Maßnahmen während der Montage und nach Überschleifen des Rundtisches ergibt sich ein Planlauf von max. $5 \mu\text{m}$.

Bearbeitungstoleranzen

Axial-Rillenkugellager: Zahnkranz j5
Schrägkugellager: Königszapfen j5/Zahnkranz K6

Schmierung, Abdichtung

Die Lagerung hat Ölumlaufschmierung. Über Ölzuführungsrohrchen gelangt das Öl direkt an die einzelnen Lagerstellen. Hat das Öl die Lager durchlaufen, wird es über einen Filter in einen Sammelbehälter geleitet und erneut den Lagern zugeführt. Das Dichtungslabyrinth verhindert den Ölaustritt und schützt die Lager vor Verschmutzung.



20 Reitstockspindel

Technische Daten

Maximale Drehzahl $n = 3\,500 \text{ min}^{-1}$

Lagerwahl, Dimensionierung

Die Lagerung muß insbesondere starr und tragfähig sein. Weitere Forderungen wie hohe Genauigkeit und gute *Drehzahleignung* werden mit Lagern in *Genauigkeitsausführung* erfüllt.

Auf der Arbeitsseite übernimmt ein zweireihiges Zylinderrollenlager FAG NN3014ASK.M.SP die hohe Radiallast. Die hohe Axialkraft wird auf der Gegenseite von vier Schrägkugellagern FAG 7210B.TVP.P5.UL übernommen. Davon sind drei Lager in *Tandem-Anordnung* eingebaut, das vierte Lager dient lediglich zur axialen *Gegenführung*.

Der maximale Lageraußendurchmesser ist durch die Pinolengröße vorgegeben.

Zylinderrollenlager haben eine hohe radiale und Schrägkugellager mit 40° *Druckwinkel* eine hohe axiale Tragfähigkeit.

Lagerluft

Das Zylinderrollenlager mit kegeliger Bohrung ist durch Aufpressen des Innenrings auf den konischen Wellensitz (Kegel 1:12) mit $2 \dots 3 \mu\text{m}$ vorgespannt.

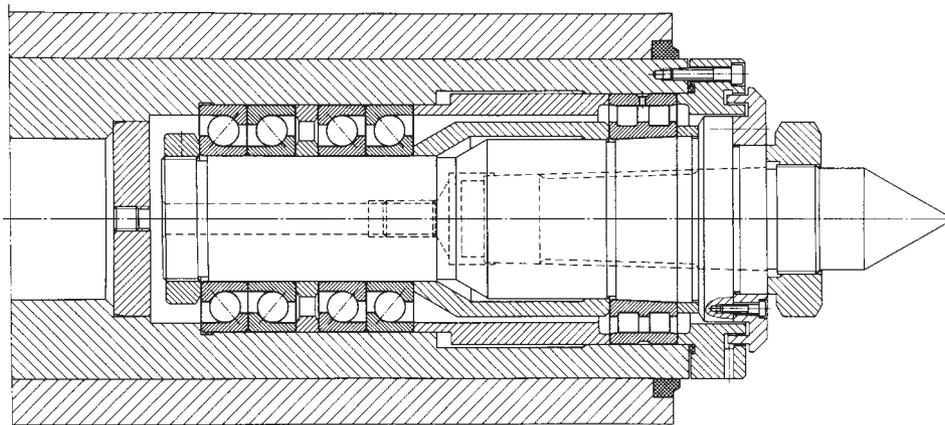
Die Schrägkugellager in *Universalausführung* UL haben bei der *O-Anordnung* eine leichte Vorspannung. Die beiden Zwischenringe sind genau gleich breit und dienen lediglich dazu, einen Hohlraum zu schaffen, der das aus den Lagern entweichende überschüssige *Fett* aufnimmt.

Schmierung, Abdichtung

For-life-Schmierung mit FAG Wälzlagerfett *Arcanol* L135V. Eine Labyrinth*dichtung* verhindert den Schmutzeintritt ins Lager.

