

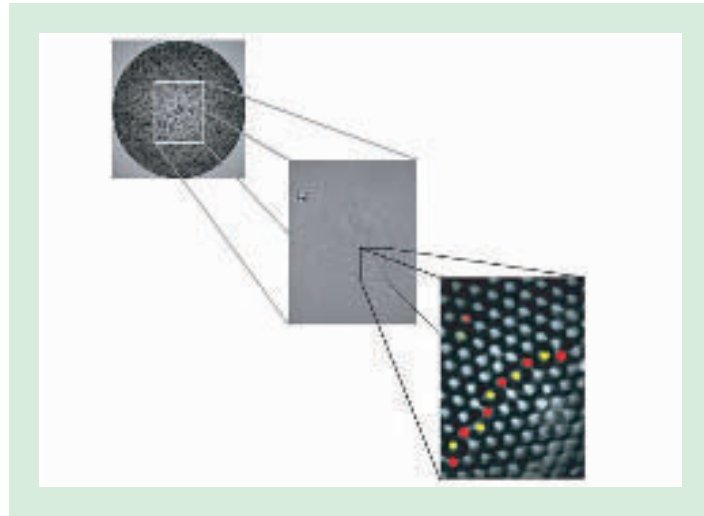
Gekrümmte Oberflächen haben Narben

Die optimale Struktur hat »Narben« - zumindest wenn es sich um eine gekrümmte, kristalline Oberfläche handelt. Das hat ein internationales Forscherteam um Prof. Andreas Bausch, Extraordinarius für Experimentelle Biophysik der TUM in Garching, erstmals gezeigt.

Seit fast hundert Jahren rätseln Wissenschaftler, wie sich Atome, Moleküle - oder im Modell kleine Kugeln - auf gekrümmten Oberflächen anordnen. Genau das konnte Bausch nun in einem Modellsystem mikroskopisch beobachten. »Es ist ein ganz einfaches System und es bestätigt unglaublich die Theorie«, erklärt er. Berechnungen hatten die »Narben« bereits vorhergesagt, ein experimenteller Beweis stand jedoch noch aus. Vermutlich sind diese Narben weit verbreitet in der Natur, schrieben die Forscher kürzlich in der renommierten Fachzeitschrift »Science«. So sollten sie etwa auf der Oberfläche kugelförmiger Bakterien auftreten oder bei Riesen-Fullerenen.

In der Ebene ist die optimale Packung gleich großer Kugeln längst bekannt: Sie sitzen dann am dichtesten beieinander, wenn jede Kugel von sechs weiteren umgeben ist - wie die mittlere Billardkugel bei Spielbeginn. Auf einer gekrümmten Oberfläche funktioniert diese Anordnung jedoch nicht. Es treten Fehlordnungen auf: Manche Kugeln haben nur noch fünf Nachbarn. Erst die Kombination dieser Fehlordnungen mit Kugeln in ungestörter Umgebung

ermöglicht, dass die Kugeln eng gepackt auf der gekrümmten Fläche lagern. Anschaulich zeigt das ein



Mikroskopische Aufnahmen unterschiedlicher Vergrößerung von winzigen Polymerkugeln, die sich auf der Oberfläche eines Wassertropfchens angeordnet haben. Auf dem unteren Bild sind die einzelnen, nur einen Mikrometer kleinen Polymerkugeln zu erkennen. Man sieht deutlich, dass sich in der Anordnung der Kügelchen auf der gekrümmten Oberfläche des Tropfens eine Narbe ausgebildet hat. Die Siebenecken sind gelb, die Fünfecken rot dargestellt; ein überzähliger Fünffachdefekt ist klar zu erkennen.

Fußball: Er ist aus genau 12 Fünfecken und 20 Sechsecken zusammengenäht. In der richtigen Anordnung ergeben sie den bekanntlich runden Ball.

Was aber, wenn man so einen Fußball aufbläst? So groß, dass ein Beobachter -

stünde er auf dem Ball - gar keine Krümmung mehr sähe? Gilt dann die Anordnung der Kugeln für die Ebene, oder gruppieren sie sich wie auf einem Fußball? Andreas Bausch hat festgestellt, dass dann zwar weiterhin einzelne Fünfer-Anordnungen zu sehen sind, diese Fehlordnungen aber als Linie auftreten. Es bilden sich Narben, wie Bausch die Defektlinien nennt: Fünfer-Anordnungen wechseln sich ab mit Kugeln, die sieben Nachbarn haben. Die Länge der Narben steht dabei im direkten Verhältnis zur Krümmung der

Oberfläche - je flacher die Krümmung, desto länger die Narbe.

Grund für diese ungewöhnliche Anordnung ist, dass die Fünfer-Anordnung lokal zu einer großen elastischen Deformation führt - optimal bei stark gekrümm-

ten Oberflächen. Wird die Krümmung aber flacher, ist gar keine so starke Deformation mehr nötig, damit die Kugeln sich eng zusammenlagern können. Es kostet sogar sehr viel Energie, die zu starke Deformation der Fünfer-Anordnung wieder etwas abzufedern. Ab einer bestimmten Krümmung ist es daher energetisch günstiger, zusätzlich zu der Fünfer-Anordnung weitere Defekte einzuführen: Paare aus Fünf- und Siebenecken. Sie ermöglichen eine enge Bedeckung der Oberfläche bei minimalem Energieaufwand. Der niedrigste kristalline Energiezustand auf einem aufgeblasenen Fußball trägt also Narben.

