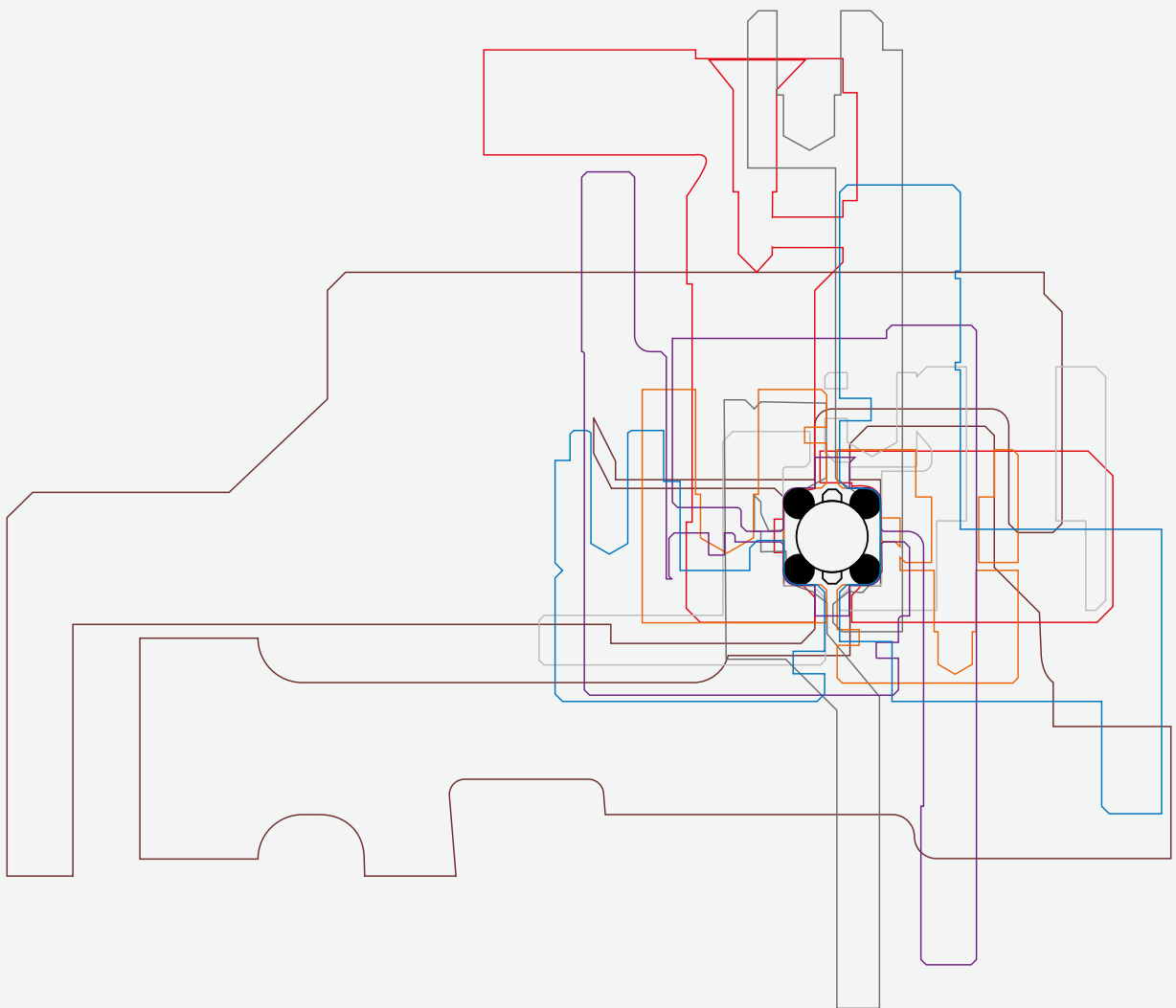


Franke Whitepaper



Drahtwälzlager im technischen Fokus

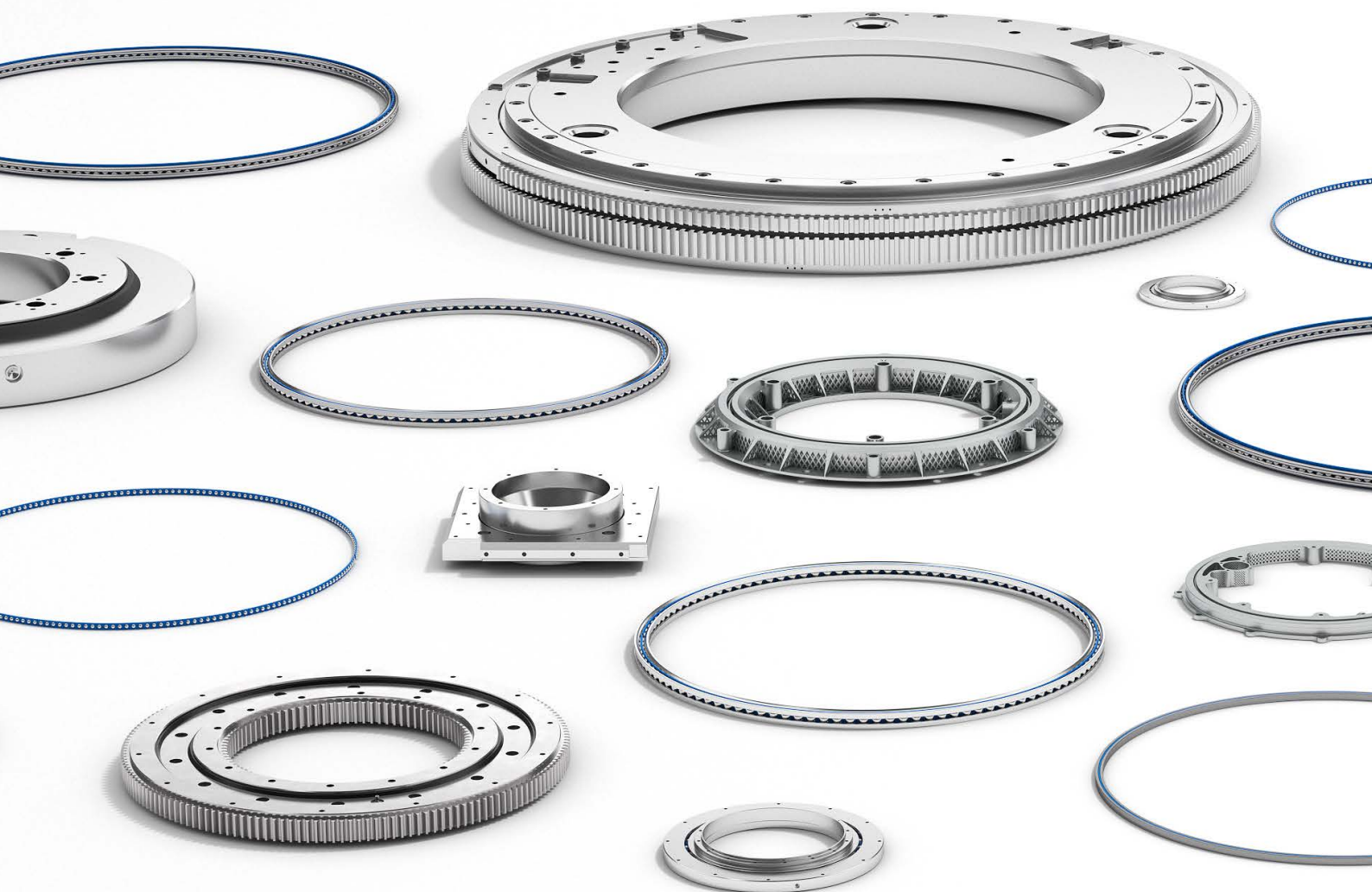
Aufbau, Funktion und Anwendung



Drahtwälzlager im technischen Fokus

Inhalt

1. Drahtwälzlager	
1.1 Bestandteile	3
1.2 Bauformen	3
2. Technische Grundlagen	
2.1 Aufbau einer Drehverbindung mit Drahtwälzlager	4
2.2 Schleiftechnik, Drahtbett	5
2.3 Geometrische Anpassung	6
2.4 Stabilisierung, Vorspannung und Reibungsverhalten	7
2.5 Tragwinkel Belastungsarten	8
3. Das Franke-Prinzip im industriellen Einsatz	9
Kontakt	11



1. Drahtwälzlager

1.1 Bestandteile

Der entscheidende Unterschied zwischen einem gewöhnlichen Kugellager und einem Drahtwälzlager liegt in den Laufringen. Beim Drahtwälzlager rollen die Wälzkörper nicht auf gehärteten Gehäuseteilen ab, sondern auf filigranen Laufringen aus Draht. Die Vorzüge dieses Prinzips erlauben es, freier und einfacher zu konstruieren, um bessere Produkte zu entwickeln. Die unterschiedlichen Kugallager-Typen unterscheiden sich hierbei unter anderem in der Beschaffenheit der Laufringe.

Drahtwälzlager bestehen in der Regel aus vier Laufringen, die entweder profiliert (**Bild 1**) oder geschliffen (**Bild 2**) sind. Geschliffene Laufringe kommen vor allem dann zum Einsatz, wenn höchste Genauigkeit und exzellente Laufeigenschaften gefordert sind. Auf diesen filigranen Drähten bewegen sich Kugeln oder Rollen (**Bild 3**), die einen leichten Lauf ermöglichen und gleichzeitig die Last optimal verteilen. Rollen werden insbesondere dann verwendet, wenn hohe Kippmomente aufgenommen werden müssen und dennoch ein geringer Drehwiderstand gewährleistet sein soll. Ein Käfig hält die Wälzkörper in gleichmäßigem Abstand und sorgt damit für Laufruhe und Stabilität.



