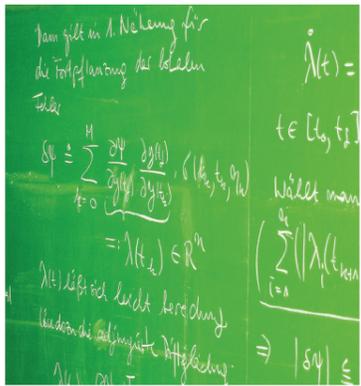


## Formeln für alle Fälle – Forschung am IWR

Nicht erst seit in der TV-Serie „Numb3rs“ Kriminalfälle mit Formeln gelöst werden weiß man, dass die Mathematik zur Klärung der unterschiedlichsten Fragen beitragen kann. Waren es anfangs nur die „klassischen“ Disziplinen wie Biologie, Chemie, Physik, ist mittlerweile am Interdisziplinären Zentrum für Wissenschaftliches Rechnen (IWR) der Brückenschlag selbst zu Bereichen wie Medizin, Wirtschafts-, Sozial- aber auch Geisteswissenschaften gelungen.



Wunderbare Welt der Zahlen – mit Formeln und Gleichungen der Lösung auf der Spur.

In den frühen Anfängen des Wissenschaftlichen Rechnens stellte die hier angestrebte interdisziplinäre mathematische Zusammenarbeit ein völlig neues und visionäres

Konzept dar. Diese spannende Aufbauphase wurde vom IWR-Gründer Professor Willi Jäger 1987 initiiert.

Inzwischen haben die Methoden des Scientific Computing ihre Bedeutung als Schlüsseltechnologie zur Lösung komplexer Probleme in vielen wissenschaftlich-technischen Bereichen eindrucksvoll unter Beweis gestellt. Bis heute zieht sich die Suche nach innovativen Anwendungen als roter Faden durch die Geschichte unserer Einrichtung. Der heutige Geschäftsführende Direktor des IWR, Professor Hans Georg Bock, leitet die Einrichtung in einer Zeit, die aufgrund des enormen Zukunftspotentials dieser Disziplin nicht minder spannend ist als die Gründungsphase. Und die Grenzen sind längst noch nicht erreicht!

Dass das Konzept ein voller Erfolg ist, zeigen auch die Mitarbeiterzahlen – von anfangs einem guten Dutzend ist das IWR zu einer Einrichtung mit rund 600 Mitarbeitern herangewachsen. Das mittlerweile zum größten deutschen Zentrum für Bildverarbeitung avancierte Heidelberg Collaboratory for Image Processing (HCI) musste aus Platzmangel bereits ausgelagert werden.

Die Ausbildung des wissenschaftlichen Nachwuchses be-

sitzt am IWR einen hohen Stellenwert. Im Rahmen der bundesweiten Exzellenzinitiative wurden diese Bemühungen mit der Fördersumme von 1,2 Millionen Euro honoriert. Damit konnte das IWR die Heidelberg Graduate School of Mathematical and Computational Methods for the Sciences (HGS MathComp) ins Leben rufen, in der mittlerweile 140 Doktoranden aus aller Welt lernen und forschen.

Soviel zu unserem Werdegang – aber was genau machen wir nun am IWR?

Wie eingangs erwähnt, schaffen wir Werkzeuge, mit deren Hilfe komplexe Fragestellungen aus unterschiedlichsten Bereichen der Wissenschaft gelöst werden können. Dazu muss zuerst ein Modell dieser Fragestellung erarbeitet, d.h. es muss in eine mathematische Gleichung umgesetzt werden. Mithilfe numerischer Methoden können dann Abläufe berechnet, modelliert, simuliert und optimiert werden. Dieses Vorgehen wird heute – neben den „Klassikern“ Experiment und Theorie – als dritter methodischer Ansatz angesehen.

