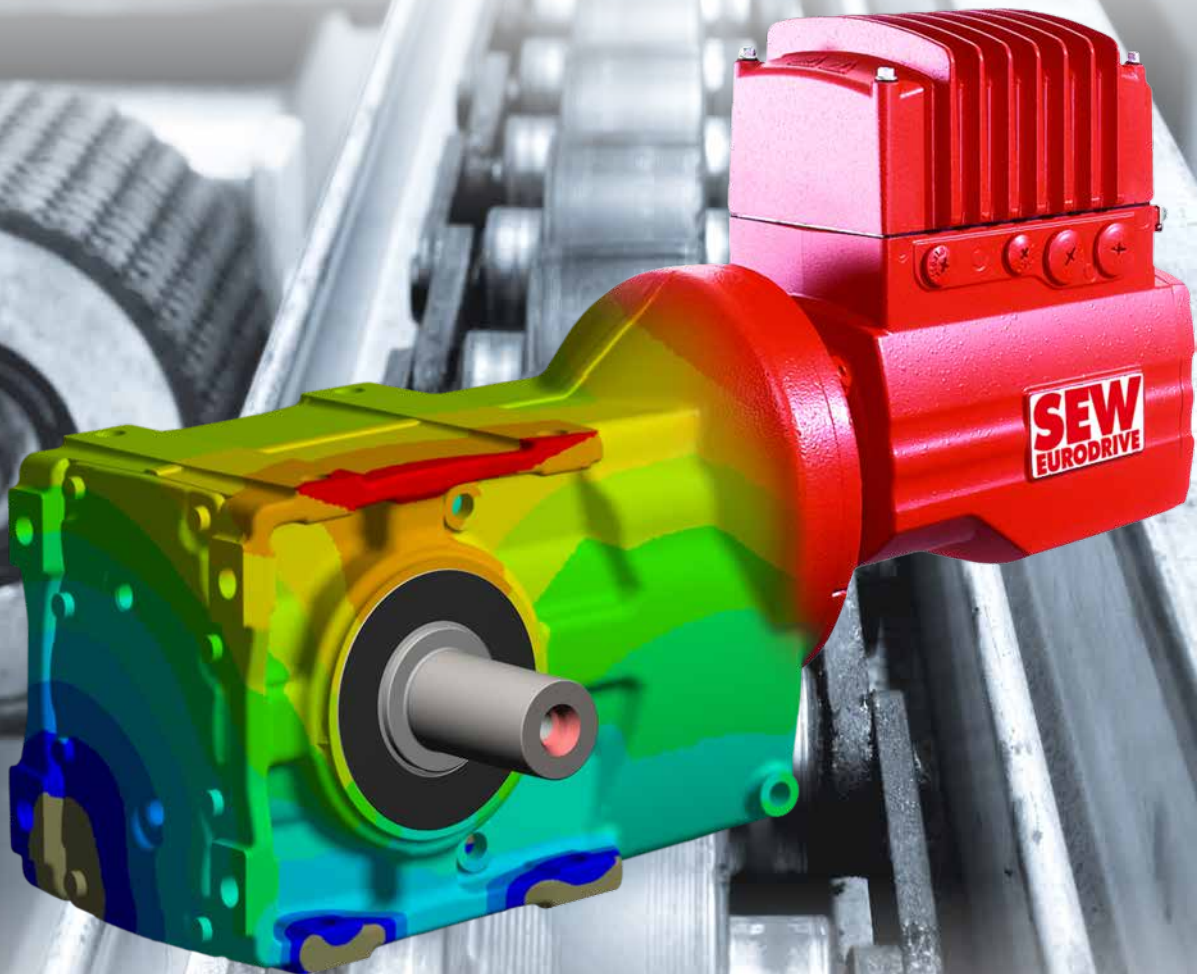


Getriebesimulation in der Antriebstechnik

# SEW bringt Bewegung in alle Branchen



**Bild 1:** Zweistufiges Kegelradgetriebe mit Fußgehäuse, angebautem Motor und dezentralem Umrichter.

Bei SEW-EURODRIVE, einem der weltweit führenden Herstellern von Antriebstechnik, stehen die Vielfalt, Qualität, Zuverlässigkeit und Innovationskraft im Vordergrund der Unternehmensstrategie. Um die hochgesetzten Ziele zu erreichen, verwenden die Ingenieure in der Produktentwicklung schon seit über 30 Jahren die von CADFEM angebotene Simulationssoftware ANSYS und entsprechende Dienstleistungen.

