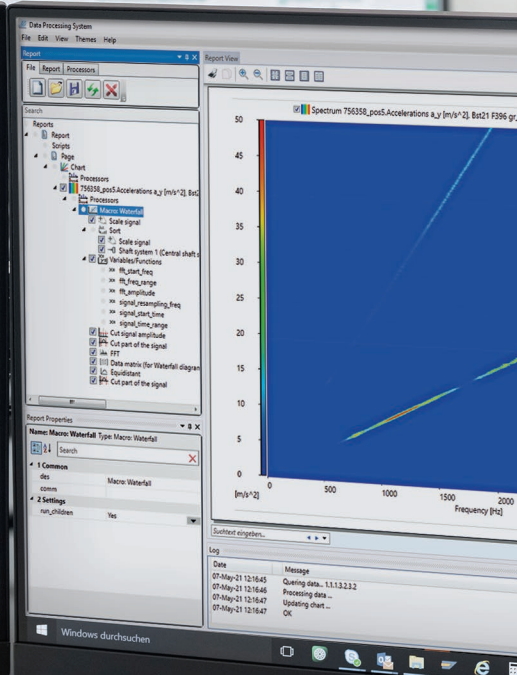
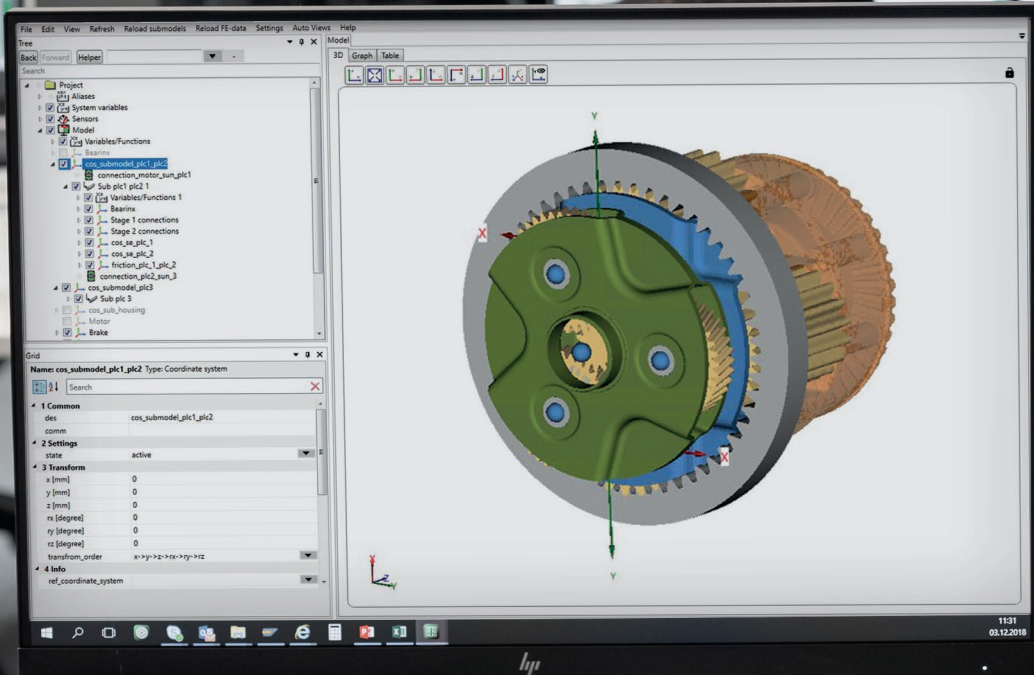
