

Erhöhung des Wirkungsgrads mit Multiphysik-Simulation

Produktsimulation optimiert Pumpen

Bild 1: Das Gehäuse der Pumpe ist aus Kunststoff, der sich wesentlich stärker als Metall ausdehnt.

Höher, schneller, weiter. Für Elektrogeräte heißt die Devise: Sie müssen immer effizienter werden. Das sieht die europäische Richtlinie „Energy Efficient Products“ für einzelne Produktkategorien wie Pumpen, Elektromotoren und Haushaltsgeräte vor, die bezüglich des Wirkungsgrads und anderer Leistungsdaten verbindliche Vorgaben enthält. Um diesen Anforderungen gerecht zu werden, nutzen viele Firmen Simulationssoftware, mit der sie die Optimierung ihrer Produkte vorantreiben.

In den Richtlinien heißt es sinngemäß, dass mehr als 80 Prozent aller produktbezogenen Umweltauswirkungen während der Designphase eines Produkts festgelegt werden. Diese Aussage wird durch eine Umfrage der Aberdeen Group unterstützt, in der Engineering-Manager von etwa 600 Firmen gefragt wurden, wie sie den Herausforderungen bezüglich verkürzter Produktentwicklungszyklen, gestiegenen Qualitätsanforderungen und der Nachfrage nach immer „smarteren“ Produkten begegnen. Die Antworten ergaben, dass mehr als die Hälfte der wirtschaftlich am erfolgreichsten Firmen Methoden verwenden oder entwickeln, bei denen in einer möglichst

frühen Produktphase möglichst viele Informationen über das entstehende Produkt vorliegen.

Durchgängige Virtualisierung, nicht nur Bauteil-Simulation

Eine der besten Technologien, um Produkte in einer frühen Designphase bezüglich ihrer Leistungsdaten zu prüfen und gezielt zu verbessern, ist die „Produktsimulation“. Sie steht für die durchgängige Virtualisierung kompletter Produkte, im Gegensatz zur Simulation von einzelnen Komponenten, wie sie heute schon häufig eingesetzt wird. Da in einem Produkt aber so gut wie nie nur eine Physik vorkommt, ist

Produktsimulation gleichbedeutend mit Multiphysik-Simulation.

Hier muss aber derzeit noch eine Einschränkung gemacht werden: Eine vollständige Produktsimulation mit dreidimensionalen Feldmethoden ist heute nur für wenige Anwendungen möglich. Deshalb impliziert Produktsimulation auch eine „Multiskalensimulation“, das heißt die Kopplung von Systemsimulation (null- oder eindimensional) mit Feldsimulation, wobei Algorithmen zur Model-Order Reduction als Bindeglied dienen. Zum Beispiel muss bei der Entwicklung von energieeffizienten Pumpen das Optimum aus Festigkeit, Schwingungsverhalten, hydraulischem Wirkungsgrad, Antrieb und An-

triebssteuerung gefunden werden. Dies lässt sich prinzipiell am besten durch eine gekoppelte Simulation erreichen. Traditionelle sequentielle Simulationsstrategien benötigen wesentlich mehr Iterationen und sind weniger effizient.

Um beim Beispiel der Pumpenindustrie zu bleiben, hier einige Fakten: Der weltweite Umsatz für Pumpen lag im Jahr 2012 bei 42 Milliarden US-Dollar. Daran hatte die europäische Pumpenindustrie mit 27 Prozent einen hohen Anteil. Allein in Deutschland sind mehr als 400 Pumpenhersteller mit etwa 18.000 Mitarbeitern tätig. Insgesamt gibt es sogar mehr Kreiselpumpen als Menschen auf der Erde.

