

Mobilität für morgen – Betriebs-sichere Auslegung von Wälzlagern und -käfigen für Schienenfahrzeuge

Die Megatrends Globalisierung, Urbanisierung, Digitalisierung, Ressourcenknappheit, erneuerbare Energien und der wachsende Bedarf nach erschwinglicher Mobilität führen zu veränderten, viel dynamischeren Marktanforderungen und Geschäftsmodellen. Schaeffler hat seine Wachstumsstrategie geschärft, um diesen veränderten Markt- und Kundenanforderungen Rechnung zu tragen und die enormen Wachstumspotenziale zu nutzen.

► Umweltfreundliche Antriebe, urbane und interurbane Mobilität sowie das Thema Energiekette sind die Fokusfelder, die Schaeffler mit eigener Forschung und Entwicklung gemeinsam mit Kunden und Geschäftspartnern aktiv mitgestaltet.

Die Entwicklung moderner Schienenfahrzeuge stellt höchste Anforderungen an Fahrkomfort, Wirtschaftlichkeit, Zuverlässigkeit und Sicherheit der Komponenten. Wälzlagern kommt dabei eine entscheidende Bedeutung zu. Radsatzlager sind an der Verbindungsstelle von Radsatz und Drehgestellrahmen extremen Belastungen ausgesetzt. Aber auch in den Lagerungen von Fahrmotoren und Getrieben müssen

sie hohen Drehzahlen, Temperaturen und Lasten sowie Schwingungen und Stößen standhalten. Durch eine exakte Lager- und Käfigauslegung wird gewährleistet, dass Lager bis zum Erreichen ihrer Gebrauchsdauer ausfallfrei bleiben bzw. lassen sich Kosten und Zeiten für die Wartung senken und Stillstandzeiten verkürzen.

Unter den Marken INA und FAG entwickelt und produziert das Branchenmanagement Bahn der Schaeffler-Unternehmenssparte Industrie in enger Zusammenarbeit mit Herstellern und Betreibern Lösungen für jede Lageranwendung in Schienenfahrzeugen. Zum Produktportfolio gehören Radsatzlager inklusive Gehäuse sowie Lager und Kompo-



Dr.-Ing. Eduard Aul
Leiter Anwendungstechnik Bahn,
Schaeffler Technologies
GmbH & Co. KG, Schweinfurt
eduard.aul@schaeffler.com

nenten für Fahrmotoren und Getriebe, für Wagengelenke und Neigetechnik sowie für Türen und zahlreiche andere Anwendungen. Radsatzlagereinheiten mit integrierter Sensorik ermöglichen die Drehzahlerfassung während der Fahrt, um verschiedenste Informationssysteme, wie das Bremssteuersystem und WSP (Wheel Slide Protection), Tachometerfunktionen, die Türsteuerung und Signalsysteme zu steuern. Auch Temperatursignale tragen zu einer erhöhten Sicherheit bei. Dank kontinuierlicher Temperaturmessungen zur Lagerüberwachung werden Probleme frühzeitig erkannt und so ein rechtzeitiges Eingreifen ermöglicht. Schaeffler verfügt über mehr als 100 Jahre Erfahrung in der Schienenverkehrstechnik.

Weitere Serviceleistungen umfassen, neben einer individuellen Anwendungsberatung und dem Entwicklungs-Know-how der Schaeffler-Experten, auch den Einsatz modernster Simulations- und Berechnungsprogramme, um eine optimale Produktauswahl sicherzustellen (z. B. Wälzlager-Berechnungsprogramme Bearinx® oder CABA3D). Um die Sicherheit im täglichen Betrieb zu erhöhen sowie Verschleißerscheinungen und Wartungsaufwand zu minimieren, verfügt Schaeffler in Deutschland und China zudem über akkreditierte Prüflabore zur Beurteilung des Leistungsvermögens von Radsatzlagern für Bahnanwendungen. So

