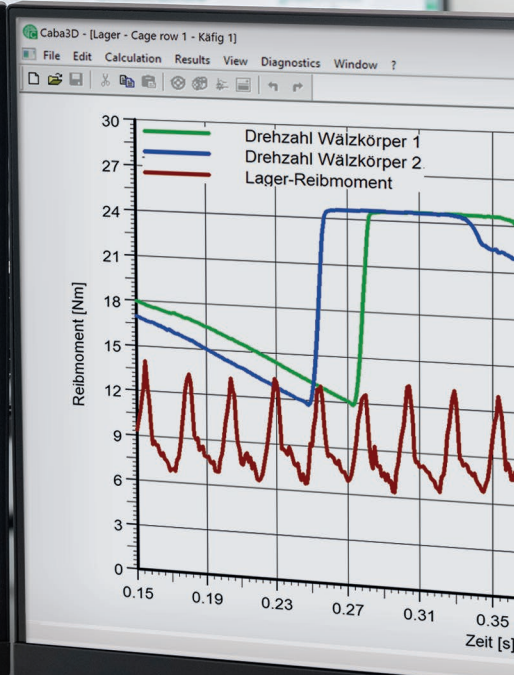
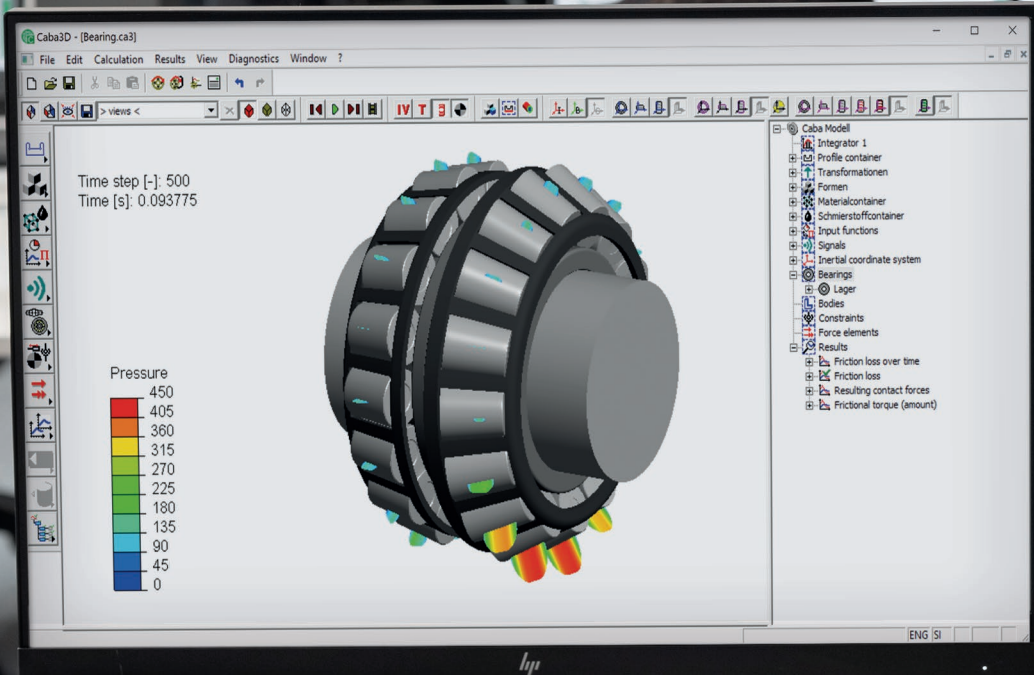
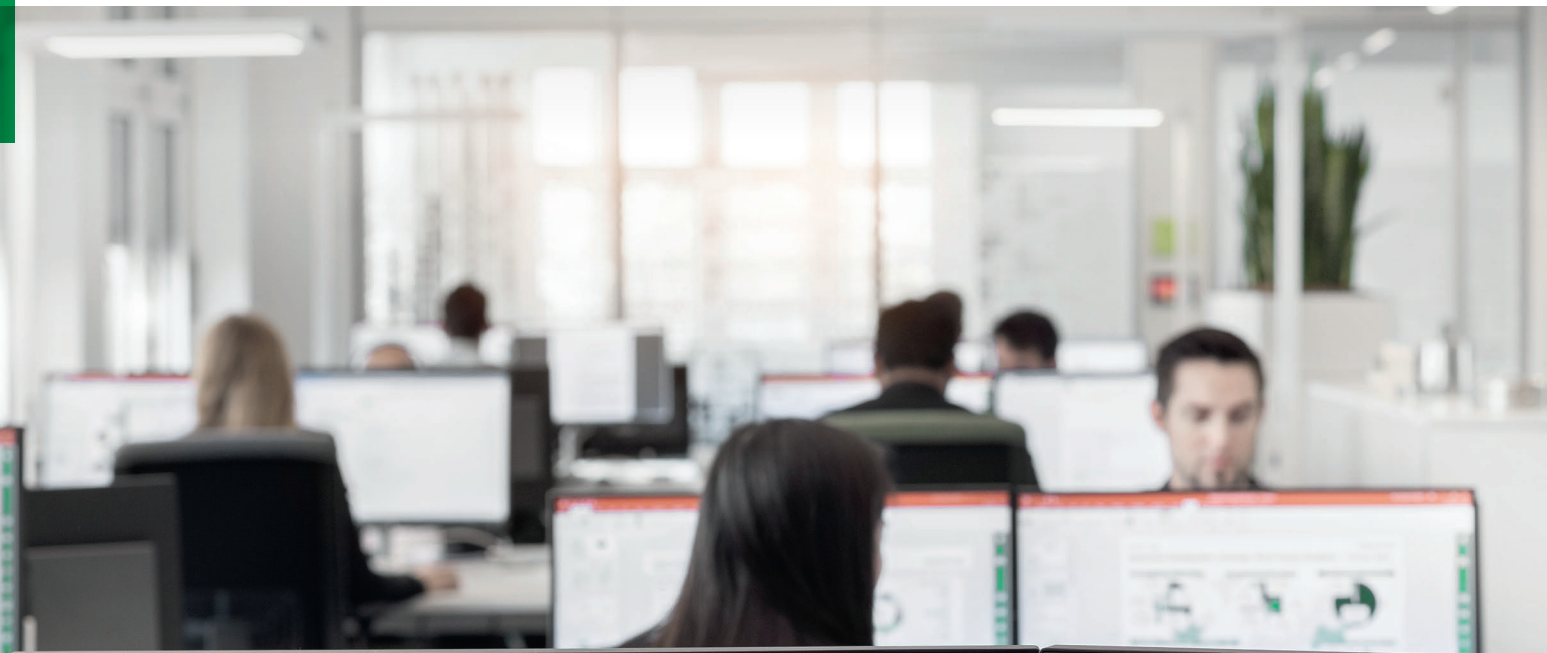