Bild 1: Kugellager mit geschliffenen Laufbahnen



Bild 2: Kugellager mit profilierten Laufbahnen



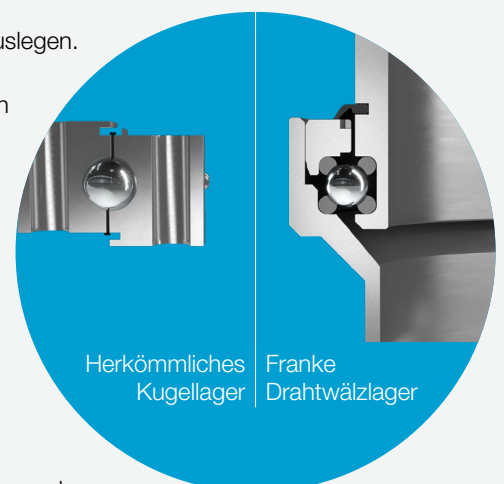
Bild 3: Rollenlager mit geschliffenen Laufbahnen

1.2 Bauformen

Die Bauweise von Drahtwälzlagern erlaubt maximale Gestaltungsfreiheit bei der Materialwahl der umschließenden Konstruktion: Ob Grauguss, Stahl, Aluminium oder Buntmetalle – nahezu jeder Werkstoff kann verwendet werden, um die Lagerkomponenten aufzunehmen. In Hightech-Anwendungen kommen heute sogar faserverstärkte Kunststoffe, Titanlegierungen oder 3D-gedruckte Spezialwerkstoffe zum Einsatz – insbesondere dort, wo extreme Bedingungen herrschen, etwa in der Forschung, der Luft- und Raumfahrt oder der Medizintechnik.

Kund:innen können ihre Gehäusekonstruktion direkt um das Drahtwälzlager herum auslegen. Dadurch wird wertvoller Bauraum eingespart und ein hohes Maß an Flexibilität in der Konstruktion erreicht. Drahtwälzlager sind sowohl als einzelne Lagerelemente als auch als vollständig integrierte Drehverbindungen verfügbar, etwa mit Verzahnungen, Bohrildern, Antrieben oder sogar mit 3D-gedruckten Gehäusen – all dies ist ideal für kompakte, leichte und hochpräzise Anwendungen. Zudem lassen sich Vorspannung und Drehwiderstand präzise einstellen, was besonders dann von Vorteil ist, wenn Bauteilverformungen auftreten oder höchste Laufruhe gefordert ist.

