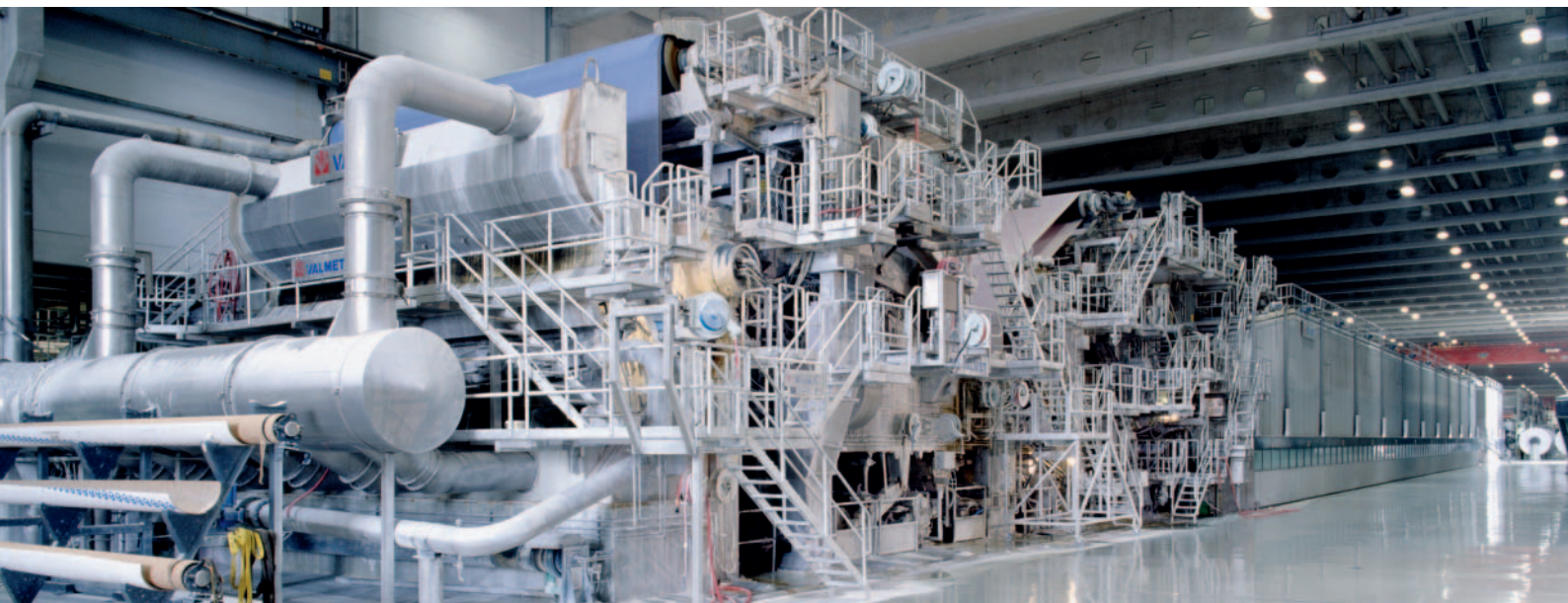




Wälzlagerungen für die Papierindustrie

Produkte · Service
Konstruktion · Dimensionierung

A Partnership in Paper

Wir bieten ein Komplettdprogramm für Papierfabriken, das zusätzlich durch das Netz unserer Handelspartner ergänzt wird.

Wir haben uns gegenüber der Papier- und Zellstoffindustrie verpflichtet, ein vollständiges Produkt- und Service-Programm von Anfang bis Ende sicherzustellen.

Unser 10-Punkte-Konzept vom Auftragseingang bis zur vorbeugenden Instandhaltung ermöglicht dauerhafte Kostenersparnisse.

1. Innovation und Qualität
2. Weltweite Ressourcen und Support
3. Produkte
4. Überprüfung des Magazinbestands
5. Stock Management
6. Schulungs-Programme
7. Technischer Service
8. Vorausschauende Instandhaltung
9. Kommunikation
10. Dokumentierte Einsparung

Wälzlagerungen für die Papierindustrie

Produkte · Service · Konstruktion · Dimensionierung

Publ.-Nr. WL 13 103/2 DA

Stand 2000

1	FAG-Produkte und Service für die Papierindustrie (Übersicht)	3
1.1	Normwälzlager	4
1.2	Spezialprodukte	5
1.3	Serviceangebot	5
1.4	Nachsetzzeichen, Technische Spezifikationen	6
2	Anforderungen an Papiermaschinenlagerungen	7
3	Beispiele für die Gestaltung von Papiermaschinenlagerungen	8
3.1	Naßpartie	8
3.1.1	Formierwalze	9
3.1.2	Siebsaugwalze	10
3.1.3	Zentral-Preßwalze	12
3.1.4	Durchbiegungs-Ausgleichswalze	13
3.2	Trockenpartie	14
3.2.1	Leitwalze	14
3.2.2	Trockenzylinder	16
3.3	Kalender- und Schlußgruppe	18
3.3.1	Kalender-Thermowalze	18
3.3.2	Breitstreckwalze	20
4	FAG-Service für mehr Betriebssicherheit	21
4.1	Aufbewahrung von Wälzlager	21
4.2	Vorbereitungen zum Ein- und Ausbau	21
4.3	Einbau und Ausbau bei zylindrischen und kegeligen Paßflächen	21
4.4	Passungen und Toleranzen	23
4.5	Lagerüberwachung und -analyse	26
4.6	PC-Programme zur Berechnung und Auslegung von Wälzlagerungen	28
4.7	FAG-Montageservice	28
4.8	FAG-Schulungsangebot	28
4.9	Auswahl von Publikationen	29
5	Dimensionierung und Schmierung von Wälzlager	30
5.1	Dimensionierung	30
5.2	Schmierung	32
5.2.1	Fettschmierung	32
5.2.2	Ölschmierung	34
6	Tabellen	38
6.1	Umrechnung	38
6.2	Radialluft, Radialluftverminderung	39

1 FAG-Produkte und Service für die Papierindustrie

Für die Papierindustrie bietet FAG ein umfangreiches Programm an Produkten und Dienstleistungen.

Der Schwerpunkt des Wälzlagerbedarfs dieser Branche liegt im Bereich der Normwälzlager, also der Wälzlager mit standardisierten Hauptabmessungen.

Im Bereich der Stoffaufbereitung sind dies z. B. Pendelrollenlager und Zylinderrollenlager. Dominierende Lagerbauart bei der Papierherstellung ist das Pendelrollenlager. In Nebenaggregaten der Papiermaschine (Motoren, Getriebe, Ventilatoren, Pumpen) findet man auch Rillenkugellager, Schrägkugellager und Kegelrollenlager. Typische Normwälzlager im Bereich der Papierweiterverarbeitung sind Pendelrollenlager, Schrägkugellager und Zylinderrollenlager. Passend zu den Normwälzlagern liefert FAG auch Zubehörteile und Gehäuse.

Besonders gängige Pendelrollenlager mit einem Außendurchmesser ≥ 320 mm sind im FAG Paper Scope zusammengefaßt. Es soll insbesondere für den Ersatzbedarf der Papierfabriken die Produktverfügbarkeit verbessern. Das FAG Paper Scope besteht ausschließlich aus Produkten, die in der Papierindustrie von Bedeutung sind, aber nicht regelmäßig und mit stark unterschiedlichen Stückzahlen benötigt werden. Dies sind Pendelrollenlager der gängigen Reihen 230, 231, 232 und 239 mit den für die Papierindustrie typischen Ausführungsvarianten und Kombinationen, z. B.

- zylindrische und kegelige Bohrung
- vergrößerte Radialluft (C3 oder C4)
- erhöhte Laufgenauigkeit (T52BW) bei einem Drehzahlkennwert $n \cdot d_m > 250\,000 \text{ min}^{-1} \cdot \text{mm}$
- Schmierbohrungen im Innenring (H140)
- einsatzgehärtete Innenringe (W209B) bei Trockenzyklindern und beheizten Kalandervalzen

Der Branchentrend für moderne Maschinen geht zu den Ausführungen C3/C4, H140, T52BW und W209B.

Daneben hat FAG ein spezielles Programm für die Branche zusammengestellt, mit dem auch komplexere lagerungstechnische Aufgaben funktionsicher und wirtschaftlich zu bewältigen sind. Dazu gehören winkelseinstellbare Zylinderrollenlager, geteilte Pendelrollenlager, Dreiringlager und spezielle Gehäuse.

Das FAG-Angebot wird abgerundet durch Produkte für Montage, Wartung und Diagnose, Montage- und Diagnose-service, anwendungstechnische Beratung, Lehrgänge und Hilfsmittel für die Schulung, PC-Berechnungsprogramme und technische Veröffentlichungen.

Eine Übersicht der FAG-Produkte und des FAG-Service für die Papierindustrie zeigt die Tafel auf den Seiten 4 und 5.

Gebräuchliche Nachsetzzeichen und Technische Spezifikationen enthält die Tafel auf Seite 6.

Pendelrollenlager für die Papierindustrie



Winkelseinstellbares zweireihiges Zylinderrollenlager



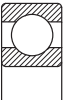
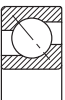
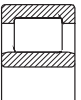
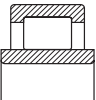
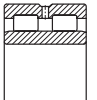
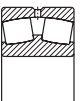
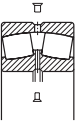
Zustandsabhängige Wälzlagerüberwachung mit dem FAG Bearing Analyser



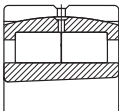
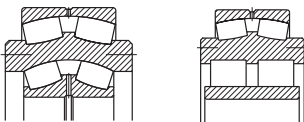
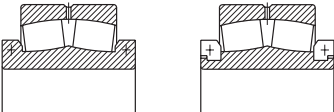
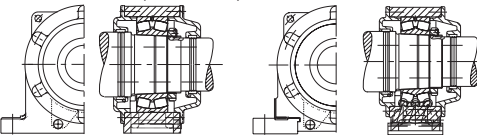
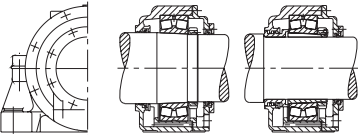
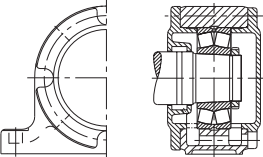
Produkte und Service für die Papierindustrie

Normwälzlager, Gehäuse und Zubehör

1.1 Normwälzlager, Gehäuse und Zubehör (Katalog WL 41 520)

Lagerbauart	Lagerreihe/Ausführung/Größenbereich	Anwendung
Rillenkugellager 	618...C3 (d 300...700) 619...C3 (d 140...260) 62.. (d 60...160) 160.. (d 60...160)	Seilscheiben Breitstreckwalzen Motoren, Getriebe Rührwerke, Ventilatoren
Schräggugellager 	73.. (d 100...200) 72.. (d 100...200)	Drucksortierer Stofflöser Pumpen, Getriebe Wickler, Umroller
Kegelrollenlager 		Drucksortierer, Stofflöser, Zwischenradlagerung, Pumpen, Getriebe, Brustwalzen-Axiallager
Zylinderrollenlager   	NU30../NU10.. (d 200...350) NU23.. (d 50...140) NUB2../3.. (d 50...140) NU/N30..C5.M17D.T27 (d 180...710) NU/N31..C5.M17D.T27 (d 180...710) NNU49.. (d 50...150) FAG 5...	Refiner Leitwalzen, Regulierwalzen Trockenzylinder, Glättzylinder Tambourlager Riffelwalzen Getriebe, Stofflöser
Pendelrollenlager   E-Konstruktion  Ausführung H140	240/241.. (d 120...220) 230..(K).MB.C3.T52BW.(H40AB/H40AC oder H140) (d 360...710) 239..(K).MB.C3.T52BW.(H40AB/H40AC oder H140) (d 440...950) 231..K.MB.C3 (d 440...950) 223/222..EK.C3 (d 50...180) 232..EA(S)K.M.C3 (d 110...180) 230/231/232..K.MB.C3 (d 200...560) 230/239/(248)..MB.T52BW.(H40AB/H40AC oder H140) 230/239/(248)..MB.C3.T52BW.(H40AB/H40AC oder H140) (d 200...850) 230/231..MB.(C3).(C4) (d 150...260) 232..K.MB.C4.T52BW 231..K.MB.C4.T52BW (d 420...560) 230/231..K.MB.C4.(W209B) (d 180...300) 230/231..K.MB.C4.(W209B) (d 320...710) 231..K.MB (d 50...150) 240..SK30.MB.C4.T52BW (d 140...160)	Saugwalzen, Kastenlager Saugwalzen, Führerseite Saugwalzen, Antriebsseite Leitwalzen Preßwalzen Durchbiegungsausgleichswalzen Kalandervalzen Soft-Kalandervalzen Trockenzylinder Glättzylinder Tambourlager Riffelwalzen Stofflöser, Refiner, Häcksler, Schleifer, Drucksortierer, Entringungstrommeln, (Laufrollen)

1.2 Spezialprodukte

Bauart	Reihe/Ausführung/Größenbereich	Anwendung
Winkleinstellbare Zylinderrollenlager (Publ.-Nr. WL 13 111) 	FAG 5.....K.C5 (.W209B) (d 150...300) FAG 5.....K.C5 (.W209B) (d 320...710)	Trockenzylinder Glättzylinder
Dreiringlager (TI WL 43-1192) 	FAG 5..... (d 180...420) FAG 5..... (d 100...400)	Angetriebene Durchbiegungsausgleichswalzen in Preßpartien und Kalandern
Geteilte Pendelrollenlager (Publ.-Nr. WL 43 165) 	222SM..MA (d 55...200) FAG 5..... (d 170...400) mit separaten Halteringen	Transmissionen, Stofflöser und Rührwerke, Ventilatoren Trockenzylinder-Umlagerungen
Gehäuse PMD (TI WL 13-1) PMDR  PM30..K-- PM30..H--  PMF (TI WL 13-2) 	PMD31.. (d 180...300) PMDR31.. (d 180...300) PM30..K-- (d 130...710) PM30..H-- (d 130...710) SUC30../31.. (d 130...710) PMF 23/22/32.. (d 75...180)	Trockenzylinder als Stehlager oder Schneidenlagergehäuse Trockenzylinder Glättzylinder (nur für Umlagerungen) Individualprodukt als Stehlager- oder Schneidenlagergehäuse Leitwalzen (Trockenpartie)

1.3 Serviceangebot

- | | | |
|--|---|--|
| <ul style="list-style-type: none"> • Montage- und Diagnoseservice • Geräte für Montage, Wartung und Diagnose • Anwendungstechnische Beratung • FAG-Schulungsangebot <ul style="list-style-type: none"> - Wälzlager-Grundlehrgang | <ul style="list-style-type: none"> - Individuelle Schulungen für Instandhaltungspersonal - Software zur Selbstschulung (W.L.S.) - Videofilme • FAG-Publikationen und Technische Informationen | <ul style="list-style-type: none"> • PC-Programme zur Berechnung und Auslegung von Lagerungen <ul style="list-style-type: none"> - FAG-Produktkatalog auf CD-ROM - Spezielle Berechnungsprogramme für Lager und Umbauteile • Wälzlagerfette Arcanol |
|--|---|--|

Produkte und Service für die Papierindustrie

Nachsetzzeichen und Technische Spezifikationen für Wälzlager in der Papierindustrie

1.4 Nachsetzzeichen und Technische Spezifikationen für Wälzlager in der Papierindustrie

Nachsetzzeichen	Beschreibung
C2	Radialluft kleiner als normal
C3	Radialluft größer als normal
C4	Radialluft größer als C3
C5	Radialluft größer als C4
E, ED	Geänderte Innenkonstruktion
H40	Lager ohne Schmiernut und ohne Schmierbohrungen im Außenring
H40AB	Pendelrollenlager mit zusätzlichen 6 Schmierbohrungen im Innenring
H40AC	Pendelrollenlager mit zusätzlichen 6 Schmierbohrungen und Schmiernut im Innenring
H40CA	Lager mit 6 Schmierbohrungen und Schmiernut im Außenring
H44S	Schmierbohrungen im Außenring mit Aluminiumstopfen verschlossen
H44SA	3 Aluminiumstopfen zum Verschließen der Schmierbohrungen im Außenring
H44SA	6 Aluminiumstopfen zum Verschließen der Schmierbohrungen im Innenring (nur in Verbindung mit H40AC)
H88	Laufgenauigkeit P5 für Innenring, P4 für Außenring + J26C + M15NZ + eingengte Breitentoleranz für Außenring
H140	Zusammenfassung von H40AC, H44SA, H44SB und T52BW
H157	Zusammenfassung von H40 und H40AC, Öleinspritzdüsen
J26A	Markierung der größten Rundlaufabweichung an Innenring oder Hülse
J26B	Markierung der größten Rundlaufabweichung an Außenring
J26C	Markierung der größten Rundlaufabweichung an Innenring und Außenring
M	Massivkäfig aus Messing, Führung durch die Rollkörper
MB	Zweiteiliger Massivkäfig aus Messing, Führung am Innenring
MB1	Einteiliger Massivkäfig aus Messing, Führung am Innenring
MB2	Modifizierter zweiteiliger Massivkäfig aus Messing, Führung am Innenring
M15NZ	Meßprotokoll mit Talyrond-Aufnahme, Seriennummer
M17D	Rißprüfung für Innenring
T27	Zylinderrollen mit kreisförmig-balligem Mantelprofil
T50H	Eingengte Toleranz des Außendurchmessers (nach Minus-Minus)
T52BW	P5-Laufgenauigkeit für Innenring und Außenring (+ J26C)
W10A	Isotemp-Wärmebehandlung für Außenring
W10D	Isotemp-Wärmebehandlung für Außenring und Innenring
W209B	Innenring aus Einsatzstahl

Gebräuchliche Kombinationen:

C3.H40AB.T52BW
C3.H40AC.T52BW
C3.H140
C3.T52BW
C5.M17D.T27.W10A.W209B
C5.M17D.T27.W10D
H40AB.T52BW
H40AC.T52BW
H44S.T52BW

2 Anforderungen an Papiermaschinenlagerungen

Moderne Maschinen zur Herstellung von endlosen Papier- und Kartonbahnen sind große Anlagen, die 200 m Länge erreichen können. Bei Bahnbreiten von über 10 m werden bis zu 1800 m Papier in der Minute hergestellt. Die Papierbahn läuft über eine Vielzahl von Walzen, die alle in Wälzlagern abgestützt sind.

Im wesentlichen bestehen Papiermaschinen stets aus den gleichen Komponenten: Naßpartie, bestehend aus Former- und Pressenpartie, Trockenpartie und Schlußgruppe mit Kalandern und Papieraufrollung, Bild unten.

Typische Anforderungen an die Lagerungen in Papiermaschinen sind:

- Höchste Betriebssicherheit
- Montagefreundlichkeit
- Ausgleich von Winkelfehlern
- Vermeidung von Korrosion im Naßteil

- Hohe Temperatureignung im Trockenteil
- Hohe Drehzahlleistung
- Hohe Qualität und Präzision der Lager

Eine Papiermaschine sollte möglichst ununterbrochen laufen und nur bei eingeplanten Wartungs- und Reparaturarbeiten stillgesetzt werden müssen. Aus diesem Grund steht die Forderung nach höchster Betriebssicherheit und Zuverlässigkeit bei der Konstruktion all dieser Lagerstellen und der Auswahl der Lager an erster Stelle. Neben der richtigen Lagerwahl spielen Schmierung und Wartung eine ebenso wichtige Rolle, wobei Wartung die Diagnose der Wälzlager bei laufender Maschine einschließt.

Auch auf die Montagefreundlichkeit sollte geachtet werden, damit im Reparaturfall zeitsparend gearbeitet werden kann.

Wegen der Ausmaße der Papiermaschinen und der damit verbundenen Lagerabstände müssen die Lagerungen auch Winkelfehler und größere Längenänderungen aufnehmen können.

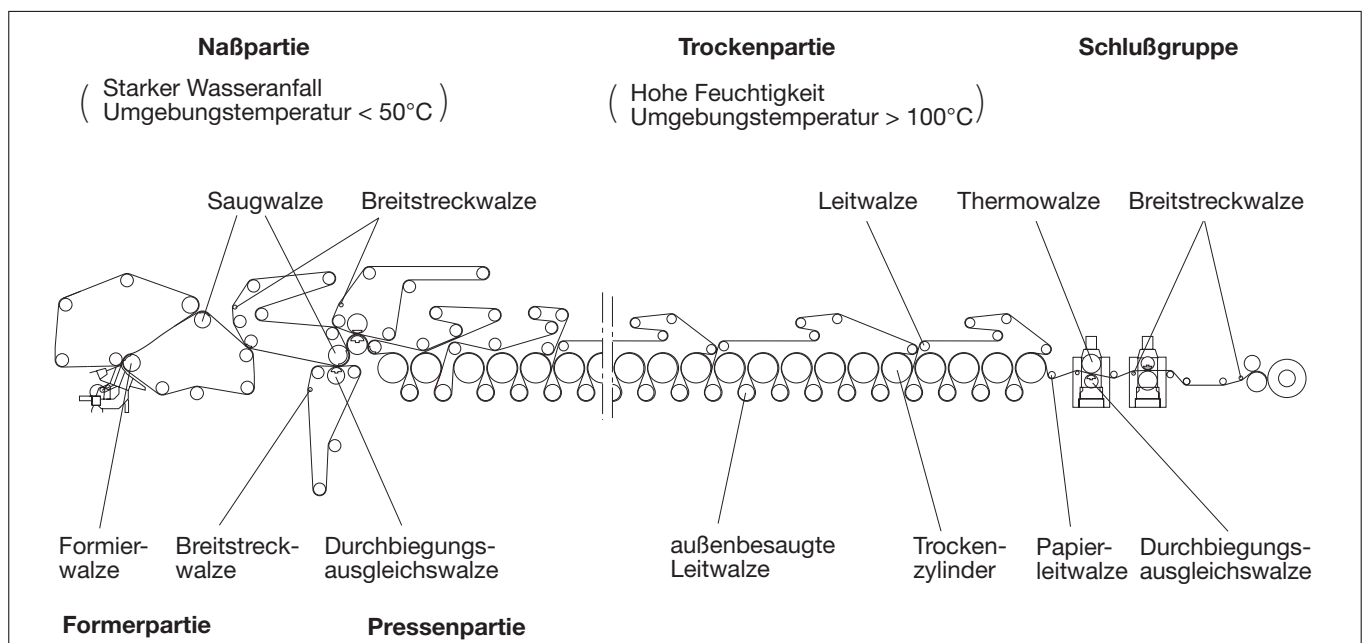
Im Naßteil herrscht eine hohe Umgebungsfeuchtigkeit. Deshalb ist die Abdichtung so auszulegen, daß Wassereintritt und Korrosion vermieden werden. Durch Feuchtigkeit kann die Schmierung und damit die Lebensdauer stark beeinträchtigt werden.