We pioneer motion

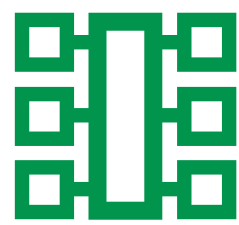
Caba3D

Einblick in die Wälzlagerdynamik



Bearinx Simulation Suite – Die passenden Werkzeuge für Systeme mit Wälzlagern

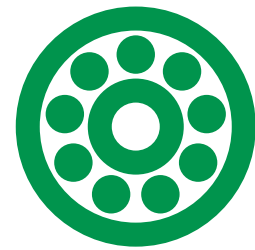
Schaeffler bietet Ihnen dank modernster Simulationsprogramme die bestmögliche Unterstützung im Produktentwicklungsprozess – von der dynamischen Simulation eines gesamten Antriebsstrangs, bis hin zur detaillierten Kontaktsimulation im Wälzlager. Mit der Bearinx Simulation Suite stellen wir CAE-Werkzeuge bereit, die für den jeweiligen Auslegungsfokus optimal zugeschnitten sind.



Simpla

Simpla – Systemsimulation mit Wälzlager-Know-how

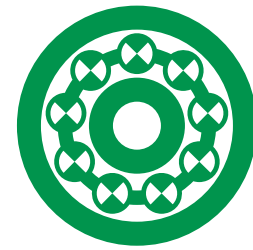
Simpla, als Teil der Bearinx Simulation Suite ermöglicht die Erstellung, Steuerung und Analyse der Simulation komplexer mechanischer Systeme, beispielsweise Windkraftanlagen, um deren dynamisches Verhalten zu analysieren und zu optimieren. Im Fokus stehen dabei die Wechselwirkungen unserer Produkte mit der Kundenkonstruktion. Durch zahlreiche Schnittstellen verknüpft Simpla das Know-how von inhouseentwickelter Software wie Bearinx und kommerziellen Programmen wie Abaqus, Simpack und Samcef. Damit können verschiedenste Simulationsmethoden miteinander gekoppelt werden.



Bearinx

Bearinx – Lagerauslegung mit Systemverständnis

Mit Bearinx können vollständige Getriebe und Linearführungssysteme mit allen relevanten Elastizitäten, Kontaktsteifigkeiten und Umgebungseinflüssen berechnet werden. Als Ergebnisse stehen Lasten, Verlagerungen und Verformungen aller Bauteile zur Verfügung. Für Lager werden zusätzlich Kennwerte wie Lebensdauer, Sicherheiten, Pressungsverläufe und Reibwerte berechnet. Auch Verzahnungen werden mit hohem Detaillierungsgrad berücksichtigt. Über Schnittstellen können Datensätze und Berechnungsmodelle auf einfache Art und Weise mit anderen Programmen ausgetauscht werden.



Caba3D

Caba3D – Der dynamische Blick ins Lager

Innerhalb der Bearinx Simulation Suite ermöglicht die MKS-Software Caba3D einen Blick in das Innere der Wälzlager. Damit kann eine genaue Analyse der dynamischen Vorgänge im Wälzlager vorgenommen werden. So können die Bewegungsverläufe der Lagerkomponenten, die zwischen ihnen wirkenden Kräfte sowie die entstehende Reibleistung bestimmt werden. Ausgehend davon lassen sich u. a. Aussagen zu Mindestbelastung, Antriebsgefährdung, oberflächeninduzierten Schäden treffen. Durch die Betrachtung der Elastizität von Käfigen lassen sich hierfür Spannungen und Schädigungen vorhersagen.