Was einst als Schwenklager für optische Geräte begann, hat sich über Jahrzehnte zu einer ganzen Familie spezialisierter Lagerformen entwickelt. Vom ultraflachen Dünnringlager bis zur angetriebenen Drehverbindung mit integriertem Torque-Motor – sie alle basieren auf dem Grundprinzip von Franke. Selbst 75 Jahre nach seiner Erfindung zeigt das Drahtwälzlager immer neue Einsatzmöglichkeiten und bleibt ein aktuelles Thema für Entwickler:innen und Entscheider:innen, die auf kompakte Präzision setzen.



2. Technische Grundlagen

2.1 Aufbau einer Drehverbindung mit Drahtwälzlager

Die Abbildungen 1 und 2 zeigen den grundsätzlichen Aufbau eines Franke-Drahtwälzlagers für beliebige Beanspruchung. Das Lager besteht aus vier Kugellaufringen, einem in einem Flachkäfig geführten Kugelkranz, dem ungeteilten Innenring, sowie einem geteilten Außenring, der wahlweise außen oder innen liegen kann. Zur Abstimmung werden Beilagen verwendet (**Bild 3**), die heute oft durch die massgenaue Abstimmung eines Bundrings mit definiertem Übermaß oder durch einen Gewindinger ersetzt werden.

Im erstmals zusammengebauten Zustand (**Bild 2**) ist das Lager in der Regel noch nicht lagerluftgerecht eingestellt. Grund dafür ist die Einflussnahme der Toleranzlage der einzelnen Laufdrähte auf die tatsächliche Laufbahngeometrie. Der betriebsfertige Zustand wird deshalb in zwei Stufen erreicht: zunächst durch möglichst gezielte Fertigung der geometriebestimmenden Einzelteile und anschließend durch eine finale geometrische Anpassung im Rahmen des Endzusammenbaus.

Für die Auslegung auf höhere Lasten erhalten Franke-Lager eine optimierte Laufbahngeometrie, die innerhalb fertigungstechnischer Randbedingungen realisiert wird. Maßgeblich sind hier insbesondere das Verhältnis von Walzkörperdurchmesser zu Kugellaufringdurchmesser sowie die Anschliffentiefe der Laufbahn. Letztere beträgt bei heutigen Präzisionslagern bis zu 65 % des Drahtdurchmessers (vgl. **Bild 3**).

Die Grundlagen für die geometrische Auslegung wurden von Prof. Dr. W. Bauersfeld in seiner Arbeit „Theorie der Drahtwälzlager nach Franke“ formuliert (Zeiss, Jena). Heute erfolgt die Berechnung von statischer Tragfähigkeit und Lebensdauer nach modernen Methoden. Geometriefehler werden dabei durch gezielte Toleranzverkettung berücksichtigt – etwa über das umschließende Viereck sowie über Drahttoleranzen, Anschliff- und Schmiegungstoleranzen, die systematisch in die Laufbahnkontur eingerechnet werden.

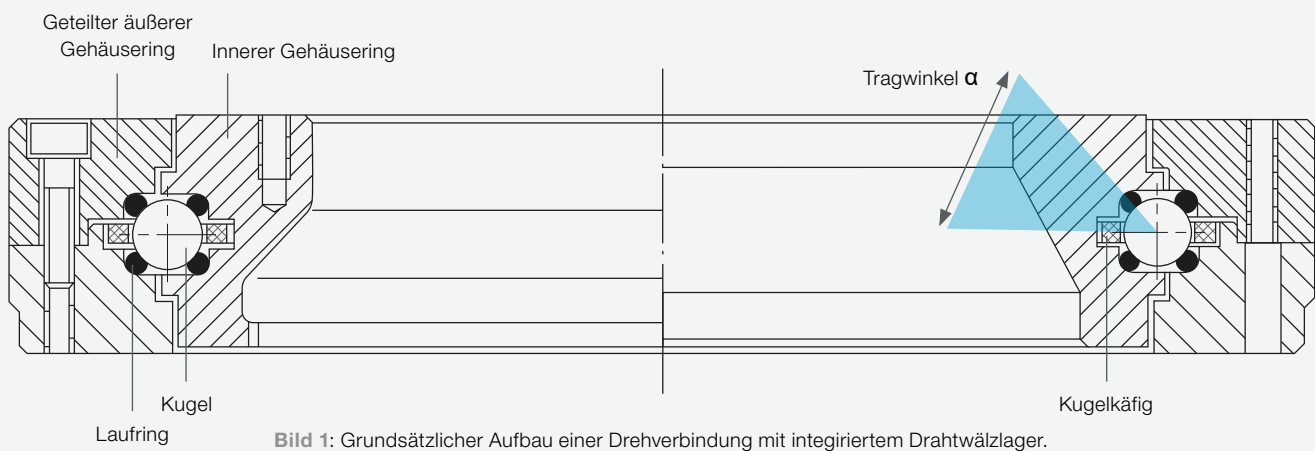


Bild 1: Grundsätzlicher Aufbau einer Drehverbindung mit integriertem Drahtwälzlager.

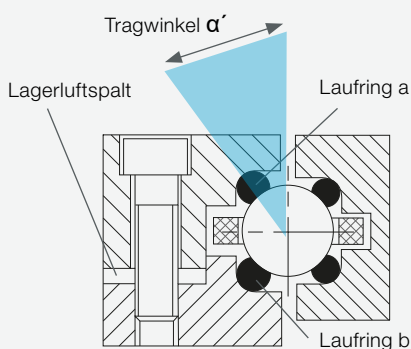


Bild 2: Querschnitt im erstmals montierten Zustand. Aufgrund von Fertigungstoleranzen beim Draht und bei der umschließenden Konstruktion haben die Laufringe a und b ihre vorbestimmte Lage noch nicht eingenommen.

