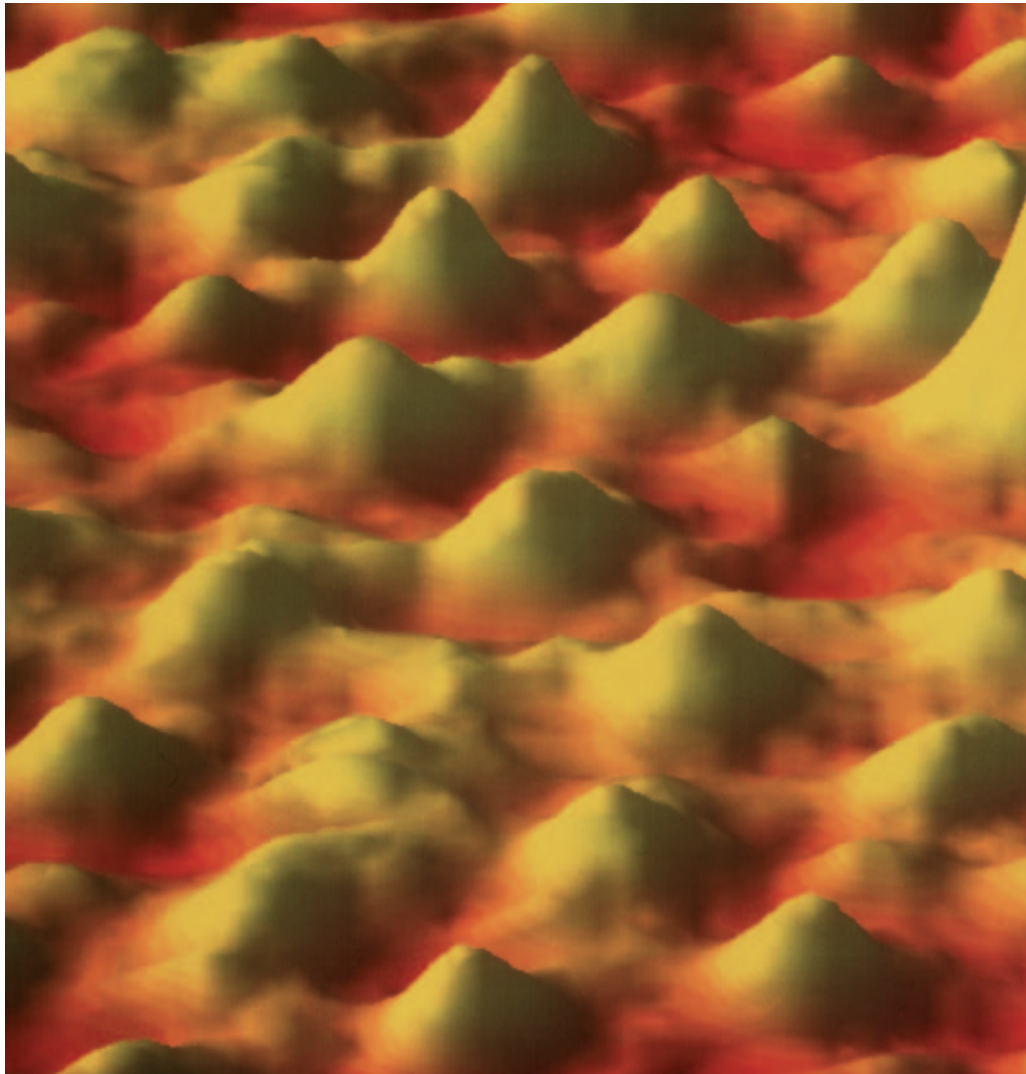


GAIiA

ÖKOLOGISCHE PERSPEKTIVEN FÜR
WISSENSCHAFT UND GESELLSCHAFT
ECOLOGICAL PERSPECTIVES FOR
SCIENCE AND SOCIETY

1 | 2005



-
- SCHWERPUNKT: NANOTECHNOLOGIE
 - INTERGENERATIONAL JUSTICE
 - NATUR, ZEIT UND RECHT
-

Vom Sportplatzbelag zum Nanopartikel: Die Kulturgeschichte des Staubes

Jens Soentgen

Die Forschungen zur Nanotechnologie stehen im Zusammenhang mit einer langen Tradition wissenschaftlicher und kultureller Auseinandersetzung mit staubfeinen Teilchen. Staubfeine Partikel werden meist einfach als „Staub“ bezeichnet. Der folgende Artikel zeichnet einige Stationen der Kultur- und Wissenschaftsgeschichte des Phänomens „Staub“ nach. Ziel ist es, die historischen Hintergründe der aktuellen Diskussion um die Nanotechnologie nachvollziehbar zu machen.