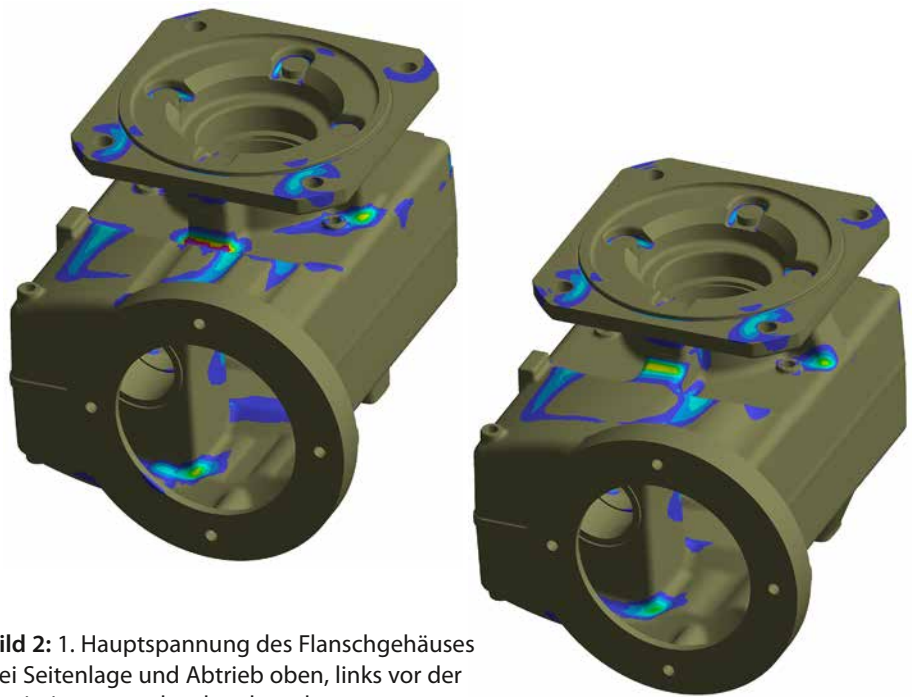
Ziel des Simulationseinsatzes ist es, frühzeitig in der Produktentwicklung umfassende Informationen über das Verhalten von Bauteilen und Baugruppen zu erhalten, damit die gewünschte Funktionalität der geplanten Produkte abgesichert werden kann. Mit virtuellen Prototypen lernen die Entwickler das zukünftige Produkt kennen und können dessen Qualität und Lebensdauer mithilfe der Numerischen Simulation optimieren. Deshalb hat die Simulation bei SEW-EURODRIVE in den letzten 30 Jahren einen hohen Stellenwert erlangt und gehört als wertvolles Standardwerkzeug zur Produktentwicklung dazu.

Die Vorteile und der Nutzen des Simulationseinsatzes lassen sich beispielhaft anhand der strukturmechanischen Analysen bei der Neuentwicklung der zweistufigen Kegelradgetriebe K39/49 aufzeigen. Dabei wurden sowohl Steifigkeits- und Festigkeitsuntersuchungen (Bild 1) als auch Modalanalysen zur Bauteiloptimierung durchgeführt. Ziel war es, in kompakter Bauweise eine leistungsstarke Antriebstechnik in der Drehmomentklasse bis 500 Nm zu realisieren, kombiniert mit einem hohen Wirkungsgrad in beide Drehrichtungen und bei jeder Antriebsdrehzahl. Selbstverständlich waren lange wartungsfreie Standzeiten eine weitere Zielsetzung, um eine hohe Wirtschaftlichkeit zu erreichen.

