

7.247 Zeichen
Abdruck honorarfrei
Beleg wird erbeten

Elektronenmikroskopische Aufnahme einer „Raupenzelle“. Nanopartikel, die durch Selbst-Aggregation von Terpolymeren („A – B – C“ bzw. „A – D – C“) entstanden sind, schließen sich abwechselnd zu der neuen raupenähnlichen Großstruktur zusammen. Links oben: Foto einer Schmetterlingsraupe.

Abb.: Elektronenmikroskopische Aufnahme: Forschungsgruppe Prof. Axel Müller. // Foto der Schmetterlingsraupe: Urheberrechte am Bild Anest, mit Nutzungslizenz von Shutterstock.com. // Abbildung nur mit diesen Quellenangaben zur Veröffentlichung frei.

Wie von Geisterhand: Programmierte Nanopartikel organisieren sich zu hochkomplexen Nanostrukturen

Zellen von Pflanzen und Tieren sind ein prominentes Beispiel dafür, wie die Natur – ausgehend von molekularen Strukturen des Erbguts – in einer zielgerichteten, vorprogrammierten Weise immer größere Einheiten aufbaut. Die Nanotechnologie versucht dieses Bottom-up-Prinzip zu kopieren, indem sie die Fähigkeit von Nanopartikeln zur selbständigen Struktur- bildung nutzt. Daran anknüpfend, stellen Polymerwissenschaftler aus Bayreuth, Aachen, Jena, Mainz und Helsinki jetzt in „Nature“ ein neuartiges Prinzip der Selbst-Aggregation vor, das sich künftig als sehr vorteilhaft erweisen könnte – sowohl für die weitere Erforschung dieser Prozesse als auch für technologische Anwendungen.

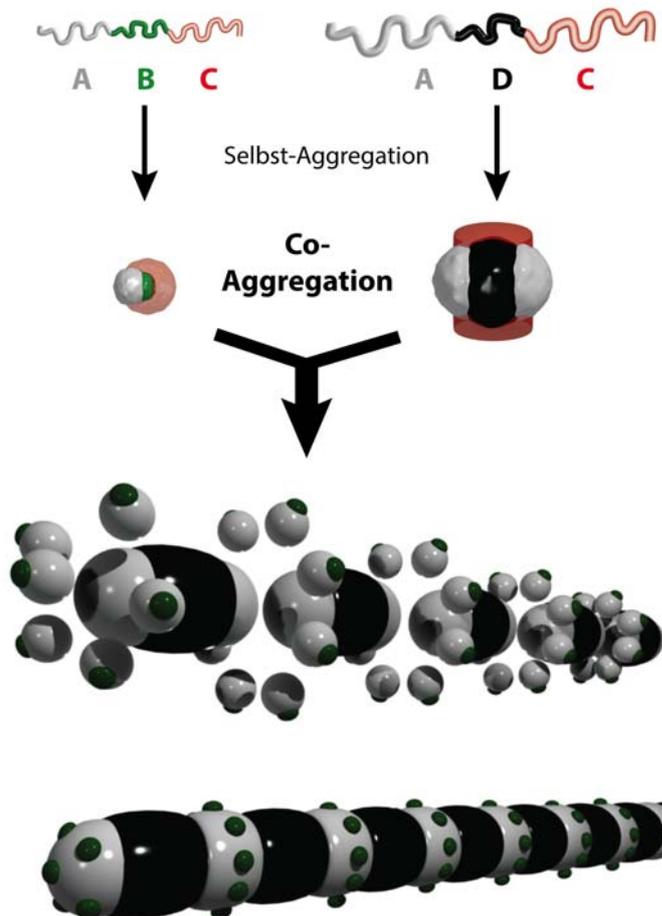


Die Forschungsgruppe wurde von dem Polymerchemiker Prof. Dr. Axel Müller geleitet, der bis zu seiner Emeritierung im Jahre 2012 den Lehrstuhl für Makromolekulare Chemie II an der Universität Bayreuth innehatte und jetzt als Fellow des Gutenberg Forschungskollegs an der Universität Mainz tätig ist. Die weiteren Mitglieder des Teams sind Dr. André Gröschel (früher Universität Bayreuth, jetzt Aalto University Helsinki), Tina Löbling und Dr. Holger Schmalz (Universität Bayreuth), Dr. Andreas Walther (DWI an der RWTH Aachen) und Jun.-Prof. Dr. Felix Schacher (Universität Jena). Der DFG-Sonderforschungsbereich 840 "Von partikulären Nanosystemen zur Mesotechnologie" an der Universität Bayreuth hat die Forschungsarbeiten gefördert.

