

NanoDialog
der Bundesregierung

FachDialog
Chancen und Risiken
aktiver, nanoskaliger Materialien

Inhalt

1	Einleitung	3
1.1	NanoDialog der Bundesregierung	3
1.2	Zielsetzung des FachDialogs	4
2	Aktive, nanoskalige Materialien	5
3	Abstracts der Vorträge	6
3.1	Einführung	6
3.1.1	Was sind aktive, nanoskalige Materialien	6
3.2	Anwendungen in der Medizin	6
3.2.1	Aktive, nanoskalige Materialien in der Medizin: Nano trifft auf Bio	6
3.2.2	Aktive, nanoskalige Materialien in pharmakologischen Anwendungen	8
3.2.3	Nanoskalige Sensoren für die optische Diagnostik	9
3.3	Anwendungen in der Elektronik	10
3.3.1	Quantum Dots - eine neue Materialklasse für die Displaytechnologie	10
3.3.2	Nano-Material-basierte Elektronische Nase: Fluch oder Segen	10
3.3.3	Nano-Sensoren im Leichtbau: Smarte Hochleistungswerkstoffe	11
3.4	Weitere Anwendungen	12
3.4.1	DNA als Baustoff für aktive Nanomaterialien	12
3.4.2	Licht gegen Antibiotika Resistenz: Darstellung, Charakterisierung und biologische Eigenschaften neuer fotoaktiver Materialien	13
3.4.3	Elektroaktive Polymere	13
3.5	Regulierung und ethische Aspekte	14
3.5.1	Regulative Aspekte bzgl. aktiver, nanoskaliger Materialien in REACH und CLP-Verordnung	14

1 Einleitung

1.1 NanoDialog der Bundesregierung

Der FachDialog „Chancen und Risiken von aktiven, nanoskaligen Materialien“ wird vom Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz (BMUV) im Rahmen der 6. Phase des NanoDialogs¹ ausgerichtet. Es werden ca. 30 Teilnehmende aus verschiedenen Stakeholdergruppen sowie aus Ressorts und Behörden erwartet.

Der NanoDialog wurde in der NanoKommission 2006 auf Initiative des Bundesumweltministeriums ins Leben gerufen. Nach zwei Dialogphasen (2006 – 2008 und 2009 bis 2011) beendete die NanoKommission ihre Arbeit und der Dialog wird seitdem in Form zweitägiger FachDialog fortgesetzt.

Bei dem anstehenden FachDialog werden neben Nanomaterialien, welche die von der EU-Kommission vorgeschlagenen Definition² erfüllen, auch solche Substanzen und Materialien in den Fokus genommen, die größer als 100 nm, aber dennoch nanoskalig sind.

Die Vorträge und Diskussionen beim FachDialog werden in einer Zusammenfassung dokumentiert und im Internet veröffentlicht.

Das vorliegende Hintergrunddokument enthält neben einer kurzen Einführung, was unter aktiven, nanoskaligen Materialien im Kontext des Dialogs verstanden wird, die Abstracts der geplanten Vorträge. Eine Diskussion dieses Dokuments ist beim FachDialog nicht vorgesehen.

¹ Die Dokumentationen der vorhergehenden Veranstaltungen des NanoDialogs finden Sie auf den Internetseiten des BMUV <https://www.bmuv.de/themen/gesundheit-chemikalien/nanotechnologie/nanodialog-der-bundesregierung>

² EMPFEHLUNG DER KOMMISSION vom 18. Oktober 2011 zur Definition von Nanomaterialien. Der Vorschlag wird derzeit überarbeitet.

