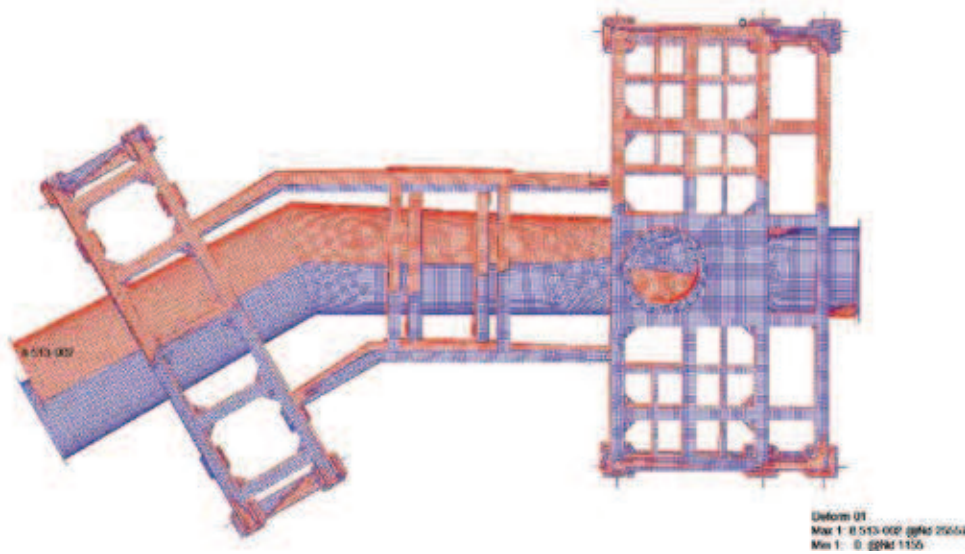


STRUKTURMODELLE UND FEM-SIMULATION IM ANLAGENBAU

Die sichere Anlage

Mit der schnellen Entwicklung von Energie-, Elektro- und Produktionstechnik steigt die Nachfrage nach dem Bau von Anlagen. Gleichzeitig steigen die Anforderungen an Funktionalität und Sicherheit. Schnelle und effiziente Strukturberechnungen werden zunehmend wichtiger. **VON YAJIE LUAN, CORNELIA THIEME UND SYLLVETT TSIALOS**



Spannung durch Temperatur, Belastungen im laufenden Betrieb oder außerordentliche Ereignisse wie ein Erdbeben setzen den Anlagen zu.

Die Finite-Elemente-Methode (FEM) wird weithin für Strukturberechnungen eingesetzt. Mathematisch ist die FEM eine numerische Methode, die partielle Differentialgleichungen per Näherungsverfahren löst. Dabei wird praktisch ein großes Modell in viele kleine Teile aufgeteilt. Diese Teile heißen „Finite Elemente“ – nicht unendlich kleine, sondern endlich kleine Elemente. Mit Hilfe dieser kleinen Unterbereiche wird die Lösung berechnet.

Die FEM entstand in der Mitte des letzten Jahrhunderts mit dem wachsenden Bedarf an komplizierten Analysen in Luft- und Raumfahrt. Inzwischen ist die Methode in vielen Bereichen etabliert, einschließlich des Anlagenbaus. Die meisten CAE-Berechnungen verwenden FEM, denn verglichen mit der Finite-Differenzen-Methode kann FEM größere Modelle verwerten und ist weniger zeitaufwändig.

Da ein FEM-Modell leicht zu ändern ist, können damit schnell Varianten ausprobiert werden. Das führt zum Bau im-

mer weniger physischer Prototypen und Tests. Daher wächst der Einsatz der FEM-Methode immer weiter.

Große Strukturmodelle

Die Strukturen der Industrieanlagen werden immer komplexer, so dass sie mit Handrechnungen oder anderen Vereinfachungen schwer zu erfassen sind. Dann kommt die FEM zum Einsatz, um das Modell mit den gewünschten Details abbilden zu können. Zum Beispiel hängt die Dimensionierung eines Wärmekraftwerks von seiner geografischen Position, Größe, Brennstofftyp und vielen anderen Faktoren ab. Es kann eine Größe von über 100 Hektar erreichen. Die Anlage, die auf dieser riesigen Fläche gebaut wird, besteht aus einer großen Anzahl geschweißter Balken, Bleche und Rohre. Außerdem gibt es viele Strukturteile mit komplizierter Geometrie. Traditionelle vereinfachte Methoden können solche Strukturen nicht mehr abbilden. FEM jedoch kann alle benötigten Details abbilden zuverlässige Ergebnisse liefern.

