Institut für Maschinenkonstruktion und Tribologie
Prof. Dr.-Ing. Gerhard Poll

Leibniz Universität Hannover

Versuchstechnik 2022

Institut für Maschinenkonstruktion und Tribologie (IMKT)
Gottfried Wilhelm Leibniz Universität Hannover
Gebäude 8143
An der Universität 1
D-30823 Garbsen
Fax. +49 511.762 – 4925

www.imkt.uni-hannover.de

Inhaltsverzeichnis

Einleitung 1

Wälzlager 2

- Dauerschwenkprüfstand 2
- Drei-Lager-Radiallebensdauerprüfstand 3
- Einzellagerprüfstand (ELP) 3
- FE8-Lagerprüfstände 4
- Großwälzlagerprüfstand (GWLP) 4
- Hochdrehzahl-Lagerprüfstand (HDL) 5
- Laufrollenversuchsstand 5
- Radsatzlagerprüfstand (R3) 6
- Schwenkprüfstand 6
- Universallagerprüfstand 7
- Universalreibungsprüfstand 7
- Vier-Lager-Axiallebensdauerprüfstand 8
- Vier-Lager-Radiallebensdauerprüfstand 8
- Wälzlagerlebensdauerprüfstand für Komplexbeanspruchung 9
- Zwei-Lager-Radiallebensdauerprüfstand (R2) 9

Rheologie/EHD & Schmierstoffanalytik 10

- EHL-Tribometer 10
- Zweischeibenversuchsstand 11

Dichtungen 12

- Sechsfach-Dichtungsprüfstand 12
- Zwölffach-Dichtungsprüfstand 13

Antriebstechnik 14

- Antriebsstrangprüfstand 14
- FZG-Verspannungsprüfstand 15
- Universalreibflächenprüfstand 15
- Zweiwellen-Universalreibflächenprüfstand 16

Mikrotribologie 17

- Milli-Tribometer 17
- Ball-on-Ring Tribometer 18

Einleitung

Das Institut für Maschinenkonstruktion und Tribologie (IMKT) der Gottfried Wilhelm Leibniz Universität Hannover forscht an vielschichtigen Fragestellungen der Tribologie im Rahmen von öffentlich geförderten Forschungsvorhaben und direkten Industriekooperationen. Der experimentellen Versuchstechnik wird dabei ein hoher Stellenwert zugemessen. Ein ausgedehntes Prüffeld ermöglicht Untersuchungen an einem weiten Spektrum von antriebstechnischen Systemen, Maschinenelementen oder experimentellen Modellaufbauten. Die experimentellen Analysen unter definierten und realistischen Betriebsbedingungen ermöglichen die Beschreibung des Verhaltens des jeweiligen Bauelements oder tribologischen Systems, liefern Eingangsdaten für die Berechnung und dienen zur Verifizierung der Rechenmodelle.

An Komponentenprüfständen werden einzelne Maschinenelemente (z.B. Wälzlager, Zahnräder, Dichtungen, Synchronisierungen) eingesetzt und das Einsatz- und Funktionsverhalten bzw. die Gebrauchs- und Lebensdauer experimentell untersucht. Diese Art von Prüfständen steht für alle Maschinenelemente, die am IMKT untersucht werden, in unterschiedlichen Ausprägungen und zum Teil in standardisierter bzw. extern zertifizierter Ausführung zur Verfügung. An den einzelnen Versuchseinrichtungen können bereits eine Vielzahl von Versuchsparametern (z.B. Drehzahl, Belastungshöhe und -richtung) und Betriebsbedingungen (z.B. Schmierungsart, Temperatur, Beaufschlagung mit zusätzlichen Medien) eingestellt und mit unterschiedlichen Methoden Untersuchungen durchgeführt werden. Für noch tiefergehende Untersuchungen werden die tribologischen Bedingungen der zu untersuchenden Systeme oder Maschinenelemente abstrahiert und an Modellprüfständen mit hochpräziser Messtechnik untersucht. Zusätzlich stehen unterschiedliche Laborgeräte zur Verfügung mit denen z.B. Schmierstoffkennwerte ermittelt oder die experimentell untersuchten Bauteile befundet werden können.

Mit Hilfe der eigenen Fertigung, der Erfahrung im Bau und Betrieb der Versuchstechnik sowie der zur Verfügung stehenden Ausstattung können die Aufbauten insbesondere hinsichtlich der Geometrie des Untersuchungsgegenstandes und der eingesetzten Untersuchungsmethoden weiter angepasst oder sogar gänzliche neue Versuchseinrichtungen entwickelt werden. So sind unterschiedliche Systeme zur Temperierung (Heizen und Kühlen) verfügbar, die mobil eingesetzt werden können. Hinsichtlich der Untersuchungsmethoden können z.B. optische Untersuchungen an drehenden Aufbauten mit mehreren Hochgeschwindigkeitskameras und Thermografiesystemen durchgeführt werden, wobei ebenfalls Methoden der Fluoreszenz zum Einsatz kommen können.

Nachfolgende Übersicht der Versuchstechnik deckt aufgrund der Vielzahl an vorhandenen und denkbaren Kombinationen und Adaptierungen der Versuchseinrichtungen nur einen Teil der technischen Möglichkeiten ab. Zur Gliederung der Übersicht werden die Versuchseinrichtungen Maschinenelementen bzw. Forschungsbereichen zugeordnet. Der Einsatz der einzelnen Anlagen ist aber nicht zwingend auf diese begrenzt.

Bitte treten Sie bei Interesse an der Durchführung von Untersuchungen oder für weitergehende Informationen und Fragen gern mit uns in Kontakt.

Garbsen, im April 2022

Dr.-Ing. Roman Böttcher

Wälzlager

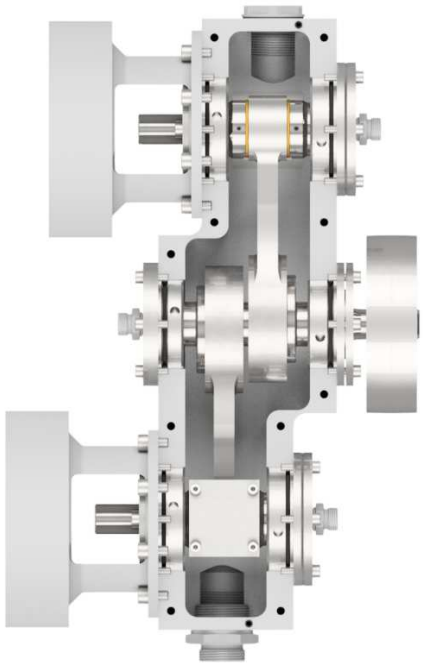
Durch die hohe Qualität moderner Wälzlager und das Vorhandensein fortschrittlicher Berechnungsansätze der Lagerlebensdauer hinsichtlich unterschiedlicher Ermüdungsarten, rücken Zusatzbeanspruchungen, Sonderereignisse und das Verhalten in Grenzbereichen der Betriebsbedingungen in den Fokus des Anwenderinteresses und der Forschung.

Eine Voraussetzung für die heute geforderten hohen Standzeiten von Wälzlagerungen ist die optimale Abstimmung von Wälzlager und Schmierung. Gerade bei kritischen Betriebsbedingungen wird die Schmierung zur wesentlichen, die Lebensdauer bestimmende Einflussgröße. Zur Untersuchung der Auswirkungen verschiedener Schmierungsarten auf die Lebensdauer, wie z.B. Öltauch-, Ölumlauf-, Minimalmengen-, Trocken- oder Fettschmierung, lassen sich die Prüfaufbauten des IMKT entsprechend modifizieren um ein breites Einsatzspektrum abzudecken. Im Falle von fettgeschmierten Wälzlagerungen ist u.a. das Ziel die Schmierfähigkeit von Fetten anhand des Reibungs- und Verschleißverhaltens auch unter extremen Randbedingungen, wie z.B. tiefe Temperaturen & Schwenkbewegung über kleine Winkel im Bereich der Windenergie sowie hohen Drehzahlen z.B. in der Elektromobilität, zu beurteilen. Zudem wird der Einsatz und das Verhalten neuartiger, bio- oder wasserbasierter Schmierstoffe untersucht.