1.2 Zielsetzung des FachDialogs

Die Ziele des FachDialogs zu aktiven, nanoskaligen Materialien sind:

- Ein gemeinsames Verständnis darüber herstellen, was aktive, nanoskalige Materialien sind und ob es typische Zusammensetzungen und/oder Strukturen gibt,
- Einen Überblick über die Funktionalitäten aktiver, nanoskaliger Materialien und die (deswegen) möglichen Anwendungsfelder geben, einschließlich einer Vorstellung von Produkten, die bereits vermarktet werden und solcher, die sich noch in der Forschung und Entwicklung befinden,
- Einen Austausch der Stakeholder über die Chancen und Potenziale aktiver, nanoskaliger Materialien ermöglichen sowie über mögliche Risiken aus ihrer Verwendung, die sich aus der Art, Struktur und insbesondere der Aktivität ergeben könnten,
- Anregungen für eine Diskussion über die Angemessenheit bestehender Regulierungen und dazugehöriger Bewertungsmethoden für diese Art von nanoskaligen Materialien geben und bekommen.

2 Aktive, nanoskalige Materialien

Der Fokus des FachDialogs liegt auf Materialien die nanoskalig sind, d.h. in mindestens einer Dimension kleiner als 1000 nm, und die „aktiv“ sind. Von einer Aktivität wird ausgegangen, wenn die Materialien multifunktional und/oder adaptiv sind bzw. sie sich reversibel und kontrollierbar in ihren Eigenschaften als Reaktionen auf externe Stimuli verändern.

Eine andere Beschreibung von aktiven, nanoskaligen Materialien bezieht sich auf die Fähigkeit, Energie zu transformieren, also z. B. mechanische in elektrische Energie. Bei diesem Vorgang verändern sich entweder die Eigenschaften oder die Struktur, Zusammensetzung oder Funktionalität des Materials (z.B. photo- und thermochrome Materialien, elektrolumineszente Materialien, piezoelektrische Materialien).

Im Bericht der ECHA über sog. Nanomaterialien der nächsten Generation³ wurden Nanomaterialien in drei Generationen unterteilt, von denen nur die erste passiv ist. Die Beschreibung der zweiten und dritten Generation kann wie folgt zusammengefasst werden⁴:

- Zweite Generation: (re)aktive Nanomaterialien, Nanostrukturen und nanostrukturierte Materialien, die auf Stimuli reagieren und während ihrer Verwendung Energie aus ihrer Umgebung absorbieren, empfangen oder ernten und für eine Vielzahl von Nicht-Gleichgewichtsaktivitäten verwenden. Dadurch verändert sich das Energieniveau des Systems und die Konformation bzw. Molekularstruktur. Die Stimuli können sowohl chemisch als auch physikalisch sein und auf die Oberfläche oder den Kern wirken.
- Dritte Generation (Multifunktionale Nanosysteme): Komplexe, aus stimuli-responsiven Nanopartikeln und Nanostrukturen aufgebaute, chemische Reaktionsnetze und synthetische lebensähnliche Systeme und Materialien. Sie zeichnen sich durch eine verstärkte Integration zwischen organischen und anorganischen Komponenten aus.

Gemäß der Studie wird in den letzten Jahren eine Zunahme der Forschungsaktivitäten zu aktiven Nanostrukturen beobachtet, wobei der Gesamtanteil an der Nanotechnologieforschung als gering bezeichnet wird.

³ ECHA (2019): A state of play study of the market for so called “next generation” nanomaterials, Helsinki.
Verfügbar unter: <https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/1b84728b-f6e1-11e9-8c1f-01aa75ed71a1/language-en>

⁴ ECHA 2019, S. iii ff.

3 Abstracts der Vorträge

3.1 Einführung

3.1.1 Was sind aktive, nanoskalige Materialien

Dr. Bernd Giese, Institut für Sicherheits- und Risikowissenschaften, Universität für Bodenkultur (BOKU), Wien