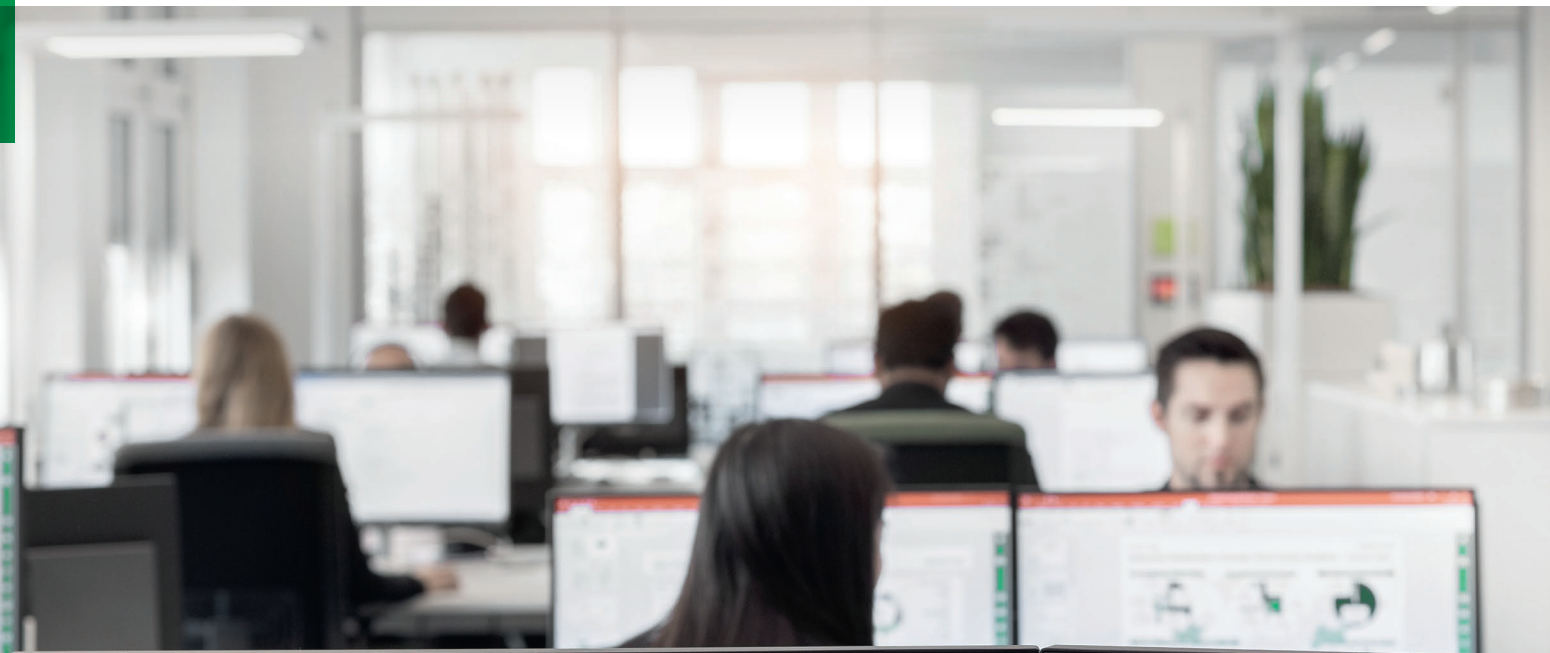