Neben der Bewertung von Sonderereignissen wie z.B. Überlasten im Betrieb und initiale Oberflächenbeschädigungen auf die Ermüdungslebensdauer von Wälzlagern, spielt das elektrische Verhalten von Lagern und die Lebensdauer bei Stromdurchgangsschäden mit Blick auf elektrische Antriebe und Generatoren im Einsatzbereich der Elektromobilität und Windenergie eine wichtige Rolle in der Walzlagerforschung des Instituts. Es werden unterschiedliche Verfahren zur Steigerung der Leistungsdichte von Wälzlagern untersucht, u.a. auch in Kooperation mit verschiedenen Instituten und Firmen der Fertigungstechnik zur Funktionalisierung von Randzonen oder zur Entwicklung maßgeschneiderter, wälzbeanspruchter Werkstoffbereiche.

Dauerschwenkprüfstand

Wälzlager



Schnittansicht Koppelgetriebe (Riemenscheibe Antrieb rechts, Aufnahmen für zwei getrennte Lageraufnahmen links)

Versuchstand mit Koppelgetriebe zur Aufbringung von Schwenkbewegungen auf Wälzlager über große Lastzyklenanzahlen

Einsatz z.B. zur Ermittlung des Ermüdungsverhaltens oszillierender Wälzlager unterschiedlicher Kontaktgeometrien

Simultaner Betrieb von zwei getrennt angeordneten Versuchsansätzen zur Erhöhung der statistischen Absicherung

Adaptierung Lageraufnahmen vieler Prüfstände des IMKT möglich (FE8, Vier-Lager-Radiallebensdauerprüfstand, Universalreibungsprüfstand)

Schadenserkennung mit schwingungsbasiertem Condition-Monitoring

Lagergröße: d=20 bis 60 mm

Lagerarten: alle Arten von Radial- und Axialwälzlagern durch Einsatz unterschiedlicher Lageraufnahmen

Belastung (statisch): abhängig von Lagerart & -größe bis 50 kN axial, je Lager bis 20 kN radial

Schwenkfrequenz: bis 30 Hz

Schwenkwinkel: bis $\pm 30°$

Schmierung: Öl (Einspritz- oder Tauchschmierung), Fett, Festschmierstoffe

Messgrößen: Schwingungspegel, Temperaturen

Drei-Lager-Radiallebensdauerprüfstand

Wälzlager

Zur Ermittlung der Ermüdungslebensdauer von Radiallagern in kompakter Drei-Lager-Anordnung in Abhängigkeit von z.B. Lagerausführung, Schmierungsbedingungen, Randzoneneigenschaften, Wärmebehandlungen und Werkstoffen

Untersuchung von Direktlagerungen durch kompakten Aufbau mit geringem Materialaufwand effizient möglich

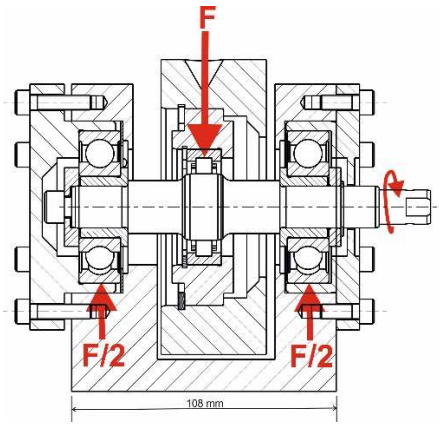
Schadenserkennung mit schwingungsbasiertem Condition-Monitoring

Simultaner Betrieb mehrerer Einheiten möglich

Auswertung statistischer Ausfallzeiten durch Maximum-Likelihood-Methode

Temperierung Schmieröl zur Einstellung definierter Schmierungsbedingungen (Vollschmierung und Mischreibung)

Lastaufbringung mittels einstellbarem und durch Kraftsensor überwachtem Tellerfederpaket



Bsp. Lageraufbau für Direktlagerung

Lagergröße: d=20 bis 50 mm

Belastung (statisch): bis 20 kN

Drehzahl: bis 6000 min^{-1}

Temperaturbereich: +40 bis +100°C

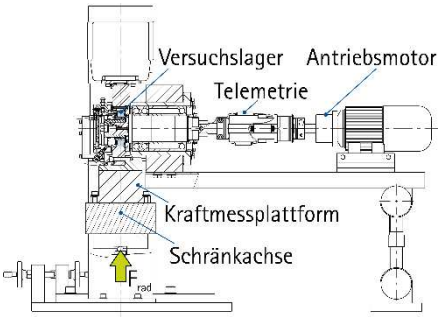
Schmierung: Öl (Einspritz- oder Tauchschmierung), Fett, Festschmierstoffe

Messgrößen: Schwingungspegel, Temperaturen, Drehzahl, Belastung

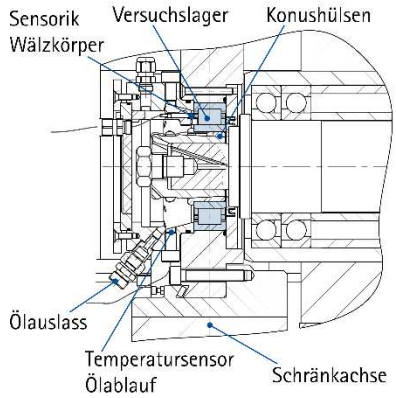
Anzahl: 6 unabhängige Einheiten à 3 Lager

Einzellagerprüfstand (ELP)

Wälzlager



Bsp. Schnittansicht Versuchsaufbau mit Kraftmessplattform



Bsp. Schnitt Lageraufnahme für vorgespannte Zylinderrollenlager

Versuchstand für Funktionsuntersuchungen an einem einzelnen Wälzlager

Optische Zugänglichkeit einer Lagerseite, dadurch Einsatz von Highspeed- oder Thermokameras direkt umsetzbar

Aufbau für unterschiedliche Radiallager und Schräglagerpaare adaptierbar

Anbindung Lageraufnahme über piezoelektrische 3-Komponenten-Kraftmessplattform möglich

Mögliche Anwendungen: Untersuchung kritischer Betriebszustände (z.B. Vorspannung) & Temperaturverhalten, Messung Axialschub von schiefgestellten Zylinderrollenlagern, Analyse Lagerkinematik, Beobachtung Fettverteilung

Messung Lagerreibmoment mittels hydrostatischem Gleitlager

Temperierung Lageraußenring und Innenring möglich

Lagergröße: d=20 bis 90 mm

Belastung (statisch): bis 30 kN radial, Kipp- und Schränkwinkel einstellbar

Drehzahl: bis 6000 min^{-1}

Temperaturbereich: +10 bis +100°C

Schmierung: Öl (Öl-Luft-, Einspritz- oder Tauchschmierung), Fett, Festschmierstoffe

Messgrößen: Temperaturen (Außenring, Innenring, Öl), Drehzahl, Belastung, Lagerreaktionskräfte und Momente, Reibmoment, Käfigdrehzahl + Sensorik Funktionsuntersuchungen (Wälzkörperkinematik, Käfigdynamik, Temperaturverteilung)

FE8-Lagerprüfstände

Wälzlager

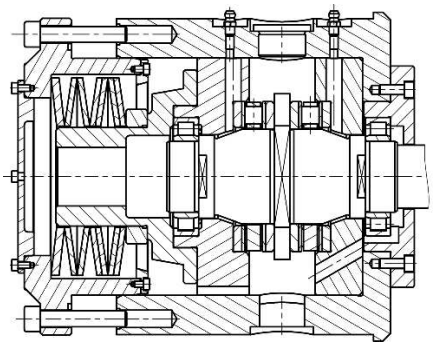
Versuchseinrichtungen basierend auf FAG-FE8-Aufbau nach DIN 51819 in unterschiedlichen technischen Varianten