Telos

Telos – Hier steht der Kontakt im Fokus

Das Programm Telos ist die detaillierte Kontaktsimulation innerhalb der Bearinx Simulation Suite. Hierbei werden u. a. die Schmierbedingungen der einzelnen Kontakte, beispielsweise zwischen Wälzkörper und Laufbahn, in allen Details berücksichtigt. Somit können auch Einflüsse von Oberflächenschäden oder Beschichtungen mitbetrachtet werden. Darüber hinaus ist es möglich, verschiedene Eingabegrößen mit einem zeitlichen Verlauf vorzugeben. Zudem können die Eingabedaten aus einem Bearinx-Simulationsmodell mit Hilfe einer speziellen Schnittstelle automatisch übernommen werden.

Caba3D ist unser Blick in das dynamische Innere der Wälzlager. Der Name steht für „Computer Aided Bearing Analyzer 3 Dimensional“. Es bietet uns die Möglichkeit, die Vorgänge im Inneren des Lagers zu analysieren und zu verstehen. Dieses Verständnis ist die Grundlage für die Entwicklung zuverlässiger und energieeffizienter Wälzlager.

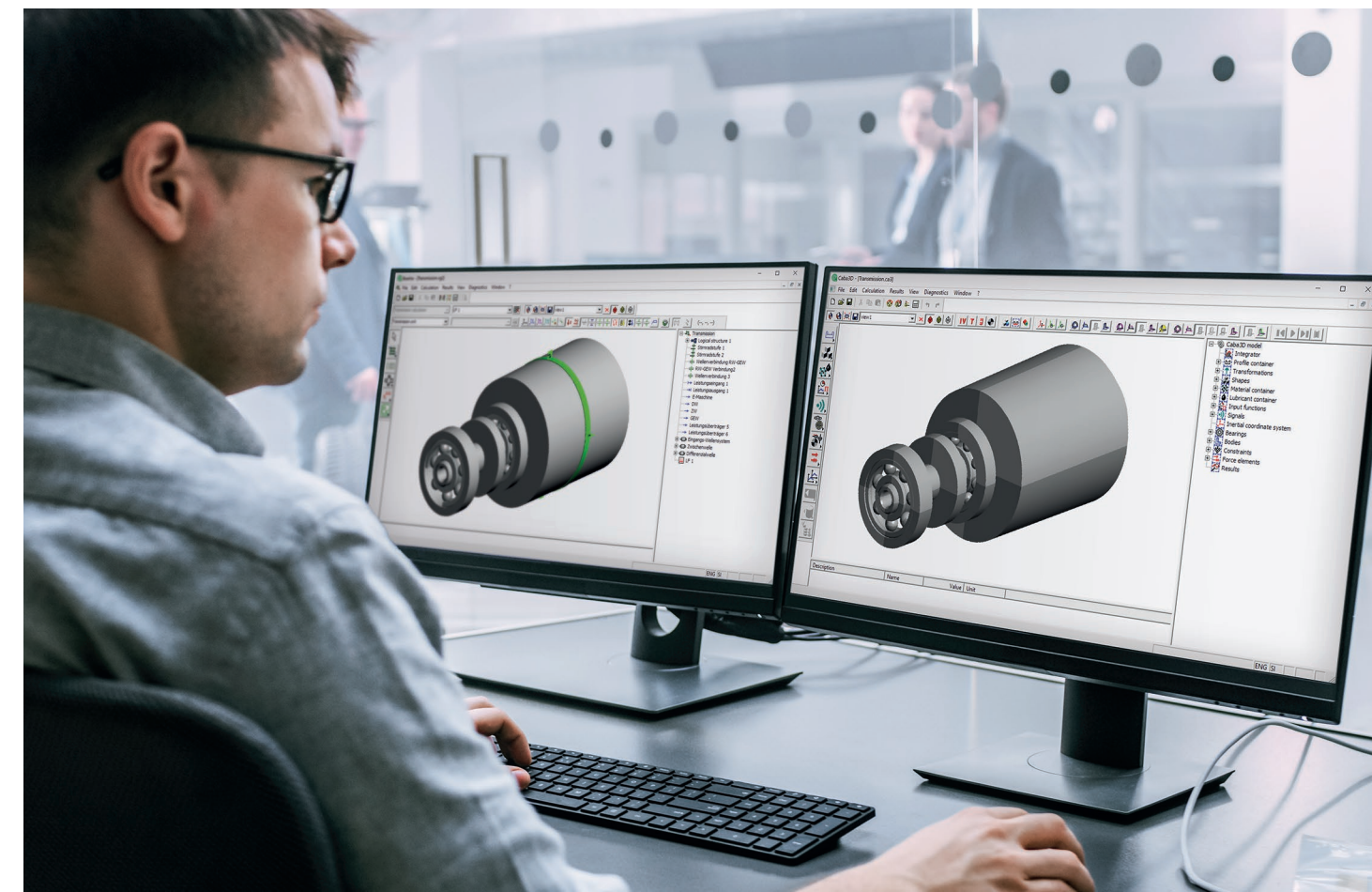
Es gibt keine ruhende Last im Lager

Auch bei statischer äußerer Last wird das Wälzlager im Inneren hochdynamisch beansprucht. Denn durch die Bewegung der Wälzkörper ändern sich sowohl der Ort als auch die Höhe der inneren Kräfte ständig. Treten zusätzlich äußere dynamische Beanspruchungen wie Vibrationen, Stöße oder Drehzahlrampen auf, ist eine quasistatische Auslegung, wie sie zum Beispiel mit unserem Programm Bearinx erfolgt, oft nicht mehr ausreichend. In diesem Fall ist der Einsatz leistungsfähiger dynamischer Simulationsprogramme erforderlich. Kurz gesagt: Es braucht ein Programm wie Caba3D!

