

A. Müller

Der auf dieser Seite vorgestellte Autor veröffentlichte kürzlich seinen **25. Beitrag** seit dem Jahr 2000 in der *Angewandten Chemie*: „Picking up 30 CO<sub>2</sub> Molecules by a Porous Metal Oxide Capsule Based on the Same Number of Receptors“: S. Garai, E. T. K. Haupt, H. Bögge, A. Merca, A. Müller, *Angew. Chem.* **2012**, 124, 10680–10683; *Angew. Chem. Int. Ed.* **2012**, 51, 10528–10531.

## Achim Müller

Geburtstag:	14. Februar 1938
Stellung:	Professor für Anorganische Chemie, Universität Bielefeld
E-Mail:	a.mueller@uni-bielefeld.de
Homepage:	http://www.uni-bielefeld.de/chemie/ac1/
Werdegang:	1962 Diplom, Universität Göttingen 1965 Promotion bei Prof. Oskar Glemser, Universität Göttingen 1967 Habilitation, Universität Göttingen
Preise:	<b>2000</b> Alfred-Stock-Gedächtnispreis, GDCh; <b>2003</b> Ehrendoktorwürde der Russischen Akademie der Wissenschaften; <b>2005</b> Ehrendoktorwürde der Université Pierre et Marie Curie, Paris; <b>2008/2009</b> Centenary Lecture/Medal, Royal Society of Chemistry, London; <b>2012</b> „Advanced Investigators Grant“ des Europäischen Forschungsrats
Forschung:	Prozesse unter geometrisch eingeschränkten Bedingungen, speziell in Kapseln mit stufenweise verschließbaren Poren und veränderbaren inneren Funktionalitäten; Koordinationschemie in Hohlräumen und Poren von Nanokapseln; supramolekulare Chemie auf kugelförmigen Gebilden; Veränderung der Hydrophobie von Nanocontainern, um z.B. die Struktur von eingekapseltem Wasser zu beeinflussen; Kationentransport und -trennung unter geometrisch eingeschränkten Bedingungen; molekulare Porosität; gezielte Synthese von Nanoclustern auf der Basis dynamischer Bibliotheken; chemische Adaptabilität
Hobbys:	Klassische Musik, Bergwandern, Schwimmen

**Ich begutachte wissenschaftliche Arbeiten gerne, weil ...** ich damit zur Qualität der Wissenschaft beitragen kann.

**Mein Lieblingsort auf der Welt ist ...** ein Platz irgendwo im Gebirge.

**Meine beste Investition war ...** der Kauf vieler Bücher aus unterschiedlichen akademischen Disziplinen.

**Wenn ich kein Wissenschaftler wäre, wäre ich ...** vielleicht Musiker geworden.

**Meine bisher aufregendste Entdeckung war ...** die Synthese von Nanokapseln mit stufenweise verschließbaren Poren und veränderbaren inneren Funktionalitäten.

**Mein schlimmster Albtraum ist ...** fehlerhafte Resultate zu publizieren.

### **Wird man Polyoxometallate genauso gezielt synthetisieren können wie Verbindungen der organischen Chemie?**

Die Frage kann mit Einschränkung positiv beantwortet werden. Es ist z.B. möglich, Nanocontainer, die sich in der Größe und inneren Funktionalität unterscheiden, auf der Basis der Kenntnis dynamischer Bibliotheken von „Molybdaten“ gezielt zu synthetisieren. Die Zugabe einer Baueinheit zu einer entsprechenden Bibliothek führt über die Bildung der komplementären Baugruppe in einem spontan ablaufenden Selbstaggregationsprozess zu einer porösen kugelförmigen Nanokapsel mit einem Metall-Sauerstoff-Gerüst.

### **Könnten Polyoxometallate eine Basis für „Nichtkohlenstoff-Lebensformen“ sein?**

Auf der Basis von Polyoxometallaten lässt sich eine Lebensform, die der aktuellen Organismenvielfalt mit ihren komplexen biochemischen Abläufen ähnelt, nicht realisieren. Letztere entstand als Resultat eines langen Evolutionsprozesses auf der Basis von Adaption und Selektion. Die Polyoxometallat-Chemie zeigt aber aufgrund ihrer Vielfalt

von Baueinheiten eine gewisse Ähnlichkeit mit der organischen Chemie, und es ist auch möglich, biologisch relevante Prozesse auf der Basis künstlicher anorganischer Zellen zu untersuchen.