Untersuchung von Ermüdungs-/Verschleißverhalten, Schmierstoffeignung und Triboschichten z.B. in Abhängigkeit von Randzoneneigenschaften, Werkstoffen und Schmierstoffformulierung

Durchführung von standardisierten Versuchen, wie z.B. Verschleißuntersuchungen gemäß DIN 51819 1 bis 3, Pitting-Test nach VW PV 1483 und ZF 0000 702 232 sowie WEA/WEC-Schmierstoffuntersuchungen

Lageraufnahmen für Kegelrollenlager, Schrägkugellager, Pendelrollenlager, Rillenkugellager sowie Axialzylinderrollenlager vorhanden

Modifizierte Aufbauten mit Lagertemperierung, Schmierfilmdickenmessung und optischer Zugänglichkeit verfügbar



Bsp. Schnittansicht Prüflageraufnahme für Axialzylinderrollenlager 81212

Lagergröße: typischerweise Axial- oder Schräglager mit *d*=60 mm, weitere Lageraufnahmen für andere Lagergrößen & -arten vorhanden

Belastung (statisch): bis 100 kN axial, radial belastete Aufbauten vorhanden

Drehzahl: bis 5000 min^{-1}

Temperaturbereich: -25 bis +120°C

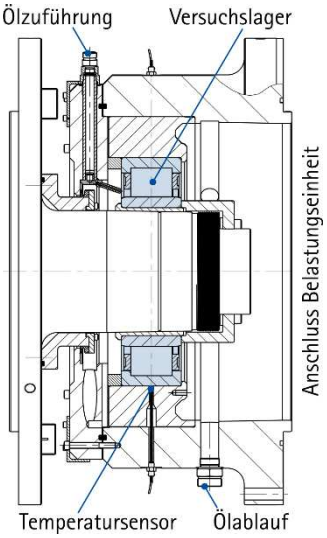
Schmierung: Öl (Einspritz- oder Tauchschmierung), Fett, Festschmierstoffe

Messgrößen: Temperaturen, Drehzahl, Reibmoment, Schwingungspegel, Schmierungszustand über elektrische Kenngrößen

Anzahl: 4 unabhängige Einheiten unterschiedlicher Ausrüstung

Großwälzlagerprüfstand (GWLP)

Wälzlager



Lageraufnahme NU2256 mit drehendem Außenring

Prüfstand mit breitem Einsatzspektrum für Funktionsuntersuchungen an großen Wälzlagern z.B. aus Windenergieanlagen oder der Papierindustrie

Mögliche Anwendungen: Untersuchung kritischer Betriebszustände (z.B. Vorspannung, Kaltstart), Analyse Lagerkinematik (z.B. bei Schiefstellung oder Schlupf), Erprobung Condition-Monitoring-Systeme für Großwälzlager

Betrieb von Rillenkugel-, Zylinderrollen-, Kegelrollen-, sowie Axial- & Radialpendelrollenlagern mit einer Breite von 50 bis 430 mm möglich

Lastaufbringung radial & axial sowie Verkippung der Lageraufnahme in Zug- & Druckrichtung durch geregelte Hydraulik

Messungen/Bildaufnahme im Betrieb durch Positioniereinheit an verschiedenen Stellen über den Umfang des Lagers möglich

Lagergröße: bis ca. 1 m Außendurchmesser

Belastung (dynamisch): bis ±700 kN radial, ±100 kN axial, Verkippung ±1°

Drehzahl: bis 1300 min^{-1}

Temperaturbereich: +40 bis +150°C

Schmierung: Öl (Einspritz- oder Tauchschmierung), Fett, Festschmierstoffe

Messgrößen: Temperaturen, Drehzahl, Belastung/Schiefstellung + Sensorik Funktionsuntersuchung (z.B. Schmierfilmhöhe, Dehnungen Lagerringe, Kinematik Wälzkörper)

Betrieb mit drehendem Innen- oder Außenring möglich

Hochdrehzahl-Lagerprüfstand (HDL)

Wälzlager

Versuchsaufbau für Funktionsuntersuchungen an hochdrehenden Lagern (insbesondere Rillen- und Schrägkugellager bzw. Spindellager) und Komponentenprüfstand weiterer Bauteile in Hochdrehzahlanwendungen

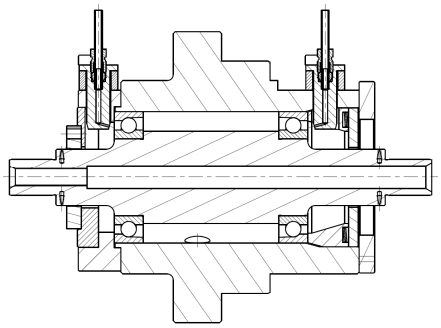
Mögliche Anwendungen: Untersuchung Temperaturverhalten und Reibmoment in Abhängigkeit von Lagerdesign, Schmierstoff und Schmierungsart, Untersuchung Verhalten berührender Dichtungen bei hohen Drehzahlen

Einsatz von realen Elektromotor-Rotoren zur Berücksichtigung der Rotordynamik möglich

Temperierung Lageraußenringe zur Einstellung definierter Betriebs- und Schmierungsbedingungen, Welleninnenkühlung möglich

Bestimmung der Schmierfilmdicke anhand elektrischer Kenngrößen

Mechanischer Aufbau mit geöffneter Schutzhaube



Bsp. Lageraufnahme für 7008 FEGA/HCP4A

Lagergröße: bis 100 mm Außendurchmesser

Belastung (statisch): bis 2 kN axial, bis 5 kN je Lager radial

Drehzahl: bis 60000 min^{-1}

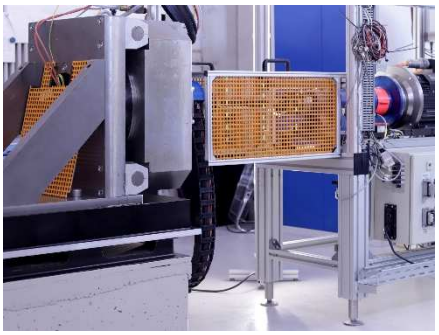
Temperaturbereich: +20 bis +120°C

Schmierung: Öl (Öl-Luft-, Einspritz- oder Tauchschmierung), Fett oder Festschmierstoffe

Messgrößen: Reibmoment, Lagertemperaturen, Drehzahl, Belastung, Schmierfilmhöhe, Wellenverlagerung/-durchbiegung, Schwingungspegel

Laufrollenversuchsstand

Wälzlager



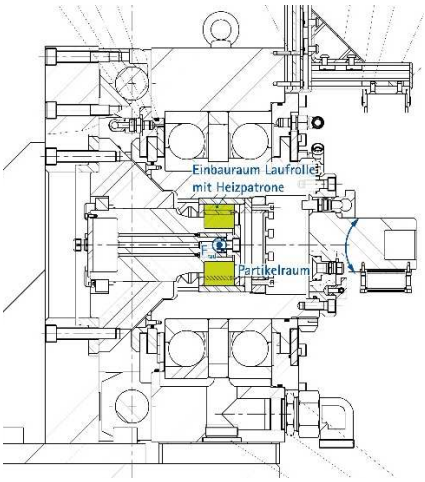
Prüfstand zur Untersuchung der Gebrauchsdauer von oszillierend betriebenen oder rotierenden Laufrollen z.B. zur Beurteilung der Fetteignung, Dichtwirkung im Betrieb und des Lagerdesigns

Einbringung per Druckluft verwirbelter fester Verunreinigungen/Partikel auf einer Lagerseite möglich

Ortsfester Betrieb mit drehendem Außenring

Beheizung von Innenring und optional Außenring (nur im Schwenkbetrieb)

Einbau mit definierter Schiefstellung möglich



Schnitt Laufrollenaufnahme

Lagergröße: bis 122 mm Außendurchmesser

Belastung (statisch): bis 200 kN

Schwenkfrequenz/Drehzahl: <0,2Hz (max. ±360°), rotierend bis 1500 min^{-1}

Temperaturbereich: +40 bis +160°C

Schmierung: Fett, Festschmierstoffe

Messgrößen: Temperaturen, Drehzahl, Reibmoment, Belastung, optional Schmierfilmdicke

