

Konstruktionsbegleitende Berechnung in der Produktentwicklung

Prof. Dr.-Ing. Markus Merkel
HTW Aalen, Hochschule für Technik und Wirtschaft
Fachbereich Maschinenbau und Werkstofftechnik

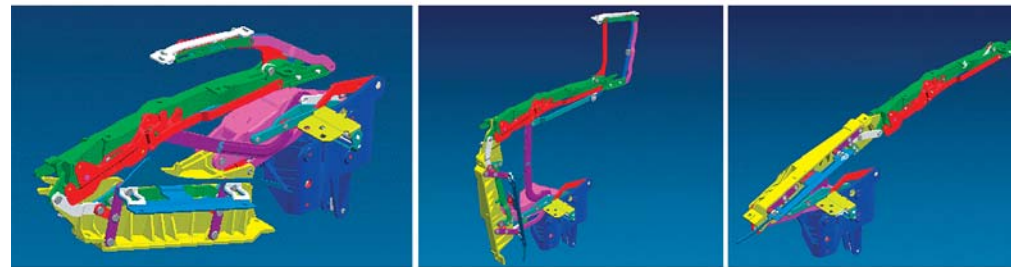
Dr.-Ing. Peter Binde
Wiesbaden

CAD-CAM
Engineering Magazin **REPORT**

Nr. 6 Juni 2005

Die Konstruktion und die Berechnung sind neben dem Versuch klassische Disziplinen in der Produktentwicklung. Während vor Jahren diese Bausteine eher selbstständig nebeneinander standen, zwingt der Markt bei kürzer werdenden Produktlebenszyklen, einer höheren Variantenvielfalt und wachsenden Qualitätsansprüchen zu einem näheren Zusammenrücken.

Insbesondere der enge Schlußerchluss zwischen Konstruktion und Berechnung ermöglicht es dem Produktentwickler, den erhöhten Aufgabenumfang zeit- und kosten-



sparender zu bewältigen. Auch bezüglich der Software-Lösungen ist ein Zusammenwachsen von Konstruktion und Berechnung zu beobachten. Die vormals eigenständigen CAD- und CAE-Systeme verschmelzen immer mehr zu einem Universalwerkzeug.

Heute steht zur Analyse der physikalischen Eigenschaften eines Bauteiles oder einer Baugruppe ein umfangreiches Portfolio an Werkzeugen bereit. Ein Berechnungsingenieur kann für die Analyse nahezu jeder Spezialeigenschaft auf ein entspre-

chendes CAE-System zurückgreifen. Neben den so genannten Solvern (Gleichungslöser) stehen für die Modellaufbereitung und Ergebnisauswertung geeignete Pre- und Postprozessoren zur Verfügung, wobei sich der Einsatz dieser Software in den unterschiedlichsten Anwendungsfällen vielfach bewährt hat.

Veränderungen beim alltäglichen Umgang in der Konstruktion

Die konstruktionsbegleitende Berechnung hat das Ziel, einen Teil der rechnerischen Auslegung direkt am Konstruktionsarbeitsplatz durchzuführen. Dieser integrierte Ansatz, der vom klassischen Verständnis von Konstruktion und Berechnung abweicht, führt zu einer Reihe von Veränderungen beim alltäglichen Umgang in der Konstruktion, auf die im Folgenden näher eingegangen wird. Basis für die Berechnung am

