

NanoDialog
der Bundesregierung

Chancen und Risiken der Anwendung von Nanotechnologien im Automobilsektor

Hintergrunddokument

11.09.2017

Autoren: Antonia Reihlen, Till Zimmermann & Dirk Jepsen

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

Inhalt

1	Die FachDialogreihe	4
1.1	Themenstellung und Zielsetzung des FachDialogs	4
1.2	Geplanter Ablauf	5
2	Einleitung	5
2.1	Bedeutung des Automobils	5
2.2	Umweltlasten durch das Automobil	6
2.3	Rolle der Nanotechnologien	7
2.4	Regulierung	8
2.4.1	Typengenehmigung	9
2.4.2	Altfahrzeugrichtlinie/Altautoverordnung	9
2.4.3	REACH-Verordnung	9
3	Zusammenfassungen der Vorträge	11
3.1	Überblick – Anwendung von „Nanotechnologien im Automobilbereich“	11
3.1.1	„Wo ist Nano im Auto?“	11
3.1.2	Nanotechnologien als Quelle des automotiven Fortschritts	11
3.2	Anwendungen von Nanomaterialien	12
3.2.1	Anwendungen von Nanofasern bei der Filtration in Fahrzeugen	12
3.2.2	Industrielle Anwendungen von nanotechnologischen Sol-Gel Beschichtungen im Automobilbau	12
3.3	Ökologische Bewertung von Nanoanwendungen im Automobil	13
3.3.1	Einsatz von nanopartikulärem CeO ₂ und SiO ₂ im Automobil – Modellierung von eingesetzten Mengen und Expositionsabschätzung (Diesel-Additive, Abgaskatalysatoren, Reifen)	13
3.3.2	CNT in Plastik – Umweltentlastungseffekte im Einsatzbereich Automobil?	14
3.4	Mikroelektronische Anwendungen für das Automobil	14
3.4.1	Sichere Mobilität dank Nano-Technologien	14
3.5	Energiespeichertechnologien	15
3.5.1	Silizium basierte Nanopartikel als Speichermaterial für Lithium Ionen Zellen	15
3.5.2	Nachhaltigkeitsaspekte zu Nanomaterialien und Nanostrukturen in emergenten Batteriespeichern	16
3.6	Ausblick	16
3.6.1	Die Veränderung der Deutschen Automobilindustrie durch den Einfluss der Digitalisierung sowie die Rolle von Nanomaterialien als mögliche Schlüsseltechnologie für die erfolgreiche Gestaltung des Wandels	16

1 Die FachDialogreihe

Der FachDialog „Chancen und Risiken der Anwendung von Nanotechnologien im Automobilsektor“ wird vom Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (BMUB) im Rahmen der 5. Phase des NanoDialogs¹ ausgerichtet. Es werden ca. 40 Teilnehmende aus verschiedenen Stakeholdergruppen sowie aus Ressorts und Behörden erwartet. Der Schwerpunkt des FachDialogs liegt auf der gesellschaftspolitischen Einordnung der Anwendung von Nanotechnologien im Automobil.

Die Diskussionsergebnisse werden in einer Zusammenfassung dokumentiert, mit den Teilnehmenden abgestimmt und im Internet veröffentlicht. Sie werden zudem in einen ausführlicheren thematischen Bericht des BMUB integriert.

Das vorliegende Hintergrunddokument führt in die Themenstellung ein und erläutert einige regulatorische Grundlagen, die für die Anwendung von Nanomaterialien im Automobilbereich relevant sind. In Kapitel 3 sind Zusammenfassungen der Vorträge zusammengestellt, die beim FachDialog gehalten werden.

Das Hintergrunddokument dient der Vorbereitung und Fokussierung des FachDialogs. Eine Diskussion dieses Dokuments ist beim FachDialog nicht vorgesehen.

1.1 Themenstellung und Zielsetzung des FachDialogs

Der FachDialog soll die Chancen und möglichen Risiken der Anwendung von Nanotechnologien im Automobilsektor thematisieren. Die Diskussion wird insbesondere anhand konkreter Anwendungen geführt werden. Die Anwendungsbeispiele werden sowohl den Einsatz von Nanomaterialien als solchen betreffen, als auch Nanotechnologien in elektronischen Bauteilen betreffen.

Der FachDialog soll:

- einen Überblick über die aktuellen sowie geplanten Anwendungen von Nanomaterialien im Automobil geben;
- in die relevanten rechtlichen Regelungen, welche die Anwendung von Nanomaterialien betreffen können, einführen und eine Diskussion darüber anstoßen, ob mögliche Risiken durch diese Vorgaben (ausreichend) adressiert werden;

¹ Die Dokumentation der vorhergehenden Veranstaltungen des NanoDialogs finden Sie auf den Internetseiten des BMUB <http://www.bmub.bund.de/themen/gesundheitschemikalien/nanotechnologie/nanodialog/>

- dazu dienen, eine Einschätzung zu (Wahrnehmungen der) möglichen Chancen und Risiken der Anwendung von Nanotechnologien im Automobilsektor zu bekommen, einschließlich ökologischer Potenziale von Nanoprodukten (z. B. Ressourcen- und Energiesparpotenziale);
- den Akteuren aus den unterschiedlichen gesellschaftlichen Gruppen die Möglichkeit zum Austausch über die Bewertung der Anwendungen geben sowie ggf. Empfehlungen und Forschungsbedarf ableiten.