Auf dem Prüfstand in Schweinfurt werden in erster Linie zweireihige Kegel- und Zylinderrollenlager in Originalgehäusen untersucht. Vor dem Testlauf wird das Lager (hier: zweireihiges Kegelrollenlager) in das Radsatzlagergehäuse montiert



sind Tests mit Geschwindigkeiten bis zu 600 km/h möglich. Ebenso können Radsatzlager geprüft werden, die im Güterverkehr unter hoher Achslast fahren, also mit bis zu 40 Tonnen pro Achse an Frachtvolumen. Als besonderen Service bietet der Schaeffler Industrial Aftermarket (IAM) die qualifizierte und wirtschaftliche Wiederaufbereitung von Bahnlagern.

MEHR ALS 2 MILLIONEN FAHRKILOMETER – WÄLZLAGER IN GETRIEBEN UND FAHRMOTOREN

Wälzlager in einem Getriebe nehmen die bei der Leistungsübertragung entstehenden Verzahnungskräfte in radialer und axialer Richtung auf. In Schienenfahrzeugen kommen hauptsächlich Kegelrollen-, Vierpunkt- und Zylinderrollenlager zum Einsatz, wobei von einer rechnerischen Lebensdauer von mehr als 1,5 Millionen Fahrkilometern ausgegangen wird. Neben einer hohen Belastbarkeit sind für den Einsatz im Getriebe eine hohe Führungsgenauigkeit und eine kompakte Bauweise gefordert.

Wälzlager in nicht oder nur wenig abgefederten Fahrtrieben sind hohen dynamischen Belastungen durch Stoß- und Schwingungsbelastungen ausgesetzt, die insbesondere auf den Käfig wirken. Die direkt von der Schiene über das Rad auf die Rotorwelle übertragenen Kräfte belasten den Käfig aufgrund von Verformung mit zusätzlichen Biegewechselbelastungen und durch den Stoß mit Zusatzkräften, die direkt über den Wälzkörper auf den Käfigsteg übertragen werden (Bild 1).

Eine Herausforderung bei der Auslegung von Lagern, die in dynamischer Umgebung betrieben werden, stellt somit oftmals die genaue Kenntnis der Lagerbelastung und der Lasten dar, die auf des Lagerinnere, wie z. B. auf den Käfig, wirken.

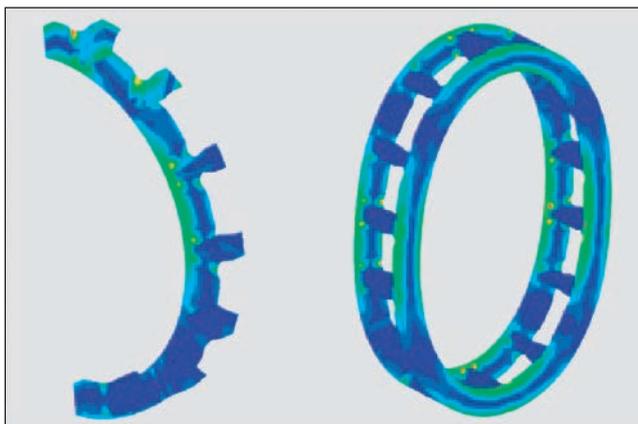


BILD 1: Belastungen auf den Käfig durch Stoß- und Schwingungsbelastung



BILD 2: Kraftfluss im Wälzlager

Getriebelager der Schaeffler-Marken INA und FAG zeichnen sich durch eine verstärkte Innenkonstruktion, ein spezielles Käfigdesign, eingeeengte Toleranzen, angepasste Lagerluft sowie Haltenuten im Außenring aus, die ein „Mitdrehen“ verhindern, sofern sich das Ringwandern nicht anders konstruktiv verhindern lässt [1].

