



Nanotechnologien im Automobil

Innovationspotenziale in Hessen für die Automobil- und Zuliefer-Industrie



Nanotechnologien im Automobil

Innovationspotenziale in Hessen für die Automobilund Zuliefer-Industrie

Impressum

Nanotechnologien im Automobil - Innovationspotenziale in Hessen für die Automobil- und Zuliefer-Industrie

Band 3 der Schriftenreihe der Aktionslinie Hessen-Nanotech des Hessischen Ministeriums für Wirtschaft, Verkehr und Landesentwicklung

Frstellt von:

Dr. Matthias Werner, Wolfram Kohly, Mirjana Šimić NMTC - Nano & Micro Technology Consulting Soorstraße 86, D-14050 Berlin

Carl-Ernst Forchert, Wolf-Christian Rumsch, Veit Klimpel, Jessica Ditfe INPRO Innovationsgesellschaft für fortgeschrittene Produktionssysteme in der Fahrzeugindustrie mbH Hallerstraße 1, D-10587 Berlin

Redaktion:

Dr. Rainer Waldschmidt (Hessisches Ministerium für Wirtschaft, Verkehr und Landesentwicklung) Alexander Bracht, Markus Lämmer (Hessen Agentur, Hessen-Nanotech) Dr. Thorsten Ralle (TÜV Hessen, vormals TTN-Hessen, c/o IHK Offenbach)

Herausgeber:

HA Hessen Agentur GmbH Abraham-Lincoln-Straße 38-42 D-65189 Wiesbaden Telefon 0611774-8614 Telefax 0611774-8620 www.hessen-agentur.de

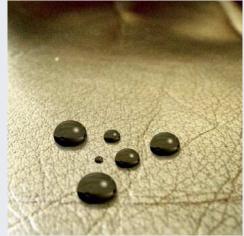
Der Herausgeber übernimmt keine Gewähr für die Richtigkeit, die Genauigkeit und die Vollständigkeit der Angaben. Die in der Veröffentlichung geäußerten Ansichten und Meinungen müssen nicht mit der Meinung des Herausgebers übereinstimmen.

© Hessisches Ministerium für Wirtschaft, Verkehr und Landesentwicklung Referat Öffentlichkeitsarbeit Kaiser-Friedrich-Ring 75 D-65185 Wiesbaden www.wirtschaft.hessen.de

Vervielfältigung und Nachdruck – auch auszugsweise – nur nach vorheriger schriftlicher Genehmigung.

Gestaltung: WerbeAtelier Theißen, Lohfelden Icons: RESOLUT DESIGN, Prof. Mühlenberend, Leipzig Druck: Werbedruck Schreckhase, Spangenberg

Dezember 2006 Unveränderter Nachdruck April 2008



De Cie GmbH

Abbildung Titel: DaimlerChrysler (groß) Links: © De Cie GmbH Mitte: © NANO-X GmbH Rechts: © Heraeus Noblelight GmbH

Inhalt

	Nanotechnologien im Automobil - mehr individuelle Mobilität für alle	2
	Zusammenfassung	4
	Nanotechnologien - was ist das?	6
1	Funktionalitäten der Nanotechnologien	8
2	Anwendungen der Nanotechnologien im Automobil	10
	2.1 Die Außenhaut des Automobils	11
	2.2 Die Autokarosserie	15
	2.3 Das Interieur des Automobils	20
	2.4 Fahrwerk und Reifen	22
	2.5 Elektrik und Elektronik	24
	2.6 Motor und Antrieb	29
3	Das wirtschaftliche Potenzial der Nanotechnologien für die Automobil- und Zuliefer-Industrie	
4	Forschungsprogramme, Finanzierungsmöglichkeiten und Netzwerke	33
	Regionale Aktivitäten und Netzwerke	36
	Weitere Netzwerke	38
5	Stellungnahmen wichtiger Verbände	39
	Verband der Automobilindustrie (VDA)	39
	Kompetenzfeld Nanotechnik des	
	Vereins Deutscher Ingenieure (VDI)	40
	ZVEI - Zentralverband Elektrotechnik- und Elektronikindustrie e.V	41
6	Anhang	12
	6.1 Glossar	42
	6.2 Internetlinks zu Nanotechnologien	44
	(2)	

Nanotechnologien im Automobil – mehr individuelle Mobilität für alle



Individuelle Mobilität ist ein Grundbedürfnis der Menschen und eine wichtige Grundlage für die Entwicklung moderner Gesellschaften. Hieran hat das Automobil auch in absehbarer Zukunft entscheidenden Anteil. Nach einer Schätzung der Vereinten Nationen wird sich der weltweite Fahrzeugbestand bis zum Jahr 2030 von derzeit 750 Millionen auf rund 1,5 Milliarden Pkw und Nutzfahrzeuge verdoppeln. Treibende Kraft dieser Entwicklung ist die weiter wachsende Nachfrage nach Automobilen in schnell wachsenden Märkten wie China, Indien, Korea, Brasilien oder Russland. Der zunehmende Wohlstand der Menschen in diesen Regionen wird dazu führen, dass auch sie die Möglichkeiten zu mehr individueller Mobilität nutzen wollen, dazu mehr Fahrzeuge kaufen und diese immer häufiger benutzen werden.

Mit dem erhöhten Verkehrsaufkommen steigt aber auch der weltweite Bedarf an Energie und Rohstoffen. Es stellen sich zudem weitere drängende Fragen nach der Sicherheit der Insassen, intelligenten Verkehrsleitsystemen, der Reduktion von Schadstoffen und effektivem Recycling am Ende der Wertschöpfungskette zur Schonung knapper Ressourcen.

Vor diesem Hintergrund bieten sich heimischen Automobilherstellern und -zulieferern einzigartige Potenziale. Gleichzeitig werden sie zukünftig aber in einem zunehmend härter werdenden internationalen Wettbewerb auch enormen Herausforderungen ausgesetzt sein. Unternehmen und Wissen-

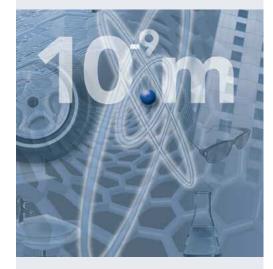
schaft in aller Welt richten daher ihre Forschung und Entwicklung zunehmend darauf aus, die Sicherheit, den Komfort und die Umweltverträglichkeit des Automobils den zukünftigen Bedingungen so anzupassen, dass die Vorzüge individueller Mobilität nachhaltig gesichert werden können. Nanotechnologie spielt dabei eine wichtige, wenn nicht gar die entscheidende Rolle. Sie liefert wesentliche Beiträge bei der notwendigen Entwicklung und Produktion innovativer Materialien und Prozesse im Automobilbereich. Moderne Reifen beispielsweise erhalten ihre hohe Laufleistung, Haltbarkeit und Straßenhaftung durch nanoskalige Rußpartikel und Kieselsäure. Materialien mit Nanopartikeln oder Schichten im Nanometermaßstab erzeugen vorteilhafte Effekte an Innen- und Außenflächen, Karosserie oder in Motor und Antrieb.

Weit wichtiger wird es jedoch sein, die bahnbrechenden Ergebnisse der Nanotechnologien in Produkte umzusetzen, die die Umweltverträglichkeit und Sicherheit der Fahrzeuge so erhöhen, dass Automobile individuelle Mobilität für breite Schichten bieten können, ohne die Lebensgrundlagen der Menschen zu gefährden. Nur mit Hilfe von Nanotechnologien erscheint es möglich, die Säulen des Prinzips Nachhaltigkeit gleichermaßen zu berücksichtigen: Ökologie durch die Schonung von Umwelt und knappen Ressourcen, Ökonomie durch die Schaffung und Sicherung wettbewerbsfähiger Arbeitsplätze sowie Bereitstellung individueller Mobilität in aller Welt.

Für die heimische Industrie gilt es, diese einmaligen Innovationspotenziale der Nanotechnologien im globalen Mega-Markt Automobil zu nutzen und so ihre gute Ausgangsposition zu sichern und auszubauen. Leider sind die großen Chancen noch nicht überall in ausreichendem Maße bekannt. Die vorliegende Broschüre soll daher aktuelle und zukünftige Trends von Nanotechnologien im Automobil aufzeigen und mit den Stärken heimischer Unternehmen auf diesen Gebieten zusammenführen.

Es ist mein Wunsch, erfolgversprechende Möglichkeiten der Nanotechnologien im Fahrzeugbau aufzuzeigen und damit notwendige Innovationsprozesse in hessischen Unternehmen der Automobilund Zulieferindustrie anzustoßen. Denn nur mit innovativen Lösungsansätzen werden hessische Anbieter zu den Gewinnern im globalen Wettbewerb um individuelle Mobilität gehören.

Dr. Alois Rhiel Hessischer Minister für Wirtschaft, Verkehr und Landesentwicklung



Zusammenfassung

Nanotechnologien gewinnen weltweit an wirtschaftlicher Bedeutung. Zahlreiche Produkte enthalten bereits heute nanotechnologische Komponenten oder werden mit Hilfe der Nanotechnologien hergestellt. Die Vorzeichen für einen umfassenden industriellen Umbruch durch Nanotechnologien sind aus naturwissenschaftlicher Sicht seit den achtziger Jahren des zwanzigsten Jahrhunderts erkennbar. Heute herrscht ein allgemeiner Konsens darüber, dass Nanotechnologien mittel- bis langfristig Einfluss auf praktisch alle Lebens- und damit Wirtschaftsbereiche gewinnen werden. Im Unterschied zu vielen anderen Hochtechnologien haben Nanotechnologien Querschnittscharakter und besitzen damit ein sehr breites Anwendungspotenzial in vielen wirtschaftlichen Bereichen.

Nanoskalige Füllstoffe wie Rußpartikel finden Einsatz in Autoreifen, in Drucktinten oder Lacken. Die nanometergroßen Abmessungen von elektronischen Bauelementen und funktionalen Schichten in Leseköpfen erlauben eine drastisch verbesserte Leistungsfähigkeit von Festplatten. Katalysatoren und Luftfiltersysteme sorgen für saubere Luft im und außerhalb des Automobils. Optische Schichten zur Reflexionsminderung auf Armaturenbrettern oder wasser- und schmutzabweisende "easy-to-clean"-Oberflächen auf Autospiegeln und Scheiben sind weitere Beispiele für Anwendungen von Nanotechnologien in Automobilen. Mit derartigen Endprodukten werden bereits heute Milliarden-Umsätze generiert. Nanotechnologien fließen dabei als Bestandteil des Produktes oder in die Produktionstechnik ein

In der Produktionstechnik für den Automobilbau der Zukunft haben nanotechnologische Kleber ein enormes wirtschaftliches Potenzial, da sich mit ihnen Energie bei Fügeprozessen einsparen lässt. Eine interessante Anwendung ergibt sich durch Klebstoffe, die mit magnetischen Nanopartikeln modifiziert sind. Die Einkopplung von thermischer Energie in Form von Mikrowellenstrahlung löst die für den Klebevorgang nötige chemische Reaktion aus.

Mit Hilfe von Nano-Additiven in Kunststoffen können deutlich verbesserte Verarbeitungseigenschaften in Spritzgießmaschinen erzielt werden. Hier sind Energieeinsparungen von bis zu 20 Prozent möglich. Alternativ lässt sich die Zykluszeit um bis zu 30 Prozent reduzieren. Formwerkzeuge können einfacher gestal-

tet und neue Bauteile dünnwandiger sein, so dass deutlich Material eingespart wird. Außerdem wird die Menge an Ausschuss reduziert. Dieses gerade auch bei hoch belasteten Teilen wie Gehäusen und Funktionsteilen von elektrischen Antrieben, in Scheibenwischerarmen, Türgriffen, Scheinwerferstrukturen, Spiegelsystemen, Verbindungselementen, Schiebedachelementen, in Gehäusen für Schließanlagen und vielen weiteren Anwendungen.

Praktisch alle physikalischen und chemischen Eigenschaften eines Polymers können mit Füllstoffen modifiziert werden. Anreiz sind die erheblichen Eigenschaftsverbesserungen wie Kratzfestigkeit oder eine größere mechanische Stabilität. Jüngste Entwicklungen erlauben es, konventionelle Autoscheiben aus Glas durch im Nanometerbereich beschichtete Kunststoffe zu ersetzen. Hierbei steht die Entwicklung transparenter, leichter, kratzfester und zugleich steifer Werkstoffe im Vordergrund. Eine weitere Möglichkeit Kraftstoffverbräuche und Emissionen zu reduzieren sowie die Energieeffizienz zu steigern, besteht in der nanotechnologischen Beschichtung von Zylinderlaufbahnen. Dadurch können die erheblichen Reibungsverluste in heutigen Motoren künftig deutlich reduziert werden. Die Brennstoffzelle als alternativer Antrieb und Versorger der Autoelektronik ist heute bei fast allen Automobilherstellern in der Erprobung. Nanotechnologien können auch hier entscheidende Impulse liefern. Beispiel sind die Zellenelektrode, die Diffusionsmembran oder auch Systeme zur Wasserstoffspeicherung. Diese und weitere Beispiele werden in vorliegender Broschüre vor-

Innovationen und Spitzentechnologien sind zwingende Voraussetzungen, um die Wettbewerbsfähigkeit im Automobilbau zu erhalten. Zunehmende staatliche Reglementierungen bei Sicherheit und Umweltverträglichkeit sowie steigende Kundenanforderungen in Bezug auf Leistung, Komfort und Design von Automobilen werden die künftigen Treiber für die Entwicklung innovativer Technologien sein. Diese sind wesentlicher Baustein eines integrierten Mobilitätsmanagements für die Zukunft. In Hessen wurde dazu die Initiative "Staufreies Hessen 2015" ins Leben gerufen, um Konzepte zur Stauvermeidung und Verkehrssteuerung zu entwickeln.

Nanotechnologische Kompetenz wird künftig zu einer Kernfähigkeit im Automobilbau gehören (Volkswagen 2003). Sie wird erforderlich sein, um die internationale Wettbewerbsfähigkeit dieser für die deutsche Volkswirtschaft wichtigen Branche zu erhalten. Hessen setzt konsequent auf Nanotechnologien. Die Standortbedingungen sind auch im weltweiten Vergleich hervorragend. So haben verschiedene Großunternehmen der Chemiebranche die zu den Weltmarktführern im Bereich Nanotechnologien gehören sowie international renommierte Automobil- und Zuliefer-Unternehmen ihren Sitz in Hessen. Eine wachsende Zahl an kleinen und mittelständischen Unternehmen nutzten die Nanotechnologien für ihre Produkte beziehungsweise deren Produktion. Gerade kleinere Unternehmen haben unter Beweis gestellt, dass bereits heute Nanotechnologien zu tragfähigen unternehmerischen Konzepten führen können. Weit mehr als 100 Unternehmen in Hessen setzen Nanotechnologien für ihre Produkte oder die Produktion ein. Mehr als 20 Unternehmen davon beliefern die Automobilindustrie mit Produkten, die den Nanotechnologien zuzuordnen sind.

Gemäß der amtlichen Statistik ist der Wirtschaftsbereich "Herstellung von Kraftwagen und Kraftwagenteilen" mit rund 50.000 Beschäftigten und einem Umsatz von 12,3 Mrd. Euro im Jahr 2005 nach der Chemischen Industrie und dem Maschinenbau die drittgrößte Industriebranche in Hessen (Bauer 2006). In dieser Statistik ist aber ein beachtlicher Teil der Automobilzulieferer - und zwar Unternehmen, die den Großteil ihrer Produktion an die Automobilindustrie absetzen, selbst aber statistisch zu einer anderen Branche zählen - nicht enthalten und somit für die Gesamtbetrachtung noch hinzuzurechnen. Beispiele für derartige Unternehmen sind Reifenhersteller (Gummi- und Kunststoffindustrie) oder Produzenten von elektronischen Baukomponenten sowie Mess- und Regeltechnik für das Automobil (Elektroindustrie). Bezieht man diese Zuliefererunternehmen mit ein, ist die gesamte Automobilindustrie mit etwa 64.000 Beschäftigten nach der Chemie sogar die zweitwichtigste Industriebranche in Hessen.

Neben Opel sind auch andere wichtige Automobilproduzenten wie zum Beispiel DaimlerChrysler und Volkswagen mit Werken in Hessen vertreten. Daneben sind exemplarisch die Automobilzulieferer Siemens VDO, Continental Teves, Fulda Reifen, Pirelli, Dunlop und Delphi zu nennen. Außerdem haben internationale Konzerne wie zum Beispiel Honda, Mazda, Hyundai und Isuzu Forschungs- und Entwicklungsstandorte in Hessen. Generell ist die Automobilindustrie in Hessen auf die Herstellung von Kraftwagenteilen und -zubehör ausgerichtet. Das Produktionsspektrum reicht von ganzen Systemen wie Chassis, Getrieben, Gelenkwellen und Reifen über kleinere Teile (zum Beispiel Bremsscheiben, Gleitlager und Schläuche) bis hin zu vielfältigen elektronischen Bauteilen und Komponenten (zum Beispiel LCD-Anzeigen, Car-Multimedia, Einspritz- und Telematiksysteme).

Die vorliegende Unternehmerbroschüre zeigt zahlreiche existierende und in der Forschung befindliche potenzielle Anwendungen von Nanotechnologien für die Automobil- und Zuliefer-Industrie auf. Ausgehend von wichtigen Funktionalitäten der Nanotechnologien werden verschiedene Anwendungsbeispiele für die Außenhaut des Automobils, die Karosserie, das Interieur, das Fahrwerk sowie für den Motor und Antrieb beschrieben. Darauf aufbauend wird auf das wirtschaftliche Potenzial eingegangen und es werden relevante Forschungsprogramme, Netzwerke, Ansprechpartner und Verbände dargestellt. Die Broschüre soll auch dazu dienen die Vielfältigkeit der Anwendungen der Nanotechnologien im Automobilbereich darzustellen, um dem Leser die Möglichkeit zu geben, für sein Betätigungsfeld mögliche Anwendungen und Potenziale zu identifizieren.



[© pixelquelle.de]

Nanotechnologien - was ist das?

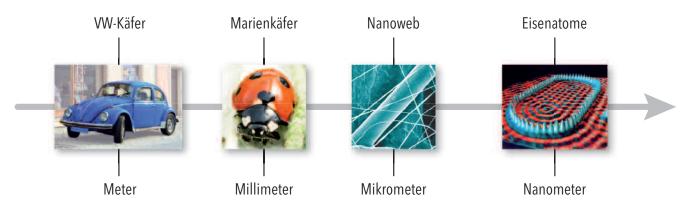
Nanotechnologien sind Querschnittstechnologien und umfassen viele verschiedene Wissenschaftsbereiche und Anwendungsgebiete. Dazu gehören klassische Fächer wie Chemie, Physik und Maschinenbau sowie neue Disziplinen wie die Nano-Biotechnologie und Teilgebiete der Mikrosystemtechnik. Die Nanotechnologien haben dabei in den letzten Jahren zunehmend an Bedeutung gewonnen. Bereits heute werden im Großmaßstab Nanopartikel mit neuen Eigenschaften produziert und in Produkten verwendet. Die aktuell am Markt verfügbaren nanotechnologischen Produkte sind in den meisten Fällen eher unspektakulär und an vielen Stellen fast unbemerkt ein Teil des Alltags geworden.

