

SEW-EURODRIVE: Finite Elemente in Bewegung

Schon seit 20 Jahren sind FEM-Simulationen mit ANSYS ein fester Bestandteil der Produktentwicklung bei SEW-EURODRIVE in Bruchsal. Auch der Einsatz von ANSYS war immer in Bewegung: Das einstige Expertentool zur Nachberechnung hat sich zu einem integralen Bestandteil der hochmodernen, simulationsgetriebenen Produktentwicklung gewandelt.



Bild 1: Antriebstechnik von SEW-EURODRIVE

SEW-EURODRIVE, das ist Bewegung, Tradition, Innovation, Qualität und Service – das beweist das Unternehmen seinen Kunden seit über 75 Jahren. Die Produkte von SEW-EURODRIVE bewegen unzählige Förderbänder, Getränkeabfüllanlagen und Dächer von Sportstadien, Kieswerke, Montagelinien, Prozesse in der chemischen Industrie, Menschen auf Rolltreppen oder deren Gepäck in Flughäfen. Jeden Tag sind

fast 500 Forscher und Entwickler dabei die Zukunft der Antriebsautomatisierung zu erfinden. Weltweit arbeiten rund 12.000 Mitarbeiter daran, alle Aufgaben rund um die Antriebstechnik zu lösen. So hat sich SEW-EURODRIVE in seiner Geschichte zu einem der Marktführer in der Branche der Antriebsautomatisierung mit einem Umsatz von rund 1,5 Mrd. Euro entwickelt. Die Bewegung wird mit verschiedenen Produkt-

lösungen und Antriebssystemen erzeugt (Bild 1). Je nach Anforderung oder Branche bietet SEW-EURODRIVE individuelle Lösungen aus dem umfassenden Baukasten mit Getriebemotoren und Frequenzumrichtern, Servo-Antriebssystemen, Dezentralen Antriebssystemen und Industriegetrieben.

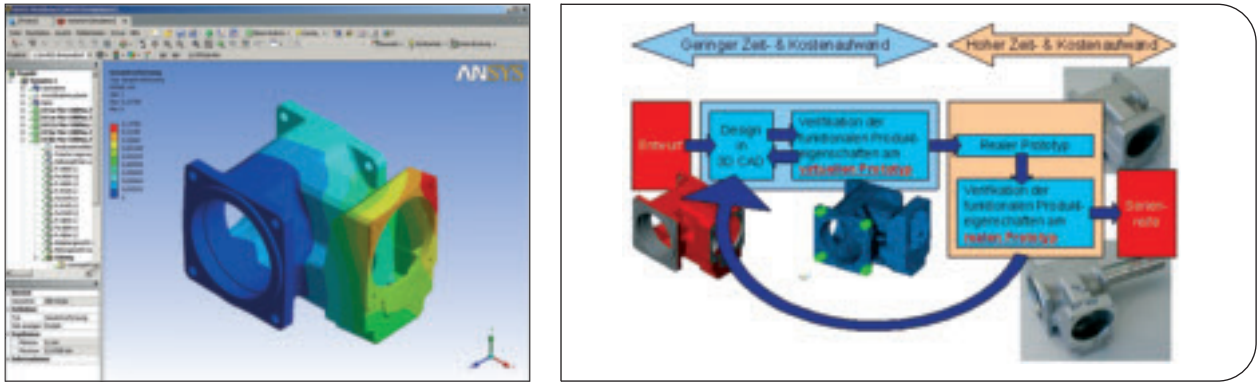


Bild 2: Integration der FE-Simulation in den Entwicklungsprozess

Innovative Kraft für die Sicherung der Spitzenposition von SEW-EURODRIVE ist der Forschungs- und Entwicklungsbereich des Unternehmens, der im hochmodernen Ernst Blickle Innovation Center am Standort Bruchsal ansässig ist.