Radsatzlagerprüfstand (R3)

Wälzlager

Prüfstand in Zwei-Lager-Anordnung zur Durchführung von Ermüdungslebensdauerversuchen an größeren Wälzlagern und Lagereinheiten sowie zur Durchführung von Leistungsprüfungen an Radsatzlagern für Bahnanwendungen gemäß DIN EN 12082

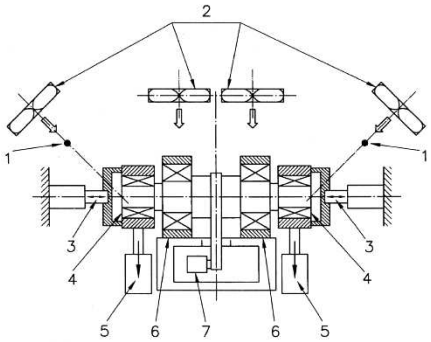
Gleichzeitiger Betrieb zweier Versuchsobjekte je Versuchsaufbau auf einer Welle (symmetrischer Aufbau) bei räumlicher Trennung der Lagerumgebungen

Adaptierung verschiedener Lagergrößen und Lagergehäuse bis hin zu Lagersegmenten möglich

Schadenserkennung mit schwingungsbasiertem Condition-Monitoring

Simultaner Betrieb mehrerer Einheiten möglich

Auswertung statistischer Ausfallzeiten durch Maximum-Likelihood-Method



Schematische Darstellung Versuchsanordnung für Radsatzlager [Bildquelle DIN EN 12082:2021-09]

1 Temperatursensor Umgebung
2 Kühlungsgebläse
3 axiale Prüfkraft
4 Prüflager
5 radiale Prüfkraft
6 Stützlager
7 Motor

Lagergröße: bis *d*=200 mm, nicht-zylindrische Aufnahmegeometrien adaptierbar

Belastung: bis ±200 kN je Lager radial, ±50 kN axial

Drehzahl: bis 3000 min^{-1}

Schmierung: Öl (Einspritz- oder Tauchschmierung), Fett, Festschmierstoffe

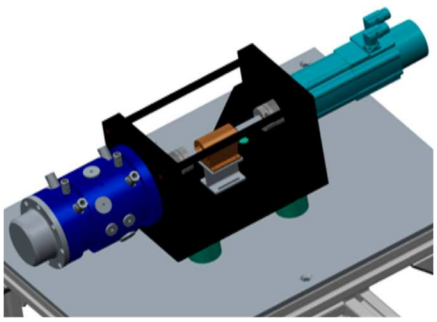
Messgrößen: Schwingungspegel, Temperaturen, Drehzahl, Kräfte, optional Schmierfilmdicke

Anzahl: 2 unabhängige Einheiten à 2 Versuchslager/Radsatzlagereinheiten

Betrieb unter definierter Schiefstellung (Kippen oder Schränken) möglich

Schwenkprüfstand

Wälzlager



Grundlegender Versuchsaufbau Schwenkprüfstand (Lageraufnahme blau, Drehmomentmesswelle braun, Servomotor türkis)

Versuchstand zur Durchführung von Funktionsuntersuchungen an oszillierenden Lagern z.B. hinsichtlich Fetteignung und Verschleiß

Komplexe Bewegungsprofile mit variierender Frequenz, Rampenform, Pausen und Rotation programmierbar

Adaptierung Lageraufnahmen vieler Versuchsstände des IMKT möglich (FE8, Vier-Lager-Radiallebensdauerprüfstand, Universalreibungsprüfstand)

Lagergröße: *d*=20 bis 60 mm

Lagerarten: alle Arten von Radial- und Axialwälzlagern durch Einsatz unterschiedlicher Lageraufnahmen

Belastung (statisch): abhängig von Lagerart & -größe bis 100 kN axial, je Lager bis 20 kN radial

Schwenkfrequenz: bis 30 Hz

Schwenkwinkel: abhängig von Schwenkfrequenz, Rotation möglich

Schmierung: Öl (Einspritz- oder Tauchschmierung), Fett, Festschmierstoffe

Messgrößen: Temperaturen, Reibmoment, optional Schmierfilmdicke

Anzahl: 2 unabhängige Einheiten

Universallagerprüfstand

Wälzlager

Modulare Versuchseinrichtung mit breitem Anwendungsspektrum für verschiedene Untersuchungsarten an Wälzlagern

Durchführung von Funktionsuntersuchungen z.B. zur Fettverteilung bei niedrigen Temperaturen mit Hilfe optischer Methoden an temperierten Lageraufnahmen, zum Aufbau Triboschichten oder hinsichtlich Reibungsuntersuchungen

Untersuchung Ermüdungs-/Verschleißverhalten bzw. Schmierstoffeignung z.B. gemäß DIN 51819 1 bis 3, VW PV 1483 oder ZF 0000 702 232

Adaptierung Lageraufnahmen vieler Prüfstände des IMKT möglich (FE8, Vier-Lager-Radiallebensdauerprüfstand, Universalreibungsprüfstand)

Aufbauten mit Lagertemperierung, Schmierfilmdickenmessung und optischer Zugänglichkeit verfügbar

temperierte Lageraufnahme am Universallagerprüfstand

Lagergröße: typischerweise *d*=20 bis 60 mm

Lagerarten: alle Arten von Radial- und Axialwälzlagern durch Einsatz unterschiedlicher Lageraufnahmen

Belastung (statisch): abhängig von Lagerart & -größe bis 100 kN axial, je Lager bis 20 kN radial

Drehzahl: bis 3000 min^{-1}

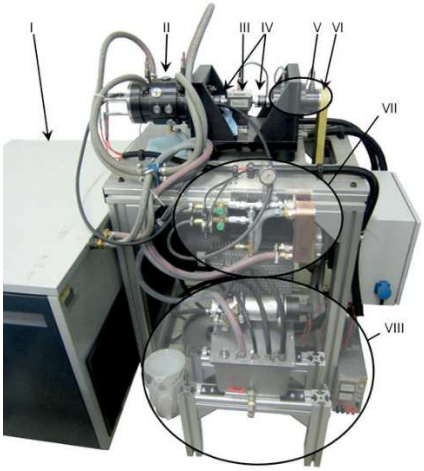
Temperaturbereich: -25 bis +120°C

Schmierung: Öl (Einspritz- oder Tauchschmierung), Fett, Festschmierstoffe

Messgrößen: Temperaturen, Drehzahl, Reibmoment, Schwingungspegel, Schmierungszustand über elektrische Kenngrößen

Universalreibungsprüfstand

Wälzlager



Beispielaufbau Universalreibungsprüfstand für ölgeschmierte Lager

I-Prozesstheromstat
II-Lageraufnahme
III-Drehmomentmesswelle
V-Vorgelege
VI-Riementrieb
VII-Wärmetauscher Öl
VIII-Ölversorgung)

Versuchstand zur Untersuchung des Betriebs- und Reibungsverhaltens und der Schmierfilmbildung von Wälzlagern über weite Betriebsbereiche

Temperierung Lageraufnahmen möglich

Drehmomentmesstechnik unterschiedlicher Messbereiche vorhanden

Adaptierung Lageraufnahmen vieler Prüfstände des IMKT möglich (FE8, Vier-Lager-Radiallebensdauerprüfstand, Universalreibungsprüfstand)

Lagergröße: typischerweise bis *d*=40 mm

Lagerarten: alle Arten von Radial- und Schräglagern

Belastung (statisch): bis 40 kN axial, je Lager bis 20 kN radial

Drehzahl: bis 16000 min^{-1}

Temperaturbereich: -25 bis +100°C

Schmierung: Öl (Öl-Luft, Einspritz- oder Tauchschmierung), Fett, Festschmierstoffe

Messgrößen: Temperaturen, Reibmoment, Schmierfilmdicke

Anzahl: 2 unabhängige Einheiten

Vier-Lager-Axiallebensdauerprüfstand

Wälzlager

Prüfstand zur Durchführung von Ermüdungslebensdauerversuchen an axial belasteten Rillen- und Schrägkugellagern

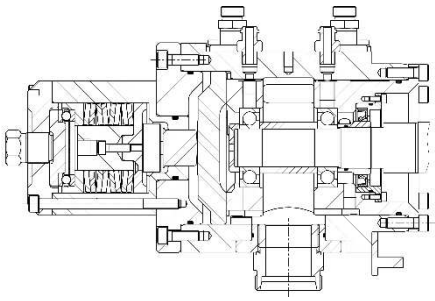
Untersuchung in Abhängigkeit z.B. von Lagerausführung, Randzoneneigenschaften/Wärmebehandlung und Werkstoffen

Gleichzeitiger Betrieb von zwei axial belasteten Lagerpaaren je Versuchsaufbau auf gemeinsamer Welle (symmetrischer Aufbau) bei räumlicher Trennung der beiden Lagerpaare.

