

BERECHNUNG

# Der einfache Weg zur NVH-Optimierung

Mithilfe von KISSsoft, der GEMS-Auslegungssoftware und einer Mehrkörper-Simulationssoftware können Getriebekonstrukteure das NVH-Verhalten von Getrieben schon frühzeitig in der Auslegungsphase bewerten.

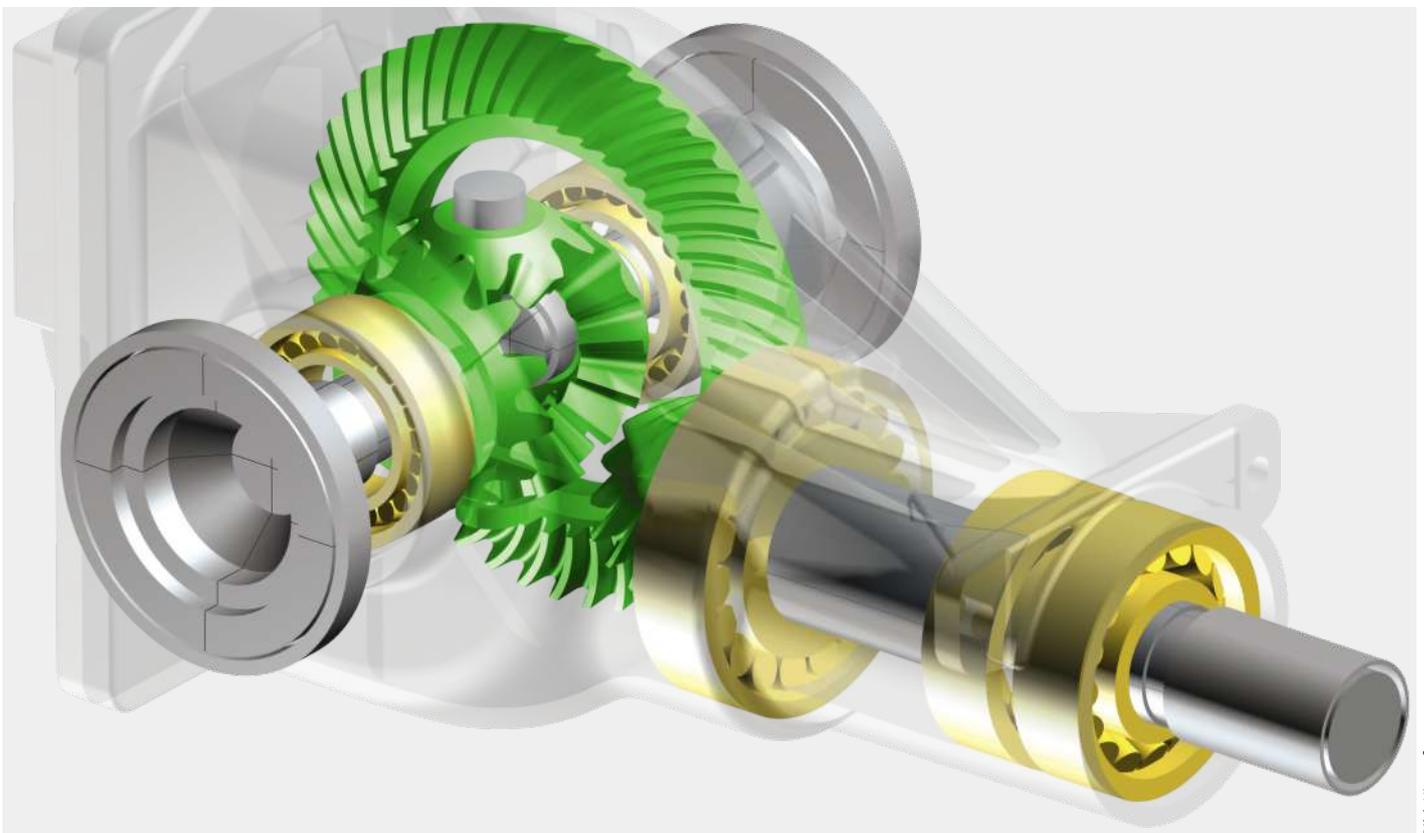


Bild: KISSsoft

Wie sich etwa Montagefehler und Verlagerungen unter Last auf die NVH-Eigenschaften auswirken, können Konstrukteure dank einer cleveren Software-Kombination frühzeitig bewerten.