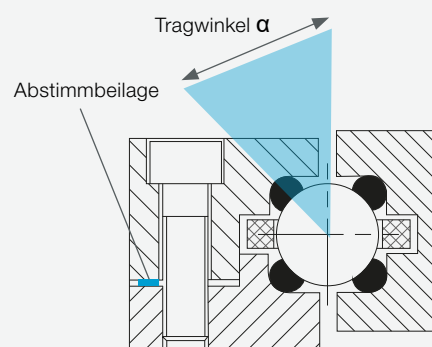


Bild 3: Fertig abgestimmte Drehverbindung. Durch die Abstimmung der Drehverbindung auf den definierten Drehwiderstand nehmen die Laufringe die vorbestimmte Anordnung ein. Abstimmeilagen sorgen für die zuverlässige Aufrechterhaltung der Abstimmung.

2.2 Schleiftechnik, Drahtbett und geometrische Anpassung

Die Herstellung hochwertiger Drahtwälzlager erfordert eine Reihe präziser spanender Bearbeitungsschritte. Besonders zentral sind das Schleifen der Kugellaufringe und die passgenaue Fertigung der Drahtbett-Hohlkehlen in den umschließenden Konstruktionselementen. Das präzise gleichmäßige Schleifen der dünnwandigen Ringe stellt nach wie vor eine anspruchsvolle Aufgabe dar, da bereits geringe Verzugsneigungen die Geometrie beeinträchtigen können.

Beim Franke-Lager werden Innen- und Außenlaufringe mit hoher Plan- und Ebenheit vorgeformt. Dabei wird die gewünschte Präzisionsform in die hochfesten Drahtringe „eingepreßt“. Beim späteren Schleifen der Laufbahn wird diese Form jedoch partiell gestört – ein gezielt einkalkulierter Effekt, der als „Revitalisierung“ bekannt ist. Durch eine definierte Vorbehandlung des Materials lässt sich dieses Verhalten steuern, sodass nur ein kleiner Teil der Laufringe nachträglich gerichtet werden muss. Die Werkstoffwahl spielt dabei eine zentrale Rolle: Selbst geringfügige Abweichungen in der Legierungszusammensetzung oder Wärmebehandlung können Einfluss auf die Schleifbarkeit und Formstabilität haben.

Nach der spanlosen Vorbearbeitung erhalten die Kugellaufringe einen genau definierten Schmiegradius (**Bild 4**). Dieser wird mittels eines speziell entwickelten Verfahrens eingeschleift. Die Einhaltung der verbleibenden Laufbahnstärke in Kombination mit dem eng tolerierten Radius erfordert höchste Schleifgenauigkeit – unterstützt durch kontinuierliche messtechnische Überwachung und digitale Prozesskontrolle.

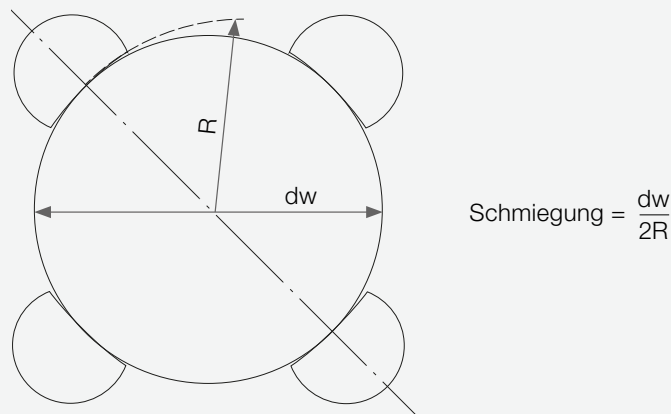


Bild 4: Berechnung der Schmiegradius

Das früher übliche Einwalzen der Laufbahnen mittels Übermaßkugeln hat heute nur noch in zwei Bereichen Bedeutung: Zum einen für das spanlose Formen schmaler Laufbahnen in der Feinwerktechnik – ein Spezialfall, der hier nicht vertieft wird. Zum anderen, und deutlich relevanter, dient das Einwalzen der finalen „geometrischen Anpassung“ beim Zusammenbau, auch Stabilisieren genannt. Dafür müssen die umschließenden Konstruktionsteile – insbesondere der geteilte Ring – über ausreichende Steifigkeit verfügen. Er wird mittels Spannschrauben unnachgiebig verspannt; bei geringem Querschnitt ist eine enge Schraubenteilung erforderlich.

Die Ausformung der Drahtbett-Hohlkehlen muss besonders sorgfältig erfolgen. In der Serienproduktion wird die Makro- und Mikroform der Drehwerkzeuge daher kontinuierlich überwacht – etwa mittels Profilprojektoren oder hochauflösender Messtechnik – um dauerhaft reproduzierbare Qualität sicherzustellen.



Das Franke-Prinzip lässt sich nicht nur für Drehbewegungen nutzen, sondern auch vorteilhaft in Linearlager-Systemen einsetzen – etwa als Alternative zu konventionellen Wälz- oder Gleitführungen für die präzise Geradföhrung von Maschinenteilen. Gerade in diesem Bereich hat sich in den letzten Jahren eine beachtliche Vielfalt an Produkten und Lösungen entwickelt.

www.franke-gmbh.de/linearfuehrung/individuelle-linearfuehrungen

2.3 Geometrische Anpassung durch definierte Vorspannung – der Weg zum betriebsfertigen Drahtwälzlager

Der betriebsfertige Zustand eines Franke-Drahtwälzlagers wird durch die gezielte Einstellung der Vorspannung $P_{V1,2}$ beim Endzusammenbau erreicht. Dieser Vorgang stellt einen fein abgestimmten Anpassungs- und Stabilisierungsprozess dar, bei dem die Laufbahngeometrie final korrigiert wird – sowohl zur Optimierung der Tragfähigkeit als auch zur Sicherstellung eines spielfreien Laufs.