Lebensdauerberechnung

Materialermüdung ist ein wichtiges Thema im Anlagenbau. Sie entsteht normalerweise durch wiederholte Be- und Entlastung. Es bilden sich winzige Risse, die zu großen Rissen anwachsen und schließlich zum Ermüdungsbruch der Struktur führen. Die Vorhersage der Lebensdauer – also die Anzahl der Belastungszyklen bis zum Bruch – ist daher ein kritischer Punkt im Anlagenbau. Mit FEM-Berechnungen können Bereiche hoher Spannung und Wechselbelastung identifiziert werden, die anfällig für Materialversagen sind.

Im Anlagenbau werden häufig geschweißte Balkenprofile verwendet, die anfällig für Ermüdung sind. Für ein Wärmekraftwerk ist das wichtigste Bauteil die Dampfturbine. In dieser ist wiederum das kritischste Teil ihre Schaufelblätter, die durch ihre Belastungen besonders auf Ermüdungsschäden hin zu prüfen sind. Mithilfe der Lebensdauerberechnung kann der fehleranfällige Bereich identifiziert und von vornherein stabiler konstruiert werden.

Konventionelle Methoden liefern normalerweise nur eine ungenaue Abschätzung und beschränken sich auf einfache Strukturen. Physikalische Tests mit der re-

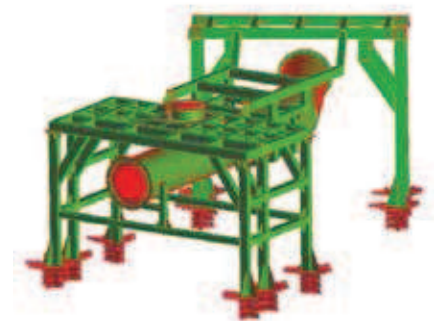


Bild 1: Das Netz und die Randbedingungen.

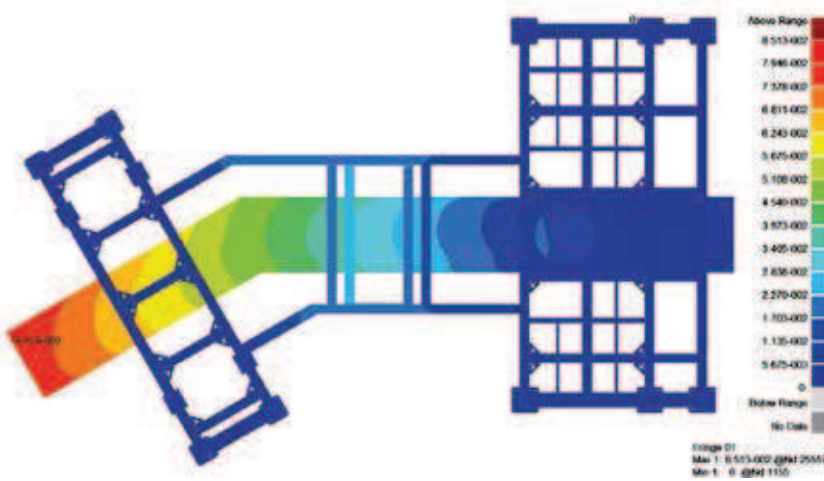


Bild 2: Verformung der Struktur, farblich dargestellt. Die größte Verformung tritt am linken Ende des Rohrs auf.

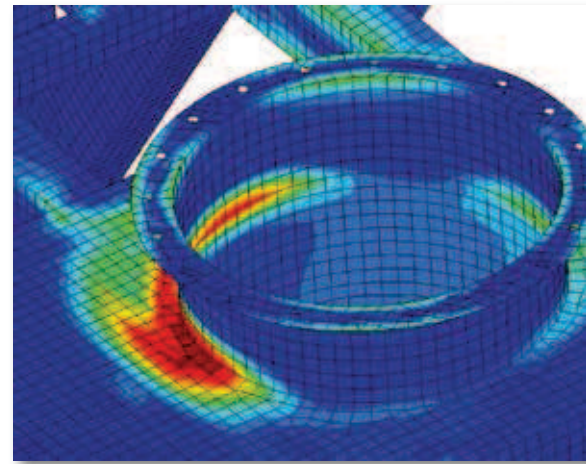


Bild 3: Die Von-Mises-Spannungen spiegeln die Verformung wider.

alen Anzahl – also oft Millionen – von Lastzyklen sind oft zu teuer und dauern zu lange. Mit FEM kann diese Abschätzung schneller und genauer durchgeführt werden. Ingenieure können Verbesserungen der Konstruktion schnell per Berechnung ausprobieren.

Traditionell wird die Berechnung der Verformungen und Spannungen in einem anderen Programm oder Modul durchgeführt als die Lebensdauerberechnung. Besonders bei einer Kombination verschiedener Belastungen, also vieler verschiedener Spannungsergebnisse für verschiedene Zyklen, müssen große Datenmengen zum Lebensdauerprogramm transferiert werden. Heute gibt es Software, beispielsweise Nastran von MSC Software, die alles in einem Rechenlauf durchführen kann, so dass dieser Datentransfer entfällt und der Anwender nur noch ein Programm lernen muss.