We pioneer motion

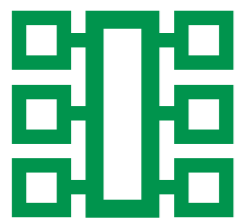
Simpla

Simulation der Systemdynamik mit Wälzlager-Know-how



Bearinx Simulation Suite – Die passenden Werkzeuge für Systeme mit Wälzlager

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



Bearinx



Caba3D



Telos

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 – 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 – 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 – 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.

Die dynamische Simulation ist für die Entwicklung leiser und schwingungsarmer Maschinen ein entscheidender Baustein. Mit dem Programm Simpla liefern wir das dazu passende Werkzeug. Es ermöglicht einen effizienten Aufbau von Dynamikmodellen, die anschließende Durchführung von Simulationen und eine umfangreiche und bequeme Auswertung der Ergebnisse.

Die Simulationsaufgaben und Modelle können beliebig komplex sein, von einfachen Rotorsystemen bis hin zu kompletten Windkraftanlagen. Entscheidend ist häufig, die Wechselwirkungen in Schwingungssystemen in der Simulation richtig abzubilden und mit Hilfe der Simulation besser zu verstehen. Dafür stehen innerhalb von Simpla verschiedene Berechnungsmethoden zur Verfügung.

Simpla – die Simulationsplattform

Eine hohe Modellqualität und ein effizienter Modellaufbau stehen bei Simpla im Vordergrund. Es wird als Pre- und Postprozessor für die dynamische Simulation von Systemen beliebiger Komplexität eingesetzt.

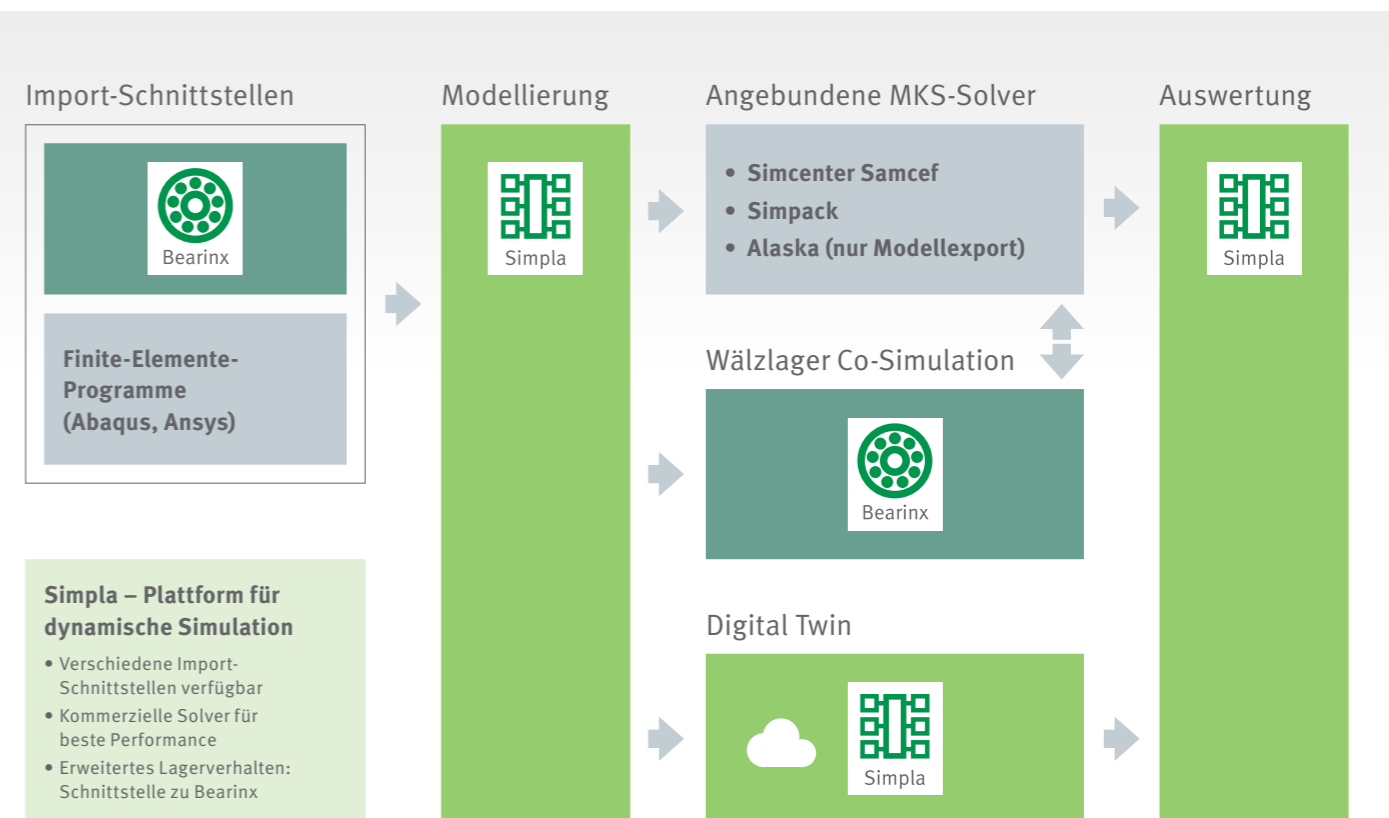
Simpla besitzt vielseitige automatisierte Schnittstellen zu im Entwicklungsprozess eingesetzten CAE-Werkzeugen, wie beispielsweise dem Schaeffler Programm Bearinx oder dem FEM-Programm Abaqus und erzeugt automatisch Simulationsmodelle für verschiedene Solver der Mehrkörpersimulation (MKS), wie Simpack oder Simcenter Samcef. Durch die intuitive Benutzeroberfläche wird dabei auch „Nicht-Simulations-Experten“ der Zugang zu dynamischen Simulationen ermöglicht.

