

2.1 Historische Aspekte

Im aktuellen wissenschaftlichen und gesellschaftspolitischen Diskurs über Nanopartikel in der wässrigen Umwelt fällt auf, dass es eine teilweise erbitterte Diskussion um Begriffsdefinitionen gibt und dass viele Begriffe nicht korrekt gebraucht werden. In diesem Zusammenhang ist zunächst die häufig synonyme Verwendung von *Nanopartikel* und *Kolloid* zu nennen.

Der Begriff *Kolloid* leitet sich von den griechischen Worten *κόλλα* (*kólla* = Leim) und *οειδής* (*oeidés* = ähnlich) ab. Nach IUPAC (*International Union of Pure and Applied Chemistry*) [5] werden unter Kolloiden Objekte verstanden, bei denen zumindest eine Dimension eine Länge von 1 nm bis 1000 nm besitzt. Damit wird klar, dass Kolloide nur teilweise nanoskalig sind und sich eine synonyme Verwendung der Begriffe *Nanopartikel* und *Kolloid* verbietet (siehe auch Abb. 1.1). Um zu verstehen, warum dies dennoch oft geschieht, ist ein kurzer Blick in die Wissenschaftsgeschichte notwendig.

Die bewusste und wissenschaftliche Beschäftigung mit Kolloiden ist noch keine 200 Jahre alt; der englische Physiker Thomas Graham hat 1861 den Begriff *Kolloid* geprägt; auch Michael Faraday experimentierte mit kolloidalem Gold. Besonders in Deutschland hatte die Kolloidforschung in der ersten Hälfte des 20. Jahrhunderts ihre erste Blütezeit. 1922 wurde die *Kolloid-Gesellschaft zur Pflege und Förderung der Kolloidwissenschaft* in Leipzig gegründet (sie existiert noch heute). Für kolloidchemische Arbeiten erhielt 1925 der österreichische Chemiker Richard Zsigmondy den Nobelpreis für Chemie. Es verwundert daher nicht, wenn der deutsche Kolloidchemiker Wolfgang Ostwald 1922 schreibt [3, 6]:

„Ich weiß keinen Zweig der heutigen Naturwissenschaften, der derartig viele und verschiedenartige Interessenkreise berührt, wie die Kolloidchemie. Gewiss, auch Atomtheorie und Radioaktivität interessieren heute jeden intellektuell wachen Menschen. Aber dies sind geistige Delikatessen verglichen mit der Kolloidchemie, die für viele theoretische und praktische Gebiete nötig ist heute wie das liebe Brot.“

Ostwald bezeichnete Kolloide als „Welt der vernachlässigten Dimensionen“ [7]. Dies wurde insbesondere ab den 1980er Jahren wieder klar, als man sich intensiv mit dem Transportverhalten von Schadstoffen im Grundwasser beschäftigte. Es zeigte sich, dass konventionelle Zwei-Phasen-Modelle (gelöste Phase, Feststoffphase) nicht ausreichend waren, um die Verbreitung und den Transport mancher Stoffe (insbesondere von Schwermetallen, Radionukliden und organischen Schadstoffen) zu verstehen [8, 9]. Als praktikabel hat sich die Annahme erwiesen, dass viele Schadstoffe an Kolloide sorbieren, mit diesen transportiert werden („Rucksack-Effekt“) und bei sich ändernden physikalisch-chemischen Randbedingungen wieder freigesetzt werden. Dieser kolloidal-gestützte Stofftransport war im Blickpunkt zahlreicher Forschungsprogramme [9].

Spannend in diesem Zusammenhang ist ein 1993 von Jopp in der Wochenzeitung DIE ZEIT veröffentlichter Artikel zum Thema Kolloidchemie („Potente Krümel“), in der er schreibt [10]:

„Der Forschungszweig mit der ehrwürdigen Tradition verspricht also mehr zu sein als eine technische Mode. Doch weltweit arbeiten derzeit noch nicht einmal ein Dutzend Teams von Kolloidchemikern. Für das neue Max-Planck-Institut sowie die Kolloidlabor der deutschen Chemieindustrie bestehen also gute Chancen, sich rechtzeitig eine führende Rolle auf diesem Gebiet zu erarbeiten.“