### **Ist die Zeit des „Spielens mit Übermolekülen“ vorbei?**

Im Gegenteil, es hat erst begonnen! Es gibt neben den bekannten rad- und kugelförmigen Polyoxometallaten wohl keine andere Klasse diskreter anorganischer Verbindungen, die eine vergleichbar vielfältige Chemie mit der Möglichkeit erlaubt, Phänomene von interdisziplinärem Interesse und speziell unter geometrisch eingeschränkten Bedingungen zu untersuchen. Weil die Nanokapseln relativ robust sind, lassen sie sich vielseitig verändern, auch so, dass neuartige Reaktionen in ihren Hohlräumen untersucht werden können. Die porösen Kapseln lassen sich maßgeschneidert mit inneren hydrophoben und hydrophilen Bereichen herstellen (was entsprechend Lit. [4] zu Kommentaren zum Paradigmenwechsel geführt hat). Zudem werden permanent neue Resultate von materialwissenschaftlichem Interesse publiziert.

**Werden supramolekulare Methoden/Verfahrensweisen irgendwann die gleiche Bedeutung haben wie die klassische homogene Katalyse?**

Wichtige Arbeiten auf der Basis von „supramolekularen Ansätzen“ sind z.B. von M. Fujita und J. Rebek, Jr. publiziert worden. Diese geben allerdings bisher hauptsächlich nur Informationen über die Unterschiede zwischen Reaktionen unter geometrisch eingeschränkten Bedingungen und unter Bulkbedingungen. Ob derartige Reaktionen in der Industrie, die derzeit vorwiegend heterogenkatalytische Prozesse nutzt, künftig eine Rolle spielen werden, bleibt eine offene Frage.

**Das Internet hat unsere Art zu publizieren und zu lesen verändert. Wie wird es die Zukunft der Wissenschaft beeinflussen?**

Das Internet macht aktuelle Informationen über wichtige wissenschaftliche Ergebnisse schnell zugänglich. Doch die regelmäßige/routinemäßige „Wechselwirkung mit dem Internet“ kann zu einer Art Aktionismus und Oberflächlichkeit führen – und dies zum Nachteil notwendiger Reflexion und Kreativität.

**Sie haben eine Vorliebe für griechische Philosophie. Was kann sie dem modernen Wissenschaftler geben?**

Die griechischen Philosophen der Antike konnten ohne Störung und unabhängig von vorgegebenen Aufgaben nachdenken. Sie dachten wie Thales über die ersten Prinzipien der Welterklärung mit Begriffen wie *arche* (Ursprung) nach. Heute könnten Chemiker durch das korrelierte Relativ „Möglichkeit“ (*dynamis*) und „Wirklichkeit“ (*energeia*) von Aristoteles zum Nachdenken stimuliert werden. Möglichkeit bezieht sich auf die dispositionellen Eigenschaften von Systemen (wie denen der Chemie) und Wirklichkeit auf die Erfüllung von Möglichkeit. Es gibt zahlreiche Beispiele in der modernen Chemie, auf die sich dieses aristotelische Konzeptpaar anwenden lässt, z.B. die Abläufe in dynamischen Bibliotheken, die ein Stimulans zum Wechsel benötigen, der zur Wirklichkeit, d.h. zum beabsichtigten Reaktionsprodukt führt.

**Wie fordern Sie einen guten Studenten heraus?**

Zum Beispiel dadurch, dass ich mit ihm faszinierende Entdeckungen früherer kreativer Wissenschaftler diskutiere. Ein(e) Student(in) sollte während eines Experiments sensibel genug sein, unerwartete und ungewöhnliche Beobachtungen nicht

zu ignorieren, sondern sich Gedanken dazu zu machen. Die Kenntnis der Wissenschaftsgeschichte ermöglicht es, optimale Bedingungen zu erkennen und eventuell zu lernen, wie schwierige Probleme gelöst werden können. Mein Rat: Gib niemals auf und versuche, um erfolgreich zu sein, regelmäßig auf die Ergebnisse/Erkenntnisse anderer Forschungsgebiete zu schauen.

**Welche Themen würden Sie jungen Wissenschaftlern empfehlen, die ihre Forschungskarriere planen?**

Wir sollten zwischen Themen, die sich auf Probleme der Gesellschaft beziehen (zu deren Lösung Chemiker beitragen können), und solchen unterscheiden, die sich nicht direkt auf Anwendungen beziehen, z.B. die Entdeckung neuartiger Phänomene und Reaktionen. Ein heißes Thema für mich persönlich ist die Rolle von Wasser bei Selbstaggregationsprozessen. (Mehr Wissen hier könnte dazu beitragen, relevante Reaktionen unter optimalen Bedingungen durchzuführen.) Wenn wir junge Wissenschaftler veranlassen können, aufwendige/schwierige Experimente durchzuführen, deren Resultate Auswirkungen auf verschiedene Forschungsbereiche haben könnten, sollten sie hoch motiviert sein und die positiven Auswirkungen auf ihre Karriere erkennen können.