1.2 Geplanter Ablauf

Zu Beginn des FachDialogs wird ein Überblick über die bereits vorhandenen Anwendungen von Nanomaterialien im Automobil gegeben. Danach werden Vertreterinnen und Vertreter verschiedener Akteursgruppen schlaglichtartig ihre Sicht auf das Thema darstellen. Der folgende inhaltliche Block widmet sich der Vorstellung verschiedener gesetzlicher Grundlagen, die einen Einfluss auf die Möglichkeiten haben können, Nanomaterialien und -technologien im Automobil zu verwenden. Im letzten Block des Tages werden verschiedene Anwendungsbereiche von Nanomaterialien und -strukturen sowie einige Aspekte zur Bewertung von Anwendungen vorgestellt.

Am zweiten Tag des FachDialogs werden, nach einer kurzen Zusammenfassung des Vortags, Anwendungen im Bereich der Elektronik sowie im Bereich der Energiespeichertechnologien vorgestellt und diskutiert. Der FachDialog endet mit einem Ausblick auf die möglichen, weiteren Entwicklungen in der Automobilindustrie und die Potenziale, die durch die Nanotechnologien noch zu erschließen sind.

2 Einleitung

2.1 Bedeutung des Automobils

Das Automobil ist ein essenzieller Bestandteil des Alltages. Es ist ein Schlüsselfaktor des individualisierten Personenverkehrs und Gütertransports. Auch wenn die Bedeutung des Automobils als Statussymbol zurückgeht, ist der Trend zum Automobil ungebrochen. Der Bestand an Kraftfahrzeugen in Deutschland belief sich am 1. Januar 2017 auf über 62 Mio. Fahrzeuge bei einem Plus zum Vorjahr von 1,9 %².

Die Automobilindustrie hat insbesondere in Deutschland eine hohe wirtschaftliche Bedeutung. Im Jahr 2016 waren lt. Verband der deutschen Automobilindustrie (VDA)³ ca. 470.000 Personen in der Automobilindustrie beschäftigt und es wurde in

² Quelle: https://www.kba.de/DE/Statistik/Fahrzeuge/Bestand/bestand_node.html

³ Quelle: <https://www.vda.de/de/services/zahlen-und-daten.html>

Deutschland ein Umsatz von ca. 96 Mrd. Euro erzielt. Im gleichen Jahr wurden in Deutschland etwa 5,8 Mio. Pkw produziert und 3,4 Mio. Pkw neu zugelassen. Der weltweite Fahrzeugbestand beläuft sich auf knapp 1 Mrd. Fahrzeuge. Die Weltautomobilproduktion deutscher Hersteller wird vom VDA auf ca. 15,8 Mio. Fahrzeuge in 2016 beziffert.

Investitionen der Automobilindustrie in neue Technologien und Innovationen treiben auch die Entwicklungen in anderen Branchen an und sind ein beständiger Motor des technologischen Fortschritts.

2.2 Umweltlasten durch das Automobil

Mit der Herstellung und Nutzung von Automobilen sind allerdings auch beträchtliche Umweltlasten, unter anderem durch den Verbrauch an Primärenergie, die Schadstoff- und Treibhausgasemissionen sowie die komplexer werdenden Abfallströme verbunden.

Das Umweltbundesamt⁴ hat ermittelt, dass sich der Gesamtkraftstoffverbrauch für den Personenverkehr von 1995 bis 2015 um ca. 4 % verringert hat. Dies wird unter anderem auf eine Verringerung des spezifischen Kraftstoffverbrauches zurückgeführt, der im gleichen Zeitraum um 1,5 l/100 km auf 7,3 l/100 km zurückging. Ein Teil der potenziellen Reduktionen wird jedoch durch das erhöhte Verkehrsaufkommen und den Trend zu leistungsstärkeren Motoren mit höherem Verbrauch kompensiert.

Der Ausstoß von Treibhausgasen im Verkehrssektor insgesamt sank zwischen 1990 und 2015 um nur 2 %, obwohl sich der Ausstoß bezogen auf den Verkehrsaufwand um 13 % verringerte.⁵ Zudem verursachte laut Umweltbundesamt⁶ „der Verkehr“ im Jahr 2015 ca. 38 % der Stickstoffoxidemissionen, wobei der motorisierte Straßenverkehr als Hauptverursacher genannt wird. Während Verbesserungen an der Fahrzeugtechnologie im Zeitraum von 1995 bis 2014 zu einer Minderung der spezifischen Stickstoffoxidemissionen von 60 % geführt haben, sind die Gesamtstickstoffoxidemissionen durch den Personenverkehr nur um 55 % gesunken. Auch bei den Partikelemissionen ist die Minderung der Gesamtemissionen aus dem Pkw-Verkehr geringer, als die Minderung der spezifischen Emissionen.