Im Artikel fällt auch beiläufig der Begriff *Nanopartikel*. In den folgenden Jahren erschließen sich die Möglichkeiten der *Nanotechnologien* immer mehr; nach Lektüre alter kolloidchemischer Literatur könnte man auch sagen: wieder neu [3]. Hauptsächlich seit Anfang der 2000er Jahre kam es dann zu einer enormen politischen Förderung der Nanotechnologien. Eine führende Rolle hierbei spielten die USA, wo Forscher wie Mihail Roco beim US-Präsidenten (damals: Bill Clinton) mit der *National Nanotechnology Initiative (NNI)* vorstellig wurden; seither werden nanotechnologische Projekte stark gefördert (derzeitige Größenordnung des Budgets für die *NNI*: 1.5 Mrd. US-Dollar/Jahr; www.nano.gov). Andere Staaten wie Deutschland und Japan sehen ebenfalls das technologische wie auch wirtschaftliche Potenzial; ob allerdings prophezeite Marktvolumina im Billionen-Bereich realistisch sind, sei hier in Frage gestellt. Mehr zu den Hintergründen findet sich in [11].

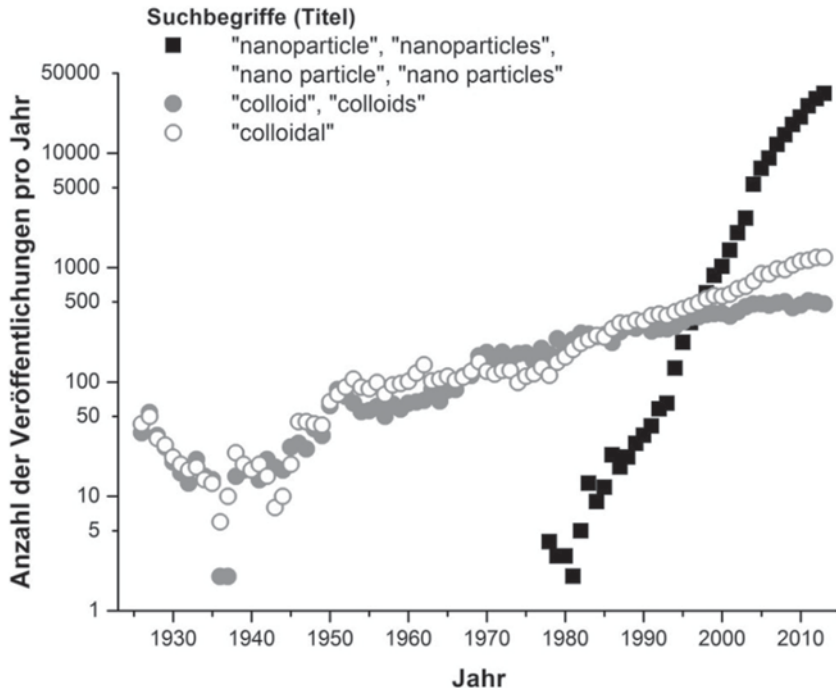


Abb. 2.1 Veröffentlichungen zu *Nanopartikeln* und *Kolloiden* als Spiegel des Zeitgeistes. (Erläuterungen im Text, man beachte den halb-logarithmischen Maßstab!)

Fakt ist: *nano* ist im Trend. Diese Entwicklung spiegeln die in Abb. 2.1 dargestellten Zahlen zu den wissenschaftlichen Veröffentlichungen teilweise wider. Die Abbildung zeigt die Anzahl der wissenschaftlichen Veröffentlichungen zu den Suchbegriffen *nanoparticle*, *colloid* und *colloidal* pro Jahr über die letzten Jahrzehnte (Zugriff über WEB OF SCIENCE TM, Suche mit unterschiedlichen Schreibweisen).

