



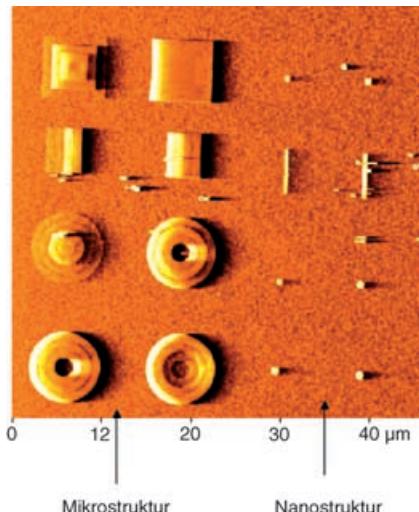
## Euchem – Selbstorganisation auf Oberflächen im Nanometerbereich\*\*

Helmut Möhwald\*

In den letzten zwei Jahrzehnten waren enorme Fortschritte bei der Steuerung der Selbstorganisation molekularer organisierter dünner Filme im Nanometerbereich zu verzeichnen. Diese Filme versprechen Anwendungen in der Optik, Elektronik, Sensorik und Biotechnologie, und es war an der Zeit, den aktuellen Stand der Technik, gegenwärtige Entwicklungen und zukünftige Forschungsrichtungen zu diskutieren – dies war das Ziel der Euchem-Konferenz „Nanoscale Surface Self-Assembly“ vom 19. bis 23. Juni in Sigtuna (Schweden). Dort versammelten sich insgesamt 100 Wissenschaftler, von denen viele das Gebiet seit Jahren prägen; aber auch jüngeren Kollegen wurde Gelegenheit gegeben, ihre Ergebnisse in Form von kurzen Beiträgen und 60 Postern zu präsentieren.

Am genauesten kontrollieren lässt sich wohl die Struktur von Filmen, die durch Chemisorption von Silanen oder Thiolen auf anorganischen Oberflächen gebildet werden. Diese Filme können über geeignete Oberflächenmodifikationen zu Multischichten ausgedehnt oder durch verschiedene Techniken mit einer lateralen Struktur versehen werden, wie in einigen grundlegenden Arbeiten gezeigt wurde:

- über ortsselektive elektrochemische Prozesse mithilfe einer STM-Spitze (J. Sagiv, Rehovot);
- über Elektronenstrahl-induzierte Polymerisation und Desorption (M. Grunze, Heidelberg, Abbildung 1);
- über das Auftragen von Thiolen auf Oberflächen durch einen Stempel (G. Whitesides, Boston; R. Nuzzo, Urbana).



**Abbildung 1.** Dreidimensionale Poly(*N*-Isopropylacrylamid)(pNIPAm)-Mikro- und Nanostrukturen durch ein Eintopfverfahren: Dreidimensionale pNIPAm-Strukturen können durch Propfpolymerisation der Polymerbürste ausgehend von der Initiator-beckten Oberfläche auf verschiedenen Substraten aufgewachsen werden. Die Höhe der Bürste ist abhängig von der Initiatordichte (die durch die Elektronenstrahldosis bei der chemischen Lithographie kontrolliert wird), was die Herstellung räumlich definierter Polymermuster mit unterschiedlicher Höhe und einzigartigen Oberflächentopographien in einem einzigen Schritt ermöglicht. Mit Genehmigung von Q. He, J. Li, A. Küller, M. Grunze (Universität Heidelberg)

Dies eröffnet Perspektiven für die Anwendung in der Elektronik (Nuzzo), Mikrofluidik (Whitesides) und der Manipulation der Wechselwirkungen von biologischer Materie mit Oberflächen. Das letztere betrifft die Passivierung von Oberflächen zur Vermeidung entzündlicher Reaktionen (Grunze) ebenso wie die Stimulation des Zellwachstums (Montelius, Lund). Durch die Variation der Zusammensetzung von Oberflächenablagerungen können Filme mit Gradienten hergestellt werden, die sich für die Untersuchung von Schmiereigenschaften im Nanome-

terbereich eignen (T. Kraus, N. Spencer, Zürich). Ein interessanter neuer Ansatz zur Herstellung multifunktioneller Filme wurde von D. Reinhardt (Twente) vorgestellt: Er synthetisierte Moleküle mit vielen supramolekularen Wechselwirkungen, die sich in Form wohldefinierter Filme organisieren können, deren Struktur durch die Umgebungsbedingungen manipuliert werden kann.