Staub begleitet die Menschen seit Anbeginn. Davon legen die Familiennamen beredtes Zeugnis ab. Stuyvesant etwa, der Name des ersten Bürgermeisters von New York, bezeichnet einen flotten Reiter, der „Sand aufstäubt“. Und Stoiber, der Name des bayerischen Ministerpräsidenten, bezeichnet einen „unruhigen Menschen, der Staub aufwirbelt“. Doch nicht nur jeder einzelne, auch jede Kultur hat eine besondere Beziehung zum Staub. Im Judentum und später im Christentum war der Staub vielfach ein *memento mori*. Die alten Griechen hingegen hielten feinen Staub nicht für eine tragische, sondern für eine nützliche Sache. Sie importierten ihn von weither und nutzten ihn als Sportplatzbelag. Zugleich war Staub in der Antike ein wichtiges Schriftmedium: Auf staubbedeckten Flächen kann man leicht schreiben und zeichnen.

1 Der Umweltfaktor Staub

In der modernen Gesellschaft wird neben dem natürlich niedergehenden Staub der *anthropogene* Staub immer bedeutender. Anthropogener Staub entsteht bei allen industriellen Prozessen, bei Bautätigkeit, beim Bergbau, durch den Schienen- oder den Kraftfahrzeugverkehr. Daß Staub auch die Gesundheit gefährden kann, wurde erst mit den Anfängen der Arbeitsmedizin im späten 19. Jahrhundert bekannt. Ein wichtiges Kennzeichen des Staubes ist seine hohe Mobilität, und diese begründet seine Bedrohlichkeit – wenn er giftig ist, wie der radioaktive Staub, oder wenn er wie der lungengängige Feinstaub bis in die hintersten Alveolen und von dort in die Blutbahn gelangt. Im späten 19. Jahrhundert tauchte die „Staublung“ in den Lexika auf. Von dieser unterschied man bald verschiedene Varianten, je nachdem, ob

sie auf Kohle-, Kalk- oder Glasstaub zurückzuführen war. Zuvor fehlte eine Krankheitsdefinition, man sprach mit Blick auf bestimmte Erkrankungen der Bergarbeiter vielmehr unspezifisch von „Bergsucht“.

Erst mit der Asbeststaubthematik wurde Mitte der 1970er Jahre aus der arbeitsmedizinischen Diskussion um gesundheits-schädliche Wirkungen bestimmter Stäube ein öffentliches Thema. Denn der Asbeststaub betraf nicht nur einzelne Berufsgruppen, sondern potentiell jeden, weil Asbest als Zusatzstoff in vielen Baustoffen enthalten war und entsprechend in der Luft zahlreicher Gebäude nachgewiesen wurde. Daher wurde Asbest zu dem Modell für schädlichen Staub, einem Modell, das sich tief in das kulturelle Gedächtnis eingepägt hat. Auch in den aktuellen Diskussionen um mögliche gesundheitliche Risiken nanoskaliger Materialien taucht implizit oder explizit immer die Asbest-Analogie auf. Kohlenstoff-Nanotubes¹ etwa werden oft mit Asbest verglichen, weil beide Materialien wie Nadeln wirken.

Seit 1994 ist die Herstellung und Verwendung von Asbest in der Bundesrepublik Deutschland verboten. Etwas früher, in den 1970er Jahren, setzten bereits energische politische Maßnahmen zur Reduktion von Staubemissionen aus Feuerungs- und Industrieanlagen ein. Der Einbau von Staubabscheidern, besonders von Elektrofiltern in den Anlagen der Eisenhütten- und Stahlindustrie und in Kohlekraftwerken, zeitigte bald bemerkenswerte Erfolge: Die Schwebstaubbelastung ist in vielen europäischen Städten in den letzten Jahrzehnten durch den Einsatz von Filtertechnologien deutlich zurückgegangen.