Ein Programm, das mit seinen Aufgaben wächst

Caba3D wurde speziell dafür geschaffen, die dynamischen Vorgänge im Lagerinneren zu untersuchen – unter Berücksichtigung komplexer, zeitlich veränderlicher Randbedingungen und Verformungen der Anschlusskonstruktion.

1999 erstmals vorgestellt, entwickelt Schaeffler dieses Simulationsprogramm in engem Kontakt mit den Anwendern kontinuierlich weiter. Caba3D definiert somit den Stand der Technik auf dem Gebiet der dynamischen Simulation von Wälzlagern.



Schnittstellen zwischen Bearinx und Caba3D ermöglichen einen effizienten Simulationsprozess

Eine Software mit Wälzlager-Know-how

Caba3D ist ein Wälzlager-Mehrkörpersimulationsprogramm (MKS), das uns eine realitätsnahe dynamische Simulation aller Wälzlager erlaubt. Eine entscheidende Besonderheit bei Wälzlager ist, dass die einzelnen Körper nur reibschlüssig miteinander verbunden sind. Somit ist die Kinematik nicht vorgegeben, wie dies zum Beispiel bei Verzahnungen der Fall ist. Zudem ist in den meisten Lagern ein Käfig zur Wälzkörperführung vorhanden, der zwar nicht direkt an der Kraftübertragung beteiligt ist, aber trotzdem belastet wird.

Um diese Effekte korrekt abzubilden, enthält Caba3D im Gegensatz zu herkömmlichen MKS-Programmen ein speziell für Wälzlager entwickeltes hydrodynamisches Reib- und Kontaktmodell, das auf dem technologischen Know-how von Schaeffler basiert.

Auf den virtuellen Lagerprüfstand genommen

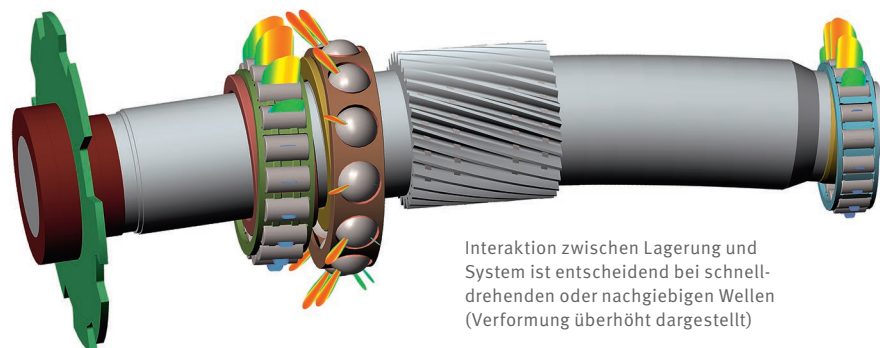
Caba3D ist unser virtueller Lagerprüfstand, auf dem wir schon ganz am Anfang der Produktentwicklung zielgerichtete Änderungen genau und schnell bewerten können. Ein wirtschaftlicher Weg, um das für Ihre Anwendung bestmögliche Lager zu entwickeln.

Caba3D berücksichtigt bei der Simulation alle sechs räumlichen Freiheitsgrade jedes Lagerbauteils (Wälzkörper, Ringe, Käfig). Über Führungsfunktionen lassen sich Zwangsbedingungen definieren, die zum Beispiel die Bewegung eines Planetenradlagers oder Pleuellagers abbilden. Die Kräfte und Momente, die das Lager und die Komponenten belasten, können konstant oder zeitlich veränderbar vorgegeben werden.

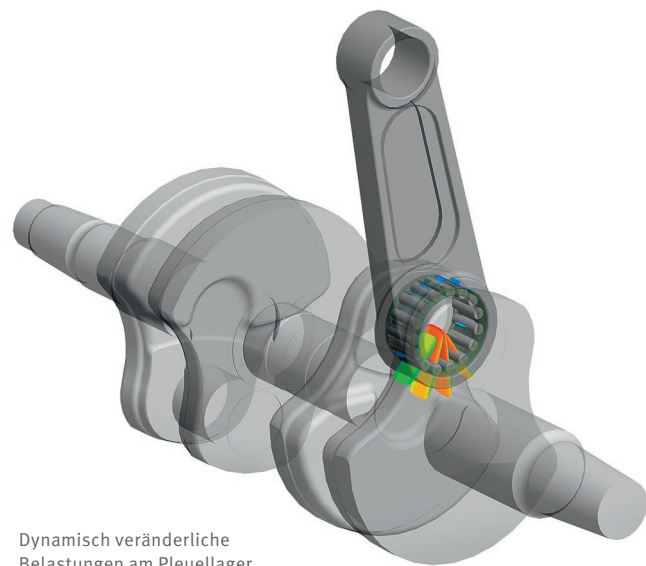
Systeme starr oder elastisch modellieren

Mit Caba3D können wir nicht nur einzelne Lager simulieren, sondern auch Systeme mit mehreren Lagern. Dies kommt zum Tragen, wenn Lagerung und System dynamisch interagieren, wie zum Beispiel bei schnell-drehenden Wellen.