Der einführende Vortrag soll zunächst das bei näherer Betrachtung nicht einfach abzugrenzende Thema des Fachdialogs näher beschreiben und einordnen. Dazu werden nach einem kurzen geschichtlichen Exkurs mögliche Definitionen und Differenzierungen aktiver, nanoskaliger Materialien vorgestellt. Diese Strukturierung wird um eine Betrachtung ihrer vielversprechenden Eigenschaften sowie der möglichen Funktionalitäten ergänzt, die sich mit diesen Materialien erreichen lassen. Ein Blick auf das Spektrum der involvierten Materialarten zeigt, dass neben den für die bisherige Nanotechnologie im Vordergrund stehenden anorganischen Verbindungen und Elementen bei den jüngeren Entwicklungen aktiver, nanoskaliger Materialien auch die organische Chemie und gar die Biologie eine größere Rolle spielt. Mithilfe von Polymeren, die durchaus auch biologischen Ursprungs sein können, werden dabei nun vergleichsweise komplexe Strukturen geschaffen. Auf dieser Basis werden vielfältige Funktionen, von der gezielten Abgabe eines Wirkstoffs bis hin zur Informationsverarbeitung ermöglicht. Die einst von Mihail C. Roco prognostizierte Konvergenz von Nano- und Biotechnologie sowie Informations- und Kognitionswissenschaft scheint, wenn auch etwas später, in ersten kleinen Schritten an „Substanz“ zu gewinnen.

3.2 Anwendungen in der Medizin

3.2.1 Aktive, nanoskalige Materialien in der Medizin: Nano trifft auf Bio

Prof. Dr. Aigner, Universität Leipzig

Nanopartikel zeichnen sich aufgrund ihrer Nanoskaligkeit durch physikalische und chemische Eigenschaften aus, die sich erheblich von ihren größeren Pendanten unterscheiden können. Dies wirkt sich auch auf ihr Verhalten in biologischen Milieus aus und macht sie, z.B. bei ihrer therapeutischen Verwendung, sehr interessant.

Dabei muss die Aktivität nanoskaliger Materialien im biologischen Umfeld von zwei Seiten betrachtet werden:

- i. wie interagieren Nanopartikel mit biologischen Strukturen, z.B. beim Durchtritt durch Membranen, bei ihrer Bioverteilung im Körper und im Hinblick auf ihre Aufnahme in Zellen, und
- ii. wie werden Nanopartikel in ihren Eigenschaften durch eine biologische Umgebung beeinflusst bzw. können gezielt für biologischen Einflüsse „responsive“ gemacht werden?

Beide Aspekte lassen sich gezielt ausnutzen, z.B. zur therapeutischen Formulierung und Einschleusung von Wirkstoffen mit der Zielsetzung einer erhöhten Wirksamkeit und/oder der Vermeidung von Nebenwirkungen in non-target Organen. Von besonderer Bedeutung ist dieser Ansatz im Falle von Wirkstoffen, die ohne eine Nanopartikel-Formulierung nur unzureichende oder gar keine Wirksamkeit entfalten würden, da sie zu instabil sind und/oder zu ineffizient im Körper verteilt und von Zielzellen aufgenommen werden würden. RNA-basierte Therapeutika wie kleine siRNA für einen spezifischen, RNA-Interferenz (RNAi)-vermittelten Gen-Knockdown oder mRNA für eine gain-of-function Behandlung sind hierfür wichtige Beispiele, die in den letzten Jahren erheblich an Bedeutung gewonnen haben. Die Art der ‚payload‘, die therapeutische Zielsetzung und erwünschte Lokalisierung sowie die Art der Applikation stellen jedoch auch jeweils spezifische Anforderungen an Nanopartikel, die entsprechend weiterentwickelt und angepasst werden müssen. Neben der Effizienz ist hierbei auch die Vermeidung von Nebenwirkungen, d.h. eine hohe Biokompatibilität, als zwingend erforderliche Eigenschaft zu berücksichtigen; auch dies kann durch gezielte chemische Modifikation z.B. hin zu bio-abbaubaren Nanopartikeln erreicht werden.