⁴ Quelle: <https://www.umweltbundesamt.de/daten/verkehr/kraftstoffe>

⁵ Verringerung des CO₂-Ausstoßes bezogen auf die gefahrenen Personenkilometer

⁶ Quelle: <https://www.umweltbundesamt.de/umweltbelastungen-durch-verkehr#textpart-4>

In Deutschland werden pro Jahr etwa eine halbe Million Altfahrzeuge entsorgt, was ca. 500.000 Tonnen entspricht.⁷ Altfahrzeuge enthalten wertvolle Rohstoffe sowie verschiedene gefährliche Stoffe, die nur teilweise aus dem Abfallstrom abgetrennt werden können. Die Altautoentsorgung wird EU-weit reguliert und besteht aus einer Demontage, anschließender Zerkleinerung (Schreddern) und nachfolgender Trennung der Materialströme zum Recycling und zur Verwertung. Ca. 10 % der Gesamtmasse werden bei der Demontage ausgebaut und separiert, ca. 63 % bestehen aus Eisen und Stahl, ca. 10 % entfallen auf die schwere Schredderfraktion (Gummi, Glas etc.) und bis zu ca. 17 % auf die Schredderleichtfraktion (Kunststoffe etc.)⁸. Für die Verwertung dieser Materialien gibt es EU-seitig vorgeschriebene Quoten, die in den letzten Jahren in Deutschland sicher eingehalten wurden. Allerdings werden viele der in Deutschland erstmals zugelassenen Autos in anderen Ländern entsorgt.

2.3 Rolle der Nanotechnologien

Nanotechnologie wird im Automobil zu verschiedensten Zwecken eingesetzt, bspw. zur Bereitstellung neuer Funktionalitäten, zur Erhöhung von Sicherheit und Fahrkomfort, zur Verbesserung von Bauteileigenschaften oder zur Reduktion von negativen Umweltauswirkungen. Hierbei werden sehr unterschiedliche Ansätze verfolgt, von denen einige, die unter anderem eine hohe Umweltrelevanz oder -potenziale haben, beim FachDialog vorgestellt werden können.

Eine Minderung des Treibstoffverbrauchs und damit auch der Emissionen kann z. B. durch die Verringerung des Fahrzeuggewichts oder der Reibungsverluste erreicht werden, durch verbesserte Laufeigenschaften von Reifen oder durch die Zugabe von nanopartikulären Treibstoffzusätzen, welche die Verbrennung effizienter machen. Schadstoffemissionen können auch durch reaktivere bzw. neuartige Katalysatoren verringert werden. Durch einen verbesserten Korrosionsschutz nano-basierter Oberflächenbeschichtungen sowie einen verringerten Verschleiß beanspruchter Bauteile durch nano-basierte Öle und Schmierstoffe kann der Einsatz von Nanomaterialien auch zur Ressourcenschonung beitragen.

Im Kontext elektronischer Anwendungen kann der Einsatz von Nanotechnologien die Fahrsicherheit (z. B. Sensoren, Verstärker, Beleuchtung, Antireflexgläser) sowie den

⁷ Quelle: <https://www.umweltbundesamt.de/themen/abfall-ressourcen/produktverantwortung-in-der-abfallwirtschaft/alfahrzeuge#textpart-3>

⁸ Sander et al. (2017): Präsentation beim Fachgespräch am 20.10.2016 im Rahmen des Projektes „Evaluierung und Fortschreibung der Methodik zur Ermittlung der Altfahrzeugverwertungsquoten durch Schredderversuche unter der EG-Altfahrzeugrichtlinie 2000/53/EG“ (FKZ 3715 33 305 0)

(Fahr-)Komfort (Elektromotoren, „intelligente“ Dämpfungssysteme, elektrochrome Scheiben, pflegeleichte Textilien etc.) verbessern.⁹

Zur gesellschaftlichen Einordnung der Relevanz dieser Anwendungen könnten verschiedene Fragestellungen diskutiert werden, unter anderem:

- Übersteigen die Nutzen der Anwendungen die möglichen Risiken, die durch Emissionen von Nanopartikeln am Arbeitsplatz, in die Umwelt sowie in den Fahrzeugraum (Exposition der Fahrzeuginsassen) während der Herstellung, Nutzung und Entsorgung von Automobilen entstehen?
- Rechtfertigt die Energie- und Ressourcenersparnis durch den Einsatz von Nanotechnologien im Automobil, ihren Herstellungsaufwand (Ökobilanz)?
- Können durch den Einsatz von Nanomaterialien ggf. schädliche Chemikalien ersetzt werden? Oder haben die eingesetzten Nanomaterialien ein toxischeres Potenzial als die konventionell eingesetzten Werkstoffe (Substitution)?
- Können sich neue Risiken durch den Einsatz von Nanomaterialien in der Abfallentsorgung ergeben, z. B. für die Arbeitnehmer oder bezüglich einer Kontamination von Materialströmen (Kreislaufwirtschaft)?
- Welche Prioritäten werden für den Einsatz von Nanomaterialien und – Technologien gesetzt, insbesondere wenn Verbesserungen des Komforts erzielt werden sollen (gesellschaftliche Bewertung und Suffizienz)?
- Welche Trends werden in der Mobilität durch Nanotechnologien / Elektronik möglich, bzw. verstärkt (Elektromobilität, autonomes Fahren) und wie werden diese Trends bewertet (Innovationsrichtung)?