In Fahrmotoren kommen bevorzugt Zylinderrollenlager und Rillenkugellager zum Einsatz. Die rechnerische Lebensdauer für Fahrmotorenlager beträgt mehr als zwei

Millionen Kilometer. Stromdurchgangsschäden werden verhindert, indem Oxydkeramik-beschichtete Außen- oder Innenringe eingesetzt werden, oder Hybridlager mit Wälzkörpern aus Keramik. In elektrischen Güterzuglokomotiven stützen sogenannte „Tatzrollenlagerungen“ den quer zur Fahrtrichtung angeordneten Fahrmotor ab, der direkt auf der Radsatzwelle in zwei Lagerstellen sitzt – den „Tatzen“. Um auch hier eine rechnerische Lebensdauer von mehr als zwei Millionen Fahrkilometern zu erreichen, »

DVZ - Forum 28. Oktober 2014 • Salzburg

Alpenquerender Verkehr

Wie werden die Verkehre günstig und umweltschonend?

Die Alpenländer wollen den Güterverkehr von der Straße auf die Schiene verlagern. Das hat jedoch Auswirkungen auf den internationalen Gütertausch, reduziert die Wertschöpfung und behindert die arbeitsteilige Produktion. Es gilt den Anliegen der Bevölkerung Rechnung zu tragen, aber die Wirtschaft nicht mehr als notwendig zu beeinträchtigen.

Was ist nun von der österreichischen Verkehrspolitik und der EU zu erwarten? Worauf muss sich die Logistik in Zukunft einstellen?

Kooperationspartner
WKO
 Medienpartner
Rail BUSINESS
Eurail press

10% FRÜHBUCHER-RABATT SICHERN! ✓
 Bis zum 26.09.2014

JETZT ANMELDEN!



