

Dossier Mathematik und Technik

Vermutlich war es der Computer, der die Mathematik aus seinem „Dornengestrüpp von Formeln“ (Konrad Knopp) hervorgeholt hat. Dieses Bild mag die Fantasie nicht sehr beflügeln, doch wurde die Mathematik erst durch den Rechner zur „Königsdisziplin“ der Technologie. Sie hilft seither beispielsweise bei der Herstellung funkelnder Edelsteine, indem sie das, was beim Schleifen entfernt wird, minimiert oder legt Babys trockener, indem sie beim Design moderner Windeln mitwirkt. Sie macht Flugzeuge sicherer, Autos sparsamer, Transistoren kleiner, Rußfilter weniger störanfällig, Datenmengen durchschaubarer und Produktionsanlagen effizienter.

„Die Mathematik heute ist eine springlebendige, charmante und äußerst hilfreiche, eine hübsche Prinzessin. Und das ist kein Märchen, sondern gerade in Deutschland Wirklichkeit, denn die angewandten Mathematiker an den deutschen Universitäten und Forschungsinstituten gehören seit langem zur Weltspitze“, sagt Professor Helmut Neunzert, Begründer des Fraunhofer-Instituts für Techno- und Wirtschaftsmathematik ITWM und Pionier der angewandten Mathematik in Deutschland.

Gut verpackt – Mathematik sorgt für eine optimale Behälterfüllung

Wer Kugeln möglichst platzsparend lagern möchte, muss sie nur wie Erbsen in eine Schachtel füllen und daran rütteln – mit guter Näherung bildet sich die dichteste Kugelpackung. Zylinder sind schon widerspenstiger: Selbst flache Münzen liegen lieber wie „Kraut und Rüben“ in der Kiste als in geordneten Schichten. Noch komplizierter wird es bei Kolben, Rohren und anderen Bauteilen, die in der Fertigungsindustrie produziert werden. Da eine optimale Behälterbefüllung bei Transport und Lagerung Geld spart, tüfteln erfahrene Verpackungsplaner mitunter stundenlang, um eine gute Packung von solchen Bauteilen zu finden – meist nach dem Prinzip „Versuch und Irrtum“. Die Ergebnisse sind aber selten so gut wie die aus dem Computer.

Mathematiker konnten eine Software für das optimierte Befüllen von Standardbehältern entwickeln. Neben neuartigen mathematischen Optimierungsalgorithmen verwendet die Software dreidimensionale Modelle der zu packenden Bauteile, so dass der Benutzer der Software auch eine grafische Anleitung für das Packen erhält. Durch die vollständige Berücksichtigung der Bauteilgeometrien lassen sich auch komplexe Teile, wie sie im Fahrzeugbau gelagert und transportiert werden, platzsparend verpacken. Die Software ist dabei auf baugleiche Teile ausgelegt. Das zusammen mit zwei führenden Automobilherstellern entwickelte Programm erzielt verbesserte Packungsdichten von bis zu 20 Prozent – ein Einsparungspotenzial, das sich auf viele Glieder der Logistikkette auswirkt.

Kraftfahrzeug-Filter direkt aus dem Computer – Simulation ersetzt das Experiment

Moderne Automobile enthalten eine Vielzahl von Filtern zur Reinigung von Luft und Flüssigkeiten. Seit Jahrzehnten werden solche Filter auf Basis von Zellulose hergestellt. Doch mit den traditionellen Filtern lassen sich die Anforderungen der modernen Motorentechnik häufig nicht mehr erfüllen. Automobilzulieferer arbeiten daher mit

Hochdruck an der Entwicklung neuer zellulosefreier Filtermedien, die mehr Partikel abscheiden und mehr Schmutz aufnehmen. Um teure und zeitaufwändige Experimente zu vermeiden, arbeiten Forscher an einer Simulationssoftware, mit der sich synthetische Filtermaterialien direkt und interaktiv am Computer entwickeln lassen. Dies verkürzt den Entwicklungszyklus neuer Produkte, was Automobilzulieferern einen Wettbewerbsvorteil bringen kann. Darüber hinaus lässt sich die Produktqualität verbessern und das Materialverhalten beim späteren Einsatz sowie der Lebenszyklus des Filters besser voraussagen.