Simulationsgetriebene Produktentwicklung

Bei SEW-EURODRIVE wurde schon sehr früh das große Potential der FE-Simulation in der Produktentwicklung erkannt. Seit rund 20 Jahren werden daher in der Getriebeentwicklung bereits erfolgreich FE-Berechnungen durchgeführt, und von Anfang an wurde ANSYS als FE-Programmpaket verwendet. Über die Fa. CADFEM wurde im Jahr 1988 zunächst eine ANSYS-Lizenz erworben, die anfangs nur von einem FE-Experten genutzt wurde. Im Laufe der Jahre kamen weitere Lizenzen hinzu. Heute werden mehrere Lizenzen von einer Gruppe von Berechnungsingenieuren in der Getriebeentwicklung genutzt. Hinzu kommen weitere ANSYS Installationen in der Lizenzierung DesignSpace, die in erster Linie von geschulten Konstrukteuren aus unterschiedlichen Entwicklungsbereichen (Entwicklung Getriebe, Motoren, Elektronik und Mechatronik) angewendet werden. Außerdem steht in den Bereichen Motoren und Mechatronik eine ANSYS Professional/Emag-Lizenz für elektromechanische Analysen zur Verfügung.

Im Getriebeentwicklungsbereich stehen für komplexe nichtlineare strukturelle Berechnungen mit ANSYS zwei 64bit HP XW9300-Workstations mit jeweils 8 GB RAM und eine 64bit HP

XW9400-Workstation mit 32 GB RAM zur Verfügung, auf die nur die Berechnungsgruppe Zugriff hat. Lineare Analysen mittels ANSYS DesignSpace werden von den Konstrukteuren an ihren Arbeitsplatzrechnern vor Ort (32bit Rechner mit 2 GB RAM) durchgeführt.

Die Gründe für die Wahl von ANSYS als Berechnungswerkzeug sind aus heutiger Sicht sicherlich andere als vor 20 Jahren. Stand bei der Erstananschaffung noch der Aspekt im Vordergrund, dass ANSYS ein durchgängiges System vom Preprocessing (inklusive der Möglichkeit der 3D-Geometriemodellierung) über das Solving bis hin zum Postprocessing unter einer Oberfläche vereint, ist es heute v. a. die intuitive Workbench-Umgebung von ANSYS, die schnelle Analysen auf Basis von CAD-Modellen z.B. aus SolidWorks ermöglicht. Durch den Wegfall der Geometrieerstellung sowie die robuste und schnelle Vernetzung der Geometrie in ANSYS Workbench ist der Zeitaufwand für das Preprocessing heute drastisch gesunken, so dass z.B. Variantenstudien wesentlich schneller und effizienter durchgeführt werden können.

Dies ist auch Voraussetzung für die Integration der rechnerischen Simulation in den Produktentwicklungsprozess zu einem möglichst frühen Zeitpunkt. Lag der Nutzen von ANSYS bei dessen Einführung innerhalb von SEW-EURODRIVE v.a. in der Nachanalyse bereits bestehender Bauteile, so sind heute die größten Vorteile der FEM in der entwicklungsbegleitenden Berechnung und der daraus resultierenden aktiven Gestaltung des

Konstruktionsprozesses zu sehen.

Bild 2 zeigt die Einbindung der FE-Simulation in den Entwicklungsprozess am Beispiel der Getriebeentwicklung bei SEW-EURODRIVE.

Mit ANSYS Workbench ist es möglich, erste 3D-CAD-Entwürfe von komplexeren Bauteilen wie Getriebegehäusen in kürzester Zeit ohne aufwendige Nachbearbeitung des Geometriemodells in das FE-Programm zu importieren und bezüglich den funktionalen Produkteigenschaften zu analysieren. Da das Anfangsdesign selten allen Anforderungen hinsichtlich Steifigkeit, Festigkeit oder Fertigbarkeit genügt, sind daraus resultierende konstruktive Änderungen in der Frühphase der Entwicklung die Regel. Folglich sind weiterführende, anfangs noch linear statische FE-Berechnungen z.B. mit Hilfe von ANSYS DesignSpace, an verschiedenen Geometrievarianten unerlässlich, mit dem Zweck die Auswirkungen konstruktiver Maßnahmen auf das Bauteilverhalten zu untersuchen, um so zu einem besseren Verständnis der einzelnen Konstruktionsvarianten zu kommen. Mit steigendem Detaillierungsgrad folgen zudem komplexere Berechnungsaufgaben, wie z.B. nichtlineare Analysen (Kontaktberechnungen von großen Baugruppen, elastisch-plastische Analysen), Schraubenberechnungen, Modalanalysen etc.

