



Wirtschaftsfaktor Mathematik

Prof. Dr. Günter Leugering

Erlanger Universitätsreden
Nr. 73/2009, 3. Folge

**Friedrich-Alexander-Universität
Erlangen-Nürnberg**



Wirtschaftsfaktor Mathematik

Prof. Dr. Günter Leugering

Festvortrag zum Dies academicus
aus Anlass des 265. Jahrestages der Gründung
der Friedrich-Alexander-Universität
Erlangen-Nürnberg
am 4. November 2008

Inhalt

Wirtschaftsfaktor Mathematik	3
Quellennachweis	20
Zum Autor	21
Bisher erschienene Ausgaben der Universitätsreden	23
Impressum	24

Wirtschaftsfaktor Mathematik

Professor Dr. Günter Leugering

Sehr geehrter Herr Staatsminister,
hohe Festversammlung,

seit der Jahrtausendwende gibt es sie, die „Wissenschaftsjahre“. Zwölf Monate lang stellt das Bundesministerium für Bildung und Forschung in einer Vielzahl von Aktionen eine ausgewählte wissenschaftliche Disziplin in den Mittelpunkt mit dem Ziel, das Profil dieser Fachdisziplin, ihre Gegenstände und Methoden, aber auch deren soziale Relevanz einer breiten Öffentlichkeit nahe zu bringen.

Nach illustren Vorgängern wie der Physik, den Lebenswissenschaften, Geowissenschaften, der Chemie, Technik, Informatik und den Geisteswissenschaften ist nun im aktuellen Kalenderjahr der Mathematik die Ehre der Nominierung zuteil geworden:

2008 ist also das „Wissenschaftsjahr der Mathematik“!



Bild 1: Das Jahr der Mathematik

Während wir uns hier daran erinnern, geht das aktuelle Jahr der Wissenschaft bereits in seine letzte Phase. Und dennoch: „in der Zeit“ und „an der Zeit“ – so mögen Sie, Magnifizenz, vielleicht gedacht haben – es sei an der Zeit, einer guten Tradition an der Universität folgend, auch den lokalen Rahmen des *Dies academicus* an der Universität Erlangen-Nürnberg dafür zu nutzen, dem länderübergreifenden Anliegen einer nachhaltigen Vermittlung der universitär/fachwissenschaftlichen Arbeit mit der außerdisziplinären Öffentlichkeit im wörtlichen Sinne „Raum zu geben“, eine Entscheidung, für die aktuell die Mathematik Ihnen Dank aussprechen möchte.

So steht nun *hic et nunc* ein Mathematiker vor Ihnen, dem die Ehre zuteil wird, die „Sache der Mathematik“ – aus eigener Sicht – Ihnen als Zuhörerschaft innerhalb dieses festlichen Rahmens vermittelnd nahe bringen zu dürfen. Analog zum Anliegen des Wissenschaftsjahres wird sich mein Bemühen darauf richten, ein in Ihnen vielleicht erloschenes Interesse an der Mathematik wieder zu erwecken oder ein „schwächelndes“ zu beleben, damit die inhaltlichen Ausführungen, die sicher keinen Anspruch auf Vollständigkeit erheben, nachvollziehbar werden. Diese fokussieren die *Präsenz* der Mathematik, ihre *außerordentliche Nutzungsbreite* sowie ihre *soziale Bedeutung* im Kontext unserer *aktuellen Lebenswelt*.

Bevor ich mich diesem Kernbereich meiner Rede zuwende, gestatten Sie mir, als Initialisierung zwei bedeutsam erscheinende Änderungen im Verhältnis von Mathematik und Gesellschaft thesenhaft zu umreißen, die schon jetzt signalisieren, dass der Weg der eingeschlagenen Vermittlung Früchte trägt:

- 1.) Die Mathematik ist für die Öffentlichkeit transparenter geworden. Viele Kolleginnen und Kollegen haben, motiviert durch das Wissenschaftsjahr der Mathematik, den Schritt von den vertrauten formelintensiven Fachvorträgen hin zu allgemeinverständlicheren Darstellungen von Mathematik und ihren Möglichkeiten vollzogen. Sie taten dies in dem wachsenden Bewusstsein, dass eine nachhaltige Unterstützung und Förderung mathematischer Forschung durch die Gesellschaft nur im Zuge einer adressatenbezogenen Vermittlung erwartet werden kann.

- 2.) Darüber hinaus bringen die vielseitigen Aktivitäten im Jahr der Mathematik mit großem Engagement eine Entwicklung ans Licht bzw. ins Bewusstsein der Öffentlichkeit, die einige Jahre zuvor bereits durch die Medien antizipiert worden ist: Die *anwendungsorientierte Mathematik* entwickelt sich zu einer *Schlüsseldisziplin* und wird als solche öffentlich wahrgenommen. So wurde im Jahre 2003 die Zukunftsperspektive der Angewandten Mathematik z. B. in der Fachzeitung „Wirtschaftswoche“ nach einer eingehenden Studie wie folgt eingeschätzt: „Die zehn Technologien mit dem größten Zukunftspotenzial sind in dieser Reihenfolge: Medizintechnik, Angewandte Mathematik, Datenverarbeitung, Kunststoffe, Elektrotechnik, Ernährung, Thermodynamik, Materialforschung, Ökologie und Geowissenschaften.“ (Quelle: „Wirtschaftswoche“. November 2003.)

Die hier vorgenommene Hierarchisierung wird vielen im Saal – ausgenommen vielleicht die Mediziner – als überzogen, singulär oder zumindest als nicht objektiv erscheinen. Ich möchte nicht auf dieser zugespitzten Skalierung beharren, aber gleichwohl den Versuch machen, die besondere Relevanz einer anwendungsorientierten Mathematik als *Zukunftstechnologie* herauszustellen.