Neben dem menschengemachten Staub findet der natürliche viel weniger Beachtung, vermutlich, weil er nicht zum Gegenstand politischer Regelungen und entsprechender Machtkämpfe gemacht werden kann. Dabei macht er den Hauptanteil der globalen Staubproduktion aus, auch wenn die Schätzungen der Experten bei seiner Bezifferung auseinandergehen: Er dürfte zwischen 80 und 90 Prozent betragen. Der natürliche Staub bewirkt durchaus Positives: Blütenstaub etwa ist für die Fortpflanzung der Pflanzen unerlässlich. Der mineralische Staub, der vom Boden aufgewirbelt wird, hat ebenfalls eine ökologische Funktion.

Kontakt: Dr. Jens Soentgen | Wissenschaftszentrum Umwelt |
Universität Augsburg | Universitätsstr. 1a | D-86159 Augsburg |
Tel.: +49 / 821 / 598 35 60 | Fax: +49 / 821 / 598 35 59 |
E-Mail: soentgen@wzu.uni-augsburg.de

So versorgen zum Beispiel die Staubverwehungen aus der Sahara zum einen die Ozeane mit Eisen, das für die Bildung von Plankton unabdingbar ist. Zum anderen spielt das in den Saharastäuben enthaltene Phosphat eine wichtige Rolle im Ökosystem des Amazonasregenwaldes.

2 Die Techniken der Staubbeobachtung und der Stauberstellung

Zweimal ist Staub bislang in der Wissenschaft ein wichtiges Thema geworden – beide Male geknüpft an Fortschritte in den Beobachtungstechnologien. Im 17. und 18. Jahrhundert begeisterten die ersten Mikroskopierversuche erstmals für das Winzige. *Alles ist belebt*, so lehrt Gottfried Wilhelm Leibniz in seiner *Monadologie*, jedes noch so kleine Materieteilchen ist ein „Garten voller Pflanzen und ein Teich voller Fische.“ An den Basler Mathematiker Johann Bernoulli schrieb Leibniz, er sei überzeugt, daß noch im kleinsten Stäubchen Welten enthalten seien, die der unseren an Schönheit und Vielfalt nicht nachstehen. Und im Tod vollzögen die Lebewesen den Übergang in solche Welten. Daß im Winzigen auch tödliche Gefahren lauern könnten, zog der optimistische Gelehrte nicht in Betracht. Jedoch versäumte er nicht, auf die Konsequenzen seiner Lehre für das Verständnis der makroskopischen Welt hinzuweisen. So sei die Vorstellung von kompakten Dingen eine Illusion. Vielmehr sei jedes sichtbare Ding einem Schwarm vergleichbar, von dem in jedem Augenblick Teilchen hinwegfliegen und zu dem sich in jedem Augenblick neue Teilchen hinzugesellen.

Erst im 19. Jahrhundert begann man systematisch mit der mikroskopischen Erforschung des luftgetragenen Staubes – und entdeckte einen fliegenden Zoo von Lebewesen, Keimen und Pollen. Dieser wurde bereits 1848 von dem Berliner Biologen Christian Gottfried Ehrenberg beschrieben. Ehrenberg war der wohl berühmteste Mikroskopfachmann seiner Zeit – und er hatte sich von Forschungsreisenden aus aller Welt Staubproben zusenden lassen. Aus den in diesem Staub enthaltenen Mikroorganismen konnte er auf die Herkunftsregionen der Stäube schließen und bemerkte, daß diese zum Teil sehr weit durch die Luft segelten. Nebenbei entzauberte er einen uralten Mythos: die Legende vom Blutregen. Ehrenberg erkannte, daß der „blutige Regen“, der Berichten zufolge viele historische Ereignisse beeinflusst haben soll, lediglich roter Staub war, der aus der Atmosphäre ausgewaschen wurde. Doch war diese Entdeckung gleichsam nur ein Nebeneffekt seiner intensiven Beschäftigung mit den luftgetragenen Organismen. Ihrem „großen, organischen, unsichtbaren Wirken und Leben“ galt seine ganze Leidenschaft.