Schadenserkennung mit schwingungsbasiertem Condition-Monitoring

Auswertung statistischer Ausfallzeiten durch Maximum-Likelihood-Methode

Simultaner Betrieb mehrerer Einheiten möglich



Schnittansicht Lageranordnung (Beispiel 7206, zwei Lagerpaare je Versuchsaufbau)

Typische Lagergröße: 7206 & 7208

Belastung (statisch): bis 40 kN

Drehzahl: bis 3000 min^{-1}

Temperaturbereich: +40 bis +140°C

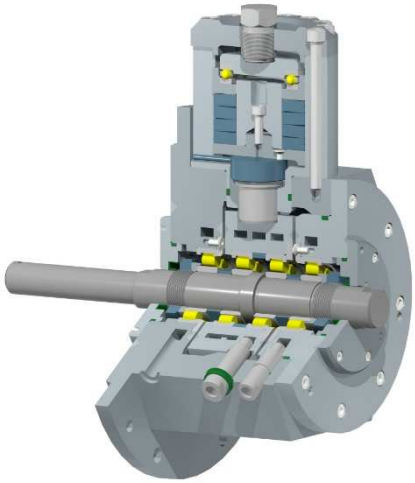
Schmierung: Öl (Einspritz- oder Tauchschmierung), Fett, Festschmierstoffe

Messgrößen: Schwingungspegel, Temperaturen, Drehzahl, Belastung, Reibmoment, optional Schmierfilmhöhe

Anzahl: 4 unabhängige Einheiten à 4 Lager

Vier-Lager-Radiallebensdauerprüfstand

Wälzlager



Schnittansicht Lageranordnung (Beispiel NU206)

Zur Ermittlung der Ermüdungslebensdauer von Radiallagern in Vier-Lager-Anordnung in Abhängigkeit z.B. von Vorbeanspruchung (Überlast, Schlupf, Beschädigung, Stromdurchgang etc.), Randzoneneigenschaften/Wärmebehandlung und Werkstoffen

Auswertung statistischer Ausfallzeiten durch Maximum-Likelihood-Methode

Schadenserkennung mit schwingungsbasiertem Condition-Monitoring

Simultaner Betrieb mehrerer Einheiten möglich

Temperierung Lageraußenringe und Schmieröl zur Einstellung definierter Schmierungsbedingungen (Vollschmierung und Mischreibung)

Lastaufbringung mittels einstellbarem und durch Kraftsensor überwachtem Tellerfederpaket

Typische Lagergröße: *d*=30 mm (Zylinderrollenlager 206)

Belastung (statisch): bis 25 kN je Lager radial ≙ C/P=2,5 für NU206

Drehzahl: bis 4050 min^{-1}

Temperaturbereich: +40 bis +100°C

Schmierung: Öl (Einspritz- oder Tauchschmierung), Fett, Festschmierstoffe

Messgrößen: Schwingungspegel, Temperaturen Lager & Öl, Drehzahl, Belastung, optional Reibmoment & Schmierfilmhöhe

Anzahl: 6 unabhängige Einheiten

Adaptierung axial belasteter Lageranordnungen bis 50 kN Axiallast möglich

Wälzlagerlebensdauerprüfstand für Komplexbeanspruchung

Wälzlager

Versuchsaufbau zur Ermittlung der Ermüdungslebensdauer von Direktlagerungen auf Wellen bei komplexer strukturmechanischer Beanspruchung in der wälzbeanspruchten Zone in Abhängigkeit z.B. von Geometrie, Randzoneneigenschaften, Wärmebehandlung und Werkstoffen

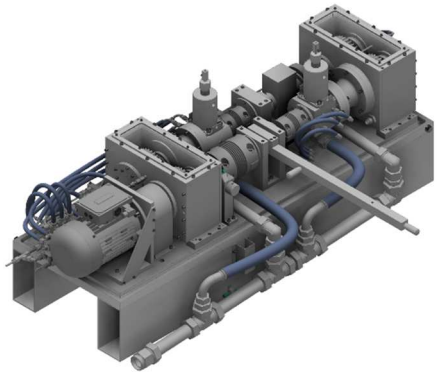
Aufbringung Torsionsspannungen durch mechanischen Verspannkreis, Einbringung Biegespannungen durch gezielte Umlaufbiegung bei Radialbelastung

Zwei getrennte Lageraufnahmen in Drei-Lager-Anordnung (identisch zu Drei-Lager-Radiallebensdauerprüfstand) in Verspannkreis angeordnet

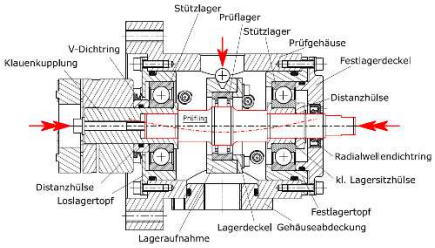
Schadenserkennung mit schwingungsbasiertem Condition-Monitoring

Auswertung statistischer Ausfallzeiten durch Maximum-Likelihood-Methode

Lastaufbringung mittels einstellbaren und durch Kraftsensor überwachtem Tellerfederpaketen



Gesamtaufbau mit Verspannkreis



Lagergröße: d=20 bis 50 mm

Belastung (statisch): bis 15 kN Radialkraft, bis 300 Nm Lastmoment

Drehzahl: bis 6000 min^{-1}

Temperaturbereich: +40 bis +120°C

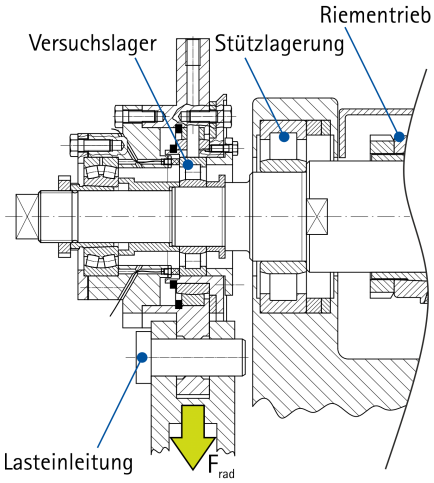
Schmierung: Öl (Einspritz- oder Tauchschmierung), Fett, Festschmierstoffe

Messgrößen: Schwingungspegel, Temperaturen Lager & Öl, Drehzahl, Radialkraft, Verlagerung Prüfwelle

Anzahl: 2 gleichzeitig betriebene Lageranordnungen

Zwei-Lager-Radiallebensdauerprüfstand (R2)

Wälzlager



Schnittansicht Lageranordnung (Beispiel Aufbau für schiefgestellte Zylinderrollenlager NU206)

Prüfstand zur Durchführung von Ermüdungslebensdauerversuchen an Radiallagern oder Lagereinheiten in Zwei-Lager-Anordnung

Gleichzeitiger Betrieb der beiden Versuchsobjekte je Versuchsaufbau auf gemeinsamer Welle (symmetrischer Aufbau) bei räumlicher Trennung der Lagerumgebungen

Adaptierung von verschiedenen Lagergrößen, Lagergehäusen und Lagersegmenten kostengünstig möglich