Bearbeitungstoleranzen

Lager	Sitzstelle	Durchmesser-toleranz	Formtoleranz (DIN ISO 1101)	Summenplanlauf-toleranz der Anlageschulter
Zylinderrollenlager	Welle, kegelig	Kegel 1:12	$1,5 \mu\text{m}$	$2 \mu\text{m}$
	Gehäuse	$-13 / +2 \mu\text{m}$	$2,5 \mu\text{m}$	$4 \mu\text{m}$
Schrägkugellager	Welle	$-4 / +4 \mu\text{m}$	$1,5 \mu\text{m}$	$2 \mu\text{m}$
	Gehäuse	$-4 / +6 \mu\text{m}$	$2,5 \mu\text{m}$	$4 \mu\text{m}$



21 Drehschälmaschine für Rundstangen und Rohre

Mit Drehschälmaschinen werden auf besonders wirtschaftliche Weise Stangen und Rohre verschiedenster Durchmesser nach Toleranzklasse h9 gefertigt. Beim Drehschälverfahren wird das stillstehende Rundmaterial mit einer bestimmten Vorschubgeschwindigkeit gegen rotierende Drehmeißel bewegt. Bei dieser Maschine sind vier Drehmeißelschlitten am Umfang des Drehkopfes verteilt und radial verstellbar.

Technische Daten

Antriebsleistung 75 kW; Drehzahl $n = 300 \dots 3600 \text{ min}^{-1}$; Material-Außendurchmesser 11...85 mm; Vorschubgeschwindigkeit 1...40 m/min.

Lagerwahl

Die Hauptlagerung nimmt die Schnittkräfte der vier Drehmeißel auf und wird von zwei Spindellagern FAG B7036E.T.P4S.UL gebildet. Die Lager sind in *O-Anordnung* über Federn mit 14,5 kN (2 % von C_0/Y_0) vorgespannt.

C_0 statische Tragzahl

Y_0 Axialfaktor bei statischer Belastung

Zwei Schrägkugellager FAG 71848MP.P5.UL in *O-Anordnung* übernehmen die Führungskräfte des axial verschiebbaren Hohlkegels, in dem die vier Dreh-

meißelschlitten radial geführt und eingestellt werden. Auch diese Lager sind mit einer Federvorspannkraft von 5 kN (1 % von C_0/Y_0) gegeneinander *angestellt*. Erfahrungsgemäß treten bei diesen Vorspannkraften keine Schlupfschäden auf, selbst wenn die Drehschälmaschine innerhalb einer Sekunde von 3600 min^{-1} auf Null abgebremst wird.

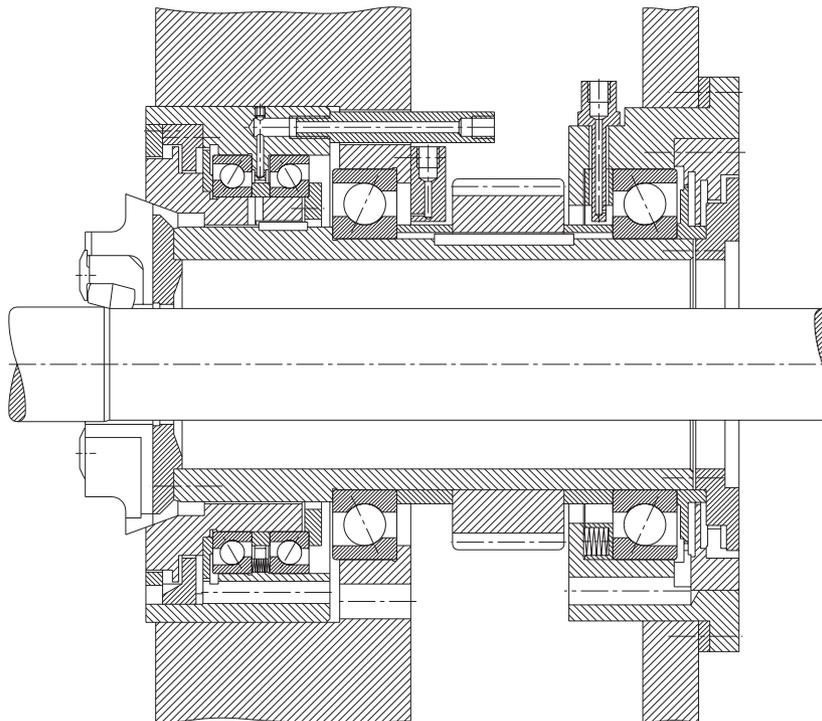
Bearbeitungstoleranzen

Die Innenringe beider Lager haben *Umfangslast* und sind mit Toleranz js5 gepaßt.

