

Aus dem Exzellenzcluster Nanosystems Initiative Munich

## Gebündelte Fasern machen Zellen stabil

Neue Erkenntnisse zum Thema Zellmechanik liefert eine kürzlich veröffentlichte Studie (\*) von Forschern der TUM und der Ludwig-Maximilians-Universität München (LMU). Den Wissenschaftlern ist es gelungen, das physikalische Verhalten des »Zytoskeletts« zu erforschen und mittels theoretischer Berechnungen vorherzusagen. Die Arbeit bildet eine wichtige Grundlage für das Verständnis der mechanischen Eigenschaften von Gewebezellen, die für viele Prozesse eine herausragende Rolle spielen: beispielsweise für die Teilung und Fortbewegung der Zellen, für die Entstehung von Organen im Embryonalstadium und für die Differenzierung von Stammzellen.

Der mechanische Aufbau tierischer Zellen ähnelt dem eines Luftschiffs: Die Zellmembran als äußere Hülle wird im Inneren der Zelle von einem Gerüst getragen und stabilisiert. Dieses Gerüst, das Zytoskelett, besteht aus nur wenige Nanometer dünnen, zu einem Netz verwobenen Fasern. Als Baustoff dienen sogenannte Biopolymere, die wie die Polymere gewöhnlicher Kunststoffe von kettenförmiger Struktur sind. Das elastische Verhalten von Biopolymeren lässt sich mit ähnlichen physikalischen Modellen wie das von Kunststoffpolymeren beschreiben.

Das elastische und reißfeste Zytoskelett gibt der Zelle Stabilität gegen Krafteinwirkung von außen, spielt aber auch eine entscheidende Rolle bei der Fortbewegung der Zelle:

Die Zelle verlagert die Bausteine ihres Skeletts Schritt für Schritt nach vorn. In Bewegungsrichtung entsteht vorübergehend ein armähnlicher Fortsatz, dafür wird in Gegenrichtung Material abgebaut. Dadurch bewegt sich das Zytoskelett insgesamt nach vorn, und mit ihm die ganze Zelle. Das Zytoskelett ist also hochdynamisch und verändert ständig seine Struktur – ganz im Gegensatz zu einem Luftschiff oder anderen technischen Werkstoffen.

Um sich in dem umgebenden Gewebe durchzusetzen, muss das Zytoskelett in Fortbewegungsrichtung recht stabil sein. Erreicht wird das durch Verkleben der einzelnen

Biopolymerfasern zu Bündeln, wobei zum Beispiel das Bindeprotein Fascin als »Klebstoff« dient. Ausgehend vom elastischen Verhalten einzelner Biopolymerbündel ist es der Forschergruppe um Prof. Andreas Bausch, Leiter des Fachgebiets für Experimentelle Biophysik der TUM in Garching, gelungen, die Mechanik eines solchen Netzwerks mit physikalischen Methoden zu erklären. Eine wichtige Grundlage waren dabei die theoretischen Berechnungen der Arbeitsgruppe um Prof. Erwin Frey, LMU. Beide Gruppen kooperieren eng im Rahmen des Exzellenzclusters Nanosystems Initiative Munich (NIM).

Als Testsubstanz bauten die Forscher aus dem Biopolymer Aktin und dem Bindeprotein Fascin ein sehr kontrolliertes Modellsystem auf

Konfokales Fluoreszenzbild eines dichten Netzwerks aus Aktinbündeln (in vitro), wie es durch das Protein Fascin gebildet wird.  
Foto: Christine Semmrich