Bei Spiralkegelrad- und Hypoidgetrieben ermöglicht die Bogenverzahnung einen sanften und allmählichen Zahneingriff, wodurch die NVH-Eigenschaften (Noise, Vibration and Harshness) verbessert werden. Die NVH-Optimierung von Kegelradgetrieben für die hohen Standards, die heute verlangt werden, ist eine anspruchsvolle Aufgabe für Konstrukteure. Das Geräuschverhalten von Kegelrädern wird durch den Weichbearbeitungsprozess und nachgelagerte Prozesse sowie durch die Verlagerungen im Betrieb beeinflusst.

## Bestmöglicher Kompromiss gesucht

Während eine erhebliche Verbesserung der NVH-Eigenschaften durch eine geschickte Wahl der Makrogeometrie

der Verzahnung bereits in der Auslegungsphase erreicht werden kann, stellt diese Optimierung der Mikrogeometrie für den Getriebekonstrukteur eine sehr große Herausforderung dar. Doch unter optimaler Verwendung von aktuellen Softwaretools kann eine Auslegung, die den bestmöglichen Kompromiss zwischen ausreichender Tragfähigkeit und akzeptablem Geräuschpegel bietet, durch die Simulation der Schwingungsanregung und der Reaktion auf das Gesamtsystem erreicht werden.

Im folgenden Beitrag zeigen wir, wie KISSsoft- und GEMS-Getriebeauslegungsprogramme in Kombination mit der Multi-Flexible-Body-Dynamics-Softwarelösung Recur Dyn von Function Bay verwendet werden können, um ein optimales Ergebnis zu erzielen.

VERFASST VON  
**Jürg Langhart**  
Direktor Global Sales  
KISSsoft



## | Auslegung der Makro- und Mikrogeometrie

In dieser Fallstudie handelt es sich um ein Getriebe einer Achse eines Elektrofahrzeugs. Die Antriebswelle wird von einem Permanentmagnet-Synchronmotor angetrieben und die Abtriebsstufe ist in das Differentialgehäuse integriert.

- Die Auslegung und Optimierung der Makrogeometrie, wie Zahnzahl sowie Spiral- und Eingriffswinkel der Hypoidräder, werden in der Auslegungsphase in KisoSoft festgelegt. Kriterien für die Optimierung sind die Sicherheitszahlen, Axial- und Radialkräfte auf die Lager, Wirkungsgradanforderungen, Lastkollektive und vieles mehr.
- Für die Optimierung der Mikrogeometrie wird die Ease-Off-Topografie der Zahnflanken mit der Software GEMS von Gleason verwendet. Der Ease-Off besteht aus Zahnflankenmodifikationen (Profil- und Längsballigkeiten, Flankenverschränkung und Zusatzbewegungen höherer Ordnung), die auf die Zahnoberflächen von Ritzel und Rad angewendet werden. Die Ease-Off-Topografie der Kegelräder ist in Abb. 1 dargestellt.

## | Parameter für Kegelradverlagerungen

Die Abdrängungen von Ritzel und Tellerrad führen zu einer Verlagerung des Tragbildes und beeinflussen das

Getriebegeräusch. In Bezug auf die Änderung des Ritzleinbaumaßes  $H$  führt eine Erhöhung des Einbaumaßes zu einer Tragbildverlagerung in Richtung des Tellerradkopfes, während eine Reduzierung das Tragbild in Richtung des Tellerradfußes verlagert. Mit GEMS wird eine Kontaktanalyse unter Last durchgeführt, wobei das Ritzleinbaumaß variiert wird. In Abb. 2 ist die deutliche Veränderung der Tragbildlage zu sehen.

## | Mehrkörpermodellierung der E-Achse

Für die dynamische Analyse wird ein Mehrkörpermodell erstellt. In der vorliegenden Studie wurde das Penalty-Verfahren gewählt. Das Penalty-Verfahren ermöglicht die Berechnung der Kontaktkraft in Abhängigkeit von

Abb. 1: Ease-Off angewendet auf die Hypoidräder in Gleason GEMS.

