

## Nanofasern

### Kurzfassung –

Über Jahrtausende hinweg wurden Fasern pflanzlichen und tierischen Ursprungs für die Herstellung von Geweben verwendet. Nach der Entwicklung von Ernte-, Reinigungs- und Verarbeitungsmaschinen im 18. und im 19. Jahrhundert konnten gewebte Stoffe in erheblichen Mengen und zu niedrigeren Preisen produziert werden. Auch gelang es bald, synthetische Fasern

aus unterschiedlichen Ausgangsstoffen (z.B. Nylon, Polyamide) herzustellen. Mit neuartigen Verfahren, so einem Spinn-verfahren unter Verwendung von elektrischen Feldern, dem 'electrospinning', konnte die Faser-herstellung kontinuierlich und ohne mechanische Berührung ablaufen. Es lassen sich so auch sehr dünne Fasern (z.B. Nanofasern ab ca. 40 nm Ø) aus einem weiten Spektrum von Grundmaterialien und unter Zugabe nützlicher Zusatzstoffe herstellen.

Dabei lassen sich Nanofasern, die entweder durch 'electrospinning' oder zahlreiche andere Verfahren hergestellt werden, in drei Gruppen einteilen:

- Nanofasern aus organischen Polymeren (z.B. Zellulose, Latex, Polyacrylsäure),
- Nanofasern mineralischen Ursprungs (z.B. Chrysotil-Asbest), sowie
- Kohlenstoff-Nanotubes (CNT).

Nanofasern werden für zahlreiche Anwendungen genutzt: als wirksames Filtermaterial, für Atemschutzmasken, für Membranen und für Elektroden in Batterien und Brennstoffzellen.

In Verbindung mit Polymeren entstehen daraus sehr widerstandsfähige Komposit-Materialien, die für eine Vielzahl von Anwendungen – wie z.B. in Sektoren des Leichtbaus – eingesetzt werden können.

Diese Fasern werden dann zum potentiellen Gesundheitsrisiko, wenn durch weitere Bearbeitungsschritte kurze, lungengängige Bruchstücke entstehen. Im Vergleich zu den im 'electrospinning'-Verfahren hergestellten, flexiblen Fasern aus organischen Polymeren weisen steife Nanofasern jedoch ein deutlich höheres Risiko auf. Ähnlich wie dies bereits aus der Verwendung der mineralischen Nanofasern aus Asbest bekannt ist, können solche beständigen und soliden Fasern gesundheitsschädigende Auswirkungen haben, wenn sie in die Lungen gelangen. Da sie dort nicht aufgelöst und auch von den Fresszellen, den Makrophagen, nicht umschlossen werden können, bilden sie Entzündungsherde, die in der Folge Lungenkrebs und Bauchfellkrebs (Mesotheliome) hervorrufen.

Ähnliche Bedenken werden auch im Hinblick auf die sehr beständigen Kohlenstoff-Nanoröhrchen (CNT) geäußert. So haben vergleichende Untersuchungen gezeigt, dass CNT-

Fasern – im Tierversuch – ähnliche Wirkungen haben wie Asbest, dessen fibrogene und kanzerogene Wirkung auf den menschlichen Organismus nachgewiesen ist.

Aus diesem Grund sollten beim Umgang mit CNT und anderen biobeständigen steifen Nanofasern strikte Vorsichtsmaßnahmen beachtet werden, damit eine Inhalation dieser Substanzen vermieden wird. Dies gilt auch bei der Bearbeitung von Nanofasern enthaltenden Kompositmaterialien, bei der die Nanofasern freigesetzt werden können.

## Historische Entwicklung -

Fasern biologischen Ursprungs, von Tieren wie auch von Pflanzen, werden seit Jahrtausenden für die Herstellung von Geweben genutzt. Seit der Antike waren aber auch faserförmige Bestandteile von Silikatmineralien, die als 'Asbest' bezeichnet werden, in Gebrauch!

Neue technische Geräte für die Reinigung der Naturfasern und deren Verarbeitung wurden im 18. und im 19. Jahrhundert entwickelt; mechanische Webstühle erlaubten ab 1800 die Herstellung von Geweben in erheblichem Umfang und zu sinkenden Kosten.

Auch im Bereich der Produktion von synthetischen Fasern wurden neue technische Verfahren genutzt.

## Nanofasern aus organischen Polymeren:

Nanofasern aus organischen Polymeren - wie z.B. Nanolignin und Nanocellulose – werden oft mit einem elektrostatischen Spinnverfahren - 'electro-spinning' – hergestellt. Dabei wird ein hohes elektrostatisches Feld verwendet, durch das die Lösung einer geeigneten Substanz aus einer dünnen Kapillare auf eine gegenüberliegende Elektrode gezogen wird. Nach der Verdunstung des Lösungsmittels können die entstandenen Fasern auf einer rotierenden Trommel gesammelt oder auch die in der Form eines ungeordneten Gewebenetzes, einer 'non-woven fiber mat' deponiert werden.