Ein stetiger Informationsaustausch und gegenseitiges Feedback von Konstruktions- und Berechnungsseite sind wichtige Voraussetzungen dieses iterativen Prozesses, an dessen Ende idealerweise ein voroptimierter realer Prototyp steht. Die



Bild 3: Servo-Planeten- (hinten) und Servo-Kegelradgetriebe (vorne) von SEW-EURODRIVE

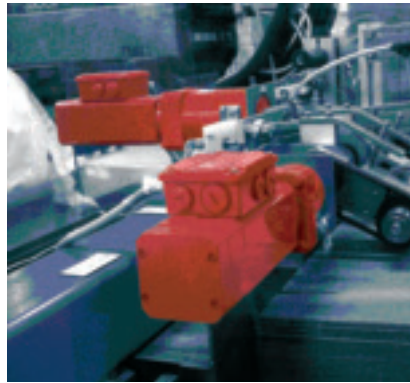


Bild 4: Servo-Antriebe im Einsatz in der Verpackungsindustrie

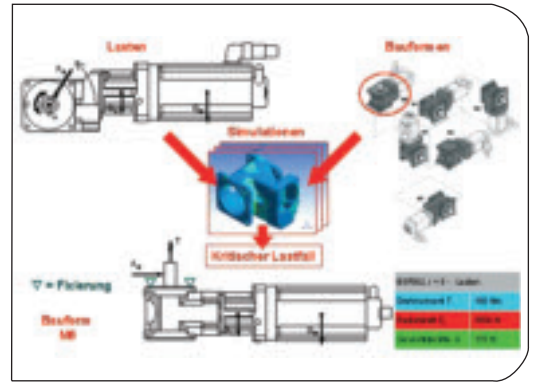


Bild 5: Lastannahmen und Ermittlung des kritischen Lastfalls

enormen Vorteile der beschriebenen Vorgehensweise liegen auf der Hand: die Kosten für konstruktive Änderungen sind im frühen Entwicklungsstadium noch verhältnismäßig gering, da keine Werkzeuge bzw. Modelle angepasst werden müssen. Änderungen lassen sich somit mit geringem Zeit- und Kostenaufwand umsetzen. Mit fortschreitendem Entwicklungsstand steigen die mit den Änderungen verbundenen Kosten und Bearbeitungszeiten überproportional an. Durch frühzeitiges Erkennen potentieller Schwachstellen im Bauteil kann zudem die Zahl der realen Bauteilprototypen reduziert und damit Entwicklungszeit eingespart werden.

Trotz des umfangreichen Einsatzes der FE-Simulation in der Entwicklung sind Versuche am realen Bauteil zur Verifizierung der gewonnenen Erkenntnisse immer noch unverzichtbar. Allerdings kann die Zahl der durchzuführenden Versuche, z.B. aufgrund der Kenntnis kritischer Betriebslasten und Lastrichtungen aus FE-Analysen, auf ein sinnvolles Maß reduziert werden. Lassen sich die funktionalen Produkteigenschaften im Versuch ebenfalls bestätigen, so ist ein großer Schritt Richtung Serienreife getan. Andernfalls sind u. U. hierfür weitere Konstruktionsänderungen am Bauteil erforderlich, und das beschriebene Verfahren muss erneut durchlaufen werden.