Mehrere Einflussgrößen wirken in diesem Prozess zusammen:

- die kreisförmige Streckanpassung des Kugellauftrings an das Laufbahnbett (m_5),
- das Setzen der Kontaktflächen in der Betthohlkehle (m_3),
- die Verdichtung des Laufbahnäquators (m_4)
- sowie die daraus resultierende isogonale Tragwinkelkorrektur $\Delta\alpha'$ (siehe **Bild 5**)

Trotz der scheinbaren Komplexität ist dieser Ablauf in der Praxis problemlos beherrschbar – nicht zuletzt dank jahrzehntelanger Fertigungserfahrung und klar definierter Prozessparameter. Entscheidend für eine reproduzierbare Qualität ist die exakte Kenntnis der geometrischen Zusammenhänge und der richtige Umgang mit den Anpassgrößen – abhängig vom späteren Einsatzzweck des Lagers.

So werden zum Beispiel Hochgeschwindigkeitslager bereits bei der Vormontage mit einer exakt spezifizierten Vorspannung versehen, um während des Betriebs höchste Laufruhe und Belastbarkeit sicherzustellen. Die mechanische Vorspannung dient hier nicht nur der Spielfreiheit, sondern wirkt auch schwingungsdämpfend und lastverteilend – ein essenzieller Vorteil für moderne Anwendungen in Robotik, Automatisierung und dynamischer Antriebstechnik.

Einflussgrößen der Stabilisierungsvorspannung:

Gesamtwälzkörpervorlast $Q_v = Q_{v_0} + Q_{v_{1,2}}$

Betriebsvorlast $Qv_0 = f(F_a, F_r, M_k, n) \geq 0$

Stabilisierungsvorlast $Q_{v_{12}} = f(P_{v_3} + P_{v_4} + P_{v_5}) > 0$

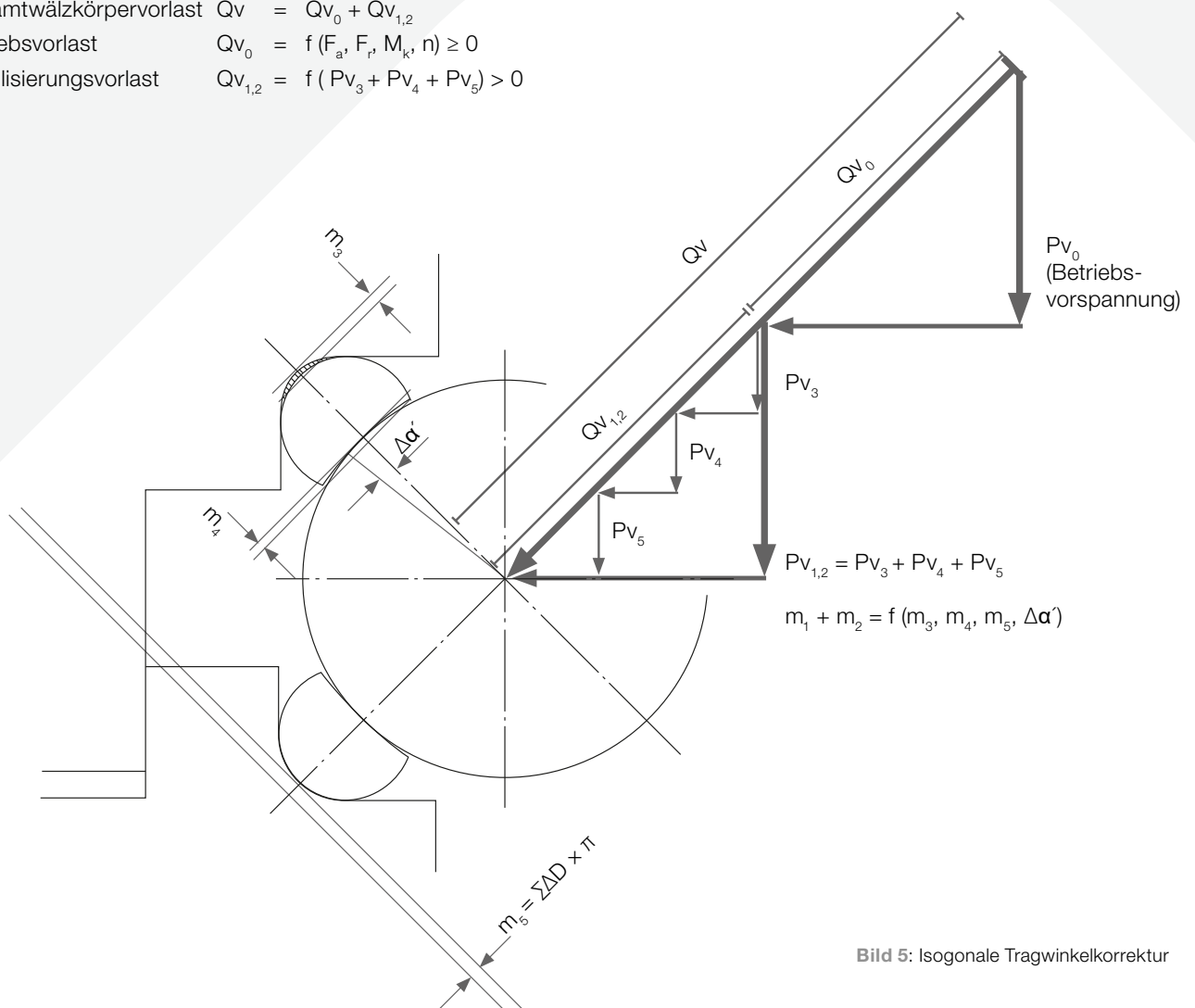


Bild 5: Isogonale Tragwinkelkorrektur

2.4 Stabilisierung, Vorspannung und Reibungsverhalten – Feinabstimmung für die Betriebsreife

Im Verlauf der Stabilisierung bis zum betriebsfertigen Zustand (siehe **Bild 6**) nähern sich die beiden äußeren Laufringe a und b (**Bild 2**, S. 4) um die Maße m_1 und m_2 (**Bild 5**, S. 6) einander an. Gleichzeitig verringert sich der Laufbahnäquator um den Betrag $2s$ – ein Effekt, der bei der konstruktiven Auslegung unbedingt berücksichtigt werden muss. Parallel dazu stellt sich der gewünschte Tragwinkel ein: von der Vorstufe α' auf den finalen Betriebswert α .