Im Trockenteil kommen hohe Betriebs- und Lagertemperaturen hinzu, was die Anforderungen an die Schmierung und die Lagerausführung weiter erhöht.

Schließlich müssen auch die wegen der hohen Papiergeschwindigkeit auftretenden Drehzahlen bei der Gestaltung der Lagerung und der Lagerauswahl berücksichtigt werden.

Papiermaschinen sind Einzelanlagen, die auf die spezifischen Anforderungen der Kunden zugeschnitten werden. Serienfertigungen, die in anderen Branchen üblich sind, scheiden daher aus. Man kann aber bei der Auslegung der Lagerung auf Erfahrungen mit ähnlichen Komponenten und Betriebsbedingungen zurückgreifen.

Schema einer modernen Papiermaschine



Anforderungen an Papiermaschinenlagerungen

Beispiele für die Gestaltung von Papiermaschinenlagerungen

Die dominierende Bauart, besonders bei mittleren und größeren Lagern, ist heute das Pendelrollenlager. Größere Zylinderrollenlager sind häufig auf spezielle Betriebsbedingungen und Walzenkonstruktionen abgestimmt.

In anderen Maschinen und Aggregaten der Papierfabrik (Motoren, Getriebe, Ventilatoren, Entrindungsstrommeln, Schleifer, Häcksler, Refiner, Rührwerke, Streichanlagen, Umroller und Schneideinrichtungen) kommen auch andere

Lagerbauarten vor (siehe Übersicht auf Seite 4 und 5).

Die Lager in der Papierindustrie werden für eine weit höhere nominelle Lebensdauer ausgelegt, als es sonst im Maschinenbau üblich ist, siehe Abschnitt 5.1.

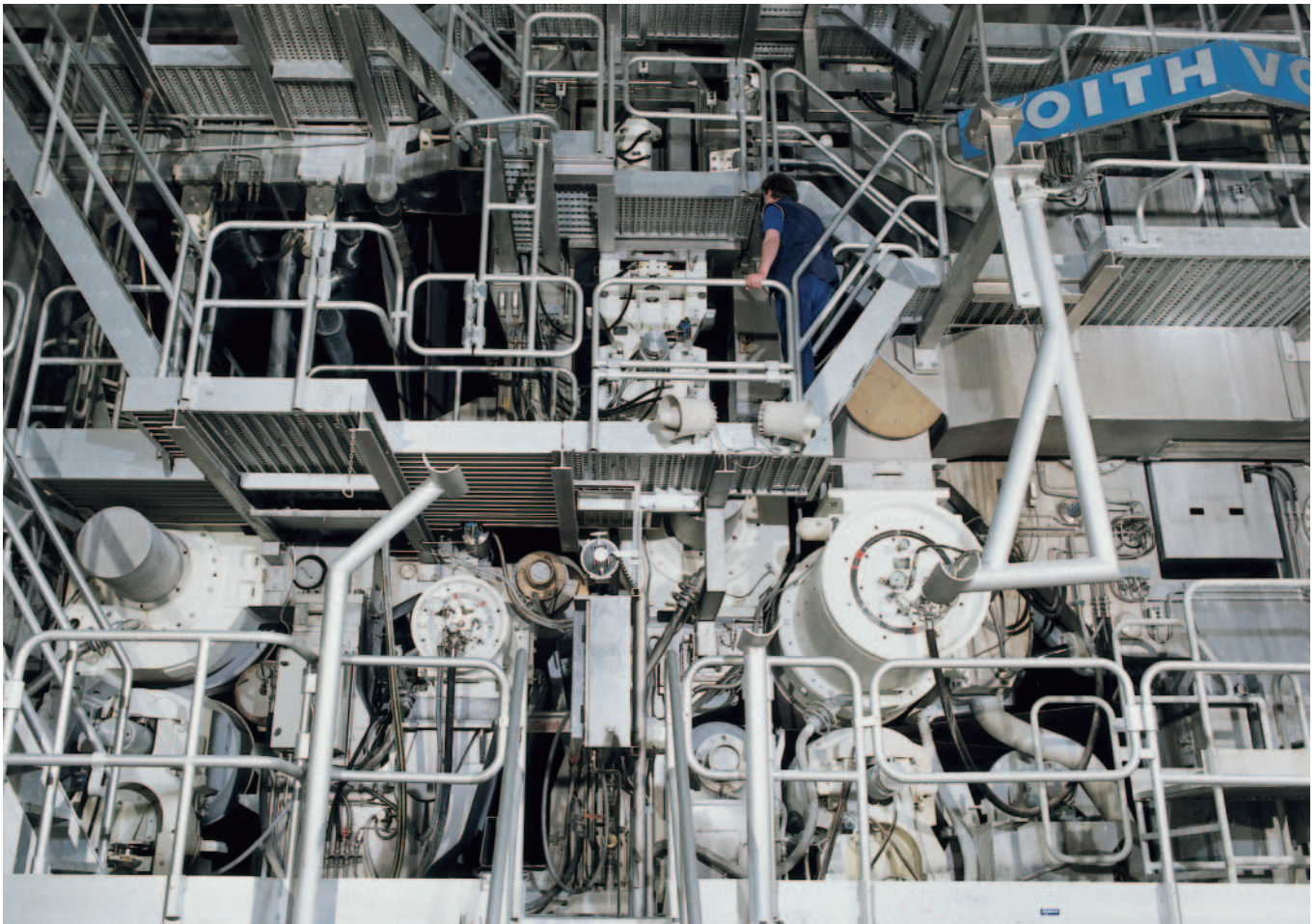
Die Schmierung hat einen sehr großen Einfluß auf die Gebrauchsdauer der Lager. Bei modernen Papiermaschinen sind aus Gründen der Betriebssicherheit und Wartung alle Walzenlager an eine Ölaufuhrversorgung angeschlossen. Bei älteren Papiermaschinen kommt in der Naß-

partie (bei niedrigen Umgebungstemperaturen) noch Fettschmierung vor. In der Trockenpartie werden Seilscheibenlagerungen, Breitstreckwalzenlager und vereinzelt noch Leitwalzenlager mit Fett geschmiert, siehe Abschnitt 5.2.

Ausschlaggebend für eine lange Gebrauchsdauer ist auch eine hohe Sauberkeit in den Lagerungen während der gesamten Betriebszeit. Dies erfordert höchste Zuverlässigkeit der Abdichtungen, insbesondere gegen Feuchtigkeit und unterschiedliche Gestaltung je nach Walzenart, siehe Beispiele im Abschnitt 3.

3 Beispiele für die Gestaltung von Papiermaschinenlagerungen

3.1 Naßpartie



3.1.1 Formierwalze

Die Formierwalze ist in modernen, schnellaufenden Papiermaschinen die erste Walze, über die das - noch im Wasser gelöste - Papier geführt wird. Sie soll einen Großteil des Wassers ableiten und das verbleibende Papiervlies in "Form" bringen. Die Formierwalze besteht aus einem bis zu 10 m langen Zylinder aus korrosionsbeständigem Edelstahl. Durch kleine Bohrungen, die über die Oberfläche des Zylinders verteilt sind, wird das Wasser abgesaugt. Es sammelt sich zunächst in einem bienenwabenartigen Geflecht an der Walzenaußenseite und wird nach etwa einer halben Umdrehung in Wannen abgeschleudert. Das zwischen zwei Kunststoffsieben weiter entwässerte Papierfasergelege wird über die Siebsaugwalze zur Pressenpartie gefördert.

Technische Daten

Walzenlänge 7 120 mm; Walzendurchmesser 1 150 mm; Drehzahl 276 min^{-1} (Geschwindigkeit 1 000 m/min); Walzengewichtskraft 200 kN; Siebzug 5 kN/m.

Lagerwahl, Dimensionierung

Die Größe der Hauptlager auf der Führerseite liegt konstruktiv durch den Saugkastendurchmesser fest. Ratsam sind Lager mit möglichst niedriger dynamischer Tragzahl, um die Schlupfgefahr zu verringern (vgl. Beispiel 3.1.2). Wegen möglicher Fluchtfehler sind winkeleinstellbare Lager erforderlich.

Hauptkriterien bei der Lagerdimensionierung sind das Walzengewicht, der Siebzug und die Drehzahl.

Eingebaut sind FAG Pendelrollenlager: 22326ED.C3 als Stützlager des Saugkastens, als Hauptlager (Führerseite) 23996K.MB und als Hauptlager (Triebseite) 23068K.MB. Die direkt auf die kegeligen Wellensitze montierten Hauptlager werden mit Hilfe des Hydraulikverfahrens ein- und ausgebaut.

Das Festlager (Triebseite) dient zur axialen Führung der Walze, während das Loslager durch Verschieben des Außenrings in der Gehäusebohrung mögliche Längenänderungen ausgleicht.

Bearbeitungstoleranzen

Hauptlager: Umfangslast erfordert Festsitz für die Innenringe; Rundheitstoleranz IT5/2 (DIN ISO 1101); Kegelwinkeltoleranz AT7 (DIN 7178). Gehäusebohrungen nach G7, da Punktlast am Außenring.

Saugkastenlager: Gehäusebohrung nach N7 (Umfangslast für Außenring), Welle nach f6 (Punktlast für Innenring).

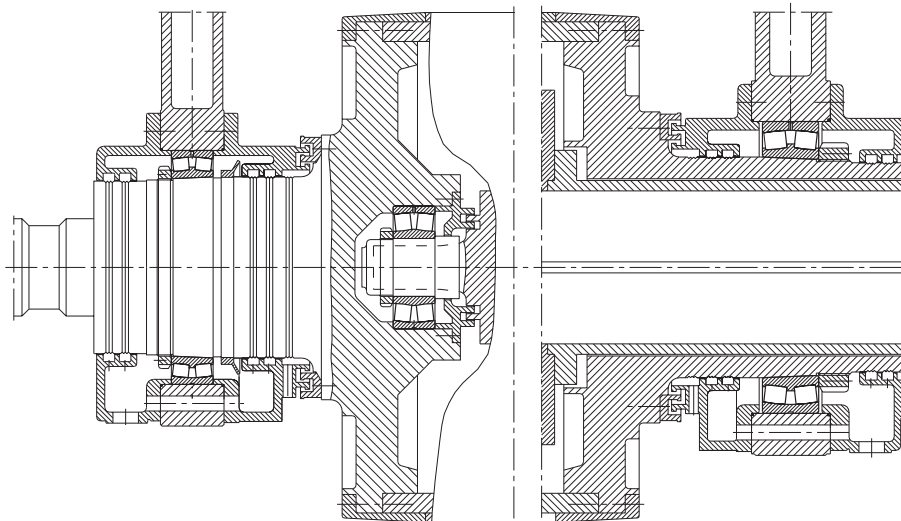
Schmierung

Umlaufschmierung mit einem Mineralöl mit ausreichender Viskosität und EP-Zusätzen sowie Additiven für guten Korrosionsschutz und Wasserabscheidevermögen. Mindest-Ölmengen nach Abschnitt 5.2.2.

Abdichtung

Hauptlager: Gegen Wassereintritt von außen schützt insbesondere walzenseitig ein mehrgängiges Labyrinth.

Saugkastenlager: Labyrinth als Schutz gegen Wassereintritt (Saugkastenseite).



Beispiele für die Gestaltung von Papiermaschinenlagerungen

Naßpartie

3.1.2 Siebsaugwalze

Siebsaugwalzen sind in der Sieb- oder Pressenpartie einer Papiermaschine angeordnet. Es sind bis zu 10 m lange Hohlzylinder, die über den ganzen Umfang viele kleine Bohrungen haben. Durch den drehenden Walzenmantel und das Vakuum im Walzeninneren wird der darüberlaufenden Stoffbahn ein Teil des Wassers entzogen. Der Saugkasten als innenliegende Achse steht still. Bei modernen Maschinen wird der Walzenmantel über Planetenräder angetrieben.

Technische Daten

Walzenlänge 7 800 mm; Walzendurchmesser 1 600 mm; Drehzahl 278 min^{-1} (Geschwindigkeit 1400 m/min); Walzengewichtskraft 270 kN ; Siebzug 5 kN/m .

Lagerwahl, Dimensionierung

Die Lagergröße liegt konstruktiv durch den Saugkastendurchmesser fest. Ratsam sind Lager mit möglichst niedriger dynamischer Tragzahl; die höhere spezifische Lagerbelastung verringert die

Schlupfgefahr (bei zu geringer Belastung und Mangelschmierung kann es zum Gleiten der Wälzkörper auf den Laufbahnen kommen).

Wegen möglicher Fluchtfehler sind winkeleinstellbare Lager erforderlich.

Hauptkriterien bei der Lagerdimensionierung sind das Walzengewicht, der Siebzug und die Drehzahl.

Eingesetzt werden Pendelrollenlager FAG 239/850K.MB.C3 mit kegeliger Bohrung (K 1:12) und vergrößerter Radialluft. Die Lager sind aus Gründen der Laufgenauigkeit direkt auf die kegeligen Wellensitze montiert. Zur leichteren Montage wird das Hydraulikverfahren angewendet.

Das Festlager dient zur axialen Führung der Walze, während das Loslager durch Verschieben des Außenrings in der Gehäusebohrung mögliche Längenänderungen ausgleicht.

Für beide Lager ergibt sich eine nominelle Lebensdauer $L_h > 100\,000 \text{ h}$. Bei einer Betriebstemperatur von 60°C und einem Öl ISO VG 68 (Viskositätsverhältnis $\kappa > 2$; Faktor $a_{23} = 2,2$) ermittelt man mit der erweiterten Lebensdauerberechnung mehr als $200\,000 \text{ h}$.

Bearbeitungstoleranzen

Der Innenring hat Umfangslast und ist fest auf den kegeligen Lagersitz der Welle montiert.

Rundheitstoleranz IT5/2 (DIN ISO 1101); Kegelwinkeltoleranz AT7 (DIN 7178).

Gehäusebohrungen nach G7, da Punktlast am Außenring.

Schmierung

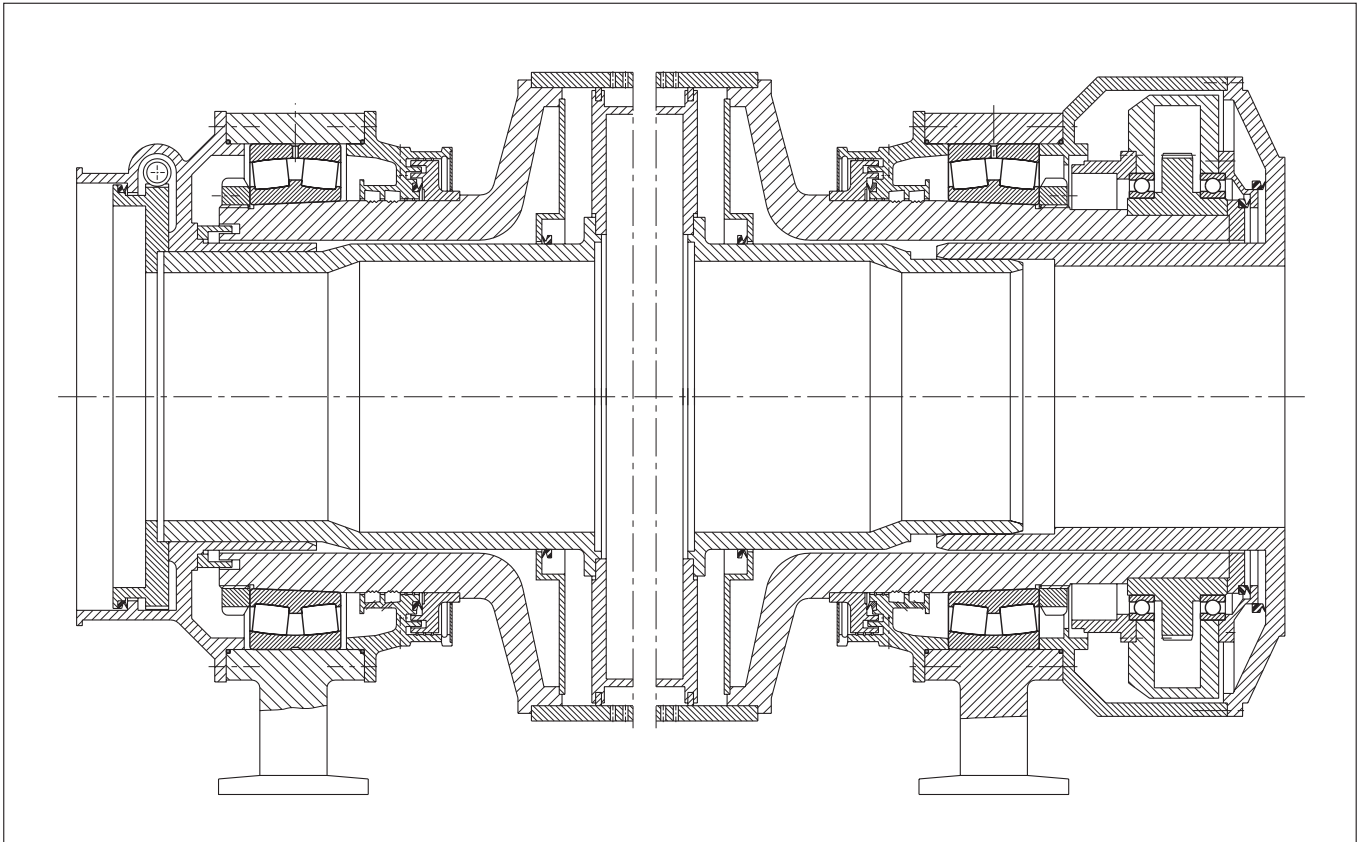
Die Pendelrollenlager werden durch Umlaufschmierung mit einer Mindest-Ölmenge von 8 l/min versorgt. Verwendet wird ein Mineralöl mit ausreichender Viskosität und EP-Zusätzen. Erforderlich sind auch Additive für guten Korrosionsschutz und Wasserabscheidevermögen. Durch Ölzufuhr in der Lagermitte erreicht man eine wirkungsvolle Schmierung.

Abdichtung

Über Abspritzrillen wird eventuell austretendes Öl in Ölfangkammern abgeschleudert und zurückgeführt. Gegen Wassereintritt von außen schützen walzenseitig ein Spritzblech und ein mehrgängiges, fettgefülltes Labyrinth mit integriertem V-Ring.

Werkfoto Valmet





Beispiele für die Gestaltung von Papiermaschinenlagerungen

Naßpartie

3.1.3 Zentral-Preßwalze

Die Papierbahn läuft auf einem Filztuch durch die Preßwalzen; dabei wird ein großer Teil des Wassers aus der feuchten Papierbahn gepreßt. Gegen die Zentral-Preßwalze moderner Pressenpartien werden eine oder mehrere (Saug-) Preßwalzen gedrückt. Die Zentral-Preßwalze ist massiv, aus Granit/Stahl oder Stahl mit einem Überzug (Beschichtung).

Technische Daten

Walzenlänge 8 800 mm; Walzendurchmesser 1 500 mm; Geschwindigkeit 1 450 m/min; Walzengewichtskraft 750 kN. Andruck von 3 Walzen in Position 30°, 180° und 210°; Lagertemperatur ca. 60 °C. Direkter Antrieb.

Lagerwahl, Dimensionierung

Wegen der hohen Radialbelastung und möglicher Fluchtungsfehler zwischen den Lagerstellen werden winkeleinstellbare Pendelrollenlager der Reihe 231 oder 232 mit sehr hoher Tragfähigkeit eingesetzt.

Wichtig ist auch die geringe Bauhöhe dieser Lager, da die Gehäusehöhe durch den Walzendurchmesser begrenzt wird.

Die Gewichtskraft der Walze und die Kraftkomponenten der Anpreßwalzen ergeben eine resultierende Lagerbelastung $F_r = 300 \text{ kN}$.

An jeder Lagerstelle ist ein Pendelrollenlager FAG 231/600K.MB.C3 eingebaut. Die Lager mit kegeliger Bohrung (Kegel 1:12) werden mit Hilfe des Hydraulikverfahrens direkt auf den kegeligen Wellensitz gepreßt.

Das Loslager auf der Bedienungsseite ermöglicht durch Verschieben des Außenrings im Gehäuse Längenänderungen der Walze bei Temperatureinfluß. Das Festlager befindet sich auf der Antriebsseite.

Bei einer Drehzahl von 308 min^{-1} errechnet sich eine nominelle Lebensdauer von $L_h > 100\,000 \text{ h}$. Nach der erweiterten Lebensdauerberechnung ergibt sich bei guter Schmierung (Viskositätsverhältnis $\kappa \approx 3$, Basiswert $a_{231I} = 3$) und erhöhter Sauberkeit (Verunreinigungskenngröße $V = 0,5$) im Schmierspalt ein $L_{hna} \gg 100\,000 \text{ h}$.

Bearbeitungstoleranzen

Der Innenring hat Umfangslast und ist fest auf den kegeligen Lagersitz der Welle montiert. Rundheitstoleranz IT5/2 (DIN ISO 1101); Kegelwinkeltoleranz AT7 (DIN 7178).

Gehäusebohrungen nach G7, da Punktlast am Außenring.