Polyelektrolyt-Multischichten haben dank ihrer einfachen Herstellung aus vielfältigen Ausgangsmaterialien großes Interesse geweckt. Diese Filme, die überwiegend auf elektrostatischen Wechselwirkungen basieren, können hinsichtlich ihrer Struktur nur auf der Nanometerebene kontrolliert werden, aber ihre Widerstandsfähigkeit und hohe Fehlertoleranz machen sie attraktiv für eine Reihe von Anwendungen, darunter Oberflächen zur kontrollierten Substanzfreisetzung oder mit einer definierten Benetzungbarkeit. G. Decher (Strasbourg) stellte die Sprühbeschichtung als einfachen und effizienten Weg zur Herstellung von Filmen aus mehreren Schichten vor, und A. Rogach (München) zeigte, dass Komponenten, in diesem Fall Halbleiter-Quantenpunkte, mit unterschiedlicher Zusammensetzung entlang der Normalen eingeführt werden können, um Energietransfers kaskadenförmig durch den Film zu leiten. H. Möhwald berichtete von einer Erweiterung der Technik zum Aufbau von Polyelektrolyt-Multischichten, bei der kolloidale Template mit einer Hülle versehen wurden, wodurch nach Entfernen des Templaats Mikro- und Nanokapseln mit wohldefinierten Wänden, Oberflächen und einer kontrollierten, schaltbaren Permeabilität erhalten wurden.

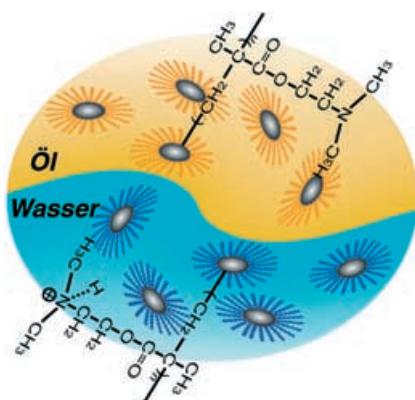
Polyelektrolyt/Tensid-Materialien kommen in der Natur häufig vor und finden auch in vielen technischen Systemen Verwendung. Durch die Untersuchung dieser Materialien an Grenzflächen kann man mehr über ihre Wechselwirkungen lernen und zudem gewünschte Grenzflächenmodifikationen, z. B. in Schäumen, entwickeln (Langevin, Orsay; Thomas, Oxford). Viele dieser Komplexe bilden dreidimensionale Strukturen, die z. B. für die Gentherapie oder Weichspüler von Bedeutung sein könnten. Im Laufe der Vorträge wurde

[\*] H. Möhwald  
Max-Planck-Institut für Kolloid- und Grenzflächenforschung  
14424 Potsdam (Deutschland)  
Fax: (+49)331-567-9202  
E-mail: moehwald@mpikg-golm.mpg.de

[\*\*] Euchem-Konferenz „Nanoscale Surface Self-Assembly“ vom 19. bis 23. Juni 2005 in Sigtuna (Schweden).

klar, dass nicht nur die Gesetze für den Aufbau von Mehrkomponentensystemen verstanden werden müssen, sondern dass auch, besonders bei Beteiligung von Polymeren, Nichtgleichgewichtszustände eine Rolle spielen (Tilton, Pittsburgh).

Anorganische Nanopartikel können als stabile funktionale Komponenten in Filme eingebaut werden; E. Hutter und J. Fendler (Potsdam, USA) zeigten, dass so die Streuungseigenschaften von Au für die hochempfindliche Detektion von Wechselwirkungen, darunter DNA-Erkennung, genutzt werden können. Eine neue und vielseitige Art der Grafting-from-Polymerisation auf Nanopartikeln, die dadurch zu funktionalen Baueinheiten von definierten Beschichtungen werden, stellte D. Wang (Potsdam) vor (Abbildung 2).



**Abbildung 2.** pH-abhängige Struktur einer Polymerbürste auf einer Nanopartikel-Oberfläche: Die protonierte Bürste macht den Partikel wasserlöslich, unprotoniert ist er dagegen löslich in organischen Lösungsmitteln. Mit Genehmigung von D. Wang und H. Duan (Max-Planck-Institut für Kolloid- und Grenzflächenforschung).