Mathematik in der hohen Kunst des Chip-Designs

Als Jack Kilby vor 50 Jahren den ersten Mikrochip baute, nahm er zwei Transistoren, verband sie durch Golddrähte und setzte sie auf eine Schicht Germanium, Vorläufer des Siliziums. Mathematik brauchte der Amerikaner hierfür nicht. Heutige Chips gleichen dagegen „futuristischen Großstädten“ mit Millionen Häusern sowie einem Geflecht von Straßen und Brücken im Miniaturformat. Oft sind mehrere Millionen Transistoren auf nur wenigen Millimetern untergebracht. Mathematiker gehören zu den „Stadtplanern“ dieser Mikrowelten. Je dichter und kleiner die integrierten Schaltungen, desto genauer muss deren Aufbau geplant sein – und dies geht heute nur mit Computern und modernster Mathematik. So kooperiert das Institut für diskrete Mathematik in Bonn seit über 20 Jahren mit einem amerikanischen Chiphersteller. Der Direktor des Instituts, Prof. Dr. Dr. h. c. Bernhard Korte, gilt als einer der Pioniere des mathematischen Chip-Designs. Mit der mathematischen Software aus Bonn wurden bereits über 1000 Chips entworfen. Da die rasante Entwicklung in der Chipherstellung das Chip-Design immer komplizierter macht, werden am Institut für diskrete Mathematik permanent neue und raffiniertere Rechenverfahren entwickelt.

Mathematik macht große Daten ganz klein – nicht nur in MP3

Manchmal vermag die Mathematik Revolutionen auszulösen: Seit der Entwicklung des MP3-Formats zur Kompression von Audiodaten am Fraunhofer-Institut für Integrierte Schaltungen IIS in Erlangen ist in der Musikindustrie nichts mehr, wie es einmal war. Spielte ein Walkman mit Audiokassette in den 80er und 90er Jahren bis zu 120 Minuten Musik ab, so fasst die Festplatte eines „iPod“ bis zu 40.000 Songs – Musik für Wochen. Dass auch andere Industrien von mathematischen Verfahren zur Datenkompression profitieren, zeigt eine Software, die speziell für die Automobilindustrie entwickelt wurde: Pro Tag fährt ein virtuelles Modell etwa 100 bis 150 Mal im Rechner gegen die Wand. Da kommen schnell Daten von mehr als 100 Terabytes zusammen. Die Mathematik hilft dabei, solche Datenberge zu verkleinern. Als erster Schritt für die Kompression wird die geometrische Genauigkeit vorgegeben, zum Beispiel 1 Millimeter für Fahrzeugcrashes. Bei diesem „Quantisieren“ nimmt man bewusst einen Datenverlust in Kauf. Alle weiteren Komprimierungsschritte sind verlustfrei, das heißt, die Daten lassen sich wieder 1:1 herstellen. Je nach Anwenderbedarf können sie um den Faktor 10, 7 oder 5 komprimiert werden. Mehrere deutsche Automobilfirmen setzen solche Verfahren ein, um

Speicherplatz zu sparen; die komprimierten Daten lassen sich zudem schneller in Grafiken und Videos darstellen.