Der Simpla Post-Prozessor bietet die Möglichkeit, Simulationsergebnisse im Zeit- und Frequenzbereich zu analysieren. Die Ergebnisse werden weitgehend automatisiert weiterverarbeitet, um immer gleiche Auswertungen und Modellanimationen erzeugen zu können.

Simpla ermöglicht Ihnen einen schnellen Einstieg in die Welt des Machine Learnings und in Cloud Systeme.

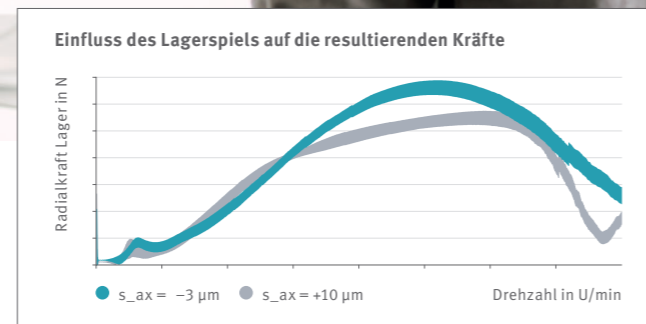
Bei zahlreichen Projekten, intern und in Zusammenarbeit mit Kunden hat sich Simpla als leistungsfähiges Tool für die Systemsimulation bewährt.

Modellierungsprozess und Workflows in Simpla





Rotordynamische Untersuchung eines Turboladers



Wälzlager in der Mehrkörpersimulation

Bei wälzgelagerten Systemen machen kleinste Details einen großen Unterschied. So kann das Lagerspiel wälzgelagerten Rotoren einen signifikanten Einfluss auf die Höhe der Schwingungsamplituden haben. Mit Simpla liefern wir die Möglichkeit, Wälzlagermodelle mit unterschiedlichem Detaillierungsgrad in die Mehrkörpersimulation einzubinden.

Über Schnittstellen schaffen wir dabei Zugriff auf die fundierten Berechnungsmethoden des Schaeffler Programms Bearinx.

Eine Möglichkeit zur Modellierung von Wälzlager ist, das Verhalten über eine Steifigkeitsmatrix zu beschreiben. Sie lässt sich durch eine automatisierte Linearisierung des Lagerverhaltens im Betriebspunkt berechnen. Koppelungen zwischen einzelnen Freiheitsgraden sind dabei mit abgebildet. Belastet man z. B. ein Kegelrollenlager radial, so entstehen durch die Koppelung auch Axialkräfte. Die Modellierung über Steifigkeitsmatrizen ist numerisch sehr effizient.

Hat das nichtlineare Verhalten des Lagers einen signifikanten Einfluss auf das System oder variieren die Lagerlasten während der Simulation, so kann das Wälzlager über eine Bearinx-Co-Simulation in die Dynamiksimulation eingebunden werden. Die nichtlinearen Eigenschaften des Lagers inklusive der Koppeleffekte der einzelnen Freiheitsgrade werden dann in jedem Zeitschritt realitätsnah abgebildet.