Untersuchung in Abhängigkeit z.B. von Lagerausführung, Randzoneneigenschaften/Wärmebehandlung und Werkstoffen

Schadenserkennung mit schwingungsbasiertem Condition-Monitoring

Simultaner Betrieb mehrerer Einheiten möglich

Auswertung statistischer Ausfallzeiten durch Maximum-Likelihood-Methode

Lagergröße: d=30 bis 100 mm, nicht-zylindrische Aufnahmegeometrien adaptierbar

Belastung (statisch): bis 35 kN je Lager radial, reine Momentenbelastung (z.B. für Radlagereinheiten) möglich

Drehzahl: bis 2500 min^{-1}

Schmierung: Fett, Festschmierstoffe

Messgrößen: Schwingung, Temperaturen, Drehzahl

Anzahl: 4 unabhängige Einheiten à 2 Versuchslager

Betrieb unter definierter Schiefstellung (Kippen oder Schränken) möglich

Rheologie/EHD & Schmierstoffanalytik

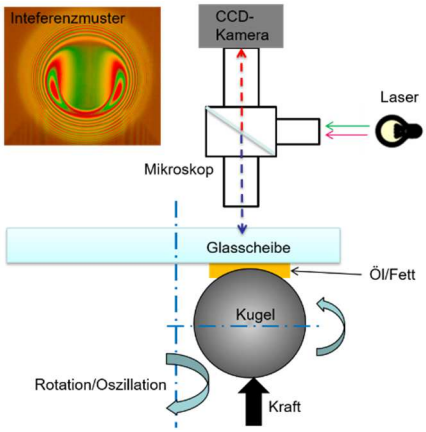
Im Bereich der Rheologie und elastohydrodynamischen Schmierung (EHD) liegt der Forschungsschwerpunkt auf dem Verständnis der physikalischen Zusammenhänge, die in geschmierten hochbelasteten Kontakten von Maschinenelementen (beispielsweise Wälzlagern, Zahnrädern und Nocken-Stößeln) auftreten. Diese werden sowohl theoretisch durch die Bildung von Berechnungsmodellen als auch durch experimentelle Methoden erforscht.

Ein Schwerpunkt liegt auf den Reibungsverlusten, die in EHD-Kontakten auftreten und maßgeblich durch das Verhalten der Schmierstoffe unter hohen Drücken, Temperaturen und Scherraten beeinflusst werden. Durch ein Erforschen des Schmierstoffverhaltens, sowie der Wechselwirkungen der einzelnen Kontaktpartner, kann das Verständnis der Verluste in derartigen Maschinenelemente erhöht und gleichzeitig eine Möglichkeit erarbeitet werden diese Verluste zu verringern. Weiterhin können die Erkenntnisse genutzt werden um Verschleißvorgänge besser zu verstehen und somit langfristig eine Verringerung des Verschleißes zu ermöglichen. Des Weiteren werden im Bereich der Schmierstoffe das Fließverhalten der Schmierstoffe und der Einfluss der Betriebsbedingungen im kontaktnahen Bereich untersucht, um Aussagen über die Schmierfilmbildung und Verluste zu erhalten. So erfolgen z.B. Untersuchungen der Schmierfilmbildung in geschmierten oszillierenden-EHD-Kontakten, bei denen der Fokus auf den physikalischen Eigenschaften von Schmierfetten liegt

Somit bildet die Beschreibung des Schmierstoffes in physikalischen Modellen –und somit das bessere Verständnis dieses Maschinenelements– den Kern der Forschung. Üblicherweise wird mithilfe von Modellexperimenten, wie zum Beispiel an Zweischeibenversuchsständen oder im Kugel-Scheibe-Experiment, das Verhalten des Schmierstoffes betrachtet. Ergänzt werden derartige Untersuchungen durch die Messung beziehungsweise direkte Beobachtung der Vorgänge in EHD Kontakten zum Beispiel mithilfe von laserinduzierter Fluoreszenz, Infrarotthermografie und Interferenzmethode.

EHL-Tribometer

Rheologie/EHD



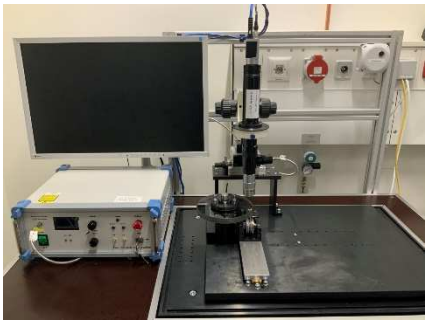
Schematischer Aufbau

Kugel-Scheibe-Aufbau zur Untersuchung des Schmierfilmaufbaus und der Schmierstoffverteilung an einem EHD-Kontakt (EHL=Elastohydrodynamic Lubrication)

Bestimmung der ortsaufgelösten Schmierfilmhöhe und Beobachtung der Schmierstoffausbreitung im und um den Kontakt mittels Interferometrie

Unabhängiger Antrieb von Scheibe und Gegenkörper (Kugel)

Schwenkender oder rotierender Betrieb möglich



Laborplatz EHL-Tribometer

Kontaktkraft (statisch): bis 200 N

Kontaktgeschwindigkeit Rotationsbestrieb: bis 2 m/s

Frequenz Schwenkbetrieb: bis 5 Hz

Schwenkwinkel: bis ±15°

Schmierung: Öl, Fett

Temperierung Ölreservoir: bis 80°C

Zweischeibenversuchsstand

Rheologie/EHD

Versuchsaufbau zur Untersuchung des Fluidverhaltens in einem einzelnen EHD-Kontakt zwischen zwei radial kontaktierenden, angetriebenen Kontaktkörpern (Scheiben bzw. Ringe)

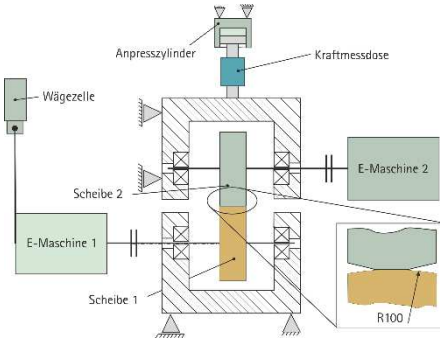
Aufnahme von Traktionskurven für Fluide anhand Kennfeld aus Einlassgeschwindigkeit, definiert einstellbarer Differenzgeschwindigkeit (Schlupf) und Fluid-bzw. Scheibentemperatur

Ableitung wichtiger Fluideigenschaften aus Traktionskurven z.B. zur Modellierung des Reibungsverhaltens von Wälz- und Gleitkontakten und Bestimmung von Verlustleistungen z.B. in Pumpen

Optischer Aufbau zur fein aufgelösten Kontakttemperaturmessung und Beobachtung der Schmierfilmbildung mit transparenter Saphirscheibe vorhanden

Automatisierte Einstellung der Kennfeldpunkte im Versuchsbetrieb

Aufbau mit zusätzlichem Kontaktpartner zwischen den angetriebenen (Ring-Wälzkörper-Ring-Konfiguration) vorhanden



Schematischer Aufbau Zweischeibenversuchsstand

Kontaktkraft (statisch): bis 15 kN ≙ 3 GPa bei geeigneter Kontaktgeometrie

Kontaktgeschwindigkeit: bis 15 m/s

Öleinlauftemperatur: -10 bis +130°C

Scheibentemperatur: 20 bis +100°C

Messgrößen: Kontaktkraft, Reibkraft, Drehzahlen, Öltemperaturen, Massentemperatur Scheiben, optional Kontakttemperatur mittels Thermografieaufbau

Dichtungen

Eine zuverlässige Abdichtung gegeneinander bewegter Bauteile stellt z.B. bei hohen Relativgeschwindigkeiten, bei im Betrieb vorhandenen Druckdifferenzen, Imperfektionen der Dichtungsflächen oder extremen Betriebsbedingungen eine anspruchsvolle Aufgabe dar. Im Mittelpunkt der Forschungsaktivitäten des IMKT hinsichtlich Dichtungen steht daher die Analyse des Verhaltens und darauf aufbauend die Erarbeitung von physikalisch begründeten Auslegungsverfahren von Standardelementen, Sonderbauformen sowie speziellen Dichtungen. Im Zentrum der betrachteten Dichtsysteme stehen Radialwellendichtungen sowie Drehdurchführungen.