## Berechnung der Steifigkeit des Getriebes

Bei der Berechnung der Steifigkeit wird die Nachgiebigkeit und Verformung der im Kraftfluss liegenden Getriebekomponenten untersucht. „Wir wollen damit kritische Lastfälle identifizieren und deren Einflüsse unter Berücksichtigung der Drehrichtung des Antriebs und seiner Einbausituation analysieren“, berichtet Dr.-Ing. Sascha Haller, Berechnungsingenieur in der Getriebeentwicklung. „Durch die Verformung des Getriebes verlagern sich auch Wellen, was wiederum den Zahneingriff verändern kann. Auf Grundlage der Berechnungen nehmen die Verzahnungsexperten die Korrekturen an den Zahnradern vor, sodass die erforderliche Tragfähigkeit erreicht wird.“

SEW-EURODRIVE setzt bei der Entwicklung der Getriebemotoren seit über 50 Jahren auf ein Baukastensystem mit zentraler Fertigung und dezentraler Montage. Dieses bringt viele Vorteile wie die Wiederverwendung von Komponenten, eine mannigfaltige Kombinierbarkeit und



**Bild 2:** 1. Hauptspannung des Flanschgehäuses bei Seitenlage und Abtrieb oben, links vor der Optimierung und rechts danach.

außerdem hohe Flexibilität. Zusätzlich werden Getriebe mit Flansch- oder mit Fußgehäuse und mit unterschiedlichen Befestigungsmöglichkeiten angeboten, die in beliebigen Raumlagen eingesetzt werden können. „Durch die Vielzahl von Möglichkeiten muss deren Verwendung aber auch rechnerisch abgesichert und dabei die kritischen Kombinationen erkannt werden“, erklärt Dr. Haller.

Im Rahmen der Festigkeitsuntersuchungen wird nicht nur die grundlegende Frage beantwortet: Hält das Bauteil, oder nicht? Spannungsüberhöhungen deuten auf Schwachstellen hin, die durch konstruktive Anpassungen in frühen Phasen der Produktentwicklung optimiert werden können. Weiterhin lassen sich Grenzlasten nicht erst beim Test der Prototypen ermitteln, sondern die Simulationen liefern

schon wichtige Anhaltswerte. „Wir können mit unseren Simulationsergebnissen bereits in frühen Phasen direkt auf die Konstruktion einwirken, um so ein beanspruchungsgerechtes Design der Getriebekomponenten zu erreichen“, betont Dr. Haller.“

## Frühzeitige Optimierung

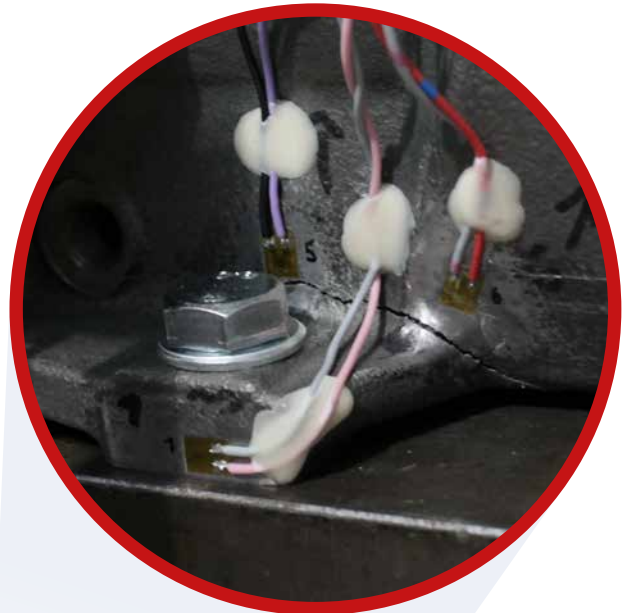
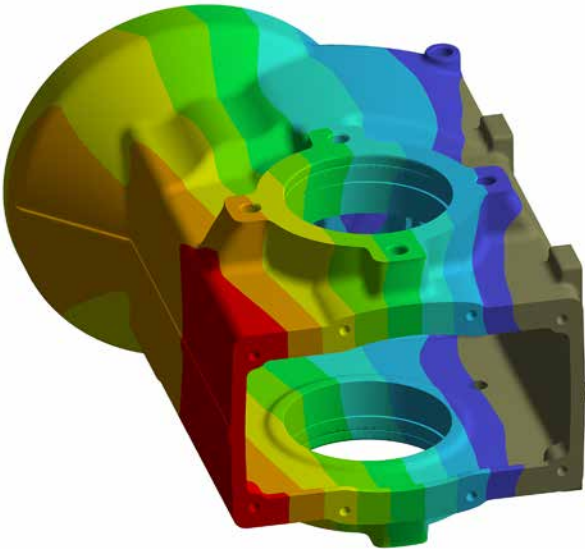
Durch die frühzeitige Bauteiloptimierung werden konstruktiv notwendige Änderungen in späteren Entwicklungsphasen, die nur mit hohem Kosten- und Zeitaufwand realisierbar sind, vermieden (Bild 2). Mit der Behebung von Schwachstellen lassen sich nicht nur die für den Betrieb geforderten Lasten bestätigen und damit die funktionalen Anforderungen erfüllen, sondern auch die Qualität steigern.

