

Neue Einsatzgebiete für die Mathematik

FALLSTUDIEN ZUR BEWÄLTIGUNG DER HERAUSFORDERUNGEN BEI BERECHNUNGEN FÜR DAS BAUINGENIEURWESEN

Wie alle anderen Felder der technischen Entwicklung stehen auch Bauingenieure vor einer Vielzahl neuer mathematischer Herausforderungen. Noch nie legte die Gesellschaft so großen Wert auf folgende Merkmale wie heute:

- **Umweltprobleme** – Schutz und Erhaltung natürlicher Ressourcen
- **Nachhaltigkeit** – angesichts des Bevölkerungswachstums und der damit verbundenen Ökobilanz der Menschheit
- **Sozial verträgliche, intelligente Infrastruktur** – da Gesellschaften anspruchsvoller werden und mehr Effizienz und sofortige Ergebnisse fordern

Für Bauingenieure stehen genaue und intelligente Systemmodelle – und die dafür erforderlichen komplexen Berechnungen – im Mittelpunkt der Bewältigung dieser modernen Herausforderungen. Die Notwendigkeit, Infrastrukturen und Versorgungseinrichtungen, Umweltsysteme, Städteplanung und umfangreiche Bauprojekte präzise zu modellieren, war noch nie so groß wie heute – und so schwierig. Ingenieure stehen unter nie gekanntem Druck, auf Anhieb alles richtig zu machen – und das unter dem kritischen Auge der Behörden.

Die Konstruktionsberechnungen zur Bewältigung dieser Probleme sind komplex und schwer zu verwalten. Es reicht nicht mehr aus, diese Berechnungen – das geistige Eigentum des Unternehmens – in Kalkulationstabellen und traditionellen Notizbüchern wegzusperren.

Die gute Nachricht ist, dass sich die Berechnungstechnologie so weit weiterentwickelt hat, dass Ingenieure nun über äußerst effektive Lösungen verfügen – wenn sie denn richtig eingesetzt werden. Konstruktions- und Berechnungssoftware liefert Bauingenieuren die Werkzeuge zur innovativen Bewältigung der dringendsten und komplexesten Probleme der heutigen Zeit.

In diesem Artikel werden moderne Bauprojekte vorgestellt, für die zur Bewältigung dieser neuen Herausforderung komplexe technische Mathematik eingesetzt wurde. Wir lernen Ingenieure kennen, die:

- Nachhaltige Gebäude planen wie den Shanghai Tower, der einer Vielzahl von Umwelteinflüssen und Naturkatastrophen standhalten kann
- Wasserressourcen in Virginia schützen
- Gemeinsam mit dem internationalen Hilfsprogramm der australischen Regierung (AusAID) Infrastrukturen für die alternde Bevölkerung und zunehmende Verstädterung entwickeln



Der Shanghai Tower, hier links ein Bild von der Baustelle, wird bei seiner Fertigstellung im Jahr 2014 mit 662 Metern das zweithöchste Gebäude der Welt sein.

Der Shanghai Tower: Fallstudie zur nachhaltigen Konstruktion

Wirtschaftliche und politische Faktoren zwingen Ingenieure und Konstrukteure dazu, heute Entscheidungen zu treffen, um die Umweltauswirkungen auf zukünftige Generationen möglichst gering zu halten. Die nachhaltige Konstruktion ist besonders für große Bauwerke ungemein wichtig, die Umweltkatastrophen standhalten und zugleich einen möglichst niedrigen Energie- und Materialverbrauch aufweisen sollen.

Mit 662 Metern wird der Shanghai Tower bei seiner Fertigstellung im Jahr 2014 das zweithöchste Gebäude der Welt sein. Peter Weingarten, der Chefkonstrukteur, ist sich bewusst, dass es viele Jahre gedauert hat, bis es Ingenieuren überhaupt gelang, Wolkenkratzer dauerhaft aufrecht zu halten. „Ab 80 Etagen werden Ihnen die meisten Makler sagen, dass sich das Gebäude wirtschaftlich nicht rechnet, weil aufgrund der Seitenlast so viele strukturmechanische Faktoren berücksichtigt werden müssen“, erklärt er in einem Interview mit CleanTechies.