Die Lagersitze der Außenringe sind nach G6 bearbeitet. Hierbei bleibt die Federvorspannung in allen Betriebszuständen wirksam, da die Wärmedehnungen und Fliehkraftaufweitungen der rotierenden Teile nicht zum Klemmen der Außenringe im Gehäuse führen.

Schmierung, Abdichtung

Die Lagerungen haben Öl-Einspritzschmierung. Verwendet wird das Öl/ISO VG 32 (32 mm²/s bei 40 °C). Bei 80 °C hat das Öl eine *Betriebsviskosität* von $\nu = 8 \text{ mm}^2/\text{s}$. Eine aufwendige Labyrinthabdichtung schützt die Lager gegen eindringende Schneidemulsion und Späne (Abrieb) sowie gegen austretendes Öl.



21: Lagerung einer Drehschälmaschine für Stangen und Rohre

22 Schwungrad einer Karosseriepresse

Technische Daten

Antriebsleistung 33 kW; Schwungraddrehzahl 370 min^{-1} ; Radialbelastung aus Schwungradgewicht und Riemenzug ca. 26 kN.

Lagerwahl

Wegen der hohen Belastungen und der *Umfangslast* am Außenring müssen beide Laufringe fest auf ihren Gegenstücken sitzen. Dennoch soll der Ein- und Ausbau der Lager einfach sein. Diese Forderungen erfüllen Zylinderrollenlager. Die Lager haben eine hohe Tragfähigkeit und sind *zerlegbar*, d. h., Innen- und Außenringe können einzeln montiert werden.

Das Schwungrad ist mit zwei Zylinderrollenlagern FAG NU1048M1A auf dem Hohlzapfen abgestützt, der aus dem Pressenständer ragt. Das Nachsetzzeichen M1A bedeutet, daß die Lager mit einem außenbordgeführten Messing-*Massivkäfig* ausgerüstet sind. Zur axialen Führung des Schwungrads ist an den äußeren Seiten der beiden Zylinderrollenlager je ein Winkelring FAG HJ1048 angeordnet. Zwischen den Lagerinnenringen sitzt die Distanzbüchse J und zwischen den Außenringen die Distanzbüchse A. Damit die Lagerung eine ausreichende *Axialluft* bekommt, ist die Büchse J um $0,6+0,2 \text{ mm}$ länger als die Büchse A. Nach der Lagermontage wird die *Axialluft* geprüft (Mindestwert $0,4 \text{ mm}$).

Dimensionierung der Lager

Die Größe der Lager ist durch den konstruktiv bedingten Zapfendurchmesser vorgegeben.