Durch die Wahl geeigneter Prozessparameter lassen sich mit einem solchen Verfahren auch sehr dünne Fasern herstellen, deren Durchmesser zum Teil im Sub-Mikron-Bereich liegen, zwischen ca. 40 nm bis hin zu mehreren Hunderten von Nanometern.

## Spezialfall: Kohlenstoffnanoröhrchen CNT –

Zur Gruppe der 'Nanofasern' zählen auch die 'Kohlenstoff-Nanoröhrchen' (CNT). Sie entstehen allerdings nicht durch ein Verfahren der Faserherstellung, sondern durch die Kondensation eines Kohlenstoff-Dampfes, etwa unter Verwendung von Bogenentladungen oder durch Laserverfahren. Dabei ordnen sich die Kohlenstoff-Atome zu Hohlzylindern mit extrem kleinen Dimensionen an ( $\varnothing$  zwischen 2 nm und 100 nm; Längen von einigen Mikrometern bis hin zu mehreren Zentimetern).

## Verwendung von Nanofasern –

Solche 'Nanofasern' können für viele Zwecke eingesetzt werden, und weitere mögliche Anwendungen werden noch erforscht:

- Dünne Kunststofffasern, die in ungeordneten Strukturen abgelegt werden, lassen eine sehr feine Watte entstehen, die wegen ihrer porösen Feinstruktur hervorragend geeignet ist, um als Filtermaterial für Atemschutzmasken oder in Schutzkleidung zu dienen.
- Auch die Verwendung als Membran zur Gewinnung von Trinkwasser aus Meerwasser, die bei niedrigen Temperaturen und mit geringerem Energieeinsatz ablaufen könnte, wird in Pilotvorhaben erforscht.
- Dank der sehr hohen inneren Oberflächen können Gewebe aus Nanofasern, wenn sie mit elektrisch leitenden Zusätzen versehen werden, als Elektroden in neuartigen Batterien oder auch in Hochleistungskondensatoren ('supercapacitors') dienen.
- Die Verwendung als Speichermedium für Wasserstoff, der in Brennstoffzellen benötigt wird, ist in Erprobung, und auch eine Nutzung als Komponenten in Solarzellen wird untersucht.
- Eine Verwendung von bioverträglichen Ausgangsmaterialien (wie etwa Polymilchsäure, aber auch von Spinnenseidenproteinen) ermöglicht die Produktion von Nanofasern, die sowohl exzellente mechanische Eigenschaften wie zugleich auch Bioverträglichkeit aufweisen. Damit können neuartige Verbandsmaterialien für offene Wunden und Implantate für die regenerative Medizin hergestellt werden.
- Eine zunehmend wichtigere Verwendung bilden die Verbundwerkstoffe, bei denen Fasern zur Erhöhung von Stabilität und Reißfestigkeit in eine Matrix aus Polymeren eingebettet werden. Die nur sehr geringen Durchmesser solcher Nanofasern bringen es mit sich, dass die Adhäsion im Komposit-Verbund – und damit deren mechanische Eigenschaften und Beständigkeit – weit höher ist als bei einer Verwendung von Aramid- oder Glasfasern.
- CNT-Röhrchen haben wegen ihrer hoher Beständigkeit und der extremen Zugfestigkeit bereits Verwendung im Bereich von Kompositmaterialien, so für Sportgeräte, im Automobil- und Leichtbau gefunden. Und auch für Elektronik- und Sensoranwendungen eröffnen CNT-Materialien neue Möglichkeiten, da sie über eine extrem hohe Strombelastbarkeit und ausgezeichnete thermische Leitfähigkeit verfügen. Es werden

daher auch Verwendungen von CNTs als Bauelemente einer neuen Nanoelektronik-Technologie - 'Carbon Nanotube Electronics' - erforscht.

### Risiken von Nanofasern –

In einer systematischen Studie der Risiken unterschiedlicher Fasern, die 2006 vom britischen Gesundheitsressort HSE veröffentlicht wurde<sup>ii</sup>, erläutern die Forscherinnen und Forscher, dass es vor allem sehr dünne (mit weniger als 3 µm Durchmesser) und eher lange (mit > 100 µm Länge) Nanofasern sind, die gesundheitliche Schädigungen hervorrufen. Denn sie können bis in die feinsten Verästelungen der Lunge gelangen und werden dort - wegen ihrer hohen Beständigkeit - nicht durch die Lungenflüssigkeit abgebaut. Da sie wegen ihrer Ausdehnung nicht von den Makrophagen der Lunge ganz umschlossen und entfernt werden können, sind sie Auslöser von entzündlichen Veränderungen. Besonders kritisch werden steife Nanofasern mit einer Länge von mehr als 15 µm angesehen, weil diese die Makrophagen zerstören.

