

Der Struktur auf der Spur



Mathematiker und Physiker untersuchen Eigenschaften komplexer Materie

VON HEIKE MARBURGER // FOTO: MARKUS BREIG

Exploring the Structure

Mathematicians and Physicists Study Properties of Complex Matter

TRANSLATION: MAIKE SCHRÖDER

When looking into the interior of a bone, you may be surprised: The material supporting the human body is full of filigree connections. The apparently randomly structured matter, however, provides for maximum stability – in spite of the small amount of material used. Similar random structures can be found in nature, space or everyday products. Describing these phenomena is the work of a group of researchers funded by the German Research Foundation (DFG), in which the KIT Institute of Stochastics is one of the partners. In cooperation with colleagues of the University of Erlangen-Nürnberg and the University of Aarhus, KIT scientists study the interaction of geometry and physics of random spatial structures to better explain physical properties of complex matter. The findings might be used in medicine, astronomy, and many other areas.

Relevance of the research project is mainly due to the variety of results. If physicians would like to find out whether the bone structure of a patient suffering from osteoporosis is still viable, for instance, calculated characteristics might improve diagnosis. "Such an analysis based on objective characteristics is the first step in manufacturing microstructures with desired properties. Suitable characteristics can explain various types of complex spatial structures," Professor Daniel Hug of the KIT Institute of Stochastics explains potential applications. "With the help of this new functionality, it is also possible to quantitatively describe anisotropy of matter, e.g. in bones."

In his opinion, the project benefits from the interdisciplinary cooperation of mathematicians and physicists. "Our strength is theory. The physicists supply data and real problems. Moreover, they are rather experienced in developing analysis software for image processing and have excellent simulation knowledge," Hug adds. ■

Contacts: daniel.hug@kit.edu and guenter.last@kit.edu

ordnete Strukturen gibt es in der Natur, im Weltraum oder in ganz alltäglichen Produkten wie in Abzugsfiltern.

Mit der Beschreibung solch komplexer Strukturen und deren Eigenschaften befasst sich eine Forschergruppe der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG), an der das Institut für Stochastik am KIT maßgeblich beteiligt ist. Gemeinsam mit Kollegen der Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg und der dänischen Universität Aarhus untersuchen die Wissenschaftler das Zusammenspiel von Geometrie und Physik zufälliger räumlicher Strukturen, um physikalische Eigenschaften von komplexer Materie besser erklären zu können. Die Ergebnisse könnten nicht nur in die Medizin, sondern auch in die Astronomie, in die Materialwissenschaften und in viele andere Bereiche einfließen, so hoffen die Wissenschaftler. Für ihre Arbeit hat die 2011 von der DFG gegründete Kooperation bisher 3 Millionen Euro erhalten.

„Unser Ziel ist es, die Struktur komplexer Materie durch mathematische Modelle zu beschreiben und den Zusammenhang zu physikalischen Eigenschaften der komplexen Materie herzustellen“, erklärt Professor Daniel Hug, der am KIT Stochastik und Geometrie lehrt. Er ist einer der Projektleiter der Forschergruppe „Geometry and Physics of Spatial Random Systems“, in der Wissenschaftler mit sechs Projektgruppen dem Forschungsgegenstand auf die Spur kommen wollen. „Auf mathematischer Seite geht es in erster Linie um die Weiterentwicklung von Methoden und Modellen der räumlichen Stochastik und hier insbesondere der stochastischen Geometrie. Es soll untersucht werden, welche Relevanz diese mathematischen Werkzeuge zum Beispiel für die Physik von komplex strukturierten Materialien haben. Was dann die Verbindung zur Festkörper- und Statistischen Physik herstellt“, erklärt Hug. Die entwickelten stochastischen Methoden können die beteiligten Physiker vielfältig anwenden, etwa in der Analyse der Struktur der Galaxienverteilung im Universum oder