In seinem sehr schönen und engagierten Dies-Vortrag hat Herr Kollege Geiger im Jahre 2004 die Faszination der Technik in einem breiten Bilderbogen entfaltet. Dabei ging er von einer Definition der Technik aus, die auf Johann Beckmann (1777) zurückgeht, der die Technologie als eine Wissenschaft begreift, die „die Grundsätze und Mittel lehrt, nach welchen und durch welche all diejenigen Naturalien auf die beste Weise dergestalt verarbeitet werden, als es zur Befriedigung menschlicher Bedürfnisse verschiedener Art erforderlich ist“. (in: ders.: Anleitung zur Technologie, zur Kenntnis der Handwerke, Fabriken und Manufakturen (1777).)

Lassen Sie mich eine etwas philosophischere (sofern Sie mir diesen Komparativ gestatten) Begriffsbestimmung von *Technik* hinzufügen, die nach meiner Einschätzung insbesondere der Mathematik als Wissenschaft von Prinzip und Form geradezu auf den Leib geschnitten ist. Sie stammt von Aristoteles: „Die Techne nämlich ist Prinzip und Form dessen, was wird, aber in einem anderen“ (Aristoteles, GAII 1. 735a 2-4).

In jedem Fall lässt sich Mathematik als *Technologie* identifizieren, sofern sie sich als Teil des gesellschaftlichen Entwicklungsprozesses begreift und sich

nicht als genialische Nischendisziplin in die Mauerritzen des Wissenschaftsgebäudes zurückzieht.

Ein Zitat von Morris Kline, einem berühmten Mathematiker, unterstreicht diese Sichtweise auf die Mathematik: „What then is mathematics if it is not a unique rigorous, logical structure? It is a series of great intuitions carefully sifted, and organized by the logic men are willing and able to apply at any time“. (in: ders.: *The Loss of Certainty* 1, p. 312). Eine solche, grundsätzlich Anwendungen in den Blick nehmende Mathematik wird gemacht, sie ist „Techné“. Sie entsteht auf der Grundlage historisch gewachsener sozialer Bedürfnisse und macht sich die jeweils verfügbaren Nachbar Technologien zu Nutze, um die anstehenden Probleme zu lösen.

Hier drängt sich einem die Frage auf: War dies eigentlich schon immer so oder ist es ein Phänomen des technischen Zeitalters?

Ein kurzer Blick zurück bringt Erstaunliches zu Tage: je komplexer die zu bewältigenden Aufgaben im Laufe der historischen Entwicklung wurden und werden, desto größer wurde und wird auch die Notwendigkeit, Mathematik in Zeichen zu gießen, Rechnungen zu dokumentieren, Rechenschritte zu formalisieren, um das gewonnene Know-how weiter zu vermitteln.

Erste Hinweise auf eine solche Dokumentation mathematischer Inhalte zur Anleitung für Rechenverfahren finden sich auf dem so genannten *Ishango-Knochen* (Bild 2).

Dieser Knochen, dessen Alter auf über 25.000 Jahre geschätzt wird, weist systematische Ritzungen auf, die eindeutig Zahlenreihen zuzuordnen sind. Ungeklärt ist augenblicklich lediglich, ob es sich dabei um eine erste intendierte Darstellung von Primzahlen handelt. In jedem Fall handelt es sich hier um ein Instrument, das Rechnungen erleichtern soll, möglicherweise für die Erstellung eines Mondkalenders.

Dieses Prinzip der Verknüpfung sozialer und wirtschaftlicher Bedürfnisse mit mathematischen Denk- und Handlungsstrategien schreibt sich in der Geschichte fort.



		3	
11	6		11
13	4		
	0		21
17	10	2	
57	13		19
	5		
19	7		8
sum =	60	48	60

Bild 2: Der Ishango-Knochen (links das Original, rechts die graphische Darstellung)

In der Antike finden sich Darstellungen von Rechnungen im Kontext wirtschaftlicher Anwendungen, und zwar etwa zeitgleich in Mesopotamien und Ägypten (Bild 3).

Was man heute mit den Begriffen der *Lieferkette* (supply chain), *Logistik-Kette*, *Lagerhaltung* bezeichnet, war im Altertum die Dimensionierung von Speichern und Silos, die Berechnung und der Transport von Warenmengen und Baumaterialien für Großbauwerke wie etwa die Pyramiden. Der Papyrus Rhind (ca. 1800 v. u. Z.) (Bild 3 Mitte und rechts) etwa zeigt eine Sammlung



Bild 3: Darstellung der Arbeit der „Geometer“ (links) und des Papyrus Rhind (Mitte und rechts)

von Rechenaufgaben, die sich mit der Kalibrierung von Speichern befassen. Damals wie heute wurden die Schüler durch ständige (wahrscheinlich auch damals schon als „nervig“ empfundene) Übungen trainiert, um schließlich komplexe Anwendungsfälle zu meistern. Bemerkenswert ist dabei das erstmalige Auftauchen von *Algorithmen*, die Zeile für Zeile auf der Basis von auf Papyrus bzw. Tontafeln archivierten Daten abgearbeitet wurden. Papyrus wie Tontafeln waren zu jener Zeit eine neuartige Technologie, die es gestattete, komplexere numerische Rechnungen zu ermöglichen und zu archivieren. Die Einführung algorithmischen Denkens war also eine Notwendigkeit angesichts der realen Anforderung des immensen Warentransports. Die Begründung der Geometrie war angesichts der Überschwemmungen im Niltal eine eben solche Notwendigkeit, da andernfalls die Grundstücke in ihren Grenzen nicht hätten kenntlich gemacht werden können. Neue Mathematik entsteht also in wechselseitiger Verwiesenheit mit der außermathematischen Realität und wird nicht unabhängig von dieser als idealisch vorhandene Entität vorausgesetzt und „entdeckt“.