Anwendungsbeispiele Getriebegehäuse

Die Bedeutung der FE-Simulation als wichtiger Bestandteil in der Produktentwicklung

soll nachfolgend anhand der Berechnung von Getriebegehäusen als klassisches Anwendungsgebiet von ANSYS innerhalb von SEW-EURODRIVE aufgezeigt werden. Um der Forderung nach kompakten, zuverlässigen und überlastfähigen Getriebeeinheiten mit hoher Leistungsdichte nachzukommen, wurden bei der Neuentwicklung der Servo-Getriebereihe (Bild 3 und Bild 4) neben anderen Komponenten insbesondere die Gehäuse mit Hilfe der FEM hinsichtlich Steifigkeit und Festigkeit untersucht.

Ermittlung des kritischen Lastfalls

Aufgrund der sehr hohen Vielfalt der Anwendungsmöglichkeiten von SEW-Getrieben bestand die erste Aufgabe darin, die für das Gehäuse kritischen Betriebslasten zu ermitteln (Bild 5). Neben dem max. auftretenden Abtriebsmoment sind dies insbesondere äußere Radial- und Axialkräfte an der Abtriebswelle sowie Gewichtskräfte von Motor und Adapter, deren Wirkung auf das Gehäuse u.a. von der Einbaulage und des Anwendungsfalls abhängt. Durch Variation der Lastannahmen konnte mittels ANSYS DesignSpace der kritische Betriebslastfall für das Gehäuse gefunden werden.

Aufgrund der FE-Ergebnisse bei kombinierter Last stellte sich die Frage, welchen Anteil die Einzellasten an der Gesamtbeanspruchung am kritischen Ort des Gehäuses haben. Zur Beantwortung dieser Frage wurden die Lasten des kritischen Lastfalls einzeln auf das Gehäuse aufge-

bracht und die örtlichen Spannungen ermittelt. Durch Superposition aller Einzellasten muss sich für den linear elastischen Fall wieder die Gesamtbeanspruchung am Bauteilort ergeben. Aus den Ergebnissen ging hervor, dass der Hauptteil der Gehäusebeanspruchung mit rund 50% die Radialkraft an der Abtriebswelle verursacht (Bild 6).

Einfluss der Randbedingungen

Da der Einfluss der kundenseitigen Befestigung im allgemeinen unbekannt oder nur schwer abschätzbar ist, war zur Verifizierung der Ergebnisse die Analyse von aufwendigeren FE-Modellen erforderlich. So wurde die Gehäusebefestigung durch eine Platte mit entsprechenden Befestigungsschrauben mitmodelliert. Für eine realitätsnahe Abbildung der Verformungsverhältnisse in unmittelbarer Umgebung der Befestigung wurden zwischen den einzelnen Körpern reibungsbehaftete Kontakte definiert, die Abheben zwischen den Kontaktpartnern erlauben. Die Wirkung der Befestigungsschrauben wurde mittels aufgeprägter Schraubenvorspannkräfte berücksichtigt. Verglichen mit dem vereinfachten Modell lieferten die Kontaktmodelle nur geringe Abweichungen am kritischen Bauteilort, womit die Ergebnisse des linear statischen Modells bestätigt werden konnten.

Variantenstudie

Auf Basis der Ausgangsvariante sollte insbesondere im Hinblick auf den kritischen Lastfall das Gehäusedesign so modifiziert

Resümee

Ein wichtiger Entscheidungsgrund für die Einführung von ANSYS und dessen kontinuierliche Weiterverbreitung innerhalb von SEW-EURODRIVE war und ist die ausgezeichnete Betreuung der CADFEM GmbH bei allen Fragen rund um ANSYS. Durchweg positiv sind auch die Erfahrungen mit der Support-Hotline, deren Experten in der Regel sehr schnell Antworten auf FE-spezifische Fragestellungen finden, Lösungen aufzeigen und beratend bei komplexen Problemstellungen zur Seite stehen. Als weiterführenden Service bietet CADFEM zudem Seminare an, die sowohl den Einsteiger als auch den erfahrenen Berechner ansprechen.