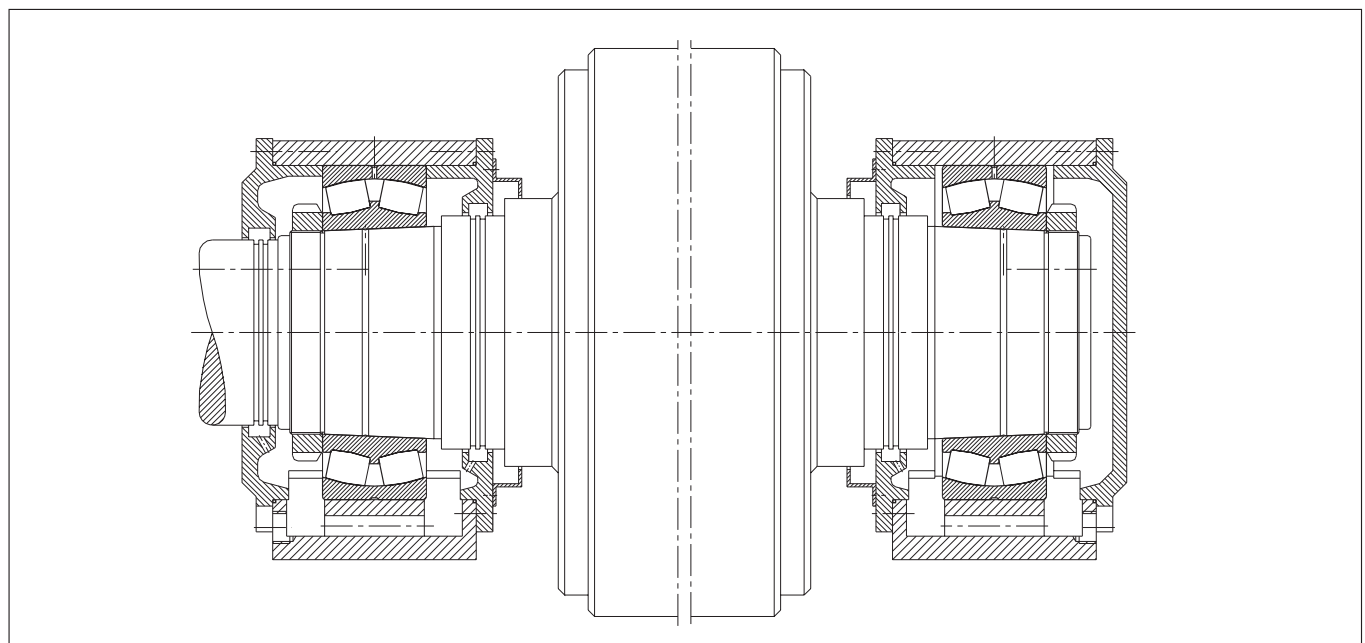
Schmierung

Umlaufschmierung (Mindest-Ölmenge 7 l/min) mit einem Mineralöl (ISO VG 100), das EP-Zusätze sowie Additive für guten Korrosionsschutz und Wasserabscheidevermögen enthält.

Ölzufuhr in der Lagermitte für eine wirkungsvolle Schmierung. Ölrücklauf beiderseits des Lagers über Ölsammelaschen und Verbindungsbohrungen.

Abdichtung

Ölabspritzrillen im Walzenzapfen verhindern Ölaustritt an den Deckeldurchgangsbohrungen. Berührungs- und wartungsfreie Spaltdichtungen schützen die Lager vor Umgebungseinflüssen.



3.1.4 Durchbiegungs-Ausgleichswalze

Durchbiegungs-Ausgleichswalzen sorgen in Pressenpartien und in Kalandern für eine gleichmäßige Papierdicke über die Bahnbreite und für eine gleichmäßig hohe Papiergüte. Der Antrieb erfolgt auf der Festlagerseite über Getriebe und Bogenzahnkupplung auf den Walzenmantel.

Unter hohem Druck wird die Ausgleichswalze an die Gegenwalze (Kalanderswalze) gepreßt. Durchbiegung der Gegenwalze und Formänderung des Walzenmantels sind die Folgen. Dieser Form muß sich der Walzenmantel der Ausgleichswalze anpassen.

Die Durchbiegungs-Ausgleichswalze besteht aus einer stehenden Achse und dem umlaufendem Walzenmantel. Auf der Achse sind getrennt druckregelbare Stellglieder angeordnet, die den Walzenmantel hydrostatisch stützen und die Einstellung der Mantelform bewirken. Unterschiedlicher Druck formt den Walzenmantel entsprechend der gebogenen Gegenwalze und führt so zu einer gleichmäßigen Papierdicke.

Technische Daten

Walzenlänge 9 300 mm; Walzendurchmesser 1 025 mm; Walzengewicht 61 t; Mantelgewichtskraft 210 kN; Anpreßdruck 700 kN; Umfangsgeschwindigkeit 1500 m/min ($n = 470 \text{ min}^{-1}$); Lagertemperatur 55 °C.

Lagerwahl, Dimensionierung

Gewählt werden Pendelrollenlager FAG 23096MB.H140 (dynamische Tragzahl $C = 3\,800 \text{ kN}$). Geforderte Gebrauchsdauer: > 100 000 h. Das Lager hat im Betrieb (bei geschlossenem Spalt und Anpreßdruck) nur Führungsaufgaben.

Wegen möglicher Schlupfgefahr sind evtl. Lager der Baureihe 239 mit geringerer Tragzahl zu wählen.

Die Lager haben eine erhöhte Rundlaufgenauigkeit (Spezifikation T52BW als Bestandteil von H140), da Laufungenauigkeiten des umlaufenden Walzenmantels die Qualität der Papierbahn beeinflussen.

Bearbeitungstoleranzen

Lagersitze auf der Achse nach f6 wegen Punktlast für die Innenringe.

Feste Passung (Gehäusebohrung nach P6) wegen Umfangslast für die Außenringe. Wegen der Demontage mit dem Hydraulikverfahren sind die Schmierbohrungen im Außenring verschlossen.

Schmierung

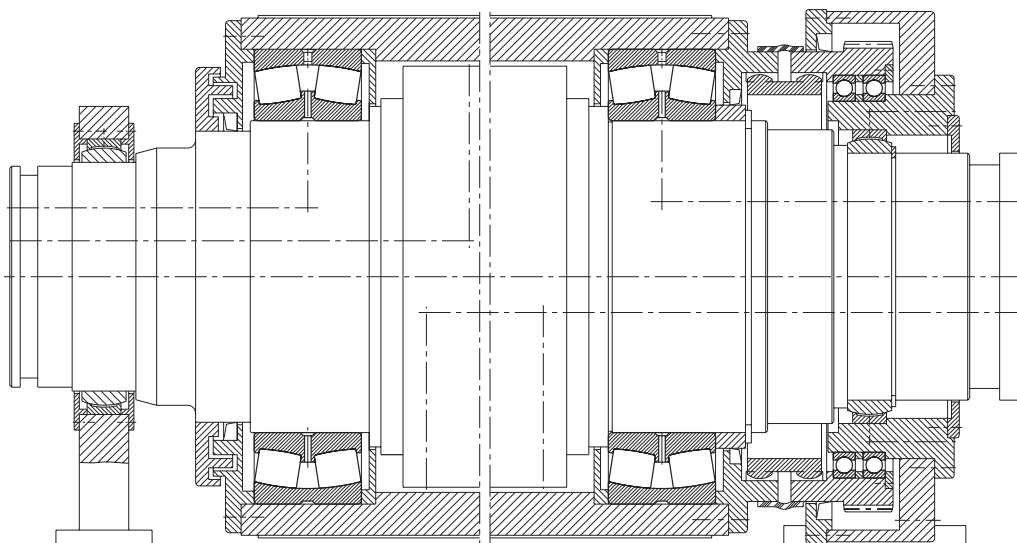
Wenn dynamische Winkelfehler und/oder Schlupf auftreten können, muß eine sehr gute Schmierung immer einen tragfähigen Schmierfilm sicherstellen. Die Lager werden mit dem für das Hydrauliksystem eingesetzten Schmieröl (ISO VG 150 mit EP-Zusätzen) geschmiert.

Bei neueren Konstruktionen und insbesondere bei beheizten Walzen wird das Schmieröl über Schmierbohrungen im Innenring direkt an die Kontaktstellen in den Lagern gebracht.

Separater Ölkreislauf für die Rillenkugellager des Getriebes.

Abdichtung

Nach außen sind die Lager mit einem Wellendichtring abgedichtet. Zur Innenseite sorgt eine Stauscheibe für ein Ölreservoir im Lagerbereich.



Beispiele für die Gestaltung von Papiermaschinenlagerungen

Trockenpartie

3.2 Trockenpartie

3.2.1 Leitwalze

Leitwalzen dienen zur Führung und Umlenkung der Sieb- oder Filztücher im Naß- und Trockenteil einer Papiermaschine. Für beide Bereiche werden zur Lagerung der Leitwalzen gleiche Lager verwendet. Je nach Einsatzort unterscheiden sich jedoch Schmierung und Abdichtung der Walzenlagerung.

Ältere Maschinen sind in der Naßpartie meist mit Fett, in der Trockenpartie mit Öl geschmiert.

Bei neuen Maschinen haben die Lager im Naß- und Trockenbereich Ölumlaufschmierung. Getrennte Ölkreisläufe für Naß- und Trockenpartie sind wegen der unterschiedlichen Betriebsbedingungen jedoch notwendig.

Bei immer größeren Maschinen ergeben sich auch zunehmend höhere Maschinengeschwindigkeiten. Deshalb werden hier die Lagerinnenringe mit konischer Bohrung direkt auf die kegeligen Walzenzapfen montiert.

Naßteil

Die Lager sind je nach Maschinenposition zum Teil hoher Feuchtigkeit ausgesetzt. Insbesondere beim Maschinenreinigen mit Hochdruckstrahlern darf kein Wasser in die Gehäuse gelangen.

Trockenteil

Umgebungstemperaturen von ca. 95 °C bewirken größere Längenänderungen und stellen höhere Ansprüche an die Schmierung. Die Betriebstemperatur der Lager kann bis zu 115 °C betragen.

Technische Daten

Arbeitsbreite 8 800 mm; Walzendurchmesser 700 mm; Papiergeschwindigkeit 1 650 m/min ($n = 750 \text{ min}^{-1}$); Walzengewicht 8 000 kg (Gewichtskraft $F_G \approx 80 \text{ kN}$); Papierzug 1 kN/m (Zugkraft $F_z \approx 9 \text{ kN}$); Umschlingung 180°; Lagertemperatur ca. 105 °C.

Lagerwahl, Dimensionierung

Die Lager müssen die Belastungen bei gleichzeitigem Ausgleich von Winkel Fehlern (Fluchtungsfehler, Durchbiegung) aufnehmen können. Wegen der Temperaturdifferenz ist vergrößerte Radialluft nach C3 erforderlich.

Eingebaut sind Pendelrollenlager FAG 22330EDK.C3.

Werkfoto Beloit



Lagerbelastung:

$$P = (F_G + F_z)/2 = (80 + 9)/2 = 44,5 \text{ kN}$$

Durch die geforderte Walzensteifigkeit ist der Durchmesser des Walzenzapfens vorgegeben. Daraus ergibt sich eine hohe dynamische Kennzahl f_L entsprechend einer nominellen Lebensdauer L_h von weit über 200 000 Stunden; die erreichbare Lebensdauer liegt bei den vorhandenen guten Schmierbedingungen noch höher.

Die Gehäuse können stehend oder hängend angeordnet oder seitlich angeschraubt sein. Sie sind für Ölumlaufschmierung eingerichtet.

Bearbeitungstoleranzen

Die Innenringe haben Umfangslast und sind mit direktem Sitz fest auf den

kegeligen Walzenzapfen gepaßt. Die Walzenzapfen haben Ölkänaile, so daß die Lager mit dem Hydraulikverfahren ein- und ausgebaut werden können.

Rundheitstoleranz IT5/2 (DIN ISO 1101); Kegelwinkeltoleranz AT7 (DIN 7178).

Lagersitze in der Gehäusebohrung nach G7.

Schmierung

In der Trockenpartie: siehe Beispiel 3.2.2 (Trockenzylinder), da die Lager am Ölkreislauf der Trockenzylinder angeschlossen sind. Mindestdurchflußmenge 0,9 l/min.

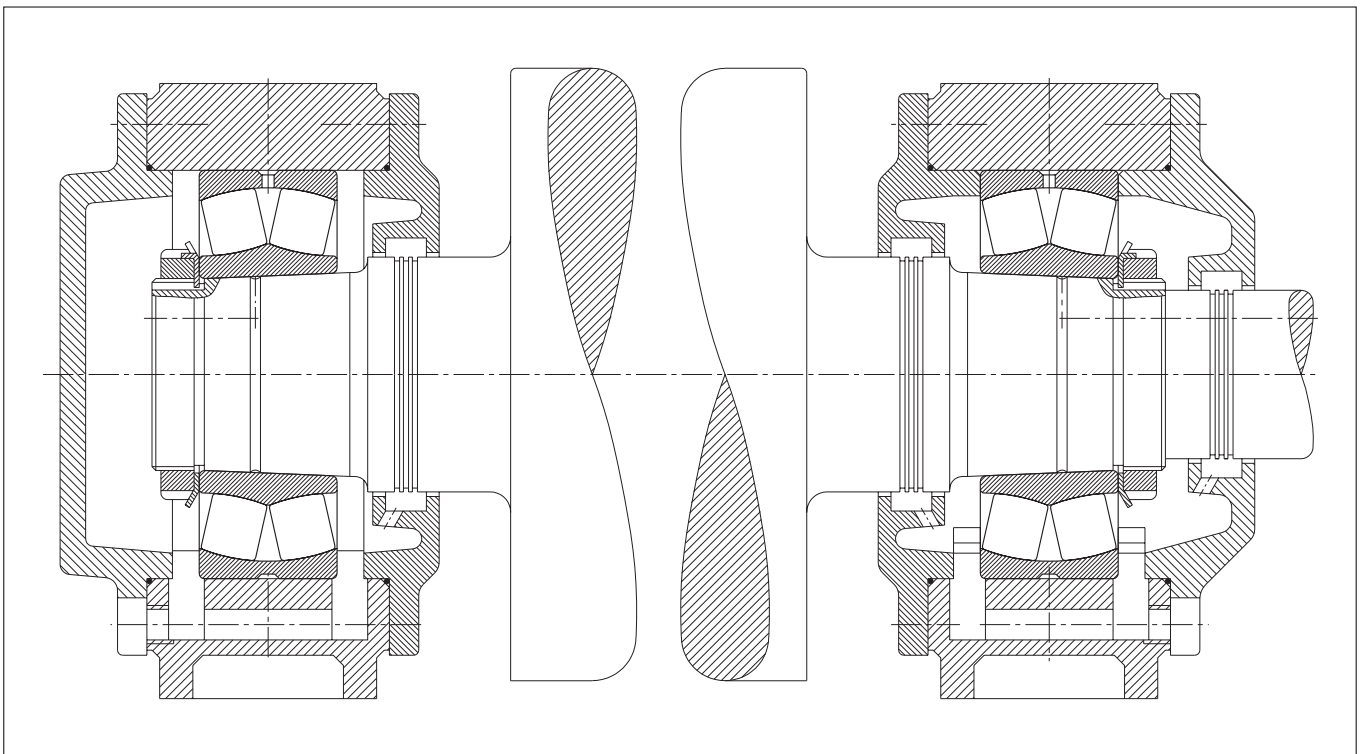
In der Naßpartie: siehe Beispiele 3.1.2 (Siebsaugwalze) und 3.1.3 (Zentral-Preßwalze), da die Lager am Ölkreislauf der Naßpartiewalzen ange-

schlossen sind. Mindestdurchflußmenge 0,5 l/min.

Abdichtung

In der Trockenpartie verhindern berührungs- und wartungsfreie Spaltdichtungen den Ölaustritt an den Deckeldurchgangsbohrungen.

In der Naßpartie sind die Lager durch nachschmierbare Labyrinthdichtungen gegen Wasserzutritt zu schützen. Restöl wird über Abspritzrillen in Ölfangkammern abgeschleudert und zurückgeführt. Deckeldichtungen machen die Gehäuse öldicht.



Beispiele für die Gestaltung von Papiermaschinenlagerungen

Trockenpartie

3.2.2 Trockenzylinder

In der Trockenpartie wird das restliche Wasser verdampft. Das Papier läuft über zahlreiche beheizte Trockenzylinder, geführt von endlosen Trockensieben (früher Trockenfilze). Die Trockenzylinder sind dampfbeheizt (Dampftemperatur hängt ab von Papierart, -dicke, -geschwindigkeit und Anzahl der Trockenzylinder). Die hohen Temperaturen des Heißdampfes übertragen sich auf die Lagersitzstellen und beanspruchen die Wälzlager entsprechend hoch. Um möglichst niedrige Lagertemperaturen zu erreichen, werden heute die dampfdurchströmten Zylinderzapfen isoliert.

Technische Daten

Arbeitsbreite 5 700 mm; Zylinderdurchmesser 1 800 mm; Papiergeschwindigkeit 1 400 m/min (Drehzahl 248 min⁻¹); Beheizungstemperatur 165 °C (7 bar); Zylindergewicht 9 000 kg;

Filzzug 4,5 kN/m; Umschlingungswinkel 180°; Umgebungstemperatur unter der Trockenpartiehaube ca. 95 °C; isolierte Zapfenbohrungen.

Lagerwahl

Die Lagerbelastung errechnet sich aus Walzengewicht, Filzzug und zeitweiliger Wasserfüllung. Das Loslager wird mit 75 kN belastet, das Festlager unter Berücksichtigung der Antriebskräfte mit 83 kN. Durch die Beheizung der Trockenzylinder kommt es zu Wärmedehnungen, die bei der großen Zylinderlänge zu beträchtlichen Längenänderungen führt; ferner erfordern auftretende Fluchtfehler zwischen beiden Lagerstellen winkeleinstellbare Wälzlager.

Auf der Bediengungsseite ist als Loslager ein zweireihiges Zylinderrollenlager der Maßreihe 31 vorgesehen. Es gleicht auftretende Längenänderungen zwanglos zwischen den Rollen und der Innenringlaufbahn im Lager aus. Ein Gelenklagerumring nimmt mit seiner sphärischen Gleitfläche eventuelle Fluchtungenauigkeiten der Zylinderzapfen auf. Eingebaut ist ein zweireihiges winkeleinstellbares Zylinderrollenlager FAG 566487K.C5 mit den Abmessungen 200x340x112 mm.

Als Festlager auf der Antriebsseite dient ein Pendelrollenlager FAG 23140BK.MB.C4.

Um auch in der Aufheizphase bei einer maximalen Temperaturdifferenz von 50 K ein Verspannen der Lager zu vermeiden, haben beide Lager ein etwa gleich großes Betriebsspiel. Das Pendelrollenlager hat eine vergrößerte Radialluft nach C4 (260...340 µm), das Zylinderrollenlager eine vergrößerte Radialluft nach C5 (275...330 µm).

Beide Lager haben eine kegelige Bohrung (K 1:12) und sind mittels Hydraulikverfahren direkt auf die kegeligen Zylinderzapfen montiert.

Da das Zylinderrollenlager und das Pendelrollenlager abmessungsgleich sind, werden sowohl auf der Antriebsseite als auch auf der Bediengungsseite ungeteilte PMD-Stehlagergehäuse verwendet (FAG PMD3140AF bzw. BF).

Wegen der erhöhten Betriebstemperatur sind beide Lager speziell wärmebehandelt (isotemp) und dadurch bis 200 °C maßstabil.

Dimensionierung der Lager

Bei Lagern für Trockenzylinder wird eine erreichbare Lebensdauer $L_{\text{hna}} \geq 250\,000$ Stunden gefordert.

Einen ganz entscheidenden Einfluß bei der erweiterten Lebensdauerberechnung hat die Schmierung.

Für ein Mineralöl mit einer Nennviskosität von 220 mm²/s (ISO VG 220) beträgt bei einer durchschnittlichen Betriebstemperatur von 100 °C die Betriebsviskosität $\nu \approx 16$ mm²/s.

Die Bezugviskosität ergibt sich aus der Drehzahl und dem mittleren Lagerdurchmesser

$$d_m = (200 + 340)/2 = 270 \text{ mm zu } \nu_1 = 25 \text{ mm}^2/\text{s}.$$

Daraus folgt das Viskositätsverhältnis $\kappa = \nu/\nu_1 = 16/25 = 0,64$.

Mit der Bestimmungsgröße $K = 1$ ergibt sich für das Pendelrollenlager ein Basiswert $a_{23II} = 1,1$.

Für das Zylinderrollenlager gelten die Werte $K = 0$ und $a_{23II} = 1,4$.

Bei normaler Sauberkeit (Saubereitsfaktor $s = 1$) beträgt der Faktor $a_{23} = a_{23II} \cdot s$ 1,1 für das Pendelrollenlager, 1,4 für das Zylinderrollenlager.

Damit wird die erreichbare Lebensdauer $L_{\text{hna}} = a_1 \cdot a_{23} \cdot L_h$ für beide Lager weit über 250 000 h.

Bearbeitungstoleranzen

Die Innenringe haben Umfangslast und sind mit direktem Sitz auf den kegeligen Walzenzapfen fest gepaßt. Die Walzenzapfen haben Ölkanäle, so daß die Lager mit dem Hydraulikverfahren ein- und ausgebaut werden können. Rundheitstoleranz IT5/2 (DIN ISO 1101), Kegelwinkeltoleranz AT7 (DIN 7178). Lagersitze in der Gehäusebohrung nach G7.