Gegenstand der Nanotechnologien ist die Herstellung und Untersuchung von funktionalen Strukturen kleiner als 100 Nanometer. Ein Nanometer ist der millionste Teil eines Millimeters. Auf dieser Skala gewinnen materialabhängig Grenzflächeneffekte und große spezifische Oberflächen an Bedeutung, die man an größeren Strukturen nicht beobachten kann. In dieser Größenordnung treten Quanteneffekte in Erscheinung, in denen ein noch weitgehend unausgeschöpftes Potenzial an neuartigen Funktionalitäten liegt. Die kritische Größe unterhalb derer sich die Materialeigenschaften ändern, ist vom Material selbst abhängig. Durch die Änderung der Größe derartiger Bausteine, die Kontrolle der chemischen Zusammensetzung sowie die gezielte Beeinflussung der atomaren Struktur ist es möglich, makroskopische Materialien mit völlig neuen Eigenschaften und Funktionalitäten herzustellen.

Da Nanotechnologien ausschließlich über die geometrische Längenskala und den damit verbundenen physikalischen, chemischen oder biologischen Effekten definiert sind, sind fast alle technischen Branchen davon betroffen.

Die spezifische Oberfläche von einem Gramm nano-kristallinen Pulvers kann, in Abhängigkeit der Korngröße des Materials, der Fläche eines Fußballfeldes entsprechen. Allein die Zahl der heute auf dem Markt befindlichen Produkte auf Basis synthetischer Nanopartikel liegt schätzungsweise bei etwa 500. Dazu zählen Sonnenschutzcremes mit hohem UV-Schutz, nanoskalige Tonerpartikel für Kopierer und Drucker, kratzfeste Autolacke, wasser- und schmutzabweisende Textilien, Golf- und Tennisschläger mit verschiedenen Arten von Kohlenstoffbeimischungen mit erhöhter Stabilität, nanopartikuläre Materialien in Babywindeln zur besseren Absorption der Feuchtigkeit sowie Frischhaltefolien zur höheren Reißfestigkeit und Gaspermeabilität (BMU 2005).

Ein Beispiel für die Anwendung von Nanotechnologien im Automobil sind Reifen. Heutige Reifen erhalten ihre hohe Laufleistung, Haltbarkeit und Straßenhaftung durch feine Rußpartikel, die im Englischen "Carbon Black" genannt werden. Eine neue Familie dieses Stoffes, so genannte Nanostrukturruße, erlaubt es darüber hinaus, die Lebensdauer des Reifens noch weiter zu erhöhen sowie weitere Eigenschaften, wie zum Beispiel Griffigkeit, zu verbessern. Nanostrukturruße werden durch thermische Zersetzung von Rußöl hergestellt. Hier haben Fortschritte



Größenvergleich



Festplatten als Massenspeicher werden in naher Zukunft verstärkt im Automobil eingesetzt werden.
[© Western Digital Corp.]

der Analyse- und Messtechnik sowie ein tieferes Verständnis der zugrunde liegenden Prozesse zur gezielten Modifizierbarkeit der Rußpartikel geführt. Dabei sind verschiedene Strukturen und Oberflächen einstellbar und damit die Eigenschaften steuerbar.

Ein weiteres Beispiel ist der Einzug von Nanotechnologien in die Bereiche Fahrzeugnavigation und Audiosysteme. So werden schon heute gezielt für den Einsatz in Fahrzeugen entwickelte Festplatten produziert, auf denen sich Filme abspeichern lassen, die auf dem Navigationssystem angesehen werden können. Diese neue Festplattentechnologie wird den speziellen hohen Anforderungen, die sie für die Verwendung im Automobil erfüllen müssen, immer mehr gerecht. Herausforderungen an die Festplatten sind unter anderem enorme Temperaturschwankungen im Fahrzeuginneren und hochfrequente Vibrationen eines Automotors.

Aber auch der Treibstoffverbrauch und die Schadstoffemission von Dieselfahrzeugen kann durch Treibstoffzusätze und Abgaskatalysatoren, die die Verbrennungseffizienz durch nanoskalige Katalysatoren erhöhen, verbessert werden. Aufgrund der großen spezifischen Oberfläche der nanokristallinen Katalysatoren sind diese besonders reaktiv.



Optimierung der Verbrennungseffizienz und Reduktion des Treibstoffverbrauchs von Dieseltreibstoffen durch Treibstoffzusätze und Abgaskatalysatoren.

[© Oxonica]



Nanoskalige Füllstoffe wie "Carbon Black" oder Silica sind Bestandteile moderner Autoreifen. [© Pirelli GmbH]

1 Funktionalitäten der Nanotechnologien

Nanotechnologien können aufgrund ihrer Effekte und Funktionalitäten in fast allen Branchen und Technologien zum Einsatz kommen. Wegen des Querschnittscharakters sind Nanotechnologien besonders wichtig für viele Bereiche des Automobilbaus.

Die bisher erforschten Funktionalitäten nanotechnologischer Materialien, Produkte und Verfahren bieten einen anwendungsorientierten Zugang zu den Nanotechnologien für Unternehmen (Heubach 2005). Diese Phänomene sind eng mit Produktnutzen und -funktion und damit kundenorientierter Nachfrage verbunden und stellen das Bindeglied zwischen den Nanotechnologien und dem Automobilbau dar. Für den Automobilbau relevante Funktionalitäten werden im Folgenden vorgestellt (angelehnt an TAB 2003).

Mechanische Funktionalitäten

Die deutlich verbesserten mechanischen Funktionalitäten nanostrukturierter Festkörper sind höhere Härte, Bruchfestigkeit und -zähigkeit bei niedrigen Temperaturen oder Superplastizität bei hohen Temperaturen. Grundlage der Effekte ist eine Verkleinerung der Korngröße, so dass Größen erreicht werden, unterhalb derer im Korn selbst keine plastischen Verformungsmechanismen mehr ablaufen können. Für Anwender ergeben sich hieraus Nutzen wie zum Beispiel eine verlängerte Lebensdauer von Produktionswerkzeugen oder auch effektivere Schmiersysteme und optimierte Leichtbauwerkstoffe.

Geometrische Effekte

Wesentliche Reaktionen zwischen gasförmigen oder flüssigen Medien und festen Medien spielen sich häufig in Nanometer-Dimensionen an der Kontaktfläche ab. Die Wechselwirkung mit diesen Medien stellt daher an die Oberfläche von Partikeln, Poren, Fasern, Halbfertig- und Fertigprodukten besondere physikalische und chemische Anforderungen. Bei den Schutzfunktionen ist dies unter anderem die Beständigkeit gegen Oxidation, Korrosion, mechanischen Verschleiß und hohe Temperaturen (BMBF 2002). Aufgrund der geringen Größe von Nanostrukturen gewinnt das extreme Oberflächen- zu Volumen-Verhältnis dieser Werkstoffe an Bedeutung. Die große spezifische Oberfläche und die Oberflächeneigenschaften von nanostrukturierten Materialien beeinflussen daher die chemische Reaktivität. Bei Poren im Nanometerbereich in einem Werkstoff treten zum Teil vollkommen neue Effekte auf, die zum Beispiel in neuartigen Nanofiltern genutzt werden können.

Elektronische / Magnetische Funktionalitäten

Im Nanometerbereich treten Quanteneffekte auf, die bei größeren Objekten nicht zu beobachten sind. Ladungsträger, die sich in Festkörpern nahezu ungehindert im gesamten Volumen bewegen können, werden durch die engen Dimensionen von Nanoobjekten in ihrer Bewegungsfreiheit stark eingeschränkt. In einem Material mit makroskopischen Dimensionen, das aus nanokristallinen Kristalliten besteht, die durch Korngrenzen voneinander getrennt sind, ist dieses Verhalten ebenfalls zu beobachten. Durch die Streuung von Ladungsträgern an Grenzflächen ändern sich verschiedene elektronische Eigenschaften. Daher sind häufig ein Anstieg des spezifischen elektrischen Widerstandes und eine Änderung der Temperaturabhängigkeit des Widerstandes im Vergleich zu einem Material mit Kristalliten im Mikrometerbereich zu beobachten. Die Manipulation der Korngröße eines derartigen Materials erlaubt also die elektronischen Eigenschaften entsprechend einzustellen.

Zu den magnetischen Eigenschaften von Festkörpern gehören Paramagnetismus und Ferromagnetismus. Durch die Verringerung der Größe ferromagnetischer Domänen lassen sich makroskopische magnetische Eigenschaften (zum Beispiel Sättigungsmagnetisierung, Remanenz) beeinflussen. In der Praxis genutzt wird der Riesen-Magnetowiderstandseffekt (GMR-Effekt), der in Magnetfeldsensoren zum Einsatz kommt, in magnetischen Speicherelementen (Magnetic RAM, MRAM) oder in Klebstoffen, die mit magnetischen Nanopartikeln so modifiziert sind, dass die Hafteigenschaften schaltbar werden.

Optische Funktionalitäten

Da Nanopartikel deutlich kleiner sind als die Wellenlänge sichtbaren Lichts, tritt an ihnen keine Reflexion auf. Dispersionen von Nanopartikeln aus sonst undurchsichtigem Material können daher transparent erscheinen. Nanopartikel können allerdings Streueffekte verursachen, bei denen kürzere Wellenlängen stärker als längere abgelenkt werden, was zu Farbeffekten führen kann (TAB 2003). Durch das Maßschneidern der Größe von Nanopartikeln lässt

sich spezifisch ein scharf begrenzter Wellenlängenbereich (eine Farbe) einstellen, in dem das Material Licht absorbiert oder emittiert. Genutzt wird dies in transparenten Dispersionen von Nanopartikeln oder in optisch funktionalen Oberflächen, wie zum Beispiel bei der Entspiegelung von Solarzellen oder im Bereich der optischen Analyse und der Informationsübertragung. Ein weiteres zukünftig wichtiges Beispiel sind Quantenpunkte. Mit Hilfe von so genannten Quantenpunkten können Laser konstruiert werden, deren Wellenlänge (Farbe) durch die Größe der Quantenpunkte in gewünschter Weise eingestellt werden kann. Weitere Informationen zum Thema enthält die Broschüre "NanoOptik", Band 5 der Schriftenreihe der Aktionslinie Hessen-Nanotech.

Chemische Funktionalitäten

Die chemische Funktionalität von Nanoobjekten beruht wesentlich auf deren Oberflächenstruktur. Nanostrukturierte Materialien weisen einen besonders großen Anteil an Oberflächenatomen auf. Solche Atome sind aufgrund ihrer ungesättigten Bindungen besonders reaktiv. Gitterverspannungen beziehungsweise verzerrte Bindungswinkel führen zu einer erheblich vergrößerten Oberflächenenergie. Nutzbar ist dies für Oberflächen mit maßgeschneidertem Benetzungsverhalten, zur räumlichen Anordnung von funktionellen Gruppen, zur Erhöhung der chemischen Selektivität und Reaktivität, aber auch der chemischen Stabilität in unterschiedlichen chemischen Verfahrensprozessen.

Die nachfolgende Tabelle gibt einen kurzen Überblick über mögliche Anwendungsbereiche von nanotechnologischen Funktionalitäten im Automobilbau. In Zukunft ist mit einer Vielzahl weiterer Anwendungen zu rechnen, die nahezu alle Branchen der Automobil- und Zuliefer-Industrie betreffen werden.

Anwendungen der Nanotechnologie im Automobil

Existierende Anwendungen

Mögliche zukünftige Anwendungen

Anwendung	Funktionalitäten	Außenhaut Exterieur	Karosserie	Interieur	Fahrwerk und Reifen	Elektrik und Elektronik	Motor und Antrieb
Effekt							
Mechanische Funktionalität	Härte, Reibung, tribologische Eigenschaften, Bruchfestigkeit	Nanoklarlack			Carbon Black in Reifen		Reibungsarme Aggregatkomponenten
		Polymer- verscheibung	Nanostahl		Nanostahl		
Effekte	Großes Ober- flächen- zu Volu- menverhältnis, Porengröße			Nanofilter		Supercaps	
			Geckoeffekt	Geckoeffekt		Brennstoffzelle	
Elektronische/ Magnetische Funktionalität	Größenabhängige elektrische und magnetische Eigenschaften		Kleben auf Kommando			GMR-Sensoren	Piezoinjektoren
					Schaltbare Werk- stoffe (Rheologie)	Solarzellen	
Optische Funktionalität	Farbe, Fluoreszenz, Transparenz	Ultradünne Schichten		Antireflex- beschichtungen			
		Elektrochrome Schichten					
Chemische Funktionalität	Reaktivität, Selektivität, Oberflächen- eigenschaften	Pflege- und Versie- gelungssysteme	Umformung von hochfesten Stählen	Schutz vor Verschmutzung			Katalysatoren
			Korrosionsschutz	Wohlgeruch im Innenraum			Treibstoffzusätze

[Icons: © RESOLUT DESIGN]

2 Anwendungen der Nanotechnologien im Automobil

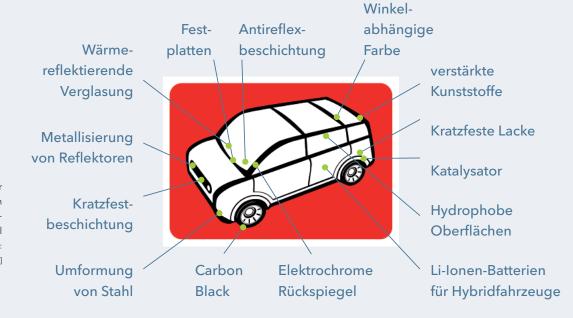


Zielrichtungen für den Einsatz von Nanotechnologien im Automobil

[In Anlehnung an Steingrobe 2006]

Laut einer Studie des Büros für Technikfolgenabschätzung beim Deutschen Bundestag (TAB 2003) gehört nanotechnologische Kompetenz im Automobilbau der Zukunft zu den Kernfähigkeiten, die zum Erhalt der internationalen Wettbewerbsfähigkeit unbedingt erforderlich sind. Das Automobil ist Arbeits- und Freizeitmittel – es sichert Individualität und garantiert Mobilität. Weltweit fahren circa eine dreiviertel Milliarde Fahrzeuge, mit steigender Tendenz. Daher sind die Problemfelder Fahrzeugverbrauch, Schadstoffausstoß, Recycling und Verkehrsaufkommen auch gleichzeitig Chancen für die Industrie, sowohl für die international starke deutsche Automobilindustrie als auch für die stark mittelständisch geprägte Zulieferindustrie (BMBF 2004). Die Nutzung von nanotechnologischem Know-how für neue Funktionalitäten zielt auf die Optimierung von Umweltaspekten – Sicherheit – Komfort ab.

Bereits heute gibt es eine ganze Reihe von nanotechnologischen Anwendungen in Automobilen. Die in untenstehender Abbildung dargestellten Anwendungen stellen dabei nur einige Beispiele dar.



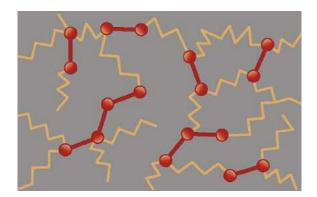
Beispiele für Anwendungen der Nanotechnologien im Automobil [Icon Auto: © RESOLUT DESIGN]

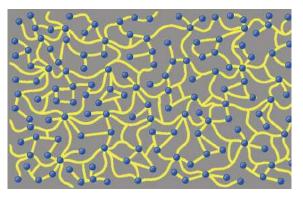


2.1 Nanotechnologien für die Außenhaut des Automobils

Im Bereich der Oberflächentechnik erlauben nanostrukturierte Oberflächen zum Beispiel eine bessere Lackhaftung. Die Selbstreinigung wird auf Autoscheiben und Außenhäuten, die Lösung heutiger technologischer Herausforderungen vorausgesetzt, zum Standard werden. Kratzfeste, schmutzabweisende oder selbstheilende Autolacke sind bereits existierende oder in der Entwicklung befindliche Anwendungen.

Zu den Anwendungen der Nanotechnologien auf der Außenhaut des Automobils gehören neben der Lackierung selbst, innovative Verscheibungen oder ultradünne Beschichtungen für Spiegel und Scheinwerfer sowie Pflege- und Versiegelungssysteme. Insbesondere bei den Pflege- und Versiegelungssystemen sind bereits zahlreiche Lösungen am Markt verfügbar. Die folgenden Anwendungen illustrieren den Stand der Entwicklung von nanotechnologischen Anwendungen für die Außenhaut des Automobils anhand ausgewählter Beispiele.





Wertbeständigkeit und Kratzfestigkeit mit Nano-Klarlacken

Eine makellose Außenhaut soll auch nach einer Vielzahl von Autowäschen und mehrjährigem Einsatz gewährleistet sein. Gegenüber herkömmlichen Lacksystemen lässt sich mit Nano-Klarlacken eine höhere Kratzbeständigkeit und Lackbrillanz erzielen.



Mit Nano-Klarlack lackierter Mercedes-Benz-PKW [© DaimlerChrysler AG]

Grundlage für diesen technologischen Effekt sind eingebettete Keramikpartikel in der abschließenden Klarlackschicht im Nanometermaßstab. Eine zurzeit stark zunehmende Bedeutung erlangen Nanopartikel wie AEROSIL® R 9200 von Degussa für Automobilklarlacke, die entscheidend zur Verbesserung der Kratzfestigkeit beitragen. Traditionell findet sich AEROSIL® aber auch in anderen Schichten der Außenhaut eines Fahrzeugs, wo es beispielsweise zur Pigmentstabilisierung, Rheologiesteuerung und dem Korrosionsschutz dient. Dabei handelt es sich um besondere Formen von Silica die bei den innovativen Automobillacken eine wichtige Rolle spielen. Grundlage dafür sind nanostrukturierte Pulver, die in einer Gasphasensynthese in der Flamme hergestellt und deshalb als pyrogen bezeichnet werden. Ausgehend von Siliziumtetrachlorid entstehen durch Flammenhydrolyse kleine, kugelförmige Silica-Primärteilchen mit einem mittleren Durchmesser von sieben bis 40 Nanometern (Oberholz 2006). Im flüssigen Zustand des Lacks befinden sich diese Partikel zunächst ungeordnet in der Lösung. Während des Trocknungs- und Aushärtungsprozesses vernetzen sie sich innig mit der Molekularstruktur des Lackbindemittels. Dadurch entsteht an der Lackoberfläche eine sehr dichte und regelmäßige Netzstruktur. Die Folge ist eine Verbesserung der Kratzfestigkeit um das Dreifache sowie eine erheblich verbesserte Lackbrillanz. Dieses neuartige Lacksystem ist von DaimlerChrysler entwickelt worden. Diese Nano-Klarlacke werden bereits bei einigen Modellen der Marke Mercedes-Benz eingesetzt.

Oben: Konventionelle Lacke setzen sich im Prinzip aus Bindemittel (orange) und Vernetzern (rot) zusammen.

Unten: Nanolacke bestehen aus organischem Bindemittel mit hoher Elastizität (gelb) und aus anorganischen Nanopartikeln mit hoher Härte (blau). Die sehr dicht gepackten Nanopartikel machen den Lack kratzfest.

[© DaimlerChrysler AG]

Ein Verfahren zur Härtung von Nanolacken, das die erforderlichen hohen Aushärtetemperaturen aufbringt, beruht auf der Verwendung von speziellen Infrarotstrahlern. Entwickler und Hersteller dieser Strahler ist das in Hanau ansässige Unternehmen Heraeus.