Dort, wo die Mathematik – wie z. B. in Ägypten – die Vermittlung nach außen suchte zur Lösung bestehender Probleme, war sie ein entscheidender Wirtschaftsfaktor. In dem Maße, wie sie sich im Zuge einer immer weiter fortschreitenden Abstraktion von ihren eher praxisbezogenen Wurzeln entfernte wie die griechische Mathematik nach ihrer Blütezeit, relativierte sich ihr gesellschaftlicher Einfluss. Ein paralleles Phänomen lässt sich auch in der Renaissance, an der Schwelle zum Humanismus, feststellen. Während in der frühen Renaissance, insbesondere in Florenz erstmalig Mathematikbücher in der Landessprache erschienen (Luca Pacioli 1494: *Summa de arithmetica, geometria*) (Bild 4) und die Mathematik zum ersten Mal in der Geschichte einen eigenen Berufsstand begründete, der sie als *Wirtschaftsfaktor* etablierte, verlor sie mit dem aufkeimenden Humanismus und der damit einhergehenden Rehabilitierung der lateinischen Sprache als Wissenschaftssprache und der antiken abstrakten Mathematik als Paradigma wieder an gesellschaftlicher Bedeutung.



Bild 4: Luca Pacioli (1445-1517) *Summa de arithmetica, geometria, proportioni et proportionalità*

Die Möglichkeit der Nutzung von Tontafeln und Papyrusrollen für eine *algorithmische Bewältigung der Probleme* in Mesopotamien und Ägypten hat heute ihre Parallele in der Nutzung der Hochtechnologie der Rechenanlagen zu *Simulation* und *Optimierung*.

Weder damals noch heute gehen die Erfolgsgeschichten auf die Einzelleistung von Genies zurück, die jedoch sozusagen als „Propheten“ eine wichtige richtungsweisende Rolle einnehmen können; die Erfolge beruhen vielmehr wesentlich auf einer umfassenden Teamarbeit unter Spezialisten und einer Öffnungs- und Dialogbereitschaft in Richtung der Anwender: Ärzte, Ingenieure und Ökonomen.

Welcher Bandbreite von Problemen eine anwendungsorientierte Mathematik sich dabei zu stellen hat und über welches Spektrum von Lösungsstrategien sie zu verfügen im Stande ist, mögen die folgenden Ausführungen schlaglichtartig beleuchten!

Diesen ausgewählten *exemplarischen* Anwendungen liegt eine Struktur der Vernetzung zwischen Objekten oder physikalischen Entitäten zu Grunde, die sich in dem mathematischen Begriff des Graphen widerspiegelt. Graphen sind Gegenstand mathematischer Forschung seit Jahrhunderten, angefangen mit dem „Königsberger Brückenproblem“ von Euler (1736), in dem gefragt wird, ob es eine Rundreise durch Königsberg gäbe, die, an einem Ort startend, jede der sieben Brücken genau einmal überquert und an demselben Ort wieder endet.

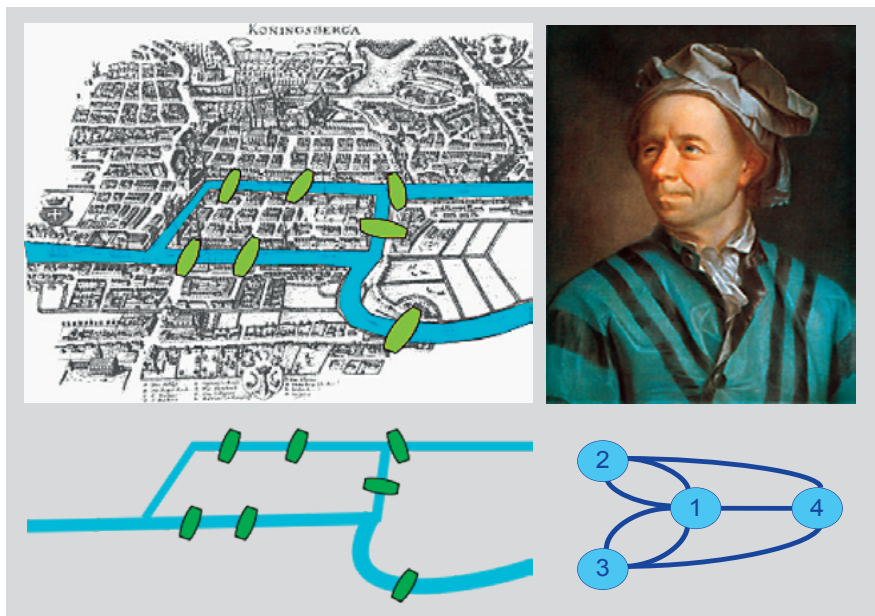


Bild 5: Das Königsberger Brückenproblem von Leonhard Euler (1707-1783) oben und unten seine Umsetzung in ein mathematisches Graphenproblem

Die Formalisierung auf der Abbildung (Bild 5 unten rechts) lässt das Problem klar zu Tage treten: Da jede Brücke (*Kante des Graphen*) genau einmal überquert werden soll, muss jedes Ufer (*Knoten des Graphen*), das über eine

Brücke erreicht wird, über eine andere Brücke wieder verlassen werden, d. h.: Jedes Ufer muss eine gerade Anzahl von Brücken haben. Mit anderen Worten: Jeder Knoten in dem Graphen muss einen geraden *Kantengrad* besitzen. Der gesuchte Rundweg ist also nicht möglich, da jeder Knoten einen ungeraden Kantengrad hat.