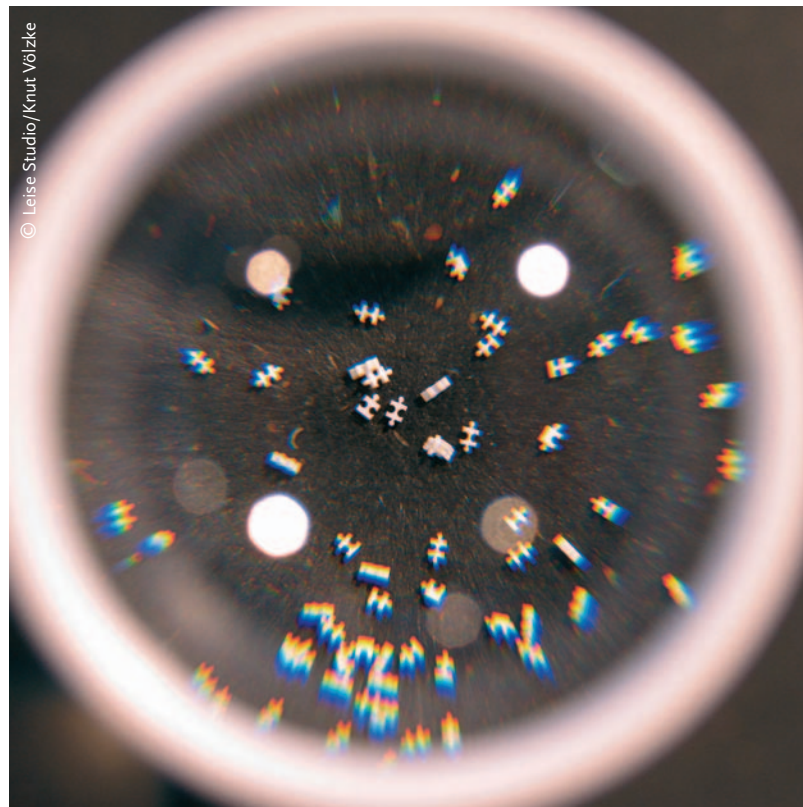
Die gesundheitliche Relevanz des organischen Staubes scheint erst der britische Physiker John Tyndall systematisch untersucht zu haben. Tyndall hatte bemerkt, daß auch Luft, die keinen mit dem bloßen Auge erkennbaren Staub mehr enthält, noch Lichtstrahlen streut. Daraus leitete er ab, daß auch in dieser Luft feine Schwebeteilchen enthalten sein müssen. Über die Keimtheorie seines Freundes, des französischen Mediziners Louis Pasteur, gut informiert, schloß Tyndall, daß über diese Schwebeteilchen Krankheiten übertragen werden. Seine Erkenntnis begründete zahlreiche hygienische Maßnahmen in Krankenhäusern und Operationssälen. Tyndall konstruierte Filteranlagen, deren Einsatz er besonders Ärzten empfahl und die alle Schwebeteilchen aus der Luft herausfiltern sollten. Tyndall nahm auch die erste Messung des Staubgehaltes der Luft in London vor. Heute noch funktionieren viele der Staubmeßgeräte, die etwa Umweltämter einsetzen, ähnlich wie jene ersten, von Tyndall konstruierten.

Den nächsten qualitativen Sprung in der Erforschung staubfeiner Partikel brachte das von Heinrich Rohrer und Gerd Binnig in den 80er Jahren des 20. Jahrhunderts entwickelte Rastertunnelmikroskop. Es ermöglicht, von sehr kleinen Partikeln Oberflächenkarten anzufertigen, die an Genauigkeit jedes lichtmikroskopische Bild übertreffen. Sogar atomare Strukturen von wenigen Milliardstel Metern – also Nanometern – können kartiert werden. Die Entwicklung des Rastertunnelmikroskops war die Voraussetzung dafür, daß heute sehr kleine Partikel nicht nur genauer charakterisiert, sondern auch einzeln manipuliert werden können: Neue mikrotechnologische Verfahren erlauben einen präzisen Zugriff auch auf winzigste Strukturen.

Neben dem Rastertunnelmikroskop wurden weitere Verfahren entwickelt, die es gestatten, staubfeine Teilchen zu charakte-

>

Die Kulturgeschichte des Staubes hat viele Facetten – die wie Puzzleteile zusammengesetzt werden können: Hier das Mikropuzzle des Laserzentrums Hannover e. V.



1 Kohlenstoff-Nanotubes wurden 1991 von dem Japaner Sumio Iijima entdeckt. Es handelt sich um Kohlenstoffmoleküle in Form langer Röhren mit Durchmessern von einem bis mehreren Nanometern. Sie können sowohl Halbleiter wie auch Leiter sein, gehören zu den Materialien mit der höchsten Wärmeleitfähigkeit überhaupt und sind fester als Stahl.