Unser wichtigstes Handwerkzeug dabei sind Algorithmen, die wir je nach Problemstellung

individuell generieren. Hinter diesem für den Laien eher geheimnisumwitterten Begriff verbergen sich, vereinfacht gesagt, wiederkehrende Handlungsanweisungen, vergleichbar mit einem Kochrezept. Ihre Komplexität steht,



Gescannte und digitalisierte Vergangenheit in 3D – Mathematik eröffnet neue Perspektiven für alte Schriften.

um bei diesem Vergleich zu bleiben, in Relation zum Schwierigkeitsgrad des geplanten Menüs.

Die Anwendungsbereiche sind breit gefächert – auch wenn die Kriminalistik im IWR nicht dazugehört: Sie reichen von energie-minimalem Fahren über virtuelle Rekonstruktion von Tempeln im

Weltkulturerbe Angkor Wat, Entziffern von Keilschriften, Entstehung und Verlauf von Infarkten, Klimaforschung bis hin zur Analyse der Preisdynamik von Rohstoffen, um nur einige Gebiete zu nennen.

Aber natürlich geht es in der Zukunft nicht nur um weitere Anwendungen auf neuen For-

schungsgebieten.

Auch die Methoden selbst müssen ständig verbessert werden, um den stetig wachsenden Anforderungen und enormen Datenmengen zu entsprechen. Viele weitere faszinierende Entwicklungen warten also auf uns – wir sind gespannt und bereit!

Prof. Dr. Dr. h.c. Georg Bock,  
Gabriela Schocke

## Mathematik allerorten oder: Die verborgene Schönheit der Welt

Sie ist ein Werkzeug, die Welt zu begreifen und besteht doch aus abstrakten Strukturen. Sie ist allgegenwärtig und wird kaum wahrgenommen. Sie wird geliebt und gehasst. Mathematik, in Schulzeiten bei vielen als „Albtraum-Fach“ verschrien, entpuppt sich der repräsentativen Studie „Rechnen in Deutschland“ zufolge als beliebtestes Schulfach. In Sachen Mathematik scheint es schwer, auf einen gemeinsamen Nenner zu kommen.

Ihre Geschichte reicht Jahrtausende zurück. Sie ist eine kulturelle Erfolgsstory mit Ursprüngen in Mesopotamien, Indien und China. Im antiken Griechenland wird die Mathematik dank Pythagoras und Platon als beweisende Wissenschaft zum Vorbild aller Wissenschaften. Durch Leibniz und Newton erhält sie dann im späten 17. Jahrhundert eine neue Entfaltungsdynamik und ihre moderne Gestalt. Keine Hochkultur, keine differenzierte Gesellschaftsform, die nicht den Wert und den Nutzen der Mathematik für sich entdeckt hätte. Heute gibt es weltweit mehr Mathematiker als je zuvor – und einige jahrhundertalte mathematische Problemstellungen wurden erst jüngst gelöst.

Trotzdem verschwindet die Mathematik nach der Schulzeit weitestgehend aus dem alltäglichen Bewusstsein. Dabei sind wir umgeben von Mathematik: Wir leben in einer mathematischen Welt, den-



Eiskristalle zeigen oft strenge geometrische Muster.

ken und handeln mathematisch, ohne uns dessen überhaupt bewusst zu sein. Welcher Anwender macht sich schon Gedanken darüber, wie sein Navigationssystem im Auto funktioniert, so lange es zum Ziel führt? Doch wie ein verborgenes Uhrwerk bestimmt Mathematik un-

seren technisierten Alltag. „Hochtechnologie ist im Wesentlichen mathematische Technologie“, so konstatiert eine Enquete-Kommission der Amerikanischen Akademie der Wissenschaften. Sie ist eben nur gut versteckt – und das hat Methode. Mathematiker verpacken eine Vielzahl einzelner Rechenschritte in komplexe Algorithmen, die dann durch simplen „Knopfdruck“ starten. Mathematik erscheint uns als eine Blackbox und ihre wissenschaftlichen Fertigprodukte können vom Endverbraucher alltagstauglich konsumiert werden.