## Simulation bei SEW-EURODRIVE



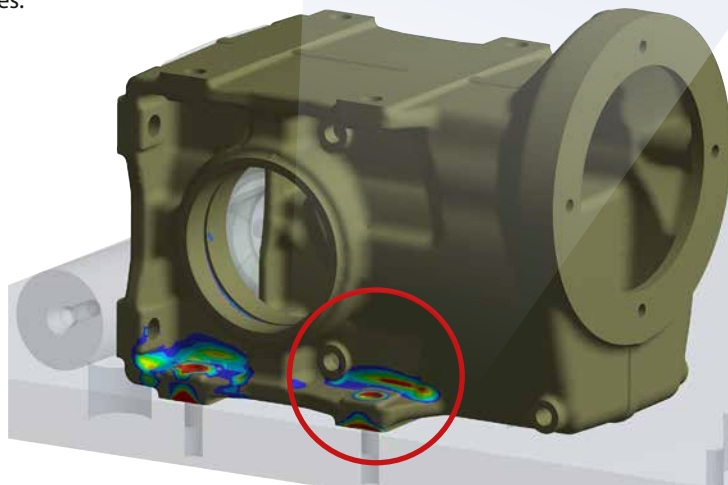
**Dr. rer. nat. Heinrich Bolz von SEW-EURODRIVE** war Mitte der 1980er Jahre einer der ersten CAD/FEM Kunden. Heute leitet Dr. Bolz bei SEW-EURODRIVE den Bereich Berechnung und Simulation der Getriebeentwicklung. Zum gewachsenen Stellenwert erklärt er: „Die Simulation ist bei SEW-EURODRIVE heute ein unabdingbarer Bestandteil der fortschrittlichen und qualitätsorientierten Entwicklung. Durch ihren Einsatz können einerseits Produkteigenschaften früh abgeschätzt und optimiert werden. Andererseits wird es möglich, Versuche zielgerichteter auszuwählen und die Anzahl der Versuche entsprechend zu reduzieren. Im gesamten Produktlebenszyklus wird die Simulation mit hoher Akzeptanz eingesetzt und erfährt eine große Wertschätzung durch das Management.“

„Durch die Simulation konnten wir aus der Vielzahl der in Realität auftretenden Lastfälle die kritischen erkennen und diese im Versuch gezielt untersuchen.“



**Bild 3:** Schwingungsform der 1. Eigenfrequenz als Ergebnis der Modalanalyse des Flanschgehäuses.

Eine weitere strukturmechanische Analyseart ist die Modalanalyse, mit der das Schwingungsverhalten anhand von Eigenfrequenzen und Eigenformen beschrieben wird. Damit lassen sich Aussagen zur Geräuschentwicklung und zu möglichen Anregungen machen, die nicht erwünscht sind. „Die Geräuschentwicklung ist für uns ein wichtiges Thema, dessen Stellenwert sich in den letzten Jahren erheblich erhöht hat und zukünftig auch noch weiter an Einfluss gewinnen wird“, erläutert Dr. Haller. Als Beispiele nennt er die Minimierung der Geräuschbelastung der Arbeiter in den Werkshallen, aber auch die Anforderungen an Antriebe für Theaterbühnen, die flüsterleise sein sollten.



**Bild 4:** Oben Riss nach statischem Bruchversuch am Fußgehäuse, unten plastische Vergleichsdehnung zur Vorhersage des Anrisses in der Simulation.