Von Makromolekülen zu weichen Nanopartikeln

Ausgangspunkt für das in „Nature“ veröffentlichte Prinzip der Selbst-Aggregation sind kettenartige Makromoleküle mit einer Größe zwischen 10 und 20 Nanometern. Es handelt sich, chemisch gesprochen, um Triblock-Terpolymere. Diese bestehen aus drei linearen, kettenartig miteinander verbundenen Abschnitten („Blöcken“). Sie werden durch ein spezielles Synthese-Verfahren, die so genannte lebende Polymerisation, hergestellt und sind für die Forschung leicht zugänglich. Die Forschungsgruppe konnte die dreiteiligen Makromoleküle nun dazu veranlassen, sich zu weichen Nanopartikeln mit einem Durchmesser von rund 50 Nanometern zusammenzuschließen. Bei dieser Selbst-Aggregation der Makromoleküle spielten Lösungsmittel eine wesentliche Rolle. Diese wurden so zielgenau ausgewählt und eingesetzt, dass die unterschiedliche Löslichkeit der drei Blöcke und die Unverträglichkeit von Polymeren untereinander entscheidend zur Entstehung der gewünschten inneren Struktur der Nanopartikel beigetragen haben.

Die Wissenschaftler haben dieses Verfahren auf zwei Sorten von „Triblock-Terpolymeren“ angewendet. Deren Unterschied liegt in der chemischen Beschaffenheit der mittleren Blöcke: Die einen Makromoleküle haben die Struktur „A – B – C“, die anderen die Struktur „A – D – C“. Erstere bilden Nanopartikel mit nur einer Bindungsstelle und tendieren dazu, sich zu kugelartigen Überstrukturen zusammenfinden; letztere bilden Nanopartikel mit zwei Bindungsstellen und sind dementsprechend geneigt, sich in kettenartigen Überstrukturen zu



Ausgangspunkt der in „Nature“ vorgestellten Prozesse sind Makromoleküle (Triblock-Terpolymere) mit der kettenförmigen Struktur A – B – C bzw. A – D – C. Der mittlere Block ist grün bzw. schwarz markiert.

Block A (grau) hat die Funktion, gezielt mit anderen Partikeln in Wechselwirkung zu treten; Block C (rosa) ist eine Korona, welche die Löslichkeit kontrolliert.

Durch Selbst-Aggregation schließen sich die Makromoleküle jeweils zu Nanopartikeln zusammen. Diese Nanopartikel wiederum bilden abwechselnd durch Co-Aggregation die nächsthöhere Hierarchiestufe: Es entsteht eine Großstruktur, die wegen ihrer Ähnlichkeit mit einer Schmetterlingsraupe von dem Forschungsteam um Prof. Müller „Raupenmizelle“ getauft wurde.

Grafik: Forschungsgruppe Prof. Axel Müller; mit Quellenangabe zur Veröffentlichung frei.

organisieren. Entscheidend ist dabei: In beiden Fällen ist die Struktur der Nanopartikel durch die Synthese der zugrunde liegenden Makromoleküle vorprogrammiert, ähnlich wie die Struktur eines Proteins durch die Abfolge der Aminosäuren vorherbestimmt wird.

Die Mischung macht's: Von weichen Nanopartikeln zu „Raupenmizellen“

Mit den Nanopartikeln ist der Prozess der Selbst-Aggregation aber noch nicht beendet. Würde man die aus den Makromolekülen entstandenen Nanopartikel voneinander getrennt halten und sich selbst überlassen, entstünden tatsächlich einerseits kugelartige, andererseits kettenartige Überstrukturen. Doch die Gruppe um Prof. Müller hat stattdessen eine andere Forschungs-idee entwickelt und umgesetzt: Die unterschiedlich strukturierten Nanopartikel



wurden so gemischt, dass sie gemeinsam – in einem Prozess der Co-Aggregation – eine völlig neue Überstruktur bilden. Darin wechseln sich Nanopartikel, die aus Molekülen mit der Struktur „A – B – C“ hervorgegangen sind, und Nanopartikel, die sich aus Molekülen mit der Struktur „A – D – C“ gebildet haben, in einer exakt definierten Weise einander ab.