Neben der Untersuchung des Leckageverhaltens im Betrieb wird ebenfalls das Reibungsverhalten untersucht und an neuartigen, energieeffizienten Dichtungskonzepten gearbeitet. Neben Berechnungsansätzen und Simulationsmodellen des Dichtkontakts bis auf die Mikroebene stehen verschiedene Prüfstände und Geräte zur Charakterisierung dynamischer Dichtungen zur Verfügung.

Sechsfach-Dichtungsprüfstand

Dichtungen

Funktionsprüfstand zur Untersuchung von Dichtsystem-Leckage berührender Dichtungen im Rahmen von Langzeitversuchen

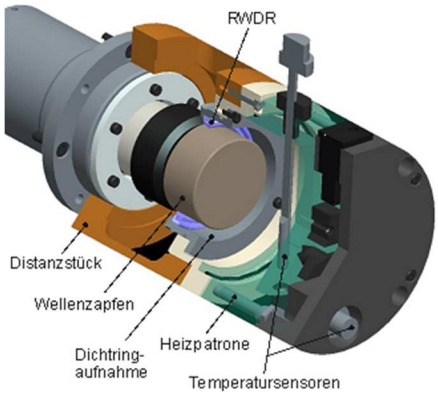
Einfluss auf Leckage z.B. durch Oberflächendefekte auf Gegenlauffläche (Fertigungsprozess, Handhabungsfehler), Verhärtung Elastomer (thermische und chemische Überlastung), Ölkohleablagerungen (thermische Überbelastung Schmierstoff)

Simultaner Betrieb mehrerer Prüfeinheiten möglich

Ein-Kammer-Aufbau je Einheit

Beheizung Ölraum vor Dichtring möglich

Aufbauten zur Untersuchung mit drehendem Dichtring vorhanden



Aufbau Prüfeinheit für dynamische Dichtungen

Dichtringgröße: d=30 bis 120 mm

Drehzahl: bis 9000 min^{-1}

Temperaturbereich: +40 bis +120°C

Schmierung: Ölbad

Messgrößen: Sumpftemperatur, Leckagezeitpunkt, optional Leckage gravimetrisch oder volumetrisch

Anzahl: 6 Einheiten mit unabhängigen Antrieben und Heizungsregelungen

Zwölffach-Dichtungsprüfstand

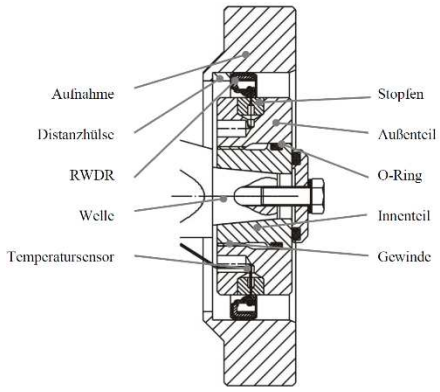
Zur Durchführung von Langzeitversuchen an radialen Wellendichtungen mit großem Probenumfang z.B. hinsichtlich Leckage, Verschleiß und Elastomer-Öl-Verträglichkeit

Simultaner Betrieb mehrerer Prüfeinheiten

Ein-Kammer-Aufbau je Einheit

Beheizung Prüfkammer vor Dichtring

Prüfstand zertifiziert für dynamische Ölverträglichkeitstests nach Freudenberg FB 73 11 008



Schematischer Aufbau Dichtungsaufbau

Dichtringgröße: *d*=30 bis 95 mm

Drehzahl: bis 6000 min^{-1}

Temperaturbereich: bis +110°C

Schmierung: Ölbad

Messgrößen: Sumpftemperatur, Leckagezeitpunkt

Anzahl: 12 Einheiten mit gemeinsamem Antrieb

Antriebstechnik

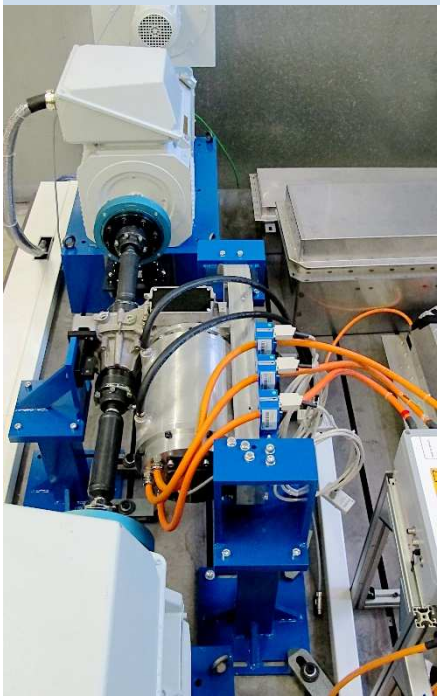
Das IMKT untersucht Möglichkeiten zur Effizienzsteigerung elektrischer Antriebsstränge – im Fokus stehen dabei Untersuchungen an Antriebskomponenten mit höchsten Antriebsdrehzahlen. Dabei werden mehrere, massereduzierte Hochdrehzahl-E-Maschinen mechanisch mit einem Getriebe zusammengeschaltet wobei sich zahlreiche Vorteile hinsichtlich der Betriebsstrategie ergeben und die Effizienz gesteigert werden kann.

Für die ganzeinheitliche Betrachtung des Themengebiets steht ein Prüfstand zur Verfügung, mit dem ein vollständiger, mittels Messtechnik instrumentierter Antriebsstrang eines PKW oder leichten Nutzfahrzeugs aufgenommen, unter definierten Bedingungen betrieben und untersucht werden kann. Darüber hinaus werden ebenfalls wichtige Einzelaspekte für das Themengebiet der Elektromobilität, wie z.B. Lager- und Dichtungsreibung bei hohen Drehzahlen und der Stromdurchgang durch Wälzlager, detailliert betrachtet.

In elektrischen Antriebssträngen mit mehreren Antriebsmaschinen oder Fahrstufen werden Kupplungen eingesetzt, die ebenfalls am IMKT untersucht werden. Die Arbeiten und Versuchseinrichtungen bauen dabei auf der langjährigen Erfahrung in der Forschung an Synchronisierungen von Fahrzeuggetrieben auf.

Antriebsstrangprüfstand

Antriebstechnik



Antriebsstrang BEV zwischen Lastmaschinen

Funktionsprüfstand zum Betrieb und der Untersuchung von Antriebssträngen (Antriebsmaschine, Leistungselektronik, Getriebe inkl. Differential) elektrischer Fahrzeuge sowie Fahrzeug- oder Industriegetrieben

Betrieb mit Nachbildung von Radmomentkollektiven, Momenten-/Drehzahlregelung oder Schleppbetrieb durch Lastmaschinen möglich

Hochvolt-DC-Spannungsversorgung für Leistungselektronik der Antriebsstrangkomponenten vorhanden

Rekuperationsbetrieb möglich

Infrastruktur für hybride Antriebsstränge vorhanden

Untersuchung verschiedener Thermokonzepte möglich, getrennte Temperierung Antriebsmaschine und Getriebeschmierstoff

Leistung Lastmaschinen: 2x103 kW bei 1800 min^{-1}

Drehmoment Lastmaschinen: je 1200 Nm (S2), max. 2000 Nm

Drehzahl Lastmaschinen: bis 1800 min^{-1}

Spannung DC-Quelle: 325, 565 oder 705 V

Leistung DC-Quelle: bis 111 kW (abhängig von Ausgangsspannung)

Schmierung Komponenten: Öl (Einspritz- und Tauchschmierung), Fett

Temperaturbereich Komponenten: -20°C bis +110°C

Messgrößen: Schwingungspegel, Temperaturen, Drehzahlen, Momente Komponenten & Lastmaschinen, elektrische Ströme im Antriebsstrang, optional Schmierfilmdicken & Aufnahmen mit Highspeedkameras sowie Thermografie

