

1 Einleitung

Makro, mikro, nano: Für den Beginn der Reise in die „Nanowelt“ (Abb. 1.1) war sicherlich die Entwicklung des Transmissionselektronenmikroskops durch Ruska und Knoll Anfang der 30iger Jahre des letzten Jahrhunderts von sehr großer Bedeutung (Heimendahl, 1970). Sie ermöglichte erstmals die direkte Beobachtung nanoskaliger Strukturen und Teilchen. Diese kennzeichnen sich gegenüber dem Bulk-Material durch abweichendes quantenmechanisches Verhalten und durch eine hochgradig vergrößerte spezifische Oberfläche aus, was oftmals zu Veränderungen der Transparenz, der Härte, der elektrischen Leitfähigkeit, des Schmelz- und des Siedepunktes, der chemischen Reaktivität und der katalytischen Ausbeute führt (Gutsch et al., 2002).

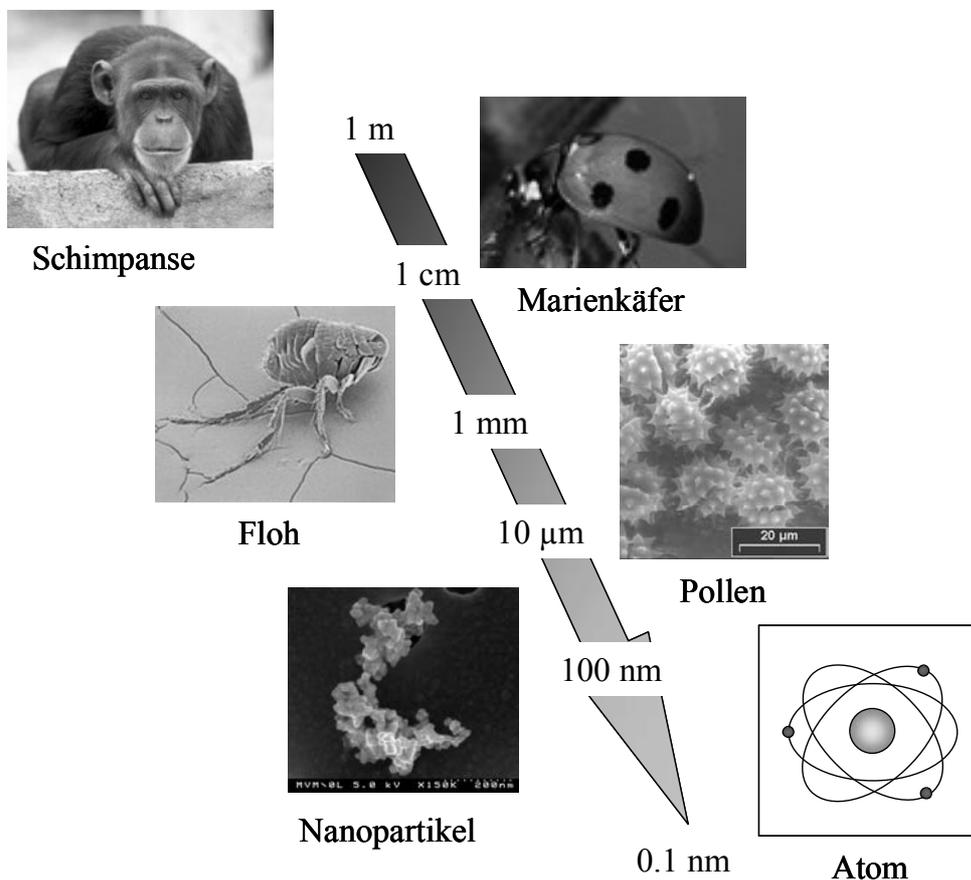


Abb. 1.1: Reise in die „Nanowelt“.