BOX: Ausstellung Staub – Spiegel der Umwelt

Vor dem Hintergrund der öffentlichen Diskussionen über Feinstäube und über die Chancen und Risiken nanotechnologischer Anwendungen hat das Wissenschaftszentrum Umwelt der Universität Augsburg eine Staubausstellung konzipiert.

Die Ausstellung *Staub – Spiegel der Umwelt* ist bis zum 29. April 2005 im Wissenschaftszentrum Umwelt der Universität Augsburg zu sehen. Sie umfasst mehrere Experimentierstationen und 150 Einzelexponate. Alle Informationen sind so gehalten, daß sie gerade auch von Nichtwissenschaftlern nachvollzogen werden können. Konzipiert und realisiert wurde sie unter Mitwirkung mehrerer Künstlerinnen und Künstler, Designerinnen und Designer von Jens Soentgen und Knut Völzke. (www.staubausstellung.de)

In der ersten Jahreshälfte 2005 erscheint im oekom verlag das Buch *Staub – Spiegel der Umwelt* als erster Band der Reihe *Stoffgeschichten*. Der Titel vereint aktuelle Aufsätze von Umweltwissenschaftlern zum Thema Staub.

risieren – und damit auch zu interpretieren. Moderne Staubforscher sind in der Lage, aus den Eigenschaften und Umgebungen winziger Partikel weitreichende Schlüsse zu ziehen: Kriminalisten nutzen staubfeine Spuren, die am Tatort gesichert wurden, zur Aufklärung von Verbrechen – wenige Milligramm Material erzählen ihnen Geschichten. Nicht minder virtuos in der Entzifferung des scheinbar Zerstorbenen sind Planetologen, die aus Teilchen, die gar nicht mehr sichtbar sind und in der Stratosphäre mit hohem Aufwand und winziger Ausbeute gesammelt werden, Informationen über den Urzustand des Weltalls herauslesen. Für Pollenforscher, die sich mit fossilem Staub befassen, entstehen aus den Körnchen, die sie in Mooren sichern, ganze Bilder vergangener Landschaften.

Die Entfaltung der Möglichkeiten, Stäube zu *analysieren*, geht einher mit der Entfaltung der Techniken, Stäube *herzustellen*. Das Mahlen ist auch heute noch die mengenmäßig wichtigste Technologie, doch gibt es zahlreiche neuartige Techniken, winzige Teilchen präparativ darzustellen, sei es auf wäßrigem Weg oder durch Verbrennung. Durch Steuerung der Präparationstechniken können die Eigenschaften der hergestellten Teilchen sehr genau ausgeformt werden. Diese Präparationstechniken machen einen wichtigen Teil dessen aus, was heute unter dem summarischen Begriff „Nanotechnologie“ erfaßt wird.

Von der Nanotechnologie sagen insbesondere viele Chemiker, sie betrachte unter einem neuen Namen inhaltlich viel Altbekanntes. Chemiker seien seit langem gewöhnt, nanoskalige

Die Ästhetik einer Wollmaus – wie sich die Ansicht auf Dinge doch mit der Entfernung ändert ...

© Dieter Schwer



Strukturen präzise herzustellen und präparativ zu gewinnen. Bereits im Mittelalter seien nanoskalige Modifikationen von Stoffen eingesetzt worden, zum Beispiel das purpurfarbene Goldpigment in Glasfenstern. Nanoskalige Rußpartikel seien schon von den alten Chinesen durch Verbrennung bestimmter Fette hergestellt worden. In der Tat war bei den nanoskaligen Verfahren die Praxis der Theorie an vielen Stellen voraus. Es verhält sich hier ähnlich wie in der Biotechnologie. Die Menschen wußten seit Jahrtausenden, wie man Bier braut oder Wein herstellt – jedoch erst im 19. Jahrhundert, mit Hilfe entwickelter Mikroskopietechnik, entdeckten sie, daß bei diesen Prozessen Mikroorganismen die Hauptrolle spielten. Erst damit war der Weg frei für ein systematisches Verständnis der „Gärungsprozesse“ und damit auch für die Weiterentwicklung der Technologie, die bald zur Entstehung neuer Industrien führte. Ähnlich gestatten es neue Analyse- und Beobachtungsverfahren, in erster Linie wohl das Rastertunnelmikroskop, nanoskalige Prozesse genauer zu beobachten und zu verstehen, die vielleicht schon seit langem, jedoch bislang nicht richtig erkannt waren.