Lagerakustik im System

Wir möchten es möglichst leise, insbesondere bei Wälzlager. Sollten Laufbahnen oder Wälzkörper jedoch Abweichungen aufweisen, dann lässt sich über Simpla berechnen, wie sich diese auf das akustische Verhalten des Systems auswirken. Möglich wird dies über die Vorgabe von Laufbahnabweichungen in Bearinx und die Einbindung des Lagermodells in die Simpla-Simulation.

Rotordynamik

Bei schnellrotierenden Rotorsystemen wie Turbolader, Spindeln oder E-Maschinen steht Folgendes im Vordergrund:

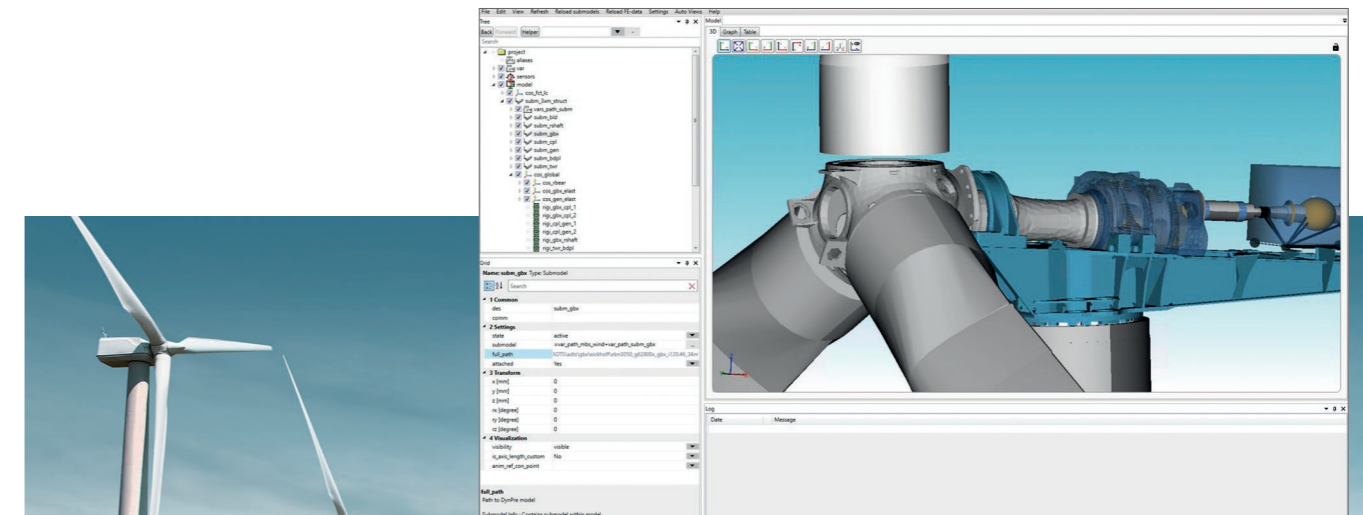
- Treten im Betriebsdrehzahlbereich Resonanzen auf und sind diese kritisch?
- Wirken sich Nichtlinearitäten, z. B. der Wälzlager auf Auslenkungsamplituden, Lagerkräfte und Resonanzen aus?
- Lässt sich das Gehäuse optimieren, um das dynamische Verhalten des Rotorsystem positiv zu beeinflussen?

All diese Fragestellungen lassen sich mit Simpla untersuchen. Für einen bequemen Übergang aus der linearen Rotordynamik in Bearinx hin zur nichtlinearen Rotordynamik in Simpla sorgt die automatisierte Schnittstelle. Ebenfalls lassen sich in Simpla Eigenfrequenzen und Dämpfungswerte über der Drehzahl berechnen. Diese können als Anhaltspunkt für Stabilitätsuntersuchungen dienen.