Dieses berühmte Brückenproblem wurde zum Ursprung der mathematischen Graphentheorie, die wiederum – im Kontext der modernen Mathematik unter Nutzung moderner Computertechnologien – die Grundlage für die Netzwerkoptimierung ist und heute auch auf Probleme der Liefernetze, Gas-Netzwerke, Wasser- und Verkehrsnetze erfolgreich angewendet wird. Eine mathematisch abstrakte Theorie wird durch moderne Verfahren der Modellierung, Analysis, Simulation und Optimierung (MASSIMO) zum *Wirtschaftsfaktor*.

OPTIMIERUNG IN DER ÖKONOMIE

„Ungezieltes Massenmarketing“ – etwa durch E-Mail-Kampagnen – ruft eine zunehmend geringere Reaktion bei den Kunden hervor. Daher wird in jüngster Zeit ein „individualisiertes Massenmarketing“ (scheinbar ein Euphemismus) empfohlen, das dem „richtigen Kunden“ zur „richtigen Zeit“ zum „richtigen Preis“ das „richtige Angebot“ unterbreitet. Denken Sie etwa an eine Buchbestellung bei Amazon! Wenn Sie Ihre Bestellungen im „Warenkorb“ ablegen, bekommen Sie gleich eine Auswahl anderer Bücher angeboten, die Ihrem Profil, so Sie dort eines entwickelt haben, angeboten werden. Der Kunde wird durch viele verschiedene Kundenmerkmale beschrieben: Alter, Größe, Einkommen etc., die als Parameter in einer Menge großer Dimension variieren. Korrelationen zwischen diesen Parametern zu entdecken, ist ein entscheidender Marktfaktor!

Ein Teilproblem in der Angebotsoptimierung, aber auch in anderen Bereichen wie etwa der Rasterfahndung, ist das Auffinden von Personengruppen in einer Datenbank, wenn eine unter Umständen nur ungefähre Beschreibung der Parameter vorliegt. Je größer die Anzahl der Parameter (also: je höher die Dimension), desto schwieriger ein Datenzugriff: Wenn man alle Daten in der zur Verfügung stehenden Datenbank nach dem Alter, nach

der Größe, nach dem Einkommen etc. der Reihe nach durchsucht, benötigt man zuviel Zeit, um das Vorhaben schnell – oder wie man sagt: *in Echtzeit* – durchzuführen. (Analoge Schwierigkeiten wurden in den 1960er Jahren mit dem Begriff „Fluch der Dimension“ [curse of dimensionality] bezeichnet). Der „Fluch der Dimension“ wird mit modernsten Mitteln der Numerik, namentlich mit raumfüllenden Kurven (Bild 6), bewältigt.

Die Idee dahinter ist vergleichbar mit dem paradigmatischen *Ariadnefaden*, der die scheinbar unüberwindliche Komplexität eines Labyrinthes im Wortsinne des Fadens linearisiert!

Hierzu ein kleiner mathematischer Exkurs: Jeder von Ihnen kennt aus der Schule die Definition einer stetigen Funktion als einer solchen, die man ohne abzusetzen durchzeichnen kann. Solche Funktionen können Knicke enthalten, wie man unschwer etwa bei dem Börsenkurs erkennen kann. Eine typisch mathematische Fragestellung ist es nun, solche Funktionen zu konstruieren, die zwar stetig sind, aber sozusagen überall Knicke haben. In der Tat lassen sich solche Funktionen *rekursiv* definieren. Dies wurde u. a. von W. Sierpinski initiiert (1882-1969).

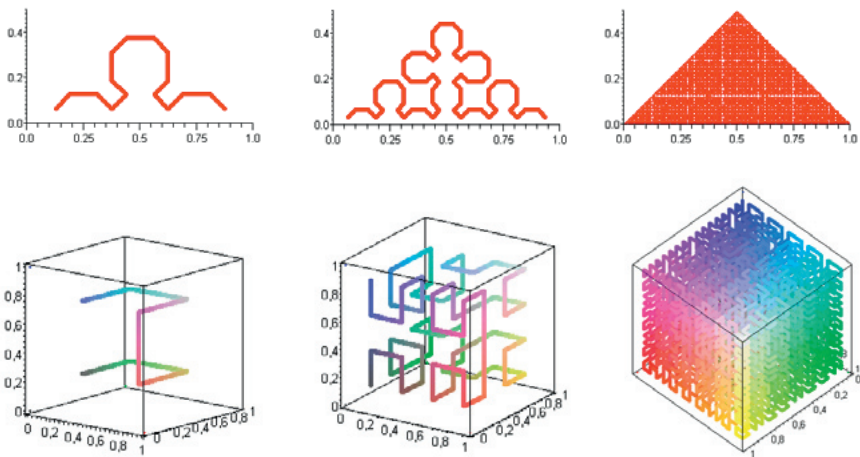


Bild 6: Raumfüllende Kurven

Diese scheinbar vollständig zweckfreie mathematische Fragestellung führt heute zu einer hoch aktuellen Technik, der der „dünnen Gitter“: Man kann mit solchen Kurven auch hochdimensionale Räume ausfüllen und auf diese Weise den „Fluch der Dimension“ durch diesen mathematisierten Ariadnefaden bannen. Im Bereich der Angebotsoptimierung, der E-Mail-Kampagnen kann man im Vergleich zu klassischen Verfahren des ungezielten Massemarketings 20-30% Steigerung in den Kundenreaktionen und mithin im Gewinn erzielen. Anwendungen dieser Technik in der Finanzmathematik sind spektakulär! Mathematik erweist sich als wichtiger Faktor in der Wirtschaft; doch sollte die Mathematik den Aspekt der Verantwortung gegenüber der Gesellschaft nicht ausblenden, um nicht zum Erfüllungsgehilfen von Marktinteressen zu werden. Der unkritische Einsatz moderner Methoden und Verfahren der Simulationstechnologie kann – wie die Finanzkrise belegt – zu katastrophalen Fehlentwicklungen führen, ebenso der ungehemmte Umgang mit personenbezogenen Daten.