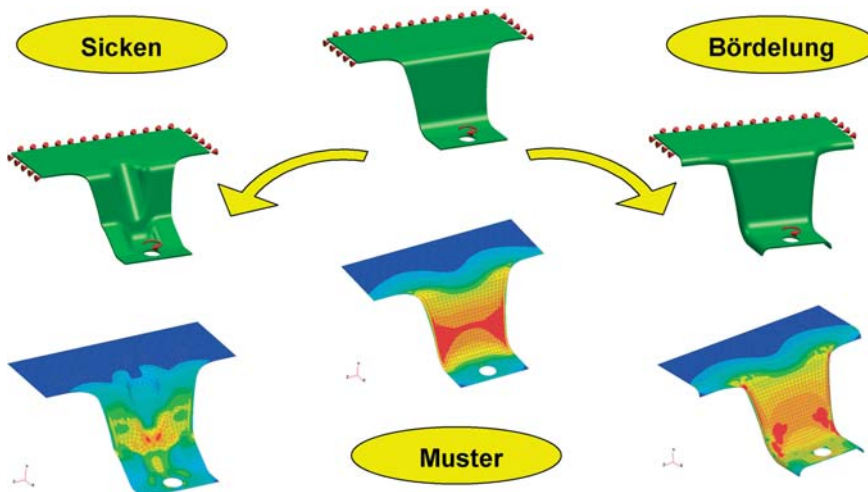
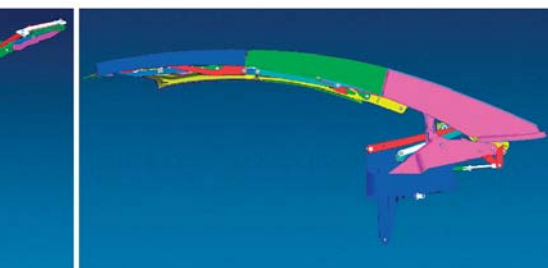
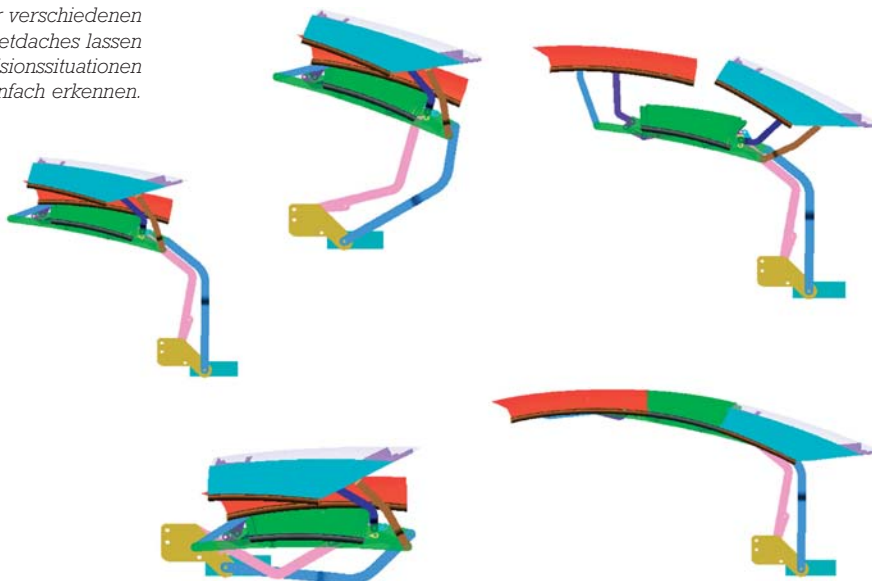


Bild 1: Ausgehend von einem Muster lassen sich sehr einfach Geometrievarianten erzeugen, deren Festigkeitsverhalten berechnet und beurteilt wird (Bild: Dr. Binde Beratende Ingenieure GmbH, Wiesbaden).

Bild 2: Anhand der verschiedenen Öffnungsstadien des Cabrioletdaches lassen sich eventuelle Kollisionssituationen sehr einfach erkennen.



Konstruktionsarbeitsplatz ist das im Unternehmen eingesetzte CAD-System. Die großen Plattformsysteme stellen zusätzlich zur CAD-Basisfunktionalität Berechnungsfunktionalität zur Verfügung, beispielsweise Module zur Finiten-Elemente-Methode (FEM) und zur Mehrkörpersimulation (MKS). Im FEM-Bereich werden meist die Module »Statik«, »Modal«, »Thermotransfer« sowie »Knickung« unterstützt, und teilweise auch Kombinationen daraus, zum Beispiel die Temperatur-Struktur-Kopplung. In wenigen Fällen wird auch ein nichtlinearer Kontakt unterstützt, der es erlaubt, Wechselbeziehungen zwischen Baugruppentteilen zu analysieren.