2.4 Regulierung

Der Einsatz von Nanomaterialien im Automobil kann unterschiedlichen Regelungen unterfallen, die entweder die Anwendung von Chemikalien betreffen oder das Inverkehrbringen von Automobilen. Im Rahmen des FachDialogs werden relevante Inhalte verschiedener Regelungen vorgestellt, um diskutieren zu können, ob und wie mögliche Risiken durch die Anwendung von Nanomaterialien im Automobil durch sie abgedeckt sind oder abgedeckt werden könnten.

⁹ Quellen: <http://www.nanotruck.de/treffpunkt-nanowelten/nanotechnologie-konkret/leben-und-freizeit/mobilitaet.html>;

2.4.1 Typengenehmigung

Bevor Kraftfahrzeuge in Verkehr gebracht werden dürfen, müssen sie eine Typengenehmigung gemäß der Vorgaben der EU-Richtlinie 2007/46/EG¹⁰ erhalten. Mit der Typengenehmigung bestätigt die zuständige Behörde, in Deutschland das Kraftfahrzeugbundesamt, dass ein Fahrzeugtyp oder Fahrzeugteile eines bestimmten Typs den gesetzlichen Standards genügen. Hierfür wird die Einhaltung verschiedener EU-Regelungen geprüft, welche die Sicherheit von Fahrzeugen betreffen, z. B. Anforderungen an die Stabilitätskontrolle, Tagfahrlicht und Spiegel oder bestimmte Umweltanforderungen, wie Grenzwerte für Schadstoffemissionen, Kraftstoffverbrauch oder Geräuschemissionen. Regelungen zur (chemischen) Zusammensetzung von (Bauteilen eines) Autos bestehen nicht.

2.4.2 Altfahrzeugrichtlinie/Altautoverordnung

Die Altfahrzeugrichtlinie¹¹ regelt auf EU-Ebene die ordnungsgemäße Behandlung von Altfahrzeugen mit dem Ziel, mögliche Umweltgefährdungen zu vermeiden und das Recycling von Wertstoffen zu erhöhen. Sie wird in Deutschland durch die Altfahrzeug-Verordnung¹² umgesetzt. Neben verschiedenen anderen Vorgaben beschränkt die Verordnung auch den Einsatz gefährlicher Stoffe im Automobil. Quecksilber, Cadmium, Blei und sechswertiges Chrom dürfen nur dann im Automobil enthalten sein, wenn hierfür eine Ausnahme besteht. Während es ein Verfahren zur Anpassung der Ausnahmen gibt, ist eine Ausweitung der Liste der beschränkten Stoffe weder auf EU-Ebene, noch national vorgesehen.

2.4.3 REACH-Verordnung

Die REACH-Verordnung regelt das Inverkehrbringen und die Verwendung von Chemikalien auf dem europäischen Markt und ist in allen Mitgliedsstaaten direkt gültig. Da Nanomaterialien Chemikalien sind, werden sie durch die Verordnung grundsätzlich abgedeckt. REACH kann die Möglichkeiten, Nanomaterialien in Automobilen zu verwenden durch verschiedene Mechanismen beeinflussen.

¹⁰ RICHTLINIE 2007/46/EG DES EUROPÄISCHEN PARLAMENTS UND DES RATES vom 5. September 2007 zur Schaffung eines Rahmens für die Genehmigung von Kraftfahrzeugen und Kraftfahrzeuganhängern sowie von Systemen, Bauteilen und selbstständigen technischen Einheiten für diese Fahrzeuge

¹¹ RICHTLINIE 2000/53/EG DES EUROPÄISCHEN PARLAMENTS UND DES RATES vom 18. September 2000 über Altfahrzeuge

¹² Altfahrzeug-Verordnung in der Fassung der Bekanntmachung vom 21. Juni 2002 (BGBl. I S. 2214), die zuletzt durch Artikel 3 der Verordnung vom 2. Dezember 2016 (BGBl. I S. 2770) geändert worden ist

Im Rahmen der Registrierung von Stoffen/Nanomaterialien muss unter bestimmten Bedingungen¹³ überprüft werden, wie ein Stoff verwendet wird und ob entlang seines Lebensweges Risiken entstehen können. Werden für eine Anwendung im Automobil Risiken ermittelt, die nicht angemessen beherrscht werden können, so darf diese Verwendung nicht registriert werden und der Einsatz des Stoffes/Nanomaterials ist im Automobil nicht möglich.

Nanomaterialien, die besonders besorgniserregende Eigenschaften¹⁴ haben, können unter das Zulassungsverfahren fallen. In diesem Fall ist eine Anwendung des Nanomaterials nur dann möglich, wenn hierfür eine Zulassung beantragt und genehmigt wurde.

Nanomaterialien, für die eine europäische Behörde ein Risiko identifiziert hat, welches mittels EU-weiter Maßnahmen gemindert werden muss, können in ihrer Anwendung beschränkt werden. Würde eine Anwendung im Automobil ein solches Risiko mit sich bringen, könnte eine entsprechende Beschränkung erfolgen.