Literatur:

- Aigner, A., Perspectives, issues and solutions in RNAi therapy: the expected and the less expected. *Nanomed.* 14 (21), 2777-2782 (2019)
- Liu et al., Non-viral nanoparticles for RNA interference: Principles of design and practical guidelines. *Adv. Drug Del. Rev.* 174, 576-612 (2021)
- Sun et al., Maßgeschneiderte Nanopartikel für den Wirkstofftransport in der Krebstherapie, *Angew. Chem.* 126, 12520-12568 (2014)

3.2.2 Aktive, nanoskalige Materialien in pharmakologischen Anwendungen

Prof. Dr. Andreas Herrmann

DNA ist ein hervorragendes Material für die Herstellung von Nanostrukturen. Definierte Objekte können durch die Faltung von DNA in der gewünschten Form,[1] durch ihre Anbringung an anorganischen Partikeln[2] oder durch die Erzeugung von DNA-Amphiphilen, die sich durch Mikrophasenseparation selbst zu Nanostrukturen zusammensetzen,[3] erreicht werden. Einzelsträngige DNA-Nanopartikel aus weicher Materie der letztgenannten Materialklasse können durch Hybridisierung effizient funktionalisiert werden. Wenn sie durch Watson-Crick-Basenpaarung und Einbau eines hydrophoben Wirkstoffs in ihr Inneres mit Targeting-Einheiten ausgestattet werden, töten sie in vitro Krebszellen ab[4]. In ähnlicher Weise wurden sie mit Antibiotika beladen, indem sie mit arzneimittelbindenden Aptameren hybridisiert wurden. Diese DNA-basierten Träger haften stark an der Augenoberfläche und wurden erfolgreich für die ophthalmische Verabreichung von Arzneimitteln in vivo eingesetzt.[5] Wenn Peptidnukleinsäuren, die für Krebsantigene kodieren, und immunstimulierende DNA-Sequenzen an die einzelsträngige DNA-Trägerplattform angehängt werden, wurde die immunologische Behandlung von Krebs in verschiedenen Mausmodellen erfolgreich durchgeführt.[6] Neben Mizellensystemen hat unsere Gruppe DNA-Amphiphile in die Phospholipid-Doppelschicht von Vesikeln eingebaut. Es konnte gezeigt werden, dass die DNA spezifisch aggregiert und aus diesen Nanocontainern freigesetzt wird.[7] Außerdem dienen amphiphile Oligonukleotide als künstliche Rezeptoren auf Zelloberflächen und erleichtern die Aufnahme von Vesikeln und Nanopartikeln, die mit komplementären Sequenzen funktionalisiert sind.[8] Schließlich wurden Polynukleinsäuren mit ultrahoher Molmasse durch Rolling-Circle-Transkription hergestellt und mit Arzneistoffen wie Antibiotika beladen. Aus diesen Trägern können die pharmazeutischen Wirkstoffe durch Ultraschall als klinisch angewandter Trigger mit hoher Gewebedurchdringungstiefe aktiviert werden.[9]

Literatur

- [1] J. Fu, M. Liu, Y. Liu, H. Yan, *Acc. Chem. Res.* 2012, 45, 1215.
- [2] D. A. Giljohann, D. S. Seferos, W. L. Daniel, M. D. Massich, P. C. Patel, C. A. Mirkin, *Angew. Chem. Int. Ed.* 2010, 49, 3280.
- [3] J. W. de Vries, F. Zhang, A. Herrmann, *J. Controlled Rel.* 2013, 172, 467.
- [4] F. E. Alemdaroglu, C. N. Alemdaroglu, P. Langguth, A. Herrmann, *Adv. Mat.* 2008, 20, 899.
- [5] J. W. de Vries, S. Schnichels, J. Hurst, L. Strudel, A. Gruszka, M. Kwak, K.-U. Bartz-Schmidt, M. S. Spitzer, A. Herrmann, *Biomaterials* 2018, 157, 98.
- [6] J.-O. Jin, H. Kim, Y. Huh, A. Herrmann, M. Kwak, *J. Control. Release* 2019, 315, 76.
- [7] A. Rodriguez-Pulido, A. Kondratchuk, D. K. Prusty, J. Gao, M. Loi, A. Herrmann, *Angew. Chem. Int. Ed.* 2013, 52, 1008.
- [8] H. Li, J. Fan, E.M. Buhl, S. Huo, M. Loznik, R. Göstl, A. Herrmann, *Nanoscale* 2020, 12, 21299.
- [9] S. Huo, P. Zhao, Z. Shi, M. Zou, X. Yang, E. Warszawik, M. Loznik, R. Göstl, A. Herrmann, *Nat. Chem.* 2021, 13, 131.