Programm + Anmeldung:
www.dvz.de/alpen

DVZ
 DEUTSCHE VERKEHRS-ZEITUNG

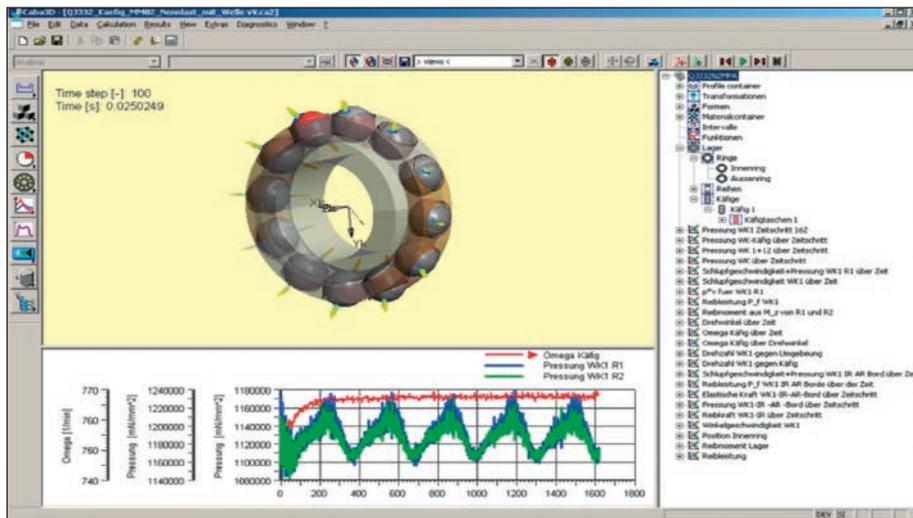


BILD 3: Lagerauslegung mit CABA3D

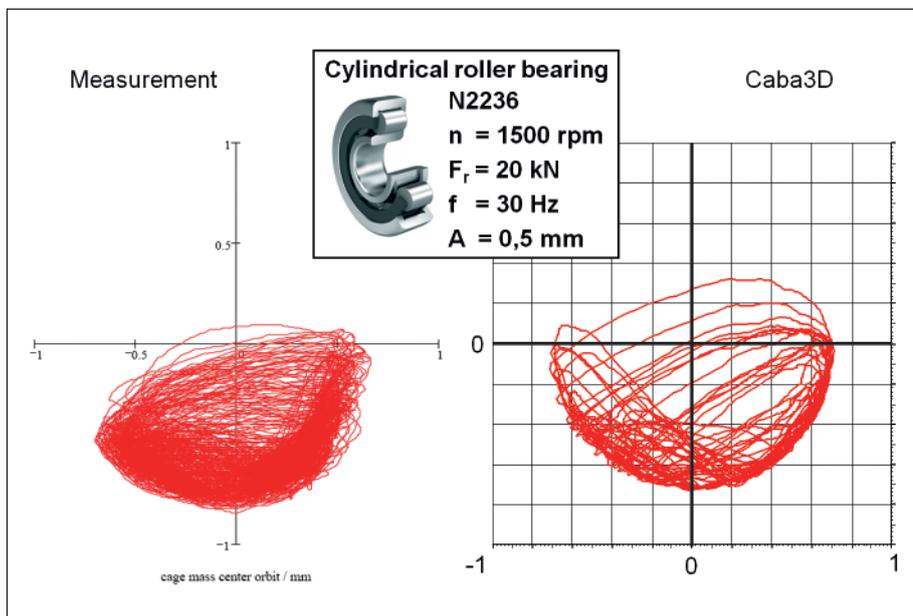
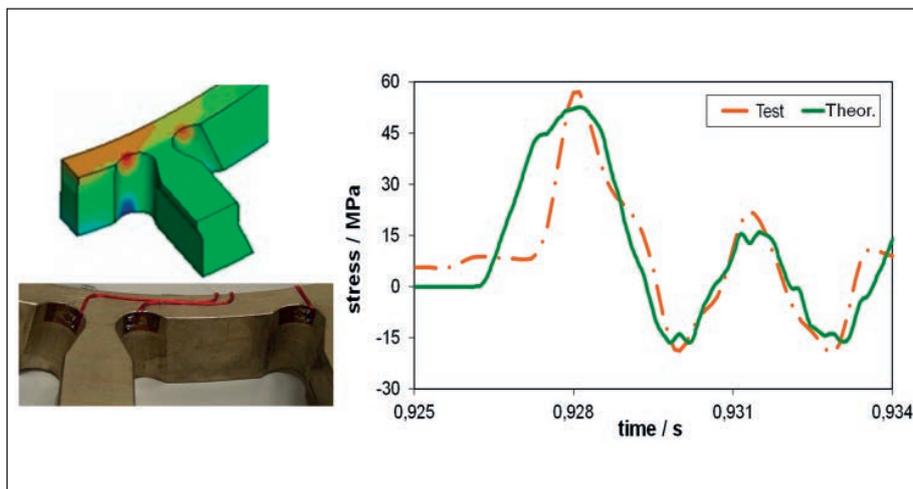


BILD 4: Abgleich der Käfigschwerpunktsbewegung unter dynamischen Betriebsbedingungen (Zylinderrollenlager N2236, Radiallast 20 kN, Drehzahl 1500 min⁻¹, Vibration bei 30 Hz mit 0,5 mm Amplitude) [4]

BILD 5: Spannungsverhalten in der Käfigtasche eines Zylinderrollenlagers unter dynamischer Belastung



werden Rollenlager mit hoher Tragfähigkeit gewählt.

Für die häufig als Antriebslager verwendeten Zylinderrollenlager werden in hoch beanspruchten Fahrantrieben einteilige, (je nach Schmierungsart) bevorzugt außenringgeführte oder wälzkörpergeführte Massivkäfige aus Messing oder Bronze verwendet. Um den Zusatzlasten im Betrieb entgegenzuwirken, werden auch Sonderkäfige mit optimiertem und verstärktem Design eingesetzt. Eigenschaften eines Sonderkäfigs sind u. a. ein optimiertes Käfigtaschenspiel, eine optimierte Kontaktfläche, eine geeignete Käfigführungsart, ein verstärktes Design (Käfigkonstruktion) sowie eine erhöhte Steifigkeit und Festigkeit.