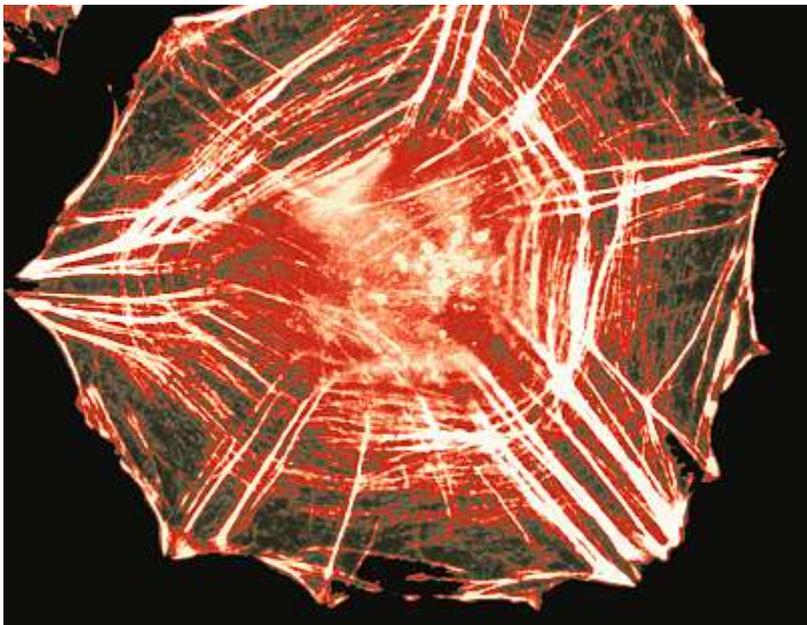
\* Physical Review Letters 99, No. 8, 088102 (2007)

und untersuchten dessen mechanische und strukturelle Eigenschaften. Die Rekonstruktion dieser Bausteine in einem derartigen Modellsystem stellt eine große Herausforderung dar – Untersuchungen an solchen weichen Proben erfordern besonders empfindliche Techniken, die kleinste Verzerrungen detektieren und Strukturen in Nanometergröße genauestens auflösen können

erstmalig anhand von Experimenten beschrieben. Grund ist die veränderte Struktur: Das Netzwerk besteht nun ausschließlich aus stabileren Aktinbündeln. Diese entstehen jedoch erst, wenn das Fascin eine bestimmte Konzentration überschritten hat; dann sind unter den Fasern so viele Verknüpfungen ausgebildet, dass sich Bündel bilden. Nur so entstehen stabile Strukturen

mechanismen und eröffnet zudem ganz neue Möglichkeiten zur Herstellung neuartiger Werkstoffe anhand des biologischen Vorbilds, etwa für Implantate. Andererseits profitieren vom genauen Verständnis der Zellmechanik auch die medizinische Diagnostik und die therapeutische Beeinflussung krankhafter Prozesse.

*Andreas Bausch  
Oliver Lieleg*



Fluoreszenzbild einer Osteoblastenzelle mit gebündelten, angefärbten Aktinfilamenten (in vivo).  
*Foto: Oliver Lieleg*

**Prof. Andreas Bausch**  
**Fachgebiet**  
**für Experimentelle Biophysik**  
**Tel.: 089/289-12480**  
**[abausch@ph.tum.de](mailto:abausch@ph.tum.de)**

nen. Wichtigstes Ergebnis: Abhängig von der Konzentration des Fascins kann das Biopolymernetzwerk zwei strukturelle Zustände annehmen. Im ersten Zustand liegen noch keine Aktinbündel vor, und eine Verformung wirkt sich gleichermaßen – »affin« – in allen Bereichen des Netzwerks aus. Stabile Strukturen können allerdings nicht ausgebildet werden. Im zweiten Zustand dagegen wird eine Verformung nicht mehr gleichmäßig auf alle Regionen des Netzwerks übertragen, man spricht von »nicht-affinen« Verformungen. Diese bisher nur vorhergesagte Art der Verformung wurde

wie die Fortsätze zur Fortbewegung. Zellen können somit auf biochemischem Weg die Mechanik lokal auf ihre Bedürfnisse einstellen.

Dank dieser Studien lassen sich erstmals die makroskopischen Eigenschaften solcher Netzwerke mit der Verformung im Nanometermaßstab erklären – ein wesentlicher Schritt, um funktionale Module von Zellen unter Laborbedingungen nachzubilden und quantitativ zu verstehen. Dies führt zu einem grundlegenden Verständnis des mechanischen Verhaltens tierischer Gewebezellen und ihrer Fortbewegungs-