## Modalanalyse sichert Fertigungsqualität

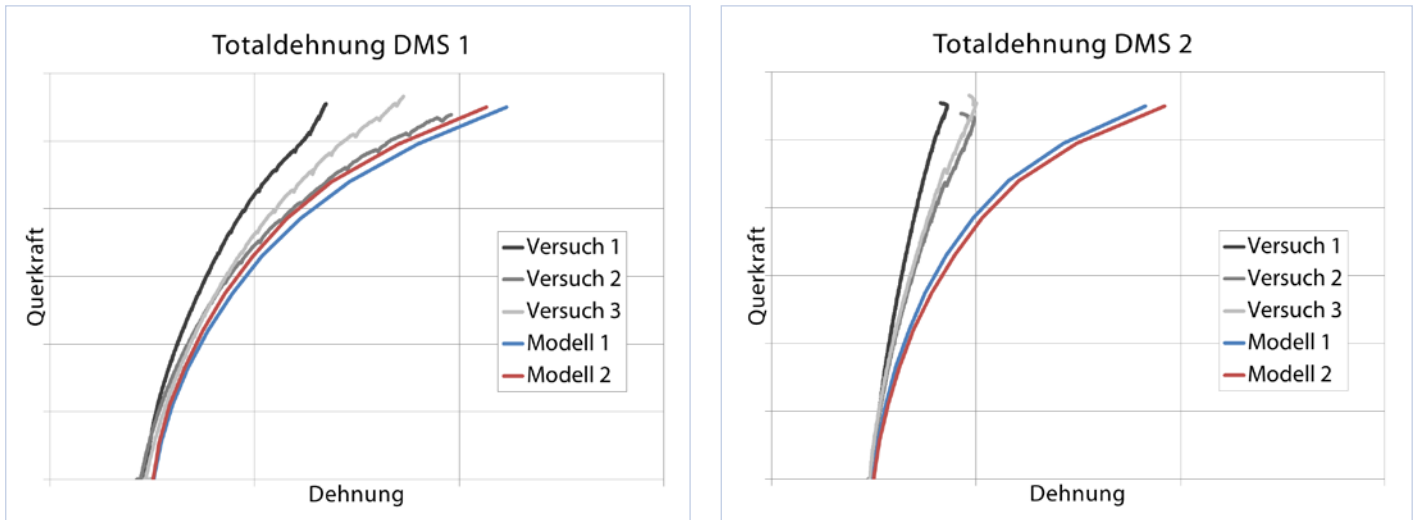
Ein anderes Anwendungsbeispiel für die Modalanalyse sind Fertigungsschwierigkeiten bei der Fräsbearbeitung von Erstmustern der Graugussgehäuse. Da die Oberflächenqualität nach dem Fräsen nicht zufriedenstellend war, hätte die Schnittgeschwindigkeit stark verringert werden müssen. Um dies zu vermeiden sollte mithilfe der Simulation den Ursachen auf den Grund gegangen werden. Mit der Modalanalyse wurde festgestellt, dass die 1. Eigenfrequenz im Bereich der Ein-

griffsfrequenz des Fräasers lag, sodass ein resonantes Schwingen der Bearbeitungsfläche entstand (Bild 3). Abhilfe schaffte die Verwendung eines zusätzlichen Spannungspunktes zur Fixierung des Gehäuses bei der Fräsbearbeitung. Damit war eine Reduzierung der Schnittgeschwindigkeit nicht mehr notwendig. Folglich konnte in der zuvor kalkulierten Bearbeitungszeit, die aus wirtschaftlichen Gründen nicht überschritten werden sollte, die gewünschte hohe Oberflächenqualität erzielt werden. „Dieser Anwendungsfall ist ein Beispiel dafür, wie wir mit einer relativ einfachen

Simulation einen Lösungsansatz gefunden haben, der mit anderen Untersuchungsmethoden nicht so schnell erkennbar gewesen wäre“, ist Dr. Haller überzeugt.

## Der Verifizierungs- und Validierungsprozess

Trotzdem ist immer wieder zu überprüfen, ob die Ergebnisse aus den Simulationen dem realen Verhalten der Produkte entsprechen. „Um die Prognosefähigkeit von Simulationsmodellen sicherzustellen, sind die Modelle laufend zu verifizieren und



**Bild 5:** Links gute Übereinstimmung, rechts Abweichung der Dehnungen aus Versuch und Simulation.

mittels geeigneter Versuche zu validieren. Hierzu gibt es in der Simulation einen SEW-spezifischen Verifizierungs- und Validierungsprozess, der durchlaufen werden muss“, erläutert Dr. Haller. Im Falle der Kegelradgetriebe K39/49 wurden zur Validierung statische Bruchversuche des Fußgehäuses mit mehreren Getrieben in unterschiedlichen Raumlagen unter Querkraftbelastung durchgeführt. Der Abgleich von Simulations- und Versuchsergebnissen erfolgte anhand von Weg- und Dehnungsmessungen.