Der Blick in das Innere eines Knochens überrascht: Voller filigraner Verbindungen ist das Material, das den menschlichen Körper trägt. Nicht massiv sondern aus vielen Hohlräumen geformt. Dabei bietet die scheinbar willkürlich aufgebaute Materie höchste Stabilität – trotz geringen Materialeinsatzes und zugleich bei möglichst geringem Gewicht. Ähnliches findet sich nicht nur im menschlichen Körper, unge-

bei der Untersuchung von mesoskopischen Strukturen in Mikroemulsionen. Vor allem das fachübergreifende Zusammenspiel von Mathematikern und Physikern sei ein besonderes Qualitätsmerkmal der Gruppe und so selten zu finden. „Unsere Stärke ist die Theorie. Die Physiker liefern die Daten und die realen Probleme. Außerdem haben sie große Erfahrung in der Entwicklung von Analysesoftware zur Bildverarbeitung und ausgezeichnete Simulationskenntnisse“, so Hug. Die Sprecherschaft der Gruppe habe Professor Günter Last vom Institut für Stochastik des KIT übernommen.

Das Forschungsvorhaben ist vor allem wegen der vielfältigen Anwendungsmöglichkeiten seiner Ergebnisse von Bedeutung, etwa in der Medizin. Wollen Ärzte beispielsweise bei Osteoporose-Patienten erkennen, inwieweit deren Knochenstruktur noch besteht, könnten berechnete Kenngrößen die Diagnose verbes-

sern und eine Beschreibung der noch vorhandenen Struktur leisten. „Eine solche auf objektiven Kennzahlen beruhende Analyse ist der erste wesentliche Schritt, um Mikrostrukturen mit gewünschten Eigenschaften herzustellen. Mit den passenden Kenngrößen lassen sich ganz unterschiedliche Arten komplexer räumlicher Strukturen beschreiben wie beispielsweise poröses Gestein, Filter, Schwämme, Brot oder auch Schokolademuffins. Erste Kenngrößen sind etwa Volumen- und Oberflächendichte, aber auch die Dichten der mittleren Breite und einer topologischen Größe, der Euler-Charakteristik. Ein klassisches mathematisches Resultat lässt sich so interpretieren, dass dies schon alle relevanten Größen sind, wenn die Funktionale gewisse Eigenschaften haben sollen. Denn alle Funktionale sind aus diesen kombinierbar“, verdeutlicht Professor Hug. Das Prinzip lässt sich vielfach anwenden und erheblich erweitern, zum Beispiel auf tensorwertige Funktio-

nale, ein wichtiger Forschungsgegenstand der Karlsruher Gruppe. „Mithilfe dieser neuen Funktionale ist es beispielsweise möglich, die Anisotropie von Materie, etwa in Knochen, quantitativ zu beschreiben. Die Universalität der mathematischen Methoden erlaubt es aber auch, in ähnlicher Weise die Aufnahme einer Niere mit Karzinom zu analysieren. Hier wollen sie unterscheiden, wo das Karzinom und wo die gesunde Struktur ist, oder sie wollen bestimmen, welchen Effekt eine Behandlungsmethode für das Karzinom hat. Auf einer Abbildung, die aus zahlreichen Pixeln zusammengesetzt ist, ist das häufig kaum zu erkennen. Auch in diesem Beispiel können geometrische Kenngrößen mit großem Gewinn eingesetzt werden.“ Die Skalen, auf denen sich die Dinge bewegen, welche die Wissenschaftler mit diesen Methoden beschreiben wollen, sind groß. Nukleare Materie in Sternexplosionen gehört dazu, Molekülstrukturen, (Metall-)Schäume

oder Suspensionen wie sie in der Nahrungsmittelindustrie und in der pharmazeutischen Fertigung auftreten, bis hin zu astronomischen Strukturen, erklärt der Mathematiker.