Es fällt deutlich auf, dass erst ab Ende der 1970er Jahre Veröffentlichungen zu Nanopartikeln auftauchen; dann allerdings steigt die Anzahl der diesbezüglichen jährlichen Publikationen innerhalb kurzer Zeit erheblich an, zwischen 1994 und 2005 besonders stark. Bereits 2000 übertrifft die Gesamtanzahl der Publikationen zu *nanoparticle(s)* die zu *colloid(s)* + *colloidal*; 2013 liegt die Anzahl der Veröffentlichungen zu *nanoparticle(s)* bei über 30.000. Demgegenüber liegt die Anzahl der registrierten Veröffentlichungen über Kolloide um fast zwei Größenordnungen darunter; ab 1997 stagniert das Niveau auf 400 bis 500 Veröffentlichungen pro

Jahr. Eine interessante Rolle spielt die Verwendung von *colloidal* im Titel der Veröffentlichung. Sieht es bis Ende der 1990er Jahre so aus, als sei die anzahlmäßige Verwendung von *colloid(s)* und *colloidal* im Veröffentlichungstitel weitgehend ähnlich und damit zufällig, fällt danach eine deutliche Präferenz für *colloidal* auf. *colloidal* als Eigenschaft scheint noch übertragbarer und trendfähiger zu sein als der Begriff *colloid*.

In diesem Zusammenhang weisen Meier [11] und Schummer [12] auf die enge Korrelation zwischen dem Verlauf des Budget der US-amerikanischen *National Nanotechnology Initiative* und der Anzahl der Publikationen mit *nano* im Titel und Beteiligung von US-Forschern hin („*science follows money*“).

2.2 Begriffsbestimmungen und Systematik

Bislang haben wir einige Begriffe verwendet, ohne diese genau zu definieren. Eine exakte und einheitliche Terminologie ist aber unumgänglich, um Missverständnisse und Kommunikationsschwierigkeiten möglichst weit zu minimieren. Eine äußerst nützliche Zusammenstellung der Terminologie findet sich in [13]; [14] gibt einen Überblick über die Standardisierungsaktivitäten zu Nanopartikeln. Im Folgenden werden ausgewählte Begriffe mit dem Hinweis auf die entsprechende Norm definiert; einige Anmerkungen werden ebenfalls mit angegeben.

Unter *Nanomaßstab* oder *nanoskalig* wird der „*Größenbereich von etwa 1 nm bis 100 nm*“ verstanden; der „*untere Grenzwert in dieser Definition (etwa 1 nm) wird eingeführt, um zu vermeiden, dass einzelne Atome oder kleine Atomgruppen als Nanoobjekte oder Bestandteile von Nanostrukturen bezeichnet werden, was bei Abwesenheit eines unteren Grenzwerts impliziert werden könnte.*“ [15].

Nach DIN ISO/TS 80004-1 [15] werden *Nanomaterialien* in *Nanoobjekte* und *nanostrukturierte Materialien* unterteilt. *Nanopartikel* sind *Nanoobjekte* mit drei Außenmaßen im Nanomaßstab. Wir sehen also, dass die synonyme Verwendung von *Nanomaterial* und *Nanopartikel* ebenfalls nicht korrekt ist. Weitere *Nanoobjekte* sind *Nanofasern* und *Nanoplättchen* (zwei Außenmaße beziehungsweise ein Außenmaß im Nanomaßstab) [16].

Die für uns wichtigsten, derzeit gültigen Definitionen lauten:

- ***Nanomaterial***: „*Material mit einem oder mehreren Außenmaß(en) im Nanomaßstab oder mit einer inneren Struktur oder Oberflächenstruktur im Nanomaßstab.*“ [15].
- ***Nanoobjekt***: „*Material mit einem, zwei oder drei Außenmaß(en) im Nanomaßstab.*“ [16].

- **Nanopartikel:** „Nanoobjekt mit allen drei Außenmaßen im Nanomaßstab.“ [16]. Weiter wird ergänzt: „Wenn sich die Längen der längsten und der kürzesten Achsen des Nanoobjekts wesentlich unterscheiden (üblicherweise um mehr als das Dreifache), sollten die Begriffe Nanofaser oder Nanoplättchen statt des Begriffs Nanopartikel verwendet werden“.
- **Nanotechnologie:** „Anwendung der wissenschaftlichen Erkenntnisse zur Handhabung und Steuerung von Substanzen im Nanomaßstab, um größen- und strukturabhängige Eigenschaften und Phänomene zu nutzen, die sich von denen unterscheiden, die mit einzelnen Atomen beziehungsweise Molekülen oder mit höherskaligen Materialien verbunden sind.“ [15].
- **Nanowissenschaft:** „Untersuchung, Erforschung und Verständnis von Substanzen im nanoskaligen Bereich, bei denen größen- und strukturabhängige Eigenschaften und Phänomene auftreten können, die sich von denen einzelner Atome beziehungsweise Moleküle oder höherskaliger Materialien unterscheiden.“ [15].
- **Nanotoxikologie:** „Anwendung der Toxikologie auf Untersuchungen an Nanomaterialien.“ [17].