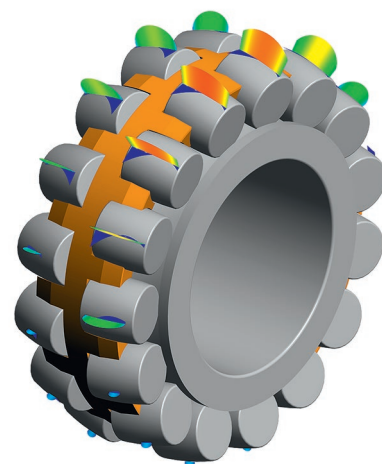
Lagerelemente und andere Körper lassen sich sowohl starr als auch elastisch modellieren. Gerade bei Wellen und Lagerkäfigen ist die Berücksichtigung ihrer Verformungen für das Systemverhalten oft von Bedeutung. Die Kontakte zwischen allen Körpern werden in Caba3D grundsätzlich elastisch betrachtet.



Interaktion zwischen Lagerung und System ist entscheidend bei schnell-drehenden oder nachgiebigen Wellen (Verformung überhöht dargestellt)



Dynamisch veränderliche Belastungen am Pleuellager



Pendelrollenlager mit dargestelltem Verlauf von Kontaktpressung und Schlupf

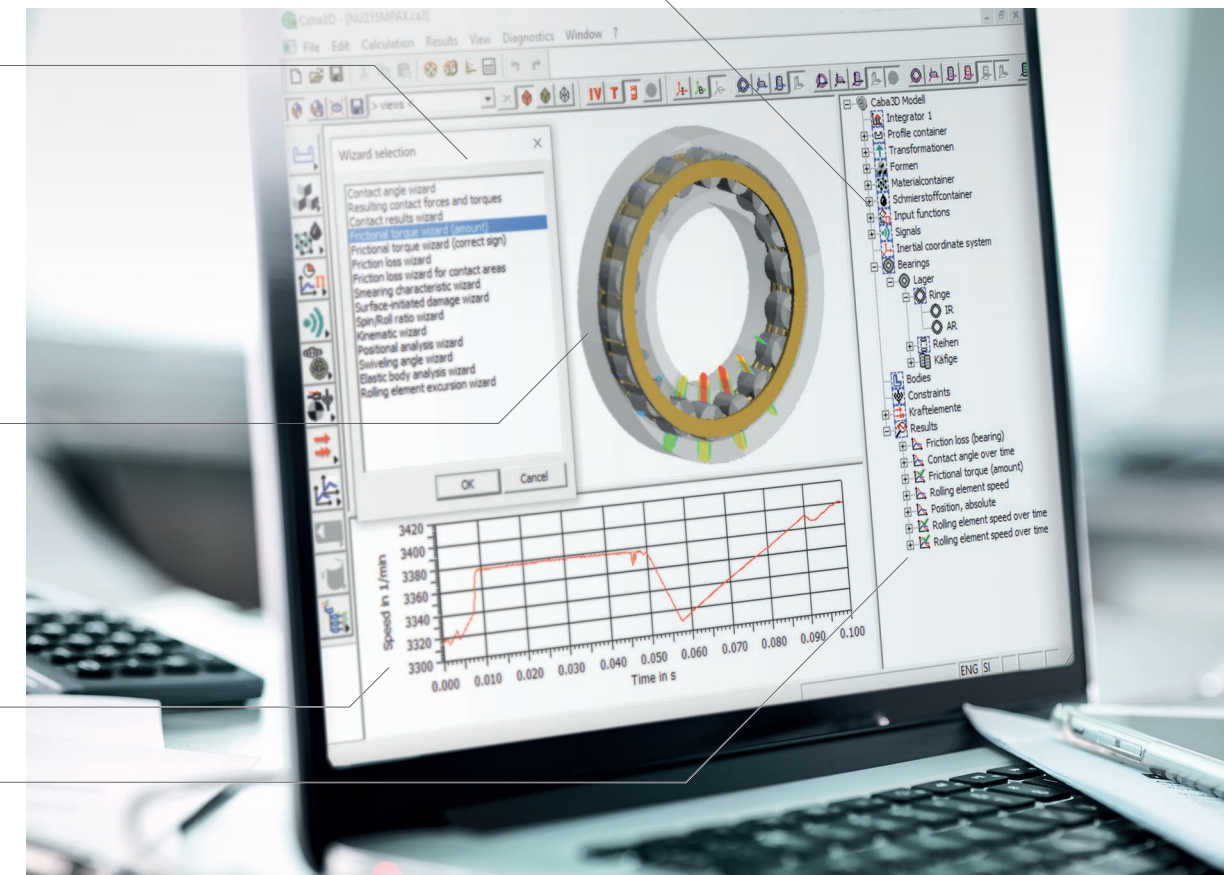
Modell

Auswertungs-assistenten

3D Visualisierung

Diagramme

Ergebnisse



Die grafische Benutzeroberfläche von Caba3D

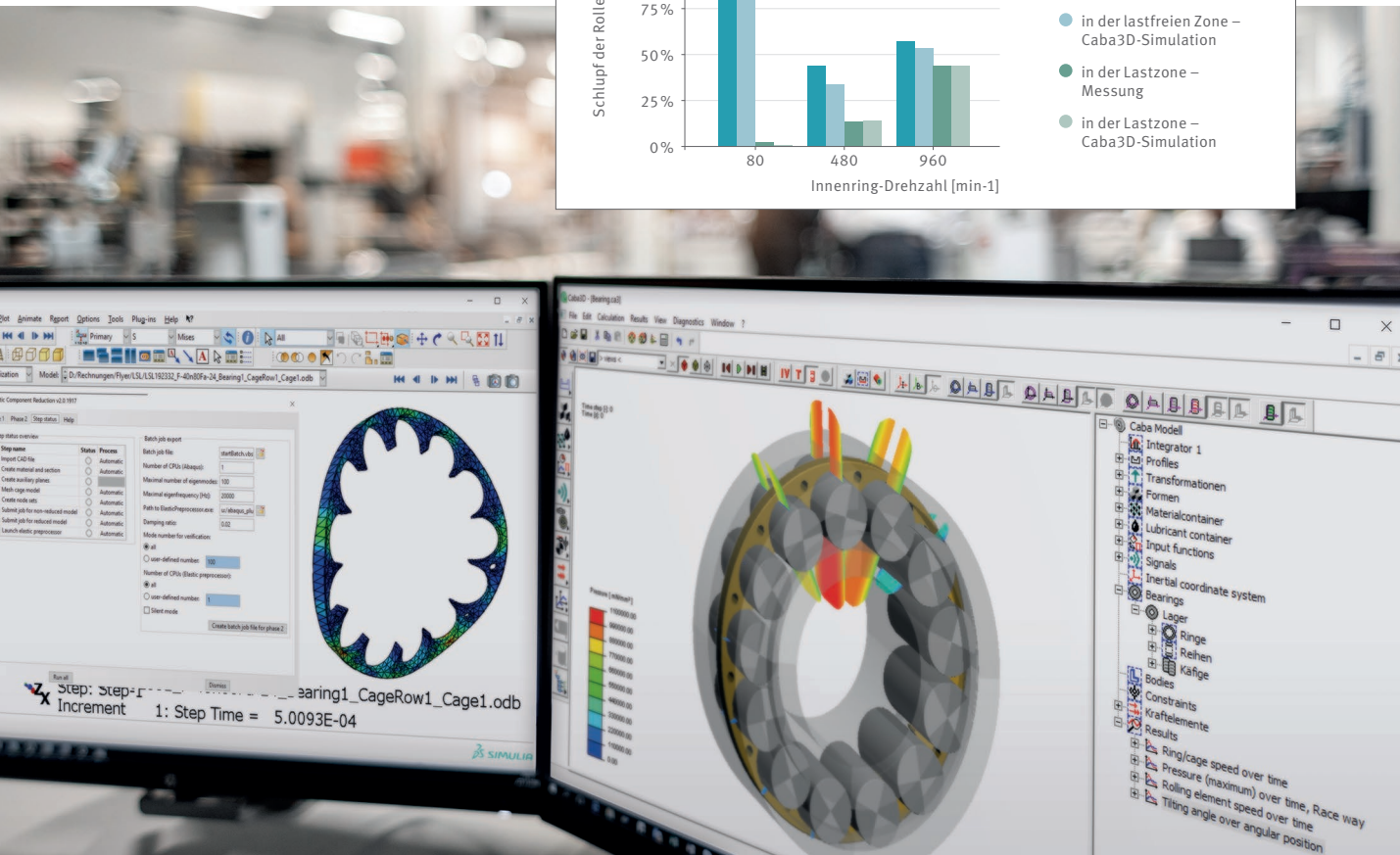
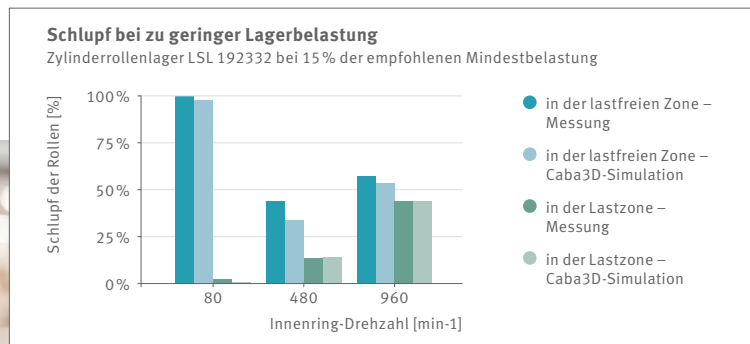
Detaillierte Ergebnisse