Die Natur liefert uns Membranen als multifunktionelle Oberflächen und Filme, und ihre Fixierung auf anorganischen Trägern ist eine verlockende Idee. L. Evans (Leeds) konzentrierte sich dabei in seinem Beitrag hauptsächlich auf die Lösung von Problemen bei der Kupplung der Membranen auf den festen Träger, und D. Stamou (Kopenhagen)

demonstrierte die Herstellung von Reaktionsgefäßen auf mikrostrukturierter Oberflächen.

Auch die Entwicklung neuer Techniken hat ihren Teil zur Entwicklung des Gebiets beigetragen. So handelte der Vortrag von T. McMaster (Bristol) von der Anwendung neuer rasterkraftmikroskopischer Techniken zur Untersuchung weicher Oberflächen, und M. Leffensfeld (New York) zeigte die Anwendbarkeit von Röntgenreflektivität bei hoher Energie zur Untersuchung vergrabener Grenzflächen. Das letztere gilt auch die Summenfrequenzerzeugung, vorgestellt von S. Ye (Hokkaido), die sich besonders zur Untersuchung von Defekten und Symmetrieverlusten eignet. Diese Techniken gibt es seit etwa zehn Jahren, aber erst seit kurzem ermöglichen sie die Gewinnung quantitativer Informationen, wie sie für eine kontrollierte Selbstorganisation benötigt werden. Dies gilt ebenso für die Neutronenreflektometrie: Systematische Studien haben nun einen schichtweisen Aufbau einiger Polyelektrolyte nahe an Grenzflächen offenbart, wie R. Thomas (Oxford) berichtete. Ein beeindruckender Vortrag von W. Kern (Stuttgart) handelte hauptsächlich von Rastertunnelmikroskopie bei niedrigen Temperaturen; die Zuhörer erkannten dabei, wie viel wir noch auf dem Weg vom Atom zum supramolekularen Assemblat auf einer Oberfläche zu lernen haben. Mit hoher Auflösung konnte man chirale Erkennung bei der Selbstorganisation linearer Aggregate darstellen, was zu periodischen, lose gepackten Anordnungen auf Oberflächen führt.

Das Tagungsprogramm enthielt ausreichend freie Zeit für informelle Gespräche sowie einen „runden Tisch“ zur Diskussion der Perspektiven des Gebiets. Dies entwickelte sich zu einer äußerst lebhaften und kontroversen Diskussion, die allerdings nicht zu irgendwelchen Schlussfolgerungen führte. Die wichtigsten Probleme, die sich herauskristallisierten, waren:

- Das Gebiet ist hoch interdisziplinär, und niemand kann alle Disziplinen im Detail abdecken; dies macht die Zusammenarbeit vieler Spezialisten zwingend erforderlich.
- Geldgeber und Politiker wurden viele Versprechungen bezüglich nanotechnologischer Anwendungen gemacht. Allerdings müssen zunächst die Regeln molekularer Organisation verstanden werden; dies erfordert noch umfangreiche Forschungen, an deren Ende viele dieser Versprechungen nicht einzuhalten sein werden.
- Die meisten Wissenschaftler haben ihre persönliche Ansicht, welche Anwendungen den meisten Erfolg versprechen. Es gibt hier allerdings keine Übereinstimmung, und es gibt auch zu große Unsicherheiten, da bereits etliche Beispiele für unerwartete Durchbrüche bekannt sind.

Diese lebhaften, zum Teil chaotischen Diskussionen hatten allerdings keinen Einfluss auf die überaus freundliche Atmosphäre, die auf der Konferenz herrschte. Die Mischung der Tagungsteilnehmer war ausgewogen, alle Beiträge waren gewinnbringend, und auch ausführliche Diskussionen mit den Vortragenden waren möglich. Dies war nicht zuletzt der hervorragenden Arbeit von M. Rutland und seinem Team vom Royal Institute of Technology Stockholm und der Schwedischen Chemischen Gesellschaft zu verdanken. Ein deutliches Zeichen für den Erfolg der Tagung war das Ergebnis einer geheimen Umfrage unter den Teilnehmern, bei der 95% die Tagung mit „sehr gut“ oder „hervorragend“ bewerteten. Es wurde auch der starke Wunsch nach einer Neuauflage der Konferenz geäußert, die dann hoffentlich auf einer reguläreren Basis angeboten wird.

DOI: 10.1002/ange.200502935