Schmierung

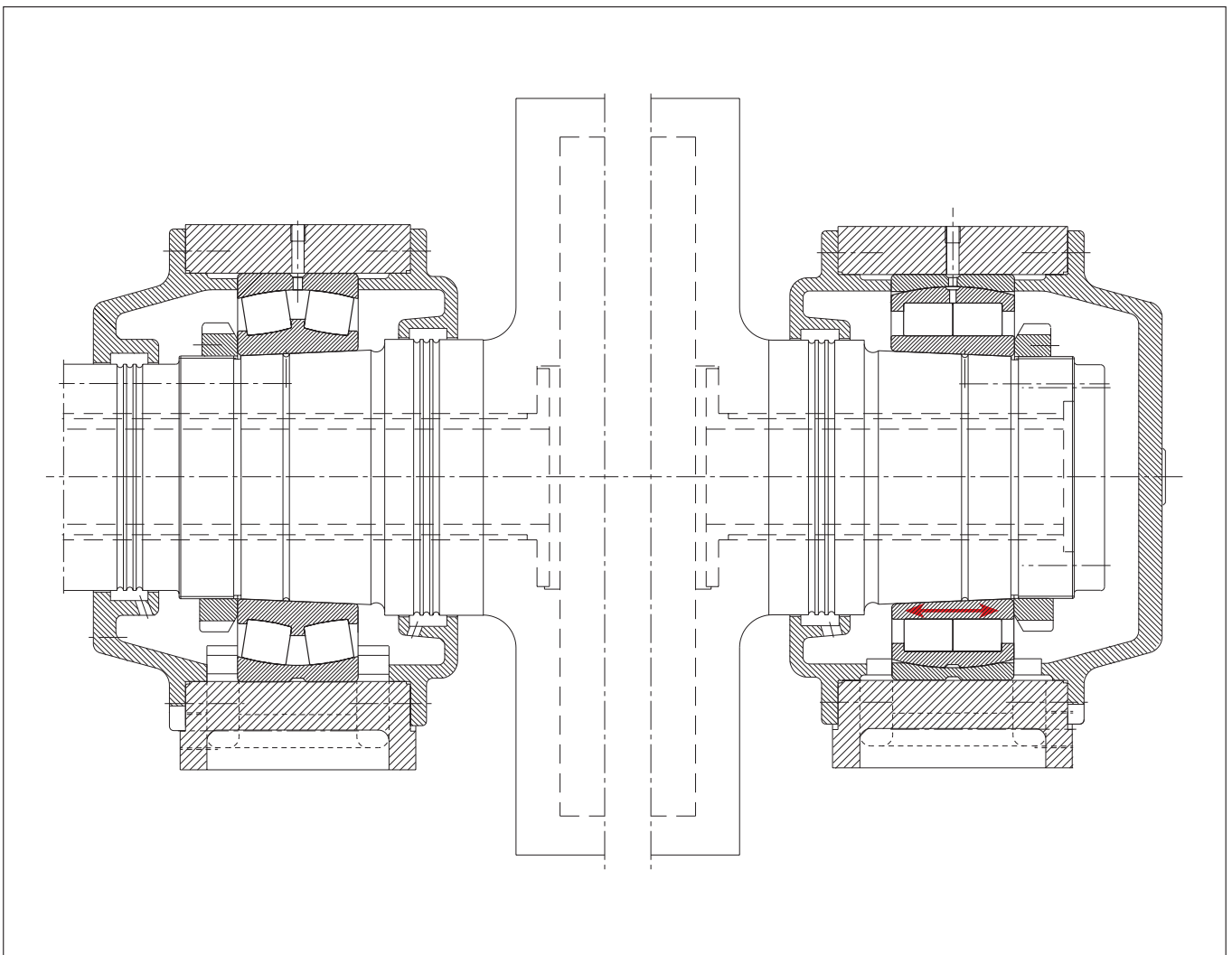
Die Lagergehäuse sind an ein zentrales Ölumlauf-Schmiersystem angeschlossen, so daß ständig Wärme aus dem Lager abgeführt wird. Verwendet werden hochwertige Mineralöle ISO VG 220 oder 320, die eine hohe Betriebsviskosität, thermische Stabilität, guten Verschleißschutz, gutes Wasserabscheidevermögen und hohen Reinheitsgrad aufweisen müs-

sen. Eine Mindestölmenge von 1,6 l/min wird über eine Schmiernut und Schmierbohrungen im Außenring direkt in die Lagermitte geleitet.

Durch die mittige Ölzuführung ist die Abführung des Öles auf beiden Seiten des Lagers möglich. Die Gefahr von Ölstau und Leckage wird deutlich vermindert. Eventuell eingedrungene Verunreinigungen und Verschleißpartikel werden auf diese Weise sofort aus dem Lager gespült.

Abdichtung

Berührungs- und wartungsfreie Spaltdichtungen übernehmen die Abdichtung an den Zapfendurchgängen. Über Spritzrillen und Ölfangkammern wird das Öl abgeschleudert und fließt durch Rücklaufbohrungen in die beiden Ölräume am Gehäuseboden zurück. Deckeldichtungen machen die Papiermaschinengehäuse öldicht.



Beispiele für die Gestaltung von Papiermaschinenlagerungen

Kalender- und Schlußgruppe

3.3 Kalender- und Schlußgruppe

Werkfoto Valmet



stung $P < 0,02 \cdot \text{dynamische Tragzahl } C$). Bei dieser zu niedrigen Belastung kann Schlupf auftreten, der bei unzureichender Schmierung zu Lagerschäden führen kann. Um dies zu vermeiden, sind kleinere Lager mit geringerer dynamischer Tragzahl C zu verwenden, so daß $P/C > 0,02$ wird. Durch die geringere Rollenmasse reduziert sich die Gefahr des Schmierfilmdurchbruches. In kritischen Fällen empfehlen wir Lager mit beschichteten Rollen.

Die Forderungen nach Tragfähigkeit und Winklereinstellbarkeit werden durch Pendelrollenlager erfüllt.

Die Durchmesser von Walzenzapfen und Walzenmantel begrenzen die Bauhöhe der Lager. Eingebaut sind die relativ breiten Pendelrollenlager FAG 231/560AK.MB.C4.T52BW.

Die nominelle Lebensdauer beträgt bei den gegebenen Last- und Zeitanteilen $L_h = 83\,000$ h.

Mit einem Schmieröl ISO VG 220 erreicht man bei der Betriebstemperatur $130\,^\circ\text{C}$ das Viskositätsverhältnis $\kappa = 0,71$. Die erweiterte Lebensdauerberechnung ergibt (mit $f_{s*} > 12$; $a_{23II} = 1,2$; $V = 0,5$; $s = 1,6$) eine erreichbare Lebensdauer $L_{hna} > 100\,000$ h.

Die große Temperaturdifferenz während des Aufheizens erfordert wegen der Gefahr einer Radialverspannung im Lager die vergrößerte Radialluft C4. Bei dem Drehzahlkennwert $n \cdot d_m = 224\,000\,\text{min}^{-1} \cdot \text{mm}$ sind Lager mit erhöhter Laufgenauigkeit nach Spezifikation T52BW zu empfehlen.

Bearbeitungstoleranzen

Die Innenringe haben Umfangslast und sind fest mit direktem Sitz auf den kegeligen Walzenzapfen gepaßt. Die Walzenzapfen haben Ölkäle, so daß die Lager mit dem Hydraulikverfahren ein- und ausgebaut werden können.

3.3.1 Kalender-Thermowalze

In der Papiermaschine durchläuft das Papier nach Verlassen der Trockenpartie das sogenannte Glättwerk. Soft-Kalender glätten die Oberfläche und verbessern damit die Druckeigenschaften des Papiers. Der Kalender besteht aus zwei hintereinander angeordneten Walzenpaaren. Die Kalenderwalze (Stahl) liegt einmal unter und einmal über einer Gegenwalze, der sogenannten Durchbiegungs-Ausgleichswalze (elastisches Material). Soft-Kalenderwalzen können mit Wasser, Dampf oder mit Öl beheizt sein. Die Spalt- bzw. "Nip"-Belastung (Anpreßdruck) richtet sich nach der jeweiligen Papiersorte.

Technische Daten

Arbeitsbreite ca. 7 m; Drehzahl $350\,\text{min}^{-1}$ (Geschwindigkeit $1\,100\,\text{m/min}$); Heizmedium Öl mit $200\ldots 250\,^\circ\text{C}$; Walzenzapfen isoliert; Betriebstemperatur am Lagerinnenring $130\,^\circ\text{C}$.

Lagerwahl, Dimensionierung

Die radiale Lagerbelastung hängt ab vom Einsatz der Kalenderwalze als Unter- oder Oberwalze, von der Gewichtskraft F_G und der variablen Andrucklast mit Zeitanteilen.

$$\begin{aligned} P_1 &= F_G + F_{\text{Nip min}} = 600\,\text{kN} \\ P_2 &= F_G + F_{\text{Nip mittel}} = 990\,\text{kN} \\ P_3 &= F_G + F_{\text{Nip max}} = 1260\,\text{kN} \\ P_4 &= F_G - F_{\text{Nip min}} = 60\,\text{kN} \\ P_5 &= F_G - F_{\text{Nip mittel}} = 390\,\text{kN} \\ P_6 &= F_G - F_{\text{Nip max}} = 720\,\text{kN} \\ \text{Zeitanteile: } P_1, P_4 &\text{ je } 10\,\%, P_2, P_3, P_5, P_6 \\ &\text{je } 20\,\%. \end{aligned}$$

Beim Einsatz als Unterwalze addieren sich Walzengewichtskraft und Nip-Last; beim Einsatz als Oberwalze wirkt nur die Differenz aus Nip-Last und Gewichtskraft.

Die Auslegung der Lager nach der maximalen Belastung hätte beim Einsatz in der Oberwalze Überdimensionierung zur Folge (dynamisch äquivalente Bela-

Rundheitstoleranz
IT5/2 (DIN ISO 1101),

Kegelwinkeltoleranz
AT7 (DIN 7178).

Lagersitze in der Gehäusebohrung nach F7.

Schmierung

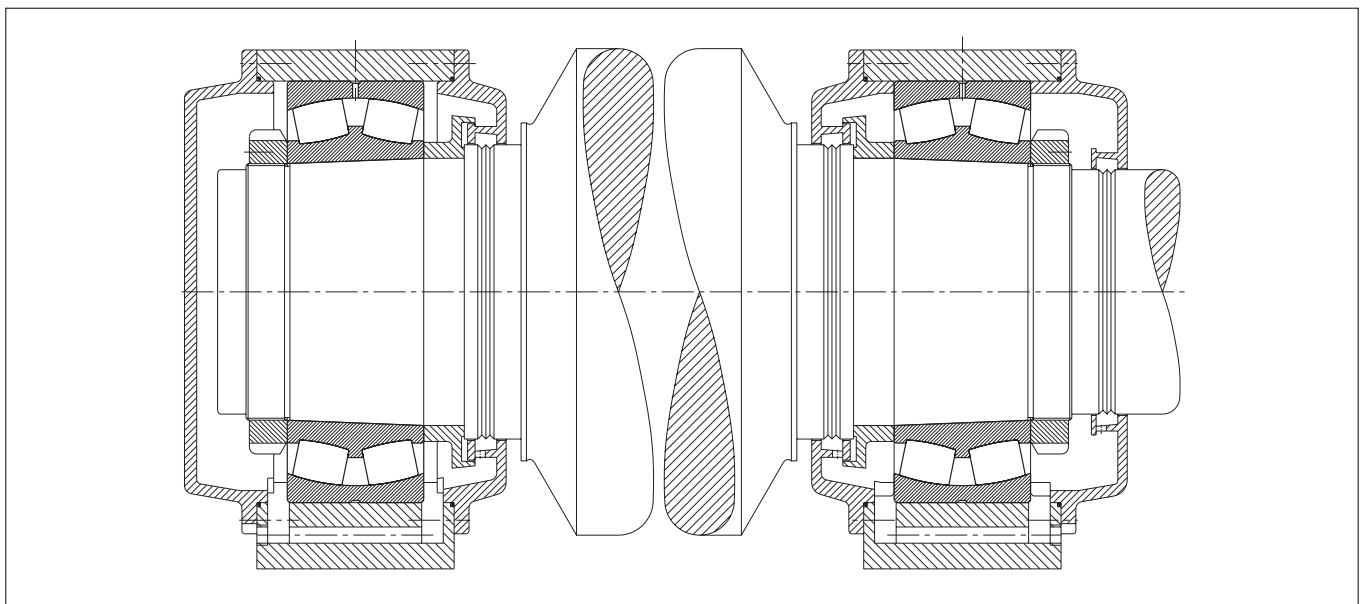
Ölumlaufschmierung mit einem qualitativ geeigneten Syntheseöl ISO VG 220, das sich im dynamischen Test (FAG-Prüfstand FE8) bewährt hat.

Durch Zuführung einer hohen Ölmenge in Lagermitte (Mindestdurchflußmenge 12 l/min) erreicht man Wärmeabfuhr und geringe thermische Belastung des Öles. Eventuelle Verunreinigungen und Verschleißpartikel werden aus dem Lager gespült. Der Ölrücklauf erfolgt zu beiden Seiten des Lagers über Ölsammeltaschen und Verbindungsbohrungen.

Abdichtung

Zur Walzenseite hin verhindern Winkelringe den direkten Ölaustritt an den Deckeldurchgangsbohrungen. Restöl wird über Abspritzrillen in Ölfangkammern abgeschleudert und zurückgeführt. Deckeldichtungen machen die Gehäuse öldicht.

Werkfoto Voith



Beispiele für die Gestaltung von Papiermaschinenlagerungen

Kalender- und Schlußgruppe

3.3.2 Breitstreckwalze

Papierbahnen, die in Längsrichtung transportiert werden, neigen zur Faltenbildung. Breitstreckwalzen dehnen oder strecken die über sie laufenden Bahnen in Querrichtung auf Bahnbreite und streichen Falten, lose Bahnmitten oder Bahnnenden aus. Breitstreckwalzen bestehen aus einer symmetrisch zu ihrer Längsachse gebogenen, feststehenden Achse, um die sich der Walzenmantel dreht. Den Walzenmantel bilden rohrförmige Teilstücke, die freidrehend und winkelbeweglich gelagert sind. Die Teilstücke stellen sich so zueinander ein, daß sich die Biegeform der Achse auf der Mantelfläche abbildet. Je nach Einsatzfall - Naßpartie, Trockenpartie oder Weiterverarbeitung - sind die Teilstücke aus nichtrostendem Stahl oder mit einer flexiblen Beschichtung (Gummi o. ä.) versehen.

Technische Daten

Walzenlänge 8 300 mm, bestehend aus 22 Teilstücken; Gewichtskraft/Teilstück plus Sieb- oder Papierbahnzug bei 30° Umschlingung 2 kN/m; daraus resultiert eine Radiallast von nur 0,5 kN pro Lager. Drehzahl des Walzenmantels 1 160 min⁻¹.

Betriebstemperatur in der Naßpartie 40 °C; in der Trockenpartie und in der

Weiterverarbeitung mit Infrarot-trocknung können bis zu 120 °C auftreten.

Lagerwahl, Dimensionierung

Bei drehendem Außenring wird sehr hohe Leichtgängigkeit der Lagerung gefordert, da die Teilstücke in der Naßpartie nur vom Siebzug, in der Trockenpartie oder Weiterverarbeitung nur von der Papierbahn angetrieben werden.

Außerdem ist hohe Betriebssicherheit nötig, weil der Ausfall nur eines Lagers den Ausbau der kompletten Breitstreckwalze erforderlich macht.

Eingesetzt werden Rillenkugellager FAG 61936.C3. Bei neuen Anwendungen mit hohen Drehzahlen ($n \cdot d_m$ -Werte $0,6 \cdot 10^6$ bis $1 \cdot 10^6$ min⁻¹ · mm) wählt man Rillenkugellager mit Keramikugeln (Hybridlager). Die vergrößerte Radialluft C3 ermöglicht die zwanglose Einstellung der Teilstücke. Durch die niedrige Belastung erreichen die Lager eine nominelle Lebensdauer L_h von weit über 100 000 Stunden.

Bearbeitungstoleranzen

Weil der Lageraußenring mit dem Walzenmantel rotiert, ist er mit Toleranz

M6 fest gepaßt und axial durch einen Sprengring gesichert.

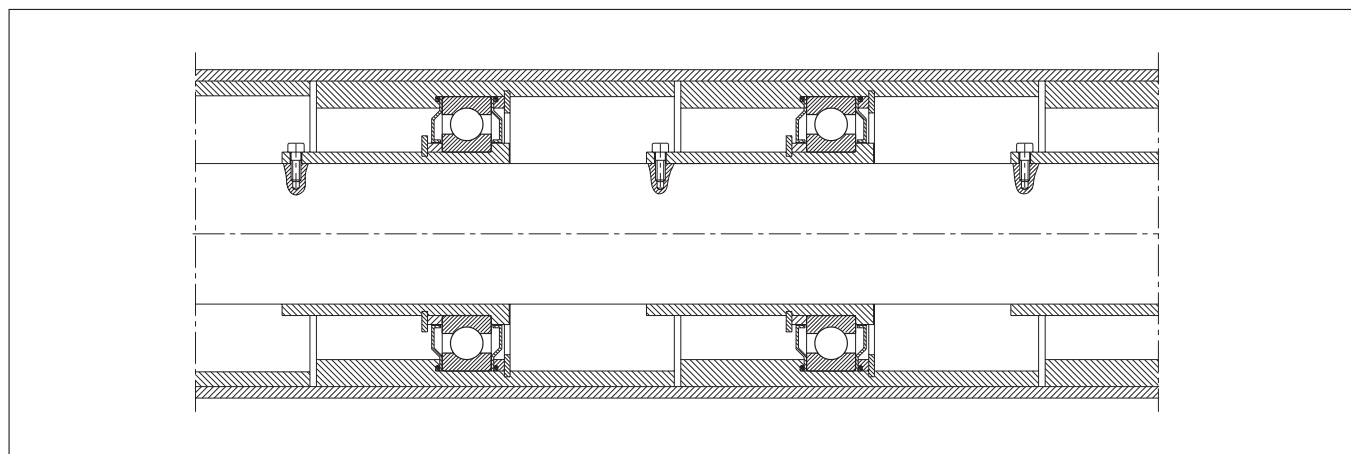
Der Innenring hat Punktlast und ist mit h6 auf der Wellenbüchse gepaßt. Wegen der gebogenen Walzenachse und aus Montagegründen ist die Büchse sehr lose gepaßt und axial mit einer Schraube fixiert.

Schmierung

Die Lager sind for-life geschmiert, d. h. es ist keine Nachschmierung vorgesehen. Die Forderung nach Leichtgängigkeit und nach Standzeiten bis zu fünf Jahren (8 000 Betriebsstunden pro Jahr) bestimmen die Schmierfettauswahl und Füllmenge. Bei den hohen Drehzahlen und niedrigen Belastungen sind reibungsarme Fette (z. B. FAG Wälzlagerfett Arcanol L75) von Vorteil.

Abdichtung

Zur Abdichtung werden wegen der geforderten Leichtgängigkeit nicht-berührende Deckscheiben verwendet. Sie sind beidseitig am Lageraußenring angeklebt, damit das aus dem Schmierfett zentrifugierte Grundöl nicht entweichen kann. Zusätzlich sorgen Rundschnurdichtungen für Öldichtheit.



4 FAG-Service für mehr Betriebssicherheit

FAG bietet ein ganzes Paket von Servicegeräten und Serviceleistungen an. FAG Meß- und Montagegeräte erleichtern die Handhabung der Lager. Mit Diagnosegeräten kann der Zustand der Lagerung überwacht werden. Bei schwierigen Einbau- und Überwachungsaufgaben hilft der FAG-Montage- und Diagnoseservice vor Ort.

Die FAG-Anwendungstechnik berät und schult in wälzlagertechnischen Fragen.

4.1 Aufbewahrung von Wälzlager

Wälzlager bleiben bis unmittelbar vor dem Einbau in ihrer Verpackung, damit sie nicht verschmutzen oder rosten.

Größere Lager, wie sie in Papiermaschinen üblich sind, bewahrt man liegend und auf dem ganzen Umfang unterstützt in einem separaten, trockenen Raum auf.

Korrosionsschutz und Verpackung der FAG Wälzlager sind so ausgelegt, daß die Eigenschaften der Lager lange erhalten bleiben. Der Korrosionsschutz ist auf Verträglichkeit mit den in der Papierindustrie üblichen Schmierstoffen abgestimmt und muß vor der Montage nicht ausgewaschen werden.

Während der Aufbewahrung dürfen keine aggressiven Medien einwirken wie z. B. Gase, Nebel oder Aerosole von Säuren, Laugen oder Salzen. Auch direktes Sonnenlicht ist zu vermeiden, da es zu großen Temperaturschwankungen in der Verpackung führen kann.

Die zulässige Aufbewahrungszeit bei Normalkonservierung beträgt bis zu 5 Jahren. Über Sonderkonservierung und die Verwendbarkeit älterer Lager informiert FAG auf Wunsch.

Detaillierte Hinweise zur Aufbewahrung von FAG Wälzlager und Fetten enthält der Katalog WL 41 520 "FAG Wälzlager".

4.2 Vorbereitungen zum Ein- und Ausbau

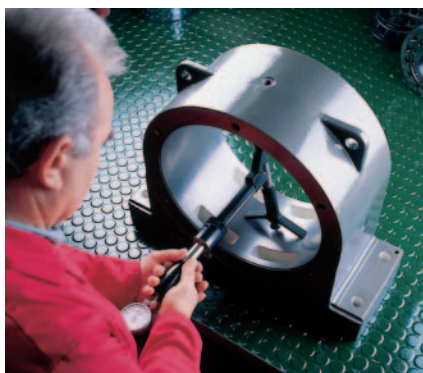
Die erforderlichen Vorbereitungen zum Ein- und Ausbau von Wälzlager sind ausführlich dargestellt in der FAG-Publikation WL 80 100 "Montage von Wälzlager".

Vor dem Auspacken der Lager kontrolliert man alle zur Lagerung gehörenden Teile auf ihre Maß- und Formgenauigkeit.

Zur Kontrolle der Wellensitze großer Lager benutzt man in der Regel Außenmikrometer.

Bei der Kontrolle von Gehäusebohrungen verwendet man Innenmikrometer oder Bohrungsmeßgeräte.

Kontrolle einer Gehäusebohrung mit einem Innenmikrometer



4.3 Einbau und Ausbau bei zylindrischen und kegeligen Paßflächen

Allgemeine Angaben zum Ein- und Ausbau von Wälzlager enthält die FAG-Publikation WL 80 100 "Montage von Wälzlager".

Zur Montage von Wälzlager in der Papierindustrie benutzt man meist thermische und hydraulische Verfahren. Dazu siehe auch FAG-Publ.-Nr. WL 80 200 "Verfahren und Geräte für die Montage und Wartung von Wälzlager".

4.3.1 Einbau und Ausbau bei zylindrischen Paßflächen

Einbau: Lager, die auf einer zylindrischen Welle einen Festsitz haben sollen, wärmt man an und schrumpft sie dann auf. Für die gebräuchlichen Passungen (vgl. Abschnitt 4.4) genügt ein Anwärmen auf 80 bis 100 °C. Die maximal zulässige Montagetemperatur von 120 °C darf nicht überschritten werden, um Maßänderungen und Härteminderung zu vermeiden.