Bearbeitungstoleranzen

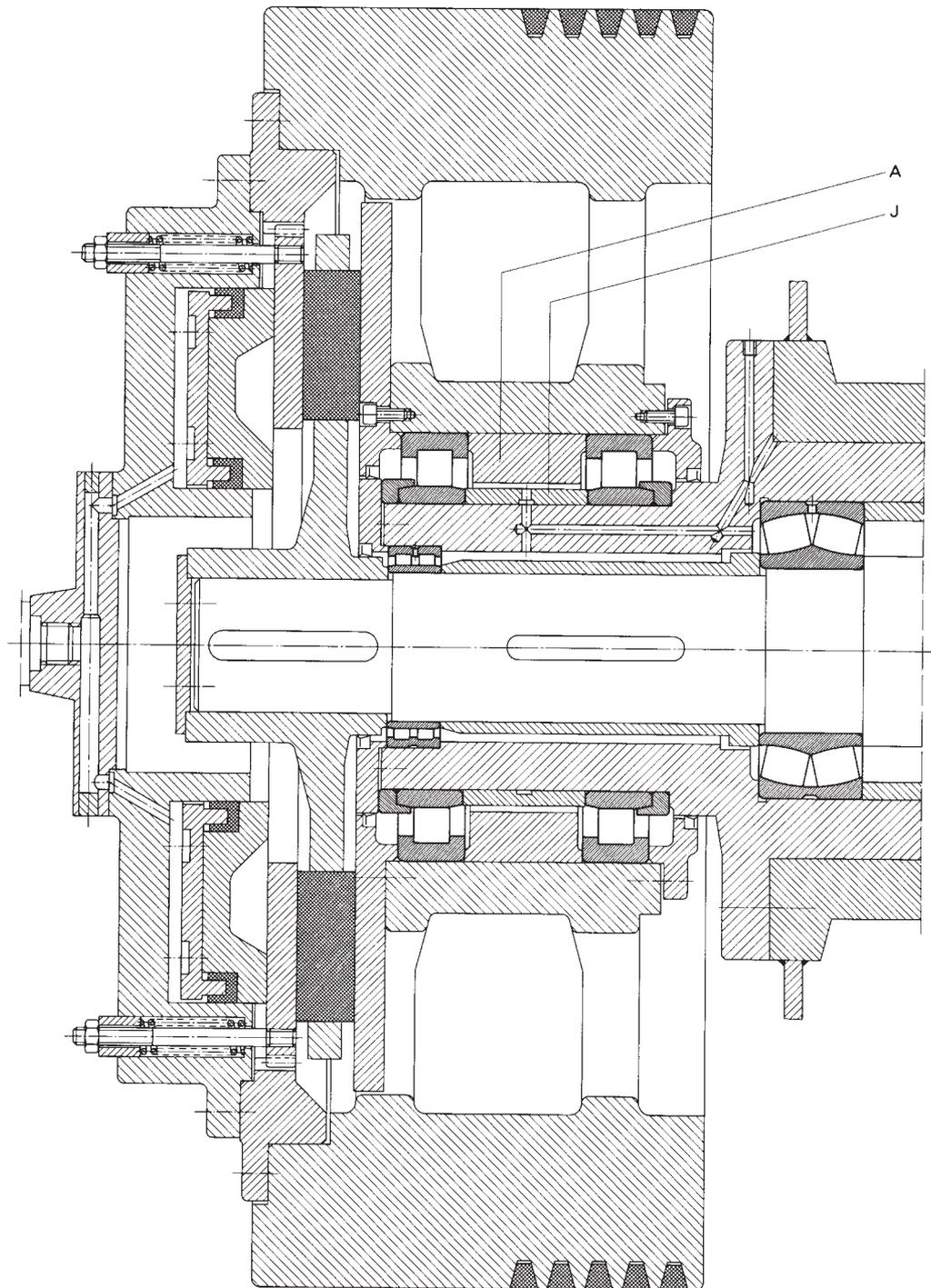
Die Außenringe erhalten *Umfangslast* und müssen deshalb mit Festsitz gepaßt werden; Naben-Bohrungstoleranz nach M6. Bei den Innenringen liegt *Punktlast* vor, Wellentoleranz nach j5.

Lagerluft

Eine Kontrollrechnung zeigt, daß sich nach dem Lagereinbau die *Radialluft* durch Einschnürung des Außenrings und durch Aufweitung des Innenrings (wahrscheinliches Übermaß) gegenüber der *Radialluft* vor dem Einbau (Tabellenwert) nur um $20 \mu\text{m}$ verringert. Es können also Lager mit normaler *Radialluft* (CN = $110 \dots 175 \mu\text{m}$) verwendet werden.

Schmierung, Abdichtung

Fettschmierung (FAG Wälzlagerfett *Arcanol L71V*). Wellendichtringe verhindern den Schmutzeintritt.



22: Schwungradlagerung einer Karosseriepresse