In den meisten Fällen sind die konstruktionsbegleitenden Berechnungssysteme kompatibel zu leistungsfähigeren CAE-Lösungen, so dass eine im CAD-System begonnene Aufgabe von einem Berechnungsingenieur in dessen gewohnter Umgebung fortgeführt werden kann. Ferner existiert für die CAE-Datenverwaltung teilweise eine Anbindung an PDM-Systeme, um die Ergebnisdateien ohne viel Mehrauf-

wand mitzuverwalten. Inhaltlich kann die konstruktionsbegleitende Berechnung lediglich einen Teil der gesamten Berechnungsaufgaben abdecken. Prinzipiell lassen sich die Grenzen zwischen konstruktionsbegleitenden Berechnungen und Aufgaben für Berechnungsexperten willkürlich ziehen. Jedoch ist eine vernünftige Wahl dieser Grenze sinnvoll, denn einerseits soll die Konstruktion nicht überfordert werden und andererseits muss die festgelegte Grenzziehung im täglichen Arbeiten praktikabel sein.

Für die konstruktionsbegleitende Berechnung hat sich eine Beschränkung auf lineare Berechnungen, das heißt auf das linear-elastische Stoffgesetz und kleine Verformungen, bewährt. Nicht behandelt werden sollten transiente Analysen, Nichtlinearitäten, Kontaktprobleme und die Reibung. Diese Einschränkungen lassen sich nicht nur durch ein erforderliches tieferes Verständnis der theoretischen Grundlagen begründen, sondern vor allem durch die Beschränkung der Ressourcen auf den Konstruktionsarbeitsplatz.

Der Konstrukteur sollte nur seine eigenen Hardware-Ressourcen nutzen

Die Konstrukteure sollten für die Berechnungen nur die Hardware-Ressourcen von CPU und Festplatte nutzen, die bereits für die Konstruk-

tionsaufgabe zur Verfügung stehen. Eine Mitnutzung der meist ausschließlich für die Berechnungsingenieure bereitgestellten HPC-Plattformen (High Performance Computing) ist nicht zielführend. Außerdem sollte der gesamte Zusatzaufwand für eine Berechnung einen Tag nicht überschreiten.

Kinematik-Berechnungen sind für die meisten Konstrukteure am einfachsten realisierbar, da die Fragestellungen einfach definiert und die Simulationsergebnisse anschaulich interpretiert werden können. Die Konstrukteure müssen dabei sicherstellen, dass sich Mechanismen in der gewünschten Art und Weise bewegen lassen, zum Beispiel bei Einbauuntersuchungen, Kollisionsbetrachtungen, Abfahren von Min-/Max-Positionen oder Hüllgeometrien. Umfangreicher gestalten sich Analysen bezüglich auftretender Kräfte und Momente. Diese erfordern zusätzliche Eingaben, die oftmals mit erheblichen Unsicherheiten verbunden sind.

Insbesondere die Interpretation der Ergebnisse ist facettenreicher und stellt hohe Ansprüche an das mechanische Verständnis, so dass Fehlinterpretationen der Mechanik leicht auftreten können. Zu den Standardanalysen gehören Untersuchungen von Verschiebungen, Spannungen, Temperaturen und modale Analysen. Die jüngste Disziplin unter den konstruktionsnahen Berechnungen ist die Strömungssimulation.