„Dazu haben wir zunächst Simulationen durchgeführt, um die kritischen Stellen zu erkennen, an denen wir im Versuch die Messungen vornehmen sollten“, berichtet Dr. Haller. „So konnten wir mit Dehnmessstreifen genau untersuchen, wo ein Riss beginnt und wie der Rissfortschritt verläuft.“ Zusätzlich wurde der Einfluss verschiedener Simulationsparameter auf das Ergebnis betrachtet. Die dazu durchgeführten Parameterstudien betrafen unter anderem die Materialeigenschaften, die aufgrund verschiedener Materialproben aus den Getriebegehäusen gewonnen wurden, sowie die Reibwerte, die Schraubenvorspannungen und die Systemgrenzen im

Allgemeinen. Mittels der in ANSYS integrierten Programmiersprache APDL konnte dann eine automatisierte Auswertung der Wege, Dehnungen, Kontakt- und Schraubenkräfte erfolgen.

### Anrissort wurde richtig vorhergesagt

Durch die Wegmessung konnten Verschiebungen abgeglichen und dadurch auf das Verformungsverhalten zurückgeschlossen werden. Erkenntnisse waren unter anderem, dass der Aufbau beziehungsweise die Anschlusssteifigkeit eine Rolle spielen kann. Je nach Einstellungsparametern konnte eine sehr gute Übereinstimmung erreicht werden.

Die Querkraftbelastung wurde in diesen statischen Bruchversuchen gesteigert, bis ein Riss aufgetreten ist. Der Anrissort konnte bereits in den Voruntersuchungen richtig vorhergesagt werden (Bild 4), das Simulationsergebnis ist jedoch etwas konservativer, das heißt, die tatsächlich erreichte Maximallast liegt etwas höher als berechnet. Der Abgleich der Dehnungen zeigte unterschiedliche Ergebnisse (Bild 5). An einigen Messpunkten wurden die Ver-

suchswerte gut getroffen, an anderen ergab die Simulation abweichende Ergebnisse, sodass hier noch Untersuchungsspielraum bleibt.

Bei der Entwicklung der Kegelradgetriebe K39/49 war es durch den Einsatz der Simulation möglich, eine kurze Entwicklungszeit, höchste Drehmomente und für Grauguss ein möglichst leichtes, aber dennoch hoch steifes Getriebe zu realisieren, das mittlerweile seit einem Jahr sehr erfolgreich auf dem Markt ist. Aus der Vielzahl der in Realität auftretenden Lastfälle konnten durch die Simulation die kritischen erkannt und diese gezielt im Versuch untersucht werden. Die dabei angewandten Vorgehensweisen und Simulationsmethoden wurden im Rahmen eines internen Verifizierungs- und Validierungsprozesses bestätigt und weiterentwickelt.

**SEW  
EURODRIVE**

#### InfoUnternehmen

SEW-EURODRIVE GmbH & Co KG  
www.sew-eurodrive.de

#### InfoAnsprechpartner | SEW

Dr.-Ing. Sascha Haller  
sascha.haller@sew-eurodrive.de  
Dr. rer. nat. Heinrich Bolz  
heinrich.bolz@sew-eurodrive.de

#### InfoAnsprechpartner | CADFEM

Ezzeddine Ammar  
Tel. +49 (0) 711-99 07 45-12  
eammar@cadfem.de

## Fakten zu SEW-EURODRIVE

**SEW-EURODRIVE** erwirtschaftete im Geschäftsjahr 2015/2016 mit weltweit rund 16.000 Mitarbeitern einen Umsatz von etwa 2,7 Milliarden Euro. 15 Fertigungswerke und 77 Montagewerke in 50 Ländern liefern Motoren, Getriebe, Frequenzumrichter, Steuerungen und komplette Antriebslösungen sowie die dazugehörigen Dienstleistungen. In dem vor 85 Jahren gegründeten Unternehmen arbeiten heute mehr als 630 Spezialisten in der zentralen Entwicklung in Bruchsal.