Schnelles, sauberes und sicheres Anwärmen ermöglichen besonders **induktive Anwärmergeräte**. Das FAG Anwärmergerät AWG3,5 (vgl. auch TI Nr. WL 80-47) eignet sich für Wälzlager ab 20 mm Bohrung mit einem Gewicht bis zu 40 kg.

Induktives FAG Anwärmergerät AWG3,5



Vielfach werden Wälzlager aller Größen und Bauarten auch im Ölbad angewärmt. Nachteile: Unfallgefahr, Umweltbelastung durch Öldämpfe, Brennbarkeit des heißen Öls, Gefahr der Lagerverschmutzung, teure Entsorgung des Altöls. Die erwärmten Lagerteile schiebt man schnell und ohne Verkanten bis zum Anschlag auf. Nach dem Aufschieben ist der Innenring gegen die Anlage zu spannen und bis zum Erkalten unter Spannung zu halten.

Große Lager transportiert man meist mit einem Kran. Das Lager wird dann in eine Montagegezanze gehängt.

Ausbau: Zum Abziehen kleinerer Lager eignen sich mechanische Abziehvorrückrichtungen oder hydraulische Pressen.

Mit dem **Ringbrenner** sollten Innenringe zum Ausbau nur in Notfällen angewärmt werden, wenn die Ölkanaäle für das Hydraulikverfahren fehlen. Dabei ist äußerste Sorgfalt erforderlich, weil die Ringe gegen ungleichmäßige Erwärmung und örtliche Überhitzung empfindlich sind.

Auch mit Hilfe des **Hydraulikverfahrens** (siehe Abschnitt 4.3.2) lassen sich Lager von zylindrischen Sitzen abpressen.

4.3.2 Einbau und Ausbau bei kegeligen Paßflächen

Einbau: Wälzlager in Papiermaschinen werden meist direkt auf kegelige Wellenzapfen montiert. Große und breite Maschinen mit hoher Papiergeschwindigkeit erfordern eine hohe Laufgenauigkeit. Dabei ist der direkte Sitz vorteilhaft, weil nur zwei Paßflächen vorhanden sind.

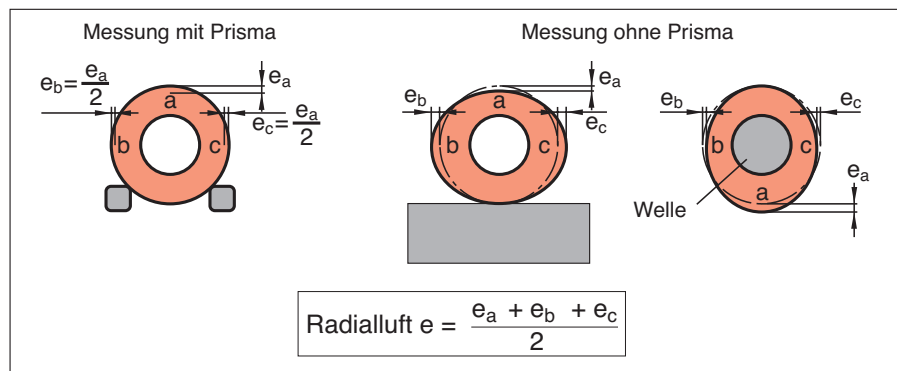
Bei geringeren Ansprüchen an die Laufgenauigkeit verwendet man auch Spann- oder Abziehhülsen. Hier sind vier Paßflächen im Eingriff.

Der erforderliche Festsitz ergibt sich, indem man den Innenring axial aufpreßt oder die Abziehhülse zwischen Innenring und Welle einpreßt. Ob ein genügend fester Sitz erreicht ist, erkennt man an der Verminderung der Radialluft durch die Aufweitung des Innenrings.

Die Radialluft wird zunächst vor dem Einbau gemessen. Beim Aufpressen kontrolliert man die Luft ständig, bis der gewünschte Wert erreicht ist. Anstelle der Radialluftverminderung kann auch der axiale Verschiebeweg gemessen werden.

Die Radialluft mißt man mit Fühllehren. Bei Pendelrollenlagern ist darauf zu achten, daß die Radialluft (G_r) gleichzeitig über beide Rollenreihen gemessen wird. Nur bei gleichen Luftwerten an beiden Rollenreihen ist sichergestellt, daß der Innenring nicht seitlich zum Außenring versetzt ist.

Radialluftmessung bei großen Pendelrollenlagern



Bei großen Pendelrollenlagern ($d > 500 \text{ mm}$) wird wegen der Verformung der Lagerringe die Radialluft an 3 Punkten gemessen, siehe Schema.

Zum Aufpressen größerer Lager auf den Kegelsitz oder zum Einpressen der Abziehhülse benutzt man **Ringkolbenpressen**, vgl. auch Publ.-Nr. WL 80 103 "FAG Ringkolbenpressen". Die Presse wird auf das Wellen- oder Hülsengewinde aufgeschraubt. Beim Einpressen von Öl drückt der Ringkolben das Lager auf den Kegel bzw. die Hülse zwischen Lagerbohrung und Welle.

Kann die Radialluft nicht mit Fühllehren gemessen werden, läßt sich das FAG Verschiebewegmeßgerät RKP.MG verwenden. Es wird auf der Stirnseite der Ringkolbenpresse angeschraubt.

Ringkolbenpressen



Durch das **Hydraulikverfahren** werden der Einbau und vor allem der Ausbau von Lagern ab ca. 160 mm Bohrung stark vereinfacht. Allerdings müssen Ölnuten und Zuführungskanäle sowie Anschlußgewinde für Druckerzeuger vorgesehen sein. Ausführliche Angaben siehe FAG-Publ.-Nr. WL 80 102 "Hydraulikverfahren zum Ein- und Ausbau von Wälzlagern".

Für den **Einbau** wird ein Öl mit einer Viskosität von $\approx 75 \text{ mm}^2/\text{s}$ bei 20°C (Nennviskosität $32 \text{ mm}^2/\text{s}$ bei 40°C) empfohlen. Bei unmittelbarem Sitz des Lagers auf dem kegeligen Zapfen wird nur wenig Öl benötigt. Es genügen einfache Ölinjektoren mit geringer Fördermenge.

Größere Spann- und Abziehhülsen (Ausführungen HG bzw. H, siehe Katalog WL 41 520) haben Ölzuführungsbohrungen und Ölnuten für das Hydraulikverfahren. Der auftretende Ölverlust an den Rändern der Paßflächen erfordert eine stärkere Ölzufuhr, so daß eine Pumpe verwendet werden muß.

Besonders vorteilhaft ist das Hydraulikverfahren beim **Ausbau** großer Lager. Sobald sich ein durchgehender Ölfilm zwischen den Paßflächen gebildet hat, springt der Lagerring infolge der frei werdenden Axialkomponente schlagartig von der Welle ab. Ein axialer Anschlag ist unbedingt erforderlich, um Unfälle zu vermeiden.

Zum Ausbau von Lagern, die unmittelbar auf dem kegeligen Zapfen sitzen, genügen einfache Ölinjektoren mit geringer Fördermenge, während bei Hülsebefestigung eine Pumpe verwendet werden muß.

Für den Ausbau wird ein Öl mit einer Viskosität von $\approx 150 \text{ mm}^2/\text{s}$ bei 20°C (Nennviskosität $46 \text{ mm}^2/\text{s}$ bei 40°C) empfohlen. Sind die Paßflächen beschädigt, nimmt man ein hochviskoses Getriebeöl mit $\approx 150 \text{ mm}^2/\text{s}$ bei 20°C (Nennviskosität $320 \text{ mm}^2/\text{s}$ bei 40°C). Passungsrost kann man durch rostlösende Zusätze zum Öl lösen.

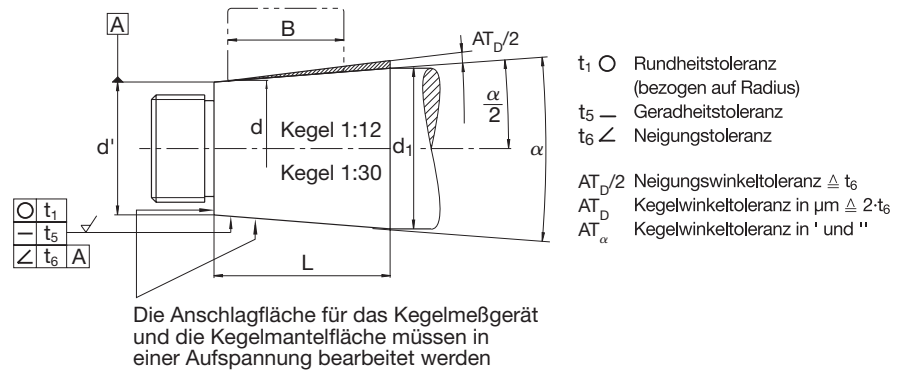
4.4 Passungen und Toleranzen

Allgemeine Richtlinien für die Wahl der richtigen Passung enthält der FAG-Katalog WL 41 520.

Üblich ist die Toleranz G7 für die Gehäusebohrung; nach G7 sind z. B. Papiermaschinengehäuse der Reihen PM30, PMD, PMDR und PMF bearbeitet.

Bei konischen Zapfen ist der Kegel so zu bestimmen, daß das Lager nach dem Aufpressen an der richtigen Stelle auf die Welle kommt. Bei der Bestimmung des Kegeldurchmessers - das Bezugsmaß ist der kleine Durchmesser - muß vor allem die für einen festen Sitz des Innenrings notwendige Aufweitung berücksichtigt werden. Diese radiale Aufweitung wirkt sich als Radialluftverminderung aus. Zu beachten ist, daß selbst bei Vollwellen aus Stahl nicht das gesamte Durchmesserübermaß des Kegels als Radialluftverminderung wirksam wird. Noch kleinere Aufweitungen erhält man bei Hohlwellen und bei Wellen aus Grauguß. In diesen Fällen muß der Kegeldurchmesser entsprechend größer sein. Auch die Maßtoleranzen der Lager und die Fertigungstoleranzen der Welle sind zu berücksichtigen. Als axialen Verschiebeweg legt man zweckmäßigerweise die Abstandsänderungen zwischen der Stirnfläche des Kegels am kleinen Durchmesser und dem Lagerinnenring fest. Empfohlene Maß- und Formtoleranzen siehe folgende Tafeln.

Toleranzen kegelliger Wellensitze



Nennmaß der Welle		Durchmesser-toleranz k6		Rundheitstoleranz (IT5)/2 DIN ISO 1101	Geradheits-toleranz IT3
über mm	bis mm	min µm	max µm	µm	µm
80	120	+3	+25	7,5	6
120	180	+3	+28	9	8
180	250	+4	+33	10	10
250	315	+4	+36	11,5	12
315	400	+4	+40	12,5	13
400	500	+5	+45	13,5	15
500	630	0	+44	14,5	(17)
630	800	0	+50	16	(19)
800	1000	0	+56	18	(21)

(Werte in Klammern nach FAG)

Toleranzen des Kegelwinkels

Nennmaß der Lagerbreite B		Kegelwinkeltoleranz nach AT7 (DIN 7178)	
über mm	bis mm	AT _α Winkelsekunden	AT _D µm
40	63	+65	0/+12,5...0/+20
63	100	+52	0/+16...0/+25
100	160	+41	0/+20...0/+32
160	250	+33	0/+25...0/+40
250	400	+26	0/+32...0/+50

FAG-Service für mehr Betriebssicherheit

Passungen und Toleranzen

Berechnung des kleinen Kegeldurchmessers bei Walzenzapfen

$$d' = d + \Delta R \cdot 1/(d_m/h) \cdot 1/f_i \cdot w + G' + \Delta_{dmp}/2 + L \cdot 1/k \text{ [mm]}$$

d'	Kleiner Kegeldurchmesser des Zapfens [mm]
d	Nennmaß der Lagerbohrung [mm]
ΔR	Mittelwert der Radialluftverminderung (Tabelle 1) [mm]
d_m/h	Wandstärkenverhältnis des Innenrings (Tabelle 2)
$1/f_i$	Korrekturfaktor für Hohlzapfen aus Stahl (Diagramm 3) = 1 für Vollwellen
w	Korrekturfaktor für verschiedene Zapfenwerkstoffe (Diagramm 4)
G'	Auf den Durchmesser bezogenes Glättungsmaß = $2 \cdot 0,6 \cdot R_z$ (Tabelle 5) [mm]
Δ_{dmp}	Toleranz des Nennmaßes der Lagerbohrung (Tabelle 6) [mm]
L	Abstand der Stirnflächen des montierten Lagers und des Zapfens [mm] (Normalfall: Stirnfläche des montierten Lagers bündig mit Stirnfläche des Zapfens, d. h. L = 0)
1/k	Kegelverhältnis (= 0,0833 bei Kegel 1:12, = 0,0333 bei Kegel 1:30)

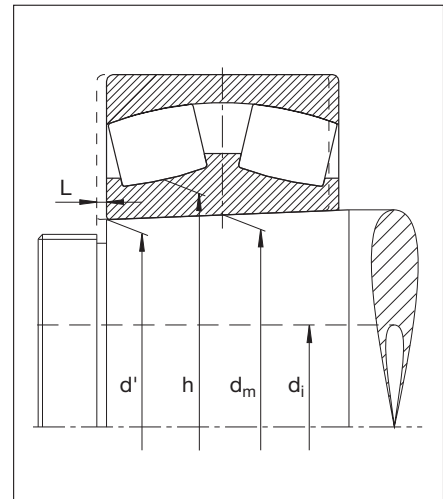


Tabelle 1: Radialluftverminderung ΔR

Nennmaß der Lagerbohrung		Radialluftverminderung			
d		Pendelrollenlager		Zylinderrollenlager	
über	bis	min	max	min	max
mm	mm	mm	mm	mm	mm
50	65	0,03	0,04	0,03	0,035
65	80	0,04	0,05	0,035	0,04
80	100	0,045	0,06	0,04	0,045
100	120	0,05	0,07	0,045	0,055
120	140	0,065	0,09	0,055	0,065
140	160	0,075	0,1	0,06	0,075
160	180	0,08	0,11	0,065	0,085
180	200	0,09	0,13	0,075	0,095
200	225	0,1	0,14	0,085	0,105
225	250	0,11	0,15	0,095	0,115
250	280	0,12	0,17	0,105	0,125
280	315	0,13	0,19	0,115	0,14
315	355	0,15	0,21	0,13	0,16
355	400	0,17	0,23	0,14	0,17
400	450	0,2	0,26	0,15	0,185
450	500	0,21	0,28	0,16	0,195
500	560	0,24	0,32	0,17	0,215
560	630	0,26	0,35	0,185	0,24
630	710	0,3	0,4	0,2	0,26
710	800	0,34	0,45	0,22	0,28
800	900	0,37	0,5	0,24	0,31
900	1000	0,41	0,55	0,26	0,34

Tabelle 2: Wandstärkenverhältnisse für Innenringe mit $d > 50$ mm

Lagerreihe	d_m/h
Pendelrollenlager	
239	0,91
230	0,88
231	0,85
232	0,83
240	0,88
241	0,87
222	0,84
223	0,78
Zylinderrollenlager	
NU10	0,87
NU2	0,85
NU3	0,78
NU4	0,73
NU30	0,89

Diagramm 3: Korrekturfaktor $1/f_i$ für Hohlzapfen (Stahl)

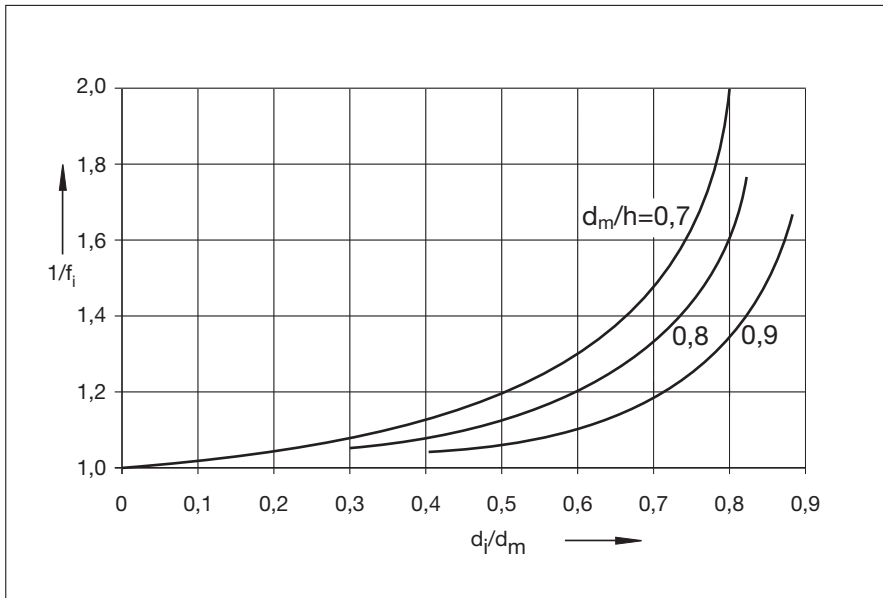


Tabelle 5: Auf den Durchmesser bezogenes Glättungsmaß G'

Bearbeitung	Glättung G' mm
poliert	0
sehr fein geschliffen	0,001
fein geschliffen	0,0025
feinstgedreht	0,005
feingedreht	0,007

Diagramm 4: Korrekturfaktor w für verschiedene Werkstoffe
GG = Grauguß, GGG = Sphäroguß, St = Stahl

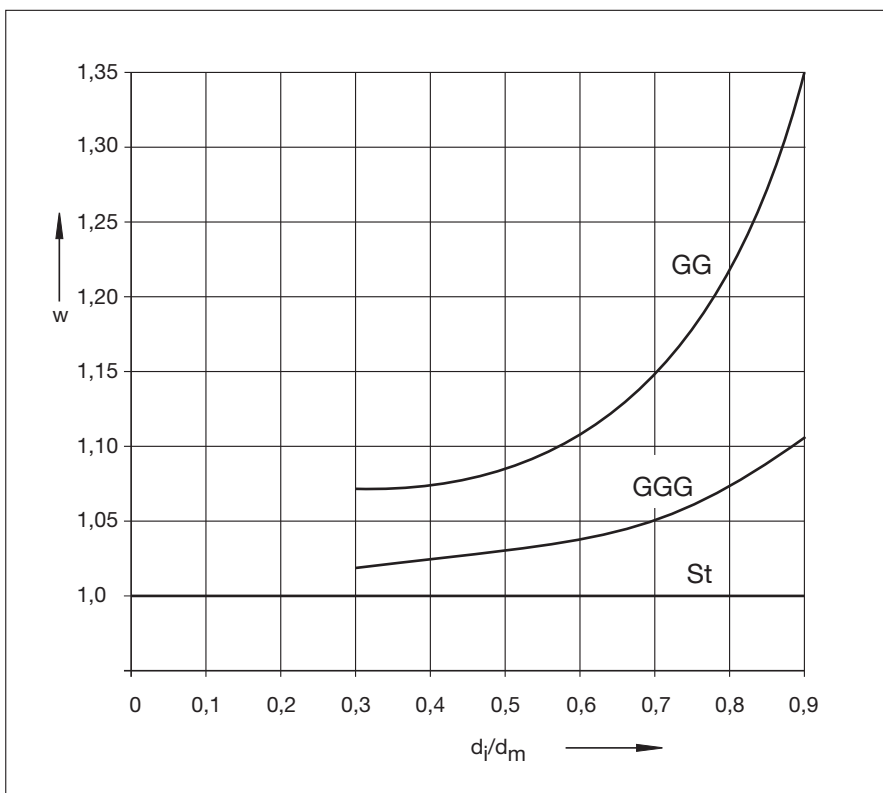


Tabelle 6: Toleranz Δ_{dmp} der Lagerbohrung

Nennmaß der Lagerbohrung über mm	bis mm	Toleranz μm
50	80	0/+30
80	120	0/+35
120	180	0/+40
180	250	0/+46
250	315	0/+52
315	400	0/+57
400	500	0/+63
500	630	0/+70
630	800	0/+80
800	1000	0/+90

FAG-Service für mehr Betriebssicherheit

Lagerüberwachung und -analyse

4.5 Lagerüberwachung und -analyse

Wälzlager in Papiermaschinen müssen überwacht werden, um hohe Folgekosten durch Produktionsausfall zu vermeiden. Die Lagergebrauchsdauer und die Maschinenverfügbarkeit kann man nur dann optimal nutzen, wenn die Lagerungen zustandsabhängig gewartet werden. Dies setzt allerdings das rechtzeitige Erkennen von Lagerschäden, die Abschätzung des Schadensausmaßes und die Verfolgung des Schadenswachstums voraus. Bei zustandsabhängiger Wartung können Lagerwechsel in produktionsarme Zeiten eingeplant und dadurch unnötige Stillstandszeiten vermieden werden.

4.5.1 FAG Detector 2000

Der FAG Detector kommt vor allem für Lagerungen in der Peripherie der Papiermaschine in Betracht, bei denen kaum mit Störeinflüssen anderer Maschinenteile zu rechnen ist.

Das preiswerte Handmeßgerät ist mit nur sechs Tasten leicht zu bedienen. Es zeichnet sich durch ein geringes Gewicht aus.

Zunächst bringt man den Beschleunigungsaufnehmer an der zu prüfenden Lagerstelle an. Die aufgenommenen Kennwerte zur Beurteilung des Maschinen- bzw. Bauteilzustands werden nach einem

FAG Detector 2000



Meßrundgang auf einen Rechner übertragen, dort mit der Software "FAG 2000" ausgewertet, analysiert und grafisch dargestellt.

Für jede Meßstelle vergleicht die Software die neu gemessenen Kennwerte mit den für diesen Meßort festgelegten Grenzwerten für einen Alarm. Wird einer der Schwellwerte überschritten, zeigt dies die Software an.

Neu hinzugekommene Kennwerte können abhängig vom Meßzeitpunkt grafisch dargestellt werden.

Mit Hilfe der Trendanalyse kann der Anwender abschätzen, wann voraussichtlich ein Alarm auftreten wird.

Nähere Angaben zum Detector 2000 erhalten Sie auf Anfrage.

4.5.2 FAG Bearing Analyser 2000

FAG bietet effiziente Schadensdiagnose, basierend auf der Hüllkurven-Detektion (HKD), bereits seit vielen Jahren als Dienstleistung an. Damit der Betreiber auch selbst den Zustand seiner Anlagen permanent überwachen kann, stellt FAG das Diagnosegerät "Bearing Analyser" zum Kauf zur Verfügung.