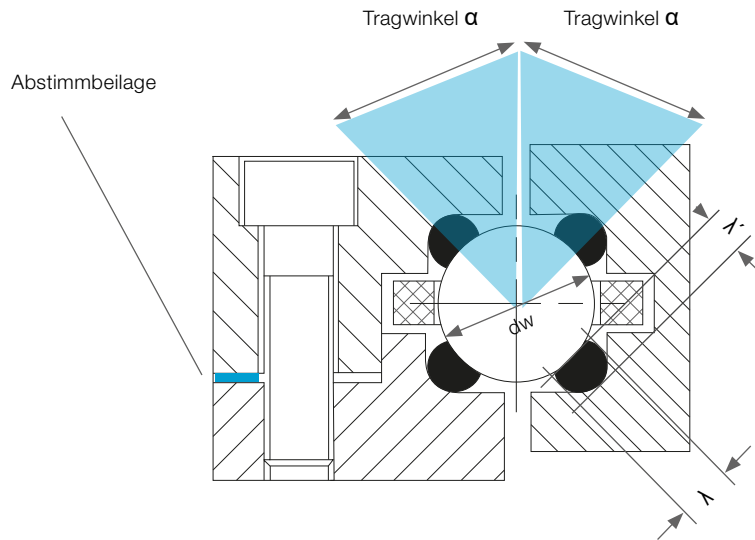


Bild 6: Fertig abgestimmte Drehverbindung
durch den Einsatz von Abstimmbeilagen.

Diese Stabilisierungsmaße sind exakt definierte Setzbeträge im Mikrometerbereich und dürfen nicht mit der eigentlichen Betriebsvorspannung P_{V_0} verwechselt werden. Die benötigte Vorspannkraft kann über geeignete Spanneinrichtungen aufgebracht werden – typischerweise durch mehrere gleichmäßig über den Lagerumfang verteilte Schrauben h. Für ein homogenes Setzverhalten ist der gleichmäßige Anzug der Schrauben mithilfe entsprechender Lehren sicherzustellen.

Nach Abschluss der Stabilisierung erfolgt die Einstellung auf den gewünschten Drehwiderstand. Durch eine feinfühlig axiale Abstimmung können letzte Korrekturen vorgenommen werden. Dabei ist zu beachten, dass stark belastete Drahtwälzlager im unbelasteten Zustand keinesfalls zu leichtgängig eingestellt sein sollten – entscheidend ist stets der Drehwiderstand unter Betriebslast.

Die Breite der vorgeschliffenen Laufbahnen unterliegt physikalischen Grenzen: Mit zunehmender Laufbahnbreite steigt der Anteil der Gleitreibung – verursacht durch die Neigung der Laufbahnebene um den Tragwinkel α zur Kugeldrehachse, was zu einer sogenannten Rollradiusdifferenz führt. Diese verursacht unterschiedliche Umfangsgeschwindigkeiten an den Kugelkontaktpunkten und somit Reibverluste. Durch eine gezielte Wahl des für die jeweilige Belastung kleinstzulässigen Tragwinkels α lässt sich auch bei breiten Laufbahnen der Gleitreibungsanteil in tolerierbaren Grenzen halten. In der neueren Fachliteratur wird dieser Effekt auch als Differentialreibung bezeichnet.

2.5 Tragwinkel, Belastungsarten und Bauformen – für vielseitige Einsatzmöglichkeiten

Rückblickend zeigt sich, dass die Tragwinkelkorrektur in der Praxis meist eine untergeordnete Rolle spielt. Ihr quantitativer Einfluss liegt in der Regel unter 10 % – typischerweise in Sonderfällen, bei denen Anwender aus Sicherheitsgründen gezielt die letzten Tragfähigkeitsreserven aktivieren wollten.

Mit der Einführung der Berechnungsgrundlagen nach DIN 622 für Franke-Drehverbindungen hat sich der Tragwinkel $\alpha = 45^\circ$ als bewährter Standard erwiesen. Er stellt bei kombinierter Belastung (axial, radial und kippend) einen praxisgerechten Kompromiss dar, der – mit wenigen Ausnahmen – bei allen Kataloglagern zur Anwendung kommt.

Die konstruktive Anordnung der vier Kugellaufringe in Form einer Prismenführung verleiht dem Franke-Lager eine außergewöhnlich hohe Vielseitigkeit: Es kann Axial- und Radialkräfte sowie Kippmomente in beliebiger Richtung aufnehmen (vgl. **Bild 7**). Diese Eigenschaften machen die Grundbauform zum idealen Querlängslager.

Für Anwendungen mit hohen Axialkräften und starken Kippmomenten bieten sich speziell ausgelegte Lager in Wechsellaager-Bauform an (**Bild 8**). Diese sind für dynamisch beanspruchte Systeme optimiert, in denen wechselnde Belastungsrichtungen auftreten.

Seltener kommt das Franke-Lager in einer reinen Längslager-Bauform zum Einsatz (**Bild 9**). In dieser Konfiguration eignet es sich als Drucklager, vor allem zur Aufnahme einseitig wirkender Axialkräfte. Je nach Verhältnis der Belastungen können bei dieser Variante zusätzlich auch Radialkräfte im Verhältnis bis zu 1:5 aufgenommen werden – eine bemerkenswerte Flexibilität, die das Lager auch für kompakte Spezialanwendungen qualifiziert.