INDIVIDUELLE KÄFIGAUSLEGUNG MIT CABA3D UND FEM

Da der Wälzlagerkäfig großen Einfluss auf das Betriebsverhalten des Lagers hat, ist die Lagerauslegung von besonderer Bedeutung. Denn eine nicht beanspruchungsgerechte Lagerauslegung kann einen Bruch des Käfigs und somit einen frühzeitigen Ausfall des Antriebs zur Folge haben. In der Regel sind nur die von außen auf das Lager wirkenden quasistatischen Belastungen definiert. Die Belastung des Käfigs kann jedoch nicht direkt aus diesen Lagerlasten abgeleitet werden, da der Käfig nicht aktiv am Kraftfluss im Wälzlager beteiligt ist (Bild 2) [2].

Zur betriebssicheren Auslegung von Wälzlagern und -käfigen bei Fahrmotoren und -getrieben in Schienenfahrzeugen unter Berücksichtigung dynamischer Betriebsbedingungen wird bei Schaeffler daher eine eigens entwickelte und bewährte Methode angewendet [2, 3]. Diese umfasst den Einsatz des von Schaeffler entwickelten Mehrkörper-Simulationsprogramms CABA3D (CABA = Computer Aided Bearing Analyzer) in Kombination mit einer FEM. Durch die FE-Berechnung können die Spannungen im Käfig berechnet werden. So ist es zum einen möglich, schon in der frühen Produktentwicklungsphase ein für die Anwendung und den Kunden optimiertes Käfigdesign zu wählen und letztlich Schäden oder Ausfälle zu vermeiden. Zum anderen kann mit Kenntnis der Häufigkeit und Intensität dynamischer Betriebsbedingungen der Betriebsfestigkeitsnachweis für den Käfig geführt werden und unterschiedliche Käfigausführungen hinsichtlich ihrer Anwendbarkeit in Antrieben von Schienenfahrzeugen gegenübergestellt werden (s. Bild 6).

Die Software CABA3D (Bild 3) ermöglicht die dynamische Analyse von Wälzlagern für eine optimale und effiziente Produktent-

wicklung. Unter Beachtung aller Freiheitsgrade werden die Kraft- und Bewegungsverläufe der Wälzkörper und der Ringe bestimmt, auf deren Basis Ergebnisse (z.B. die Reibleistung) für jeden Zeitschritt ermittelt werden. Mit CABA3D ist es somit unter anderem möglich, die übertragene Reibleistung und das Beschleunigungsverhalten der Wälzkörper beim Eintritt in die Lastzone zu berechnen. Damit stehen dem Anwender alle notwendigen Informationen zur Verfügung, um das Betriebsverhalten des Lagers in der Anwendung beurteilen zu können. Insbesondere ist es auch möglich, die Auswirkung einer veränderten Lagerinnengeometrie und unterschiedlicher Käfigdesigns auf das Betriebsverhalten zu berechnen. So können z.B. komplexe tribologische Phänomene analysiert und vermieden oder ein reibungsoptimiertes Lager- und Käfigdesign entwickelt werden [4].

Um den Prozess zur sicheren Festigkeitsbewertung für Lagerkäfige zu validieren, führt Schaeffler umfangreiche Messreihen durch. Im Bild 4 ist auszugsweise die experimentell ermittelte Bewegung des Käfigschwerpunktes (Käfigorbitalbewegung) eines Zylinderrollenlagers unter dynamischen Betriebsbedingungen der mit CABA3D berechneten Käfigschwerpunktposition gegenübergestellt. Zur Analyse bahnspezifischer Belastungen auf das Wälzlagerverhalten wird zudem auf dem Prüfstand mittels am Prüflagerkäfig applizierter Dehnungsmessstreifen das Spannungsverhalten in der Käfigtasche untersucht. Im Vergleich weisen die experimentellen Ergebnisse eine sehr gute Übereinstimmung mit den theoretisch ermittelten Ergebnissen auf (Bild 5).