Dabei blickt fast jede Technologie auf eine lange mathematische Tradition zurück. Die akustische Qualität von Telefon, MP3 und DVD verdanken wir beispielsweise einer Erkenntnis, die vor 400 Jahren von dem Mathematiker und Astronomen Johannes Kepler als „Vermutung über die Kugelpackung“ publiziert wurde. Ihr zufolge ist die Anzahl gleichgroßer Kugeln in einem imaginären Behälter dann am größten, wenn die Kugeln in bestimmten Gittermustern angeordnet sind. Eine solche Anordnung kommt in der Natur z.B. im hexagonalen Molekülaufbau

von Eiskristallen vor, Äpfel auf dem Markt werden nach diesem Prinzip optimal gestapelt, und sie stellt eine Basis für die Codierungstheorie dar, mit der wir heute akustische und optische Signale digital komprimieren.



Auch Organismen wachsen gemäß mathematischer Prinzipien: Längsschnitt durch einen Nautilus.

Aber auch in unserem „analogen“ Alltag steckt ungeahnt viel Mathematik. Die ausgeklügelten Routen, auf denen sich beispielsweise Müllabfuhr und Postboten durch die Stadt bewegen, erfahren eine mathematische Optimierung, die auf das „Königsberger Brückenproblem“ aus dem Jahr 1736 zurückgeht. Damals setzte sich Leonhard Euler damit auseinander, ob es einen Weg über die sieben Brücken gibt, ohne zweimal dieselbe Brücke passieren zu müssen. Mit

seinem Lösungsansatz legte er den Grundstein für die Graphentheorie, die heute nicht nur bei der Routenplanung, sondern auch in der Informatik oder beim Aufstellen von Mobilfunkmasten zum Einsatz kommt.

Ob EC-Karte oder Einparkhilfe, Stau prognose oder Strichcode – die Mathematik dahinter macht es möglich. In Dezibel, pH-Werten oder der Richterskala, Logarithmen lauern überall, ihr Abbild ist in der Natur zu finden. So bilden etwa die Anordnung der Kerne auf einer Sonnenblume, das Wachstum von Schneckenhäusern oder die Schalen von Perlbooten (Nautiliden) Beispiele logarithmischer Spiralen. Schon Galilei fiel auf: „Die Natur spricht die Sprache der Mathematik: Die Buchstaben dieser Sprache sind Dreiecke, Kreise und andere mathematische Figuren.“ Diese Sprache spricht sie auch heute noch – hören Sie im Alltag einfach einmal genauer hin!

Dr. Johannes Schnurr,  
Kirsten Kieninger

## Ich sehe was, was Du nicht siehst! Vom Visualisieren verwitterter Inschriften bis zur Darstellung fraktaler Dimensionen

„Der hohe Grad an Abstraktion in der Mathematik übt gemeinsam mit dem Erkennen von Strukturen eine große Faszination auf mich aus“, sagt Dr. Susanne Krömker, Leiterin der Arbeitsgruppe „Visualisierung und Numerische Geometrie“ am IWR. Die Mathematikerin setzt Methoden der Computervisualisierung ein, um Fragestellungen ganz unterschiedlicher Fachwissenschaften zu beantworten. Das Spektrum reicht dabei von der Strömungsvisualisierung bis hin zur Darstellung von hochdimensionalen sich selbst durchdringenden mathematischen Flächen und ist mit der Bedeutung von rechnergenerierten Bildern gewachsen. Solche sind heute vielerorts im Einsatz: Bei Wetterprognosen, in diagnostischen Verfahren der Medizin, beim Navigieren durch Städte dank Geoinformationssystemen und natürlich auch in der Vermittlung komplizierter mathematischer Zusammenhänge, wie der Sierpinski-Tetraeder verdeutlicht. Kurzum – Visualisierungsmethoden sind gefragt wie nie zuvor.