Lagerschäden kündigen sich in den meisten Fällen durch Schwingungsänderungen an, die der FAG Bearing Analyser erfaßt und ausgewertet. Der handliche, leicht be-

FAG Bearing Analyser 2000



dienbare Schwingungsanalysator arbeitet nach dem bewährten HKD-Verfahren. Er diagnostiziert alle Schäden, die Geräusch verursachen, z. B. Anrisse, Pittings, Eindrücke oder Schmutz. Der an das tragbare Gerät angeschlossene Beschleunigungsaufnehmer mißt Schwingungen am Lager bis 20 kHz.

Das Expertensystem wertet die Daten aus und zeigt dem Benutzer bei hoher Diagnosesicherheit an, ob das Lager in Ordnung oder beschädigt ist, wenn zuvor aktuelle Drehzahl und Lagerdaten eingegeben wurden. Mit zunehmendem Schädigungsgrad, der sich mit Trendmessungen ermitteln läßt, verkürzen sich die Meßabstände, bis ein Lageraustausch erforderlich wird.

Nähere Angaben zum "FAG Bearing Analyser" erhalten Sie auf Anfrage.

4.5.3 System VibroCheck

Das fest installierte Online-Überwachungssystem VibroCheck von FAG bietet die Möglichkeit, eine große Zahl von Meßstellen mit dem PC kontinuierlich zu überwachen. Meßwertaufnehmer an der Lagerstelle leiten Signale an Schaltmodule (VC-Module). Die Signale werden an einen PC im Leitstand der Papierfabrik oder bei Bedarf per Modem an eine FAG-Service-Station mit PC übertragen. Bei Erreichen einer Warngrenze stellt ein Expertensystem eine automatische Diagnose mit der gleichen Sicherheit wie der Analyser (Abschnitt 4.5.2).

FAG VibroCheck



4.5.4 Lageranalyse

Soll ein schadhaftes Lager aus einer Maschine ausgebaut werden, ist unbedingt zu klären, was den Schaden verursacht hat und wie ein erneuter Ausfall zukünftig zu vermeiden ist. Können die Ausfallursachen nicht vom Betreiber der

Papiermaschine selbst oder durch einen FAG-Mitarbeiter vor Ort geklärt werden, ist das Lager zur Begutachtung an FAG zu senden.

Folgende Angaben sollen bei der Rücksendung von Lagern unbedingt gemacht werden:

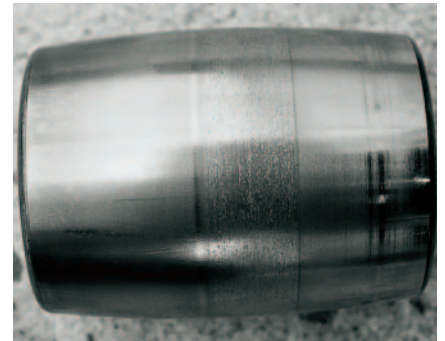
1. Firma Name, Anschrift, Abteilung
2. Anwendungsfall
 - 2.1 Maschine/Aggregat
 - 2.2 Genaue Einbaustelle (z. B. Leitwalze, Trockenpartie, Festlager oder Loslager)
 - 2.3 Hersteller der Maschine
 - 2.4 Betriebszeit
 - 2.5 Maschinendaten (Produkt, Länge, Breite)
 - 2.6 Zahl der bisherigen Lagerausfälle an dieser Stelle/Partie
3. Betriebsbedingungen
 - Walzendurchmesser
 - Papiergeschwindigkeit
 - Walzenlänge
 - Drehzahl
 - Belastung radial (axial)
 - Laufzeit pro Tag
 - Schmierung (Art, Ölsorte, Fettsorte, Menge, Nachschmierintervall)
 - Zeichnung der Einbaustelle (Passungen, Abdichtung etc.)
4. Lager
 - Kurzzeichen (mit allen Nachsetzzeichen)
 - Laufzeit bis zum Ausfall (wann montiert?)
 - Montage durch wen?
 - Erscheinungsbild des geschädigten Lagers (Innenring, Außenring, Rollen, Käfig, evtl. Fotos und Skizzen)
 - Wie hat sich der Schaden bemerkbar gemacht?

Ausführliche Angaben zur Schadensanalyse und Begutachtung gelaufener Wälzlager enthält die FAG-Publ.-Nr. WL 82 102 "Wälzlagerschäden".

Druckpolierte Laufbahn und beginnender Verschleiß im Außenring eines Pendelrollenlagers; Einbau auf der Führerseite eines Trockenzylinders; Ursache: zu hoher Wasseranteil im Schmieröl



Schlupfschaden auf der Tonnenrolle eines Pendelrollenlagers; Einbau bei einer Saugwalze; Ursache: zu geringe Belastung und ungeeignetes Schmierfett



Stillstandskorrosion in der Außenringlaufbahn eines Pendelrollenlagers; Ursache: zu hoher Wasseranteil im Schmierfett



FAG-Service für mehr Betriebssicherheit

PC-Programme · Montageservice · Schulungsangebot

4.6 PC-Programme zur Berechnung und Auslegung von Wälzlagerungen

Das Streben nach mehr Betriebssicherheit beginnt lange vor der Wälzlagermontage. Am Anfang steht immer die Auswahl des richtigen Wälzlagers.

Zur Auswahl und Berechnung von Wälzlagerungen steht mit dem **FAG-Produktkatalog auf CD-ROM** eine wesentlich effizientere Hilfe zur Verfügung als mit dem gedruckten Katalog. Der Anwender erhält ein komplettes Beratungssystem, das ihn - mit WINDOWS-Benutzerführung - bis zur bestellfähigen Auflistung der FAG Normwälzlager führt. Berechnen lassen sich nominelle und erweiterte Lebensdauer, zulässige Drehzahlen, Überrollfrequenzen (wichtig für die Lagerdiagnose), Wärmebilanz und erforderliche Ölmengen.

Mit der Version 2.0 des CD-ROM-Katalogs kann vom ausgewählten Lager ein DXF-File erzeugt und in CAD-Zeichenprogramme importiert werden. Die Tabellenseiten lassen sich wie im gedruckten Katalog ausdrucken, ebenso die Leistungsdaten, der Maßplan und die Einbaumaße einzelner Lager.

Daneben hält FAG noch eine Reihe von speziellen **Berechnungsprogrammen** bereit. Ermittelt werden z. B.

- Lagerluftveränderung
- Federung und Steifigkeit von Wälzlagern
- Wellenbiegung

Nähere Beschreibung dieser PC-Programme siehe TI Nr. WL 49-41.

4.7 FAG-Montageservice

Erfahrene FAG-Monteure übernehmen auf Wunsch die Montage aller Wälzlagerungen in der Papierindustrie, die Abnahme der Gegenstücke (Walzenzapfen, Gehäuse), die Fehlersuche bei nicht einwandfrei laufenden Lagerungen, den

Ausbau der Lager, die Schulung des Montagepersonals und die Beratung für die Rationalisierung von Montagevorgängen. Die Monteure helfen auch bei der Auswahl der geeigneten Werkzeuge und stellen die Geräte und Verfahren vor.

4.8 FAG-Schulungsangebot

Besseres Fachwissen hilft, die Lagergebrauchsdauer zu steigern und Lager Schäden zu vermeiden.

FAG richtet schon seit vielen Jahren praxisorientierte Schulungen, Kurse und Seminare zum Thema Wälzlager aus. Sie finden statt bei FAG, bei den FAG-Handelspartnern und direkt bei den Papierfabriken. Vorteilhaft bei den Seminaren vor Ort ist, daß für die Teilnehmer keine Fahrtkosten entstehen und für die An- und Abreise keine Arbeitszeit ausfällt. Das Schulungsangebot für Papierfabriken umfaßt

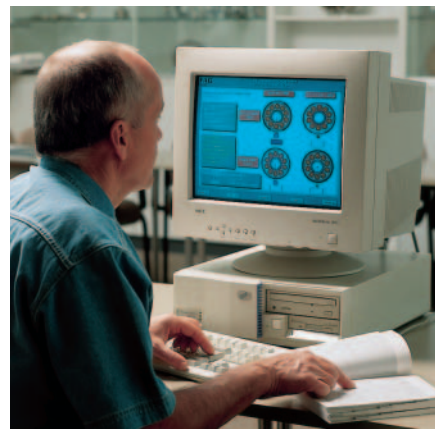
- Wälzlager-Basisseminar
- Training Montage und Demontage
- Empfehlungen für die Schmierung
- Seminar zur Schadensanalyse
- Individuelle Kundenseminare vor Ort

FAG-Schulungsangebot



Für das Selbststudium am Bildschirm hat FAG die **Software W.L.S.** mit interaktiver Programmführung entwickelt. Dieses Lernprogramm vermittelt solides Basiswissen über die Eigenschaften der verschiedenen Lagerarten, über das Bezeichnungssystem, über die Montage von Wälzlagern und über die Vermeidung von Lagerschäden. Das dialogorientierte Lernprogramm trägt einer immer individuelleren Aus- und Fortbildung in den Betrieben Rechnung. Das komplette Softwarepaket eignet sich für alle, die mit Wälzlagern zu tun haben, ob in Einkauf und Materialwirtschaft, in Konstruktion und Entwicklung oder bei der Montage.

FAG Wälzlager-Lern-System W.L.S.



Für Schulung, Beratung und Ausbildung stehen mehrere **FAG-Videofilme** zur Verfügung, z. B.:

- Ein- und Ausbau von Wälzlagern
- Hydraulikverfahren zum Ein- und Ausbau von großen Wälzlagern
- Induktives Anwärmergerät zur Montage großer Wälzlager
- Lageraustausch mit geteilten FAG Pendelrollenlagern 222SM

Weitere Videofilme siehe TI Nr. WL 00-11.

4.9 Auswahl von weiteren FAG-Publikationen

Katalog	
WL 41 520	FAG Wälzlager
Publ.-Nr.	
WL 13 111	Winkeleinstellbare Zylinderrollenlager für Trocken-/Glättzylinder und Leitwalzen in Papiermaschinen
WL 13 112	A Partnership in Paper
WL 13 501	Lagerung des Glättzylinders einer Papiermaschine
WL 13 502	FAG Pendelrollenlager in einem Holzschleifer
WL 13 503	FAG Pendelrollenlager E in Filzleitwalzen der Trockenpartie von Papiermaschinen
WL 13 504	Leistungssteigerung bei einer finnischen Papiermaschine
WL 13 505	Refiner-Lagerung mit FAG Zylinderrollenlagern
WL 13 506	Lagerung des Kreppzylinders in einer Tissue-Papiermaschine
WL 13 507	Produktionssteigerung bei Papiermaschinen durch Umstellung des Trockenteils auf FAG Wälzlager
WL 13 508	Geteilte FAG Pendelrollenlager in Trockenzylindern von Papiermaschinen reduzieren Stillstandszeiten bei Lagerwechsel
WL 13 509	FAG Rillenkugellager für Breitstreckwalzen in Papiermaschinen
WL 13 510	Erhebliche Energieeinsparung durch Umlagerung der Trockenzylinder in Papiermaschinen von Gleitlagerungen auf Wälzlagerungen
WL 13 511	Trockenzylinderlagerungen in einer finnischen Kartonfabrik über 10 Jahre zuverlässig im Einsatz
WL 13 512	Geteilte FAG Pendelrollenlager in Rührwerken von Papierfabriken reduzieren Stillstandszeiten
WL 13 513	FAG Hybridlager für Breitstreckwalzen
WL 13 514	FAG Pendelkugellager für Sektionsleitwalzen in Kalandern
WL 43 165	Geteilte FAG Pendelrollenlager
WL 80 100	Montage von Wälzlagern
WL 80 102	Hydraulikverfahren zum Ein- und Ausbau von Wälzlagern
WL 80 103	FAG Ringkolbenpressen
WL 80 137	Diagnose von Wälzlagern mit dem FAG Detector
WL 80 141	Diagnose von Wälzlagern mit dem FAG Bearing Analyser
WL 80 151	Reparatur-Service für große Wälzlager
WL 81 115	Schmierung von Wälzlagern
WL 82 102	Wälzlagerschäden
TI Nr.	
WL 13-1	Gehäuse für Trockenzylinder in Papiermaschinen
WL 13-2	PMF-Gehäuse für Leitwalzen in Papiermaschinen
WL 43-1192	FAG Dreiringlager für die Papierindustrie
WL 49-41	FAG PC-Programme
WL 62-1	"Doping" für die Oberfläche – Wälzlager-Beschichtungen bei FAG
WL 80-14	Ein- und Ausbau von Pendelrollenlagern mit kegeliger Bohrung
WL 80-46	FAG Handpumpensätze
WL 80-47	Induktive FAG Anwärmgeräte
WL 80-48	Mechanische FAG Abziehvorrichtungen

5 Dimensionierung und Schmierung von Wälzlagern

5.1 Dimensionierung

Durch die Dimensionierungsrechnung überprüft man Wälzlager daraufhin, ob die Forderungen an Gebrauchsdauer und Wirtschaftlichkeit erfüllt sind. Papiermaschinenlager werden in der Regel dynamisch beansprucht. Bei ihnen drehen sich die Ringe relativ zueinander.

Die Ermittlung der nominellen Lebensdauer L_h für dynamisch beanspruchte Wälzlager wird ausführlich dargestellt im Katalog WL 41 520 "FAG Wälzlager". Mit diesem Verfahren werden von den Betriebsbedingungen nur die Belastung und die Drehzahl berücksichtigt. In Wirklichkeit hängt die erreichbare Lebensdauer aber noch von einer Reihe weiterer Einflüsse ab.

Aufbauend auf der erweiterten Lebensdauerberechnung nach DIN ISO 281, entwickelte FAG ein verfeinertes Verfahren zur Bestimmung der erreichbaren Lebensdauer L_{hna} , mit dem die Betriebsbedingungen, insbesondere der Einfluß der Sauberkeit im Schmier-spalt, zahlenmäßig erfaßt werden. Das Verfahren zur Ermittlung der erreichbaren Lebensdauer ist im Katalog WL 41 520 beschrieben.

Richtwerte für die Dimensionierung

In der folgenden Tafel sind für die verschiedenen Einbaustellen bei Maschinen und Aggregaten in der Papierherstellung Richtwerte für die erreichbare Lebensdauer L_{hna} angegeben. Zum Vergleich sind auch bisherige Lebensdauerwerte L_h aufgeführt. Diese entsprechen weitgehend den Empfehlungen der TAPPI (Technical Association of the Pulp and Paper Industry, USA). Dort findet sich z. B. für Trockenzylinder ein Richtwert für L_h von 285 000 Stunden. Für alte, nicht isolierte Zapfenlagerungen würde das mit einem Faktor $a_{23} = 0,35$ zu einer erreichbaren Lebensdauer L_{hna} von etwa

100 000 Stunden führen. Bei modernen Maschinen mit genereller Zapfenisolierung erwartet man L_{hna} -Werte > 250 000 Stunden, also ungewöhnlich hohe Standzeiten.

Dagegen liegen die Standzeiterwartungen für Lager der Naßpartie deutlich unter 15 Jahren, weil in diesem Zeitraum Umbauten und Modernisierungen üblich sind.

Wichtig für die Auslegung sind z. B. bei Trockenzylindern stark unterschiedliche Betriebsgeschwindigkeiten. Sie liegen für eine Kartonmaschine unter 800 m/min, bei einem Trocken-

zylinder für Zeitungspapier bis zu 1800 m/min.

Wir empfehlen, zunächst L_h für die am höchsten belastete Walze unter Berücksichtigung der Konstruktionsdrehzahl (n_k) und der dynamisch äquivalenten Lagerbelastung P (siehe Seite 31) zu bestimmen.

Zur Ermittlung von L_{hna} sollte die tatsächliche Betriebsgeschwindigkeit und damit das niedrigste Viskositätsverhältnis κ berücksichtigt werden.

Anhaltswerte für die Betriebstemperatur von Trockenzylinderlagern (Innenring) siehe Diagramm auf Seite 31.

Richtwerte für die Dimensionierung von Wälzlagern in der Papierherstellung

Einbaustelle	Erreichbare Lebensdauer $L_{hna}^{*)}$ h	Jahre ^{**)}
Naßteil		
Formierwalzen, Saugwalzen, Leitwalzen, Preßwalzen	> 100 000	> 12
Trockenteil (Primärforderung: $L_h > 100\,000\,h$)		
Leitwalzen	> 120 000	> 15
Trockenzylinder	> 250 000	> 30
Glättzylinder	> 350 000	> 45
Sonstiges		
Kalander, Glättwerkswalzen, Tamboure	> 80 000	> 10
schwimmende Walzen	> 80 000	> 10
Refiner, Stoffflöser	> 80 000	> 10

^{*)} gerechnet mit $a_{23} = a_{23II}$, also $s = 1$ für normale Sauberkeit
^{**)} bei 8000 Betriebsstunden pro Jahr

Dynamisch äquivalente Belastung P der Wälzlager in Papiermaschinen

G Eigengewichtskraft von Walze/Zylinder [kN]

F_z Filzzug/Siebzug [kN] bei 180° Umschlingung

$f_1 = 1,055$ für zeitweilige Füllung der Trocken- und Glättzylinder mit Kondenswasser

$f_2 = 1,1$ für auf das Festlager wirkende Axialkräfte (Antrieb, Schrägzug des Filzes oder Siebes), wenn keine konkreten Werte vorliegen

Trocken-/Glättzylinder, Führerseite:

$P = (G/2 + F_z) \cdot f_1$
zusätzlich beachten: axiale Verschiebekraft bei Pendelrollenlager als Loslager und Kräfte aus Dampfanschluß, bei Glättzylinder auch Entlastung durch Anpreßwalzen

Trocken-/Glättzylinder, Triebseite:

$P = (G/2 + F_z) \cdot f_1 \cdot f_2$
zusätzlich beachten: Radialkraft aus Antrieb und Kräfte aus Dampfanschluß sowie axiale Verschiebekraft von Loslager

Leitwalze:

$P = (G/2 + F_z) \cdot f_2$

Siebsaugwalze:

$P = (G/2 + F_z) \cdot f_2$
zusätzlich beachten: Kraftrichtung sowie Entlastung bzw. Belastung durch Unterdruck im Saugkasten

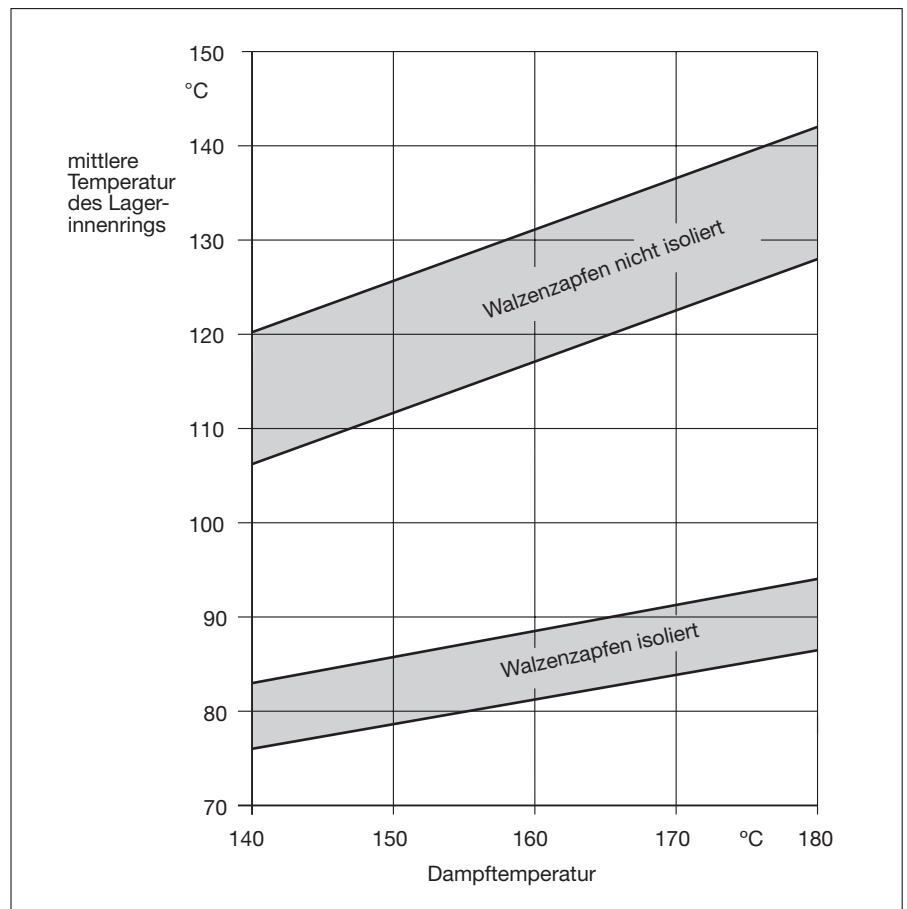
Preßwalze/Anpreßwalze:

$P = (G/2 + F_z) \cdot f_2$
zusätzlich beachten: Kraftrichtung sowie Entlastung bzw. Belastung durch andere Walzen/Zylinder

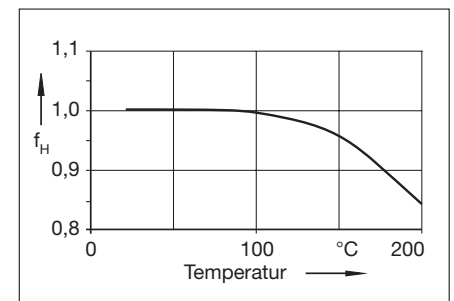
Kalenderwalze:

$P = G/2 \pm F_{Nip}/2$
zusätzlich beachten: Einsatzposition, Zeit- und Lastanteile (vgl. auch Abschnitt 3.3.1)

Anhaltswerte für die Temperatur der Wälzlager in Trockenzylindern, gültig für gängige Pendelrollenlagergrößen bei Schmierung mit Mindest-Ölmengen (Abschnitt 5.2.2), in Abhängigkeit von Dampftemperatur und Isolation (Zusammenhang Dampftemperatur/Dampfdruck siehe 6.1.3 und 6.1.4)



Korrekturfaktor f_H zur Berücksichtigung des Einflusses der Betriebstemperatur auf die Tragzahl von Wälzlager aus Chromstahl



Korrekturfaktor für Härteminderung

Die dynamische Tragzahl C muß bei Wälzlager in Papiermaschinen, die standardmäßig nach S1 wärmebehandelt sind, bei Betriebstemperaturen $> 100^\circ\text{C}$ mit f_H multipliziert werden.