Derzeit bestehen allerdings noch verschiedene Unklarheiten und Herausforderungen bei der Regulierung von Nanomaterialien unter REACH, unter anderem durch das Fehlen einer EU-weiten Definition für Nanomaterialien im Gesetzestext, der für Nanomaterialien verhältnismäßig hohen Schwellenwerte für die Registrierung und Stoffsicherheitsbewertung (1 bzw. 10 Jahrestonnen pro Registrant) sowie der Notwendigkeit, die Anhänge mit den Testanforderungen für Nanomaterialien anzupassen.

¹³ Eine sog. Stoffsicherheitsbewertung ist nur für Stoffe / Nanomaterialien erforderlich, die in Mengen > 10 t/a registriert werden. Eine sichere Verwendung ist immer gewährleistet, wenn ein Stoff keine gefährlichen Eigenschaften hat.

¹⁴ Besonders besorgniserregende Eigenschaften sind: Karzinogenität, Mutagenität und Reproduktionstoxizität (Kategorie 1A und 1B), Persistenz, Bioakkumulierbarkeit und Toxizität (PBT), sehr hohe Persistenz und sehr hohe Bioakkumulierbarkeit (vPvB) oder Eigenschaften, die Anlass zu ähnlicher Besorgnis geben, z. B. eine endokrine Wirkung oder Atemwegssensibilisierung.

3 Zusammenfassungen der Vorträge

In diesem Kapitel werden kurze Einleitungen zu den Vorträgen des FachDialogs gegeben. Die Aussagen der folgenden Beiträge liegen in der Verantwortung der jeweiligen Referentinnen und Referenten. Eventuelle Widersprüche in den Inhalten können im FachDialog angesprochen und diskutiert werden.

3.1 Überblick – Anwendung von „Nanotechnologien im Automobilbereich“

3.1.1 „Wo ist Nano im Auto?“

Dr. Karl-Heinz Haas, Allianz Nanotechnologie der Fraunhofer-Gesellschaft und Fraunhofer-ISC

Es wird ein allgemeiner Überblick zu Möglichkeiten und Anwendungen von Nanotechnologien/-materialien im Automobilbereich vorgestellt.

Das Automobil eignet sich als gutes Anwendungsbeispiel für Nanotechnologien (NT), da hier fast alle Bereiche der Nanotechnologien Anwendung finden können. Dies geht von der Mikro-/Nanoelektronik, über die Oberflächenveredelung (Korrosionsschutz, Easy-to-clean-Ausrüstungen), den Leichtbau, alternative Antriebe (E-Mobility), optische Anwendungen in der Beleuchtung und Sensorik, über umwelt- und komfortrelevante Anwendungen (Katalysatoren, Kraftstoffadditive, Luftreinigung, Sensorik, Reifen) bis hin zu alternativen Rohstoffen wie z. B. biobasierten Polymeren. Der Vortrag gibt eine kurze Einführung in die Thematik, wesentliche Aspekte werden in den weiteren Fachvorträgen vertieft.

3.1.2 Nanotechnologien als Quelle des automotiven Fortschritts

Berthold Hellenthal, Audi AG

Mehr als 90 % aller automotiven Innovationen entstehen direkt oder indirekt aus der Nanomaterialforschung und der Nanoelektronik. Die automotiven Megatrends: Konnektivität, Elektrifizierung und Autonomes Fahren basieren auf diesen neuen und jungen Technologien. Während in der Vergangenheit ausgereifte Technologien mit Anwendungserfahrungen in anderen Industrien verwendet werden konnten, benötigen die neuen Lösungen und Systeme neue Wertschöpfungsketten und Technologien um die Kundenerwartungen zu erfüllen und neue Geschäftsmodelle in der „neuen Mobilität“ zu ermöglichen. Anhand von Beispielen werden die neuen Anforderungen diskutiert und die Bedeutung der Nanotechnologien aufgezeigt. Kompetenz in der Nanomaterialforschung und Nanoelektronik sind zwingende Voraussetzung für eine positive Wirtschaftsentwicklung in Europa.

3.2 Anwendungen von Nanomaterialien

3.2.1 Anwendungen von Nanofasern bei der Filtration in Fahrzeugen

Dr. Jens Neumann, Tanja Kudryavtseva, Christoph Krautner, Christian Zißlsberger, MANN+HUMMEL GmbH

In modernen Fahrzeugen gilt es sowohl die Insassen als auch die sensiblen Komponenten heutiger Hochleistungsmotoren vor schädlichen Einflüssen wie Grobstaub, Feinstaub und Ruß durch hocheffiziente Filtersysteme zuverlässig zu schützen.

Zu den leistungsstärksten Filtermaterialien mit den höchsten Abscheidegraden und Standzeiten zählen in der Luftfiltration nanofaserbeschichtete Medien. Diese, mittels eines speziellen Elektrospinverfahrens erzeugten Feinstfasern, finden zunehmend ihren Einsatz in der Motorzuluftefiltration von Nutzfahrzeugen und in Luftfiltern für den Innenraum von Pkws.