Die neue übergeordnete Struktur hat, wenn sie mit dem Elektronenmikroskop sichtbar gemacht wird, starke Ähnlichkeit mit einer farbenprächtigen Schmetterlingsraupe. Denn diese besteht gleichfalls aus klar voneinander abgegrenzten, regelmäßig aufeinander folgenden Abschnitten. Die Forschungsgruppe um Prof. Müller hat deshalb für diese durch Co-Aggregation gebildete Großstruktur den Begriff „Raupenmizelle“ geprägt.

Zukunftsperspektiven: Auf dem Weg zu neuen Technologien

Die jetzt in „Nature“ veröffentlichten Forschungsergebnisse sind ein Meilenstein auf dem Weg zu neuartigen hierarchischen Strukturen, die aus programmierten Prozessen der Selbst-Aggregation hervorgehen. Sie markieren insofern einen Paradigmenwechsel, als sich die bisherige Forschung oft auf Verfahren der Strukturierung konzentriert hat, die auf dem Top-down-Prinzip beruhen, also dem Herausarbeiten einer Mikrostruktur aus einem größeren Komplex. „Dieses Prinzip stößt in absehbarer Zukunft an seine Auflösungsgrenzen“, erklärt Prof. Müller. „Komplexe Strukturen im Nanometer-Bereich sind nur in den seltensten Fällen realisierbar.“

Das an der Natur orientierte Bottom-up-Prinzip, das die Fähigkeiten zur Selbst-Aggregation nutzt, eröffnet hingegen weitreichende Zukunftsperspektiven. Besonders attraktiv ist dabei die Vielzahl der Makromoleküle, die als Grundbausteine infrage kommen. Sie können dazu dienen, bestimmte Funktionalitäten gezielt in die angestrebten Großstrukturen einzuschleusen, wie beispielsweise die Sensibilität für Einflüsse aus der Umgebung (Temperatur, Licht, elektrische und magnetische Felder, etc.) oder die Schaltbarkeit. Denkbare Anwendungen wären die Nanolithographie oder die zeitlich und lokal vorprogrammierte Medikamentenfreisetzung. Auch hier zeigt sich wieder die Analogie zum Bauprinzip der Tier- und Pflanzenzelle, wo unterschiedliche Funktionen in räumlich abgegrenzten Bereichen untergebracht sind.



Makromoleküle, die der Polymerforschung als Träger bestimmter Funktionalitäten zur Verfügung stehen, können hundertmal kleiner als ein Mikrometer sein. Dementsprechend hoch ist die Feinheit von übergeordneten Strukturen, die letztlich aus ihnen hervorgehen. „Zukünftige Technologien – wie etwa maßgeschneiderte künstliche Zellen, Transistoren oder Elemente für die Mikro-/Nano-Robotik – können von dieser geringen Auflösungsgrenze erheblich profitieren“, erklärt Prof. Müller. „Für unsere in ‚Nature‘ vorgestellten Forschungsergebnisse zeichnen sich derzeit zwar noch keine sofortigen Anwendungen ab. Aber je besser wir die Bottom-up-Prozesse verstehen lernen, die von Molekülen im Nanometerbereich zu höheren Hierarchie-Ebenen im Mikrometerbereich führen, desto greifbarer werden darauf basierende neue Technologien.“ Die Raupenmizellen sind denn auch keineswegs die einzigen Großstrukturen, die sich aus den durch Selbst-Aggregation gebildeten Nanopartikeln herstellen lassen. „Diese weichen Nanopartikel können zum Beispiel auch mit anorganischen oder biologischen Nano- und Mikropartikeln kombiniert werden, sodass bisher unbekannte Funktionsmaterialien entstehen. Die Kombinationsmöglichkeiten sind schier endlos“, so Prof. Müller.