**Wie kommen Sie zu neuen Ideen?**

Dadurch, dass ich versuche, eigene Entdeckungen intellektuell mit Resultaten anderer Forschungsgebiete in Beziehung zu setzen, da dies zur Planung neuer Experimente mit weit reichenden Konsequenzen führen kann.

**Auf welche Entdeckung sind Sie am stolzesten?**

Auf die Isolierung der inzwischen allgemein bekannten auf Molybdän- oder Wolframoxid basierenden Nanoobjekte, da dies die Planung wichtiger Experimente auf der Basis spezifischer „Manipulationen“ vor allem an unseren porösen robusten Kapseln ermöglichte. Diese führten zu Ergebnissen, die für andere Forschungsgebiete Bedeutung haben. Sehr gefreut hat mich auch, dass wir dank der Kenntnis dynamischer Bibliotheken kugelförmige Nanokapseln mit verschiedenen hydrophilen und hydrophoben Funktionalitäten gezielt synthetisieren konnten.

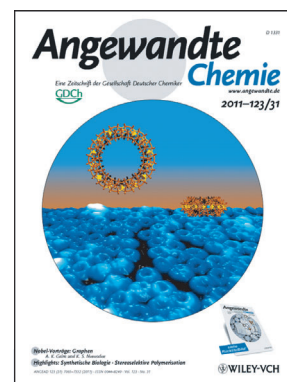
Die Interviewfragen formulierte Guido Clever (Universität Göttingen).

**Meine fünf Top-Paper:**

1. „Changeable Pore Sizes Allowing Effective and Specific Recognition by a Molybdenum-Oxide Based „Nanosponge“: En Route to Sphere-Surface and Nanoporous-Cluster Chemistry“: A. Müller, E. Kri-

ckemeyer, H. Bögge, M. Schmidtman, S. Roy, A. Berkle, *Angew. Chem.* **2002**, *114*, 3756–3761; *Angew. Chem. Int. Ed.* **2002**, *41*, 3604–3609.

Die Entdeckung der {Mo<sub>132</sub>}-Nanokapsel mit 20 Poren



Die Forschung von A. Müller war auch auf dem Titelbild der Angewandten Chemie vertreten:

„A Nanosized Molybdenum Oxide Wheel with a Unique Electronic-Necklace Structure: STM Study with Submolecular Resolution“: D. Zhong, F. L. Sousa, A. Müller, L. Chi, H. Fuchs, *Angew. Chem.* **2011**, *123*, 7156–7159; *Angew. Chem. Int. Ed.* **2011**, *50*, 7018–7021.

- und Kronenethereigenschaften eröffnete eine neue supramolekulare Nanotechnologie, bei der Porenschließungen die Strukturen eingekapselter Moleküle verändern können. Die Porengrößen können variiert werden, indem die pentagonalen  $\{(M)M\}$ -Basisbaueinheiten ( $M = Mo, W$ ) der Nanokapseln des Typs  $\{(Pentagon)_{12}(Linker)_{30}\}$  mit größeren oder kleineren Linkern verbunden werden. Die polytopen Rezeptoren können gleichzeitig 20 „Gäste“ binden, mit der Möglichkeit, kooperative und allosterische Effekte zu untersuchen.
2. „Trapping Cations in Specific Positions in Tuneable „Artificial Cell“ Channels: New Nanochemistry Perspectives“: A. Müller, S. K. Das, S. Talismanov, S. Roy, E. Beckmann, H. Bögge, M. Schmidtmann, A. Merca, A. Berkle, L. Allouche, Y. Zhou, L. Zhang, *Angew. Chem.* **2003**, *115*, 5193–5198; *Angew. Chem. Int. Ed.* **2003**, *42*, 5039–5044.  
Molekular dimensionierte Löcher sind für zahlreiche Eigenschaften natürlicher und synthetischer Materialien von Bedeutung, da sie Substrattrennungen auf der Nanoebene ermöglichen. Während zahlreiche ausgedehnte poröse Materialien wie Zeolithe, die kleine Gäste einschließen können, seit langem bekannt sind, kennt man analoge Prozesse in wässriger Lösung auf der Basis diskreter poröser anorganischer Kapseln erst seit kurzem. Dies ermöglichte es, den Transport verschiedener Substrattypen durch die Poren in die Kapseln zu untersuchen, wobei ihre Positionierung an verschiedenen inneren Funktionalitäten nachvollziehbar ist. Kleine Kationen wie  $Li^+$ ,  $Na^+$ ,  $Ce^{3+}$  und  $Pr^{3+}$  werden nach Porendurchtritt an wohldefinierten Positionen fixiert, d.h. auf Nanobasis getrennt (Nano-Ionenchromatographie-Prinzip).
  3. „Molecular growth from a  $Mo_{176}$  to a  $Mo_{248}$  cluster“: A. Müller, S. Q. N. Shah, H. Bögge, M. Schmidtmann, *Nature* **1999**, *397*, 48–50.  
Ein einzigartiger Keimbildungsprozess erfolgt im Hohlraum des radförmigen  $\{Mo_{176}\}$ -Clusters, wobei zwei  $\{Mo_{36}O_{96}(H_2O)_{24}\}$ -Fragmente — unter dem Einfluss innerer Funktionalitäten gebildet — den Hohlraum radkappenähnlich schließen. Der Vorgang kann mit denen in Metallspeicherproteinen verglichen werden und speziell mit Keimbildungen, die im Molybdän/Wolfram-Speicherprotein von Stickstoff fixierenden Bakterien des Typs *Azotobacter vinelandii* verschiedene(!) wohldefinierte Polyoxomolydate und -wolframate ergeben. Diese von uns untersuchten Prozesse, die unter Templatwirkung durch verschie-