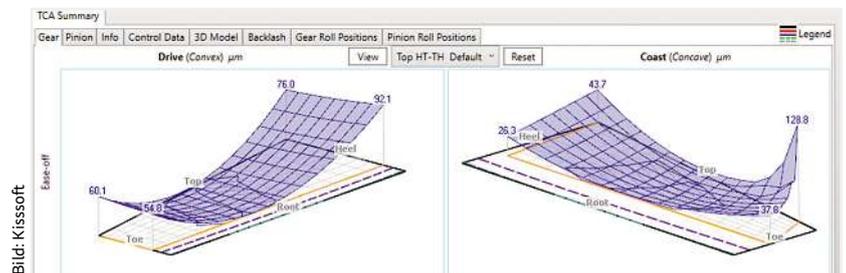


Bild: KisoSoft

## Hol das Maximum heraus

Unsere BLDC-Motoren sind auch als Frameless-Kits in fünf Leistungsstufen zwischen 30 W und 260 W erhältlich. Rotor und Stator werden getrennt geliefert und erst beim Zusammenbau der Komponenten miteinander verbunden. Frameless-Motoren bieten ein Optimum an Drehmomentdichte und minimalem Volumen. Hohe Überlastbarkeit, geringes Rastmoment und genug Platz für Kabeldurchführungen. maxons Spezialisten beraten Sie gerne. [www.maxongroup.de](http://www.maxongroup.de)

Precision Drive Systems



**Hannover Messe**  
31.03. – 04.04.2025  
Halle 6, Stand C22

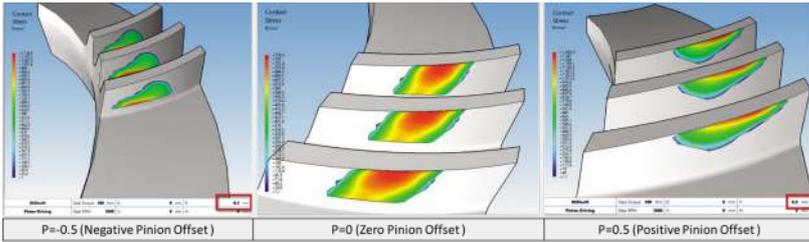


Abb. 2: Tragbildlage in Abhängigkeit vom Ritzeinbaumaß. Ergebnisse aus GEMS.

Bild: KISSsoft

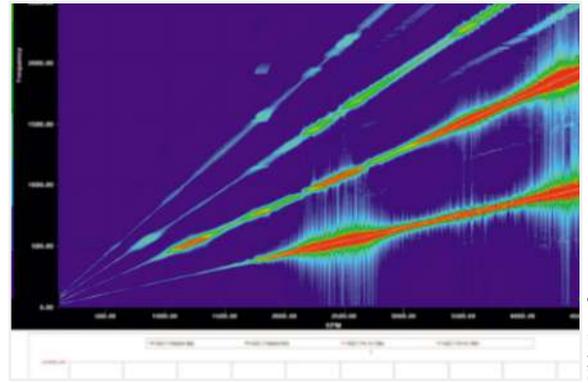


Abb. 4: Campbell-Diagramm der Beschleunigung am Kontrollpunkt – positives Ritzeinbaumaß.

Bild: KISSsoft

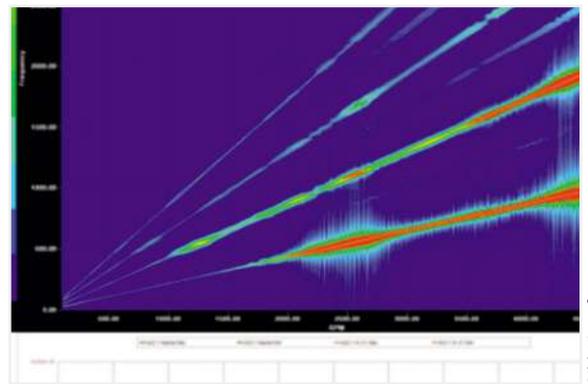


Abb. 5: Campbell-Diagramm der Beschleunigung am Kontrollpunkt – negatives Ritzeinbaumaß. Man beachte die Veränderungen in der Intensität der roten Bereiche im Diagramm (Ergebnisse aus Recur-Dyn).