Krömker setzt ihre Visualisierungstechniken am liebsten für archäologische Fragestellungen ein, um scheinbar verschwunden wieder sichtbar zu machen. „In ei-

nem unserer Projekte beschäftigen wir uns mit dem Wormser Friedhof „Heiliger Sand“. Hier verwenden wir einen 3D-Nahbereichsscanner und eine selbst entwickelte Bildverarbeitungssoftware, um mittelalterliche Grabinschriften zu erkennen. Wir erfassen dabei den witterungsbedingten Zerfall und analysieren anhand der digital vorliegenden Oberfläche, ob sich weitere Schriftzeichen erkennen lassen, die durch normale Bildaufnahmeverfahren nicht sichtbar sind“, erklärt die Wissenschaftlerin. Die Aufnahmetechnik basiert auf modernsten optischen Messverfahren in Kombination mit der Auswertung am Computer: Der Scanner projiziert ein vertikales Lichtstreifenmuster auf die Oberfläche des Steins. Diese Streifen schmiegen sich in die Unebenheiten der Oberfläche. Während der Bewegung des Musters von links nach rechts nehmen zwei Kameras aus unterschiedlichen Winkeln ständig Bilder auf. Im Computer wird aus diesen Stereo-Aufnahmen für jede zweidimensionale Position im Bild die noch fehlende dritte Dimension nämlich der Abstand zur Kamera berechnet. Auf diese Weise können kleinste Einkerbungen im Mikrometerbereich identifiziert



Der Scanner projiziert ein vertikales Lichtstreifenmuster auf die Oberfläche eines mittelalterlichen Grabsteins auf dem jüdischen Friedhof „Heiliger Sand“ in Worms.

werden. Anschließend filtern eigens entwickelte Algorithmen nur die für eine bestimmte Schrift charakteristischen Unebenheiten heraus. „Diese Technik ist natürlich nicht nur auf Grabinschriften beschränkt“, erklärt Krömker, „wir können sie auf viel kleinere Objekte wie Keilschrift-Tafeln anwenden, oder wir analysieren Tonscherben und ihre Bruchkanten oder erzeugen Abrollungen von griechischen Vasen und anderen Keramikgefäßen. Derzeit beschäftigt uns die Frage, ob wir mit unserer Methode noch weitere Informationen wie Bearbeitungsspuren und Erosionsvorgänge aus altem Gestein extrahieren können.“

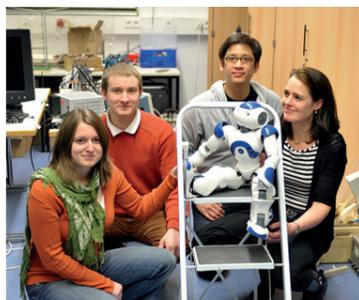
Weitere Informationen unter:  
[www.iwr.uni-heidelberg.de/  
groups/ngg/](http://www.iwr.uni-heidelberg.de/groups/ngg/)  
Sabine Kluge

## Der optimale Gang

Katja Mombaur und ihre Arbeitsgruppe erforschen die Lokomotion von Mensch und Maschine

Für die meisten Menschen ist das Laufen eine Selbstverständlichkeit, über die man nicht weiter nachdenken muss – die Bewegungen geschehen intuitiv. Ein tief greifendes Verständnis von Bewegungsabfolgen ist allerdings essentiell, wenn z.B. Ingenieure versuchen, humanoide Roboter nach menschlichem Vorbild gehen zu lassen, wenn Computeranimateure realistische Bewegungen für Animationsfilme erzeugen oder Mediziner Patienten mit nach Krankheit oder Unfall gestörtem Gangmuster helfen wollen.

Katja Mombaur und ihre Arbeitsgruppe „Optimierung in Robotik und Biomechanik“ (ORB) am IWR untersuchen die Bewegungen



Ende März organisierten die jungen Wissenschaftler gemeinsam mit Katja Mombaur die „Lange Nacht der Robotik“. Es kamen mehr als 1000 Besucher.