Hessen hat eine führende Stellung bei der Herstellung von Nanolacken und deren Komponenten. Beispiele ansässiger Unternehmen sind Merck KGaA, Solvadis AG, Lurgi Chemie und Hüttentechnik GmbH, DuPont de Nemours GmbH, Degussa AG, Deutsche Amphibolin-Werke, Ciba Spezialitätenchemie, Akzo Nobel Powder Coatings GmbH sowie der Clariant GmbH.

Moderne Nanobeschichtungen und spezielle
Nanolacke können erfolgreich mit Infrarotwärme getrocknet oder ausgehärtet werden. Das zeigen Versuche im Anwendungszentrum des Speziallichtquellenherstellers Heraeus Noblelight in Kleinostheim.

[© Heraeus Noblelight GmbH]



Kratzfeste Polymerscheiben für den Leichtbau

Heute werden für ein Automobil bis zu 6 m² Glas verarbeitet - davon 1,2 m² allein für die Frontscheibe. Die Scheibenflächen werden aus Designgründen in Zukunft eher noch zunehmen. Hierin steckt ein großes Leichtbaupotenzial, das sich durch den Ersatz von Mineralgläsern durch Polymergläser erschließen lässt. Diese sind nun gegenüber Verkratzungen, Abrieb und Witterungseinflüssen auszurüsten.

Polymergläser, insbesondere Polycarbonat mit hervorragender Schlagfestigkeit und geringem Gewicht, werden bereits seit längerer Zeit für Scheinwerferabdeckscheiben beziehungsweise Scheinwerferstreuscheiben in Serie eingesetzt. Um sie kratzfester zu machen, werden diese derzeit mit Acrylat- oder Polysiloxanlacken beschichtet. Bei diesen Lacken werden während des Aushärteprozesses extrem harte Nanopartikel aus Aluminiumoxid in die Substratmatrix eingelagert. Damit wird eine große Verschleißfestigkeit bei guter Schlagzähigkeit erreicht. Durch die geringe Größe der Füllteilchen und die feine Verteilung ist auch diese Beschichtung hochtransparent.



Ursprünglich für Blickfeldstudien entwickelt, zeigt das Glaskuppelauto mögliche Einsatzgebiete der Nanotechnologien. [© DaimlerChrysler AG]

Bei optisch hochwertigen Verglasungen, wie zum Beispiel bei den Fensterscheiben, kommt es auf einen extrem gleichmäßigen Auftrag der Kratzfestbeschichtung an. Daher werden derzeit Verfahren entwickelt, die Hartstoffe direkt aus der Gasphase auf die Polymergläser aufzubringen. Diese so genannten PVD- (Physical Vapour Deposition) und CVD- (Chemical Vapour Deposition) Verfahren sowie die Plasmapolymerisation bilden in einem Vakuum-Beschichtungsprozess eine wenige Nanometer dünne hochvernetzte Polymerschicht mit organischen und anorganischen Bestandteilen.

Kratzfeste hochtransparente Kunststoffe bieten neue Möglichkeiten, gerade in Verbindung mit modernen Spritzgußtechnologien. Die leichte Formbarkeit des Kunststoffs eröffnet völlig neue Designmöglichkeiten – von transparenten Dächern und Außenhautteilen bis hin zu gesamten Fahrzeugmodulen aus Kunststoff mit integrierten Leuchten und Aerodynamik-Elementen. Derzeit sind nahezu alle namhaften Automobilproduzenten in diesem Bereich engagiert.

Weitere Informationen zum Thema enthält die Broschüre "NanoOptik", Band 5 sowie die Broschüre "NanoProduktion", Band 6 der Schriftenreihe der Aktionslinie Hessen-Nanotech.

Ultradünne Schichten für Spiegel und Scheinwerfer

Moderne Spiegel und Scheinwerfer mit hoher optischer Qualität und Effizienz basieren auf Glas- und Kunststoffformteilen, die mit einer ultradünnen reflektierenden Schicht aus Aluminium ausgestattet sind. In den letzten Jahren wurden dann bessere Auftragsverfahren für hochreflektierende Schichten mit Dicken von weniger als 100 Nanometer entwickelt.



Großtechnisch erfolgt das Beschichten mit Aluminium in Vakuumverdampfungsanlagen. Dabei wird Aluminium durch Wolframglühdrähte erhitzt und verdampft. Neu entwickelte und speziell geformte Verdampfungsstrukturen der Firma Cotec aus Nidderau erhöhen die Aufdampfrate erheblich. Sie sorgen somit für eine bessere Ausnutzung des Aluminiums und vermeiden Bedampfungsfehler. Die Temperaturbelastung der zu beschichtenden Teile ist bei diesem Verfahren niedrig, der apparative Aufwand und die laufenden Kosten vergleichsweise gering.

Ein weiteres Anwendungsfeld für Verscheibungen und Spiegel im Automobilbau erschließt sich durch die Möglichkeit, Oberflächen wasser-, fett- und schmutzabweisend auszurüsten. Diese so genannten hydrophoben und oleophoben Schichten werden mittels CVD- (Chemical Vapour Deposition) Verfahren abgeschieden.



Von Cotec wurde ein fluororganisches Material entwickelt, das nach der Abscheidung auf einem Werkstück sowohl hydrophobe als auch oleophobe Eigenschaften aufweist. Die Schicht führt mit einer Dicke von lediglich 5 bis 10 Nanometern zu einer superglatten Oberfläche, die sehr leicht von Verunreinigungen wie Wassertropfen, Öl, Staub, Schmutz, Schweiß und Fingerabdrücken zu reinigen ist. Aufgrund der guten Gleitreibungseigenschaften ergibt sich bei der Reinigung eine nur geringe Abrasion, die zu einer langen Lebensdauer der Schicht führt. Diese Schicht besteht aus Molekülketten, die an einem Ende eine Ankergruppe besitzen, mit der die Schicht an der Oberfläche des Substrates eine chemische Bindung eingeht und sich damit "festkrallt". Am anderen Ende liegt die Funktionsgruppe, die für die wasser-, fett- und staubabweisende Wirkung verantwortlich ist. Ein besonders gutes Anwendungspotenzial wird für diese neue Beschichtungstechnologie für Polycarbonatscheiben erwartet.

Schematische Darstellung der Wirkung einer perfluorierten Beschichtung zur Einstellung der hydrophoben und oleophoben Eigenschaften [© Cotec]

Die Schwerpunkte der Firma Cotec GmbH liegen in der Anwendung und der Weiterentwicklung von Nanotechnologien für die verschiedensten Anwendungsfelder, wie der Feinoptik und dem Automobilbau. Die von Cotec entwickelten Schichtsysteme werden von der Automobil- und Zuliefer-Industrie unter anderem für die Beschichtung von Spiegeln, Spritzgussteilen und Scheinwerfern eingesetzt. Neben der Cotec GmbH befasst sich die Genthe-X-Coatings GmbH in Goslar mittels einer anderen Technologie mit dieser Aufgabenstellung.

Weitere Informationen zum Thema enthält die Broschüre "NanoOptik", Band 5 der Schriftenreihe der Aktionslinie Hessen-Nanotech.

Elektrochrome Schichten für blendfreie Rückspiegel

Die Sicherheitsanforderungen für Automobile nehmen beständig zu. Im gleichen Maße steigt auch die Anzahl elektronischer Assistenzsysteme und Bedienfunktionen, die den Fahrer entlasten. Da liegt es nahe, die menschlichen Sinne zu unterstützen, um größtmögliche Aufmerksamkeit für sicheres Fahren zu erzielen. Für eine optimale Sicht bei Dämmerung und Dunkelheit werden bereits heute in höheren Ausstattungsvarianten Rückspiegel automatisch abgeblendet.





Einstellung der Oberflächeneigenschaften auf Glasscheiben (oben unbehandelt; unten hydrophob) [© Cotec]

Metallisierung von Scheinwerfergehäusen [© Cotec] Hierbei kommen so genannte elektrochrome Gläser zum Einsatz. Das Spiegelglas wird hierfür mit einem funktionalen Schichtverbund versehen. Eine angelegte Spannung verschiebt Ladungen in der Zwischenschicht und bewirkt eine Veränderung der optischen Eigenschaften. Die Ionen bilden an der Elektrode Farbzentren, die einfallendes Licht absorbieren und nur einen kleinen Teil reflektieren. Der Effekt kann durch Umpolung der Spannung rückgängig gemacht werden und das Glas erhält die ursprünglichen Eigenschaften zurück. Der Vorgang ist mit dem Laden und Entladen eines Akkumulators vergleichbar und es existieren auch Analogien zur Überladung und zum Memory-Effekt, so dass eine entsprechende Steuereinheit die Regelung der Einfärbung übernehmen muss.

Am Rückspiegel erkennt ein vorwärts gerichteter Sensor schwaches Umgebungslicht und signalisiert dem System auf blendendes Licht zu achten. Für eine optimale Verdunkelung nimmt ein Hecksensor blendendes Licht der nachfolgenden Fahrzeuge wahr und regelt die Intensität der Tönung. Ist das Blendlicht verschwunden, wird der Grundzustand des Spiegelglases wiederhergestellt.

Die Gentex Corp. mit Sitz in den USA hat sich mit der erfolgreichen Entwicklung elektrochromer Schichten ein eigenes Marktsegment geschaffen und ist Marktführer für automatisch abblendende Spiegelsysteme.

Wirkung der elektrochromen Beschichtung am Beispiel des Rückspiegels (© Gentex GmbH)



Normaler Rückspiegel [© Gentex GmbH]



Pflege- und Versiegelungssysteme für saubere Oberflächen

Pflege- und Versiegelungssysteme werden für eine Reihe von Außen- und Innenanwendungen im Automobil entwickelt und angeboten.





Links: Antifingerprint auf Edelstahl **Rechts:** Antikalk [© NANO-X GmbH]

Speziell bei Anti-Beschlag- und Anti-Verschmutzungs-Produkten wird die Oberfläche mittels Nanopartikeln wasser- und fettabweisend eingestellt. Anwendungen sind hier Scheiben und Spiegel, aber auch Kunststoffe und textile Oberflächen. Hierbei wird das Prinzip der Selbstorganisation genutzt, wobei sich nanoskalige Komponenten während des Auftragens eigenständig anordnen. Es entsteht eine unsichtbare ultradünne Schutzschicht im Nanometerbereich, die verhindert, dass sich Öle, Fette, Wasser und Schmutz mit der Oberfläche verbinden. Derartige Oberflächenversiegelungen bestehen aus Nanopartikeln, die sich mit dem Untergrund fest verbinden und anderen Komponenten, die der Beschichtung die notwendige Härte verleihen. Die für die wasser- und fettabweisenden Eigenschaften verantwortlichen Komponenten richten sich zur Oberfläche hin aus.

Die meisten bislang bekannten Oberflächenmodifizierungen oder Beschichtungen gegen Verschmutzung sind hydrophob, also wasserabweisend. Die Benetzbarkeit mit Wasser ist auf diesen Oberflächen so gering, dass bei einer entsprechenden Neigung der Fläche das Wasser einfach abperlt und dabei den Schmutz mitreißen kann. Viele dieser Oberflächen sind glatt, einige funktionieren dagegen nach dem Prinzip des Lotus-Effekts. Es hat sich allerdings in der Praxis gezeigt, dass gerade die abperlenden Regentropfen beim Trocknen Schmutzreste auf Scheiben hinterlassen - deutlich sichtbar als Schlieren. Außerdem neigen die hydrophoben Wirkstoffe bei Verwendung in Reinigungsmitteln dazu, Streifen zu erzeugen. Wenn man allerdings eine Oberfläche so modifiziert, dass Wasser sie gleichmäßig benetzen und schneller abfließen kann, können sich keine "Regennasen" bilden und die Oberfläche bleibt

länger sauber. Dazu können hydrophile also "wasserliebende" Nanoteilchen genutzt werden. Die Nanoteilchen werden dafür so ausgewählt, dass sie besonders gut auf Glas haften. Die Teilchen werden beim Reinigen auf die Oberfläche aufgebracht, wo sie sich selbstständig zu einer gleichmäßigen, nicht sichtbaren Schicht anordnen. Ihre negative Ladung hält die jeweiligen Nachbarteilchen auf Distanz und macht die Oberfläche "wasserliebend". Bereits heute ist diese Technologie Bestandteil von allen Fensterreinigern der Firma Henkel (Henkel 2005).

Zur Lackpflege setzt Aral das Produkt NanoShine in Waschstraßen ein. Die Nanoteilchen in der Waschchemie bilden eine glatte Schicht, praktisch eine zweite Haut auf dem Autolack und anderen Flächen. Die Nanopartikel füllen Unebenheiten und Hohlräume gleichmäßig aus und erzeugen so eine extrem glatte Oberfläche. Dadurch werden Lichtstrahlen gleichmäßig reflektiert und die Brillanz der Farben erhöht.

Renommierter Hersteller von Pflege- und Versiegelungssystemen in Hessen auf Nanobasis ist unter anderem die De Cie GmbH.

Derzeit wird die Bezeichnung "Nano" gerade bei Pflege- und Versiegelungssystemen inflationär gehandhabt. Mitunter werden Produkte mit "Nano" beworben, deren Wirkprinzipien gar nicht auf nanoskalige Wirkmechanismen zurückzuführen sind.



Verschmutzungsschutz auf Autofelgen mit dem Nano-Felgen-Protector (oberhalb der roten Markierung geschützt, unterhalb ungeschützt) [© De Cie GmbH]



2.2 Anwendungen der Nanotechnologien für die Autokarosserie

Die Sicherheit der Verkehrsteilnehmer ist ein wichtiges Entwicklungsziel für nanostrukturierte Materialien und Werkstoffe. So könnten hochfeste aber flexible nanostrukturierte Karrosserieteile als hocheffiziente Chrashabsorber eingesetzt werden. Dadurch kann Material und Gewicht und letztendlich Kraftstoff eingespart werden. Für die Zulieferindustrie sind die produktionstechnischen Aspekte kurzfristig am interessantesten.

Nanostahl - stabil und kostengünstig

Stahl ist traditionell einer der wichtigsten Werkstoffe für den Autokarosseriebau. Es kommen in Kraftfahrzeugen durch Erfordernisse des Leichtbaus zunehmend auch Leichtmetalle und Kunststoffe zum Einsatz, so dass der Stahlanteil in Kraftfahrzeugen insgesamt abnimmt. Mitte der 70er-Jahre hatte ein Mittelklasse-Automobil einen Stahlanteil von bis zu 75 % am Gesamtgewicht des Automobils. Inzwischen hat sich dieser im Schnitt auf unter 50 % reduziert und soll weiter sinken (Rudolph 2006).

Die verwendeten Stahlsorten verschieben sich dabei kontinuierlich in Richtung hochfester Stahlgüten, um künftigen Anforderungen an Leichtbau und Crashsicherheit genügen zu können.

Ein möglicher Weg solche hochfesten Stahlgüten zu erzeugen, kann mit Hilfe der Nanotechnologien realisiert werden. Eingelagerte Nanoteilchen aus metallischen Carbonnitriden können die Dauerbelastbarkeit von Stahl um ein Vielfaches verstärken. Diese Eigenschaft ist besonders bei langlebigen Bauten wie Hochhäusern oder Hängebrücken gewünscht, wo das verwendete Material Temperaturschwankungen ausgesetzt ist und auch über einen langen Zeitraum nicht ermüden darf. Aber auch in der Automobilindustrie könnten "ermüdungsfreie" Nanostähle angesichts des steigenden Güterverkehrsaufkommens zum Beispiel im Nutzfahrzeugbereich sehr interessant sein.

Bei einer Beschädigung der Chromatschicht kann darin enthaltenes Chrom-VI durch chemische Reaktion erneut eine gewisse Schutzschicht ausbilden. Dreiwertige Passivierungen zeigen normalerweise keine Selbstheilung. [Angelehnt an Langner 2006] Verantwortlich für heute gängige hochfeste Stahllegierungen sind feine Partikel, die über den Prozess der Dispersionshärtung gleichmäßig über die gesamte Matrix verteilt werden. Dieser Prozess ist für die Produktion großer Stahlmengen jedoch nicht wirtschaftlich. Dieser Nachteil könnte mit Nanoteilchen aus metallischen Carbonnitriden der Vergangenheit angehören. Ein von japanischen Forschern hergestellter Stahl mit einem Chromgehalt von 9% wurde zusätzlich mit Anteilen von Kohlenstoff, Stickstoff und weiteren härtenden Elementen variiert (Taneike 2003). In Dauerbelastungsversuchen von bis zu 10.000 Stunden wurde festgestellt, dass ein 0,002 prozentiger Anteil an fein verteiltem Kohlenstoff die Stabilität des Stahls erheblich steigern kann. Für die herausragenden Eigenschaften wird die geringe Größe der nur fünf bis zehn Nanometer messenden Carbonnitridteilchen verantwortlich gemacht. Der große Vorteil liegt aber darin, dass das neue, um ein Vielfaches stabilere Material im Vergleich zu bisher verfügbaren hochfesten Stählen in konventionellen Herstellungsprozessen deutlich kostengünstiger produziert werden kann.

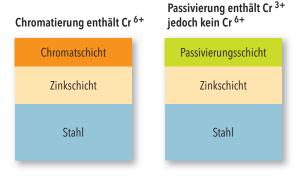
Korrosionsschutz ohne Chrom-VI

Ein wichtiges Thema im Automobilbau ist der Korrosionsschutz. Bei den hierzu häufig eingesetzten galvanischen Verfahren muss nach der EU-Altauto-

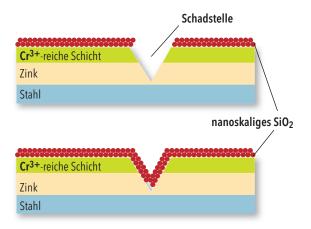
verordnung ab 2007 auf die Verwendung von Chrom-VI-haltigen Elektrolyten verzichtet werden. Grund hierfür sind die Gesundheits- und Umweltgefahren, die von Chrom-VI ausgehen. Allerdings gestaltete sich in der Galvanotechnik die Umstellung auf Chrom-III-haltige oder chromfreie Passivierungen problematisch. Während die auf Chrom-VI basierenden so genannten Chromatschichten einen Selbstheilungseffekt aufweisen und so behandelte Teile, die während des Trans-

ports oder der Weiterbearbeitung Verletzungen der Oberfläche erfahren, trotzdem ausreichend vor Korrosion geschützt sind, haben mit Chrom-III passivierte Oberflächen einen weniger guten Schutz.

Im Gegensatz zum Chrom-VI entwickelt Chrom-III (chemisch: Cr³⁺) keine "Fernschutzwirkung". Mit Hilfe des Einsatzes der Nanotechnologie ist es gelungen, diesen Nachteil zu beheben. Erreicht wird dies durch Siliziumdioxid (SiO₂)-Nanopartikel im Elektrolyten. Die durch den Galvanisierungsprozess erreichte Passivierung besteht aus einer Cr³⁺-reichen Schicht und einer Schicht aus SiO₂-Nanopartikeln in einer Cr³⁺-Matrix.