Bild: KISSsoft



Abb. 3: Links: FEM-Modell des Antriebstranges. Rechts: FEM-Modell des Getriebes inklusive Gehäuse. Modell in Recur-Dyn, basierend auf KISSsoft-Daten.

Bild: KISSsoft

Abb. 6: Sphärischer Raum, für die Schalldruckpegelberechnung in Recur-Dyn.



Bild: KISSsoft



**TIPP**

Die zunehmende Elektrifizierung in Industrie und Fahrzeugbau erfordert fundiertes Fachwissen, um die Potenziale dieser neuen Technologien voll auszuschöpfen. Das Weiterbildungsangebot der Vogel Akademie bietet Ingenieuren und technischen Projektleitern eine wertvolle Gelegenheit, sich mit den neuesten Entwicklungen und Technologien im Bereich elektrischer Antriebssysteme vertraut zu machen. Mehr Infos: [voge.ly/Vogel.Akademie/](http://voge.ly/Vogel.Akademie/)

der Eindringtiefe der beiden Körper in Kontakt. Die Kontaktkraft wird als das Produkt aus der Kontaktsteifigkeit, multipliziert mit der Eindringtiefe, und der Dämpfung, multipliziert mit der Relativgeschwindigkeit der beiden Körper in Kontakt, berechnet.

Bei der Modalanalyse werden die Eigenschaften eines dynamischen Systems in Bezug auf Eigenfrequenzen, Dämpfungsfaktoren und Modenformen ermittelt und zur Formulierung eines mathematischen Modells verwendet, welches das dynamische Verhalten des Systems beschreibt.

Nach der Durchführung der Zahnkontaktanalyse unter Last werden die resultierenden Schwingungsanregungen auf das Gehäuse übertragen. In Recur Dyn wird die Reaktion des Gehäuses auf die Anregung mithilfe eines FEM-Modells (Finite-Elemente-Methode) des Systems berechnet. NVH-Analyse der E-Achse mit Änderung des Ritzeinbaumaßes. Nun werden Simulationen durchgeführt, um den Einfluss von positiven und negativen Einbaumaßänderungen ( $\pm H$ ) auf das Schwingungsverhalten des Systems zu bewerten. Dabei werden fünf Szenarien betrachtet:  $H = 0$  mm (Neutrale Position),  $H = \pm 0,1$  mm,  $H = \pm 0,5$  mm.

Die Beschleunigungsaufnehmer werden in der Regel an den ausgewählten Messpunkten des Gehäuses angebracht. Die Ergebnisse, bezogen auf einen Beschleunigungsaufnehmer am Gehäuse, und die Beschleunigungen, normal zur Oberfläche, sind in den Campbell-Diagrammen in den Abbildungen 4 und 5 dargestellt.

nigungsaufnehmer am Gehäuse, und die Beschleunigungen, normal zur Oberfläche, sind in den Campbell-Diagrammen in den Abbildungen 4 und 5 dargestellt.

**Berechnung des Schalldrucks**

Zum Vergleich der Ergebnisse auf der Grundlage des abgestrahlten Schalldruckpegels können FEM- oder BEM-Methoden auf der Grundlage der in der Mehrkörpersimulation erzeugten Ergebnisse für die Nahfeld- und sogar Fernfeldanalyse des Luftschalls mit Recur Dyn angewendet werden.

Zunächst wird der Schalldruckpegel (SPL) auf einer das System einhüllenden Kugel berechnet. Dann werden Anregung, Gehäuseantwort und Schalldruckpegel auf der Kugel für verschiedene H-Werte berechnet – die daraus resultierenden Änderungen des Schalldruckpegels sind oben dargestellt.

Zusammenfassend zeigt sich, dass die Kombination der drei Werkzeuge es Getriebekonstrukteuren ermöglicht, die Auswirkungen von zu erwartenden Montagefehlern und Verlagerungen unter Last auf die NVH-Eigenschaften einer E-Achse schnell zu bewerten und Änderungen vorzunehmen, um die Geräuschanregung zu minimieren und den bestmöglichen Kompromiss zu finden. (mz)