



1. Einleitung

Die Nanotechnologie bietet ein enormes Potenzial zur Verbesserung und Modifizierung von Materialeigenschaften, sie wird als Schlüsseltechnologie des 21. Jahrhunderts gehandelt.^[1, 2] Von besonderem Interesse sind hierbei die ungewöhnlichen Eigenschaften von Nanomaterialien, welche sich von denjenigen der Festkörper erheblich unterscheiden können.

Betrachtet man die Eigenschaften, die durch Strukturen im Nanometerbereich hervorgerufen werden, so stellt man eine Vielzahl verschiedenster Effekte fest. Einige sind in der Natur zu finden, wo sie in Jahrtausenden von evolutionären Verbesserungen hervorgebracht wurden. So beispielsweise der viel zitierte Lotuseffekt, der durch eine nanostrukturierte, superhydrophobe Oberfläche die Lotuspflanze vor einem Anhaften von Schmutz schützt.^[1] Weitere Beispiele sind die schillernden Farben der Schmetterlingsflügel,^[3] die genau wie die Farben des Opals durch Nanostrukturen, hier photonische Kristalle, hervorgerufen werden.^[4]

Auch die Menschheit verwendete seit Jahrhunderten Produkte der Nanotechnologie, ohne im Detail Kenntnis darüber zu haben. Eines der diesbezüglich bekanntesten Beispiele sind rote Kirchenfenster, welche durch Goldnanopartikel ihre Farbe erhalten.^[5] Ein weiteres Beispiel ist die Härte des berühmten Damaszener Stahls, welche auf die bei der Herstellung entstandenen Kohlenstoffnanoröhrchen zurückzuführen ist.^[6]

Diese Beispiele haben gemeinsam, dass die Materialverbesserung ohne Kenntnis der chemisch-physikalischen Ursachen durchgeführt wurde. Zu Beginn des 20. Jahrhunderts begannen Wissenschaftler wie *Ostwald* sich mit Kolloidalpartikeln in Lösungen, sogenannten kolloidalen Lösungen zu beschäftigen.^[7] Allerdings ermöglichten erst die enormen Fortschritte der analytischen Charakterisierungsmethoden gegen Ende des letzten Jahrhunderts



eine tiefer gehende Untersuchung von Nanostrukturen und -partikeln. Dadurch wurden zielgerichtete Synthesen und eine gezielte Entwicklung von Nanomaterialien mit interessanten Eigenschaften erst möglich.

Im Alltag findet sich heute bereits ein großes Einsatzgebiet von Nanopartikeln, wie zum Beispiel in Sonnencreme, Farben und Oberflächenbeschichtungen.^[8] Oberflächenbeschichtungen mit Nanopartikeln gehören heute bei hochwertigen optischen Geräten zum Stand der Technik, beispielsweise bei Fernrohren und Brillengläsern, wobei die Entwicklung stetig voranschreitet.^[9] Einige Bedeutung haben inzwischen Nanomaterialien mit spezieller Morphologie (Nanostäbchen, Nanoröhren) erlangt. So werden beispielsweise Kohlenstoffnanoröhrchen, unter anderem, zur Verstärkung von Kunststoffen in Flügeln von Windkraftanlagen, sowie zur Herstellung leitfähiger Kunststoffe und Tinten eingesetzt.^[10]

Zu den Nanomaterialien mit besonderen Strukturen gehören auch nanoskalige Hohlkugeln. Ihre Eigenschaften, wie große Oberfläche, geringes spezifisches Gewicht, hohe mechanische Festigkeit und die Möglichkeit der Verwendung als Nanocontainer versprechen eine Vielzahl interessanter Anwendungen.^[11] Durch Variation des Hüllenmaterials und des Außen- und Innendurchmessers können verschiedene Eigenschaften erhalten und somit unterschiedliche Anwendungen erschlossen werden. So wird der Einsatz nanoskaliger Hohlkugeln beispielsweise in der Katalyse,^[12] als Gasspeicher^[13] oder für Lithiumionenbatterien^[14, 15] untersucht. Weiterhin ist eine Anwendung in der Medizin als Markersubstanz oder, unter Nutzung der Containerfunktionalität,^[11] in der Pharmazie zum Wirkstofftransport Gegenstand der aktuellen Forschung. Tiefergehende Untersuchungen der nanoskaligen Hohlkugeln sind also durchaus lohnend.

Eine noch zu überwindende Hürde vor der Anwendung nanoskaliger Hohlkugeln ist ihre aufwendige Synthese. Die bisher am häufigsten eingesetzten Syntheserouten, wie die Methode der "Harten-Template" oder die Synthese



unter Ausnutzung des Kirkendall-Effekts, erfordern für jedes Material eine maßgeschneiderte Synthese.^[16] Nachteilig bei der Methode der "Harten-Template" wirkt sich aus, dass es nicht einfach ist, eine Hülle auf ein Templat abzuscheiden und dieses anschließend zu entfernen. Die Synthese unter Ausnutzung des Kirkendall-Effekts ist auf eine kleine Materialklasse festgelegt, da von geeigneten Vollpartikeln ausgegangen werden muss.^[16] Außerdem kann Synthesebedingt die Containerfunktionalität nicht verwendet werden.

Ziel der vorliegenden Arbeit war die Entwicklung einer zuverlässigen, universell einsetzbaren Methode zur Synthese nanoskaliger Hohlkugeln. Dabei sollte auf den Einsatz aufwendig herzustellender Precursoren und auf toxische Template verzichtet werden, so dass eine Biokompatibilität der erzeugten Hohlkugeln gewährleistet ist. Ebenso sollte die Methode die Containerfunktionalität der nanoskaligen Hohlkugeln zugänglich machen, um Wirkstoffe oder andere Substanzen in die Hohlkugeln einbringen zu können.

Im Rahmen dieser Arbeit wurde der bekannte Weg der Mikroemulsion verlassen und eine neue Methode unter Verwendung von Gelatine als Templat in Kombination mit einer Mikroemulsion entwickelt. Die Funktionsfähigkeit der Synthese wurde mit der Darstellung unterschiedlicher Materialien demonstriert.