Mithilfe innovativer Entwicklungstools, Mess- und Prüftechnik sowie modernster Fertigungsanlagen, entstehen so bei MANN+HUMMEL maßgeschneiderte Filterprodukte. Die exakte Abstimmung von Faserdurchmessern und der Kombination unterschiedlicher Faserlagen spielt dabei eine entscheidende Rolle, um selbst kleinste Partikel im Bereich weniger Mikrometer zurückzuhalten. Bis zum fertigen Produkt durchlaufen die Materialien dabei eine Vielzahl von Tests, vom normierten Prüfstand, bis hin zum Feldeinsatz unter realen Betriebsbedingungen.

3.2.2 Industrielle Anwendungen von nanotechnologischen Sol-Gel Beschichtungen im Automobilbau

Dr. Georg Wagner, NTC Nano Tech Coatings GmbH

Beschichtungen auf der Basis von Organo-Silanen besitzen ein Hybridnetzwerk aus verknüpften anorganischen und organischen Polymerstrukturen. Mit geringen Schichtdicken können auf verschiedenen Metallen sehr gute korrosionsschützende Eigenschaften erzielt werden. Zusätzlich können weitere Eigenschaften implementiert werden wie z. B. eine gute Reinigungsfähigkeit (easy-to-clean). Als Untergründe sind insbesondere Leichtmetalle wie Aluminium, Magnesium, Titan oder Edelstähle geeignet. Derartige Nanobeschichtungen haben seit einigen Jahren ihren Weg in serienmäßige Automobilanwendungen gefunden. Einige Beispiele werden nachfolgend genannt.

Turboladergehäuse aus Aluminiumdruckguss werden im Inneren mit einer dünnen Schutzschicht versehen, die einen exzellenten Korrosionsschutz bietet, insbesondere gegen auftretende saure Abgase und zusätzlich die Anhaftung von Verbrennungsrückständen reduziert.

Zierleisten und Dachrelings aus eloxiertem Aluminium sind mit einem dekorativen und deckend schwarzen Lack mit sehr hoher Chemikalienbeständigkeit beschichtet.

Als Klarlackvarianten kommen Sol-Gel-Beschichtungen auf Edelstahloberflächen im Bereich von Trittblechen zum mechanischen Schutz zur Anwendung.

3.3 Ökologische Bewertung von Nanoanwendungen im Automobil

3.3.1 Einsatz von nanopartikulärem CeO₂ und SiO₂ im Automobil – Modellierung von eingesetzten Mengen und Expositionsabschätzung (Diesel-Additive, Abgaskatalysatoren, Reifen)

Bernd Giese, Institut für Sicherheits- und Risikowissenschaften (ISR) der Universität für Bodenkultur (BOKU), Wien und Fadri Gottschalk ETSS AG, Engineering, Technical and Scientific Services, Schweiz

Formen von synthetischem amorphem Siliziumdioxid (SAS) werden in vergleichsweise großen Mengen produziert und wurden bereits seit der Mitte des letzten Jahrhunderts in einer wachsenden Zahl von Produkten und industriellen Prozessen eingesetzt. Auch nanopartikuläres CeO₂ wird in einer zunehmenden Zahl von Produkten und Prozessen verwendet. Produkte für Fahrzeuge zählen zu den wichtigen Anwendungen von SiO₂- und CeO₂-Nanopartikeln. Im Projekt ‚Designkriterien für Nachhaltige Nanomaterialien‘ (DENANA)¹⁵ wurden u. a. für künstliche SiO₂- und CeO₂-Nanopartikel Angaben zu den Produktionsmengen, den Produktkategorien sowie ihrer damit verbundenen Freisetzung zusammengetragen, um im Rahmen einer Modellierung die zeitliche Entwicklung der Exposition gegenüber diesen Nanopartikeln abzuschätzen.

Von den verschiedenen SAS-Formen wird präzipitiertes SiO₂ in den größten Mengen produziert und unter anderem für Gummiprodukte verwendet. Dabei stellen vor allem Reifen eine wichtige Quelle für die diffuse Emission von SiO₂-Partikeln dar. Bei synthetischen CeO₂-Nanomaterialien muss potenziell mit einer diffusen Freisetzung von Nanopartikeln gerechnet werden, wenn sie in Abgaskatalysatoren sowie als Dieseladditiv zur Abgasreinigung bei Fahrzeugen eingesetzt werden.

Für die identifizierten Produktkategorien konnte auf der Basis von Annahmen zur Freisetzung von synthetischen Nanopartikeln

- i) während der Nutzungsphase und
- ii) ihrem Verbleib am Lebensende der Produkte

¹⁵ Das Projekt ‚DENANA – Designkriterien für Nachhaltige Nanomaterialien‘ wurde vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) gefördert (Förderkennziffer 03X0152A).

ein probabilistisches Modell der bisherigen und zukünftigen Massenströme und Freisetzungsmengen in der Bundesrepublik Deutschland entwickelt werden. Die ermittelten Umweltkonzentrationen ermöglichen eine Risikoabschätzung für die Gegenwart und die Zukunft.

3.3.2 CNT in Plastik – Umweltentlastungseffekte im Einsatzbereich Automobil?

Michael Steinfeldt, Universität Bremen.