Mathematik für mehr Sicherheit – die Simulation der Airbag-Entfaltung

Airbags können bei Unfällen Leben retten. Wenn sie sich aber durch einen Fehlalarm entfalten, können sie auch schlimme Verletzungen verursachen. Daher gibt es strenge Richtlinien für Airbags. Crashtests sind jedoch aufwändig und teuer. Wesentlich effizienter ist die computergestützte Simulation des Entfaltungsvorgangs, gekoppelt mit biomechanischen Modellen, um die Wirkung auf den Menschen zu ermitteln. Bis vor kurzem war der Rechenaufwand für solche Simulationen jedoch unverhältnismäßig hoch. Mathematiker haben daher neue numerische Methoden entwickelt, die die beim Entfalten von Airbags entstehende Strömung hinreichend genau simulieren. Die komplexe Faltungstopologie und die dynamisch stark veränderliche Geometrie von Airbags stellen daher keine unüberwindbaren Hindernisse bei der Berechnung mehr dar.

Schneller Surfen im Internet – dank Mathematik

Schnelles Surfen im Internet, am besten mit Lichtgeschwindigkeit – diese Vision könnte bald schon Wirklichkeit werden. Da sich Licht schneller als Strom ausbreitet, sind sich Experten sicher, dass die Datenautobahnen der Zukunft aus Glasfasern bestehen. Doch zuvor müssen noch einige Hindernisse überwunden werden. Für solche Glasfaserverbindungen benötigt man zum Beispiel Laserbausteine, die Strom- in Lichtsignale umwandeln können. Diese Bausteine sind heute noch die Schwachstelle der optischen Datenübertragung, denn sie sind langsam und halten dadurch die Datenübertragung auf. Forscher am Berliner Heinrich-Hertz-Institut (HHI) der Fraunhofer-Gesellschaft haben hier zusammen mit Mathematikern einen Durchbruch erzielt. Die Mathematiker entwickelten Software zur Simulation neuartiger Laserbausteine, wodurch auf den Bau vieler Prototypen verzichtet werden konnte und in kürzester Zeit einen neuen Laser entwickeln konnte. Eine Patentanmeldung wurde eingereicht. Bald schon soll die Erfindung fester Bestandteil zukünftiger Hochgeschwindigkeitsdatennetze sein.

Verformung nach Plan – Mathematik in der Schweißtechnik

Auch die Schweißtechnik profitiert von der Mathematik. Zwar ist das Schweißen seit über 150 Jahren bekannt und wird fortwährend weiterentwickelt. Das Zusammenfügen von Bauteilen mit Hitze und Druck gehört aber immer noch zu den kritischen Schritten im Fahrzeug- und Maschinenbau. Es lässt sich nicht vermeiden, dass sich die Bauteile beim Schweißen verformen. Ein zu großer Schweißverzug macht die Bauteile unbrauchbar. Hier kommt die Mathematik ins Spiel: Mit ihr lässt sich das Schweißen der Bauteile im Computer simulieren, wodurch die Verformungen bereits vor der Fertigung bekannt sind. Mit dieser Information lassen sich die Bauteile so entwerfen, dass der Schweißverzug möglichst klein bleibt. Dies hält den Ausschuss und die Nacharbeiten gering – und spart



$a = 210 \text{ mm}$

90°

Kosten. Da die Simulation des Schweißens im Produktionsbetrieb schnell gehen muss, benötigt man allerdings auch schnelle Rechenverfahren. Die Schweißnähte eines meterlangen Bauteils sind bereits so komplex, dass traditionelle Verfahren mehrere Jahre Rechenzeit benötigen. In einem Forschungsprojekt konnte die Rechenzeit um einen Faktor von mehr als 1000 auf wenige Minuten reduziert werden. Beteiligt waren neben Unternehmen aus der Fertigungsindustrie und der Softwareentwicklung Wissenschaftler der Universität Bayreuth sowie ein forschungsnaher Dienstleister in Bayreuth. Ein großer Fortschritt, geht es doch beim Bau von Eisenbahnen und Flugzeugen um Großbauteile, die mit meterlangen Schweißnähten verbunden sind.