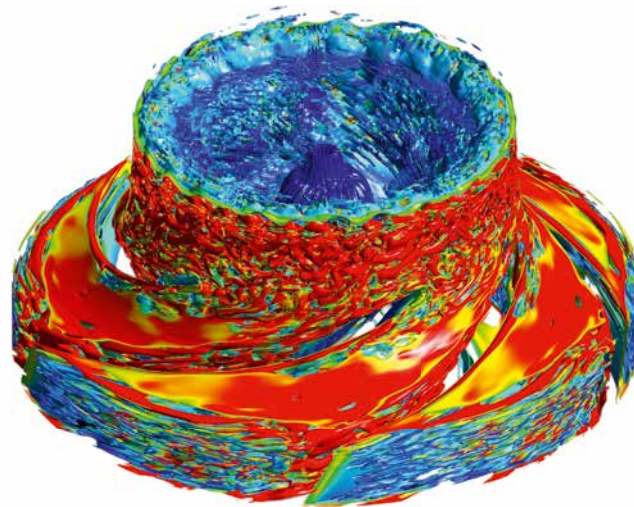
Hohes Optimierungspotential bei Pumpen

Im Jahr 2005 schlugen Wasserpumpen in der Europäischen Union mit einem Stromverbrauch von insgesamt 109 Terawattstunden (TWh) zu Buche, was einem Ausstoß von 50 Megatonnen Kohlendioxid entspricht. Bis 2020 wird dieser Verbrauch auf 136 TWh steigen. Die oben erwähnte EU-Richtlinie soll dafür sorgen, dass der Stromverbrauch in der Nutzungsphase erheblich gesenkt wird. Das Ziel ist eine Verbrauchsreduzierung um fünf Prozent bis zum Jahre 2020. Das entspricht ungefähr dem Jahresstromverbrauch von 83 Millionen Menschen. Pumpenhersteller müssen auf diese Herausforderung reagieren und ihre Pumpen optimieren beziehungsweise neue Produkte entwickeln.

Wie können Pumpen energieeffizienter werden? Traditionelle Auslegungsmethoden sind in mehrfacher Hinsicht „sequentiell“:

- Die Strömung durch Pumpenlaufräder wird als eine Sequenz von eindimensionalen Strömungen bei unterschiedlichen Radien approximiert. Sekundärströmungen und Verluste werden durch Korrelationen berücksichtigt, die sich aus Versuchen mit ähnlichen Pumpen ergaben.
- Hydraulik, Festigkeit beziehungsweise Lebensdauer, thermisches Verhalten und die Wechselwirkung mit dem Antrieb werden zuerst separat (sequentiell, ungekoppelt) optimiert, um dann aus einzelnen Optima ein globales Optimum zu suchen. Dies erfordert mehr Iterationen und Abstimmungsarbeit als eine gekoppelte Auslegung.
- Laufräder (Impeller), Gehäuse, Elektromotoren einschließlich deren Kühlung werden separat optimiert und dann zusammengefügt. Mehrere einzelne Optima ergeben aber nicht zwangsweise ein glo-

Bild 2: Der Unterschied in der Auflösung zwischen einem statistischen (rechts) und einem skalenauflösenden Modell (unten) wird deutlich.



bales Optimum. Falls das Gesamtprodukt nicht wie gewünscht funktioniert, sind weitere Designiterationen notwendig.

Moderne Methoden setzen dagegen bereits in einer sehr frühen Stufe nach der Bestimmung der globalen Abmessungen auf eine dreidimensionale Auslegung von Impeller und Gehäuse. Dabei werden alle wichtigen Strömungsphänomene wie Verluste durch geometrische Gegebenheiten sowie durch Reibung und Rezirkulation mit berücksichtigt. Nachdem ein gutes hydraulisches Verhalten erzielt wurde, wird – wiederum in einem sehr frühen Stadium – die Strömungsmechanik mit der Strukturmechanik verbunden, um schnell zu einem globalen Optimum zu gelangen. Denn es ist nicht sinnvoll, die Hydraulik ausführlich zu optimieren und anschließend aus Festigkeits- oder Lebensdauergründen wieder Abstriche machen zu müssen. Falls Kühlung, Wechselspiel mit dem Antrieb und dessen Regelung beziehungsweise andere Effekte wie Schallabstrahlung eine Rolle spielen, können diese auch bereits zu diesem Zeitpunkt in das virtuelle Modell übernommen werden.

Aber nicht nur der gezielte Einsatz von gekoppelten Simulationen macht Pumpen energieeffizienter. Auch die einzelnen Simulationsprogramme, die gekoppelt werden, werden ständig verbessert. Wenn beispielsweise Pumpen weitab von ihrem Auslegungspunkt betrieben werden, können großvolumige Rezirkulationsgebiete auftreten, die den Wirkungsgrad deutlich verschlechtern. Bei solchen Betriebsbedingungen spielt auch die unerwünschte Kavitation mit all ihren negativen Auswirkungen auf Lebensdauer und Leistung eine bedeutende Rolle.