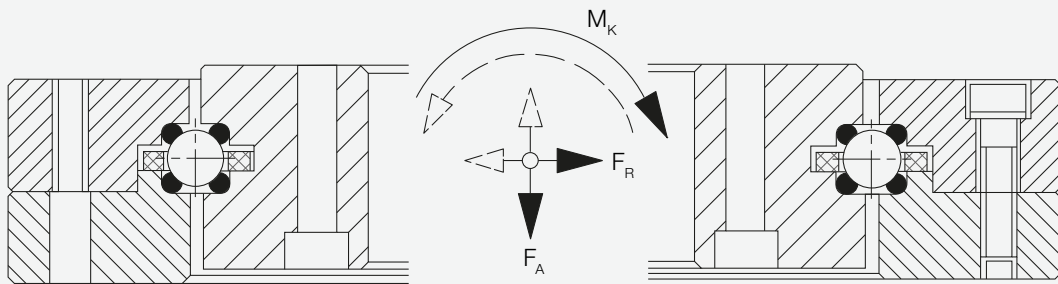


Bild 7: Grundbauform des Franke 4-Punkt-Lagers zur Aufnahme sämtlicher Längs- und Querkkräfte (Querlängslager)

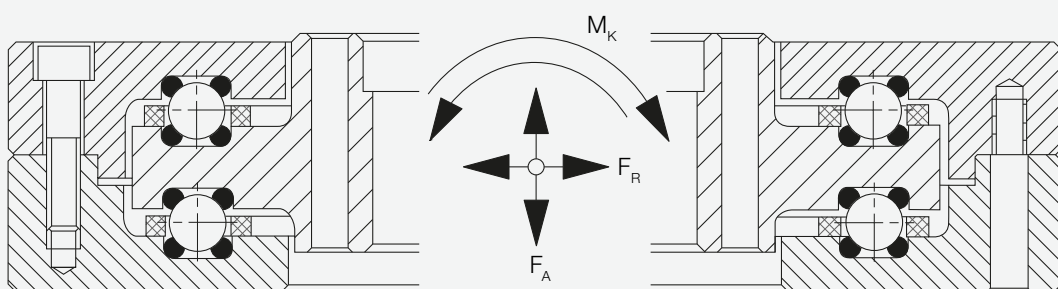


Bild 8: Franke-Wechsellaager für die Aufnahme großer Axial- und Radialkräfte und Momente.

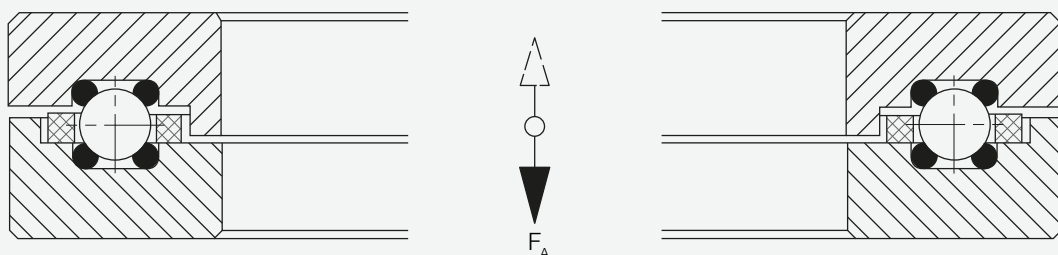


Bild 9: Franke Längslager für die Aufnahme von einseitig wirkenden Axialkräften.
Radialkräfte können bis zum 1/5 der ständig wirkenden Axialkräfte betragen.

3. Das Franke-Prinzip im industriellen Einsatz

Das Potenzial seines Franke-Prinzips bei Wälzlagerern geht über die klassischen Bauformen hinaus. Mehrreihige Rollenlager sowie kombinierte Kugel-Rollenlager bauen die Anwendungsmöglichkeiten weiter aus. Aufgrund hoher fertigungstechnischer Anforderungen bleiben diese Sonderbauformen jedoch weitgehend spezialisierten Einsatzfeldern vorbehalten. Eine breite Anwendung finden dagegen ein- und mehrreihige Drahtrollenlager, insbesondere in Bereichen, wo höchste Belastbarkeit bei kompakten Abmessungen gefragt ist.

Drahtwälzlager besitzen je nach Auslegung individuelle Vorzüge:



korrosionsbeständig



lebensmittel-
verträglich



hochdynamisch



schmierstofffrei



superleicht



extrem kälte- und
hitzebeständig

Die besondere Stärke des Franke-Prinzips liegt im konstruktiven Freiraum, den es Ingenieur:innen und Entwickler:innen bietet. Dieser Freiraum wurde in zahlreichen Projekten in hochwertige, wirtschaftlich überzeugende Lösungen übersetzt – oft in Zusammenarbeit mit den Anwendungsspezialisten des Herstellers. Durch gezielte technische Beratung, langjährige Erfahrung und hohe Fertigungskompetenz lassen sich auch anspruchsvollste Anforderungen in modernen Hightech-Branchen zuverlässig erfüllen.

Gerade bei innovativen Entwicklungen ist eine enge, partnerschaftliche Zusammenarbeit zwischen Anwender:innen und Hersteller:innen entscheidend. In solchen Fällen wird das Lagerprinzip bereits in der Grundkonzeption integriert. Eine vertrauliche Behandlung der Konstruktionsdaten ist dabei selbstverständlich und bildet die Basis für gemeinsame Erfolge.



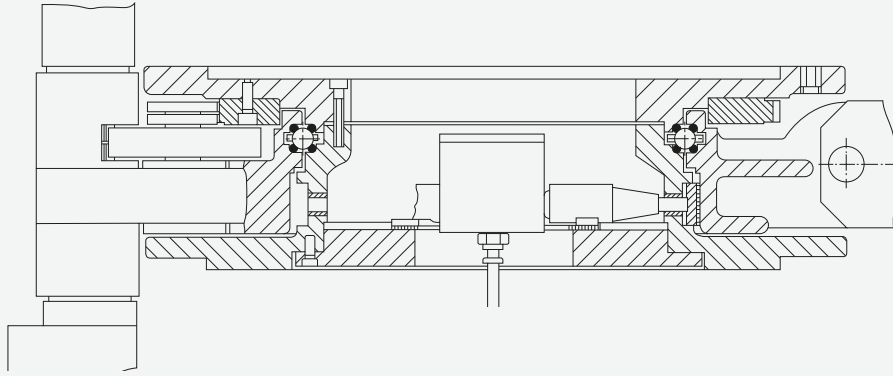


Bild 10: Lagerung eines Rotationsmoduls für die Anordnung von Proben in einem Messfeld.