Veröffentlichung:

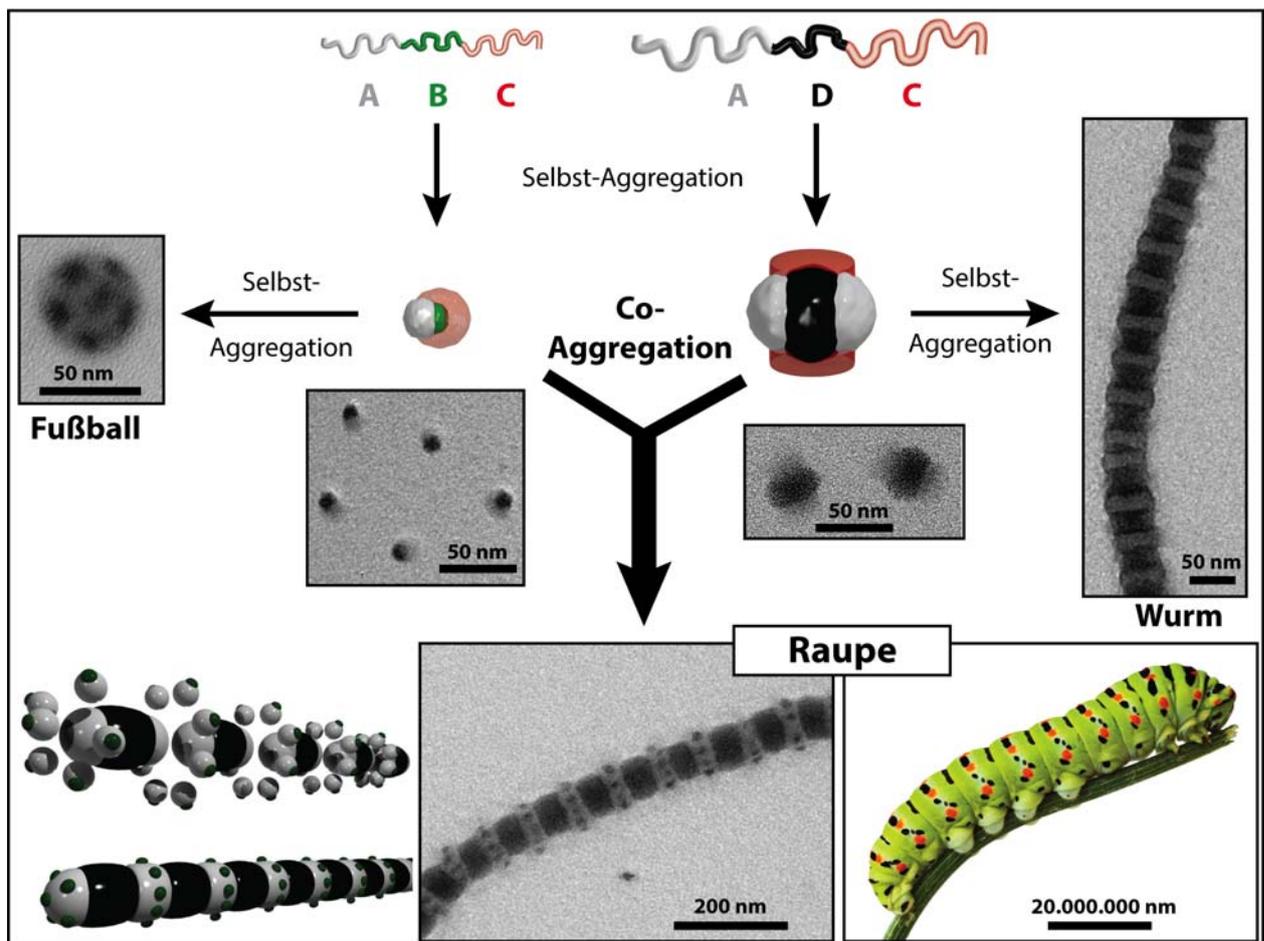
André H. Gröschel, Andreas Walther, Tina I. Löblich, Felix H. Schacher, Holger Schmalz, Axel H.E. Müller,
Guided Hierarchical Co-Assembly of Soft Patchy Nanoparticles,
in: Nature, DOI: 10.1038/nature12610

Ansprechpartner für weitere Informationen:

Professor Dr. Axel Müller, Johannes Gutenberg-Universität, D-55099 Mainz.
Tel.: +49-6131-3922372, E-Mail: axel.mueller@uni-mainz.de

Dr. André Gröschel, Department of Applied Physics, School of Science, Aalto University,
FIN-00076 Helsinki, Finnland.
Tel.: +358-50-4346991, E-Mail: andre.groschel@aalto.fi

Übersicht über die in „Nature“ veröffentlichten Forschungsergebnisse:



Übersicht über die vorprogrammierten Aggregationsprozesse, welche die Forschungsgruppe um Prof. Axel Müller jetzt in „Nature“ vorgestellt hat. 1 Nanometer entspricht dabei einem Millionstel Millimeter. Aus den Strukturen A – B – C bzw. A – D – C der Triblock-Terpolymere gehen auf dem Weg der Selbst-Aggregation zwei verschiedene Sorten von Nanopartikeln hervor. Falls diese Nanopartikel voneinander getrennt blieben, würde weitere Prozesse der Selbstorganisation dazu führen, dass kugelartige Überstrukturen („Fußball“) bzw. kettenartige Überstrukturen („Wurm“) entstehen. Doch weil die Wissenschaftler die Nanopartikel gemischt haben, kommt es zur Co-Aggregation: Es entsteht eine völlig neue Überstruktur, die starke Ähnlichkeit mit einer Schmetterlingsraupe hat.

Abb.: Grafische Elemente, elektronenmikroskopische Aufnahmen und Gesamtarrangement: Forschungsgruppe Prof. Axel Müller. // Foto der Schmetterlingsraupe: Urheberrechte am Bild Anest, mit Nutzungslizenz von Shutterstock.com. // Abbildung nur mit diesen Angaben zur Veröffentlichung frei.

Bitte beachten Sie: Diese und weitere Abbildungen stehen unter der folgenden Adresse in hoher Auflösung zum Download zur Verfügung:

www.uni-bayreuth.de/presse/images/2013/279



Text und Redaktion:

Christian Wißler M.A.
Stabsstelle Presse, Marketing und Kommunikation
Universität Bayreuth
D-95440 Bayreuth
Tel.: 0921 / 55-5356 / Fax: 0921 / 55-5325
E-Mail: mediendienst-forschung@uni-bayreuth.de

Kurzporträt der Universität Bayreuth

Die Universität Bayreuth ist eine junge, forschungsorientierte Campus-Universität.

Gründungsauftrag der 1975 eröffneten Universität ist die Förderung von interdisziplinärer Forschung und Lehre sowie die Entwicklung von Profil bildenden und Fächer übergreifenden Schwerpunkten. Die Forschungsprogramme und Studienangebote decken die Natur- und Ingenieurwissenschaften, die Rechts- und Wirtschaftswissenschaften sowie die Sprach-, Literatur und Kulturwissenschaften ab und werden beständig weiterentwickelt.

Gute Betreuungsverhältnisse, hohe Leistungsstandards, Fächer übergreifende Kooperationen und wissenschaftliche Exzellenz führen regelmäßig zu Spitzenplatzierungen in Rankings. Seit Jahren nehmen die Afrikastudien der Universität Bayreuth eine internationale Spitzenposition ein; die Bayreuther Internationale Graduiertenschule für Afrikastudien (BIGSAS) ist Teil der Exzellenzinitiative des Bundes und der Länder. Die Hochdruck- und Hochtemperaturforschung innerhalb des Bayerischen Geoinstituts genießt ebenfalls ein weltweit hohes Renommee. Die Polymerforschung ist Spitzenreiter im Förderranking der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG). Die Universität Bayreuth verfügt über ein dichtes Netz strategisch ausgewählter, internationaler Hochschulpartnerschaften.

Derzeit sind an der Universität Bayreuth rund 12.000 Studierende in rund 100 verschiedenen Studiengängen an sechs Fakultäten immatrikuliert. Mit ca. 1.500 wissenschaftlichen Beschäftigten, davon 225 Professorinnen und Professoren, und ca. 1.000 nichtwissenschaftlichen Mitarbeitern ist die Universität Bayreuth der größte Arbeitgeber der Region.