Als Ergebnis einer Caba3D-Simulation erhalten wir, neben der Kinematik aller Körper, auch die Kräfte und Momente, die auf diese Körper wirken. Zusätzlich stehen detaillierte Informationen über die Kontakte und die Verhältnisse im Schmierpalt zur Verfügung, wie:

- Pressungsverteilungen
- Schmierfilmdicken
- Schlupf- und Mischreibungszustände
- Kontaktverlustleistungen
- Schadenskennwerte

Komfortable Benutzeroberfläche

Es gibt zwei Möglichkeiten, um die Modelle in Caba3D aufzubauen: Entweder über eine grafische Benutzeroberfläche oder durch Import aus anderen Programmen wie Bearinx oder CAD-Tools. Die Benutzeroberfläche von Caba3D bietet außerdem ein breites Spektrum an Werkzeugen für das Postprocessing. So lassen sich alle Ergebnisse als 2D- oder 3D-Diagramm anzeigen. Für häufige Auswertungen erleichtern uns Assistenten die Erstellung der Diagramme. Zusätzlich können die Ergebnisse in der 3D-Ansicht animiert und als Video gespeichert werden. Auf diese Weise kann beispielsweise die Bewegung der Lagerkomponenten zusammen mit den Pressungen und dem Schlupf in den Kontakten visualisiert werden.



Caba3D ist validiert mit Versuchen und FEM-Berechnungen

Ergebnisvielfalt: Was interessiert unsere Kunden?

Durch die umfangreichen Ergebnisse können wir mit Caba3D viele Fragen beantworten, darunter:

- An welchem Kontakt entsteht die größte Verlustleistung?
- Weshalb entsteht die größte Verlustleistung genau dort?
- Ist das Lager ausreichend belastet oder treten schädliche Schlupfzustände auf?
- Besteht bei den betrachteten Betriebsbedingungen Verschleißgefahr?

Darüber hinaus eignet sich Caba3D hervorragend, um Untersuchungen zum Geräusch- und Vibrationsverhalten von Wälzlagern durchzuführen. Die Ergebnisse von Caba3D werden von uns auch als Eingangsgrößen für FEM-Berechnungen verwendet, um die Festigkeit von Lagerkomponenten zu bewerten. Ebenso gibt es eine Schnittstelle zu unserer Kontaktsimulation Telos. Hiermit kann zum Beispiel der Einfluss von Beschichtungen auf die Bedingungen im Kontakt analysiert werden.

Durch Validierung zu höchster Kundenakzeptanz

Die Validierung von Berechnungsprogrammen ist eine grundlegende Aufgabe, die für Softwareentwickler, Nutzer und Endkunden gleichermaßen von Bedeutung ist. Dies trifft insbesondere auf ein Tool wie Caba3D zu, da hier eine Vielzahl von detaillierten Ergebnissen erzeugt wird. Nur durch eine systematische Validierung können wir sicherstellen, dass die Simulationsergebnisse und die auf dieser Basis entwickelten Produkte die hohen Anforderungen unserer Kunden erfüllen.

Für die Validierung haben wir die Ergebnisse von Caba3D sowohl in der Theorie als auch in der Praxis verifiziert. Zum einen wurde mit anderen Berechnungsprogrammen, wie zum Beispiel Bearinx, verglichen. Zusätzlich haben wir umfangreiche Lagerversuchsreihen gefahren und dabei unter anderem Reibmoment, Kinematik und Käfigbelastungen als Vergleichsgrößen herangezogen.

Täglich in der Praxis bewährt

Im Diagramm links ist beispielhaft ein Vergleich zwischen Caba3D und einer Messung am Prüfstand dargestellt. Zu sehen ist, wie sich der Schlupf der Wälzkörper in einem zu gering belasteten Lager (die Radiallast beträgt nur 15 % der empfohlenen Mindestbelastung) einstellt. Die Simulationsergebnisse stimmen sehr gut mit den Messungen überein.

Durch den alltäglichen Einsatz als Auslegungswerkzeug für unsere Wälzlager unterliegt Caba3D außerdem ständig dem Abgleich mit realen Anwendungen.

Mit Caba3D verfügen wir unter dem Strich also über ein ausgezeichnet validiertes, sehr mächtiges Berechnungswerkzeug zur Analyse und Auslegung von Wälzlagern für Ihre Anwendungen.