Doch nicht nur ökonomisch relevante Fragestellungen fordern die Mathematik zu Höchstleistungen heraus. Aus vielen hoch aktuellen natur- und ingenieurwissenschaftlichen Anwendungskontexten sind heute modernste mathematische Methoden nicht mehr weg zu denken.

Das Potential der Mathematik liegt dabei nicht immer in einer Nähe zum Produkt, d.h. in einer unmittelbaren quantitativen Nutzenfunktion, die natürlich in der Regel gewünscht wird, sondern in ihrer qualitativen strukturerfassenden und damit produktübergreifenden Funktion. Lassen Sie mich dies im Folgenden näher erläutern!

Beginnen wir in den Materialwissenschaften und der Partikeltechnologie: „Strukturbildung“ und deren aktive zielorientierte Beeinflussung zur Herstellung funktionaler Werkstoffe ist zentraler Gegenstand in dem von der DFG geförderten Exzellenzcluster: *Engineering of Advanced Materials: Hierarchical Structure Formation of Functional Devices* an der Universität Erlangen-Nürnberg. Die damit assoziierten Begriffe „Neue Materialien“, „Metamaterialien“, „Materialschäume“ haben mittlerweile Einzug in den Sprachgebrauch auch populärwissenschaftlicher Veröffentlichungen gefunden und gehören zum festen Wortschatz der Zukunftstechnologen. Man fragt sich etwa: Wel-

che Form müssen Nano-Teilchen haben, um einen Lack mit besonderer Brillanz abzugeben? Oder: Wie muss ein Materialschaum in seiner zellulären Struktur aufgebaut sein, um in bestimmter Weise möglichst belastbar zu sein?

Hier liegt eine kontextübergreifende Katalysatorfunktion der Mathematik. Basierend auf den dramatisch zunehmenden Möglichkeiten moderner Computertechnologie, gepaart mit einer ebenso rasanten Entwicklung moderner mathematischer Analysis und Simulationstechnologie, ist es nunmehr möglich, *systematisch und mathematisch gesichert* den Schritt *von der Funktion zur Struktur*, von den gewünschten Eigenschaften zu den Parametern des Modells zu gehen. Dieser neue Weg des „reverse engineering“, im Sprachgebrauch der Ingenieure oft auch einfach „inverse Optimierung“ genannt, wird in der Mathematischen Optimierung mit großem Erfolg beschriftet.

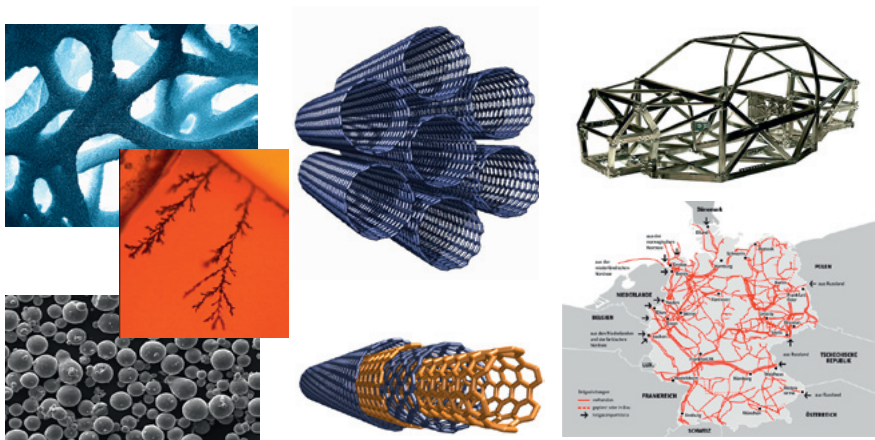


Bild 7: Netzwerkstrukturen: von Nano-Partikeln, Nano-Röhrchen zu Rahmen und Infrastrukturen

Derselbe Gedanke des „reverse engineering“ führt uns auf einer anderen Größenskala zu dem Großraumflugzeug Airbus 380: Schon in der Vorplanung war die Notwendigkeit einer signifikanten Gewichtseinsparung gegenüber bekannten Entwurfsmethoden klar, frei nach dem Satz des bekannten

Architekten und Ingenieure Robert Le Ricolais (1894-1977): „The art of structure is where to put the holes“.

Das Problem der Gewichtsreduktion wurde mit Blick auf eine Rippe im Tragflügel des Airbus 380 in Zusammenarbeit von Erlanger Mathematikern mit der EADS auf spektakuläre Weise gelöst: über 33 % des Gewichtes konnten eingespart werden! Mathematik fliegt mit! (Bild 8)