5.2 Schmierung von Wälzlagern

Die Betriebsbedingungen und damit auch die Anforderungen an die Schmierung können sich an den verschiedenen Lagerstellen von Papiermaschinen sehr stark unterscheiden. Deshalb wird die Schmierung im Abschnitt 3 bei den Lagerungsbeispielen konkret behandelt. An dieser Stelle sind dagegen allgemeine Gesichtspunkte zur Schmierung von Papiermaschinenlagerungen erläutert. Ausführlich dargestellt ist die Wälzlager-schmierung in der FAG-Publikation WL 81 115 "Schmierung von Wälzlagern".

Für die Wahl des Schmiervfahrens sind Belastung, Drehzahl und Betriebstemperatur des Lagers sowie die Umweltbedingungen, daneben aber auch die Betriebssicherheit, maßgebend. Deshalb kommt bei Papiermaschinenlagern in der Regel Ölumlaufschmierung, seltener Fettschmierung in Frage.

Zur Ermittlung der Lagerverlustleistung sind manchmal Wärmebilanzrechnungen hilfreich (siehe Publ.-Nr. WL 81 115). Die Genauigkeit einer solchen Berechnung wird jedoch nur dann akzeptabel, wenn die Betriebsdaten und entsprechende Werte für die Wärmeflußverhältnisse bekannt sind.

5.2.1 Fettschmierung

Fettschmierung ist bei kleineren und mittleren Lagern möglich, wenn die Drehzahlen und die Temperaturen nicht zu hoch liegen. Der Vorteil einer Fettschmierung liegt im geringen konstruktiven Aufwand; zusätzlich unterstützt das Fett die Abdichtung. Auch für die Wartung ist ein geringer Aufwand erforderlich. Außerdem kann bei einem Zusammenbruch der Schmierstoffzufuhr mit längeren Restlaufzeiten gerechnet werden. Fettschmierung wird für Papiermaschinenlager hauptsächlich für die Lager in der Naßpartie angewendet, weil dort niedrige Temperaturen vorliegen und auf eine gute Abdichtung gegen Wasser und Schmutz geachtet werden muß.

Fettgeschmierte Lagerungen in der Trockenpartie, an denen höhere Temperaturen auftreten, sowie an sehr hoch belasteten Lagerstellen sind die Ausnahme.

Fettauswahl

Kriterien zur Fettauswahl enthält z. B. die FAG-Publikation Nr. WL 81 115.

Neben den Angaben der Fetthersteller zu den Fetteigenschaften sind jedoch Erfahrungswerte über die praktische Anwendung besonders wichtig. FAG hat deshalb Anforderungsprofile und Lastenhefte getrennt für die Naß- und Trockenpartie entwickelt.

Eine aktuelle Liste mit von FAG empfohlenen Fetten für den Naßbereich und für die Trockenpartie erhalten Sie auf Anfrage.

Allgemeine Empfehlungen für Fettschmierung von Wälzlagern in Papiermaschinen (Naßbereich und Trockenpartie)

- Fette nach FAG-Anforderungsprofil (Seite 33)
- Direkte Fettzufuhr (bei Pendelrollenlagern z. B. über Schmiernut und Bohrungen im Außen- oder Innenring)
- Wöchentliche bis monatliche Nachschmierung je nach Medienbeaufschlagung
- Nachschmiermenge entsprechend FAG-Publ.-Nr. WL 81 115/4, S. 38
 $m_1 = 0,002 \cdot D \cdot B$ [g] bei manueller Fettzufuhr
 $m_2 = 1 \cdot [\pi/4 \cdot B \cdot (D^2 - d^2) \cdot 10^{-9} - G/7800]$ [kg/h] bei automatischer Fettzufuhr

mit		
D	Lageraußendurchmesser	[mm]
B	Lagerbreite	[mm]
d	Lagerbohrung	[mm]
G	Lagergewicht	[kg]

- Beidseitige Abführung des Fettes
- Reichliche Nachschmierung vor und nach längerem Stillstand
- Möglichst Vermeidung der Vermischung unterschiedlicher Fette, auch bei ausgewiesener Verträglichkeit
- Installation möglichst kurzer Zuleitungen
- Schutz der Zuleitungen vor Wärmeeinstrahlung

Anforderungen an Fette für Lager im **Naßbereich**:

- Sehr gute Wasserbeständigkeit
- Gute Dichtwirkung
- Sehr guter Korrosionsschutz
- Gute Schmierfilmbildung
- Gute Verträglichkeit mit Elastomeren und Kunststoffen
- Multimetallverträglichkeit
- Gute Oxidationsstabilität
- Beste Schmierfähigkeit auch in kinematisch anspruchsvollen Lagern durch ausgewählten Verdicker und in Wälzlagern unterschiedlichster Bauart wirksame EP-Zusätze
- Hohe Reinheit
- Gute Förderbarkeit in Zentralschmieranlagen
(keine Trennung von Öl und Verdicker unter Druck, gutes Entspannungsverhalten, gutes Nachfließverhalten im Vorratsbehälter)

Anforderungen an Fette für Lager in der **Trockenpartie**:

- Beste Oxidationsstabilität
- Sehr gute Hochtemperatureignung
- Keine Rückstandsbildung in Lagern und Gehäusen
- Sehr guter Korrosionsschutz
- Multimetallverträglichkeit
- Gute Schmierfilmbildung
- Beste Schmierfähigkeit auch in kinematisch anspruchsvollen Lagern durch schmierwirksamen Verdicker und in Wälzlagern bei unterschiedlichsten Temperaturen wirksame Additive
- Gute Dichtwirkung
- Gute Verträglichkeit mit Elastomeren und Kunststoffen
- Hohe Reinheit
- Problemlose Förderbarkeit in Zentralschmieranlagen
(keine Trennung von Öl und Verdicker unter Druck, gutes Entspannungsverhalten, gutes Nachfließverhalten im Vorratsbehälter, keine Verkokung in Rohrleitungen)
- Gutes Fettauslaufverhalten aus den Gehäusen
- Sehr lange Gebrauchsdauer

Gesamtminderungsfaktoren q

Lagerstelle	Gesamtminderungsfaktor q
Naßpartie zum Teil sehr feuchte Umgebung	0,1 - 0,3
Trockenpartie soweit fettgeschmiert (z. B. Trockenfilzleitwalzen)	0,3 - 0,4

Versorgung der Lager mit Fett

Für eine ausreichende Versorgung der Lager sind wichtig die Wahl der richtigen Fettmenge, die auf die Gebrauchsdauer des Fettes abgestimmte Nachschmierung, die richtige Gestaltung der Lagerstelle sowie das richtige Schmierverfahren. Die grundlegenden Gesichtspunkte sind in der Publ.-Nr. WL 81 115 ausführlich erläutert.

Das dort angegebene Diagramm für die Schmierfrist t_f gilt nur für günstige Umgebungsbedingungen und Standardfette auf Lithiumseifenbasis. Bei Papiermaschinen ist besonders der Einfluß der Temperatur und der Umgebung wichtig.

Die verminderte Schmierfrist t_{fq} ergibt sich mit dem Gesamtminderungsfaktor q (siehe Tafel unten links), der alle ungünstigen Betriebs- und Umgebungsbedingungen berücksichtigt, aus

$$t_{fq} = q \cdot t_f$$

Das Nachschmierintervall ist etwa mit 0,5 bis 0,7 $\cdot t_{fq}$ anzusetzen. Bewährt haben sich in der Praxis für Lager in der Naßpartie (zum Teil starker Wasseranfall) Nachschmierintervalle ≤ 2 Wochen und für fettgeschmierte Lager der Trockenpartie von rund 4 Wochen.

Bei Pendelrollenlagern sollte das Frischfett stets über die Schmiernut und die Schmierbohrungen im Außenring zugeführt werden, da so der optimale Austausch mit Verdrängung des Altfettes am besten gewährleistet ist. Es erfolgt dann eine völlig gleichmäßige Verteilung auf beide Rollenreihen, wobei das Altfett aus dem Lager gedrängt wird. Bei korrosionsgefährdeten Lagern des Naßsteiles ist dies besonders wichtig. Bei drehendem Außenring kann während des Betriebs nicht über den Außenring nachgeschmiert werden.

Um auch hier direkt in der Lagermitte nachschmieren zu können, sollten Lager mit Schmierbohrungen im Innenring verwendet werden. Lagerausführungen mit Schmiernut und -bohrungen sind üblich;

Dimensionierung und Schmierung von Wälzlagern

Schmierung

dadurch kann eine umlaufende Schmier-
nut am Lagerzapfen entfallen.

Der Einfluß solcher Maßnahmen wird
sehr oft weit unterbewertet. Wie die Pra-
xis zeigt, treten aber gerade in den fettge-
schmierten Lagern der Naßpartie die
meisten Schäden durch mangelhafte Ver-
sorgung mit Schmierstoff oder durch Ver-
mischung des Schmierstoffes mit Wasser
(verminderte Schmierwirkung) und auch
direkte Korrosion an den Funktions-
flächen auf.

Da Korrosion auch während der La-
gerstillstandszeiten auftreten kann (durch
eindringendes Wasser bei Reinigungs-
arbeiten oder Kondenswasserbildung), ist
es vorteilhaft, die Lagerungen unmittel-
bar vor dem Stillsetzen der Maschine oder
wenn Walzen in Reserve gelegt werden,
noch einmal gründlich nachzuschmieren.

Eine Mischung unterschiedlicher Fette
sollte möglichst vermieden werden. Fette
unterschiedlicher Verseifungsbasis dürfen
auf keinen Fall vermischt werden. Wird
auf eine andere Fettsorte umgestellt, so
hat eine gründliche Reinigung mit Fett-
spülung zu erfolgen.

Bei Einbau eines neuen Lagers erfolgt
die erste Nachschmierung zweckmäßi-
gerweise nach einer verkürzten Zeitspan-
ne, damit Montageverunreinigungen und
Einlaufverschleiß beseitigt werden.

5.2.2 Ölschmierung

Ölschmierung ist erforderlich, wenn
wegen hoher Belastung und Drehzahl mit
starker Eigenerwärmung des Lagers zu
rechnen ist oder wenn die Lager von der
Umgebung her stark erwärmt werden.

Die heute im Papiermaschinenbau üb-
liche **Ölumlaufschmierung** bietet folgen-
de Vorteile:

Bei richtiger Konstruktion der Ölfüh-
rung sind Ansammlungen von Verun-
reinigungen ausgeschlossen; sie werden
mit dem Ölstrom zu den entsprechenden
Ölreinigungs- und Ölpflegevorrichtungen
(Filter, Separatoren, Absetzbecken etc.)
transportiert und dort aus dem Kreislauf

ausgeschieden. Bei großer Gesamtöl-
menge wird die Beanspruchung des Öles
reduziert. Außerdem läßt sich durch
Ölrückkühlung Wärme abführen und die
Lagertemperatur senken.

Bei besonders hoch additivierten Mi-
neralölen und bei Syntheseölen ist die
Verträglichkeit mit Dichtungs- und
Käfigmaterialien zu beachten.

Allgemeine Empfehlungen für die Schmierung von Papiermaschinenlagerungen mit Umlaufölen:

- Öle nach dem FAG-Anforderungsprofil
- direkte Ölzufuhr, bei Pendelrollenlagern und winkeleinstellbaren Zylinderrollenlagern über Schmiernut und Schmierbohrungen in den Ringen
- Beidseitiger Ölabfluß mit ausreichend dimensionierten Leitungsquerschnitten
- Vermeidung von Restölsumpf
- Mindestdurchflußmengen nach FAG-Empfehlungen
- Einzelüberwachung jeder Schmierstelle
- Schutz der Zufuhrleitungen gegen Strahlungswärme
- Ölzufuhrtemperatur max. 50 bis 60 °C durch Ölrückkühlung für die Trockenpartie
- Separate Ölversorgungssysteme für die unterschiedlichen Arbeitsbereiche der Papiermaschine
- Effektive Zapfenisolierung bei den Trockenzyindern und Thermowalzen
Anmerkung: Durch Isolierung der dampfdurchströmten Hohlzapfen und eine ausreichende Ölmenge sowie Rückkühlung erreicht man heute eine niedrige Lagertemperatur und damit ausreichende Betriebsviskosität des Schmieröls. Bei nicht isolierten Zapfenbohrungen und niedriger Geschwindigkeit ist ein Viskositätsverhältnis $\kappa < 0,4$ zu erwarten und somit ein Lebensdauerfaktor a_{23} von max. 0,35.
- Beruhigungszonen und Luftabscheidemöglichkeiten im Tank
- Ölpflegemaßnahmen:
 - Spülung und Feinstfiltration vor Inbetriebnahme, nach größeren Reparaturen, Lagerschäden oder vollständigem Ölwechsel
 - Filterung im Hauptstrom mit 12 µm, besser 6 µm mit Rückhalterate $\beta_x \geq 75$. Eine zusätzliche Nebenstromfilterung mit 6 µm und $\beta_x \geq 75$ erhöht die Effektivität bei großem Öldurchsatz erheblich.
 - Öltreinheitsklasse 15/12 nach ISO 4406
 - Wassergehalt < 0,03 Gewichts-% (300 ppm)
 - Rechtzeitiger Ölwechsel in Abhängigkeit des Ölzustands (Ölhersteller)

Ölauswahl

Zur Schmierung von Wälzlager sind Mineralöle und Syntheseöle geeignet. Die Wahl des Öles hängt von den an der jeweiligen Lagerstelle herrschenden Betriebsbedingungen ab.

FAG hat auch für Öle in Papiermaschinen Anforderungsprofile getrennt für die Naß- und Trockenpartie erstellt.

Anforderungen an Umlauföle für Lager in der **Naßpartie**:

- Hohe Oxidationsstabilität
- Gutes Demulgiervermögen
- Guter Korrosionsschutz
- Multimetallverträglichkeit
- Hydrolysestabilität
- Hoher Viskositätsindex
- Hoher Druck-Viskositätskoeffizient
- Im Wälzlager wirksame grenzschichtbildende Additive
- Gute Verträglichkeit mit Elastomeren und Kunststoffen
- Ausgezeichnetes Reinigungsvermögen
- Problemlose Filtrierbarkeit
- Gute Verträglichkeit mit Konservierungsmitteln
- Besonders gute Langzeiteignung

Anforderungen an Umlauföle für Lager in der **Trockenpartie**:

- Beste Oxidationsstabilität
- Gutes Demulgiervermögen
- Guter Korrosionsschutz
- Multimetallverträglichkeit
- Hydrolysestabilität
- Hoher Viskositätsindex
- Hoher Druck-Viskositätskoeffizient
- Im Wälzlager wirksame grenzschichtbildende Additive
- Gute Verträglichkeit mit Elastomeren und Kunststoffen

- Ausgezeichnetes Reinigungsvermögen
- Problemlose Filtrierbarkeit
- Schaumverhinderung
- Vermeidung von Rückstandsbildung und Trübung
- Besondere Langzeiteignung

Eine aktuelle Liste mit von FAG empfohlenen Ölen für den Naßbereich und für die Trockenpartie erhalten Sie auf Anfrage.

Versorgung der Lager mit Öl

Welche Ölmenge im Einzelfall zugeführt werden muß, hängt im wesentlichen von den jeweiligen Bedingungen der Wärmezu- und -abfuhr ab. Bei hohen Drehzahlkennwerten ($n \cdot d_m > 300\,000 \text{ min}^{-1} \cdot \text{mm}$, z. B. bei Saugwalzen) sind Wärmebilanzrechnungen entsprechend FAG-Publ.-Nr. WL 81 115/4 zu empfehlen.

Zur Schmierung der Lager selbst ist nur eine sehr geringe Ölmenge erforderlich. Aus Sicherheitsgründen und um zu gewährleisten, daß immer alle Kontaktflächen mit Öl versorgt werden, wählt man aber wesentlich größere Mengen. Eine weitere Steigerung wird notwendig, wenn gezielte Wärmeabfuhr vorgesehen wird.

Auch bei ölgeschmierten Lagern sollte man den Vorteil der direkten Schmierstoffzufuhr durch Schmiernut und -bohrungen der Laufringe nutzen.

Wälzlager müssen bereits beim Anlaufen der Maschine mit Schmierstoff versorgt werden. Bei einer Ölumlaufschmierung sollte daher die Förderpumpe bereits vor dem Start der Maschine anlaufen.

FAG-Empfehlungen für die Ölmen gen bei den einzelnen Lagerungen der Papiermaschine sind in den Diagrammen auf Seite 36 und 37 angegeben.

Druckverlust bei Ölumlaufschmierung

Wie bereits ausgeführt, soll das Öl möglichst direkt in die Lager gelangen. Das kühlende Öl wird so ohne vorherige Erwärmung in die zu schmierenden Kontaktbereiche geführt und kann dort Wärme aufnehmen und abtransportieren. Wegen der niedrigeren Temperatur hat das Öl eine höhere Viskosität, so daß sich ein tragfähigerer Schmierfilm aufbauen kann.

Durch die Schmiernuten in den FAG Pendelrollenlagern und zweireihigen Zylinderrollenlagern kann bei größeren Ölmen gen ein Druckverlust auftreten. Bei einer großen Lageranzahl - wie in Papiermaschinen - ist dies bei der Auslegung der Umlaufanlage durch eine höhere Pumpenleistung zu berücksichtigen. Entscheidend für den Druckverlust sind die Abmessungen der Schmiernuten. Der Einfluß der Schmierbohrungen ist vernachlässigbar klein. Näherungsweise berechnet man den Druckverlust mit der Formel

$$\Delta p = 44 \cdot 10^{-5} \frac{H^2 \cdot D}{[(H - t) \cdot t]^3} \cdot Q \cdot v \text{ [bar]}$$

wobei

Q	Öldurchflußmenge	[l/min]
v	Ölviskosität	[mm ² /s]
H	Breite der Schmiernut	[mm]
t	Tiefe der Schmiernut	[mm]
D	Lageraußendurchmesser	[mm]

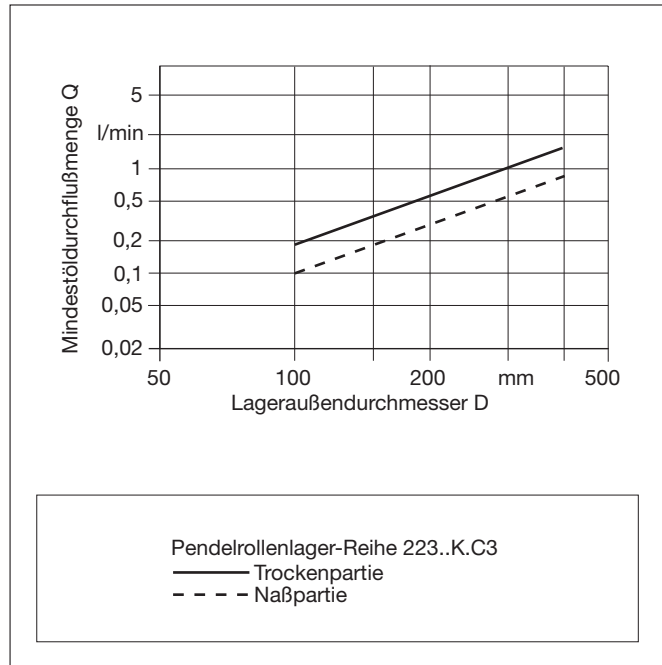
Zur Verminderung des Druckverlustes bei großen Ölmen gen ist es zweckmäßig, zusätzlich im Gehäuse eine Umfangsnut anzubringen. Dies ist auch bei Loslagern mit größerem Verschiebeweg zu empfehlen, um die Ölzufuhr sicherzustellen.