Ein in Karlsruhe angesiedeltes Teilprojekt der Gruppe befasst sich mit dem Booleschen Modell, welches ein zentrales Modell der stochastischen Geometrie und der stetigen Perkolation ist und Anwendungen in der Physik, den Materialwissenschaften und der Biologie hat. „Dazu kann ein System von Körnern wie Fasern, Partikeln oder Luftblasen in Brot gehören, die sich überlappen und bei einem Fertigungsprozess so verschmelzen, dass die einzelnen Korngrenzen im Überlappungsbereich verschwinden. Auch wenn die ursprünglichen Körner eine einfache Form wie etwa Kugeln oder Quader haben, entstehen bei einem solchen Fertigungsprozess sehr komplexe Formen. Im Endprodukt sind die Anzahldichte oder die Formen der ein-

zelnen Körner nicht mehr unmittelbar zu erkennen. Überraschenderweise erlaubt es die mathematische Analyse eines solchen Modells dennoch, aus der Bestimmung von beobachtbaren Kenngrößen der Gesamtstruktur auf geometrische und stochastische Eigenschaften der einzelnen Körner zu schließen. Auf diese Weise hoffen wir, einen Zusammenhang zwischen den Materialeigenschaften der Gesamtstruktur und Eigenschaften der bei dem Fertigungsprozess eingesetzten Körner herstellen zu können.“ Auch hier ist die Anwendungsmöglichkeit im Alltag nicht weit: Etwa wenn Ingenieure strukturelle und physikalische Eigenschaften von Filtern und Membranen wie deren Durchlässigkeit für Flüssigkeiten oder Gase anhand weniger Kennzahlen beschreiben wollen. Oder wenn der Einfluss der dreidimensionalen Mikrostruktur poröser Materialien auf die effektiven Transporteigenschaften in diesem Material charakterisiert werden soll. Was

vor allem für die Transportvorgänge in Elektroden von Batterien und in Brennstoffzellen wichtig ist, verdeutlicht Professor Hug.

Was ihn persönlich an dem Forschungsthema fasziniert? „Die Mathematik findet hier einen wunderbaren Einsatz, vor allem bei Problemen, die auch den Physikern auf den Nägeln brennen. Die umgekehrt aber uns auch wieder stimulieren. Viele dieser Fragen wurden von den Physikern intuitiv erfasst oder im Rahmen von Simulationsstudien entdeckt, andere wiederum treten in der gemeinsamen Arbeit zu Tage. Wir versuchen nun, rigorose mathematische Verfahren und Nachweise zu finden. Das ist nicht immer einfach. Aber es ist ein überaus fruchtbares Betätigungsfeld und eine spannende Aufgabe.“ ■

Kontakt:
daniel.hug@kit.edu und guenter.last@kit.edu

Join Mond!



Working at Mond! is exciting and challenging.

We are a leading international packaging and paper group with around 25.000 colleagues in more than 30 countries. We are highly focussed on customers and have been developing cutting edge products since 1973.

Create (y)our ongoing success story.

With entrepreneurial spirit and a real passion for performance. We combine a fast-paced business with a caring culture that nurtures (y)our development in a sustainable way.

Be part of a multicultural team.

You may enjoy international development and work opportunities. In short: Unfold (y)our true potential in an empowering environment.

Get in touch!

Sabine Gromek is waiting for your papers.
Mond! AG, Marxergasse 4A, 1030 Vienna, Austria
Tel: +43 1 79013 4843
Fax: +43 1 79013 974
Email: international.recruiting@mondigroup.com



Für den Augenblick – und für die Zukunft!

Ihr persönlicher Berater weiß, wie aus Ihren Plänen Realität werden kann.



Konzentrieren Sie sich ganz auf Ihr Studium. Wir unterstützen Sie! Nutzen Sie unser Know-how – wir bieten Ihnen eine umfassende und individuelle Beratung zu den Themen, die für Sie am wichtigsten sind. Informieren Sie sich einfach über unsere aktuellen Angebote unter www.sparkasse-karlsruhe-ettlingen.de oder vereinbaren Sie einen Termin mit Ihrem persönlichen Berater unter 0721 146-0. Wir freuen uns auf Sie! **Wenn's um Geld geht – Sparkasse.**