anthropomorpher Systeme, also von Menschen, humanoiden Robotern und virtuellen Charakteren, mithilfe von klassischen Methoden des Wissenschaftlichen Rechnens, der Modellierung, der Simulation und der Optimierung. Ihre Arbeiten ergänzen die Ansätze der klassischen experimentellen Ganganalyse in Biomechanik und Klinik, da sich auch mit modernsten Messmethoden nicht alle Geheimnisse des menschlichen Ganges entschlüsseln lassen. Dem optimierenden Vorbild der Natur folgend verwenden die ORB-Forscher Optimalsteuerungsmethoden, um natürliche Bewegungen zu erzeugen. Auf diese Weise haben sie bereits Gehen, Rennen, Turmspringen und sogar das Jojo-Spielen optimiert. Das Optimierungskriterium ist je nach Situation verschieden. Während ein Sprinter seine Geschwindigkeit maximiert, wird ein Marathonläufer seinen Energieverbrauch reduzieren. Mithilfe neu entwickelter Methoden

zur sogenannten „Inversen Optimalsteuerung“ können sogar aus menschlichen Messungen die einer Bewegung zugrunde liegenden Optimierungskriterien identifiziert werden.

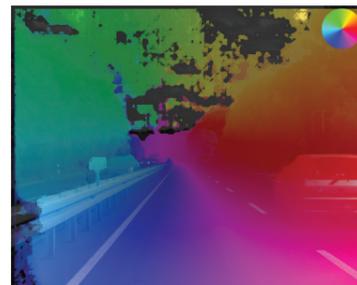
Die Arbeitsgruppe ORB kooperiert mit Forschern aus Biomechanik, Orthopädie, Robotik, Kognitionswissenschaften und Computergrafik. Mit Dr. Sebastian Wolf vom Ganglabor der Orthopädischen Universitätsklinik in Schlierbach untersuchen sie die Stabilität des menschlichen Ganges und modellieren die Bewegungen von Prothesenträgern. Mit dem LAAS-CNRS optimieren die ORB-Forscher die Bewegungen des dortigen humanoiden Roboters HRP-2, und mit Kognitionswissenschaftlern untersuchen sie die Auswirkungen von Emotionen auf die Laufbewegung.

Im Robotiklabor des IWR, das Katja Mombaur gemeinsam mit Thomas Klopfer leitet, arbeiten Studenten der verschiedensten Fachrichtungen und Semester an praktischen Robotikprojekten. Hier bauen und programmieren sie u.a. kleine Lauf- und Krabbelroboter, bringen Roboterarmen das Schach oder Damespielen bei, steuern autonome Flipper-Roboter oder lassen Roboterkünstler nach Musik Bilder malen.

Weitere Informationen unter:  
[www.orb.uni-hd.de](http://www.orb.uni-hd.de) sowie  
[www.roboter.uni-hd.de](http://www.roboter.uni-hd.de)  
Sabine Kluge

## Denkfabrik der Bildverarbeitung Das Heidelberg Collaboratory for Image Processing

Bildverarbeitung wird heute in nahezu allen Bereichen der Ingenieur- und Naturwissenschaften eingesetzt, wie beispielsweise in der modernen Mikroskopie, der medizinischen Diagnostik und in der Satelliten-Fernerkundung. Die Bildverarbeitung ist eine Schlüsseltechnologie geworden, die heute in keinem Wissenschaftszweig mehr wegzudenken ist: Durch bildaufnehmende Messtechnik werden komplexe raum-zeitliche Prozesse



Der optische Fluss einer Verkehrsszene. Die Bewegungsrichtung der Bildpunkte wird durch Farben visualisiert (z.B. blau nach links unten, violett nach rechts unten).

adäquat erfasst, und in einer daran anschließenden Bildanalyse können aus der Fülle an Daten die relevanten wissenschaftlichen Ergebnisse extrahiert werden.

Die Geschichte der Bildverarbeitung an der Universität Heidelberg begann vor 25 Jahren mit der Entwicklung neuer bildaufnehmender Messtechniken zur Untersuchung der Austauschvorgänge zwischen Atmosphäre und Meer am Institut für Umwelphysik und mit Vorlesungen an der Physikalischen Fakultät. Am 1. Januar 2008 wurde das Heidelberg Collaboratory for Image Processing (HCI) mit

drei Bildverarbeitungsprofessuren (Hamprecht, Jähne und Schnörr) als Teil des IWR gegründet. Heute ist das HCI mit mehr als 80 Mitarbeitern (darunter 46 Doktoranden) den Kinderschuhen entwachsen und stellt sich als Denkfabrik mit vielfältigen Brückenfunktionen vor. Als Teil des IWR und durch die Einbettung sowohl in die Fakultät für Mathematik und Informatik als auch in die Fakultät für Physik und Astronomie ist es interdisziplinär ausgerichtet und schlägt Brücken zwischen der Natur- und Geisteswissenschaft. Als „Industry on Campus“-Projekt führt das HCI in einzigartiger Weise Grundlagenforschung und Industrie zusammen. Nach dem Motto „Nichts ist praktischer als die richtige Theorie“ werden gemeinsam mit Industriepartnern die Forschungsthemen festgelegt.