Mathematik in der Medizintechnik: Optimierung künstlicher Herzklappen durch Simulation von Blutströmungen im Herzen

Wenn es um die Simulation von Blutströmungen im Herzen geht, schlagen auch die Herzen von Mathematikerinnen und Mathematikern höher. Schon allein die Modellierung der Blutgefäße ist eine Herausforderung. Die in der Industrie eingesetzten – kommerziellen – Simulationsprogramme berechnen entweder nur die Strömung von Flüssigkeiten oder die Verformung von Materialien. Doch in unseren Blutbahnen verformt das strömende Blut die Gefäße; Strömung und Verformung müssen gemeinsam berechnet werden. Um diese Wechselwirkung zu berücksichtigen, haben Mathematiker am Fraunhofer-Institut für Algorithmen und Wissenschaftliches Rechnen SCAI Verfahren zur Kopplung von Simulationsprogrammen entwickelt. Dadurch lassen sich die Strömungsvorgänge und die daraus resultierenden Belastungen von Gewebestrukturen gleichzeitig berechnen. Dies hat zu einer deutlichen Verbesserung der Simulationsergebnisse geführt. Patientinnen und Patienten profitieren durch künstliche Herzklappen, die der Wirklichkeit möglichst nahekommen.

Die Rechenverfahren der Mathematiker lassen sich aber auch zur Simulation der Aero-Elastizität im Flugzeugbau, der Aerodynamik von Automobilen und der Vibrationen in Pipelines verwenden.

Ansprechpartner

Kraftfahrzeug-Filter, Airbag-Entfaltung
Prof. Dr. Dieter Prätzels-Wolters
Fraunhofer-Institut für Techno- und Wirtschaftsmathematik ITWM
Tel.: 0631-31600-1001
E-Mail: dieter.praetzel-wolters@itwm.fraunhofer.de
<http://www.itwm.fraunhofer.de/>
<http://www.mathematik.fraunhofer.de>

Behälterfüllung, Datenkompression, Simulation von Blutströmungen
Prof. Dr. Ulrich Trottenberg
Fraunhofer-Institut für Algorithmen und Wissenschaftliches Rechnen SCAI



$a = 210 \text{ mm}$

90°

$b = 297 \text{ mm}$

Tel.: 02241-14-2759
E-Mail: ulrich.trottenberg@scai.fraunhofer.de
<http://www.scai.fraunhofer.de/>
<http://www.mathematik.fraunhofer.de>

Schweißtechnik
Dr.-Ing. Matthias Gebauer
Projektträger Forschungszentrum Karlsruhe
Bereich Produktion und Fertigungstechnologien (PTKA-PFT)
Tel.: 07247-82-5289
E-Mail: matthias.gebauer@ptka.fzk.de
<http://www.produktionsforschung.de>

Chip-Design
Prof. Dr. Dr. h. c. Bernhard Korte
Universität Bonn
Forschungsinstitut für Diskrete Mathematik
Tel.: 0228-738770
E-Mail: dm@or.uni-bonn.de
<http://www.or.uni-bonn.de/>

Neuartige Laser
Prof. Dr. Jürgen Sprekels
Weierstraß-Institut für
Angewandte Analysis und Stochastik
Tel.: 030-203720
E-Mail: sprekels@wias-berlin.de
<http://www.wias-berlin.de/>

Mehr erfahren Sie auch unter: www.jahr-der-mathematik.de

Der Abdruck ist honorarfrei. Ein Belegexemplar wird erbeten.
Für weitere Informationen wenden Sie sich bitte an:

Redaktionsbüro Jahr der Mathematik
Steffi Würzig
Friedrichstr. 78
10117 Berlin
T. 030/70 01 86-797
F. 030/70 01 86-909
wuerzig@jahr-der-mathematik.de
www.jahr-der-mathematik.de

Julia Kranz
Friedrichstr. 78
10117 Berlin
T. 030/70 01 86-741
F. 030/70 01 86-810
kranz@jahr-der-mathematik.de
www.jahr-der-mathematik.de

Wissenschaftsjahr 2008

Mathematik
Alles, was zählt