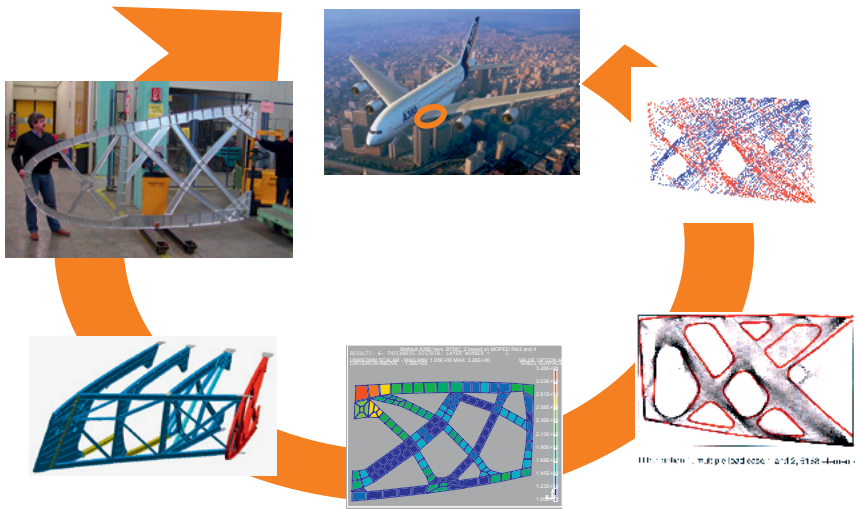


Bild 8: Von der Optimierung zum Produkt

Der Erfolg wurde zum Programm: Es fanden sich mehrere Forschergruppen aus Industrie und Academia im europäischen Raum zu einem von der EU geförderten Forschungsverbund (PLATO-N: www.plato-n.org) zusammen, welcher das Potential der Material- und Topologieoptimierung von der Grundlagenforschung zur Industriereife ausschöpft. Die Mathematik an der Universität Erlangen-Nürnberg hat hier einen wichtigen *Knoten*.

Machen wir nun einen großen Sprung in die Welt der Logistiker: Die Versorgung mit Wasser, Strom und Gas ist ein Problem der zukünftigen Gesellschaft von schicksalhafter Bedeutung. Erhalt und Ausbau von Verkehrs- und Kommunikationsnetzwerken werden die Mobilität künftiger Generationen bestimmen. Kurz: Die Funktionalität von Infrastrukturen rückt mehr und mehr in den Mittelpunkt!

Man versucht nun mit mathematischen Methoden der *Echtzeitsteuerungen*, Prozesse in Infrastrukturen zu automatisieren; erste Erfolge auch auf Seiten Erlanger Mathematiker liegen vor.

Lassen Sie mich schließlich einen recht gewagten Sprung in den Bereich der Medizin, genauer gesagt, in den der medizinischen Bildverarbeitung tun – auf die Gefahr hin, dass Sie beginnen, sich zu fragen, was *das* für eine Erkenntnis sein kann, die in all diesen Bereichen gleichermaßen hilfreich sein soll.

Die Analyse und digitale Verarbeitung medizinischer Bilddaten ist ein besonders aktives wissenschaftliches Forschungsgebiet, das die Medizin, die Informatik und die Mathematik zu Höchstleistungen herausfordert. Insbesondere in der operativen Praxis werden online Bildanalysen benötigt, die den Patienten möglichst wenig belasten und gleichzeitig eine hohe Qualität besitzen sollen. Dabei sind Aufnahmen vor und während der Operation miteinander in Beziehung zu setzen, so dass der Operateur z. B. vorausberechnet bekommt, wohin ein Gefäß sich durch den Eingriff verlagern wird. Hierzu werden Bilder unterschiedlicher Funktionalität und Qualität zur Verfügung gestellt.

Ein Bild wird durch die Verteilung der Graustufen bzw. der Farbwerte digital dargestellt, d.h., jedem Pixel wird eine Zahl zugeordnet oder, anders gewendet: Bilder können wie Funktionen behandelt werden, so dass die mathematische Aufgabe darin besteht, zwei Funktionen optimal ineinander so zu überführen, dass im Sinne eines vernünftigen Abstandsbegriffs für solche Funktionen (Bild 9) der Fehler klein wird. Ein neuartiger Ansatz für diese Problematik führt zurück auf ein klassisches Problem, das von Gaspar Monge (1746-1818) im Jahre 1782 aufgestellt wurde und das trotz vieler Preisgelder

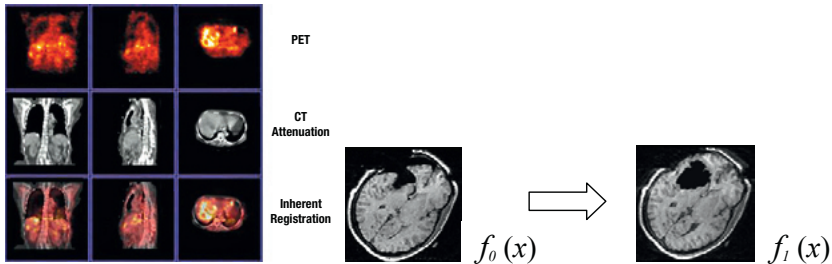


Bild 9: Bildregistrierung: Bilder verschiedener Modalität oder Gestalt sollen ineinander abgebildet werden

erst im Jahre 1996 vollständig gelöst werden konnte. Das Problem besteht darin, etwa einen Haufen Steine von einem Ort zu einem anderen Ort so zu transportieren, dass die Arbeit für den Transport minimal ist. Diese elementar scheinende Frage begründet ein tief liegendes mathematisches Problem, dessen Lösung eine Fülle interessanter Transfers erlaubt – von der Bildverarbeitung bis zur Optimierung von Fluchtplänen!

Wen wundert, wenn der „bon sens“ hier mit Skepsis reagiert! Aber hinter all diesen Anwendungen liegen *gemeinsame mathematische Strukturen*:

1. Es gibt *gemeinsame geometrische Strukturen*: der zelluläre Aufbau biomorpher Materialien (z. B. Knochen), Ader- oder Nervensysteme, Schäume (Metall oder Keramik), die gittermastartigen Strukturen im Fahrzeugbau, Flugzeugbau und schließlich die Netzwerke in den Infrastrukturen – alles Graphen!
2. Es gibt *gemeinsame physikalische oder biologische Beschreibungsebenen*: elastisches Material, strömende Flüssigkeiten (inklusive Verkehr!) – alles durch so genannte partielle Differentialgleichungen zu beschreiben!
3. Es gibt *gemeinsame Fragen*: die gewünschten Eigenschaften (Festigkeit, Durchflussraten) oder Ziele (optimaler Abgleich zwischen Bildern, Betriebskosten) sind Funktionen von Systemparametern (Materialklassen, Dicke, Form, Topologie) – alles Optimierung!