Doch heutzutage sind vertikale Städte wie der Shanghai Tower dank moderner Problemlösungsverfahren und Konstruktionsberechnungssoftware nicht nur möglich, sondern sogar das Zugpferd der nachhaltigen Architektur. Das Bauwerk setzt mit folgenden Merkmalen neue Standards in puncto Nachhaltigkeit:

- Windräder, die pro Jahr bis zu 350.000 kWh Strom erzeugen können
- Ein System zur Regenwasserrückgewinnung
- Eine verdrehte Konstruktion, die den Bedarf an Baustahl um über 20 % reduziert

Weingarten räumt ein, dass eine der größten Schwierigkeiten für sein Team die Windkraft an der Gebäudespitze war. Durch die einzigartige, gekrümmte Form wurde nicht nur dieses Problem gelöst, sondern auch die Stahlkosten konnten um fast ein Viertel gesenkt werden. „Wir können 25 Prozent des Stahlbedarfs einsparen, da wir dem Wind keine große Angriffsfläche bieten“, verrät Weingarten. „Der Wind kann aerodynamisch fließen. So entsteht kein direkter seitlicher Druck. Zusätzlich nutzen wir das aus diagonalen Trägern bestehende Diagrid-System, das einen natürlichen Windfluss ermöglicht statt einen rechtwinkligen wie bei klassischen Entwürfen.“ Traditionell müssen bei der Berechnung von Seitenlast und -kraft die Krümmung

und andere Eigenschaften der aerodynamischen Struktur berücksichtigt werden. Dadurch sind noch umfassendere und komplexere Berechnungen erforderlich.

Zur Bewältigung der Herausforderungen im Bauingenieurwesen sind anspruchsvolle Berechnungen erforderlich

Die Fortschritte bei Berechnungssoftware sorgen für Genauigkeit und mindern Risiken.

HERAUSFORDERUNG

Entwurf nachhaltiger Gebäude, die Umweltfaktoren und Naturkatastrophen standhalten

BERECHNUNGEN ERFORDERLICH

- Seitenlast
- Maximale seitliche Stoßkraft
- Äquivalente statische Analyse
- Antwortspektrumanalyse
- Lineare dynamische Analyse
- Nichtlineare statische Analyse
- Nichtlineare dynamische Analyse

Durchführung von Wassereinzugsgebietsstudien zum Schutz von Wasserressourcen

- Strömungsmechanik und Hydrologie
- Numerische Strömungsmechanik
- Fluid-Struktur-Interaktionen

Untersuchung der Folgen von Bevölkerungswachstum auf Infrastruktur und Ressourcen

- Natürliche Wachstumsrate
- Modellierung des demographischen Übergangs
- Fassungsvermögen

Neben der besonderen, aerodynamischen Formgebung des Shanghai Tower sorgen Ausleger alle 14 Etagen für zusätzliche Stabilität. Die Ausleger funktionieren wie eine Art Schulter, indem sie, wie Weingarten erklärt, die Gebäudebasis verbreitern. Strukturen mit verstärkten Trägersystemen wie Auslegern erfordern in der Regel intensive lineare und nichtlineare statische und dynamische Analysen der Gesamtstruktur und der einzelnen Komponenten. Für die korrekte Berechnung ist ein Konstruktionssoftwarepaket unverzichtbar.

Aufgrund der größeren Stabilität des Gebäudes konnten die Ingenieure zusätzliche Merkmale zur Erhöhung der Nachhaltigkeit umsetzen, beispielsweise eine Doppelbewandung. Laut Dan Winey von Gensler, ist die Doppelbewandung ein „Tribut an die historischen offenen Innenhöfe der Stadt“, hat zugleich aber auch Vorteile für die Umwelt: „Die durchgehende Verglasung lässt die maximale Menge an Tageslicht in die Atrien, sodass kaum künstliche Beleuchtung notwendig ist“, so Winey. „Das Glas ist zusätzlich mit einer speziellen Low-e-Wärmeschutzbeschichtung ausgestattet, die nur bestimmte Wellenlängen durchlässt und dadurch die Wärme- und Kältelast weiter reduziert.“

Weingarten erklärt das so:

„Der Leerraum zwischen der Innenhaut und der eigentlichen Fassade fungiert als Wärmepuffer zwischen dem Gebäude und der Umwelt. Das Gebäude ist, im Gegensatz zu den meisten anderen Wolkenkratzern, also nicht undurchsichtig, sondern hat eine durchsichtige Außenhaut. Die meisten Wolkenkratzer sind deshalb verspiegelt, weil ihre Fenster die Sonneinstrahlung reduzieren sollen.“

Quantifizierung der Ufererosion: Fallstudie zum Schutz von Wasserressourcen

Manche Ingenieure konzentrieren sich auf die Nachhaltigkeit von vom Menschen gemachten Bauwerken, während andere sich bemühen, natürliche Ressourcen wie Wassereinzugsgebiete zu schützen. Wird ein Wassereinzugsgebiet beeinträchtigt, kann dies negative Auswirkungen auf die Trinkwasserversorgung, Naherholungsgebiete und die Nahrungsversorgung haben. Es ist also wichtig, Verschmutzung, Erosion und andere Gefährdungen der weltweiten Süßwasservorkommen auf ein Minimum zu reduzieren.