Carbon Nanotubes (CNT) verfügen über sehr gute elektrostatische Eigenschaften, die in speziellen Plastikteilen zum Einsatz kommen und dort konventionelle Additive wie Carbon Black substituieren können.

Ziel der im Rahmen des EU-Projekts SUN - Sustainable Nanotechnologies – durchgeführten Ökobilanzstudie war es, die potenziellen Umweltwirkungen des Einsatzes von CNT im Automobil zu ermitteln und diese mit konventionellen Materialien zu vergleichen. Die möglichen Vorteile des Einsatzes von CNT, einerseits in der Verringerung des spezifischen Additiv-Anteils und andererseits durch eine absolute Materialeinsparung des Plastikteils bei Gewährleistung der gleichen Funktionalität, wurden dazu in verschiedenen Szenarien untersucht (5 % versus 10 % Additivanteil bei gleichem Gesamtgewicht; 5 % absolute Gewichtseinsparung). Außerdem wurden in der Studie drei mögliche und relevante unterschiedliche CNT-Syntheseverfahren zur Herstellung von CNT (Baytubes[®], NANOCYL[™] und VGCF[®]) ökobilanziell berücksichtigt.

Als Ergebnis der Fallstudie lässt sich feststellen, dass sich keine ökologischen Vorteile ergeben, wenn Carbon Black durch CNT substituiert werden ohne dass auch gleichzeitig absolute Gewichtsreduzierungen des Gesamtplastikteils realisiert werden können. Erst bei einer gleichzeitigen Gewichtseinsparung von 5 % nähern sich die untersuchten Szenarien hinsichtlich ihrer Umweltwirkungen an. Ursache ist der höhere Aufwand zur Herstellung von CNT gegenüber der Herstellung von Carbon Black.

3.4 Mikroelektronische Anwendungen für das Automobil

3.4.1 Sichere Mobilität dank Nano-Technologien

Berthold Hellenthal, Audi AG

Technische Systeme können den Menschen in seiner Sinneswahrnehmung, Reaktionszeit und beim schnellen Lösen komplexer Aufgabenstellungen unterstützen. Die sich rasant weiterentwickelnden Nanotechnologien ermöglichen immer komplexere Assistenzsysteme auf dem Weg zum Fahrerersatz in der vollautomatischen Mobilität.

Beispiele aus der Entwicklung der Assistenz- und Sicherheitssysteme zeigen im Detail auf welche Weise und mit welcher Technologie unsere Sicherheit bereits heute für aktive und passive Verkehrsteilnehmer täglich verbessert wird. Kommende, in Teilen bereits absehbare Fortschritte und neue Sinne ermöglichen die Weiterentwicklung einer immer sichereren Mobilität unter aktiver Einbeziehung menschlicher Fehler.

3.5 Energiespeichertechnologien

3.5.1 Silizium basierte Nanopartikel als Speichermaterial für Lithium Ionen Zellen

Dr. Stefan Koller, Varta

Mit dem Startschuss der großen Automobilkonzerne zur Elektrifizierung des Antriebsstranges wächst auch das Verlangen nach leistungsfähigeren elektrochemischen Energiespeichern. Doch nicht nur die Automobilindustrie benötigt leistungsfähigere Akkus. Im Bereich mobiler Consumer-Electronics werden die Fortschritte der letzten Jahre durch den gestiegenen Energiebedarf der Geräte mehr als kompensiert, sodass die Verdreifachung der Energiedichte von Lithium-Ionen-Batterien seit deren Kommerzialisierung (1991, Sony) sich nur unmerklich in längeren Betriebszeiten manifestiert.

Lithium-Ionen-Batterien stellen heute die fortschrittlichste Technologie zur elektrochemischen Energiespeicherung dar und bieten zudem durch die große Diversität an einsetzbaren Materialien nicht nur die Möglichkeit, die Batterie für die jeweilige Anwendung maßzuschneidern, sondern auch ein enormes Potenzial zur Weiterentwicklung. Dabei ließe sich eine deutliche Erhöhung der Energiedichte durch den Ersatz von Graphit durch Silizium als Speichermaterial für die negative Elektrode erzielen, da diese eine rund dreimal so hohe Menge an Lithium Ionen bei gleichem Volumen speichern kann. Dabei stellt die enorm hohe Volumenausdehnung des Siliziums von +300 % (vgl. Graphit: +10 %) eine maßgebliche technologische Herausforderung dar. Als Lösungsansätze wurden in der Vergangenheit nahezu ausschließlich Konzepte basierend auf Nanomaterialien vorgestellt, welche jedoch enorme Herausforderungen bei der Implementierung in den Fertigungsprozess von Lithium Ionen Zellen mit sich bringen. Der Vortrag wird die Problemstellungen diskutieren, die aus dem Einsatz von Nanomaterialien entstehen und Lösungsansätze daraus ableiten.