Wenn die Zinkschicht durch eine Beschädigung freigelegt wird, bildet sich dort eine positive Oberflächenladung aus. Die SiO₂-Partikel tragen eine negative Oberflächenladung und wandern zu der Schadstelle. Dabei wird die Schadstelle abgedeckt. Es kommt zu einer "Selbstheilung". Die Nanopassivierung ist geeignet für Zink und Zink-Eisen-Schichten. Die Schichtdicke beträgt circa 400 nm.

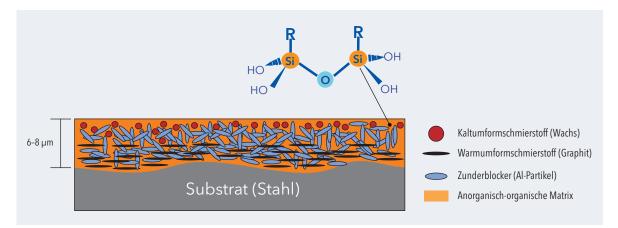


Korrosionsschutz und Selbstheilung der Oberfläche. Wird die Zinkschicht durch eine Beschädigung freigelegt, wandern die SiO₂-Partikel zur Schadstelle und decken diese ab. [© Langner 2006]

Bei der Holzapfel-Metallveredelung im hessischen Sinn und der Herborner Metallveredelung wurde das spezielle Verfahren für transparente Zink-Eisen-Schichten erfolgreich zu einem für die Beschichtung von hochwertigen Massengütern tauglichen Galvanikprozess integriert. Das Verfahren ist für eine Beschichtung von Stahl und Sintermetallen geeignet. Im Sprühnebeltest halten die beschichteten Teile 360 Stunden bis zum Weißrost und 720 Stunden bis zum Rotrost stand (360 h WR / 720 h RR). Dabei tritt selbst bei einer Temperatur von 120°C über 24 Stunden kein Verlust an Korrosionsbeständigkeit auf. Das Chrom-VI-freie Verfahren wird bereits heute für Teile im Bereich Fahrwerk, Bremsen und Türen erfolgreich eingesetzt.



Einsatzgebiete des nanotechnologischen Korrosionsschutzes [© Holzapfel-Metallveredelung GmbH]



Schematischer Aufbau der Nanokompositbeschichtung für die Warmumformung [© Universität Kassel]

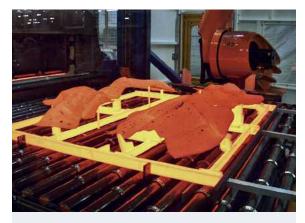
Nanotechnologien für die Umformung von hochfesten Stählen

Im Bereich der Karosserieteilefertigung mussten Automobilhersteller in den letzten Jahren enorme Anstrengungen unternehmen, um den gestiegenen Anforderungen an Crashsicherheit und Insassenschutz gerecht zu werden. Gesucht sind innovative Umform- und Fügetechnologien für höchstfeste Stahlbleche. Die Umformung hochfester Stahlwerkstoffe im kalten Zustand führt zu Problemen in der Maßhaltigkeit und unerwünschten Rückfederungseffekten. Eine alternative Möglichkeit, spezielle hochfeste Stahlsorten unter Vermeidung dieser Nachteile umzuformen, ist das so genannte Warmumformen, bei der die Stahlplatinen auf fast 1000°C erwärmt und im Umformwerkzeug umgeformt und definiert abgekühlt werden. Mit diesem Verfahren lassen sich höchstfeste und passgenaue Teile, beispielsweise für eine Sicherheitsfahrgastzelle, herstellen.

Für den Formhärteprozess wird das Blech auf eine Temperatur von rund 950°C erwärmt und glühend vom Ofen in die Pressform überführt, wo es auf die Endgeometrie umgeformt wird. Die Härtung geschieht durch eine schnelle definierte Abkühlung auf Temperaturen unterhalb von 200°C in der Form. Für die Beherrschung solcher Umformprozesse ist jedoch die Beschichtung der Platinen wesentlich, die mehrere Funktionen erfüllen muss. Die Beschichtung muss, die durch den Wärmebehandlungsprozess verursachte Verunreinigung der Bauteiloberflächen durch Oxidation der Werkstückoberflächen - Verzunderung genannt - verhindern. Weiter muss die Reibung zwischen Werkstück und Werkzeug verringert sowie ein nachhaltiger Korrosionsschutz gewährleistet werden.

Ausgehend von einem an der Universität Kassel konzipierten neuartigen Lösungsansatz wurde ein multifunktionales Beschichtungssystem entwickelt, das in der Lage ist, die Problematik der Verzunderung bei hohen Temperaturen nachhaltig zu lösen. Der multifunktionelle Schutzlack wurde durch Kombination eines nanotechnologischen Materialansatzes mit den Prinzipien konventioneller Lacktechnologie realisiert. Dabei werden glas- und kunststoffartige Materialien im Nanometerbereich miteinander verbunden und gemeinsam mit Aluminiumpartikeln zu einer Schutzschicht zusammengefügt.

In einem Projektkonsortium der Partner Presswerk Kassel der Volkswagen AG, ThyssenKrupp Steel AG, NANO-X GmbH, Dortmunder OberflächenCentrum GmbH und dem Fachbereich für Umformtechnik der Universität Kassel konnte diese Entwicklung unter Einbeziehung aller, innerhalb der Prozesskette von der Vormaterialherstellung beim Stahlhersteller bis zur Anwendung in den Produktionslinien der Automobilherstellung, auftretenden Applikationsfragestellungen in nur sechs Monaten zur Serienreife gebracht werden.



Auf 950°C vorerwärmte Blechbauteile [© Volkswagen AG, Presswerk Kassel]

Einbaufertiger formgehärteter Tunnel des neuen VW Passat [© Volkswagen AG, Presswerk Kassel]



Anwendungszentrum Metallformgebung (AWZ)

Künftig dürften die Nanotechnologien mit dem im Jahre 2007, unter anderem mit Hilfe von Fördermitteln der EU und des Landes Hessen, neu entstehenden Anwendungszentrum Metallformgebung (AWZ) in Baunatal noch größere Bedeutung gewinnen. Das AWZ ist der erste Abschnitt eines F&E-Zentrums für die nordhessische Mobilitätswirtschaft. Hier sollen Metall verarbeitende Unternehmen ihre Produkte und Prozesse in der Fertigung durch innovative Verfahren zum Beispiel aus den Nanotechnologien verbessern, um kostengünstiger, schneller und qualitativ hochwertiger produzieren zu können. Ein Neubau für die Bereiche Technikum, Prüflabor und Werkstatt ist geplant. Neben regionalen Unternehmen stellt die Universität Kassel als Hauptgesellschafter einen Teil der Maschinenausstattung und des Personals. Die wissenschaftliche Leitung wird Prof. Dr. Kurt Steinhoff, Lehrstuhl für Umformtechnik am Fachbereich Maschinenbau, übernehmen. Das AWZ wird den rund 600 Metall verarbeitenden Unternehmen der gesamten Region zugute kommen, aber auch Dienstleistungen für überregionale Unternehmen anbieten können.

Weitere Informationen zum Thema enthält die Broschüre "NanoProduktion", Band 6 der Schriftenreihe der Aktionslinie Hessen-Nanotech.

Ferrit-Dispersionen unterschiedlicher Konzentrationen (© SusTech GmbH & Co. KGI



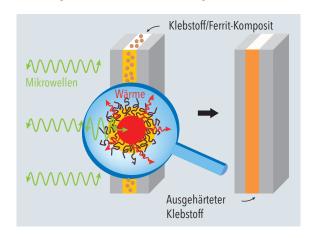
Verkleben und Lösen von Bauteilen auf Kommando

Das Kleben gewinnt in industriellen Fertigungsprozessen zunehmend an Bedeutung, da unterschiedliche Materialien miteinander verbunden werden können und eine Nachbearbeitung der Verbindungsstelle entfällt. Außerdem verspricht der Einsatz von Klebeverbindungen auch Kostenvorteile. Besonders schnell wächst der Anteil an Klebungen im Automobilbereich. Klebeprozesse lassen sich auf vergleichsweise einfache Weise in automatische Fertigungsabläufe integrieren. Anders als gängige Klebstoffe härten viele Industrieklebstoffe normalerweise nicht bei Raumtemperatur aus. Zusätzliche Energie, meistens in Form von Wärme, muss von außen zugeführt werden, um den Klebevorgang in Gang zu setzen. In der Praxis werden die zu verklebenden Teile bislang in einem Ofen oder mit Heißluftstrom bei circa 180°C behandelt. Da die Klebeflächen häufig verdeckt liegen, werden hierbei auch die Fügeteile mit erwärmt. Entsprechend hoch sind der Energiebedarf und die thermische Belastung der Komponenten.

Ein Lösungsansatz besteht darin, nur die Klebstoffschicht gezielt mit Hilfe von Mikrowellen zu erwärmen (SusTech 2003). Der Kleber wird hierzu mit speziellen Partikeln versehen, die als Antennen fungieren. Sie nehmen die elektromagnetische Energie auf, wandeln diese in Wärme um und geben sie an den umgebenden Klebstoff ab. Dies wird auch "Kleben auf Kommando" genannt. Hier ist es notwendig, Partikel bereitzustellen, die einerseits stofflich kompatibel zum Klebstoff sind und andererseits die physikalischen Anforderungen erfüllen, um effektiv die Energiestrahlung zu absorbieren. Die Lösung sind Ferrite, also dotierte Eisenoxide, die einen Partikeldurchmesser von rund zehn Nanometern haben. Aufgrund der großen spezifischen Oberfläche eignen sich diese Nanoferrite besonders gut für den Klebevorgang. Über die chemische Zusammensetzung und über die Teilchengröße kann deren optimale Absorptionsfrequenz an die Strahlungsquelle angepasst werden. Diese Nanoteilchen erwärmen die Klebstoffschicht gleichmäßig und gezielt. Ein weiterer Vorteil ist der "eingebaute Überhitzungsschutz". Je höher die Temperatur wird, desto geringer ist die Fähigkeit der Ferrite weitere Strahlung zu absorbieren und Wärme zu erzeugen. Dieses verhindert, dass es in der Klebeschicht zu lokalen Überhitzungen kommt.

Dieser neu entwickelte Prozess kommt mit deutlich weniger Energie aus. Gleichzeitig wird der Klebevorgang beschleunigt und somit die Taktzeiten reduziert. Ein weiterer Vorteil ist, dass aufgrund der materialschonenden Klebstoffaushärtung zukünftig auch bereits vorlackierte Teile und wärmeempfindliche Kunststoffe verklebt werden können. Dies könnte ganz neue Konstruktionen im Sinne einer Leichtbauweise ermöglichen.

Die Firma SusTech aus Darmstadt hat hierzu erste Systemlösungen entwickelt, die nicht nur das "Kleben auf Kommando", sondern auch für den umgekehrten Prozess, das "Lösen auf Kommando", genutzt werden können. In der Regel sind dazu höhere Temperaturen erforderlich. Wenn die Fahrzeuge ausgedient haben, können die geklebten Teile "auf Kommando" nach dem gleichen Prinzip wieder voneinander gelöst werden. Fügeteile können so zerstörungsfrei getrennt werden. Dies ermöglicht den Austausch einzelner Bauteile bei Reparaturen, ein sortenreines Recycling oder sogar eine Wiederverwertung.



Prinzip der Mikrowellenverklebung [© SusTech GmbH & Co. KG]

Das Unternehmen SusTech wurde von sechs Wissenschaftlern der Technischen Universität Darmstadt zusammen mit der Henkel KGaA gegründet. Der Fokus des Unternehmens liegt auf dem Gebiet der neuen Materialien. SusTech Darmstadt hat als gelungenes Public-Private-Partnership-Projekt bereits zahlreiche nanotechnologiebasierte Verfahren und Produkte in verschiedenen Anwendungsbereichen entwickelt.

Weitere Informationen zum Thema enthält die Broschüre "NanoProduktion", Band 6 der Schriftenreihe der Aktionslinie Hessen-Nanotech.

Geckoeffekt für die Automobilproduktion

Geckos sind wahre Kletterkünstler. Sie können jede Wand hinaufklettern, kopfüber die Decke entlanglaufen oder an einem einzigen Fuß an der Decke hinunterhängen. Spezielle Untersuchungen zur





Abhängigkeit der Haftung von der Geometrie der Füße und zur Unabhängigkeit von der Oberflächenchemie konnten bestätigen, dass die mikroskopische Größe und die Gestalt der Fußhaare des Geckos deren Haftverhalten bestimmen. Die Härchen sind ungefähr 100 Mikrometer lang und verzweigen sich in kleinere Härchen von ungefähr 10 bis 20 Mikrometer Länge. Diese enden in sehr dünnen so genannten Terminalplatten von ungefähr zehn Nanometer Dicke. Durch diesen Aufbau wird die Kontaktfläche an der Haftstelle enorm vergrö-Bert. Es wird vermutet, dass die Kletterkünste der Geckos auf den schwachen molekularen Van-der-Waals-Kräften beruhen. Durch die Anzahl der einzelnen winzigen Härchen und deren nanoskopischer Größenordnung, werden diesen starke adhesive Kräfte vermittelt. Allein der Kontakt von 10% der Härchen reicht aus, um den Gecko zu tragen.

Aus Polydimethylsiloxan und Polyester wurden erste synthetische Geckohaarspitzen produziert. Die Spitzen aus beiden Materialien haften wie die natürlichen Vorbilder. Für diese biologisch inspirierten adhäsiven Mikrostrukturen lassen sich weitreichende Anwendungen in Produktion und Produkt denken, wenn auch Fragen bezüglich großserientauglicher Fertigungsverfahren und Zeithorizont für derartige Strukturen weiterer Klärung bedürfen. Denkbar sind zum Beispiel universelle Greifer für Produktionsanlagen, die einen Wechsel der Greifzeuge ersparen und auch weitgehend oberflächentolerant eingesetzt werden können. Möglich wäre auch der Einsatz im Fügebereich, wo Klebestellen nun wieder lösbar sein würden und kein Klebstoff mehr erforderlich wäre.

Links: Gecko auf einer Glasscheibe

Rechts: Vergrößerung des Fußes

[© Dr. Stanislav Gorb, Evolutionary Biomaterials Group, MPI für Metallforschung]



2.3 Nanotechnologien für das Interieur des Automobils

Im Bereich des Interieurs spielen schmutzabweisende Sitze, Innenraumluftfilter zur Filtration von Partikeln und gasförmigen Schadstoffen, aber auch Antireflexschichten von Instrumentenabdeckungen eine wichtige Rolle. Hier ist nicht nur das Wohlbefinden, sondern auch der Gesundheitsaspekt der Fahrzeuginsassen von entscheidender Bedeutung.

Nanofilter für saubere Innenraumluft

Die Automobilindustrie hat das Bestreben, ihren Kunden neben höherer Sicherheit und sinkendem Kraftstoffverbrauch vor allem auch steigenden Komfort zu bieten. Hier ist das Raumklima unter anderem ein bedeutender Faktor. Dieses wird im Wesentlichen durch die Luftqualität beeinflusst. Zur Verbesserung der Innenraumluftqualität bei Automobilen wird heute der Filtration von Partikeln und gasförmigen Schadstoffen eine große Bedeutung zugemessen. Kabinenluftfilter gehören nach den ersten Anwendungen vor über 10 Jahren mittlerweile zur Standardausrüstung bei neuen Fahrzeugtypen.

Hochwertige Kfz-Innenraumfilter müssen sowohl Partikel (zum Beispiel Pollen, Sporen, Industriestaub) als auch Gerüche in hohem Grad aus der Zuluft entfernen. Der Filter muss in einem Temperaturbereich zwischen -40°C und +100°C bei schwankender Luftfeuchte funktionsfähig und gegenüber Vibrationen, Wasser und mikrobiologischem Bewuchs beständig sein.

Neuartige Luftfilter, die mit Nanofasern beschichtet sind, zeigen noch bessere Filtereigenschaften im Vergleich zu konventionellen Lösungen. Da sich die Fasergröße im Nanometerbereich bewegt, gelten die klassischen Gesetze der Strömungsmechanik nicht mehr. Daraus resultiert ein geringerer Luftwiderstand, wodurch Energie eingespart und der Luftstrom fast ohne Druckverlust transportiert werden kann. Das Erzeugen und Aufbringen der Nanofasern geschieht durch Elektrospinning, ein Verfahren, auf das beispielsweise die Professoren Dr. Andreas Greiner und Dr. Joachim Wendorff von der Philipps-Universität Marburg spezialisiert sind. Luftfiltersysteme werden beispielsweise von helsa-automotive GmbH & Co. KG produziert.

Ausschnittsvergrößerung eines Nanoweb®-Filters [© Hollingworth & Vose] Nanofiltration wird auch in neu entwickelten Rußfiltern verwendet. Sie sollen die Schadstoffemissionen von Pkws und Lkws noch deutlicher senken als bisher eingesetzte Filtersysteme. Rußpartikel werden dabei aus dem Abgasstrom ausgeschleust und auf einem metallischen Vlies gesammelt und so aus dem Abgas entfernt. In den winzigen Poren des Vlieses lagern sich die Partikel an und werden ab etwa 200°C kontinuierlich verbrannt.

Beim Unternehmen Hollingsworth & Vose aus Hatz-feld / Eder wird seit einigen Jahren die Herstellung von Filtermedien mit der Produktion von Feinstfasern auf Nanotechnologie-Basis kombiniert. Im Rahmen des Projekts NANOWEB® wurden in Zusammenarbeit mit der Philipps-Universität Marburg spezielle Hochleistungsfilter über eine Veredelung durch Nanofasern entwickelt. Bei Hollingsworth & Vose kommt das Elektrospinning-Verfahren zum Einsatz. Das Projekt NANOWEB® wurde im November 2004 mit dem Hessischen Innovationspreis ausgezeichnet. Ein weiterer in Hessen ansässiger Spezialhersteller für Kraftstofffilter ist die Faudi Aviation-Fuel Filtration GmbH.

Andere Entwicklungen betreffen die Zuführung der gefilterten und klimatisierten Luft in das Fahrzeuginnere. Um die benannte Zugluft durch die Klimaanlage zu vermeiden, könnte künftig der Luftaustritt großflächig aus Spezialschaumstoff am Fahrzeughimmel erfolgen. Mit Hilfe der Nanotechnologien lässt sich der Spezialschaumstoff so ausrüsten, dass die im Luftstrom befindlichen Schmutzteilchen nicht im Schaumstoff anhaften und somit zu seiner Verschmutzung führen. Auch die Wärmeisolation von



Dämm-Schäumen wird durch Nanotechnologien deutlich verbessert. Durch Verringerung der Größe der Luftzellen in Schäumen von 0,1 Millimeter auf rund 100 Nanometer wird eine deutliche Reduktion der Anzahl der Gasmoleküle pro Zelle erreicht. Die so am Ende vereinzelten Gasmoleküle haben keine Gelegenheit mehr, ihre Energie an andere weiterzugeben. Die für den Wärmetransport mitverantwortlichen Zusammenstöße von Gasmolekülen werden dadurch weitgehend ausgeschaltet. Gewünschte Wärmedämmeigenschaften lassen sich dadurch mit erheblich geringeren Isolierschichtdicken erzielen.

Weitere Informationen zum Thema enthält die Broschüre "NanoProduktion", Band 6 der Schriftenreihe der Aktionslinie Hessen-Nanotech.