Am Center for Watershed Studies des Virginia Polytechnic Institute and State University (Virginia Tech) unterstützen Bioingenieure den US-Bundesstaat Virginia mithilfe eines Geoinformationssystems (GIS) dabei, die Berechnung des Sedimentvolumens in Flüssen und Bächen korrekt zu berechnen, um Erosionen zu reduzieren.

Bisher konzentrierte der Bundesstaat seine Bemühungen auf die Reduzierung der Einträge von landwirtschaftlichen Nutzflächen und Bauland. Andere große Sedimentquellen wie die Ufererosion wurden hingegen ignoriert. Aufgrund der Komplexität und von fehlenden physikalischen Algorithmen zur Beschreibung des Prozesses wurde das Ausmaß der Ufererosion signifikant unterschätzt.



Forscher am Center for Watershed Studies des Virginia Polytechnic Institute and State University (Virginia Tech) arbeiten gemeinsam daran, dass die Ufererosion bei Erosionsmodellen genau kalkuliert wird.

Die Wissenschaftler der Virginia Tech arbeiten nun an der Entwicklung neuer Modelle und statistischer Formeln zur genaueren Schätzung der Sedimentbelastung durch Uferabtragungen. Dies erfordert die Untersuchung von Fluid-Struktur-Interaktionen, mathematische Darstellungen von Strömungsmechanik und Hydrologie sowie die Modellierung von numerischer Strömungsmechanik. Die Wissenschaftler beabsichtigen, die Ergebnisse in die langfristige Planung einzubinden, um sicherzustellen, dass die Ufererosion im Erosionsmodell korrekt berechnet wird.

AusAID: Eine Fallstudie zu nachhaltigen Infrastrukturen

Die Lebensqualität in Großstädten hängt vom Zustand und der Nachhaltigkeit der städtischen Infrastrukturen ab. Für eine erfolgreiche Infrastruktur setzen moderne Ingenieure Technologien ein, die zu den so genannten „intelligenten Infrastrukturen“ zählen. Laut OECD (Organisation für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung) ist es an den Bauingenieuren, Folgendes zu untersuchen:

- Entscheidungsmodelle und Automatisierung im Stromsektor, die zur Optimierung der Stromerzeugungskapazität, von Hochspannungsleitungen und des Stromnetzes beitragen können. Verteilungsverluste könnten reduziert, Verbrauchsspitzen besser gedeckt, die Zuverlässigkeit verbessert und die Umwelt besser geschützt werden.
- Intelligente Systemmodellierungsverfahren im Wassersektor, die die Überwachung und Kontrolle des Wasserzyklus in Echtzeit verbessern können. Der virtuelle Wasserzyklus kann auf lokaler oder Verbraucherebene ebenfalls mit Sensoren, eingebetteter Software und künstlicher Intelligenz überwacht werden.
- Integration mehrerer alternativer Wireless-Technologien (AWT) in einer einzelnen Multi-Service-Plattform in Telekommunikationsanlagen, die zu einer deutlich vereinfachten Infrastruktur mit selbstheilenden und selbstorganisierenden Netzen führen können. Eine derartige Integration könnte beispielsweise die Schaffung von integrierten Gesundheitssystemen oder intelligenten Wohnlösungen für Senioren unterstützen.



In Papua-Neuguinea sind Verbesserungen bei der Transportinfrastruktur für die effiziente Verteilung von Waren an die Märkte und die Versorgung von ländlichen und städtischen Gebieten mit Gütern und Dienstleistungen unverzichtbar.

- Intelligente Autobahnnetze und zukunftsweisende Fahrzeugtechnologie für den Straßenverkehr, die enorme Vorteile für das Netzmanagement, die Unfallüberwachung, Fahrerinformationen sowie die Straßen- und Schienenkapazitätsplanung liefern können.

Mathematische Modelle spielen eine zentrale Rolle bei der Erreichung dieser Ziele. Die rechnerische Darstellung grundlegender Faktoren wie die des Fassungsvermögens, des demographischen Übergangs und des natürlichen Wachstums liefert wichtige Puzzleteile zur Fortschrittsüberwachung und Beurteilung der Lücken.