Mit ANSYS und ANSYS DesignSpace ist SEW-EURODRIVE besser gerüstet, um den Forderungen an die technische Produktentwicklung nach kürzeren Entwicklungszeiten bei gleichzeitiger Kostenreduzierung und Erhöhung der Produktqualität gerecht zu werden. Insbesondere durch die Verbesserungen der ANSYS Workbench-Umgebung in den letzten Versionen (v10 und v11), wie z.B. die erweiterten Möglichkeiten der Vernetzungs- und Lösungssteuerungen und das Aufbringen der Randbedingungen mittels Lastschritten, können diese Ziele besser realisiert werden.

Für die Zukunft ist ein direkter Zugriff auf das FE-Modell (auf Element- und Knotenebene) wünschenswert und zwar durchgängig im Strukturbaum (Vernetzung, Definition der Randbedingung, Lösungssteuerung und Postprocessing, z.B. Elementspannungen, Pfaddefinition, Auswertung von Spannungsgradienten etc.). Kompensieren lässt sich dies zwar z.T. mit den APDL-Befehlsfenstern oder aber, insbesondere bei weitergehenden, komplexen Analysen, mit ANSYS Classic, das allerdings die Vorteile der Workbench hinsichtlich der grafischen Darstellung und Bedienung nicht bietet.

Autor

Klaus Ganz, SEW Eurodrive, Bruchsal

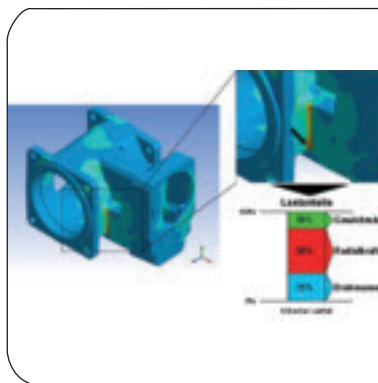


Bild 6: Spannungsanalyse an der Ausgangsvariante

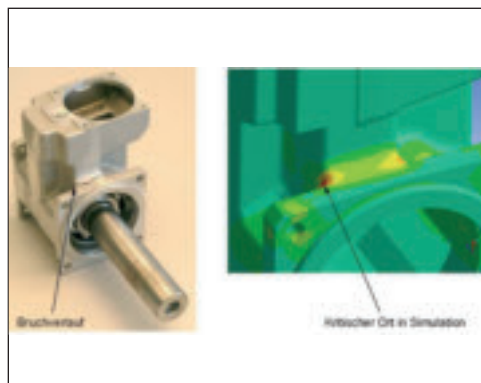


Bild 7: Qualitativer Vergleich zwischen Bruchverlauf im Versuch und kritischer Stelle in FE-Simulation

werden, daß eine deutliche Erhöhung der Gehäusefestigkeit und -steifigkeit ohne größere Gewichtszunahme erreicht wird. Die Durchführung der Variantenstudie erfolgte anhand des zuvor ermittelten kritischen Lastfalls. Als Bewertungskriterium für die Gehäusefestigkeit dienten die am höchstbeanspruchten Ort ermittelten Spannungen, während zur Beurteilung der Steifigkeit die Relativverschiebungen der Lagermittelpunkte von Kegelritzelwelle und Abtriebswelle herangezogen wurden. Sie stellen ein Maß für den Einfluss der Gehäusesteifigkeit auf den Zahneingriff an der Kegelradstufe dar. Die Variantenstudie führte zu einem optimierten Gehäuse, das eine deutlich höhere Festigkeit (Halbierung der Spannungen) und Steifigkeit als die Ausgangsvariante aufwies.

Prototypenversuche

Auf Grundlage der mit Hilfe von ANSYS gewonnenen Erkenntnisse wurden von dem optimierten Gehäusedesign reale Prototypen experimentell untersucht. Unter anderem wurden statische Bruchversuche der Gehäuse durchgeführt. Die Versuchslasten wurden gemäß dem kritischen Lastfall eingestellt. Die Versuche zeigten qualitativ eine sehr gute Übereinstimmung zwischen den Bruchverläufen im Versuch und den mittels ANSYS ermittelten kritischen Bauteilorten am Gehäuse (Bild 7). Dabei lagen die Bruchlasten deutlich höher als die Maximallasten, die die Getriebegehäuse im Anwendungsfall beim Kunden erfahren. <<