3.5.2 Nachhaltigkeitsaspekte zu Nanomaterialien und Nanostrukturen in emergenten Batteriespeichern

Dr.-Ing. Marcel Weil, Institut für Technikfolgenabschätzung und Systemanalyse (ITAS), KIT, Karlsruhe & Helmholtz Institut Ulm für elektrochemische Energiespeicher (HIU), KIT, Ulm

In gegenwärtigen und emergenten elektrochemischen Energiespeichern werden unterschiedliche Nanomaterialien für die Produktion der verschiedenen Aktiv-Komponenten wie Anode, Kathode und Elektrolyt eingesetzt. Zu nennen sind hier beispielsweise Kohlenstoffnanoröhren, Graphen aber auch nano-kristaline intermetallische Verbindungen oder nano-skalige oxidische Übergangsmetalle. Darüber hinaus werden die Oberflächen der Elektroden nicht selten nano-skalig strukturiert oder die ganze Elektrode besitzt eine nano-poröse Matrix. Der Einsatz von Nanomaterialien und Nanostrukturen dient in der Regel der Verbesserung der Batterieperformance hinsichtlich Energiedichte, Leistungsdichte, (zyklische und kalendarische) Lebensdauer, Effizienz, und nicht zuletzt der Sicherheit. Neben diesen intendierten Effekten sind aber auch Kostenaspekte und nicht intendierte ökologische Auswirkungen oder mögliche Risiken zu beachten. Anhand verschiedener Beispiele haben wir aufgezeigt, wie in den frühen Batterieentwicklungsprozess Nachhaltigkeitsaspekte prospektiv integriert werden können. Im Hinblick auf „Responsible Research and Innovation“ (RRI) wird hierfür die Methode der konstruktiven Technikfolgenabschätzung (CTA) eingesetzt. Dabei steht die Lebenszyklusorientierung im Fokus der Betrachtungen, aber auch die Interaktion mit den Technologieentwicklern, um ein Bewusstsein über mögliche Auswirkungen durch den Einsatz von Nanomaterialien zu schaffen.

3.6 Ausblick

3.6.1 Die Veränderung der Deutschen Automobilindustrie durch den Einfluss der Digitalisierung sowie die Rolle von Nanomaterialien als mögliche Schlüsseltechnologie für die erfolgreiche Gestaltung des Wandels

Ivica Kolaric, Fraunhofer IPA

Die Deutsche Automobile Produktion zählt zu den wettbewerbsfähigsten Industrien weltweit und verzeichnet einen sehr hohen Beschäftigungsanteil in der deutschen Gesamtbevölkerung. Das Wissen um die Entwicklung und Produktion von hochwertigen Fahrzeugen war über 100 Jahre hinweg stets ein Treiber für Innovationen entlang der gesamten Wertschöpfungskette und genießt heute Weltweit ein hohes Ansehen. Basierend auf dieser Innovationskraft konnten Deutsche OEM's in der Vergangenheit in einem extrem wettbewerbsintensiven Markt, ihre Absatzzahlen kontinuierlich steigern, während die meisten Europäischen Mitbewerber drastische Einbrüche der Verkaufszahlen verzeichnen mussten

Um diese bedeutenden Position bewahren zu können, muss sich die Automobile Produktion heuer einer Vielzahl an enormen Herausforderungen stellen und sich schnell den neuen Marktbedürfnissen anpassen. Zu diesen Herausforderungen zählen beispielsweise, die Elektrifizierung des Antriebsstranges, die kontinuierliche Zunahme der Variantenvielfalt in der Produktion, die Verschiebung der Märkte, sowie eine kontinuierliche Vernetzung von Fahrzeug und Umwelt. In der Automobilen Produktion von Morgen werden Bauteile und Module in der Lage sein mit dem Logistik- und Produktionsumfeld zu kommunizieren. Das Fahrzeug selbst wird in einem permanenten Dialog mit seiner Umwelt und dem Fahrer, sowie unterstützenden Serviceangeboten stehen. Der Elektrische Antrieb wird zunehmend an Bedeutung gewinnen und die klassische monolithische Energiespeicherstruktur kann durch, dezentrale und neue Speichermedien ergänzt werden. Diese Herausforderungen werden zu einem rasant steigenden Bedarf an neuen und besseren elektronischen Komponenten, wie HMI Sensoren, Pufferspeicher, etc. führen, welcher nicht ausschließlich durch klassische Materialien, wie Kupfer oder Silber nachhaltig gedeckt werden kann. Mittels gedruckten Kohlenstoff Nanoröhrchen (CNT) oder Graphen konnten bereits elektronische Komponenten, wie beispielsweise Superkondensatoren, HMI Sensoren im Prototypen Maßstab realisiert werden und zeigen großes Potential die kommenden Marktbedürfnisse decken zu können. Im Prinzip nahezu unendlich Verfügbar können ein- oder zweidimensionale Kohlenstoffe synthetisiert und zu Elektroden verarbeitet werden.

Im Rahmen des Vortages werden, basierend auf einer Auswahl wichtiger Veränderungstreiber der Automobilen Industrie, Handlungsfelder um die Speichertechnik und HMI Elektronik identifiziert und vorgestellt. Neben einer kurzen Einführung zu den Grundlagen der eingesetzten Nanomaterialien, werden Prozessierung und Systemintegration vorgestellt. Anhand von aktuellen Anwendungsbeispielen im Automobil, werden die Vor- und Nachteile kritisch diskutiert und in einen sozialen, ökologischen und ökonomischen Kontext gestellt.