Das internationale Hilfsprogramm der australischen Regierung (AusAID) unterstützt mit Investitionen in Infrastrukturen das Wirtschaftswachstum und soziale Projekte in Nachbarstaaten in Südostasien und im Pazifik. Zunehmend dehnt es seine Bemühungen auch auf Südasiens und die afrikanischen Gebiete südlich der Sahara aus. Das Konzept der Infrastrukturverbesserung, das AusAID verfolgt, ruht auf vier Säulen:

1. Bereitstellung einer nachhaltigen Transportinfrastruktur
2. Förderung des breiteren Zugangs zu grundlegender Trinkwasserversorgung und Kanalisation
3. Schaffung zuverlässiger Energieversorgung und unterstützender Informations- und Kommunikationstechnologien
4. Unterstützung der städtischen Infrastrukturplanung und -entwicklung

Im Rahmen der 2009/2010 genehmigten Economic Infrastructure Initiative finanziert AusAID Infrastrukturmaßnahmen mit hoher Priorität, die die Fähigkeit der Behörden in den Partnerstaaten stärken, auf die schnelle Verstärkung zu reagieren, und die Rahmenbedingungen für eine verstärkte Infrastrukturfinanzierung schaffen. AusAID konzentriert sich aufgrund der zunehmenden Dezentralisierung der Infrastrukturplanung und -bereitstellung in Entwicklungsländern verstärkt auch auf subnationale Regierungen.

In Indonesien unterstützt AusAID ein umfangreiches nationales Straßenbauprogramm. In Papua-Neuguinea hilft die Organisation dabei, Prozesse zur Planung und Bereitstellung von Transportinfrastrukturen zu verbessern. Und im Mekong-Gebiet unterstützt AusAID Infrastrukturprogramme, die die regionale Integration fördern.

Zusammenfassung

Inwieweit es den heutigen Bauingenieuren gelingt, die großen Entwicklungs- und Umweltherausforderungen zu bewältigen, wird enorme Auswirkungen auf zukünftige Generationen haben.

Der Entwurf nachhaltiger Bauwerke, der Schutz der natürlichen Ressourcen und die Erfüllung des Infrastrukturbedarfs sich verändernder Bevölkerungsstrukturen – im Rahmen der für Staaten und Bürger tragfähigen finanziellen Möglichkeiten – erfordern außergewöhnlichen Einsatz und Einfallsreichtum.

Ingenieure werden auch in Zukunft auf den technologischen Fortschritt angewiesen sein, um Herausforderungen heute und in Zukunft bewältigen zu können. Verbesserungen bei Rechenleistung und Konstruktionssoftware werden die Performance erhöhen, und zukunftsweisende Berechnungssoftware wird dazu beitragen, die Genauigkeit zu verbessern und Risiken zu mindern.

HINWEIS: Releasetermine und Funktionsumfänge können nach Ermessen von PTC geändert werden.

© 2012, PTC. Alle Rechte vorbehalten. Die Inhalte dieser Seiten werden ausschließlich zu Informationszwecken bereitgestellt und beinhalten keinerlei Gewährleistung, Verpflichtung, Bedingung oder Angebot seitens PTC. Änderungen der Informationen vorbehalten. PTC, das PTC Logo, PTC Creo Elements/Pro und alle PTC Produktnamen und Logos sind Warenzeichen oder eingetragene Warenzeichen von PTC und/oder Tochterunternehmen in den USA und anderen Ländern. Alle anderen Produkt- oder Firmennamen sind Eigentum ihrer jeweiligen Besitzer. Releasetermine sowie Funktions- oder Leistungsumfang können nach Ermessen von PTC geändert werden.

J0767-MC-Pushing-Envelope-WP-DE-0912

Quellen

Arlein, Jacob (2010). „The Shanghai Tower: The Beginnings of a Green Revolution in China“, leanTechies, 25. März 2010. Abgerufen im März 2012 von: <http://www.matternetwork.com/2010/3/shanghai-tower-beginnings-green-revolution.cfm>

„Developing Strategies for Urban Channel Erosion Quantification in Upland Coastal Zone Streams“, Center for Watershed Studies bei Virginia Tech, 2010. Abgerufen im März 2012 von: http://www.cws.bse.vt.edu/index.php/research/project/developing_strategies_for_urban_channel_erosion_quantification_in_upla

Infrastructure to 2030: Telecom, Land Transport, Water and Electricity, OECD-Veröffentlichung, 2006.

„Sustainable Economic Development: Infrastructure Thematic Strategy“, AusAID, 2011. Abgerufen im Mai 2012 von: <http://www.ausaid.gov.au/aidissues/infrastructure/Pages/home.aspx>

Winey, Dan (2011). „Shanghai Tower: Sustainable Strategies in a Super Tall Building“, GenslerOnCities, 18. Juli 2011. Abgerufen im Mai 2012 von: <http://www.gensleron.com/cities/2011/7/18/shanghai-tower-sustainable-strategies-in-a-super-tall-buildi.html>