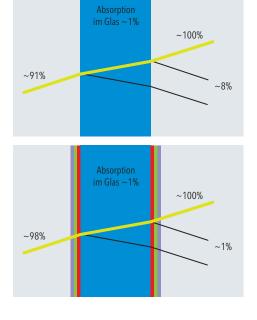
Antireflexbeschichtungen für bessere Sicht



Einen Beitrag zur Erhöhung der Sicherheit im Stra-Benverkehr liefert das Vermeiden unerwünschter Reflexe auf Cockpit-Instrumenten und Frontscheibe. Durch eine Oberflächenbeschichtung im Nanometerbereich kann das Eindringverhalten von Licht in transparente Werkstoffe gezielt beeinflusst werden.

Durch eine Oberflächenstrukturierung im Mikrometerbereich werden in einem breiten Wellenlängenbereich Reflexionen unterdrückt. Dieses Funktionsprinzip wurde vom Mottenauge abgeschaut. Eine zusätzliche Nanostrukturierung der Oberfläche bewirkt einen Gradienten des Brechungsindexes von außen nach innen, so dass Lichtwellen praktisch nicht reflektiert werden. Technisch interessant ist diese Oberflächenstruktur unter dem Aspekt der Kostenreduktion. Statt mehrerer Beschichtungsschritte könnte diese spezielle Oberflächenstruktur mit einem Prozess-Schritt realisiert werden. Im Idealfall ist der Strukturierungsschritt sogar mit dem Herstellungsprozess des Bauteils kombinierbar.

Eine andere Entspiegelungsmethode ist das Erzeugen nanoskaliger Lufteinschlüsse an der Oberfläche. Durch diese Poren wird der Gesamtbrechwert der Schicht verringert. Poren, die kleiner als 1/20 der Lichtwellenlänge sind, können vom Licht nicht aufgelöst werden und erzeugen somit auch keine unerwünschten Streueffekte. Neben Fragen der optischen Eigenschaften werden aktuell die Möglichkeiten der Integration in die bestehenden Fertigungsprozesse sowie die Eignung unter dem Aspekt der mechanischen Stabilität untersucht (Volkswagen 2003).



Nicht nur für Instrumente ist die Entspiegelung von Interesse. Ein weiterer Schwerpunkt der Arbeiten ist die Vermeidung der Reflexion der Schalttafeloberfläche in der Frontscheibe. Je nach Lichtverhältnissen kommt es beim Einsatz heller Instrumententafeln zu extremen Schleiern und Reflexionen in der Frontscheibe. Technisch wird dieses Problem durch den Einsatz einer schwarzen oder zumindest sehr dunklen Instrumententafel gelöst. Gelänge es, die Reflexe auf der Windschutzscheibe stark herabzusetzen, so würden sich weitere attraktive Möglichkeiten im Design ergeben. Eine ausreichende Entspiegelung der Windschutzscheibe ist aus physikalischen Gründen nur durch eine Beschichtung beider Seiten zu gewährleisten. Doch gerade die Außenseite der Windschutzscheibe unterliegt so extremen mechanischen Beanspruchungen, dass kein zurzeit bekanntes System für die hohen Qualitätsanforderungen der Automobilunternehmen ausreichend geeignet erscheint.

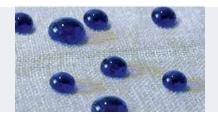
Weitere Informationen zum Thema enthält die Broschüre "NanoOptik", Band 5 der Schriftenreihe der Aktionslinie Hessen-Nanotech.

Verschmutzungsschutz und Neuwagenduft für Autositze

Autositze kommen oftmals mit nasser oder verschmutzter Kleidung in Berührung. Beim Öffnen der Tür kann Regenwasser oder Schnee auf die Sitze gelangen. Die Folge sind Wasser- und Schmutzränder. Durch den Einsatz von Materialien zur Imprägnierung von Stoff- und Lederbezügen können diese unerwünschten Effekte weitgehend minimiert oder sogar vermieden werden. Derartige

Oben: Schematische Darstellung der Funktionsweise der Antireflexbeschichtung auf Glas [© Volkswagen AG]

Links: Antireflexbeschichtungen auf Glas [© Volkswagen AG]





Links: Öltropfen auf imprägniertem Gewebe [© De Cie GmbH] Rechts: Wassertropfen auf imprägniertem Leder [© De Cie GmbH]

Imprägnierungsmittel haben in den letzten Jahren eine rasante Verbreitung erfahren und werden von zahlreichen Zubehörherstellern in Sprühdosen oder als Flüssigkeiten angeboten. So gibt es Produkte für Gewebe, Leder, beziehungsweise Kunstleder, die auf anorganisch-organischen Hybridmaterialien auf wässriger oder alkoholischer Basis kommerziell angeboten werden. Nach einer Tauch- oder Sprühapplikation bildet sich ein praktisch unsichtbarer Film, der die Fasern umschließt. Die imprägnierten Schichten zeigen einen signifikanten wasser- und fettabweisenden Effekt. Somit wird die Geschwindigkeit der Durchfeuchtung bei Wassereinwirkung und eine Verschmutzung reduziert. Ein ähnlich raffinierter Effekt wird zur Erzeugung von spezifischen Gerüchen auf Ledersitzen verwendet. Dispersionen mit Mikrokapseln, die aufgesprüht werden können, enthalten Duftstoffe. Wässrige Mikrokapseldispersionen bieten damit die Möglichkeit, zum Beispiel Leder mit einer Vielzahl von Duftrichtungen zu versehen (Bayer AG, 2005). Die Kapseln müssen dabei einerseits so klein sein, dass sie in das Leder eindringen können, andererseits aber groß genug sein, so dass sie zwischen den Fasern haften bleiben. Nach dem Einsprühen dringen die Kapseln unterschiedlich tief in das Leder ein. Die Hülle der Kapseln ist nur wenige Nanometer dünn und besteht aus Polyharnstoff. Im Inneren ist der Duftstoff platziert. Erst bei mechanischer Belastung der Kapsel platzt der Nanofilm und setzt die Duftstoffe frei. Wird der Sitz nicht benutzt, bleiben die Kapseln intakt und der Duftstoff bleibt in der Kapsel erhalten. Was bei Leder bereits funktioniert, lässt sich mittlerweile auch bei Textilien anwenden.

Hersteller von aus anorganisch-organischen Hybridmaterialien bestehenden Imprägnierungsmitteln ist die hessische De Cie GmbH. Wässrige Mikrokapseldispersionen werden von der Bayer AG produziert.



2.4 Fahrwerk und Reifen

Reifen sind sicherlich die am häufigsten zitierte Anwendung von Nanotechnologien im Automobil. Hier werden bereits heute Umsätze in Milliardenhöhe erzielt. Nichtsdestoweniger sind Reifen High-Tech-Produkte, die stetig weiterentwickelt werden. Der Einsatz von neuen nanoskaligen Partikeln lässt auch in der Zukunft weitere Verbesserungen der Laufeigenschaften und Zuverlässigkeit erwarten.

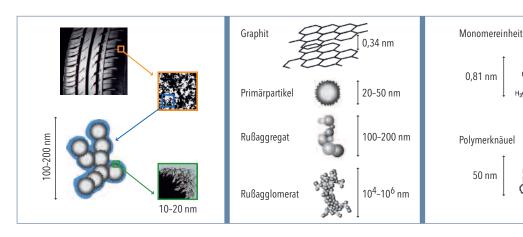
schleißarm sein, muss dabei aber gleichzeitig so griffig sein, dass das Fahrzeug nicht ins Rutschen kommt. Die Mechanismen, die sich hinter diesen sich teilweise widersprechenden Reifeneigenschaften verbergen, sind eine Fülle von hochkomplexen chemischen und physikalischen Wechselwirkungen zwischen dem Kautschuk und dem Füllmaterial (Oberholz 2001).

High-Tech-Reifen mit nanostrukturiertem Ruß

Rechte Spalte: Moderne
Pkw-Reifen - hier der
Aufbau eines so
genannten RunOnFlatReifens von Dunlop - sind
sehr komplexe technische
Produkte, deren Entwicklung und Produktion
höchste Ansprüche an
moderne Fertigungstechnologien stellen.
[© Dunlop GmbH & Co. KG]

Den Kautschukmischungen kommt bei den Reifeneigenschaften große Bedeutung zu. Sie bestimmen die Leistungsfähigkeit der Lauffläche, die den Kontakt zur Fahrbahn herstellt. Üblicherweise enthält die Lauffläche eines Autoreifens etwa 30 Prozent Verstärkerfüllstoff, mit dem die erwünschten Eigenschaften wie Haftung, Abriebsbeständigkeit, Einund Weiterreißfestigkeit überhaupt erst erreicht werden (Klockmann 2006). Für die Optimierung von Reifen müssen teilweise widersprüchliche Anforderungen erfüllt werden. Zum einen muss der Reifen gut auf der Straße haften, zugleich aber einen geringen Rollwiderstand aufweisen. Ferner soll er ver-





Aufbau einer Reifenlauffläche. Größenvergleich der Einzelbestandteile. [© Volkswagen AG]

Drei Spezialprodukte sind es, die die Eigenschaften des Kautschuks wesentlich verbessern: Ruß, Silica und Organosilane. Rußpartikel werden wie Silica, die für die chemische Kopplung mit dem Kautschuk Organosilane benötigen, den Gummimischungen beigegeben, deren genaue Zusammensetzung geheim bleibt. Direkt nach ihrer Herstellung haben sowohl die Ruß- als auch Silicapartikel Abmessungen im Nanobereich. Größe und Form der Partikel sowie die Vernetzung mit den Kautschuk-Molekülen spielen für die Reifeneigenschaften eine Schlüsselrolle.



Reifenkomponenten: Ruß (Carbon Black) oben, Silica unten links und Organosilane unten rechts [© Degussa AG]

Ruß und Silica, die beiden wichtigen Verstärkungschemikalien in Reifen, hatten ursprünglich verschiedene Aufgaben: Während Silica für Pkw-Reifen – gerade in der Lauffläche – die besten Resultate liefert, dominiert Ruß in Lkw-Reifen nicht zuletzt durch den exzellenten Abriebswiderstand (Oberholz 2006). Durch die Verwendung von nanostrukturiertem Ruß als Füllstoff in Reifen kann eine verlängerte Lebensdauer und ein geringerer Benzinverbrauch erreicht werden. Diese neuartigen Rußpartikel haben eine rauere Oberfläche als bisher verwendete. Aufgrund der erhöhten Oberflächenenergie der Nanopartikel verstärken sich die Wechselwirkungen mit den Kautschuk-Molekülen. Dieses führt zu einer verringerten inneren Reibung und somit zu einem besseren Roll-

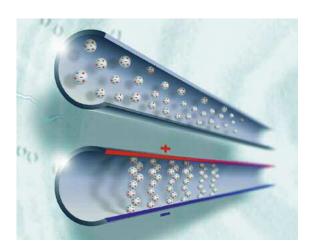
widerstand. Gleichzeitig werden dadurch die bei hohen Umdrehungsgeschwindigkeiten auftretenden Dehnungsvibrationen im Material vermindert. Die Folge ist eine, insbesondere auf nassen Straßen, verbesserte Traktion.

Zur Herstellung der nanostrukturierten Ruße wurde von der Degussa AG ein modifizierter Verbrennungsprozess entwickelt, der die Wirtschaftlichkeit dieses Herstellungsverfahrens sicherstellt. Hessen ist im Bereich der Reifenhersteller und der Reifen-Zulieferindustrie für Automobile und Motorräder im bundesdeutschen Vergleich außergewöhnlich stark vertreten. Neben führenden Reifenherstellern wie Goodyear Dunlop mit hessischen Werken in Fulda und Hanau, Pirelli in Höchst, Continental in Korbach und Bridgestone Deutschland in Bad Homburg sind auch auf dem Weltmarkt führende Zulieferer für Reifenfüllstoffe wie Degussa und Cabot in Hessen ansässig.

Fahrkomfort durch schaltbare Werkstoffe

Bei der Auslegung eines Automobil-Fahrwerkes ist jeweils der Zielkonflikt zwischen Fahrkomfort und Sicherheit zu lösen. Ein "weiches" Fahrwerk gilt als komfortabel, ein "hartes" dagegen als sicher. Bei einstellbaren Dämpfersystemen kann situationsabhängig die jeweils optimale Härte eingestellt werden.

Kern dieser einstellbaren Dämpfersysteme sind so genannte magneto- oder elektrorheologische (MR / ER) Flüssigkeiten, die der Kategorie der "Intelligenten Materialien" zugeordnet werden. Bei diesen Flüssigkeiten lässt sich die Viskosität durch Anlegen eines magnetischen oder elektrischen Feldes unmittelbar, stufenlos und reversibel verändern. Der Effekt beruht darauf, dass sich polarisierbare Partikel in der Trägerflüssigkeit entlang der Feldlinien ausrichten und Ketten bilden. Hierdurch wird die wirksame Viskosität erhöht, d. h. der Durchflusswiderstand der Flüssigkeit wird größer. Beim Entfernen des magnetischen oder elektrischen Feldes zerfallen die Ketten und die Flüssigkeit wird wieder dünnflüssig.



Steuerung der Viskosität durch Anlegen eines elektrischen Feldes [© Fludicon GmbH]

Diese Veränderung kann sehr schnell vonstatten gehen. Im Millisekundenbereich kann somit aus einer Flüssigkeit ein zähes Gel werden. Ein spezielles Öl der Firma Fludicon (Darmstadt) kann in einer Sekunde bis zu 1500-mal den Zustand zwischen fest und flüssig wechseln. Solche

Geschwindigkeiten sind besonders für hydraulische Systeme interessant, schließen doch moderne Hochdruckventile heute nur 400- bis 500-mal je Sekunde. Ein weiterer Vorteil der "intelligenten" Flüssigkeitssysteme liegt darin, dass sie im Vergleich zu konventionellen Lösungen einfach und kompakt aufgebaut werden können. Es werden weniger mechanische Teile benötigt, was wiederum zur Gewichtsreduzierung beitragen kann. Diese Eigenschaft nutzend hat Fludicon Ventile entwickelt, die ohne bewegliche Teile auskommen. Klassische Anwendungsfelder im Automobil sind Dämpfer, Aktoren und Kupplungen.

Im Bereich der Aktorik rückt der Traum eines aktiven Fahrwerkes näher. So können Fahrwerke realisiert werden, die sowohl Fahrbahnunebenheiten ausgleichen, als auch die Fahrdynamik kompensieren. Dieses wurde in dem BMBF-Projekt "Adaptronisches Transport System" entwickelt. Im Rahmen eines weiteren BMBF/WING-Projektes erfolgte die Integration adaptiver Systeme ins Fahrwerk. In der Forschung arbeitet das Fraunhofer LBF in Darmstadt unter Leitung von Prof. Hanselka, der auch das BMBF-Leitprojekt Adaptronik leitet, an adaptronischen Systemen.



Adaptronisches Transportsystem zur Lageerhaltung eines Transportmediums [© Fludicon GmbH]



2.5 Elektrik und Elektronik

Schon heute gilt die Elektronik als der Innovationstreiber im Automobilbereich, da immer mehr Komponenten elektronisch, elektromechanisch oder elektromagnetisch steuerbar werden. Nanostrukturierte Aktorkomponenten könnten beispielsweise heutige mikrosystemtechnische Lösungen im Bereich der Direkteinspritzsysteme ersetzen. Der Ersatz von Glühlampen durch sparsame und langlebige Leuchtdioden wird schon heute praktiziert und wird sicherlich weitere Verbreitung finden. Alternative Ansätze zu Fahrzeugantrieben, wie die bei fast allen OEMs in der Forschung & Entwicklung befindlichen Brennstoffzellentechnologien, könnten durch Lösungen aus den Nanotechnologien ebenfalls Innovationsschübe erhalten, beispielsweise im Bereich der Wasserstoffspeicherung.

Superkondensatoren als effiziente Energiespeicher

Mit der Verbreitung unterschiedlicher hybrider Antriebskonzepte werden auch die Systeme zur Rückgewinnung der Bremsenergie – auch als Rekuperation

bezeichnet - weiterentwickelt. Dabei wird die Bewegungsenergie des Fahrzeuges beim Bremsen über einen Generator in elektrischen Strom umgewandelt und in Akkumulatoren oder Superkondensatoren gespeichert. Diese Energie steht nun beim erneuten Anfahren zur Beschleunigung zur Verfügung. Prinzipbedingt können Kondensatoren gegenüber Akkusystemen sehr schnell und nahezu verlustfrei zwischenspeichern. Allerdings standen bislang nur Kondensatoren mit vergleichsweise geringer Kapazität für den Einsatz im Automobil zur Verfügung.

Mit Hilfe der Nanotechnologien werden derzeit so genannte Superkondensatoren – abgekürzt Supercaps, Ultracaps oder Scaps – mit hoher Energiekapazität entwickelt und realisiert. Supercaps bestehen aus metallischen Kontaktfolien auf hochporösen Schichtelektroden mit Nanostruktur, Elektrolyten sowie einer Separator-Folie. Bei Superkondensatoren sind einige 10 bis mehrere 1000 Farad in einem Gehäuse untergebracht. Weist zum Beispiel ein 100 Farad Superkondensator die Größe einer Streich-

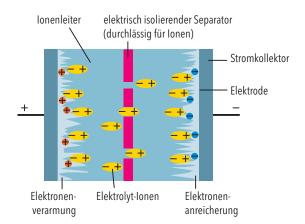
holzschachtel auf, so entspräche dieses einer Kapazität von 100 Millionen parallel geschalteter Standardkondensatoren mit einer Einzelkapazität von 1 Mikrofarad. Der Superkondensator ist somit das Bindeglied zwischen dem herkömmlichen Kondensator und der Batterie (Fischle 2005). Er vereint den Vorteil des Kondensators als schnellen Stromlieferanten mit dem der Batterie als nennenswerten Energiespeicher. Im Vergleich zu konventionellen Kondensatoren wird statt des nicht leitenden Elektrolyts ein Material eingesetzt, welches Ionen aber nicht Elektronen leitet. Die Ladungen sammeln sich daher auf beiden Seiten der Grenzfläche in einer sehr dünnen Schicht von etwa einem Nanometer, die zu der hohen Kapazität führt. Zum anderen wird durch die Verwendung von hochporösen Schichtelektroden eine große wirksame Oberfläche erzielt, die ebenfalls zu der hohen Kapazität beiträgt (Böcker 2006). Supercaps weisen sehr hohe Leistungsdichten und geringe Innenwiderstände auf und sind für kurzfristige maximale Stromabgaben geeignet. Damit sind sie flexibel einsetzbare Hochleistungsspeicher mit fast unbegrenzter Lebensdauer und guter Energieund Ökobilanz.



Aufbau eines Superkondensators [© EPCOS AG]

Mit dem Einsatz größerer Stückzahlen von Supercaps wird zukünftig in Hybridfahrzeugen gerechnet. Auch bei Brennstoffzellenfahrzeugen ergänzen Supercaps die kurzzeitige Energieversorgung leistungsintensiver Fahrzustände. Weitere potenzielle Fahrzeuganwendungen finden sich in der Ergänzung der Batteriespeicher im zukünftigen 42V-Bordnetz. Eine zunehmende Anzahl von leistungshungrigen Verbrauchern wie elektromagnetische Türschlösser und Ventilbetätigungen oder die Katalysatorvorheizung müssen kurzzeitig versorgt werden. Der Start/Stop-Betrieb mit Startergenerator erfordert ebenfalls einen hohen kurzzeitigen Leistungsbedarf, der in Verbindung mit der Bremsener-

gierückgewinnung gedeckt werden könnte. Diesbezüglich werden erhebliche Kraftstoffeinsparpotenziale vorausgesagt.