Außerdem nützliche Definitionen für unsere weiteren Betrachtungen sind:

- **Agglomerat:** „Ansammlung schwach gebundener Partikel oder Aggregate beziehungsweise Gemische der beiden, in der die resultierende Oberfläche ähnlich der Summe der Oberflächen der einzelnen Bestandteile ist.“ [16]. Weiter wird bemerkt: „ANMERKUNG 1 Die ein Agglomerat zusammenhaltenden Kräfte sind schwache Kräfte, zum Beispiel Van-der-Waals-Kräfte, oder einfache physikalische Verhakungen. ANMERKUNG 2 Agglomerate werden auch als Sekundärpartikel bezeichnet und die ursprünglichen Ausgangspartikel werden als Primärpartikel bezeichnet.“
- **Aggregat:** „Partikel aus fest gebundenen oder verschmolzenen Partikeln, bei dem die resultierende Oberfläche wesentlich kleiner als die Summe der berechneten Oberflächen der einzelnen Bestandteile sein kann.“ [16]. Weiter wird bemerkt: „ANMERKUNG 1 Die ein Aggregat zusammenhaltenden Kräfte sind starke Kräfte, zum Beispiel kovalente Bindungen oder solche, die auf Sintern oder komplexen physikalischen Verhakungen beruhen.“

Bereits im einleitenden Kapitel haben wir Nanopartikel im Hinblick auf ihre *core*-Materialien systematisiert dargestellt (Tab. 1.1). Eine weitere Unterteilungsmöglichkeit berücksichtigt, ob die Nanopartikel gezielt hergestellt wurden oder natürlichen Ursprungs sind und ob sie gewollt oder ungewollt in die Umwelt gelangen oder bei der Herstellung anfallen. Dies klingt auch partiell in der Normung an:

- **industriell hergestelltes Nanomaterial (manufactured nanomaterial):** „*Nanomaterial, das für wirtschaftliche Zwecke mit bestimmten Eigenschaften oder bestimmter Zusammensetzung hergestellt wird.*“ [15].
- **technisches Nanomaterial (engineered nanomaterial):** „*Nanomaterial, das für eine bestimmte Verwendung oder Funktion entwickelt wurde.*“ [15].
- **unbeabsichtigtes Nanomaterial:** „*Nanomaterial, das als unbeabsichtigtes Nebenprodukt eines Prozesses erzeugt wird.*“ [15]. Weiter wird bemerkt: „*Der Prozess umfasst Herstellungs-, biotechnologische oder andere Prozesse.*“

Eine lange und intensiv geführte Diskussion betrifft die Definition des Begriffs *Nanomaterial* im EU-Recht [11]. Hauptstreitpunkt war, ob bei der Partikelgröße eine anzahlbezogene oder eine massenbezogene Partikelgrößenverteilung einfließen sollte. Dies ist angesichts unserer Ausführungen über die partikelgrößenabhängige Reaktivität von Nanopartikeln von großer Bedeutung. Schließlich legte man sich so fest:

„Nanomaterial ist ein natürliches, bei Prozessen anfallendes oder hergestelltes Material, das Partikel in ungebundenem Zustand, als Aggregat oder als Agglomerat enthält, und bei dem mindestens 50 % der Partikel in der Anzahlgrößenverteilung ein oder mehrere Außenmaße im Bereich von 1 nm bis 100 nm haben.“ [18].

Entsprechend dieser Empfehlung der Europäischen Kommission von 2011 sind also auch natürlich erzeugte Teilchen (etwa Rußpartikel) Nanomaterialien. Nanotechnologische Anwendungen gibt es, wie eingangs schon bemerkt, schon seit mehreren Jahrtausenden, eine solche Benennung jedoch erst seit knapp 30 Jahren [13].

Nanopartikel in aquatischen Systemen

Eine kurze Einführung

Delay, M.

2015, VII, 41 S. 3 Abb., Softcover

ISBN: 978-3-658-08730-2