Die Reihe der Erfolgsgeschichten ist lang. Zum Teil sind sie in einem Band der ACATECH dokumentiert, der noch in diesem Jahr anlässlich des „Jahres der Mathematik“ erscheinen wird. Er wird am 10.11.08 in Berlin in einem Symposium vorgestellt werden.

Ziehen wir ein Fazit: Die Mathematik gewinnt abstrahierend Struktureinsichten. Der „Schritt zurück“ aus der Unmittelbarkeit ermöglicht den produktübergreifenden struktur-orientierten Blick, der das Fenster in Richtung anderer Technologien öffnet. *Technologietransfer* ist in diesem Sinne eine *genuin mathematische Angelegenheit*.

Die Mathematik ist jedoch darüber hinaus auch in der *quantitativen Simulation* – also in einem Schritt auf den konkreten Anwendungskontext hin – *Katalysator* für neue Technologien. In dieser *polyvalenten Funktion* wirkt sie „hinter den Kulissen“, schreibt sie am Drehbuch für die Technologie der Zukunft mit.

Mathematische Resultate und Methoden können dabei in einem „Dornröschenschlaf“ begriffen sein, bis sie sozusagen zur rechten Zeit für eine Anwendung im Sinne von Morris Kline „wachgeküsst“ werden.

Mathematische Forschung wird aber auch umgekehrt durch Anwendungen initialisiert. Nur in dieser *dualen Identität als extern und als intern motivierte Wissenschaft* kann die Mathematik für die Gesellschaft fruchtbar werden.

Ich habe versucht, Ihnen weitestgehend ohne Formeln einen Eindruck von der Bedeutung der Mathematik als Technologie in Wirtschaft und Technik zu vermitteln. Die Bilder, die ich Ihnen präsentiert habe, um mein Ansinnen zu unterstützen, entstammen nicht der Mathematik, sondern den Anwendungskontexten. Der Mediziner zeigt Bilder einer erfolgreichen Behandlung, der Ingenieur die Tragfläche, der Ökonom Bilanzen des Erfolgs; der Mathematiker verbirgt vor den Augen der Öffentlichkeit schamvoll seine Formeln, die nur *mittelbar sichtbar werden, aber unmittelbar wirksam* sind. Kehren wir zurück zum Satz des Aristoteles: Die Mathematik ist „Techne als Prinzip und Form dessen, was wird, aber in einem anderen“.

Zum *Wirtschaftsfaktor* wird Mathematik als Katalysator, als Auslöser und Determinante von Prozessen, die „der planvollen Deckung des menschlichen Bedarfs dienen“. (Wikipedia-Eintrag zum Begriff „Wirtschaft“); was aber „menschlicher Bedarf“ und mit Blick auf diesen „planvolles Handeln“ meint, also, die implizit gesetzte sozial-ethische Verpflichtung, kann nicht aus der Binnensphäre der Mathematik geklärt werden. Hierzu bedarf es konstitutiv eines Dialoges mit den anderen Wissenschaften, den Natur-, Geistes- und Sozialwissenschaften.

Ich danke Ihnen für Ihre Aufmerksamkeit!

Quellennachweis

Bild 1: <http://www.jahr-der-mathematik.de>

Bild 2: <http://www.math.buffalo.edu/mad/Ancient-Africa/ishango.html>,
http://www.simonsingh.net/The_Ishango_Bone.html

Bild 3: <http://home.fonline.de/fo0126/geschichte/ges2.htm>,
http://de.wikipedia.org/wiki/Papyrus_Rhind

Bild 4: <http://www.georgehart.com/virtual-polyhedra/pacioli.html>,
<http://www.ethbib.ethz.ch/exhibit/fibonacci/fibonacci-01-Pacioli.html>

Bild 5: Wikipedia, eigene Graphik

Bild 6: Eigene Graphik, erstellt mit einem Maple-Worksheet von S. Guenther

Bild 7: Links: EAM, www.eam.uni-erlangen.de, rechts: Ruhr-Gas

Bild 8: EADS

Bild 9: SFB 603, Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg

Zum Autor



Prof. Dr. Günter Leugering

Günter Leugering, 1953 in Mannheim geboren, studierte Mathematik mit Nebenfach Physik an der Johann Wolfgang Goethe-Universität in Frankfurt am Main. Die Promotion im Fachgebiet Mathematik erfolgte 1984 an der TU Darmstadt, wo er sich auch 1988 mit einer Arbeit zur Steuerung von Volterra-Integrodifferentialgleichungen habilitierte.

Im Jahre 1988 war Herr Leugering als Gastprofessor an der University of Wisconsin Madison und dann im Jahre 1989 an dem Virginia Polytechnic Institute and State University tätig. Er erhielt einen Ruf auf eine Assistenzprofessur (tenure-track) an der Georgetown University in Washington DC und zeitgleich ein Heisenbergstipendium der DFG, das er in Washington bis 1992 zu Forschungsarbeiten in der Steuerungstheorie für partielle Differentialgleichungen nutzte.

Im Jahre 1992 erfolgte ein Ruf auf eine Fiebigger-Professur an die Universität Bayreuth und dann 1999 ein Ruf an die TU-Darmstadt auf einen Lehrstuhl für Angewandte Mathematik. Nach einem Gastaufenthalt am Institut Henri Poincaré in Paris erging im Jahre 2003 der Ruf an die Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg, wo Herr Leugering seitdem den Lehrstuhl Angewandte Mathematik II innehat.