Beobachtet hat Bausch die Defektlinien in einem sehr einfachen Modellsystem, bestehend aus einer mit winzigen Polymerkugeln stabilisierten Emulsion von Wasser in Öl. Das Wasser bildet kleine kugelförmige Tröpfchen in dem Öl, genauer: in einem Gemisch zweier organischer Lösungsmittel. Die Polymerkugeln - mit gerade mal einem Mikrometer Durchmesser - lagern sich an die Oberfläche der Wassertropfchen an. Ihre genaue Anordnung können die Forscher dann mit dem Mikroskop und digitaler Bildverarbeitung untersuchen. »Das Faszinierende ist, dass sie, wenn es lokal fast flach wird, Defektlinien haben, die anfangen und aufhören«, erläutert Dipl.-Phys. Michael Nikolaides, der während seiner Diplomarbeit an diesem System gearbeitet hat. Ein derartig begrenzter Defekt sei bei einer Ebene undenkbar, da er zuviel Energie koste - und war bisher auch bei den gekrümmten Flächen lediglich postuliert.

Die Narbenstruktur könnte überall da eine Rolle spielen, wo es leicht gekrümmte Oberflächen gibt. So wurden solche Defektlinien bereits in natürlich vorkommenden Systemen beobachtet, aber nicht als optimale Anordnung gedeutet - etwa in Bakterienwänden,

wo die Narben möglicherweise eine wichtige Rolle bei der Zellteilung spielen. Bei Nanotubes und auch bei Fullerenen könnten die Erkenntnisse dazu führen, gezielt neue Strukturen aufzubauen.

Barbara Witthuhn

Strategic Environmental Communication



Eine besondere Ausbildung erhielten die Studierenden des Internationalen Masterprogramms Sustainable Resource Management. Roberta Hilbrunner (vorn, 2.v.r.) von der Development Branch der amerikanischen Regierung und Atziri Ibanez (vorn r.) von der Academy of Educational Development kamen aus Washington zu einem Training auf den Weihenstephaner Forschungscampus, um einen speziell für die Entwicklungszusammenarbeit ausgeklügelten Prozess zu vermitteln: Strategic Environmental Communication. Wenn im Ressourcen-Management technisch-wissenschaftliche Szenarien erarbeitet sind, so ist das erst die halbe Miete. Dann nämlich muss sich das Verhalten vieler Menschen ändern, auf dem Weg zur Nachhaltigkeit. Wie das geschehen kann, zeigten die amerikanischen Experten an Beispielen der Wassereinsparung in Ecuador, der Einrichtung von Schutzgebieten in Nepal und der Reduktion der Erosion in der indonesischen Landwirtschaft. Der inzwischen bewährte Kommunikationsprozess erfolgt in Stufen: Assessment der Lage, Planung und Design von Maßnahmen, Pretest und Revision, Implementation sowie Monitoring und Evaluation. Dieses Prozedere erarbeiteten sich die Studierenden an selbst gewählten Fallbeispielen wie dem chaotischen Verkehr in China oder dem Abfallrecycling in einer deutschen Kleinstadt.

Foto: Wolfgang Schröder

»Wasser-Nobelpreis« an Peter Wilderer

Große Freude an der TUM: Der mit 150 000 Dollar dotierte »Stockholm Water Prize« 2003 geht an einen ihrer Wissenschaftler: Prof. Peter A. Wilderer, Ordinarius für Wassergüte- und Abfallwirtschaft der TUM in Garching, wird am 14. August 2003 als erster deutscher Wissenschaftler von Carl XVI. Gustaf von Schweden mit dem in Fachkreisen hoch begehrten »Wasser-Nobelpreis« ausgezeichnet. Seit 30 Jahren erforscht er ganzheitliche Methoden der nachhaltigen Nutzung von Wasser.

Wörtlich heißt es in der Würdigung: »Als ausgebildeter Bauingenieur erkannte Wilderer bereits Anfang der Siebziger Jahre als einer der Ersten die Auswirkungen, die der Eingriff des Menschen auf den Wasserkreislauf hat. Er brachte Forscher verschiedener Fakultäten an einen Tisch, um Probleme gemeinsam zu lösen. Gleichzeitig wandte er sich an die Öffentlichkeit, die Industrie, Geschäftswelt und Verwaltung, um aufzuzeigen, wie die Berücksichtigung fundierter Forschungsergebnisse und geeigneter Technologien in Entscheidungen zu einer nachhaltigen Wasserwirtschaft führen kann. Der besondere Wert der Forschungsarbeit von Professor Wilderer besteht in einer seltenen Kombination aus der Entwicklung ausgeklügelter Technologie mit der tiefen Sorge um unsere Umwelt und Lebensqualität. Seine Beiträge zu grundlegenden Entdeckungen, die heute in modernen Biofilm-Reaktoren zur Anwendung kommen, ermöglichen den weltweiten Aufbau von Kläranlagen zur Reinigung von Abwässern aus Haushalt, Gewerbe und Industrie und seiner anschließenden Wiedereinspeisung in den Wasserkreislauf.«

Der im Jahr 1990 von der Stockholm Water Foundation gestiftete Preis wird jedes Jahr für außergewöhnliche Leistungen in der Wasserwirtschaft sowie entsprechende Initiativen und Öffentlichkeitsarbeit verliehen. Die Glückwünsche seiner Hochschule erreichten den Preisträger auf dem Weg nach Singapur, wo er in der TUM-Dependance, dem German Institute of Science and Technology (GIST), Vorlesungen hält - natürlich zum Thema Wasser.