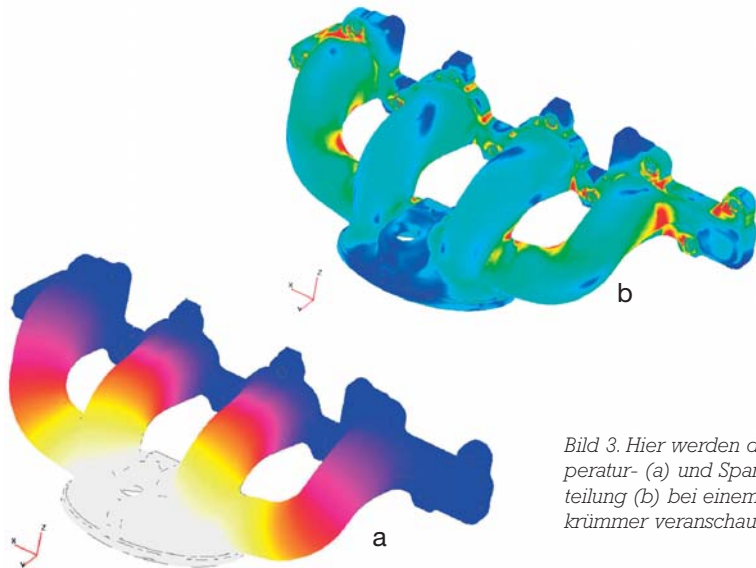


Bild 3. Hier werden die Temperatur- (a) und Spannungsverteilung (b) bei einem Abgaskrümmer veranschaulicht.

Ein entscheidender Vorteil der konstruktionsbegleitenden Berechnung soll hier am Beispiel einer Spannungsanalyse dargestellt werden (Bild 1). Ausgehend von einem Muster lassen sich sehr einfach Geometrievarianten erzeugen, deren Festigkeitsverhalten mit Hilfe des Berechnungsmoduls im CAD-System beurteilt wird.

Intensive Schulungen zu den Berechnungsmodulen sind sinnvoll

Konstruktionsbegleitende Berechnungen bedeuten für Konstrukteure eine weitere Qualifikation, wobei Konstrukteure üblicherweise ein ausgeprägtes Verständnis für physikalische Sachverhalte haben. Während einer Vielzahl von Schulungen zeigte sich, dass für diejenigen, die sich intensiver mit der Berechnung befassen wollen, eine Auffrischung in einigen theoretischen Themengebieten vollkommen ausreicht. Eine intensivere Schulung ist dagegen beim hand-

werklichen Umgang mit den Berechnungsmodulen notwendig. Für die Teilnahme an einer solchen Schulung sollte jedoch der sichere Umgang mit dem 3D-CAD-System vorausgesetzt werden.

Im praktischen Einsatz wird sich der Konstrukteur nur während eines Teils seiner Arbeitszeit mit der Berechnung auseinandersetzen. Deshalb besteht die Gefahr, dass nach längerer »Berechnungs«-Auszeit, die eine oder andere handwerkliche Bedienreihenfolge nicht mehr sofort parat ist. Das Einrichten einer zentralen Vor-Ort-Unterstützung hat sich hier bewährt. Darüber hinaus sind regelmäßig – beispielsweise monatlich – stattfindende Workshops mit wechselnden Schwerpunkten sinnvoll, bei denen Konstrukteure aus unterschiedlichen Abteilungen ihre Erfahrungen zu ähnlichen Problemstellungen austauschen.

Die konstruktionsbegleitende Berechnung ändert das traditionelle Zusammenspiel von Konstruktion und Berechnung grundlegend. Da

sich der Kreis der »potenziellen Berechner« deutlich erweitert, kann der Informationsaustausch auf einer höheren Ebene erfolgen. Grundlage hierfür sind die so genannten Input-Dateien, mit denen die Berechnungsprobleme definiert werden. Sie bilden seit jeher unter Berechnern die Basis jeder Diskussion und sind – zumindest für die meisten Anwendungen – sowohl von Berechnungsingenieuren als auch von Konstrukteuren in der jeweils bevorzugten Arbeitsumgebung verwendbar. Diese Kommunikationsgrundlage hilft beispielsweise auch bei einer eventuellen Fehlersuche. In diesem Zusammenhang ist es sinnvoll, dass der Berechnungsexperte einmalig ein bestimmtes Berechnungsszenario definiert und dabei sein umfassendes Berechnungs-Know-how einfließen lässt. Anschließend kann der Konstrukteur bei seinen Analysen das vom Berechnungsspezialisten definierte Muster verwenden und sich verstärkt auf die Analyse von Varianten konzentrieren.