Herr Leugering ist Koordinator eines DFG-Schwerpunktprogramms „Optimierung mit Partiellen Differentialgleichungen“ sowie eines internationalen Doktorandenkollegs im Elitenetzwerk Bayern (ENB) „Identification, Control and Optimization with Applications in Modern Technologies“. Er leitet das

Zentrum für Multiskalenmodellierung und Simulation im Exzellenzcluster „Engineering of Advanced Materials – Hierarchical Structure Formation for Functional Devices“. Herr Leugering ist Mitglied im Advisory Board für das „Minerva Center for Optimization“ in Haifa sowie im Beirat des Forschungszentrums „Dynamische Systeme in Biomedizin und Prozesstechnik“ an der Universität Magdeburg. Neben seinen verschiedenen Tätigkeiten in der wissenschaftlichen Administration ist Herr Leugering u. a. Mitherausgeber des *SIAM Journal of Control and Optimization* den *Mitteilungen der Deutschen Mathematikervereinigung* und der Birkhäuser-Buchreihe *International Series of Numerical Mathematics*.

Die Schwerpunkte seines Forschungsinteresses liegen auf Modellierung, Analysis, Simulation und Optimierung multiskaliger, komplexer, vernetzter Strukturen, wie etwa Gas-, Wasser- und Verkehrsnetze und mechanische Mikrostrukturen. Darüber hinaus arbeitet er auf Gebieten der medizinischen Bildverarbeitung, der menschlichen Stimmgebung, in der Optimierung biomorpher Strukturen und in anderen interdisziplinären Projekten.

Bisher erschienene Folgen und Ausgaben der Erlanger Universitätsreden

Die Erlanger Universitätsreden erschienen in einer ersten Folge von Nr. 1/1918 - Nr. 27/1941, in einer zweiten Folge von Nr. 1/1957 - Nr. 17/1972. Dies ist die 3. Folge.

Nr. 56/1998

Prof. Dr. Alfred Wendehorst
Aus der Geschichte der
Friedrich-Alexander-Universität

Nr. 57/1998

Prof. Dr. Franz Streng
Das „broken windows“-Paradigma -
Kriminologische Anmerkungen zu einem
neuen Präventionsansatz

Nr. 58/1999

Dies academicus 1999
Rede des Rektors Prof. Dr. Gotthard Jasper
Festvortrag von Prof. Dr. Gerhard Emig
„Katalyse - Schlüssel zum Erfolg in der Techni-
schen Chemie“

Nr. 59/2000

Prof. Dr. Karl Möseneder
Deutschland nach dem Dreißigjährigen Krieg:
„Kunst hat ihren Namen von Können“

Nr. 60/2000

Dies academicus 2000
Rede des Rektors Prof. Dr. Gotthard Jasper
Festvortrag von Prof. Dr. Peter Horst Neumann
Jean Paul nach 200 Jahren - zur Aktualität
historischer Texte

Nr. 61/2001

Festreden zum zehnjährigen Bestehen des
Fakultäten-Clubs der Universität Erlangen-Nürnberg

Nr. 62/2002

Rektorenwechsel
Reden und Ansprachen

Nr. 63/2003

Prof. Dr. Gottfried O.H. Naumann
Augenheilkunde heute - auch eine Art Abschieds-
vorlesung

Nr. 64/2004

Prof. Dr. Andrea Abele-Brehm
100 Jahre akademische Frauenbildung in Bayern
und Erlangen - Rückblick und Perspektiven

Nr. 65/2004

Ich übergebe der Flamme ...
Reden zur Gedenkwoche der Bücherverbrennung

Nr. Nr. 66/2005

Dies academicus 2004
Prof. Manfred Geiger
Dr. Oliver Kreis
Ingrid Gaus
„Technik - die prägende geistige Errungenschaft
unserer Zeit“

Nr. 67/2005

Eröffnung des Franz-Penzoldt-Zentrums

Nr. 68/2006

Dies academicus 2005
Festvortrag von Prof. Dr. Wolfgang Gerke
„Kapitalmarkt ohne Moral?“

Nr. 69/2007

Emmy-Noether-Vorlesung 2007
Prof. Dr. Christine Lubkoll
„Fragmente einer Sprache der Liebe“
Sprachutopie und Diskurskritik in
Ingeborg Bachmanns Roman „Malina“

Nr. 70/2007

Prof. Dr. Gregor Schöllgen
„Die Dienstleister. Von den Aufgaben der Geistes-
wissenschaftler in der modernen Welt.“

Nr. 71/2008

Prof. Knut Radbruch
„Emmy Noether: Mathematikerin mit hellem Blick
in dunkler Zeit“

Nr. 72/2008

Prof. Jens Kullenkampff
„Ob Materie denken könne“
Wilhelmine von Bayreuth und die Aufklärung“

Impressum

Herausgeber:

Der Rektor der Friedrich-Alexander-Universität
Erlangen-Nürnberg,
Schlossplatz 4, 91054 Erlangen

Redaktion und Gestaltung:

Kommunikation und Presse

Ute Missel

Tel.: 09131/85 -24036

Fax: 09131/85 -24806

E-Mail: presse@zuv.uni-erlangen.de

Internet: www.uni-erlangen.de

Satz:

cybeck publishing, Sebastian Beck
Erlangen

Druck und Verarbeitung:

Druckhaus Mayer
Erlangen

Die Veröffentlichung des Textes oder einzelner Teile
daraus ist nur mit Genehmigung des Herausgebers
bzw. des Autors gestattet.

ISSN 0423-345 X