Prinzipbild eines Supercaps. Durch die große spezifische Oberfläche der Elektroden und die Ausbildung von Doppelschichten an den Elektroden werden extrem hohe Kapazitäten erreicht.

Nanotechnologien kommen auch bei leistungsstarken Lithium-Ionen-Batterien, der künftigen Energieversorgung von Hybridfahrzeugen, zum Einsatz. Lithium-Ionen-Batterien gewinnen als Energiespeicher immer mehr an Bedeutung, weil sie leichter, kleiner und leistungsfähiger sind als Blei- oder Nickel-Metallhydrid-Varianten. Als Separatoren zum Trennen der Anode von der Kathode werden in Lithium-lonen-Batterien bisher semipermeable Membranen aus Polymeren eingesetzt (Oberholz 2006). Derartige Separatoren haben allerdings einige gravierende Nachteile. So sind sie zum Beispiel nicht ausreichend temperaturstabil und sogar selbst brennbar. Der von Degussa entwickelte Separator SEPARION® überwindet diese Probleme. Dabei handelt es sich um eine doppelseitige keramische



Beschichtung einer PET-Polymermatrix, die eine entsprechend hohe chemische und thermische Stabilität aufweist, zugleich aber hoch flexibel ist. Ausgangspunkt für die keramischen Schichten sind nanoskalige Pulver verschiedener Metalloxide. Auf diese spezielle Technologie hält Degussa inzwischen rund 25 Patente, die sowohl das Produkt als auch Prozess und Anwendung abdecken.

Von der Spezialpapierfabrik Oberschmitten
GmbH (SPO) hergestelltes Papier für den Einsatz
als Separatormaterial in
Supercaps. Das Papier
zeichnet sich durch eine
sehr feine und dichte
Struktur bei gleichzeitig
guter Durchlässigkeit für
den Elektrolyten aus.
[© Spezialpapierfabrik
Oberschmitten GmbH]

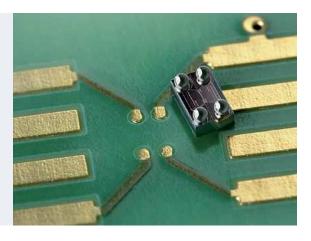
Nanosensoren für Automobilanwendungen



Lenkwinkelsensor, der auf dem GMR-Effekt beruht. [© Robert Bosch GmbH] Sensoren zur Erfassung des Fahrerwunsches und zur Überprüfung des Systemzustandes einer Vielzahl von Aggregaten sind elementare Bestandteile heutiger mechatronischer Systeme im Fahrzeug. Bei bewegten Systemen kommt zum Beispiel Positions- und Winkelsensoren eine hohe Bedeutung zu. Um die Zuverlässigkeit mechatronischer Systemen Systemen kommt zum Seispiel Positions- und Winkelsensoren eine hohe Bedeutung zu. Um die Zuverlässigkeit mechatronischer Systemen kommt zum Seispiel Positions- und Winkelsensoren eine hohe Bedeutung zu. Um die Zuverlässigkeit mechatronischer Systemen kommt zum Beispiel Positions- und Winkelsensoren eine hohe Bedeutung zu. Um die Zuverlässigkeit mechatronischer Systemen kommt zum Beispiel Positions- und Winkelsensoren eine hohe Bedeutung zu. Um die Zuverlässigkeit mechatronischer Systemen kommt zum Beispiel Positions- und Winkelsensoren eine hohe Bedeutung zu.

teme zu steigern, werden vermehrt kontaktlose Magnetfeldsensoren eingesetzt, die auf Basis des magnetoresistiven Effektes arbeiten. Im Automobil gibt es eine Reihe von Anwendungen für diese Magnetfeldsensoren. Beispiele dafür sind das Antiblockiersystem, die Türfenster, das Schiebedach, die Fahrdynamikregelung oder die Lenkwinkelsensoren.

Magnetoresistiver GMR-Sensor, der mehrere Lagen mit Schichtdicken von 2 nm aufweist und der mittels Flip-Chip-Montage umgekehrt mit vier 300 µm dicken Bleikugeln auf eine Platine gesetzt wird.



Die Dauerfestigkeit und die Alltagstauglichkeit des Brennstoffzellenautos HydroGen3 wurde von GM und Opel durch eine Marathonfahrt erfolgreich getestet. Auf der 10.000 km langen Fahrt durch Europa im Juni 2004 kam der Prototyp durch 14 Länder.

Das Messprinzip eines Magnetfeldsensors besteht in der Umwandlung einer Positions- oder Bewegungsinformation eines Magneten in ein elektrisches Signal. Hierbei wird der Riesenmagnetowiderstandseffekt beziehungsweise Giant-Magneto-Resistive-Effect (GMR) genutzt. Der GMR-Effekt tritt nur in extrem dünnen Schichtsystemen auf. Die Dicke dieser Schichten beträgt nur wenige Nanometer. In seiner einfachsten Form schließen zwei magnetische Schichten eine nicht-magnetische Lage ein. Sind die beiden Deckschichten entgegengesetzt magnetisiert, ist der elektrische Widerstand im Schichtsystem höher, als bei gleichgerichteter Magnetisierung. Aufgrund dieser deutlichen Widerstandsänderung, der in der Praxis bis zu 50 % betragen kann, wird dieser Effekt als "Giant" bezeichnet.

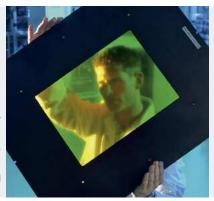
GMR-Sensoren lassen sich sehr viel kleiner bauen als konventionelle Magnetsensoren. Weitere Vorteile des GMR-Sensors liegen in der geringen Stromaufnahme und einer wesentlich geringeren Temperaturabhängigkeit der Messsignale. Selbst bei großen Temperaturschwankungen liefern sie relativ konstante Messwerte und können daher auch bei hohen Temperaturen – also zum Beispiel in Motornähe – eingesetzt werden. Eine besondere produktionstechnische Herausforderung stellt die reproduzierbare Herstellung der nanometerdünnen Schichten dar, die bisher nur von wenigen Unternehmen bis zur Serienreife gebracht wurde.

Als erster europäischer Hersteller hat die Sensitec GmbH aus dem hessischen Lahnau die Serienproduktion von GMR-Sensoren begonnen. Das Unternehmen hat sich im Bereich magnetoresistiver Sensorik erfolgreich in industriellen und automobilen Applikationen betätigt. Die Sensoren finden zum Beispiel Einsatz in elektrischen Servolenkungen. Sensitec verfügt über die zurzeit leistungsfähigste Chipfabrik für Magnetosensoren in Europa.

Brennstoffzellen für das Automobil der Zukunft

Einer der wesentlichen Innovationstreiber mit immer neuen Anwendungen ist die Elektronik im Automobil. Der Stromverbrauch in Automobilen hat daher in den letzten Jahren drastisch zugenommen. Neben der Unterhaltungselektronik haben auch neue Sicherheits- und Komfortfunktionen an Bedeutung gewonnen. Diese Stromverbraucher belasten zunehmend die Energieversorgung des Automobils. Auch wegen des geringen Wirkungsgrades muss bis zu einem Drittel der Motorleistung heute schon für die Stromversorgung eingesetzt werden. Wegen der zunehmenden Verknappung fossiler Brennstoffe und den damit verbundenen hohen Benzinpreisen kommt alternativen und effektiven Energiequellen eine immer größere Bedeutung zu. Brennstoffzellen könnten hier eine Reihe von Problemen lösen. Der vielleicht wichtigste Vorteil ist der hohe Wirkungs-





Vorbereitung der MEA-Herstellung in der Produktionsanlage [© PEMEAS GmbH]

grad der Brennstoffzelle, wodurch der Kraftstoffverbrauch deutlich reduziert werden kann. Kombiniert mit einem Akkumulator könnte sie gleichmäßig ausreichend Strom für das Bordnetz erzeugen und den Motor entlasten, der dadurch kleiner dimensioniert werden kann. Reine Brennstoffzellenfahrzeuge verzichten ganz auf den Verbrennungsmotor und setzen auf eine Kombination von Brennstoffzelle als Energiewandler und Elektromotor beziehungsweise mehreren Elektromotoren für den Antrieb. Der Akkumulator oder auch ein Superkondensator nimmt die Leistungsspitzen auf, während die Brennstoffzelle gleichmäßig läuft und die Batterie wieder auflädt. Besonders aussichtsreich ist hier die Hochtemperatur-PEM Brennstoffzelle, die bei 160 bis 180°C arbeitet, Verunreinigungen im Wasserstoffgas toleriert und auch einfach gekühlt werden kann.



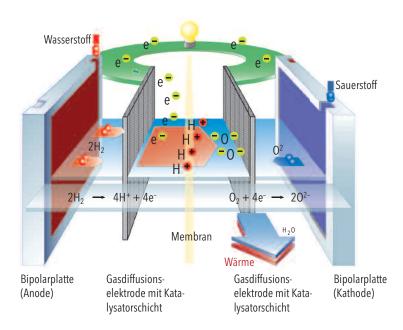
Hochporöse Nanowürfel zur Wasserstoffspeicherung [© BASF AG]

Im Kern der Brennstoffzelle, der Membran-Elektroden-Einheit (MEA), findet die eigentliche elektrochemische Reaktion von Wasserstoff und Sauerstoff zu Strom und Wärme statt. Die Spaltung der Wasserstoffmo-

leküle an der Anode in Ionen und Elektronen und der Sauerstoffmoleküle an der Kathode findet zwischen der Gasdiffusionselektrode mit Katalysator und Membran statt. Entscheidend für die Aktivität der MEA und damit für die Leistung des Gesamtsystems ist eine möglichst große Oberfläche des Katalysators. Durch nanoskalige Platinmoleküle kann die benötigte Vergrößerung der aktiven Oberfläche gewährleistet werden. Für die effektive Einbindung der Platinatome gibt es verschiedene Konzepte. Die Herausforderung besteht darin, diese winzigen Partikel gleichmäßig zu verteilen, die Oberfläche frei zu halten und eine Agglomeration über die Betriebsdauer zu verhindern.

Aber auch die effektive Speicherung von Wasserstoff stellt eine Herausforderung dar, die nach heutiger Auffassung nur durch nanokristalline Materialien gelöst werden kann. Auch wenn sich der Einsatz von Brennstoffzellen in Fahrzeugen immer wieder verzögert hat, werden Brennstoffzellen bereits vielfach in Prototypen und Testfahrzeugen erprobt.

Die Frankfurter Firma PEMEAS hat sich als führender Anbieter von Kernkomponenten und Subsystemen für die schnell wachsende Brennstoffzellenindustrie etabliert. Sie kann auf eine mehr als 10jährige Erfahrung zurückblicken, da sie die Brennstoffzellenaktivitäten der früheren Hoechst AG, die bereits 1994 ins Leben gerufen wurden, fortführt. PEMEAS verbessert fortlaufend Membran und Katalysatoren, um die Brennstoffzelle leistungsfähiger, robuster und kostengünstiger zu machen. Als wichtiger Hersteller für MEAs ist auch das Unternehmen Umicore mit Standort in Hanau weltweit aktiv.



Schematische Darstellung der Funktionsweise einer Brennstoffzelle [© PEMEAS GmbH]

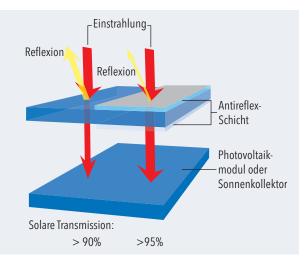
In der Hochschulforschung befasst sich die Arbeitsgruppe von Prof. Dr. Fröba von der Justus-Liebig-Universität Gießen unter anderem mit der Synthese und Charakterisierung von nanoporösen Materialien zur Gasspeicherung. An der Fachhochschule in Wiesbaden arbeitet ein Team von Frau Prof. Dr. Scheppat an verschiedenen Aspekten der Brennstoffzellentechnologie.

Solarenergie im Automobil

Zur Ergänzung der Stromversorgung der elektrischen und elektronischen Komponenten im Automobil werden Solarzellen seit längerem diskutiert. Um aus Sonnenlicht elektrischen Strom zu gewinnen, werden derzeit in der Regel Solarzellen auf Siliziumbasis verwendet. Da die Halbleitermaterialien für diese Anwendung äußerst reine Atomgitter aufweisen müssen, ist ihre Herstellung kostspielig und macht die Verwendung im großen Maßstab kompliziert. 1991 kam eine auf biologischen Prinzipien basierende Solarzelle des Chemikers Michael Grätzel der Eidgenössischen Hochschule Lausanne in die Schlagzeilen. Er prophezeite damals niedrige Herstellungskosten und Langlebigkeit. Die als "Grätzelzelle" bezeichnete Zelle orientiert sich an der Photosynthese der Pflanzen zur Energiegewinnung aus Sonnenlicht.

Bei herkömmlichen Solarzellen liefert das Silizium bei Sonneneinstrahlung die benötigten Elektronen. Diese können dank der elektrischen Leitfähigkeit des Halbleiters zu den Elektroden fließen. In der Grätzelzelle werden diese beiden Funktionen jeweils von einem anderen Stoff übernommen. Ein organischer Farbstoff übernimmt – ähnlich dem Chlorophyll – die Elektronenbereitstellung. Für die Weiterleitung zu den Elektroden wird eine nanoporöse Titanoxid-Schicht mit großer Oberfläche genutzt. Der Aufbau besteht aus zwei Glasplatten, die jeweils mit einer transparenten Elektrode versehen sind. Platte 1 trägt die mit dem Farbstoff sensibilisierte Titanoxid-Schicht. Platte 2 ist mit Platin als Katalysator beschichtet – dazwischen befindet sich eine Elektrolytlösung.

Die geringere Lichtausbeute im Vergleich zu Silizium-Solarzellen wird durch die spezifische Eigenschaft kompensiert, auch bei schwachem Licht Strom zu liefern. Aufgrund der einfachen Bauweise, der Möglichkeit auch große Flächen zu realisieren sowie der geringen Umweltbelastung bei der Herstellung wird der



Eine 150 Nanometer dünne Schicht aus Siliziumdioxidkugeln verringert die Oberflächenreflexion auf Glas von acht auf zwei Prozent. [© Merck KGaA]



Im Autodach integrierte mikrostrukturierte Solarzellen könnten in der Zukunft durch Nanosolarzellen ersetzt werden. [© DaimlerChrysler AG]

Grätzelzelle erhebliches Zukunftspotenzial bescheinigt. Die Herstellungskosten in einer zukünftigen Großserie werden mit circa 20% derer für Silizium-Solarzellen abgeschätzt.

Weitere Informationen zum Thema enthält die Broschüre "NanoOptik", Band 5 der Schriftenreihe der Aktionslinie Hessen-Nanotech.

Ein Problem bei konventionellen Solarzellen ist der Wirkungsgradverlust durch die Reflexion von Licht an der Solarglasscheibe. Dieser Verlust liegt selbst bei hochwertigen Solargläsern bei fast 10 %. Hierbei ist es den Firmen Merck KGaA und Centrosolar Glas GmbH & Co. KG gelungen, gemeinsam mit den Fraunhofer Instituten ISC und ISE eine Glasbeschichtung auf Basis einer Sol-Gel Technologie zu entwickeln. Die Beschichtung mindert die Reflexion des Sonnenlichtes und steigert dadurch die Energieausbeute von Solaranlagen um bis zu 6 %. Das besondere Know-how der Merck-Forscher lag in der Entwicklung des Sols: Es besteht aus einer Mischung von Siliziumdioxid-Kügelchen in 2 Größenklassen, die in einem Lösungsmittelgemisch verteilt sind. Durch die Kombination von Partikeln mit einem Durchmesser von 10 nm und 35 nm ergibt sich in der Anwendung die gewünschte nanoporöse Schicht, die die Oberfläche breitbandig entspiegelt. Um die Glasscheiben mit dem SiO₂-Hybridsol SolarpurTM zu beschichten, werden sie in einen Behälter mit dem Sol getaucht und mit konstanter Geschwindigkeit wieder herausgezogen. Über die Ziehgeschwindigkeit lässt sich die Schichtdicke der Antireflexbeschichtung beeinflussen, wobei eine Dicke von 120 nm für solare Anwendungen als optimal gilt. Beim Trocknen der Scheiben entsteht aus dem Sol über ein Gel die gewünschte nanoporöse Schicht, die bei 600-700°C gemeinsam mit dem Glas gehärtet wird. Der niedrige Brechungsindex der Schicht (von nur 1,25) bewirkt eine Reflexionsminderung über das gesamte energetisch nutzbare Spektrum des Sonnenlichts von 400 nm bis 2500 nm. Die solare Transmission (AMI 1.5) steigt damit von 90% (hochwertiges Solarglas) auf über 95 %.



2.6 Nanotechnologien für den Motor und den Antrieb





Vorbereitung des Motorblocks für eine Nanobeschichtung (links) und Beschichtung des Motorblocks (rechts) [© DaimlerChrysler AG]

Maßnahmen zur Verbesserung der Verbrennungswirkungsgrade, wie vollvariable Ventilsteuerungen oder ultrapräzise Kraftstoffeinspritzungen optimieren den Verbrennungsvorgang und führen so zu einem reduzierten Benzinverbrauch. Aber auch die Minimierung der Motorreibung durch neue Nano-Schichtsysteme kann zukünftig zur Kraftstoffeinsparung beitragen.

Reibungsarme Aggregatekomponenten zur Kraftstoffeinsparung

Der Kraftstoffverbrauch wird bei modernen Pkw-Motoren zu etwa 10-15 % von der Motorreibung bestimmt. Verantwortlich hierfür sind Reibungsverluste an den bewegten mechanischen Bauteilen der Motoren. Dies sind neben der Kolbengruppe, bestehend aus Zylinderwandung und Kolben, die Elemente des Kurbeltriebes (Kurbelwelle, Pleuel und Lagerungen) sowie die Ventiltriebsgruppe mit Nockenwellen und Ventilen. Die Kolbengruppenreibung verursacht dabei den größten Anteil an den mechanischen Reibungsverlusten. Nanotechnologien können dabei helfen, durch Verminderung der Reibung Kraftstoffeinsparpotenziale zu realisieren.

Nanokristalline Beschichtungswerkstoffe, aufgetragen auf die Zylinderinnenwand, verringern Reibung und Verschleiß und damit den Kraftstoffverbrauch. Die DaimlerChrysler AG startete mit anderen industriellen und universitären Partnern im Rahmen der Leitinnovation Nanomobil des BMBF das Forschungsprojekt "Nanokristalline Composit-Beschichtungen für Zylinderlaufbahnen mit nanostrukturierter Oberfläche und Verschleißvorhersage für hochbelastete Benzin- und Dieselmotoren NaCoLab". Projektziel ist, die Zylinderlaufbahnen des Aluminium-Kurbelgehäuses direkt mit Nanowerkstoffen zu beschichten. Dadurch könnten die bisher in Aluminium-Kurbelgehäusen notwendigen Laufbuchsen einge-

spart werden. Beschichtungswerkstoffe mit eingelagerten Nanokristalliten der Größe von 60 bis 130 Nanometern auf der Basis von Eisencarbid und Eisenborid führen zu extrem harten und gleichzeitig reibungsarmen Oberflächen.