Auch für die Risiken von CNT-Materialien scheinen diese Zusammenhänge zu gelten; die Kohlenstoffröhrchen und -fasern sind für ihre sehr hohe Reißfestigkeit und Beständigkeit bekannt, die so auch einen Abbau der in die Lungen gelangten Nanofasern verhindert.

Wie in mehreren Tierversuchen bestätigt wurde<sup>iii</sup>, lösen inhalierte CNT-Fasern pathologische Veränderungen, sowie nach dem Einbringen in die Bauchhöhle der Versuchstieren, auch Vorstufen von Krebserkrankungen aus. Die deutsche Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin – BAuA – hat dies so erläutert<sup>iv</sup>:

» *Wie CNT auf den menschlichen Organismus wirken, ist derzeit noch unzureichend erforscht.*

*Bisher gibt es ausschließlich toxikologische Untersuchungen an Tieren, die auf mögliche gesundheitliche Gefährdungen durch CNT hinweisen. So zeigen vergleichende Untersuchungen ähnliche Wirkungen wie durch Asbest, dessen fibrogene und kanzerogene Wirkung auf den menschlichen Organismus nachgewiesen ist. ... «*

Der Umgang mit Produkten, die Kohlenstoffnanoröhrchen in fest gebundener Form enthalten, wird zwar derzeit zumeist nicht als kritisch in Bezug auf Inhalation betrachtet<sup>v</sup>, allerdings sollten bei der Produktion und vor allem auch der Verarbeitung dieser CNT-Materialien Vorsichtsmaßnahmen beachtet werden, die beim Umgang mit gefährlichen Arbeitsstoffen üblich sind<sup>vi</sup>.

---

<sup>i</sup> Scientific American, (July 1997), pp. 70 - 75), J.E. Alleman, Brooke T. Mossman :

Asbestos Revisited - once considered safe enough to use in toothpaste, this unique substance has intrigued people for more than 2,000 years,

[http://www.virlab.virginia.edu/Nanoscience\\_class/lecture\\_notes/Lecture\\_14\\_Materials/Asbestos\\_CNT/Sci%20Am%20-%20Asbestos%20Revisited%20-%20July%201997.pdf](http://www.virlab.virginia.edu/Nanoscience_class/lecture_notes/Lecture_14_Materials/Asbestos_CNT/Sci%20Am%20-%20Asbestos%20Revisited%20-%20July%201997.pdf)

<sup>ii</sup> UK HSE - Health & Safety Executive : An inventory of fibres to classify their potential hazard and risk (2006), 116 p.,

<http://www.hse.gov.uk/research/rrpdf/rr503.pdf>

<sup>iii</sup> F. Murphy, C.A: Poland et al :

Length-Dependent Retention of Carbon Nanotubes in the Pleural Space of Mice Initiates Sustained Inflammation and Progressive Fibrosis on the Parietal Pleura, (June 2011),

in: American Journal of Pathology, June 2011, Vol. 178, No. 6, pp. 2587 - 2600,

[https://ajp.amjpathol.org/article/S0002-9440\(11\)00274-4/fulltext](https://ajp.amjpathol.org/article/S0002-9440(11)00274-4/fulltext) ).

<sup>iv</sup> Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin - Baua :

Arbeitsmedizinisch-toxikologische Beratung bei Tätigkeiten mit Kohlenstoffnanoröhrchen (CNT), 34 S., (Oktober 2015),

[https://www.baua.de/DE/Angebote/Publikationen/Praxis/A94.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=1](https://www.baua.de/DE/Angebote/Publikationen/Praxis/A94.pdf?__blob=publicationFile&v=1)

<sup>v</sup> Univ. of Edinburgh :

Carbon nanotube health hazard - Experts are warning of potential health dangers to workers handling carbon nanotubes used in everyday objects from tennis racquets to paint. (14. April 2016),

<https://www.ed.ac.uk/news/all-news/carbon-nanotubes>

<sup>vi</sup> Ministry of Environment and Food of Denmark - Environmental Protection Agency:

Carbon nanotubes - Types, products, market, and provisional assessment of the associated risks to man and the environment,

Environmental project No. 1805 (2015), 151 p.,

<https://www2.mst.dk/Udgiv/publications/2015/12/978-87-93352-98-8.pdf>