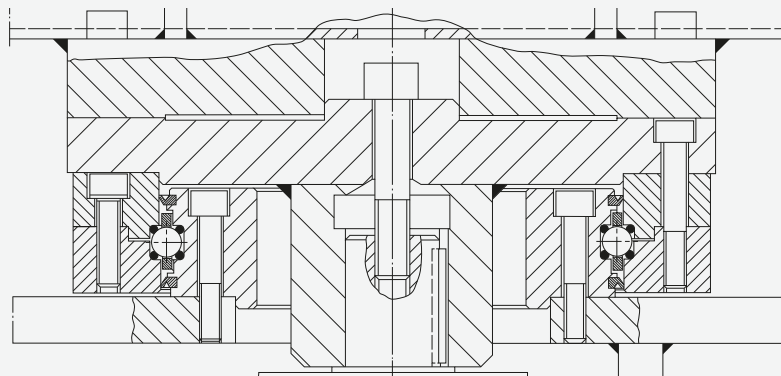


Bild 11: Drehtisch mit Zentrallagerung.

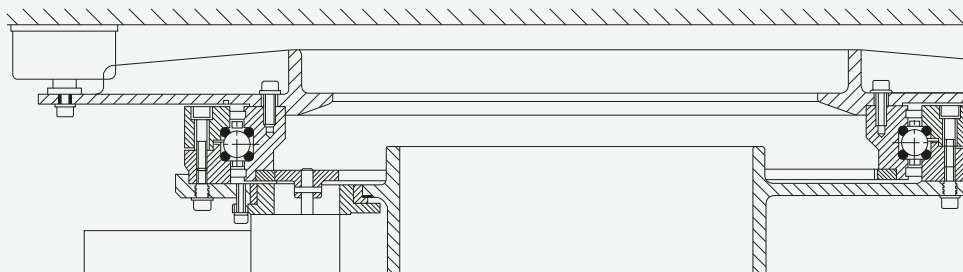


Bild 12: Leichtbaulager zur Bewegung eines Kamera-Schwenkkopfes an einem Helikopter

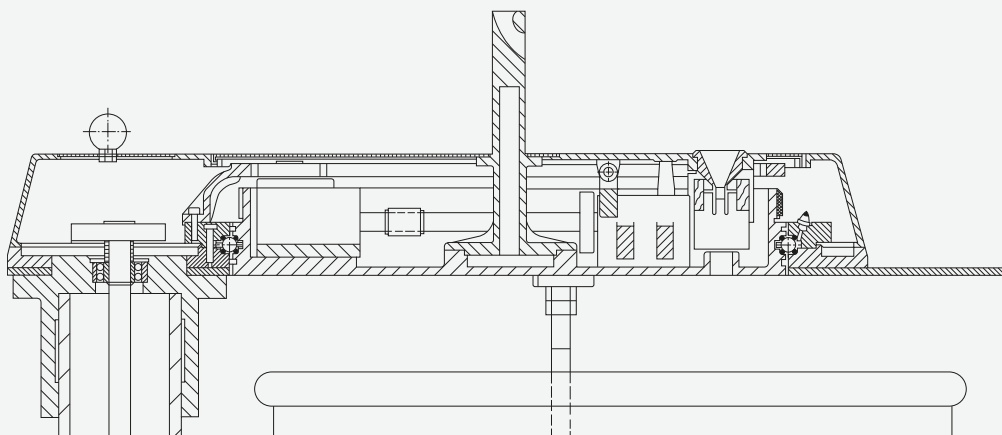


Bild 13: Kannenstocklagerung in einer Rundstrickmaschine.

Mit vier Drähten zur besseren Konstruktion



1. Kompakte Bauweise: Drahtwälzlager benötigen weniger Platz, da die Wälzkörper auf Drähten ablaufen. Dies ist besonders vorteilhaft bei Anwendungen mit begrenztem Einbauraum.



2. Geringes Gewicht: Durch die Verwendung von leichten Werkstoffen für die Umschließende Konstruktion sind Drahtwälzlager leichter als herkömmliche Wälzlager. Dies ermöglicht den Aufbau leichtgewichtiger Maschinen und Vorrichtung und reduziert die bewegten Massen.



3. Hohe Tragfähigkeit: Trotz ihrer kompakten Bauweise können Drahtwälzlager hohe Lasten aufnehmen und Kräfte aus allen Richtungen kompensieren.



4. Konstruktive Freiheit: Werkstoff und Geometrie der umschließenden Konstruktion können frei gewählt werden, da die Laufringe des Drahtwälzlagers alle Lasten tragen.



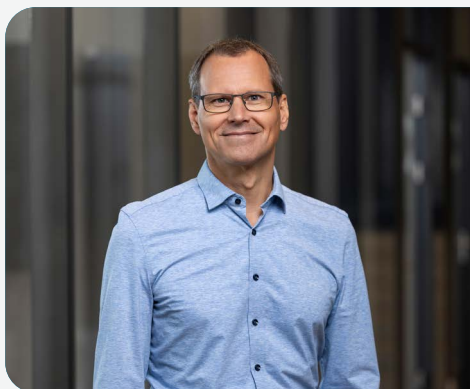
5. Geringer Drehwiderstand: Drahtwälzlager überzeugen durch ihren leichten Lauf und die dadurch bedingte hohe Effizienz und lange Lebensdauer.



6. Ökonomisch: Der Einsatz von Drahtwälzlagern ermöglicht den Aufbau materialreduzierter Drehverbindungen aus beliebigen Werkstoffen. Dabei werden die Laufdrähte direkt in die weiterführende Konstruktion integriert. Der Einsatz teurer, gehärteter Lagergehäuse aus Stahl kann entfallen.



7. Nachhaltig: Durch die Möglichkeit, das integrierte Drahtwälzlager nach Erreichen der Lebensdauer auszuwechseln, lassen sich komplexe Drehverbindungen länger einsetzen. Gegenüber einer Neuanschaffung werden dadurch Kosten reduziert und Ressourcen geschont.



Eine kompetente Beratung ist die Basis für eine passende Lösung.

Gerne berate ich Sie persönlich!

Arne Jankowski

Technischer Berater

☎ +49 7361 920 185

✉ a.jankowski@franke-gmbh.de