Piezo-Injektoren für die ultrapräzise Kraftstoffeinspritzung

Moderne hocheffiziente Dieselmotoren arbeiten mit Hochdruck-Einspritzsystemen. Bei der Direkteinspritzung baut eine Pumpe zunächst einen hohen Druck auf und schießt dann den Kraftstoff über eine Düse fein dosiert in die Brennkammer des Zylinders ein. Die Präzision mit der dies geschieht, beeinflusst direkt den Verbrennungsvorgang. Je höher der Druck und je gezielter die Dosis und der Zeitpunkt des Einspritzens gesteuert wird, desto effizienter und damit umweltschonender verbrennt der Kraftstoff.

Piezokeramische Werkstoffe ermöglichen es, höhere Kräfte und Geschwindigkeiten im Vergleich zu her-

kömmlichen Stellern für Kraftstoffeinsprit-

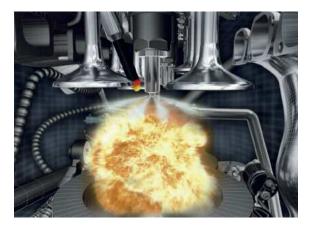
zungen zu reali-

sieren und damit

deren Verbrauch, Schadstoffausstoß und Geräuschentwicklung deutlich zu reduzieren. Dabei wird der piezoelektrische Effekt genutzt, um den Öffnungsund Schließmechanismus des Einspritzventils zu betätigen.

Der piezoelektrische Effekt bewirkt durch das Anlegen einer elektrischen Spannung eine geometrische Veränderung oder umgekehrt durch eine mechanische Verformung eine Ladungsbewegung. Legt man an einen derartigen Werkstoff eine elektrische Spannung an, verformt er sich sehr schnell. Dabei entstehen hohe mechanische Kräfte, die sich zum Steuern

Piezo-Injektor für die Benzin-Direkteinspritzung [© Robert Bosch GmbH]



Piezo-Inline-Injektor im Betrieb [© Robert Bosch GmbH]

der Kraftstoffeinspritzung nutzen lassen. Die praktisch kontrollierbaren Stellwege liegen im Nanometerbereich oder sogar darunter. Um größere Stellwege zu erreichen, werden die piezoelektrischen Materialien gestapelt. Zunehmend werden auch nanokristalline piezoelektrische Materialien eingesetzt. Ein häufig verwendetes Material ist Blei-Zirkon-Titanat.

Piezo-Injektoren erlauben heute bei leistungsstarken Serien-Dieselmotoren bei 1.600 bar Einspritzdruck mehrere feindosierbare Einspritzungen pro Arbeitstakt. Für die Arbeiten an den Piezo-Injektoren erhielten die Mitarbeiter der Robert Bosch GmbH und der Siemens VDO Automotive 2005 den Deutschen Zukunftspreis des Bundespräsidenten.

Autoabgaskatalysatoren für die Emissionsreduktion von Abgasen

Katalysatoren zur Reduktion der Abgasemissionen von Automobilen sind heute nicht mehr wegzudenken. Sie bestehen aus einem Edelstahlgehäuse, das im Inneren katalytisch aktive Materialien enthält, die zur Umwandlung von Schadstoffen in Stickstoff, Wasserdampf und Kohlendioxid eingesetzt werden.

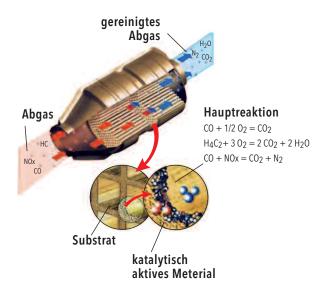
Die meisten Pkws fahren weltweit mit stöchiometrisch betriebenen Ottomotoren. Bei diesen Motoren ist das Benzin-Luft-Gemisch so zusammengesetzt, dass theoretisch eine vollständige Verbrennung des Kraftstoffs erreicht wird. Zur Abgasreinigung werden Systeme eingesetzt, die auf Dreiwegekatalysatoren basieren. Diese können die drei Hauptschadstoffe beziehungsweise -schadstoffarten Kohlenmonoxid, Stickoxide und Kohlenwasserstoffe weitestgehend umsetzen und dadurch aus dem Abgas entfernen.

Bei der Umwandlung von giftigen in ungiftige Gase spielen die Nanotechnologien eine entscheidende Rolle. Die Wirkung der Katalysatoren hängt im Wesentlichen von der Größe der Oberfläche ab. Wird das für die katalytische Funktion eingesetzte Material in den Nanometerbereich skaliert, so steigt die spezi-

fische Oberfläche drastisch an. Zusammensetzung und Struktur werden dabei so gewählt, dass die Abgase optimal mit der katalytisch aktiven Beschichtung in Wechselwirkung treten und die chemische Umwandlung in die unschädlichen Stoffe beschleunigt wird. Das Katalysatormaterial muss exakt auf die physikalischen und chemischen Bedingungen, die im Abgas herrschen, abgestimmt werden.

Um den ökologischen Anforderungen der heutigen Zeit zu entsprechen, arbeiten viele Motorenhersteller an Ottomotoren, die mit einer Benzindirekteinspritzung ausgerüstet und "mager"- das heißt mit einem luftreichen Gemisch - abgestimmt sind. Diese Motoren verbrauchen zwischen 15 und 20% weniger Kraftstoff als normal abgestimmte Ottomotoren gleicher Leistung. Jedoch stellt in dieser sauerstoffreichen Atmosphäre die chemische Reduktion der entstehenden Stickoxide eine große Herausforderung für die Abgasnachbehandlung dar. Um dieses Problem zu lösen, wurden NOx-Adsorber-Katalysatoren oder NOx-Speicherkatalysatoren entwickelt. Als erster europäischer Hersteller von Autoabgasreinigungssystemen liefert Umicore NOx-Adsorber-Katalysatoren für Benzin-Direkteinspritzer.

Die Umicore AG & Co.KG, ist eines der führenden Unternehmen im Bereich der Autoabgaskatalysatoren. Zur Produktpalette gehören Katalysatoren für Benzinmotoren, Abgasreinigungssysteme für Motoren mit Benzindirekteinspritzung, Katalysatoren für Dieselmotoren, Dieselpartikelfilter sowie die Herstellung von Brennstoffzellenkomponenten. Einer der beiden großen globalen Forschungsstandorte der Umicore liegt in Hanau bei Frankfurt.



Funktionsweise eines Autoabgaskatalysators [© Umicore AG & Co. KG]

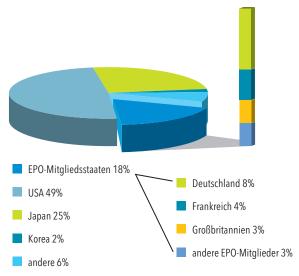
3 Das wirtschaftliche Potenzial der Nanotechnologien für die Automobilund Zuliefer-Industrie

Die Begriffe kleiner, schneller und leistungsfähiger sind für viele Industriebereiche zunehmend wichtiger werdende Markenkennzeichen und für die internationale Wettbewerbsfähigkeit von strategischer Bedeutung (BMBF 2002). Im Rahmen einer vom Bundesforschungsministerium geförderten Studie zum "wirtschaftlichen Potenzial der Nanotechnologien in Deutschland" (Luther et al. 2004) wurde eine umfangreiche Befragung von deutschen Nanotechnologieunternehmen vorgenommen. Den Ergebnissen ist zu entnehmen, dass die befragten Unternehmen den Nanotechnologien eine hohe Bedeutung beimessen. Über 75 % der Unternehmen sehen die Chance, dass die Nanotechnologien ihnen neue Märkte erschlie-Ben können. Mehr als 60 % der Unternehmen erwarten in den Nanotechnologien einen entscheidenden Wettbewerbsvorteil.

Eine hessische Studie aus dem Jahr 2005 kommt zu vergleichbaren Ergebnissen (HA 2005). Für viele in Hessen bedeutende Schlüsselbranchen können die Nanotechnologien mit ihren zahlreichen Einsatzmöglichkeiten Impulse für Innovationen geben. Dazu gehört unter anderem auch die Automobilindustrie. Einen wesentlichen Einfluss haben die Nanotechnologien auf Materialien und Werkstoffe. Sie ermöglichen damit nach Ansicht der befragten hessischen Unternehmen eine Vielzahl von Innovationen auch in zahlreichen anderen Branchen. Rund 100 hessische Unternehmen nutzen bereits die Möglichkeiten der Nanotechnologien für ihre Produkte oder Produktionsprozesse. Dabei handelt es sich zumeist entweder um Großunternehmen, bei denen Nanotechnologien nur einen Bruchteil des Gesamtgeschäfts ausmachen, oder um eher kleinere Unternehmen mit einer speziellen Fokussierung auf diese Technologie.

Die Ergebnisse der Unternehmensbefragungen haben gezeigt, dass der Bereich Chemie und Materialien eindeutig an der Spitze der Nanotechnologiefirmen in Deutschland steht. Im Bereich Chemie und Materialien liegen die zentralen funktionalen Eigenschaften in den verbesserten Werkstoffeigenschaften und der Oberflächenfunktionalisierung, gefolgt von der Schutzfunktion sowie den optischen Effekten, also durchaus klassischen und anwendungsnahen Anforderungen, die auch in der Automobilindustrie Anwendung finden.

Patente beziehungsweise Patentfamilien sind ein wichtiger Indikator, die wirtschaftlichen Potenziale und die Umsetzung in Deutschland in Relation zu anderen Ländern zu vergleichen. Nach einer Untersuchung des European Patent Office (EPO) aus dem Jahr 2004 entfallen 18 % der Patentfamilien auf EPO-Mitgliedsländer, 25% auf Japan und 49% auf die USA (Scheu 2004). Innerhalb Europas führt Deutschland mit 8%, gefolgt von Frankreich mit 4% und Großbritannien mit 3 %. Dieses zeigt zum einen, dass Deutschland zwar innerhalb Europas derzeitig die beste Position hat, aber es verdeutlicht auch, dass die USA und Japan über erheblich mehr Patentanmeldungen verfügen. Dies kann als Hinweis darauf verstanden werden, dass die USA und Japan bei der Kommerzialisierung von Nanotechnologieprodukten führen werden, wenn es hierzulande nicht gelingt, nanotechnologische Entwicklungen rasch in marktfähige Produkte umzusetzen.



Weltweite regionale Verteilung von Nanotechnologie-Patenten. Deutschland führt innerhalb Europas bei den erteilten Patentfamilien. [© European Patent Office (EPO), Scheu 2004]

Aufgrund der international führenden und national als der Motor der deutschen Volkswirtschaft geltenden deutschen Automobilindustrie werden die durch Nanotechnologien verursachten Auswirkungen einen massiven Einfluss auf die zukünftige Entwicklung Deutschlands und insbesondere auf die Automobilbranche haben (BMBF 2004). Ungefähr ein Drittel der gesamten F&E-Aufwendungen der deutschen Wirtschaft entfallen auf die Automobilindustrie. Allein im Jahr 2001 wurden 14 Mrd. Euro aufgewendet, um durch Spitzentechnologien, die die Nanotechnologien mit einschließen, die herausragende Position Deutschlands in der Automobilindustrie zu sichern. Diese immensen F&E-Anstrengungen sind eine grundlegende Voraussetzung für die optimale Ausnutzung der wirtschaftlichen Möglichkeiten der Nanotechnologien.

Betrachtet man die durch die Nanotechnologien beeinflussten Komponenten in der Automobilindustrie, so ist das heutige Weltmarktvolumen im Wesentlichen auf Umsätze durch Reifen zurückzuführen (Frost & Sullivan 2004). Für das Marktvolumen von durch Nanotechnologien beeinflussten Automobilkomponenten wird in den nächsten Jahren von einem rapiden Anstieg ausgegangen (Frost & Sullivan 2004). Zwischen den Jahren 2012 und 2015 wird eine Zunahme der durchschnittlichen jährlichen Wachstumsrate von über 20% auf mehr als 50% erwartet. Hier dürften Lacke, elektronische Komponenten wie zum Beispiel Sensoren / Aktuatoren und vor allem der Leichtbau eine wichtige Rolle spielen. Demzufolge kommt der Automobil(Zuliefer)industrie und der Prozesstechnik eine besonders wichtige Bedeutung zu.

In der Automobilindustrie ist ein bereits längere Zeit anhaltender Trend zur Reduzierung der Fertigungstiefe bei den Fahrzeugherstellern zu beobachten. Dieses bietet neue Absatzchancen für Zulieferer, da sie komplette Modullösungen anbieten können, die bei den Fahrzeugherstellern nur noch zusammengebaut werden müssen. Für praktisch alle Zulieferer ist es daher bedeutend, in Zukunft ihre Technologiekompetenz weiter auszubauen. Der Einsatz von Nanotechnologien kann die Kompetenz der Zulieferer weiter stärken und Alleinstellungsmerkmale von Produkten oder Produktionstechniken sicherstellen. Ein wesentlicher Aspekt ist dabei die Gewinnung entsprechend qualifizierter Mitarbeiter beziehungsweise die Weiterbildung und Schulung des bestehenden Personals. Dabei wird künftig auf einen Mix an Fachleuten zu achten sein, wobei sich das Gewicht vom klassischen Maschinenbauingenieur oder auch Maschinenschlosser hin zu Naturwissenschaftlern und stärker interdisziplinär ausgebildeten Mitarbeitern, wie zum Beispiel Mechatronikern, verschieben wird. Der Aufbau und Erhalt von (nano-) technologischer Kompetenz beginnt daher bei der gezielten Kooperation mit Instituten und Universitäten.



[© Audi AG]

4 Forschungsprogramme, Finanzierungsmöglichkeiten und Netzwerke

Deutschland gehört zu einem der ersten Länder, die fokussierte Förderprogramme zu Nanotechnologien in Verbindung mit der Automobiltechnologie aufgelegt haben und in diesem Technologiefeld eine Vorreiterrolle spielen. Mit der Leitinnovation NanoMobil, einer vierjährigen Fördermaßnahme des Bundesministeriums für Bildung und Forschung, sollen Forschungs- und Entwicklungsvorhaben für Nano-Anwendungen in der Verkehrstechnik, speziell der Automobilindustrie und ihrer Zulieferer angestoßen werden. An zahlreichen interdisziplinären Projekten sind Forschungsinstitute, Zulieferer und Automobilfirmen beteiligt. Themen für Forschung und Entwicklung aus der Leitinnovation NanoMobil berücksichtigen insbesondere die übergeordneten Bereiche Sicherheit, Ökologie/Nachhaltigkeit und Komfort. Die Projekte sollen dabei Leuchtturm-Charakter haben und weitere F&E-Aktivitäten in der Industrie katalysieren.

Die Leitinnnovation NanoMobil ist Ende 2004 angelaufen. Das Programm wird vom Projektträger Jülich (PtJ) für den Bund koordiniert. Bei der Auswahl der zu fördernden Vorhaben spielte das mögliche Marktpotenzial der anvisierten Produkte und die Wirkung auf Arbeitsplätze in Deutschland eine große Rolle. Reine Nischenentwicklungen ohne Potenzial für eine spätere Breitenwirkung wurden im Rahmen dieser Leitinnovation nicht berücksichtigt. 32,5 Millionen Euro waren für die Maßnahme vorgesehen, mit einer Koinvestition der Industrie in gleicher Höhe.

Information: www.bmbf.de/de/1846.php

In Hessen können Nanotechnologieunternehmen außerdem im Rahmen der Modell- und Pilotprojektförderung des Hessischen Ministeriums für Wirtschaft, Verkehr und Landesentwicklung bezuschusst werden. Das von der HA Hessen Agentur betreute und aus EU-Mitteln kofinanzierte Technologieprogramm kann von kleinen und mittleren Unternehmen mit Sitz in Hessen genutzt werden, die Nanotechnologien entwickeln oder für Produkt- beziehungsweise Verfahrensinnovationen applizieren wollen. Gefördert werden Einzel- oder Verbundprojekte sowie Technologietransferprojekte mit Hochschulen und Forschungseinrichtungen. Projekte im Bereich Nano- und Materialtechnologien gehören zum Förderschwerpunkt der Maßnahme.

Information: www.nanohe.de

Im Rahmen des Unternehmensfinanzierungsprogramms Hessen NanoMatTech unterstützt das Land Hessen Unternehmen bei der Finanzierung von Innovationen, Produktentwicklungen und Markteinführungen auf dem Gebiet der Nanotechnologien. Insbesondere Unternehmen, die nicht nur Anwender sondern auch Ideengeber und Entwickler für nanotechnologische Methoden, Verfahren und Produkte sind, können bis zu 750.000 Euro in Form eines Nachrangdarlehens erhalten, das zur Stärkung der Eigenkapitalbasis beiträgt.

Information: www.nanohe.de

Auf der europäischen Ebene wurde Nanotechnologieforschung im 6. Rahmenprogramm in der Priorität drei mit dem Schwerpunkt Nanotechnologien und Materialien gefördert. Insgesamt stellte das Programm pro Jahr etwa 370 Millionen Euro für Nanotechnologie-Projekte zur Verfügung (Wagner 2006). In verschiedenen Projekten werden auch für die Automobilindustrie relevante Aspekte, so zum Beispiel die Wasserstoffspeicherung für Brennstoffzellen gefördert. Im 7. Rahmenprogramm sind bei den Kooperationsprojekten für den Bereich Transport insgesamt 5.940 Millionen Euro und für den Bereich "Nanosciences, Nanotechnologies, Materials and new Production Technologies" weitere 4.832 Millionen Euro über die Laufzeit von 2007 bis 2013 als Fördermittel vorgesehen.

Information: http://cordis.europa.eu/fp7/breakdown.htm



Geförderte Projekte im Rahmen der Leitinnovation NanoMobil

Verbundprojekte

Transparente Nanokomposite auf Polymerbasis

Einsatz von innovativen Nanowerkstoffen in Gummimischungen zur Verbesserung der Funktionalitäten von Reifen und technischen Elastomerprodukten im Automobilbereich

Innovative nanostrukturierte Werkstoffe für technische Elastomerprodukte im Fahrzeugbau

NanoElastomer

Neue Elastomerprodukte auf Basis von Nanokompositen

Neue Reifenkautschuke auf Basis elastomerer Nanocomposites (Montmorillonite-Silica-Hybrid (MSH) - Nanos)

Entwickeln und Erforschen einer Prototyp-Anlage zum Erzeugen von nanokristallinen Innenbeschichtungen auf Zylinderlaufbahnen in PKW Kurbelwellengehäusen aus Aluminium

Entwicklung von neuen Drahtspritzverfahren für die Beschichtung von Zylinderlaufbahnen von hochaufgeladenen Benzin- und Dieselmotoren

Nanokristalline Composite - Beschichtung für Zylinderlaufbahnen mit nanostrukturierter Oberfläche und Verschleißvorhersage für hochbelastete Otto- und Dieselmotoren - NaCoLab

Nano-Beschichtung durch PTWA Spritztechnologie

Einsatz von neuen Drahtspritzverfahren für die Beschichtung von Zylinderlaufbahnen von hochaufgeladenen Benzin und Dieselmotoren Teil: PTWA Beschichtungstechnologie – Verfahrens- und Schichtentwicklung

Nanostrukturierte Hochtemperatur-Halbleiter für integrierte Abgassensoren in Dieselmotor- und Magermotorapplikationen – NanoHoch

Ausführende Stellen

Bayer MaterialScience Aktiengesellschaft, Bayerische Motoren Werke Aktiengesellschaft, Hella KGaA Hueck & Co, Fraunhofer-Institut für Silicatforschung (ISC), Neue Materialien Würzburg GmbH, SKZ-KFE gGmbH

Continental Aktiengesellschaft

ContiTech AG

Süd-Chemie Aktiengesellschaft

Deutsches Institut für Kautschuktechnologie e.V.