dene Proteintaschen-Funktionalitäten erfolgen, können zum besseren Verständnis von Selbstaggregationsprozessen unter geometrisch eingeschränkten Bedingungen beitragen.

4. „Hydrophobic Interactions and Clustering in a Porous Capsule: Option to Remove Hydrophobic Materials from Water“: C. Schäffer, A. M. Todea, H. Bögge, O. A. Petina, D. Rehder, E. T. K. Haupt, A. Müller, *Chem. Eur. J.* **2011**, *17*, 9634–9639.

Hydrophobe Effekte spielen eine wesentliche Rolle bei verschiedenen Phänomenen wie Proteinfaltung und Bildung von Lipiddoppelschichten. In diesem Kontext sind Untersuchungen mit Kapseln des Typs  $\{(M)M_5\}_{12}\{Mo_2(Ligand)\}_{30}$  ( $M = Mo, W$ ) durchgeführt worden, die mit verschiedenen hydrophoben Hohlräumen konstruiert werden konnten. Es konnte gezeigt werden, dass eine Kapsel mit 30 hydrophoben Propionatliganden (toxische) hydrophobe Spezies wie *n*-Hexanol aus wässrigen Lösungen aufgrund innerer hydrophober Wechselwirkungen und Clusteraggregationen aufnehmen kann. (Der Effekt führt in Gegenwart von Butyratliganden zur Bildung eines eingekapselten einzigartigen micellenartigen  $\{Butyrat\}_{24}$ -Aggregats mit hydrophobem Hohlraum). Der Prozess wurde als Paradigmenwechsel im Hinblick auf die molekulare Erkennung und Clusterbildung von hydrophoben Materialien im Wasser angesehen.

5. „Softening of Pore and Interior Properties of a Metal-Oxide-Based Capsule: Substituting 60 Oxide by 60 Sulfide Ligands“: C. Schäffer, A. M. Todea, H. Bögge, E. Cadot, P. Gouzerh, S. Kopilevich, I. A. Weinstock, A. Müller, *Angew. Chem.* **2011**, *123*, 12534–12537; *Angew. Chem. Int. Ed.* **2011**, *50*, 12326–12329.

Die Kapsel des Typs  $\{(W)W_5\}_{12}\{Mo_2\}$  mit 60 Sulfideinheiten wurde durch Zugabe von zweikernigen Baueinheiten mit Sulfidliganden zu einer dynamischen Bibliothek mit „Wolframateinheiten“ gezielt hergestellt, wobei das neue, relativ „weiche“ Gerüst Reaktionen in der Kapsel anders beeinflusst als die bekannten „harten“ sauerstoffhaltigen Gerüste. Die neuartige Trennung/Segregation zwischen der im wesentlichen hydrophoben, durch Acetat/Wasser-Liganden aufgespannten inneren Kapselwand und dem eingekapselten „Wasser“ bewirkt die Bildung einer ungewöhnlichen kugelförmigen „Wasserschale“. Man kann den Typ des „Wasserassoziats“ durch Änderung des Verhältnisses der Liganden Acetat und Wasser verändern.

DOI: 10.1002/ange.201209135