Ein sehr positiver Nebeneffekt der konstruktionsbegleitenden Berechnung besteht darin, dass die Konstrukteure für die Belange der Berechnung stärker sensibilisiert werden. Die Einsatzmöglichkeiten der konstruktionsbegleitenden Berechnung sind je nach Unternehmen und Branche sehr unterschiedlich. Jedoch schließen sich einige Bereiche, bei denen der Rechenaufwand wegen der auftretenden Nichtlinearitäten, Reibung, Kontaktbedingungen oder des transienten Verhaltens zu hoch ist, von vornherein aus.

Bei der Beurteilung von Bewegungsabläufen bezieht sich der erste Analyseschritt häufig auf die Ki-

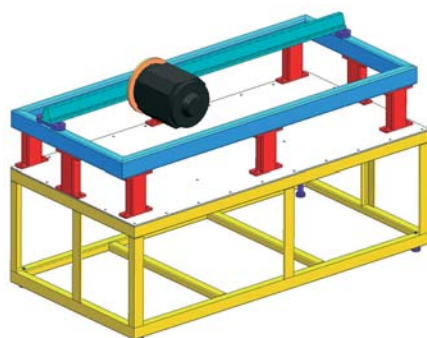
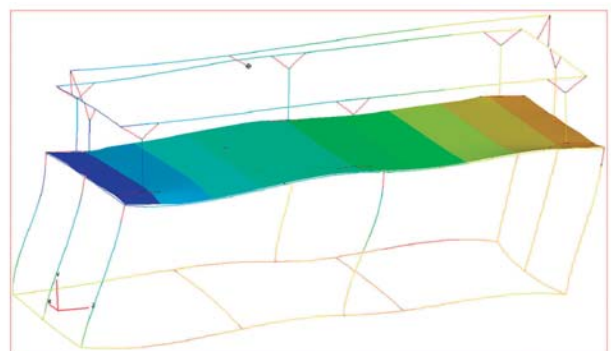
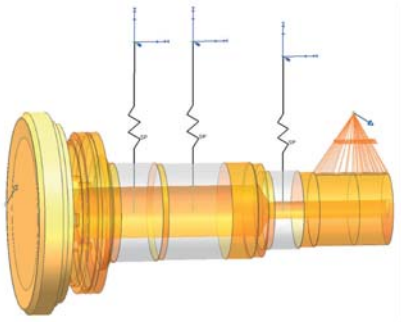


Bild 4 zeigt ein Maschinenportal, das auf Eigenfrequenzen untersucht wurde.





nematik. Im einfachsten Fall wird von starren Bauteilen ausgegangen, die über Gelenke miteinander verbunden sind. *Bild 2* zeigt beispielhaft verschiedene Öffnungsstadien für ein Cabrioletdach, wobei der Konstrukteur eventuelle Kollisionssituationen sehr einfach erkennen kann. Weitere Anwendungsfälle aus der Fahrzeugentwicklung sind Mechanismen zum Verstellen der Sitzhöhe oder zum Öffnen und Schließen von Schiebetüren.

Der erste Analyseschritt bezieht sich häufig auf die Kinematik

Als ein typisches Beispiel für eine thermoelastische Analyse ist in *Bild 3* ein Abgaskrümmter zu sehen, dessen Temperatur- (a) und Spannungsverteilung (b) veranschaulicht wird. *Bild 4* zeigt ein Maschinenportal, das auf Eigenfrequenzen untersucht wurde, wobei die zusammengenieteten Profile und Platten mittels Balken und Schalenelementen abgebildet werden. Die Schnittflächen der Profile können direkt aus dem CAD-System den FE-Balken zugeordnet werden, so dass Optimierungen leicht realisierbar sind.

Im Bereich von FEM-Strukturanalysen werden häufig Verformungs- oder Spannungsanalysen von Einzelteilen oder kleineren Baugruppen durchgeführt. Beispielsweise können Konstrukteure verhältnismäßig einfach die Steifigkeit von Werkzeugspindeln analysieren (*Bild 5*). In diesem Fall wurden die Wälzlager nachgiebigkeiten durch FE-Federelemente nachgebildet.