Komplexe Anwendung mit unterschiedlichen Facetten – Simulation einer Windkraftanlage

Mit Simpla werden auch komplexe Simulationsaufgaben lösbar. Bei Windkraftanlagen ist beispielsweise die starke Kopplung zwischen Aerodynamik, mechanischen Schwingungen, Elektrik und nicht zuletzt der Steuerung eine Herausforderung. Über Schnittstellen und Substrukturierung der Modelle bietet Simpla die Brücke, um das Zusammenwirken unterschiedlicher Komponenten und unterschiedlicher Hersteller zu verbinden. In Kooperationen mit Windkraftanlagenherstellern, Getriebeherstellern und Schaeffler als Zulieferer von Lagern werden gemeinsam Modelle in Simpla erstellt. Die Substrukturierung der Modelle ist von großem Nutzen, um zum Beispiel die Modellvalidierung in mehreren Schritten durchzuführen. So kann das Antriebsstrangmodell gegenüber Prüfstandmessungen validiert werden, das Modell der gesamten Anlage gegenüber Feldmessungen.

Simulationsmodell einer Windkraftanlage



Effiziente Methoden für optimale Lösungen

Getriebedynamik – vom Zahnkontakt bis zur Anbindung des Getriebegehäuses bilden wir alles ab

Bei Getrieben führt der fortwährende Zahnengriff zu Schwingungen und beeinflusst damit entscheidend das akustische Verhalten. Dynamiksimulationen mit Simpla können dazu beitragen, dass Getriebe möglichst leise und schwingungsarm werden.

Bei der Modellierung ist es entscheidend das Übertragungsverhalten vom Zahnengriff zu Gehäuseoberflächen oder Anbindungspunkten an Maschinenträger oder Fahrzeuggahmen ausreichend genau abzubilden. Weiterhin ist eine möglichst exakte Beschreibung des Zahnkontakts erforderlich. Mit Simpla in Kombination mit dem MKS-Solver Simcenter Samcef lässt sich beides sicherstellen.

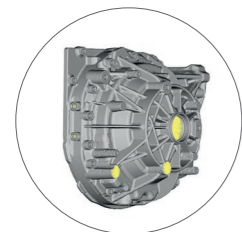
Das Übertragungsverhalten wird unter anderem über die detaillierten Wälzlagermodelle und elastische Komponenten, wie Planetenträger oder Gehäuse beschrieben. Letztere werden als Superelement in das Simulationsmodell eingebunden.

Über den Solver Simcenter Samcef werden verschiedene Verzahnungselemente bereitgestellt. Das genaueste ermöglicht eine effiziente Berechnung des nichtlinearen Zahnkontakts zu jedem Zeitschritt der transienten Simulation. Dabei wird auch der Einfluss der Systemverformung auf den Zahnengriff automatisch berücksichtigt. Durch Verzahnungskorrekturen lässt sich das Anregungsverhalten der Verzahnung minimieren. Deren Auswirkungen lassen sich mit Simpla detailliert untersuchen.

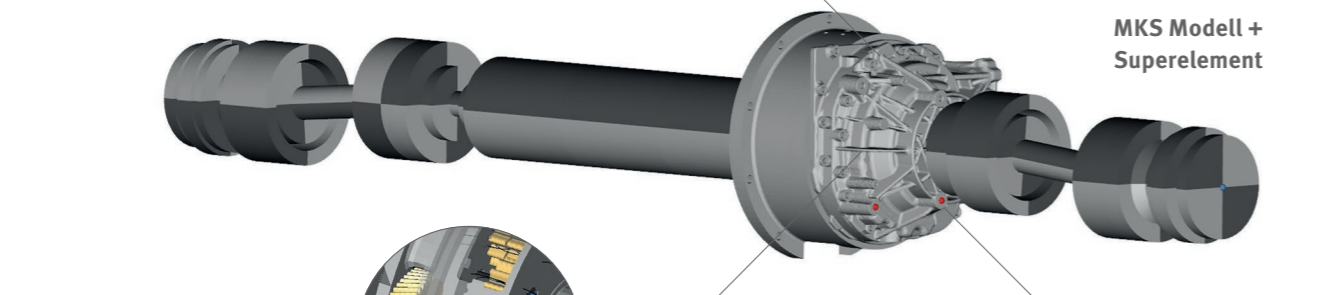
Neben der transienten Simulation mit der z. B. Getriebehochläufe berechnet werden können, stehen weitere Analysemethoden zur Verfügung. Die Modalanalyse in Kombination mit der harmonischen Analyse hilft zu verstehen, welche Bauteile bei Resonanzüberhöhungen schwingen und liefert damit einen Ansatz zur Optimierung. Dies gilt auch für die Transferpfadanalyse, mit der sich untersuchen lässt, welche Übertragungselemente, wie z. B. Lager hauptsächlich Schwingungen von der Anregungsquelle hin zum Gehäuse weiterleiten.