Fortschritt bei moderner Simulationssoftware

Leider ist die Genauigkeit und Vorhersagekraft von CFD-Methoden in solchen Situationen noch eingeschränkt. Das liegt unter anderem an den empirischen Modellen, die zur Berücksichtigung des Einflusses von Turbulenz und Kavitation eingesetzt werden. Hier gab es aber in den letzten Jahren deutliche Fortschritte durch die Entwicklung sogenannter skalenauflösender, hybrider Turbulenzmodelle. Bei diesen Model-

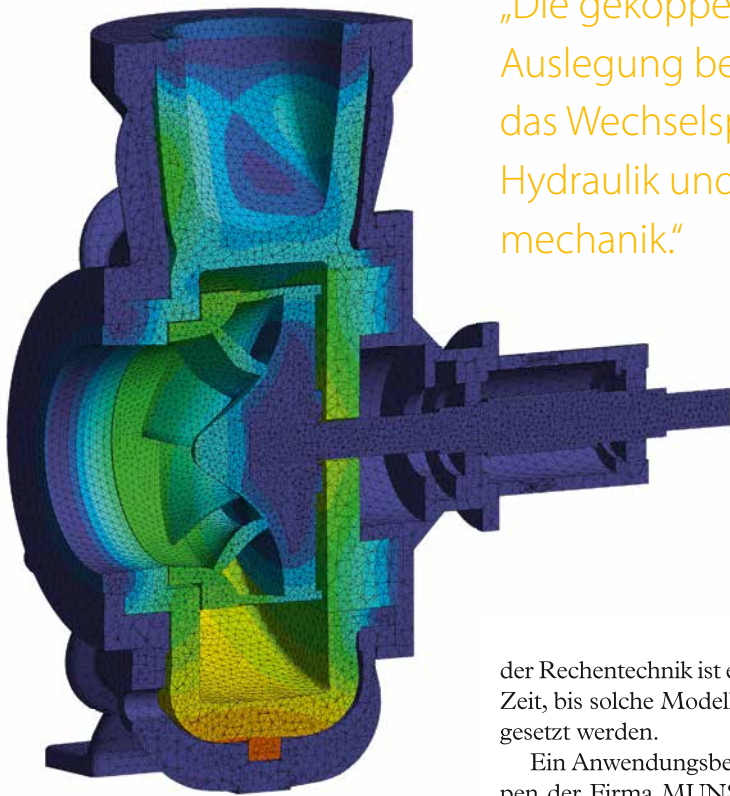


Bild 3: Die maximalen Ausdehnungen des Gehäuses lagen im Bereich von mehreren Millimetern.

len wird weniger modelliert und mehr dreidimensional und instationär „simuliert“ – nämlich hauptsächlich in großen Rückströmgebieten, bei denen traditionelle Turbulenzmodelle Schwierigkeiten haben. Bild 2 zeigt den Unterschied in der Auflösung zwischen einem statistischen und einem skalenauflösenden Modell.

Der Einsatz von skalenauflösenden, hybriden Turbulenzmodellen wird künftig zuverlässige Strömungssimulationen über den gesamten Betriebsbereich zulassen. Ein äußerst positiver Nebeneffekt ist, dass auch die Vorhersage von Kavitation verbessert wird. Kavitation wird unter anderem durch lokale Unterdruckspitzen in kleinen Wirbeln ausgelöst, ähnlich dem Unterdruck im Zentrum eines Tornados. Dort sinkt der lokale Druck unter den Dampfdruck und das gepumpte Wasser „verdampft“. Im Gegensatz zu traditionellen Turbulenzmodellen, wo dies nicht passiert, werden diese kleinen Wirbel mit ihren Unterdruckspitzen bei skalenauflösenden Modellen aufgelöst, was die Vorhersagekraft der Kavitationsberechnung deutlich fördert. Der Preis für diese Vorteile ist allerdings ein deutlich höherer Rechenaufwand. Bei den Fortschritten in

„Die gekoppelte Auslegung berücksichtigt das Wechselspiel von Hydraulik und Strukturmechanik.“

der Rechentechnik ist es nur eine Frage der Zeit, bis solche Modelle routinemäßig eingesetzt werden.