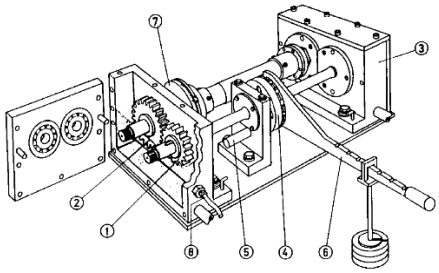
FZG-Verspannungsprüfstand

Antriebstechnik

Prüfstand nach DIN EN ISO 14635 zur Untersuchung der Grenzbeanspruchbarkeit von Schmier- und Werkstoffen an Zahnrädern (Fresstragfähigkeit, Grübchenlebensdauer, Graufleckenentstehung)

Belastung Prüfzahnräder durch mechanischen Verspannkreis, Antrieb durch drehzahlvariablen Elektromotor

Fresstest nach DIN ISO 14635-1, Graufleckentest nach FVA-54, Fresstest nach FVA 243



Explosionsansicht Versuchsaufbau
[Bildquelle DIN ISO 14635-1]

1 Prüfritzel
2 Prüfrad
3 Übertragungsgetriebe
4 Belastungskupplung
5 Arretierbolzen
6 Belastungshebel mit Gewichten
7 Torsionskupplung
8 Temperaturfühler

Drehmoment: bis 600 Nm

Drehzahl: bis 3000 min^{-1}

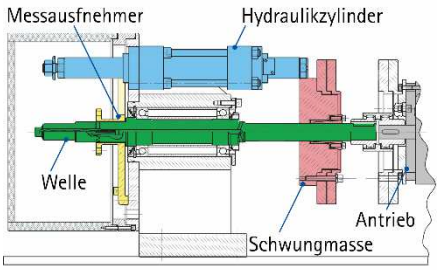
Achsabstand: 91,5 mm

Schmierung: Öltauchschmierung, optional Fettschmierung

Öltemperatur: bis 120°C

Universalreibflächenprüfstand

Antriebstechnik



Schnittansicht Versuchsaufbau ohne Reibpartner

Prüfstand zur Untersuchung des Reib- und Schaltverhaltens von schaltbaren Kupplungen, Synchronisierungen oder Bremsen (µ-comp)

Schalten des jeweiligen Schalt-/Reibelements von geschleppter Welle mit Schwungmasse auf gehäusefesten Messaufnehmer

Dauer- und Funktionsversuche durchführbar

Betätigung Schalt-/Bremsvorgang durch geregeltes Hydrauliksystem

Axialkraft: 150 bis 4000 N

Differenzdrehzahl: 500 bis 5000 min^{-1}

Massenträgheitsmoment: 0,006 bis 0,5 kgm^2

Kupplungsdurchmesser: typischerweise bis 150 mm

Öleinspritztemperatur: bis 120°C

Ölvolumenstrom: bis 5 l/min

Taktzeit Schaltvorgang: ≥3 s

Messgrößen: Reibmoment, Axialkraft, Axialweg Betätigung, optional Temperaturen, optional Verlagerung Kupplungselement radia & axial, optional Einsatz Highspeedkameras und Thermografie

Zweiwellen-Universalreibflächenprüfstand

Antriebstechnik

Prüfstand zur Untersuchung des Reib- und Schaltverhaltens von schaltbaren Kupplungen, Synchronisierungen oder Bremsen in rotierendem Betrieb

Schalten des jeweiligen Schalt-/Reibelements zwischen zwei konzentrischen, rotierenden Wellen mit Schwungmassen

Aufnahme des Untersuchungsobjekts durch rotierenden Messaufnehmer

Dauer- und Funktionsversuche durchführbar

Betätigung Schalt-/Bremsvorgang durch geregeltes Hydrauliksystem

Zweiwellen-Universalreibflächenprüfstand im Betrieb

Axialkraft: 150 bis 4000 N

Differenzdrehzahl: 50 bis 12000 min^{-1}

Massenträgheitsmoment Innenwelle: 0,009 bis 0,5 kgm^2

Massenträgheitsmoment Außenwelle: 0,62 bis 5 kgm^2

Kupplungsdurchmesser: typischerweise bis 250 mm

Öleinspritztemperatur: bis 120°C

Ölvolumenstrom: bis 5 l/min

Taktzeit Schaltvorgang: ≥3 s

Messgrößen: Reibmoment, Axialkraft, Axialweg Betätigung, optional Temperaturen, optional Verlagerung Kupplungselement radia & axial, optional Einsatz Highspeedkameras und Thermografie

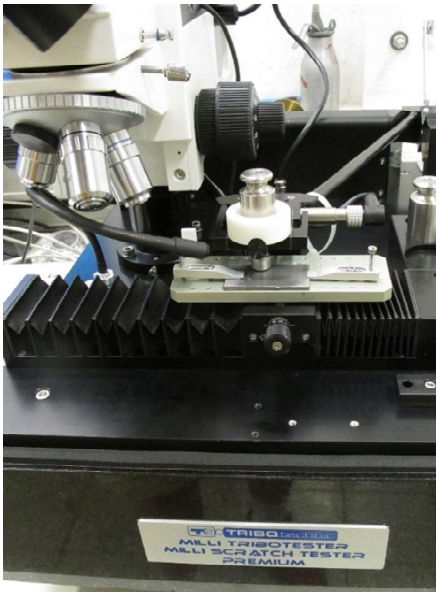
Mikrotribologie

Im Bereich der Mikrotribologie werden physikalische und chemische Wirkprinzipien trockener und geschmierter Kontakte von der Nanoskala bis zur Makroskala betrachtet. Dabei wird z.B. die Ausbildung von tribochemischen Grenzschichten durch Schmierstoffadditive, der Aufbau der Randschicht von Kontaktpartnern, die Wirkung von Oberflächenstrukturierungen zur Reibreduktion sowie der Einsatz von Trockenschmierstoffen und Nanopartikeln beleuchtet.

Das Themengebiet ist eng mit den Untersuchungen an Maschinenelementen auf der Makroskala verknüpft und findet auch in der Biotribologie Anwendung.

Milli-Tribometer

Mikrotribologie



Milli-Tribometer mit eingespannter Probe

Lineare/oszillierende Reibkontaktmessung mit geringen Kontaktpressungen

Oszillierender Gleitversuch zur Untersuchung des Reibverhaltens und des Verschleißes z.B. für unterschiedliche Werkstoffe, Beschichtungen, Schmierstoffe und Triboschichten

Unterschiedliche Probenkörpergeometrien & präparierte Abschnitte von größeren Maschinenelementen montierbar

Trockene oder geschmierte Kontakte verwendbar

Verfahrweg: bis 20 mm

Geschwindigkeit: 0,08 bis 8 mm/s

Frequenz: 0,01 bis 1 Hz

Belastung: 0,01 bis 3 N

Messgrößen: Reibkraft/-wert

Ball-on-Ring Tribometer

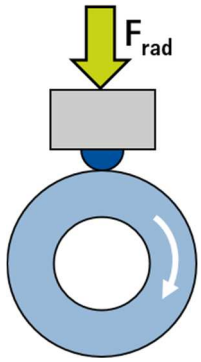
Mikrotribologie

Reibkontaktmessung mit geringen Kontaktpressungen am Kontakt einer stillstehenden Kugel auf einem rotierenden, ringförmigen Gegenkörper

Zur Untersuchung des Reibverhaltens und des Verschleißes z.B. für unterschiedliche Werkstoffe, Beschichtungen, Schmierstoffe und Triboschichten

Unterschiedliche Gegenkörper montierbar, z.B. Innenring Zylinderrollenlager

Trockene oder geschmierte Kontakte verwendbar



Schematischer Aufbau Ball-on-Ring-Tribometer

Drehzahl: 200 bis 1000 min^{-1}

Belastung: bis 3 N

Kugelgröße: 3, 6 oder 10 mm

Messgrößen: Reibkraft/-wert