

Realitätsnahe Simulation von Windenergiegetrieben

Wie eine fortschrittliche Ergebnisinterpretation der Finiten-Elemente-Analyse zur zuverlässigen Verzahnungssimulation beiträgt

Eine grundlegende Herausforderung der modernen Produktentwicklung ist die Abwägung zwischen Modellierungsgrad und der Zuverlässigkeit technischer Simulationsmethoden. Computergestützte Algorithmen zur Bauteilauslegung müssen sich genau wie altbewährte analytische Berechnungsvorschriften an der erreichbaren Abbildungsgenauigkeit physikalischer Effekte messen lassen. Wegen der gleichzeitig steigenden Komplexität von Belastungsszenarien gewinnt eine möglichst treffende Analyse der Simulationsergebnisse an Bedeutung - erst sie ermöglicht es, aus mitunter enormen Datenmengen die richtigen Rückschlüsse für eine beständige Konstruktion zu ziehen.

Grundlage vieler heute in der Praxis bewährter Simulationsalgorithmen ist die Finite-Elemente-Analyse (FEA), deren Haupteinsatzgebiet seit jeher in der Berechnung elastomechanischer Verformungen der betrachteten Bauteile oder -gruppen liegt. Für diesen breiten Anwendungsbereich wurde eine Methodik entwickelt, die dem Konstrukteur weitergehende Einblicke in die Schwachstellen des Simulationsobjekts erlaubt. So wird dieser in die Lage versetzt, zusätzlich zu den Gesamtverformungen bzw. Spannungen, die aus überlagerten Belastungsszenarien resultieren, auch Aufschluss über Bauteilreaktionen infolge von Einzellasten zu ermitteln.

Um die Vorgehensweise zu demonstrieren, wurde eine Ritzelwelle aus dem Windenergieanlagenbau untersucht, die sich unter Last wie in Bild 1 dargestellt verformt. Als integraler Getriebebestandteil ist diese Komponente besonders sensitiv gegenüber den Kontaktdefinitionen in den Verzahnungsbereichen - Tragbild und Drehmomenteintrag sollen die realen Randbedingungen möglichst exakt wiedergeben. Hierbei ist jedoch zu beachten, dass beide Größen gleichzeitig sowohl Eingabegrößen zur Lastdefinition als

auch Berechnungsergebnis sind. Schließlich verlagert und deformiert sich jede einzelne Zahnflanke durch die Wellendurchbiegung und Torsion; die Lastannahmen an diesen Stellen sind nicht mehr aufrecht zu erhalten. Um letztlich eine neue, unter Last zutreffendere Berührdefinition zu erstellen, benötigt man detaillierte Kenntnis aller FEA-Knotendeformationen, die nur Biegungs- und Torsionseffekte enthalten – nicht jedoch

- Modell III: zusätzliche Sperrung jedes Wellenquerschnitts gegen Torsion

Unter konsequenter Ausnutzung des Superpositionsprinzips lassen sich die Einzeleffekte mittels der Verformungen dieser drei zu berechnenden Lastfälle errechnen. Aus der Tatsache, dass sich jede FE-Knotenverschiebung in allen Raumrichtungen additiv aus den beschriebenen Deformationsanteilen zusammensetzt wird klar, dass hier die Torsionsverformungen genau der Gesamtverformung abzüglich der lokalen Zahndeformation (I-II-III) und der Biegung (I-II) entspricht. Diese Schlussfolgerung wird für alle Knoten und gewünschten Einzeleffekte umgesetzt. Als Resultat lassen sich nun in jeder beliebigen Bauteilregion exakte Angaben bzgl. Deformationszusammensetzung machen (vgl. Bild 1).

Eine erste gewinnbringende

Weiterverwendung der Ergebnisse wurde bereits skizziert: Mit Hilfe der gewonnenen Erkenntnisse über die Wellenverformung unter Last kann die fehlerempfindliche Verzahnungsanalyse mit erheblich realistischeren Lastannahmen beliefert werden. Das Vorhersagepotential der Tragfähigkeitssimulation kann enorm gesteigert werden. Und auch ohne weitere Verarbeitung gibt die Isolation wertvolle Hinweise für eine Optimierung der Konstruktion. So wurde mit der Methodik eine deutliche Sensitivität gegenüber Torsionseinflüssen im Bereich der Antriebsverzahnung sichtbar und für eine nachhaltige, lastspezifische Auslegung nutzbar. Diese wurde bei überlagerten Ergebnissen wegen der dominanten Auswirkungen der Biegung verschleiert.

Prof. Dr.-Ing. Frank Rieg
Dipl.-Math. Martin Neidnicht
Dipl.-Ing. Florian Nützel
Lehrstuhl für Konstruktionslehre und CAD
Universität Bayreuth

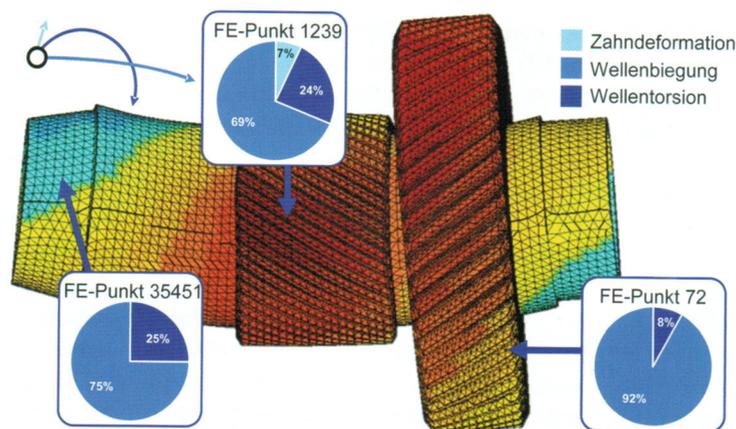


Bild 1: Nachträglich isolierte Deformationsanteile einer Ritzelwelle

diejenigen lokalen Verformungsanteile der ursprünglichen, nun hinfälligen Annahme bzgl. des Flankenkontakts.

Diese Isolation der drei Verformungseffekte ist nicht mit einem Rechendurchlauf zu erreichen, da Lasten und Verformungen gleichermaßen superponiert sind und zunächst keine Aufschlüsselung erlauben. Jedoch kann man durch die Analyse weiterer Lastfälle jeweils einzelne Deformationsanteile eliminieren. Hierbei werden zur grundlegenden Modellierung (I) von Lagerungen, Antrieb und Abtrieb noch Randbedingungen hinzugefügt, die eine Biegung (II) bzw. Biegung und Torsion (III) verbieten.

- Modell I: Fest- und Loslager durch extrem steife Stäbe zum Lagerpunkt auf der Drehachse, Eingriffskräfte auf Zahnflanken im Antriebs- und Abtriebsbereich
- Modell II: zusätzliche extrem steife Stäbe längs der gesamten Welle gegen Biegung