Anspruchsvoller wird eine Strukturanalyse, wenn neben der Verfor-

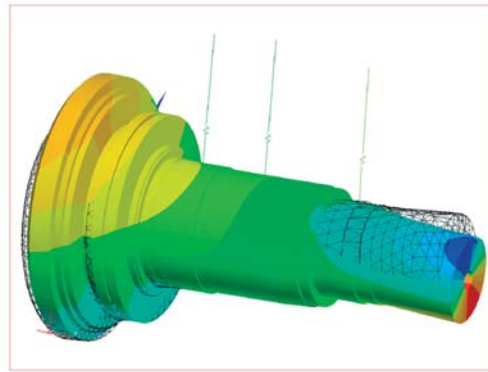
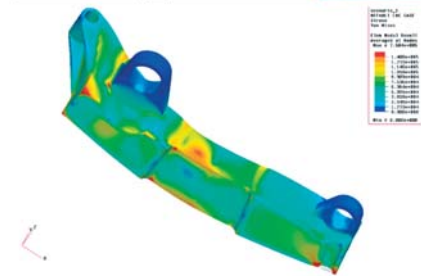
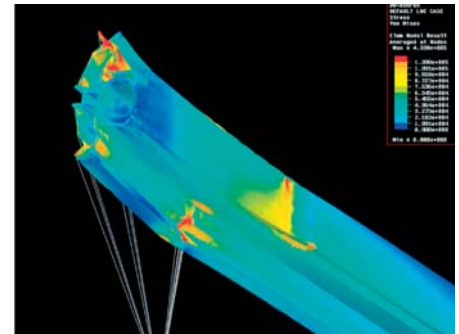


Bild 5: Konstrukteure können verhältnismäßig einfach die Steifigkeit von Werkzeugspindeln analysieren (Bild: GROB-WERKE, Burghart Grob e.K.).

Bild 6: Der Hauptspannungsverlauf des Bohrständers wurde vom Konstrukteur im CAD-integrierten Berechnungsmodul analysiert (Bild: HILTI Entwicklungsgesellschaft mbH).



mung auch Spannungen zu ermitteln sind, weil dadurch die Anzahl der möglichen Fehlerquellen steigt. In *Bild 6* ist ein Bohrständer unter der statischen Last des Bohrens dargestellt. Der Hauptspannungsverlauf des Bohrständers wurde vom Konstrukteur im CAD-integrierten Berechnungsmodul analysiert. Die Anwendungsfälle, die über qualitative Analysen des Kraftflusses hinausgehen, beispielsweise beim Festigkeitsnachweis, sollten von Konstrukteuren jedoch nur in Zusammenarbeit mit Berechnungsingenieuren durchgeführt werden.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass mit der konstruktionsbegleitenden Berechnung ein enger Schulterschluss zwischen den klassischen Entwicklungsbereichen Konstruktion und Berechnung gelingt. Über die im CAD-System integrierten CAE-Funktionalitäten wird die Berechnung einem großen Anwenderkreis zugänglich. Auf den

Gebieten der Strukturanalyse und Bewegungssimulation mittels FEM-beziehungswise MKS-Modul hat sich die konstruktionsbegleitende Berechnung in einer Vielzahl von Anwendungsfällen bewährt. Die Strömungssimulation (CFD - Computational Fluid Dynamics) wird sich in den nächsten Jahren zu einem weiteren Anwendungsfeld entwickeln. Δ

Literaturhinweise

Schumacher A., Merkel M., Hierold R., Binde P.: Parametrisierte CAD-Modelle als Basis für eine CAE gesteuerte Komponentenentwicklung, VDI-Berichte 1701: Berechnung und Simulation im Fahrzeugbau, 517-535, 2002.

Binde P.: The Usage of Feature-Technology for Knowledge Processing in the Scope of Design-Embedded FEM-Analysis. In: NA-FEMS Seminar: Integration of Numerical Simulation into the Development Process. November 17 - 18, 2003, Wiesbaden, Germany. www.drbinde.de.

Arbeitskreis »Unigraphics Schulungen«: Handbuch UG Scenario for Structures/Motion. Schulungsunterlage zur UGS-zertifizierten Schulung für konstruktionsintegrierte FEA in Unigraphics NX, UGS-Professional Services, 2005.