Dabei geht das strategische Konzept davon aus, dass grundlegende Probleme der Bildverarbeitung weitgehend unabhängig von den Anwendungen sind. Auf diese Weise können am HCI eine ganze Reihe von Unternehmen mit sehr unterschiedlichen Applikationen zusammenarbeiten. Zudem beteiligen sich auch mittelständische Firmen am HCI und erhalten so Zugriff auf modernste Bildverarbeitungstechnologie.

Weitere Informationen unter:  
<http://hci.iwr.uni-heidelberg.de>  
Prof. Dr. Bernd Jähne,  
Prof. Dr. Fred Hamprecht,  
Prof. Dr. Christoph Schnörr

## Die HGS MathComp Unsere Talentschmiede

Ein Kernanliegen des IWR ist die optimale Ausbildung seiner Doktorandinnen und Doktoranden. Im November 2007 wurde die Heidelberg Graduate School of Mathematical and Computational



International: Die jungen Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler der HGS MathComp. Als künftige Spitzenforscher sollen sie der Ruperto Carola, ihrem Ausbildungs-ort, verbunden bleiben.

Methods for the Sciences (HGS MathComp) im Rahmen der Exzellenzinitiative ins Leben gerufen und blickt mittlerweile auf erfolgreiche Jahre zurück: Eine hohe Anzahl der am IWR promovierten Wissenschaftler erhielten bisher einen Ruf als Hochschullehrer, der Anteil an jungen Forscherinnen ist seit der

Gründung außerordentlich hoch, und somit ist das IWR als naturwissenschaftlich-mathematischer Ausbildungsstandort auf dem besten Weg zur gender equality.

Als das weltweit größte strukturierte Promotionsprogramm interdisziplinärer Prägung im Bereich des Wissenschaftlichen Rechnens steht die Schule für die Förderung von Kreativität und fachübergreifender Arbeitsweise. Einzigartig ist, dass die jungen Wissenschaftler Erfahrungen in interdisziplinären Forschungsprojekten sammeln, wie etwa beim Vermessen antiker Tempelanlagen oder der Interpretation von Klimamodellen. Nach Abschluss ihrer Promotion betritt eine Vielzahl der jungen Forscher selbst wissenschaftliches Neuland.

Dr. Michael Winckler, Geschäftsführer der Graduiertenschule resümiert: „Mit der HGS MathComp folgt das IWR konsequent seinem Weg der forschungsorientierten, modernen Doktorandenausbildung. Mit innovativen Themen setzen wir international Impulse im Wissenschaftlichen Rechnen.“

Dr. Michael Winckler,  
Sabine Kluge

### Impressum

Herausgeber:  
Interdisziplinäres Zentrum für  
Wissenschaftliches Rechnen  
– Öffentlichkeitsarbeit –  
Sabine Kluge (V.i.S.d.P.)

Im Neuenheimer Feld 368  
69120 Heidelberg  
E-Mail: [presse@iwr.uni-heidelberg.de](mailto:presse@iwr.uni-heidelberg.de)  
Tel.: 06221 / 54 88 54

Redaktion: Sabine Kluge,  
Dr. Johannes Schnurr,  
Gabriela Schocke, Kirsten Kieninger

Grafik/Satz: crema WAG! Agentur für  
Neue Medien  
Druck: Baier Digitaldruck GmbH

Bildnachweise:  
S. 1: IWR, Wikipedia (Nautilus),  
Wikicommons (Eiskristall)  
S. 2: IWR