Der Simpla Postprozessor ist zur Auswertung von Getriebe-simulationen bestens geeignet. Es lassen sich z. B. Wasserfall-diagramme oder Ordnungsschnitte erstellen. Damit lässt sich analysieren, welche Pegel sich an Gehäusepunkten für die einzelnen Verzahnungsordnungen bei Hochlaufsimulationen ergeben.

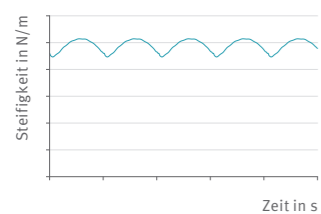
Superelement (CMS)



Berücksichtigung elastischer Strukturen in Simpla

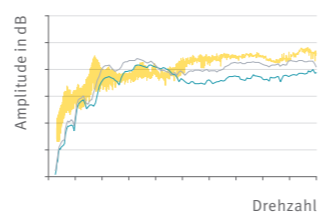


Verzahnungsanregung

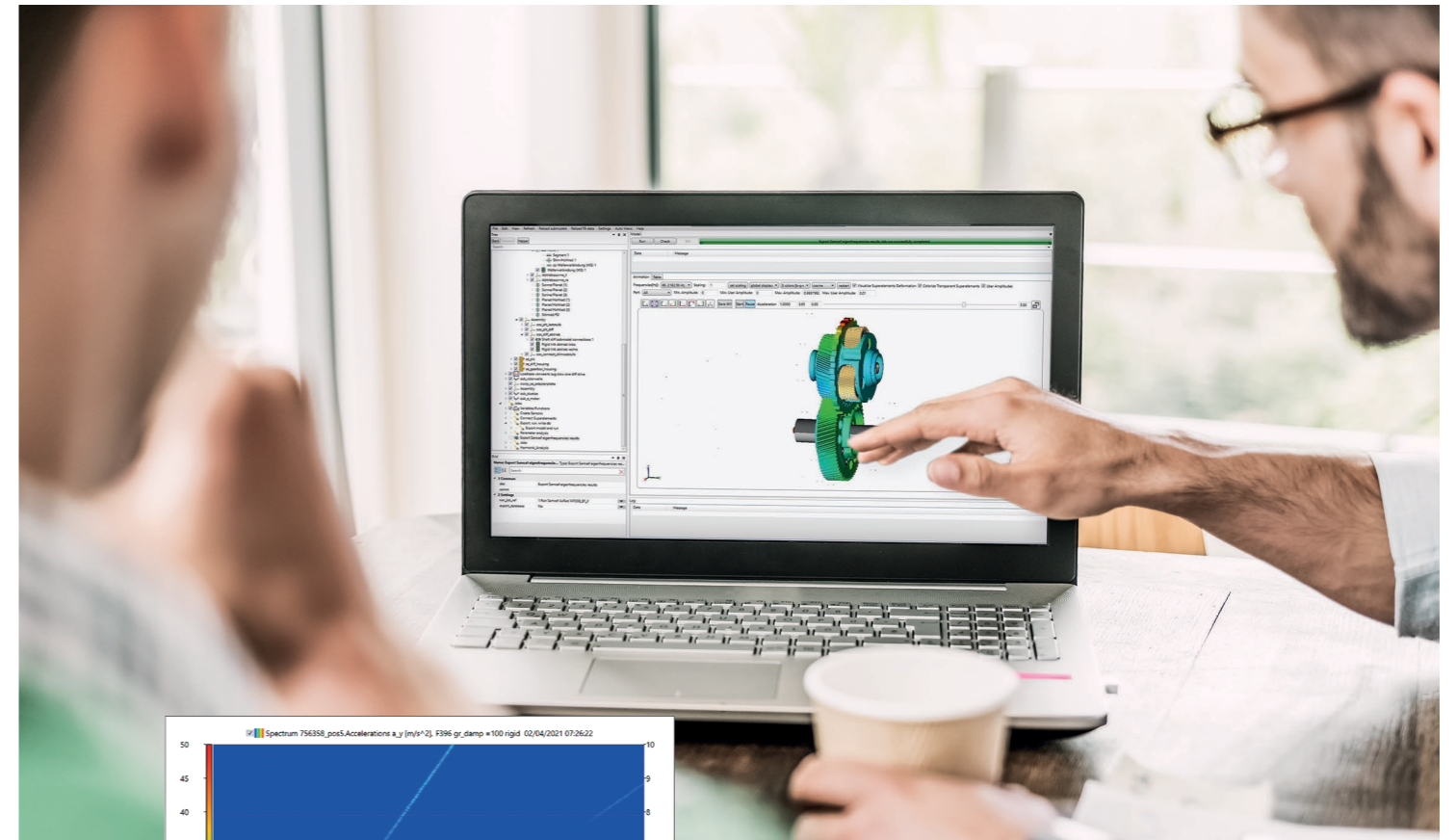


Getriebedynamik – Von der Verzahnungsanregung hin zu Schwingungen am Gehäuse lässt sich alles simulieren

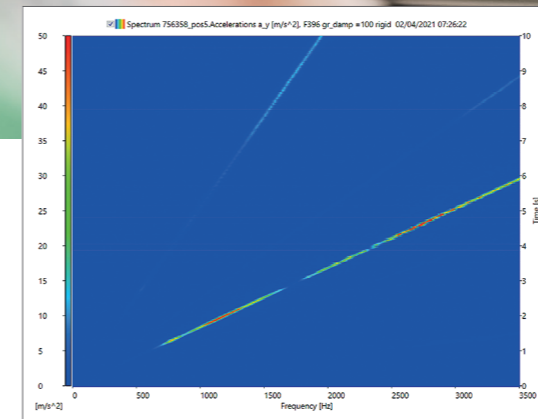
Ordnungsschnitt Beschleunigungen



- Simulation mit Mikrokorrekturen
- Simulation ohne Mikrokorrekturen
- Messung



Animation der Ergebnisse (Modalanalyse)



Wasserfalldiagramm eines Getriebehochlaufs (transiente Analyse)

Machine Learning und Cloud Systeme

Der gesamte Prozess vom Simulationsmodellenaufbau bis zum Trainieren von Machine Learning (ML)-Modellen und deren Anwendung wird durch Simpla unterstützt. Die in Simpla implementierte aufwendige Signalanalyse kann sowohl für Simulationsergebnisse als auch für Messdaten verwendet werden, die in unterschiedlichen Formaten wie DIAdem, Famos oder csv vorliegen können. Zur weiteren Nutzung der vorhandenen Daten wurden verschiedene ML-Bibliotheken, wie XGBoost, ML.Net und Tensorflow (neuronale Netze), eingebunden. Mit der Einbindung von ML.Net steht dem Simpla-Nutzer Funktionalität zur Verfügung, die automatisch den am besten geeigneten ML Algorithmus auswählt und dessen Parametrierung vorschlägt.

Sowohl Simulations- als auch Messdaten können sehr umfangreich werden. Daher können einzelne Teile oder auch die komplette Bearbeitungskette über Simpla durch Knopfdruck auf Cloud-Systeme überführt werden. So lassen sich die Dienste auch standortunabhängig nutzen.

**Weiterführende Informationen**

www.schaeffler.de/berechnung

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

Caba3D – Einblick in die Wälzlagerdynamik

www.schaeffler.de/Druckschrift_CABA3D

**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: 2021, September
Nachdruck, auch auszugsweise, nur mit unserer Genehmigung.