In vielen Fällen ist die Herstellung nanoskaliger Partikeln bereits heute von erheblicher wirtschaftlicher Bedeutung: Ruß (Carbon Black) wird beispielsweise als verstärkender Füllstoff in Autoreifen und ebenso wie TiO_2 als Pigment verwendet (Gutsch et al., 2002, Gesenhues, 1988). Besonders feine TiO_2 -Partikeln sind wegen ihrer geringen Durchlässigkeit für UV-Strahlen ein wesentlicher Bestandteil von

Sonnencremes (Woditsch & Westerhaus, 1992). Nanoskaliges SiO_2 wird in großem Umfang zur Steuerung rheologischer Eigenschaften (Gutsch et al., 2002), Al_2O_3 als Katalysator, Katalysatorträger und als Schleifmittel verwendet (Hudson et al., 1985). Mit der Herstellung verschiedenster Nanopartikeln befasst sich eine Vielzahl an aktuellen Forschungsarbeiten: Dabei spielen Anwendungen in der Katalysatortechnik (Thybo et al., 2004; Johannessen & Koutsopoulos, 2002), im Bereich des Korrosionsschutzes (Donley et al., 2005), als Gassensor (Zhan et al., 2005) oder in der Medizintechnik, z.B. bei der Verteilung von Wirkstoffen, in der Krebstherapie oder als Kontrastmittel (Gupta & Gupta, 2005) eine zentrale Rolle.

Die Herstellung nanofeiner Partikeln kann prinzipiell von zwei Richtungen aus erfolgen: Zum einen durch Zerkleinerung größerer Materials, z.B. mittels der Nasszerkleinerung (Peukert et al., 2005), und, ausgehend von Molekülen, durch aufbauende Verfahren. Hierunter fallen insbesondere die Fällung (Schwarzer & Peukert, 2004) und die Gasphasensynthese (Pratsinis, 1998). Letztere stellt ein besonders wichtiges großtechnisches Verfahren dar und kommt bei der Herstellung der kommerziellen Produkte Ruß, SiO_2 und TiO_2 zum Einsatz. Diese Produkte werden meist in Flammenreaktoren hergestellt, alternativ können jedoch auch Rohr- und Plasmareaktoren zum Einsatz gelangen (Kodas & Hampden-Smith, 1999). Der durch die teilweise parallel ablaufenden Phasen Keimbildung, Wachstum, Agglomeration und Sintern gekennzeichnete Prozessablauf (Artelt et al., 2005) ist dabei in hohem Maße von den Prozessbedingungen abhängig.

Ziel dieser Arbeit ist es, die einzelnen Prozessschritte näher zu untersuchen, um mittels einer verbesserten Kenntnis von Prozess-/Produkteigenschaftskorrelationen zu einem vertieften Verständnis der Aerosolsynthese zu gelangen. Dieses ist für die gezielte Steuerung von Partikeleigenschaften, die letztendlich die Qualität und den Wert eines Produkts bestimmen, von entscheidender Bedeutung.

Die in dieser Arbeit durchgeführten numerischen Untersuchungen betreffen die Prozessschritte Keimbildung, Wachstum und Agglomeration. Dabei stellen die Oberflächenenergie und die frei zugängliche Oberfläche zwei bislang nicht untersuchte Aspekte dar, deren Einfluss auf Keimbildungs- und Wachstumsraten und damit auf Produkteigenschaften wie die Primärpartikelgröße und Anzahl jedoch möglicherweise erheblich ist. Bei der Betrachtung der Agglomerationskinetik stehen die Entwicklung des fraktalen Verhaltens der Partikeln und die Bedeutung

elektrostatischer Wechselwirkungen im Vordergrund. Hier werden neben numerischen auch umfangreiche experimentelle Untersuchungen mittels eines eigens konzipierten gepulsten Plasmareaktors durchgeführt. Da ein gepulstes und damit instationäres Plasma hohe Energiedichten (z.B. Kalin et al., 1997, Piekoszewski et al., 2001) mit hohen Abkühlraten (z.B. Yan et al., 1998) verbindet, wird mit dem Entstehen besonders kleiner, wenig versinterter Partikeln gerechnet. Das betrachtete Verfahren bietet durch Aufladung der Partikeln zudem möglicherweise die Chance, Partikel-Partikel-Wechselwirkungen als zusätzlichen freien Parameter zur Steuerung der Partikelbildungskinetik einzusetzen.