3.2.3 Nanoskalige Sensoren für die optische Diagnostik

Wolfgang Fritzsche, Leibniz-Institut für Photonische Technologien, Jena

Für eine effektive Therapie von Infektionskrankheiten ist eine rasche und bevorzugt vor-Ort-befähigte Detektion von Biomarkern gefragt. Einen möglichen Ansatz dafür stellt die Methode der lokalisierten Oberflächenplasmonenresonanz dar, welche nanoskalige Metallstrukturen als Sensoren benutzt [1]. Diese werden mit spezifisch den jeweiligen Biomarker (wie DNA oder Proteine) bindenden Molekülen (Rezeptoren) funktionalisiert: Die Anbindung der Biomarker induziert eine Veränderung der optischen Eigenschaften (Verschiebung der Resonanzwellenlänge), die spektroskopisch detektiert wird.

Die eingesetzten Nanosensoren können lithographisch (top-down) oder auch chemisch synthetisiert (bottom-up) werden, die letztere Methode wird von uns vorrangig eingesetzt. Dabei werden die Nanopartikel in Lösung hergestellt und zum Einsatz auf Glassubstrate immobilisiert [2]. Anhand des Nachweises von DNA-Sequenzen [3] wird das Verfahren und die dafür entwickelten Ausleseverfahren mit dem Potential für Multiplex-Anwendungen erläutert, und auch Beispiele für Anwendungen für den Proteinnachweis gegeben [4].

Literatur

- [1.] Philosophical Transactions A 369, 3483 (2011).
- [2] Analytical and Bioanalytical Chemistry 411, 1537 (2019)
- [3] ACS Sensors 4, 335 (2019)
- [4] Scientific Reports 12, 836 (2022)

3.3 Anwendungen in der Elektronik

3.3.1 Quantum Dots - eine neue Materialklasse für die Displaytechnologie

Dr. Armin Wedel, Fraunhofer IAP

In den letzten Jahren haben sich die Displaytechnologien ständig weiterentwickelt. Neben den LCD-Technologien, die immer noch in den Bildschirmen für Fernseher und Computermonitore eingesetzt werden, hat sich vor allem die OLED Technologie, insbesondere bei Smartphones und Tablets, zunehmend durchgesetzt. Neuartige Quantenmaterialien (Quantum Dot, QD) haben als Konvertermaterialien in Hinterleuchtungen (Backlights) von LCDs eine neue Bedeutung erlangt. In Zukunft wird man die QDs, auch elektrisch angeregt, in Displayanwendungen finden.

Auf der Grundlage der einzigartigen Eigenschaften von QDs werden sich damit neue Möglichkeiten insbesondere für die Farbsättigung von Displays ergeben (BT2020). Zunächst werden die QDs aber vor allem als Farbfilter angewendet werden. Das bedeutet, dass die QDs durch blaue (mini oder mikro) LEDs oder OLED angeregt werden und die grüne und rote Emission wird durch die Konvertierung des blauen Lichtes erzeugt. Die vielversprechendsten Ergebnisse in der Vergangenheit enthielten jedoch II-VI-Halbleiternanokristalle, unter anderem Cadmium (Cd). In den letzten Jahren wurden diese Materialien durch weniger toxische Materialien ersetzt. Indiumphosphid (InP) basierte QDs sind ein vielversprechendes Material unter den III-V-Halbleiter-Nanokristallen.

3.3.2 Nano-Material-basierte Elektronische Nase: Fluch oder Segen

Dr. Martin Sommer, Karlsruher Institut für Technologie

Eine ganze Reihe von Aufgaben des täglichen Lebens in Industrie und im Privaten lassen sich durch die Bestimmung der jeweiligen Situationen mittels Geruchsanalyse lösen. Das geeignete maschinelle Gerät ist die elektronische Nase ('eNase'), welche in Anlehnung an das biologische Original aus einigen Subsensoren besteht, deren wesentliche Funktionselemente – je nach Messprinzip und Aufbau der eNase – ihrerseits wiederum aus Mikro- oder gar Nanomaterialien bestehen können. Der Nutzen von eNasen ist aufgrund ihrer fast universellen Einsatzmöglichkeiten fraglos sehr vielfältig, gleichwohl sind bei eNasen mit Metalloxiden als sensitivem Material die erwarteten Risiken – bezogen auf das Material – eher gering bis nicht vorhanden. Kritischer könnte die durch die Geruchsanalyse an sich bedingte mögliche missbräuchliche Erfassung und Nutzung persönlicher oder betriebswirtschaftlicher Information sein, was durch die leichte Verfügbarkeit aufgrund eines in der