Nanotechnologische Verfahren und Analysen sind nur in weitgehend staubfreien Räumen möglich, den „Reinräumen“. Die Reinraumtechnik ist damit eine der wichtigsten Voraussetzungen für die Kontrolle nanotechnologische Prozesse.

3 Staub als Phänomen

Staub kann sehr unterschiedlicher Herkunft und durch sehr unterschiedliche Bearbeitung entstanden sein. Der Gedanke liegt also nahe, daß es „an sich“ überhaupt keinen Staub gibt, daß Staub nur ein Sammelbegriff für sehr kleine Partikel mit sehr unterschiedlichen Eigenschaften ist. Doch alle Staubteilchen eint, daß ihre Oberfläche im Verhältnis zu ihrer Masse sehr groß ist. Und dieses Verhältnis bestimmt ihr Verhalten so grundlegend, daß es berechtigt erscheint, sie alle summarisch mit „Staub“ anzusprechen. Die Größe eines Teilchens ist nämlich nicht etwas bloß Relatives. Sie hat vielmehr physikalische Bedeutung – große Teilchen verhalten sich grundsätzlich anders als sehr kleine, aus welchen Stoffen auch immer sie zusammengesetzt sein mögen. Deshalb ist das Zerkleinern einer Substanz in kleinste Partikel

Jeder Materiepartikel kann als ein Garten voller Pflanzen und ein Teich voller Fische aufgefaßt werden. Aber jeder Zweig der Pflanze, jedes Glied des Tieres, jeder Tropfen seiner Körpersäfte ist noch ein solcher Garten oder ein solcher Teich.

Gottfried Wilhelm Leibniz: *Monadologie*

nicht nur ein mechanischer Vorgang, es verändert auch Eigenschaften des Stoffes, wenn auch nicht geradezu eine Stoffumwandlung stattfindet. In vielen Fällen scheint es jedoch sinnvoll, von nanoskaligen Modifikationen eines Stoffes zu sprechen. Die Quantität erweist sich als Qualität, und zwar noch bevor diejenigen Größenordnungen erreicht sind, in denen sich die Gesetze der Quantenmechanik bemerkbar machen.

Um das Verhalten sehr kleiner Partikel zu verstehen, kann ein Vergleich der makroskopischen Welt mit dem Reich der Insekten dienen. Die in unserem Leben dominierende physikalische Kraft ist die Schwerkraft. Sie formt unsere Knochen, leitet unsere Bewegungen, bestimmt über den Grundriß der Häuser und den Aufbau der Maschinen. Dies alles ändert sich bei den Insekten. Im Gegensatz zum Menschen ist ihre Körperoberfläche groß im Vergleich zu ihrer Masse. In ihrer Welt ordnet sich die Schwerkraft den Oberflächenkräften unter, die in unserer Welt eine weniger große Rolle spielen. Daher können Insekten problemlos an Wänden entlanggehen. Wenn ein Insekt aus großer Höhe herabfällt, landet es weich; der Luftwiderstand dient ihm als Puffer. Aufgrund der Oberflächenspannung können Insekten auf Wasser wie auf einer elastischen Membran gehen. Weil in der Insektenwelt die Oberfläche alles ist, sind sie auch grundlegend anders gebaut als die Menschen: Sie verfügen über andere Antriebs- und andere Stützsysteme. Nicht umsonst studieren Mikro- und Nanotechniker eher die winzigen Lebewesen als die großen, um auf neue Ideen für Mikrokonstruktionen zu kommen.

Zur Erforschung des Staubes haben fast alle Naturwissenschaften beigetragen – auch wenn die Physiker und die Chemiker alle wesentliche Erkenntnis für sich reklamieren. Gerade bei der Erforschung des Verhaltens kleiner Partikel ist jedoch der Beitrag der Biologen entscheidend. Die Biologen interessieren sich für das Winzige, weil die weitaus meisten Lebewesen kleiner als ein Millimeter sind. Es ist daher kein Zufall, daß es Biologen waren, die zwei der wichtigsten nanoskaligen Phänomene auf die Spur kamen: Beim Mikroskopieren von Pollenkörnern entdeckte der schottische Botaniker Robert Brown 1827 die Brownsche Molekularbewegung. In den 70er Jahren des 20. Jahrhunderts beobachtete Wilhelm Barthlott, wiederum ein Botaniker, den Lotoseffekt – jene nanoskalige Ausprägung von Oberflächenstrukturen, aufgrund derer bei der Lotuspflanze und bei einigen

anderen Pflanzen Wasser und Schmutz nicht an der Oberfläche haften, sondern abperlen.

