

DISS. ETH NO. 17495

**RISK MANAGEMENT OF NANOTECHNOLOGY
FROM A LIFE CYCLE PERSPECTIVE**

A dissertation submitted to

ETH ZURICH

for the degree of
Doctor of Sciences

presented by

ÅSGEIR HELLAND

Master of Science, Lund University
(2004)

born 04.01.1981

citizen of
Norway

accepted on the recommendation of

Prof. Dr. Roland W. Scholz, examiner

Prof. Dr. Michael Siegrist, co-examiner

Dr. Hans G. Kastenholz, co-examiner

2007

Abstract

Nanomaterials are predicted to have a strong influence on environmental health. These influences may be of beneficial or harmful nature. Nanomaterials have a wide application field and can be used for example for light weight materials, energy storage, and drug-delivery systems. However, nanomaterials have also been reported to cause toxic effects. A responsible development of nanomaterials will promote beneficial applications while safeguarding environmental health through effective risk management strategies. These strategies take place on many levels: the societal, the individual actor and the technological level.

In this thesis risk management strategies for nanomaterials were investigated, with a special focus on regulatory policy, industrial initiatives and the nanomaterial life cycle. The thesis is based on four papers published in peer-reviewed journals.

The first study showed how different stakeholders approach nanomaterial risks in Europe and how they evaluate regulatory initiatives. The objectives of this study were to understand possible consensus points and potential cooperative obstacles for risk management. The stakeholder study found that the type of regulation, industrial voluntary measures or top-down regulations, and whether regulations should be proactive or evidence-oriented were cooperative obstacles.

Industrial voluntary measures have been proposed as one of the most viable type of risk management. The second study investigated the industrial approaches to the issues of risks in regards to nanomaterial properties and risk assessment initiatives. A written survey of 40 companies working with nanomaterials in Germany and Switzerland was conducted. Twenty-six companies indicated that they did not perform any risk assessment of their nanomaterials and 13 companies performed risk assessments sometimes or always. Fate of nanomaterials in the use and disposal stage received little attention by industry and the majority of companies did not foresee unintentional release of nanomaterials throughout the life cycle.

The stakeholder study also found that the state of scientific evidence and the implications for regulations were disputed. Therefore, the third and fourth study investigated the current knowledge level in regards to potential hazards and exposure of carbon nanotubes (CNT). The third study reviewed the available literature on CNT environmental health impacts which was complemented by expert interviews. The findings suggest several key points: i) There are different types of CNT and therefore they cannot be considered a uniform group of substances; ii) CNT can be bioavailable and their properties suggest a possible accumulation along the food chain and high persistence; iii) In organisms the absorption, distribution, metabolism, excretion and toxicity of CNT depend on the inherent physical and chemical characteristics, such as CNT functionalisation, coating, length and agglomeration state. These characteristics are influenced by the external environmental conditions during the CNT production, usage and disposal stages.

The fourth study investigated the potential for CNT-release throughout the life cycle of two promising applications for CNT usage, namely batteries and textiles. The findings of these two case studies suggest that a release of nanotubes can occur not only in the production phase, but also in the usage and disposal phases. The likelihood and form of release is determined by the way CNT are incorporated into the application. As a consequence, characterized exposure scenarios could therefore be useful when conducting toxicological studies.

Zusammenfassung

Nanomaterialien werden in naher Zukunft einen großen Einfluss auf den Menschen und die Umwelt haben. Dieser Einfluss kann sich nutzbringend, aber auch nachteilig auswirken. Nanomaterialien haben ein weitgefasstes Anwendungspotential und können beispielsweise für die Herstellung von ultraleichten Materialien, für die Energiespeicherung oder die gezielte Pharmakotherapie eingesetzt werden. Einige Studien zeigten jedoch, dass Nanomaterialien auch toxische Effekte verursachen können. Eine verantwortliche Entwicklung von Nanomaterialien besteht unter anderem darin, nutzbringende Anwendungen zu fördern und gleichzeitig, durch ein effektives Risikomanagement, den Schutz von Mensch und Umwelt sicherzustellen. Solche Schutzmaßnahmen setzen auf der gesellschaftlichen Ebene, beim einzelnen Individuum oder im technologischen Bereich an.