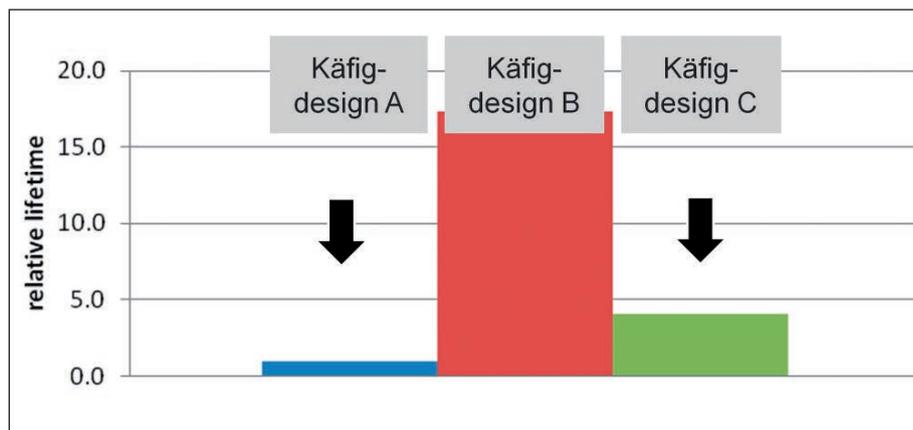


BILD 6: Gegenüberstellung unterschiedlicher Käfigausführungen

Zur betriebssicheren Auslegung der Bahnlager stehen damit moderne und ausgereifte Auslegungswerkzeuge zur Verfügung. Entscheidend für eine optimale Lösung ist dabei immer auch die Betrachtung der dynamischen Belastungen, die in enger Zusammenarbeit mit dem Kunden und unter Betrachtung des kompletten Antriebsstrangs definiert werden. ◀

Literatur

- [1] Aul, E.: Analyse von Relativbewegungen in Wälzlagersitzen. Dissertation, TU Kaiserslautern, 2008
- [2] Koch, O.; Binderszewsky, J.; Bohnert, C.; Hahn, B.; Witt, D.: Betriebssichere Wälzlagerauslegung für dynamische Betriebsbedingungen. Dresdner Maschinenelemente Kolloquium (DMK) 2012, Dresden
- [3] Binderszewsky, J.; Hahn, B.; Koch, O.; Kruhöffner, W.: Calculation of rolling bearing cages. Proceedings STLE Annual Meeting & Exhibition 2012, St. Louis
- [4] Koch, O.; Binderszewsky, J.; Bohnert, C.; Hahn, B.; Witt, D.: Dynamische Wälzlagersimulation – Einsatz als virtueller Lagerprüfstand. Tagungsband zum Antriebstechnischem Kolloquium (ATK) 2013, Aachen
- [5] Vesselinov, V.: Dreidimensionale Simulation der Wälzlagerdynamik. Dissertation Universität Karlsruhe, 2003

► SUMMARY

Mobility for tomorrow – design of roller bearings and cages for the safe operation of railway vehicles

The megatrends of globalisation, urbanisation, digitisation, shortage of resources and renewable energies, in combination with the growing need for mobility at an affordable price, are leading to changed and much more dynamic market demands and business models. Schaeffler has refined its growth strategy in order to take these changed market and client demands into consideration and to leverage the enormous potential for growth.



Produktpremiere: Sinuswechselrichter
Serie MPDAC
InnoTrans in Berlin
23.-26.09.2014
Halle 17, Stand 222

MTM Power® Stromversorgungen für Bahnanwendungen

Unempfindlich gegen mechanischen Stress wie Schock, Vibration und Beschleunigung – die von MTM Power gemäß EN 50 155, EN 45 545 entwickelten Stromversorgungen mit bis zu 3 kW leisten im Zusammenwirken der technischen Komponenten in Zügen einen unverzichtbaren Beitrag.

MTM Power bietet mit der Serie MPDAC eine neue Generation eines modularen und skalierbaren Wechselrichtersystems mit Ausgangsleistungen von 750, 1500, 2250 und 3000VA für Anwendungen in der Bahntechnik (EN 50 155) und Industrie.