Inzwischen gibt es Techniken, den Lotoseffekt technisch zu imitieren, das heißt, Oberflächen so zu behandeln, daß sie wie ein Lotosblatt Schmutz und Wasser abweisen. Da solche Oberflächen seltener gereinigt werden müssen, trägt diese Technologie zur Umweltentlastung bei.

In dieser Weise können nanoskalig strukturierte Materialien positive Nachhaltigkeitseffekte zeitigen, ein Argument, das in der aktuellen Diskussion um Nanotechnologie immer wieder vorgetragen wird. Als Risikoszenario werden vor allem gesundheitliche Risiken durch freigesetzte, luftgetragene Nanopartikel benannt. Oft wird dieser Risikohypothese durch die Analogie zum Asbeststaub Nachdruck verliehen. Auch an dieser Verknüpfung zeigt sich, daß die Nanotechnologie eng mit der Wissenschafts- und Kulturgeschichte des Staubes verbunden ist.

Verwendete Literatur

- Bachelard, G. 1933. *Les intuitions atomistiques – Essai de classification*. Paris: Boivin & Cie, Éditeurs 1933, insbesondere S. 19–40: La métaphysique de la poussière.
- Bucher, P. 1960. *Tiere als Mikrobenzüchter*. Berlin, Göttingen, Heidelberg: Springer Verlag.
- Büttner, J. U. 2004. *Asbest in der Vormoderne. Vom Mythos zur Wissenschaft*. Münster, New York, München, Berlin: Waxmann.
- Comtois, P. 2001. John Tyndall and the floating matter of the air. *Aerobiologica* 17: 193–202.
- Ehrenberg, Chr. G. 1849. *Passat – Staub und Blut – Regen. Ein großes unsichtbares Wirken und Leben in der Atmosphäre*. Berlin: Verlag der Akademie der Wissenschaften zu Berlin
- Gerdes, P. 1990. *Ethno geometrie. Kulturanthropologische Beiträge zur Genese und Didaktik der Geometrie*. Bad Salzdetfurth: Verlag Barbara Franzbecker, Kapitel 8.
- Jüthner. 1922. Artikel KONIZ (Staub). In: *Paulys Realencyclopädie der classischen Altertumswissenschaft*. Neue Bearbeitung begonnen von Georg Wissowa. Unter Mitwirkung zahlreicher Fachgenossen herausgegeben von Wilhelm Kroll. 22. Halbband, Stuttgart, Sp. 1312–1315.
- Lesêtre, H. 1912. Poussière (Staub). In: *Dictionnaire de la bible*. Herausgegeben von F. Vigouroux. Paris: Letouzey et Ané. 588–591.
- Leibniz, G. W. 1906. *Hauptschriften zur Grundlegung der Philosophie*. Band II. Herausgegeben von Ernst Cassirer. Hamburg: Felix Meiner.
- Ostwald, W. 1922. *Die Welt der vernachlässigten Dimensionen – eine Einführung in die moderne Kolloidchemie*. Dresden, Leipzig: Steinkopf.
- Schaller, F. 1962. *Die Unterwelt des Tierreiches. Kleine Biologie der Bodentiere*. Berlin, Göttingen, Heidelberg: Springer Verlag.
- Tyndall, J. 1874. Staub und Krankheit. In: *Fragmente aus den Naturwissenschaften*. Herausgegeben von J. Tyndall. Braunschweig: Vieweg und Sohn. 282–402.



Jens Soentgen

Geboren 1967 in Bensberg, Nordrhein-Westfalen. Studium der Chemie, 1996 Promotion in Philosophie mit einer Arbeit über den Stoffbegriff. Lehraufträge an verschiedenen deutschen Universitäten. Mehrfache Aufenthalte als Gastprofessor für Philosophie in Brasilien. Seit 2002 wissenschaftlicher Leiter des Wissenschaftszentrums Umwelt (WZU) der Universität Augsburg.