Fit für neue Herausforderungen

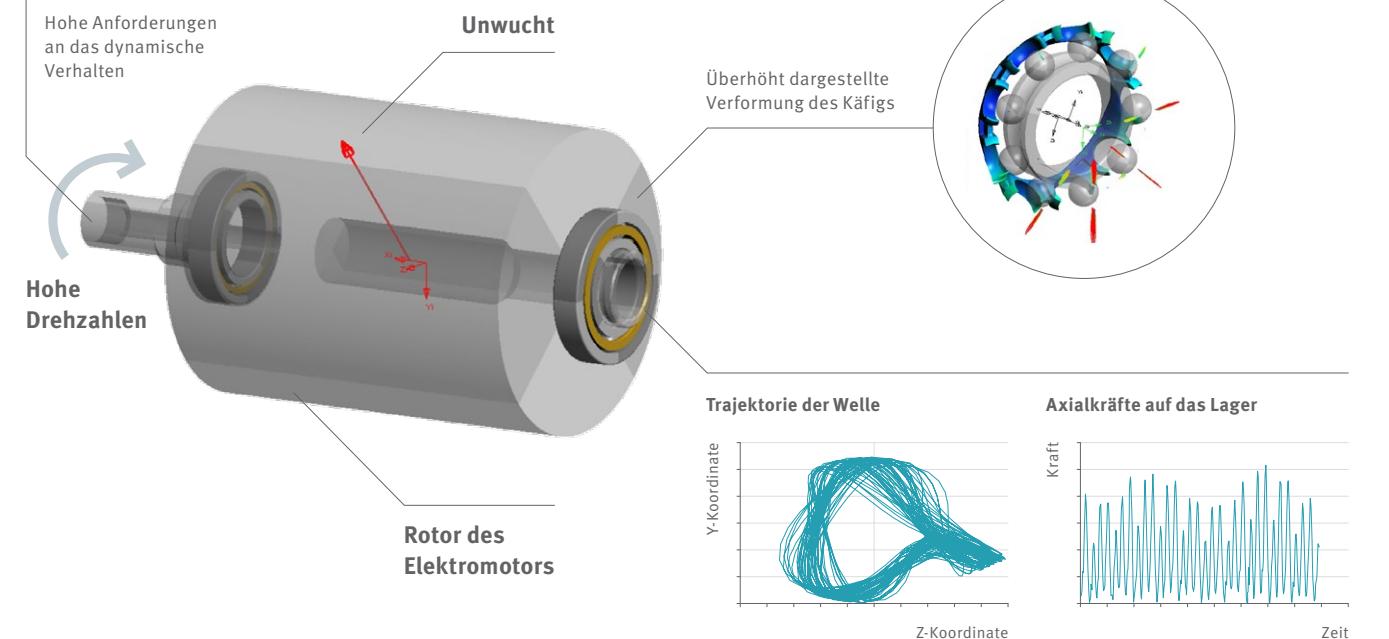
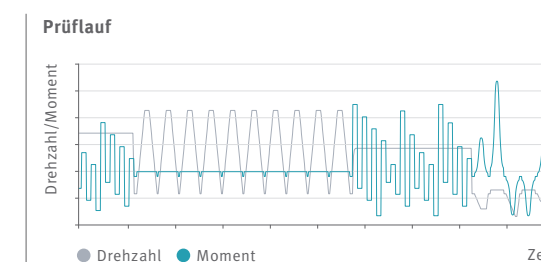
Die Anforderungen an Wälzlager für neue Antriebskonzepte steigen, sowohl für vollelektrische als auch für hybride Antriebe. Eine wesentliche Anforderung ist dabei die Eignung für hohe Drehzahlen.

Bei hohen Drehzahlen ist oft nicht nur die Ermüdungslebensdauer eines Wälzlagers entscheidend, sondern auch die Festigkeit des Lagerkäfigs. Hinzu kommen zusätzliche Belastungen wie Schwingungen durch Unwucht oder Torsionsbeschleunigungen.

Unten ist ein typisches Szenario abgebildet, in dem hohe Käfigbelastungen auftreten können. Die starken Unwuchtkräfte im oberen Drehzahlbereich führen zu einer schnell wechselnden Radialbelastung auf das Wälzlager. Es ergibt sich eine asymmetrische Trajektorie der Welle. Die resultierenden Kräfte auf das Lager wechseln zwischen minimaler und maximaler Belastung. Durch den Druckwinkel ergibt sich auch eine dynamische Axialbelastung der Lager. Dies führt zu deutlichen, hochfrequenten Schwingungen in axialer Richtung.

Der beschriebene dynamische Effekt führt zu zusätzlichen Belastungen des Käfigs, da diese Schwingung auch über die Wälzkörper in der Lastzone auf den Käfig und die unbelasteten Wälzkörper übertragen wird. Dieser Effekt kommt zu der Fliehkraft aus der Drehung um die eigene Achse hinzu, die bei der hohen Drehzahl bereits einen relevanten Einfluss darstellt.

Caba3D kann all diese Wechselwirkungen zwischen System und Lager abbilden und ist somit fit für neue Herausforderungen.



**Weiterführende Informationen**

www.schaeffler.de/berechnung

**Informationsmaterial zu weiteren Teilen der Bearinx Simulation Suite**

Simpla – Systemsimulation mit Wälzlager-Know-how

www.schaeffler.de/Druckschrift_SIMPLA

**Informationsmaterial zu weiteren Teilen der Bearinx Simulation Suite**

Bearinx – Lagerauslegung auf hohem Niveau

www.schaeffler.de/Druckschrift_BEARINX

Schaeffler Technologies AG & Co. KG

Industriestraße 1 – 3
91074 Herzogenaurach
www.schaeffler.de
info@schaeffler.com
Telefon +49 9132 82-3396

Alle Angaben wurden sorgfältig erstellt und überprüft. Für eventuelle Fehler oder Unvollständigkeiten können wir jedoch keine Haftung übernehmen. Technische Änderungen behalten wir uns vor.
© Schaeffler Technologies GmbH & Co. KG
Ausgabe: 2022, August
Nachdruck, auch auszugsweise, nur mit unserer Genehmigung.