Im Rahmen der vorliegenden Doktorarbeit werden Risikomanagementstrategien für Nanomaterialien untersucht. Besondere Berücksichtigung finden hierbei regulationspolitische Ansätze, industrielle Massnahmen sowie Instrumente zur Risikoabschätzung entlang des gesamten Lebenszyklus von Produkten. Die Doktorarbeit basiert auf vier, in peer-reviewten Zeitschriften, veröffentlichten Studien.

Die erste Studie untersuchte, wie verschiedene Interessensgruppen in Europa mit möglichen Risiken von Nanomaterialien umgehen und wie sie regulationsorientierte Initiativen bewerten. Ziel dieser Studie war es, mögliche Konsenspunkte wie auch potentielle Hindernisse für ein ziel führendes Risikomanagement zu identifizieren. Die Stakeholderanalyse zeigte unterschiedliche Vorstellungen bezüglich des Regulationsansatzes, wie zum Beispiel freiwillige Maßnahmen der Industrie vs. staatliche Regulierung, und proaktives vs. beweisorientiertes Vorgehen. Als eine der Zeit praktikabel Form des Risikomanagements wurden freiwillige industrielle Maßnahmen vorgeschlagen.

Die zweite Studie ging der Frage nach, ob und wie in der Industrie mögliche Risiken von verwendeten Nanomaterialien abgeschätzt werden. Es wurde eine schriftliche Umfrage unter 40 Unternehmen, die in der Schweiz und Deutschland mit Nanomaterialien arbeiten, durchgeführt. Sechszwanzig Firmen gaben an, dass sie keinerlei Risk Assessment ihrer Nanomaterialien durchführen, dreizehn Firmen machten manchmal oder immer ein Assessment. Vor allem während der Gebrauchs- und der Endorgungsphase wird dem Verbleib der verwendeten Nanomaterialien wenig Aufmerksamkeit geschenkt. Ein Großteil der Firmen rechnete nicht damit, dass über den gesamten Lebenszyklus, also bei der Herstellung, der Verwendung oder bei der Entsorgung, Nanomaterialien unbeabsichtigt entweichen könnten.

Die Stakeholderanalyse von der ersten Studie zeigte auch, dass die Einschätzung bezüglich der wissenschaftlichen Grundlage für eine Risikobeurteilung von Nanomaterialien und die damit verbundenen Implikationen für Regulationsmassnahmen umstritten waren. Daher wurde in zwei weiteren Studien das Risikopotential von Kohlenstoffnanoröhren (Carbon Nanotubes, CNT) untersucht. In der dritten Studie wurden die Auswirkungen von CNT auf Mensch und Umwelt analysiert und bewertet. Aus den Ergebnissen lassen sich folgende Kernaussagen formulieren: i) Es gibt verschiedene Arten von CNT. Daher können sie nicht als eine einheitliche Gruppe von Substanzen betrachtet werden. ii) Die CNT können bioverfügbar sein, und ihre spezifischen Eigenschaften deuten auf eine mögliche Akkumulation in der Nahrungskette und eine hohe Persistenz hin. iii) Innerhalb eines Organismus hängt die Absorption, die Distribution, der Metabolismus, die Ausscheidung und die Toxizität der CNT von ihren spezifischen physikalischen und chemischen Eigenschaften ab. Diese Eigenschaften, wie beispielsweise Funktion, Beschichtung, Länge und Agglomerationszustand, werden durch die äusseren Bedingungen während der Produktion, des Gebrauchs und der Entsorgung beeinflusst.

In der vierten Studie wurde die Möglichkeit einer Freisetzung von CNT während des gesamten Lebenszyklus untersucht. Hierzu wurden zwei Fallstudien (Textilien und Batterien) durchgeführt. Die Ergebnisse der

Fallstudien deuten darauf hin, dass eine Freisetzung von CNT nicht nur in der Produktionsphase, sondern auch während der Verwendung und der Entsorgung auftreten kann. Die Wahrscheinlichkeit und Form einer Freisetzung hängt davon ab, wie die CNT in der Anwendung eingebunden sind. Aus diesem Grund wären spezifische Expositionsszenarien bei der Durchführung von toxikologischen Studien sinnvoll.