Im Produktionsprozess arbeiten viele Anlagen bei wechselnder Temperatur, zum Beispiel Dampferzeuger in Wärmekraftwerken. Außerdem fließen durch die Rohre Fluide mit verschiedenen Temperaturen. Da die Materialeigenschaften von der Temperatur abhängen und die Belastbarkeit der Struktur bei höheren Temperaturen oder thermischer Wechselbeanspruchung abnimmt, muss häufig die thermische mit der mechanischen Analyse gekoppelt werden. Nur so kann die Situation korrekt abgebildet werden. Auch hierfür eignet sich die multidisziplinäre FEM-Berechnung sehr gut.

Erdbeben berücksichtigen

Menschen erblassen noch heute beim Gedanken an die Nuklearkatastrophe in Fukushima, die 2011 durch ein starkes Erdbeben verursacht wurde. Erdbeben können auch Gebäude und Anlagen zerstören

und zum Einsturz bringen. Auch wenn es nicht immer gleich nukleares Material ist, das austreten kann, können die finanziellen und humanitären Folgen verheerend sein. Um eine Industrieanlage erdbebensicher zu machen, besonders in Lagen mit erhöhtem Erdbebenrisiko, müssen bei der Strukturberechnung zusätzlich seismische Effekte berücksichtigt werden.

In MSC Nastran werden Erdbeben mit der Antwortspektrum-Methode simuliert. Ein Antwortspektrum ist die Reaktion eines Systems von Einmassenschwingern auf eine definierte Schwingungsanregung. Solche Daten stehen aus Aufzeichnungen von früheren Erdbeben zur Verfügung. Mit einem speziellen seismischen Toolkit vereinfacht MSC diese komplizierte Berechnung für den Anwender.

Nastran in der Praxis

Mit Nastran werden häufig Strukturberechnungen im Anlagenbau durchgeführt. Ein Beispiel zeigt die statische Berechnung der Rahmenstruktur einer Kraftwerksanlage. Die dünnwandige Struktur wird als Mittelflächenmodell simuliert, wie es für solche Anlagen üblich ist. So erhält man genauere Ergebnisse bei wesentlich geringerer Elementanzahl. (Bild 1).

Für die Erstellung des Mittelflächenmodells wurde die Software MSC Apex verwendet, die solche Anwendungen im Vergleich zu herkömmlichen CAE-Tools stark beschleunigt. Das Originalmodell besteht aus 400 einzelnen Solids. Die erzeugten Mittelflächen sind daher zunächst noch unverbunden. Zwischen ihnen befindet sich ein Spalt von der Größe jeweils der halben Wandstärke. In einem zweiten Schritt werden all diese Spalte mithilfe der Auto-Extend-Funktion geschlossen und die Mittelflächen dadurch verbunden. Dann wird

das Modell vernetzt. Die Wandstärken werden dem Schalenmodell automatisch zugewiesen. Als Materialdaten für die linear statische Berechnung reichen E-Modul und Querdehnzahl. Die Randbedingungen – eine Drucklast und feste Lagerungen am Boden – werden definiert. Dann wird die Rechnung mit MSC Nastran durchgeführt.

Berechnungsergebnisse

Mit MSC Nastran werden die Verformungen und Von-Mises-Spannungen berechnet. In Bild 2 blau gefärbte Bereiche haben niedrige, unkritische Spannungen. Die kritischen Bereiche mit den höchsten Zug- und Druckspannungen sind dunkelrot. Diese Bereiche sind offensichtlich an den Verbindungsstellen verschiedener Teile, so dass diese genauer betrachtet werden müssen, eventuell mit Detailmodellen. Mit Nastran kann weiterführend eine Lebensdauerberechnung oder Wandstärkenoptimierung durchgeführt werden.

Um mit Apex und Nastran zu einem Berechnungsergebnis für solch eine Berechnung zu kommen, dauert es etwa 6 Stunden – früher war das eine Arbeit von einigen Tagen. Apex reduziert die Zeit für die Geometriaufbereitung, ist leicht zu lernen und macht durch sein modernes Benutzerinterface die Modellerstellung zum Vergnügen. Nastran bietet eine sehr gute Leistung bei großen Modellen. So wundert es nicht, dass CAE-Berechnungen im Anlagenbau immer häufiger eingesetzt werden.

JBI |

Yajie Luan ist Studentin Computational Mechanics an der Technischen Universität München.
Cornelia Thieme ist Technical Support Coordinator bei MSC Software in München.
Syllvett Tsalos verantwortet das Marketing und die Pressearbeit bei MSC Software in München.