Ein Anwendungsbeispiel sind die Pumpen der Firma MUNSCH Chemie-Pumpen, die seit Jahren dreidimensional und gekoppelt optimiert werden (Bild 1). Bei Chemiepumpen ist das Gehäuse aus nicht-korrodierendem Kunststoff, der sich unter mechanischer beziehungsweise thermischer Belastung wesentlich stärker ausdehnt als Metall. In diesem Fall ist die Berücksichtigung des Wechselspiels von Hydraulik und Strukturmechanik, also eine gekoppelte Auslegung, geradezu ein Muss.

Am Rechner ausgelegt, in der Realität bewährt

Unter anderem wurden auch die weltweit größten Chemiepumpen aus Kunststoff durch Produktsimulation so ausgelegt, dass sie perfekt funktionieren. Durch die Betriebswärme dehnen sich Metall- und Kunststoffteile der Pumpe unterschiedlich aus. Bei den großen Abmessungen des in Bild 1 gezeigten Gehäuses lagen die maximalen Ausdehnungen im Bereich von mehreren Millimetern (Bild 3). Dies ist um Größenordnungen höher als bei rein metallischen Pumpen und hat daher auch deutlichere Auswirkungen. Wird die Ausdehnung exakt berechnet, kann sie effizient genutzt werden: So können sich zum Beispiel die Spalten zwischen Gehäuse und Impeller verringern, was dann zu geringeren Verlustströmungen, höheren Wirkungsgraden und ansteigenden Förderhöhen führt. Eine Auslegung ohne den Einfluss der Betriebstemperaturen auf die Struktu-

ren zu berücksichtigen, würde zu ungenauen oder gar falschen Aussagen führen. Überdimensionierung des Antriebs und niedrigere Energieeffizienz könnten die Konsequenz sein.

Beispielsweise werden die so ausgelegten Pumpen seit dem Jahr 2014 in einer Kupfermine in Sambia eingesetzt und erfüllen die hohen Erwartungen: Der Ausstoß von Schwefeldioxid konnte bei einer Tagesproduktion von 1.000 Tonnen Schwefelsäure um mehr als 95 Prozent reduziert werden. Diese Pumpensonderentwicklung innerhalb von nur acht Monaten war nur durch den gekoppelten Einsatz von Fluid- und Struktursimulation möglich. Bei so kurzen Entwicklungszeiträumen besteht keine Möglichkeit, Experimente an Versuchspumpen auszuführen. Vertrauen in die Güte numerischer Daten ist dann zwingend erforderlich.

Die Regelung in die Optimierung integrieren

Für die Vorteile einer gekoppelten Auslegung von Pumpen lassen sich viele ähnliche Beispiele aufzählen, unter anderem die BlueFlux-Pumpenbaureihen von Grundfos (siehe Seite 16). Dabei wurden zusätzlich die Elektromotoren und die Regelung in die ganzheitliche Optimierung einbezogen. So konnte der Energieverbrauch gesenkt und gleichzeitig die Lebensdauer sowie die Zuverlässigkeit der Pumpen erhöht werden.

Dieselben EU-Vorgaben, die hier am Beispiel der Pumpen berücksichtigt wurden, gelten auch für andere elektrische Geräte wie Staubsauger, Waschmaschinen, Geschirrspülmaschinen, Klimaanlage und Kühlschränke. Der Einsatz von modernen und ganzheitlichen Simulationen kann auch hier zu Verbesserungen und Energieeinsparungen führen.



MUNSCH
Kunststoffpumpen für aggressive Medien

InfoAutoren

Dr.-Ing. Georg Scheuerer
ISimQ GmbH
www.isimq.com

Dr.-Ing. Gunther Treutz
MUNSCH Chemie-Pumpen GmbH
www.munsch.de

InfoAnsprechpartner | CADFEM

Steffen Peters
Tel. +49 (0) 711-99 07 45-31
speters@cadfem.de