Entwicklung angestrebten geringen Preises der hier vorgestellten eNase noch vereinfacht würde.

In diesem Vortrag wird nach einem einführenden Beispiel der Atemdiagnostik das Grundprinzip der am KIT entwickelten eNase auf Basis von Zinndioxid als sensitivem Material vorgestellt. Neben Ähnlichkeiten zum biologischen Vorbild wird insbesondere der Unterschied zur herkömmlichen, quantitativen Gasanalyse erläutert. Bedeutsam ist hierbei vor allem, dass nur geringer Wert auf die Identifizierung und Quantifizierung der chemischen Gasbestandteile gelegt wird, sondern die Wiedererkennung angelernter Gesamt-Gerüche zur Bestimmung der aktuellen Geruchssituation angestrebt wird, was für viele Anwendungsfälle ausreicht. Diese Art des Informationsgewinns ist größtenteils unabhängig vom technischen Funktionsprinzip der eNase, sodass auch die damit verbundenen Risiken (s. o.) auf andere eNasen-Typen übertragbar sind.

Einige Beispiele zeigen diverse Einsatzmöglichkeiten.

Schlussendlich werden kurz einige Vorteile und Risiken dieser Technologie benannt und diskutiert. Wie bei der Nutzung anderer Technologien gilt auch hier: Im Fazit entscheidet der Anwender, ob er mit einem derartigen Gerät Gutes oder Schlechtes bewirkt.

Übersichtsartikel:

- [1] Karakaya, D., Ulucan, O. & Turkan, M. Electronic Nose and Its Applications: A Survey. *Int. J. Autom. Comput.* **17**, 179–209 (2020). <https://doi.org/10.1007/s11633-019-1212-9>

3.3.3 Nano-Sensoren im Leichtbau: Smarte Hochleistungswerkstoffe

Prof. Robert Böhm, HTWK Leipzig

Kohlenstoffbasierte Nanomaterialien (Carbon Nano Materials, CNM), z.B. Graphen oder Carbon Nanotubes, bieten zahlreiche vielversprechende Potentiale zur Verbesserung von Hochleistungswerkstoffen im Hinblick auf deren Multifunktionalität [1,2]. Besonders interessant für Anwendungen im Maschinen- und Automobilbau, in der Luft- und Raumfahrt, im Bauwesen, in der Medizintechnik und vielen anderen Branchen sind CNM, weil dadurch intelligente Bauteileigenschaften, etwa integrierte Sensorik, entstehen können [3,4]. Derartige Systeme werden innerhalb der EU-Initiative COST [5] im Netzwerk EsSENce erforscht [6]. Der Vortrag stellt dieses Netzwerk vor und gibt anhand ausgewählter Beispiele einen Überblick über die Potentiale CNM-basierter multifunktionaler Werkstoffe.

Literatur

- [1] Cataldi, P.; et al. Graphene Nanoplatelets-Based Advanced Materials and Recent Progress in Sustainable Applications. *Appl. Sci.* 2018, 8, 1438.
- [2] Zhang, Q.; et al. The Road for Nanomaterials Industry: A Review of Carbon Nanotube Production, Post-Treatment, and Bulk Applications for Composites and Energy Storage. *Small* 2013, 9, 1237-1265.
- [3] Koumoulos, E.P.; et al. Research and Development in Carbon Fibers and Advanced High-Performance Composites Supply Chain in Europe: A Roadmap for Challenges and the Industrial Uptake, *Journal of Composites Science*, 2019, 3(3), 86
- [4] Kumar, V.; et al. Review of Recent Advances in Nanoengineered Polymer Composites. *Polymers* 2019, 11, 644.
- [5] <https://www.cost.eu/>
- [6] <http://www.essence-cost.eu/>