Dimensionierung und Schmierung von Wälzlagern

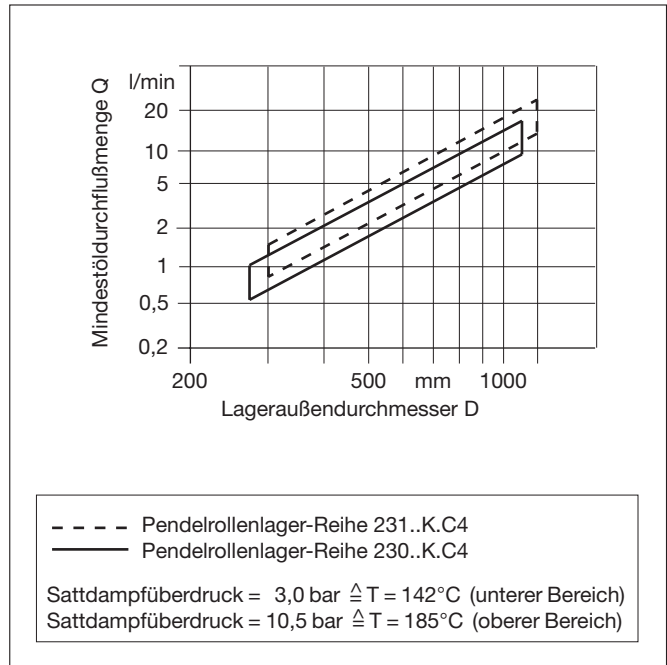
Schmierung

Mindestöldurchflusssmengen bei Umlaufschmierung

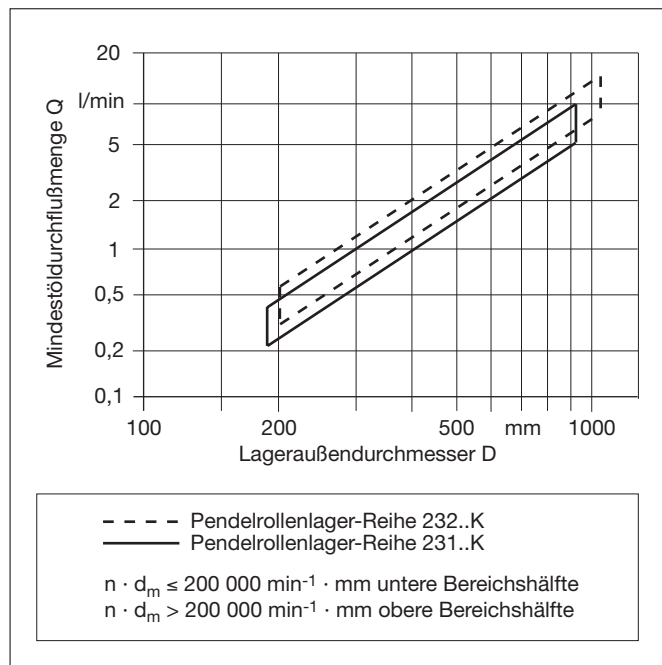
für Wälzlager in Leitwalzen



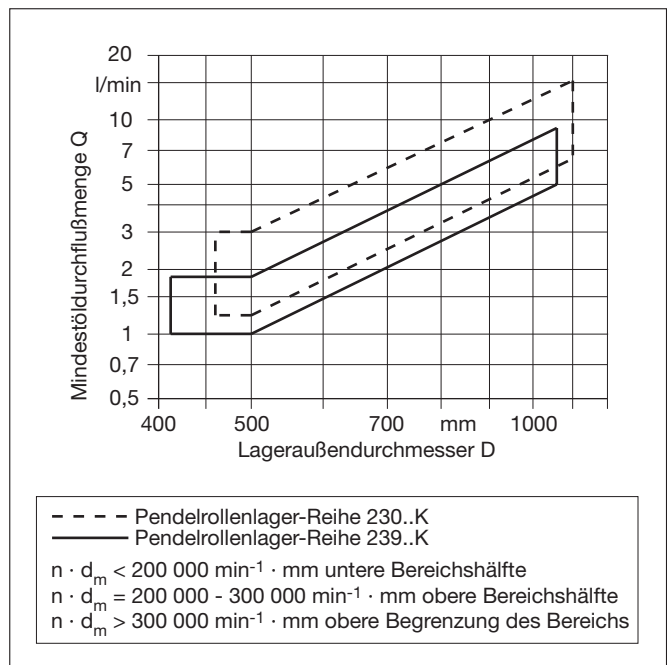
für Wälzlager in Trocken- und Glättzylindern



für Wälzlager in Naßpressen

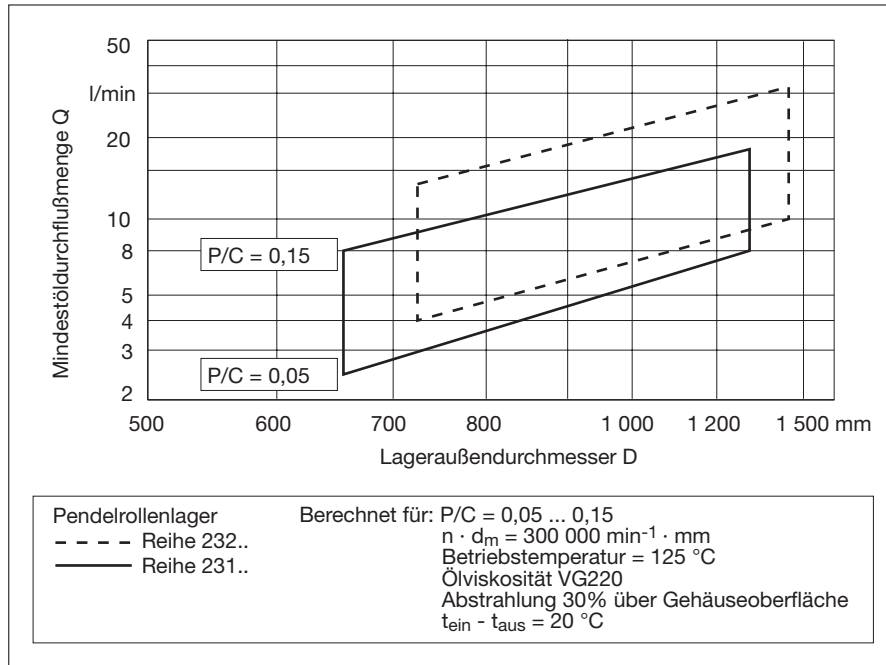


für Wälzlager in Siebsaugwalzen



Mindestöldurchflusssmengen bei Umlaufschmierung

für Wälzlager in Soft-Kalandern



Ölabführung

Bei relativ hohen Öldurchflusssmengen und bei verminderten Lagertemperaturen infolge Isolation und Kühlung kommt der Gestaltung des Ölablaufs eine besondere Bedeutung zu.

Nicht ausreichend dimensionierte Ölabläufe und höherviskose Öle können, besonders beim Kaltstart der Papiermaschine, eine Ölleckage bei den Gehäusen bewirken. Neben ausreichend großen Ablaufquerschnitten beiderseits der Lager mit ausreichend dimensionierten Ausgleichsbohrungen am tiefsten Punkt des Gehäuses sind die Ablaufrohre mit möglichst großem Gefälle zu versehen.

Wichtig ist auch, daß eine spätere Zusammenführung von Ablaufrohren mit einem entsprechend großen Durchmesser fortzuführen ist, um einen Rückstau zu vermeiden. Für eine genauere Dimensionierung im Gefällebereich der Ablaufleitung von 1 bis 5 % benutzt man die Formel

$$d_a = 11,7 \cdot \sqrt[4]{Q \cdot \nu / G} \text{ [mm]}$$

wobei

d_a	Durchmesser der Ablaufleitung	[mm]
Q	Öldurchflußmenge	[l/min]
ν	Ölviskosität	[mm ² /s]
G	Gefälle	[%]

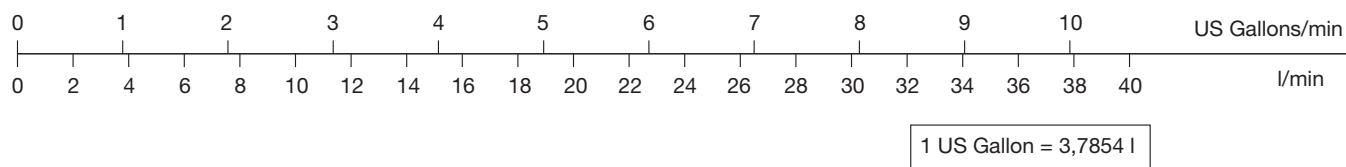
Tabellen

Umrechnung

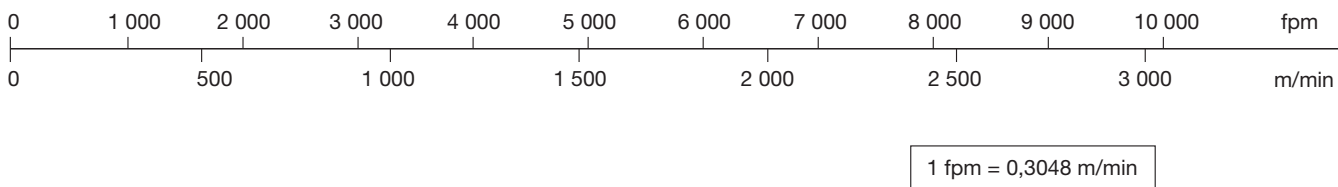
6 Tabellen

6.1 Umrechnung

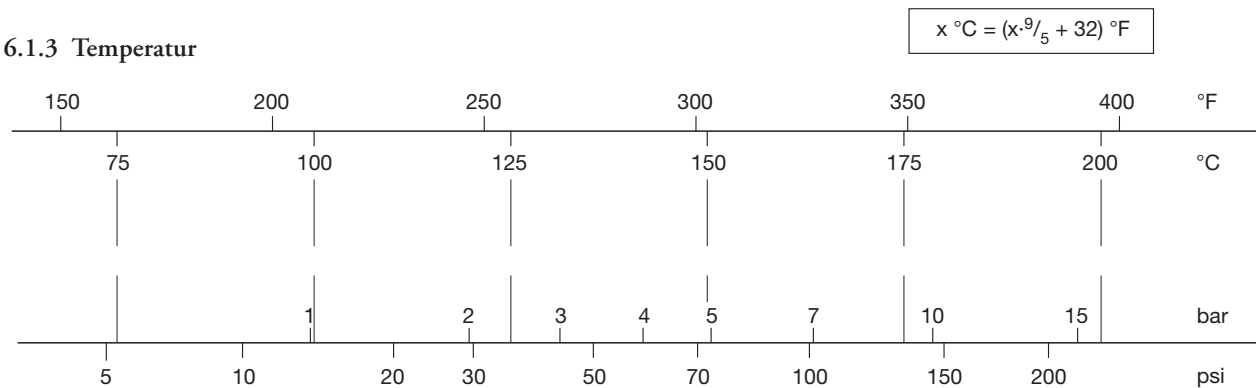
6.1.1 Durchflußmenge



6.1.2 Geschwindigkeit



6.1.3 Temperatur



6.1.4 Sattdampfdruck



6.2 Radialluft

6.2.1 Radialluft der FAG Zylinderrollenlager

Maße in mm																				
Nennmaß der Lagerbohrung	über bis	50 65	65 80	80 100	100 120	120 140	140 160	160 180	180 200	200 225	225 250	250 280	280 315	315 355	355 400	400 450	450 500	500 560	560 630	630 710

mit zylindrischer Bohrung

Lagerluft in µm																				
Luftgruppe CN (normal)	min	40	40	50	50	60	70	75	90	105	110	125	130	145	190	210	220	240	260	285
	max	70	75	85	90	105	120	125	145	165	175	195	205	225	280	310	330	360	380	425
Luftgruppe C3	min	60	65	75	85	100	115	120	140	160	170	190	200	225	280	310	330	360	380	425
	max	90	100	110	125	145	165	170	195	220	235	260	275	305	370	410	440	480	500	565
Luftgruppe C4	min	80	90	105	125	145	165	170	195	220	235	260	275	305	370	410	440	480	500	565
	max	110	125	140	165	190	215	220	250	280	300	330	350	385	460	510	550	600	620	705
Luftgruppe C5	min	110	130	155	180	200	225	250	275	305	330	370	410	455	510	565	625	600	620	705
	max	140	165	190	220	245	275	300	330	365	395	440	485	535	600	665	735	720	740	845

mit kegeliger Bohrung

Lagerluft in µm																				
Luftgruppe CN (normal)	min	50	60	70	90	100	110	125	140	155	170	185	205	225	255	285	315	350	380	435
	max	80	95	105	130	145	160	175	195	215	235	255	280	305	345	385	425	470	500	575
Luftgruppe C3	min	70	85	95	115	130	145	160	180	200	220	240	265	290	330	370	410	455	500	565
	max	100	120	130	155	175	195	210	235	260	285	310	340	370	420	470	520	575	620	705
Luftgruppe C4	min	90	110	120	140	160	180	195	220	245	270	295	325	355	405	455	505	560	620	695
	max	120	145	155	180	205	230	245	275	305	335	365	400	435	495	555	615	680	740	835
Luftgruppe C5	min	120	145	155	180	205	230	245	275	305	335	365	400	435	495	555	615	680	740	835
	max	150	180	190	220	250	280	295	330	365	400	435	475	515	585	655	725	800	860	975

6.2.2 Radialluftverminderung bei FAG Zylinderrollenlagern mit kegeliger Bohrung

Nennmaß der Lagerbohrung		Verminderung der Radialluft ¹⁾		Verschiebeweg ¹⁾ auf dem Kegel 1:12 ²⁾				Kontrollwert der kleinsten Radialluft nach dem Einbau			
d über mm	bis mm	min mm	max mm	Welle min mm	max mm	Hülse min mm	max mm	CN min mm	C3 min	C4 min	C5 min
50	65	0,03	0,035	0,45	0,55	0,5	0,65	0,02	0,035	0,05	0,085
65	80	0,035	0,04	0,55	0,6	0,65	0,7	0,025	0,04	0,07	0,105
80	100	0,04	0,045	0,6	0,7	0,65	0,8	0,03	0,05	0,075	0,11
100	120	0,045	0,055	0,7	0,85	0,8	0,95	0,045	0,065	0,085	0,125
120	140	0,055	0,065	0,85	1	0,95	1,1	0,045	0,07	0,095	0,14
140	160	0,06	0,075	0,9	1,2	1	1,3	0,05	0,075	0,105	0,155
160	180	0,065	0,085	1	1,3	1,1	1,5	0,06	0,08	0,11	0,16
180	200	0,075	0,095	1,2	1,5	1,3	1,7	0,065	0,09	0,125	0,18
200	225	0,085	0,105	1,3	1,6	1,4	1,8	0,07	0,1	0,14	0,2
225	250	0,095	0,115	1,5	1,8	1,6	2	0,075	0,105	0,155	0,22
250	280	0,105	0,125	1,6	2	1,7	2,3	0,08	0,125	0,17	0,24
280	315	0,115	0,14	1,8	2,2	1,9	2,4	0,09	0,13	0,185	0,26
315	355	0,13	0,16	2	2,5	2,2	2,7	0,095	0,14	0,195	0,275
355	400	0,14	0,17	2,2	2,6	2,5	2,9	0,115	0,165	0,235	0,325
400	450	0,15	0,185	2,3	2,8	2,6	3,1	0,135	0,19	0,27	0,37
450	500	0,16	0,195	2,5	3	2,8	3,4	0,155	0,215	0,31	0,42
500	560	0,17	0,215	2,7	3,4	3,1	3,8	0,18	0,24	0,345	0,465
560	630	0,185	0,24	2,9	3,7	3,5	4,2	0,195	0,26	0,38	0,5
630	710	0,2	0,26	3,1	4,1	3,6	4,7	0,235	0,305	0,435	0,575

¹⁾ Abweichende Werte bei Benutzung des Verschiebe-
meßgeräts RKPMG beachten.

¹⁾ Es gilt: Lager, deren Radialluft vor dem Einbau in der
oberen Hälfte des Toleranzbereichs liegt, montiert man
mit dem größeren Wert der Radialluftverminderung
oder des axialen Verschiebewegs, Lager in der unteren
Hälfte des Toleranzbereichs mit dem kleineren Wert der
Radialluftverminderung oder des axialen Verschiebe-
wegs.

²⁾ Gilt nur für Vollwellen aus Stahl und für Hohlwellen,
deren Bohrung nicht größer ist als der halbe Wellen-
durchmesser. Für Hohlwellen mit $d/d_m > 0,5$ ist der
Verschiebeweg bei Stahl mit $1/f_1$ (Diagramm 3, Seite 25)
und bei Grauguß oder Sphäroguß zusätzlich mit w
(Diagramm 4, Seite 25) zu multiplizieren.

6.2.3 Radialluft der FAG Pendelrollenlager

		Maße in mm																						
Nennmaß der Lagerbohrung	über bis	50 65	65 80	80 100	100 120	120 140	140 160	160 180	180 200	200 225	225 250	250 280	280 315	315 355	355 400	400 450	450 500	500 560	560 630	630 710	710 800	800 900	900 1000	
mit zylindrischer Bohrung																								
		Lagerluft in µm																						
Luftgruppe CN (normal)	min max	40 65	50 80	60 100	75 120	95 145	110 170	120 180	130 200	140 220	150 240	170 260	190 280	200 310	220 340	240 370	260 410	280 440	310 480	350 530	390 580	430 650	480 710	
Luftgruppe C3	min max	65 90	80 110	100 135	120 160	145 190	170 220	180 240	200 260	220 290	240 320	260 350	280 370	310 410	340 450	370 500	410 550	440 600	480 650	530 700	580 770	650 860	710 930	
Luftgruppe C4	min max	90 120	110 145	135 180	160 210	190 240	220 280	240 310	260 340	290 380	320 420	350 460	370 500	410 550	450 600	500 660	550 720	600 780	650 850	700 920	770 1010	860 1120	930 1220	
Luftgruppe C5	min max	120 150	145 150	180 225	210 260	240 300	280 350	310 390	340 430	380 470	420 520	460 570	500 630	550 690	600 750	660 820	720 900	780 1000	850 1100	925 1190	1010 1300	1120 1440	1220 1570	

mit kegeliger Bohrung

		Lagerluft in µm																					
Luftgruppe	min max	55 75	70 95	80 110	100 135	120 160	130 180	140 200	160 220	180 250	200 270	220 300	240 330	270 360	300 400	330 440	370 490	410 540	460 600	510 670	570 750	640 840	710 930
Luftgruppe CN (normal)																							
Luftgruppe	min max	75 95	95 120	110 140	135 170	160 200	180 230	200 260	220 290	250 320	270 350	300 390	330 430	360 470	400 520	440 570	490 630	540 680	600 760	670 850	750 960	840 1070	930 1190
Luftgruppe C3																							
Luftgruppe	min max	95 120	120 150	140 180	170 220	200 260	230 300	260 340	290 370	320 410	350 450	390 490	430 540	470 590	520 650	570 720	630 790	680 870	760 980	850 1090	960 1220	1070 1370	1190 1520
Luftgruppe C4																							
Luftgruppe	min max	120 160	150 200	180 230	220 280	260 330	300 380	340 430	370 470	410 520	450 570	490 620	540 680	590 740	650 820	720 910	790 1000	870 1100	980 1230	1090 1360	1220 1500	1370 1690	1520 1860
Luftgruppe C5																							

6.2.4 Radialluftverminderung bei FAG Pendelrollenlagern mit kegeliger Bohrung

Nennmaß der Lagerbohrung	Verminderung der Radialluft ¹⁾		Verschiebeweg ²⁾ auf dem Kegel 1:12 ²⁾				Verschiebeweg ²⁾ auf dem Kegel 1:30 ²⁾				Kontrollwert der kleinsten Radialluft nach dem Einbau			
	min	max	Welle min	Hülse max	Welle min	Hülse max	Welle min	Hülse max	Welle min	Hülse max	CN min	C3 min	C4 min	C5 min
d über bis mm mm mm	min mm	max mm	min mm	max mm	min mm	max mm	min mm	max mm	min mm	max mm	min mm	min mm	min mm	min mm
50 65	0,03	0,04	0,45	0,6	0,5	0,7	–	–	–	–	0,025	0,035	0,055	0,08
65 80	0,04	0,05	0,6	0,75	0,7	0,85	–	–	–	–	0,025	0,04	0,07	0,1
80 100	0,045	0,06	0,7	0,9	0,75	1	1,7	2,2	1,8	2,4	0,035	0,05	0,08	0,12
100 120	0,05	0,07	0,7	1,1	0,8	1,2	1,9	2,7	2	2,8	0,05	0,065	0,1	0,15
120 140	0,065	0,09	1,1	1,4	1,2	1,5	2,7	3,5	2,8	3,6	0,055	0,08	0,11	0,17
140 160	0,075	0,1	1,2	1,6	1,3	1,7	3	4	3,1	4,2	0,055	0,09	0,13	0,2
160 180	0,08	0,11	1,3	1,7	1,4	1,9	3,2	4,2	3,3	4,6	0,06	0,1	0,15	0,23
180 200	0,09	0,13	1,4	2	1,5	2,2	3,5	4,5	3,6	5	0,07	0,1	0,16	0,24
200 225	0,1	0,14	1,6	2,2	1,7	2,4	4	5,5	4,2	5,7	0,08	0,12	0,18	0,27
225 250	0,11	0,15	1,7	2,4	1,8	2,6	4,2	6	4,6	6,2	0,09	0,13	0,2	0,3
250 280	0,12	0,17	1,9	2,6	2	2,9	4,7	6,7	4,8	6,9	0,1	0,14	0,22	0,32
280 315	0,13	0,19	2	3	2,2	3,2	5	7,5	5,2	7,7	0,11	0,15	0,24	0,35
315 355	0,15	0,21	2,4	3,4	2,6	3,6	6	8,2	6,2	8,4	0,12	0,17	0,26	0,38
355 400	0,17	0,23	2,6	3,6	2,9	3,9	6,5	9	6,8	9,2	0,13	0,19	0,29	0,42
400 450	0,2	0,26	3,1	4,1	3,4	4,4	7,7	10	8	10,4	0,13	0,2	0,31	0,46
450 500	0,21	0,28	3,3	4,4	3,6	4,8	8,2	11	8,4	11,2	0,16	0,23	0,35	0,51
500 560	0,24	0,32	3,7	5	4,1	5,4	9,2	12,5	9,6	12,8	0,17	0,25	0,36	0,55
560 630	0,26	0,35	4	5,4	4,4	5,9	10	13,5	10,4	14	0,2	0,29	0,41	0,63
630 710	0,3	0,4	4,6	6,2	5,1	6,8	11,5	15,5	12	16	0,21	0,31	0,45	0,69
710 800	0,34	0,45	5,3	7	5,8	7,6	13,3	17,5	13,6	18	0,23	0,35	0,51	0,77
800 900	0,37	0,5	5,7	7,8	6,3	8,5	14,3	19,5	14,8	20	0,27	0,39	0,57	0,87
900 1000	0,41	0,55	6,3	8,5	7	9,4	15,8	21	16,4	22	0,3	0,43	0,64	0,97

²⁾ Abweichende Werte bei Benutzung des Verschiebe-
meßgeräts RKP.MG beachten.

¹⁾ Es gilt: Lager, deren Radialluft vor dem Einbau in der
oberen Hälfte des Toleranzbereichs liegt, montiert man
mit dem größeren Wert der Radialluftverminderung
oder des axialen Verschiebewegs, Lager in der unteren
Hälfte des Toleranzbereichs mit dem kleineren Wert der
Radialluftverminderung oder des axialen Verschiebe-
wegs.

²⁾ Gilt nur für Vollwellen aus Stahl und für Hohlwellen,
deren Bohrung nicht größer ist als der halbe Wellen-
durchmesser. Für Hohlwellen mit $d/d_m > 0,5$ ist der
Verschiebeweg bei Stahl mit $1/f_1$ (Diagramm 3, Seite 25)
und bei Grauguß oder Sphäroguß zusätzlich mit w
(Diagramm 4, Seite 25) zu multiplizieren.

Schaeffler KG

Postfach 1260

97419 Schweinfurt

Georg-Schäfer-Straße 30

97421 Schweinfurt

Telefon +49 9721 91-3689

Telefax +49 9721 91-4908

E-Mail pulp+paper@schaeffler.com

www.fag.de

Alle Angaben wurden sorgfältig erstellt und überprüft. Für eventuelle Fehler oder Unvollständigkeiten können wir jedoch keine Haftung übernehmen. Änderungen, die dem Fortschritt dienen, behalten wir uns vor.

© Schaeffler KG · 2006, November

Nachdruck, auch auszugsweise, nur mit unserer Genehmigung.

WL 13 103/2 DA