3.4 Weitere Anwendungen

3.4.1 DNA als Baustoff für aktive Nanomaterialien

Enzo Kopperger, Technische Universität München

DNA kennt man aus der Natur hauptsächlich als Informationsspeicher für die Produktion von Proteinen. Proteine bilden dann den Baustoff und die Maschinerie, welche das Leben von Organismen möglich machen. In der DNA-Nanotechnologie werden DNA-Stränge direkt als Baustoff für die Konstruktion von Strukturen mit einer Größe zwischen 10 Nanometern bis hin zu mehreren Mikrometern genutzt. Hierzu werden mit Softwareunterstützung die Sequenzen für synthetische DNA-Stränge so gestaltet, dass sich die gewünschte Struktur gewissenmaßen von selbst zusammenbaut. Form und Beweglichkeit der Strukturen können dabei für die gewünschten Anwendung maßgeschneidert werden. In unserer Arbeitsgruppe sind wir besonders fasziniert von mechanischen Konstrukten, die sich an Maschinenelemente aus der makroskopischen Welt anlehnen, - wie zum Beispiel Scharniere, frei rotierende Gelenke und verschiebbare Elemente auf Achsen. Die Konstruktion und der kontrollierte Antrieb von immer ausgefeilteren Maschinenelementen soll es in Zukunft erlauben diese zu regelrechten molekularen Fabriken zusammensetzen. In naher Zukunft umfassen Anwendungen beispielsweise „smarte“ medizinische Wirkstofftransporter, Oberflächenbeschichtungen und der Bau neuartiger Biosensoren.

3.4.2 Licht gegen Antibiotika Resistenz: Darstellung, Charakterisierung und biologische Eigenschaften neuer fotoaktiver Materialien

Anzhela Galstyan, Universität Duisburg/Essen

Die Nachfrage nach antimikrobiellen Nanomaterialien steigt in verschiedenen Bereichen der Medizin und Technik rapide an. Während Gewebekontaminationen oft spontan durch die Immunabwehr des Wirts beseitigt werden können, sind Infektionen im Zusammenhang mit Biomaterialien viel schwieriger zu behandeln. Die Vermehrung von Bakterien an den Grenzflächen und die anschließende Bildung von Biofilmen ist ein wichtiger Schritt in der Pathogenese von Infektionen im Zusammenhang mit künstlichen Materialien. Darüber hinaus werden dringend robuste antimikrobielle Materialien benötigt, die sich für die Dekontamination von Abwässern in großem Maßstab eignen. Die photodynamische Inaktivierung von Bakterien hat sich als vielversprechende alternative Strategie zur Antibiotikabehandlung erwiesen. Auf der Grundlage dieses Ansatzes könnten lichtaktivierte antiinfektive Beschichtungen durch die Einbindung des Photosensibilisators in Materialien auf Polymerbasis hergestellt werden. Die große Vielfalt der heute verfügbaren Polymere bietet die Möglichkeit, die für eine bestimmte Anwendung am besten geeigneten auszuwählen. Neuartige nanoskalige Materialien mit photodynamischer antimikrobieller Wirkung werden vorgestellt.

3.4.3 Elektroaktive Polymere

Ivica Kolaric, Fraunhofer IPA

Seit der Einführung des iPhones im Jahr 2007 genießt der Begriff "Usability" wachsende öffentliche Aufmerksamkeit und die Interaktion zwischen Mensch, sowie der benötigten Hard- und Software gewinnt immer mehr an Bedeutung. Egal ob Smartphone, Auto, Gebäude oder Roboter, Menschen werden in Zukunft immer mehr mit Maschinen und digitalisierten Dienstleistungen interagieren. Die dafür benötigte Technologie nennt sich "Human Machine Interaction" (HMI) und beschreibt im Wesentlichen die Schnittstelle zwischen Mensch und Hard- und Software. Weiterhin entwickeln sich Roboter weg vom reinen Produktionsmittel hin zu einem kooperativen Partner, welcher mit Menschen zusammenarbeitet. Getrieben von dem wachsenden Bedarf der kooperierenden Robotik, werden zunehmend bioinspirierte, softrobotische Lösungen entwickelt. Durch die Additive Fertigung ist es heute möglich komplexe Strukturen effizient herzustellen, sowie polymer- und biobasierte Materialien zu organähnlichen Strukturen zu verarbeiten.

Die drei beschriebenen Zukunftstechnologien basieren zum Teil auf nanoskaligen und elektroaktiven Materialien, wie beispielsweise den Elektroaktiven Polymeren (EAP). EAP's bieten zahlreiche Vorteile gegenüber traditionellen elektromechanischen Lösungen. Sie arbeiten geräuschlos, benötigen eine sehr geringe Versorgungsspannung, sind leicht und flexibel. Bei all diesen technischen Vorteilen, sind EAP's Multimaterial-Verbundsysteme und können nanoskalige Additive enthalten, welche Fragen hinsichtlich Sicherheit, Verarbeitung und Entsorgung aufwerfen.

Im Rahmen dieses Vortrags werden EAP-Sensor-Aktor Systeme und deren innovative Anwendungen vorgestellt. Anhand einer Risikobetrachtung werden die die Auswirkungen der eingesetzten Materialien, sowie der EAP's auf Mensch und Umwelt betrachtet und flankierenden Maßnahmen zur Erhöhung der Sicherheit im Umgang über den gesamten Lebenszyklus der EAP'S vorgestellt.

3.5 Regulierung und ethische Aspekte

3.5.1 Regulative Aspekte bzgl. aktiver, nanoskaliger Materialien in REACH und CLP-Verordnung

Lars Tietjen, Umweltbundesamt

CLP- und REACH-VO bilden den Kern des europäischen Chemikalienrechts. Mit Regelungen zur Einstufung und Kennzeichnung von gefährlichen Stoffen und Gemischen (CLP-VO) bzw. zur Registrierung von Stoffen, Vorgaben zu Sicherheitsdatenblätter für Stoffe und Gemische, Identifizierung von besonders besorgniserregenden Stoffen, Zulassung und Beschränkung (REACH-VO) steht ein breiter Regelungsrahmen zur Verfügung.

Vertieft wird auf Erzeugnisse eingegangen werden. Dort greifen nur eingeschränkt Pflichten des Chemikalienrecht. Auch der Sonderstatus von Polymeren im Rahmen der Registrierung wird angesprochen werden.

Im Rahmen dieser Präsentation wird aufgezeigt werden, ob die Instrumente des Chemikalienrecht auch für aktive, nanoskalige Materialien geeignet sind⁵. Daneben

⁵ Allgemein zum aktuellen Regelungsrahmen im Kontext neuartige Materialien siehe Risk Governance of Advanced Materials - Considerations from the joint perspective of the German Higher Federal Authorities BAuA, BfR and UBA; 2021 https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/479/publikationen/texte_156-2021_risk-governance-advanced-materials.pdf

wird kurz skizziert werden, welche Weiterentwicklungen für REACH-VO⁶ und CLP-VO im Rahmen der EU-Chemikalienstrategie für Nachhaltigkeit in Vorbereitung sind und ob diese im Kontext von aktiven, nanoskaligen Materialien eine Rolle spielen könnten.

⁶ Europäische Kommission, Internetseite zur REACH-Revision

https://ec.europa.eu/environment/chemicals/reach/reach_revision_chemical_strategy_en.htm

Umweltbundesamt; The Revision of the REACH Authorisation and Restriction System; 2022

<https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/the-revision-of-the-reach-authorisation-restriction>

Impressum

ÖKOPOL GmbH
Institut für Ökologie und Politik

Nernstweg 32–34
D – 22765 Hamburg

www.oekopol.de
info@oekopol.de

Tel.: ++ 49-40-39 100 2 0
Fax: ++ 49-40-39 100 2 33