Leibniz-Institut für Polymerforschung Dresden e.V.

GTV Verschleißschutz-GmbH & Co.KG

Opel Powertrain GmbH

Dr. Ing. h.c. F. Porsche Aktiengesellschaft,
DaimlerChrysler AG, Ford-Werke GmbH, Universität Kassel, Universität Duisburg-Essen, Technische Universität Carolo-Wilhelmina zu Braunschweig,
Federal-Mogul Burscheid GmbH, Gehring GmbH & Co. KG, Durum Verschleißschutz GmbH

Ford-Forschungszentrum Aachen GmbH

Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule Aachen

Robert Bosch GmbH, MAN Nutzfahrzeuge Aktiengesellschaft, MicroGaN GmbH, Fraunhofer-Institut für Keramische Technologien und Sinterwerkstoffe (IKTS)

Verbundprojekte

Nan-On-Tex - Nanopartikelbasierte Veredelung und Funktionalisierung von Textiloberflächen zur Verbesserung des Raumklimas und der Hygiene in Kraftfahrzeugen

Leistungssteigerung hydraulischer Verdrängereinheiten durch Nanocomposites

Entwicklung strahlenhärtender wasserbasierender Nanokompositlacke für kratzfeste Beschichtungen auf 3-dimensionalen Automobilteilen

Nanolack-Teilvorhaben: Entwicklung maßgeschneiderter Acrylatpolymere und -oligomere; Charakterisierung nanopartikelgefüllter Dispersionen und Schichten

Erhöhung der aktiven und passiven Sicherheit von Fahrzeugen durch neuartige multifunktionelle Nanobeschichtungen - NanoSafe

Leichtbau mit thermoplastischen Nanocomposites (LB-Nanos)

Synthese, Reinigung und Funktionalisierung von Multiwalled Carbon Nanotubes für die Verwendung in thermoplastischen Nanocomposites

Nano-MMC: Ultraleichtbauwerkstoffe auf Basis von sprühkompaktierten Aluminiumlegierungen mit hohen Volumenanteilen an Mg₂Si und Nanopartikelverstärkung

PM-Aluminium-Hochleistungswerkstoffe

Ausführende Stellen

NANO-X GmbH, Johann Borgers GmbH & Co. KG, Isringhausen GmbH & Co. KG, Deutsche Institute für Textil- und Faserforschung Denkendorf (DITF), NANOCRAFT

Bosch Rexroth Aktiengesellschaft, Robert Bosch GmbH, ZF Lenksysteme GmbH, FUCHS Europe Schmierstoffe GmbH, CemeCon AG, Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule Aachen

Deutsche Amphibolin-Werke von Robert Murjahn Stiftung & Co. KG, Alberdingk Boley GmbH

Fraunhofer-Institut für Zuverlässigkeit und Mikrointegration (IZM)

Bayerische Motoren Werke Aktiengesellschaft, DaimlerChrysler AG, Siemens Aktiengesellschaft, Sachtleben Chemie GmbH, Degussa AG, Pilkington Automotive Deutschland GmbH, Hella KGaA Hueck & Co, Universität Hannover, Fraunhofer-Institut für Silicatforschung (ISC), Fraunhofer-Institut für Schicht- und Oberflächentechnik (IST), Genthe-X-Coatings GmbH, NANO-X GmbH, Hermsdorfer Institut für Technische Keramik e.V., FHR Anlagenbau GmbH

DaimlerChrysler AG, Leibniz-Institut für Polymerforschung Dresden e.V., GE Global Research Center, Süd-Chemie Aktiengesellschaft

Leibniz-Institut für Festkörper- und Werkstoffforschung Dresden

PEAK Werkstoff GmbH, EADS Deutschland GmbH, Universität Bremen, MAHLE GmbH, Stiftung Institut für Werkstofftechnik (IWT)

Powder Light Metals GmbH, Ford-Forschungszentrum Aachen GmbH, BBS Kraftfahrzeugtechnik Aktiengesellschaft

Information: http://oas2.ip.kp.dlr.de/foekat/foekat/foekat

Regionale Aktivitäten und Netzwerke

Im Jahr 2005 startete das Hessische Ministerium für Wirtschaft, Verkehr und Landesentwicklung die Aktionslinie Hessen-Nanotech. Mit der Aktionslinie Hessen-Nanotech werden die hessenweiten wirtschaftsund technologiebezogenen Aktivitäten in den Nanotechnologien und den materialbasierten Technologien gebündelt und koordiniert. Ziel der Aktionslinie ist es, die hessischen Kompetenzen in den Nanotechnologien und in den angrenzenden Technologiebereichen wie der Material- und Oberflächentechnologie, Mikrosystemtechnologie und Optische Technologien national sowie auch international darzustellen. Durch Technologie- und Standortmarketing sowie der Förderung der Netzwerkbildung, soll die internationale Wettbewerbsfähigkeit und Innovationskraft der hessischen Wissenschaft und Wirtschaft gestärkt werden. Die Aktionslinie Hessen-Nanotech unterstützt dabei insbesondere auch die Vernetzung von Technologie-Anbietern und -Anwendern. Im besonderen Fokus der Aktionslinie des Wirtschaftsministeriums stehen die in Hessen stark ausgeprägten Anwendungsbereiche Automobil, Chemie, Pharma, Biotechnologie und Medizintechnik, Umwelt und Energie sowie Informations- und Kommunikationstechnologie. An den Schnittstellen zu den Nanowissenschaften arbeitet die Hessen-Nanotech mit dem NanoNetzwerkHessen zusammen. Projektträger der Aktionslinie Hessen-Nanotech des hessischen Wirtschaftsministeriums ist die landeseigene HA Hessen Agentur.

KONTAKT

www.hessen-nanotech.de

 Hessisches Ministerium für Wirtschaft, Verkehr und Landesentwicklung
 Dr. Rainer H. Waldschmidt
 Kaiser-Friedrich-Ring 75, 65185 Wiesbaden
 Telefon 0611 815-2471
 Telefax 0611 815-492471
 rainer.waldschmidt@hmwvl.hessen.de
 www.wirtschaft.hessen.de

HA Hessen Agentur GmbH
 Alexander Bracht (Projektleiter Hessen-Nanotech)
 Markus Lämmer
 Abraham-Lincoln-Straße 38-42, 65189 Wiesbaden

Telefon 0611 774-8614, -8664 Telefax 0611 774-8620

alexander.bracht@hessen-agentur.de www.hessen-agentur.de Das NanoNetzwerkHessen (NNH) wurde mit Unterstützung der Hessischen Landesregierung von den fünf Universitäten und den fünf Fachhochschulen des Landes im März 2004 etabliert, um auf der Grundlage einer Kooperationsvereinbarung eine enge innovationsorientierte Zusammenarbeit im Bereich der Nanowissenschaften zu starten. Die Initiative NNH zielt darauf ab, die vorhandenen Kompetenzen an hessischen Hochschulen zu bündeln, Kooperationen zu initiieren und den Nanotechnologie-Standort Hessen weiter auszubauen. Koordinator des NanoNetzwerkHessen ist die Universität Kassel. Forscherinnen und Forscher aus den Disziplinen Physik, Chemie, Biologie, Pharmazie, Medizin, Materialwissenschaften und den verschiedensten Fächern der Ingenieur- und sogar Geisteswissenschaften arbeiten an hessischen Hochschulen auf Gebieten der Nanowissenschaften. Gerade diese Durchdringung klassischer Disziplinen verstärkt ganz wesentlich das Innovationspotenzial dieser Wissenschaft und bietet in Hessen ausgezeichnete Ausgangsbedingungen für Kooperationen. Die Technologien, die heute an hessischen Hochschulen vertreten sind, sind breit gefächert und reichen von nanoskaligen und nanostrukturierten Werkstoffen, Nanosystemtechnik über Nanomedizin, Nanomaterialchemie, Nanobiotechnologie bis hin zur Nanoanalytik. Forschungs- und Entwicklungsaufgaben in diesen Feldern bereits im vorwettbewerblichen Bereich gemeinsam mit Wissenschaftlern, Entwicklern und Anwendern zu betreiben und damit Akteure, Ressourcen und Aktivitäten zusammenzuführen, eröffnet den Netzwerkpartnern nicht nur die Erschließung komplementärer Ressourcen, sondern verbindet auch Wissenschaft deutlicher als bisher mit wirtschaftlicher Anwendung und trägt damit zu einer schnelleren Umsetzung von nanotechnologischem Wissen in Produkte, Produktionsverfahren und Dienstleistungen bei.

KONTAKT

www.nanonetzwerkhessen.de

Dr. Beatrix Kohnke
 (Leitung der Geschäftsstelle)
 Kai Ludolph (Projektmanager)
 Mönchebergstraße 19, 34109 Kassel
 Telefon 0561 804-2219, -2018
 Telefax 0561 804-2226

kai.ludolph@nanonetzwerkhessen.de

Im TechnologieTransferNetzwerk (TTN-Hessen) haben sich seit 2001 die hessischen Hochschulen und die führenden Wirtschaftsverbände zusammengeschlossen, um das vorhandene Angebot zur Förderung des Wissens- und Technologietransfers miteinander zu vernetzen und mittelständischen Unternehmen den Zugang zum wissenschaftlichen und technologischen Potenzial der Hochschulen und Forschungseinrichtungen zu erleichtern. Um dieses Ziel gerade im Bereich der Nanotechnologien umsetzen zu können, arbeitet das TTN mit seinem Netzwerkpartner Aktionslinie Hessen-Nanotech zusammen. Typische Beispiele für diese Zusammenarbeit sind gemeinsam durchgeführte Unternehmensbefragungen und technologieorientierte Veranstaltungen. Bei der IHK-Innovationsberatung Hessen in Darmstadt, Gießen, Fulda, Kassel und Offenbach wurden regionale Beratungsstellen für Technologietransfer eingerichtet. Sie haben die Aufgabe aktiv auf die Unternehmen zuzugehen und Hilfestellung beim Zugang zum anwendungsorientierten Know-how der Hochschulen anzubieten. Begleitend steht unter www.ttnhessen.de eine gemeinsame Plattform zur Vermarktung von Kooperationsangeboten der Hochschulen zur Verfügung. Unter dem Dach des TTN-Hessen haben sich die hessischen Hochschulen zur gemeinsamen Patent-Verwertungsoffensive HIPO zusammengeschlossen. Sie betreut Erfinder bei Schutzrechtsanmeldungen und Verwertungsverträgen auch auf dem Gebiet der Nanotechnologien. Das TTN-Hessen wird unterstützt und kofinanziert durch die hessischen Ministerien für Wirtschaft und für Wissenschaft, die HA Hessen Agentur GmbH (Geschäftsstelle), die Arbeitsgemeinschaft hessischer IHKs und den Europäischen Sozialfonds (ESF).

Seit Anfang der 80er Jahre bieten die hessischen Industrie- und Handelskammern einen besonderen, kostenfreien Service, um Unternehmen bei ihren Innovationsanstrengungen zu unterstützen: die IHK-Innovationsberatung Hessen. In einer Zeit, in der Technologie- und Marktveränderungen immer kürzere Innovationszyklen vorgeben, bietet das Kompetenzzentrum insbesondere kleinen und mittelständischen Unternehmen seinen unternehmens- und praxisnahen Service an. Die IHK-Innovationsberatung ist neutraler Informationsmakler und begleitet aktiv die Vernetzung und Clusterbildung von technologieorientierten Unternehmen und Forschung. Neben konkreten Innovationshilfen, wie beispielsweise einer individuellen Beratung sowie Publikationen, fördern die hessischen IHKs den intensiven Austausch zwischen Vertretern aus Wirtschaft, Wissenschaft und Politik durch technologie- und branchenorientierte Veranstaltungen. Ein besonderer Fokus liegt seit 2004 auf den Nanotechnologien und deren Potenzialen für die Wirtschaft. So wurde gemeinsam mit den regionalen Beratungsstellen des TechnologieTransferNetzwerk Hessen und dem Wirtschaftsministerium eine Veranstaltungsreihe aufgelegt, welche die Einsatz- und Anwendungsmöglichkeiten der Nanotechnologien in verschiedenen Branchen näher beleuchtet. Die Themen gehen von "Nanotechnologien im Automobil von morgen" über "Nanotechnologien in der Medizintechnik" bis hin zur "Nano-Elektronik" und "Nano-Oberflächentechnik".

KONTAKT

www.ttn-hessen.de

HA Hessen Agentur GmbH
 Dr. Gerrit Stratmann (Projektkoordination)
 Abraham-Lincoln-Straße 38-42, 65189 Wiesbaden
 Telefon 0611 774-8691

Telefax 0611 774-8620

gerrit.stratmann@hessen-agentur.de

www.hessen-agentur.de

KONTAKT

www.itb-hessen.de

IHK-Innovationsberatung Hessen
 Detlev Osterloh
 Börsenplatz 4, 60313 Frankfurt am Main

Telefon 069 2197-1219 Telefax 069 2197-1484

d.osterloh@frankfurt-main.ihk.de

Weitere Netzwerke

- Automotive-Cluster Rhein-Main-Neckar: Martin Proba
 Industrie- und Handelskammer Darmstadt
 Telefon 06151 871-234
 Telefax 06151 871-100234
 proba@darmstadt.ihk.de
 www.automotive-cluster.org
- Arbeitsgemeinschaft Mobil Hessisches Netzwerk der Automobil-Zulieferindustrie RKW Hessen GmbH Sascha Gutzeit Düsseldorfer Straße 40 65760 Eschborn Telefon 06196 9702-21 Telefax 06196 9702-99 s.gutzeit@rkw-hessen.de www.rkw-hessen.de
- Transnational Clustering in the Automotive Sector (TCAS) (EU-Projekt)
 Dr. Gerrit Stratmann
 Projektkoordination
 HA Hessen Agentur GmbH
 Abraham-Lincoln-Straße 38-42
 65189 Wiesbaden
 Telefon 0611 774-8691
 Telefax 0611 774-8620
 gerrit.stratmann@hessen-agentur.de
 www.hessen-agentur.de
- Anwendungszentrum Metallformgebung (AWZ)
 Lehrstuhl für Umformtechnik
 Prof. Dr.-Ing. habil. Kurt Steinhoff
 Kurt-Wolters-Straße 3
 34125 Kassel
 Telefon 0561 804-2705
 Telefax 0561 804-2706
 umformtechnik@uni-kassel.de

- Materials Valley e.V.
 Dr. Wulf Brämer, Geschäftsführer
 c/o Heraeus Holding GmbH
 Heraeusstraße 12–14, 63450 Hanau
 Telefon 06181 355118
 wulf.braemer@heraeus.com
 www.materials-valley-rheinmain.de
- Materialforschungsverbund Rhein-Main (MatFoRM)
 Dr. Roland Platz
 Magdalenenstraße 4
 64289 Darmstadt
 Telefon 06151 16-3362
 platz@matform.tu-darmstadt.de
 www.matform.tu-darmstadt.de
- Mikrosystemtechnik-Netzwerk Rhein-Main e.V.
 Prof. Dr. Helmut F. Schlaak Vorsitzender des Vorstandes Rheinstraße 89 64295 Darmstadt Telefon 06151 871284 Telefax 06151 871 100 284 www.mst-rhein-main.de
- MoWiN.net e.V. Mobilitätswirtschaft Nordhessen Netzwerk Karsten Busch Ständeplatz 13 34117 Kassel Telefon 0561 97062-19 Telefax 0561 97062-22 info@mowin.net www.mowin.net

5 Stellungnahmen wichtiger Verbände

Verband der Automobilindustrie (VDA)

Der Verband der Automobilindustrie (VDA) fördert national und international die Interessen der gesamten deutschen Automobilindustrie auf allen Gebieten der Verkehrswirtschaft, so zum Beispiel in der Wirtschafts-, Verkehrs- und Umweltpolitik, der technischen Gesetzgebung, der Normung und Qualitätssicherung. Außerdem veranstaltet der VDA in eigener Regie die Internationale Automobil-Ausstellung (IAA), die jährlich stattfindet. In ungeraden Jahren steht die IAA PKW auf dem Programm, in geraden Jahren ist die IAA Nutzfahrzeuge angesagt.

Der VDA setzt sich konsequent für die Stärkung der individuellen Mobilität ein. Er hat mehr als 570 Mitgliedsfirmen. Unter dem gemeinsamen Dach des VDA sind sowohl Automobilhersteller als auch Zulieferunternehmen organisiert. Sie stehen für einen Jahresumsatz von 235 Mrd. Euro und 767.000 Mitarbeiter. Die VDA-Zentrale befindet sich in Frankfurt am Main. Darüber hinaus unterhält der VDA Büros in Berlin und Brüssel. In der VDA-Geschäftsstelle in Frankfurt haben der Präsident, die drei VDA-Geschäftsführer und der überwiegende Teil der 80 Mitarbeiter ihren Dienstsitz.



Verband der Automobilindustrie e.V. (VDA)
 Westendstraße 61, 60325 Frankfurt
 Telefon 069 97507-299

Telefax 069 97507-299

www.vda.de

Stellungnahme des VDA

Die deutsche Automobilindustrie verdankt ihre weltweite Führungsposition ihrer anerkannt hohen Innovationskraft. Werkstoffe wirken als treibende Kraft für innovative, industrielle Produktentwicklungen. Sie prägen die technologische Leistungsfähigkeit der Automobilindustrie und steigern die Wettbewerbsfähigkeit der Unternehmen. Nanotechnologien sind eine der Kernkompetenzen der Automobilindustrie, die zum Erhalt der Wettbewerbsfähigkeit beiträgt. Die Automobilindustrie ist der Motor der anwendungsorientierten Nanoforschung. Laufende Entwicklungen werden hinsichtlich ihres Nutzens zur Weiterentwicklung bestehender Komponenten bewertet. Die Realisierung neuer Effekte und faszinierender Funktionen im Fahrzeug wird durch Nanotechnik erst möglich. Im Vordergrund stehen Produktdifferenzierung

im internationalen Wettbewerb und der Kundennutzen unter den Aspekten Sicherheit, Umwelt und Komfort, Die Nanotechnologien haben bereits seit Jahren in der Automobilindustrie einen festen Platz. So verhindern abblendbare Spiegel, dass der Fahrer geblendet wird, darüber hinaus sind blendfreie Instrumente und Wärmeschutzverglasungen Beispiele für den Einsatz von Nanomaterialien. Mit Hilfe von Nanopartikeln haften Reifen auf den unterschiedlichen Straßenbelägen und Straßenzuständen besser. Das Automobil der Zukunft zeigt mit Hilfe der Nanotechnologien Visionen von der intelligenteren Reaktion auf Umweltreize und Fahrerverhalten. Scheiben und Spiegel werden sich den äußeren Lichtverhältnissen anpassen und zahlreiche Sensoren vorausschauend den Fahrzustand bei Änderung der Wetterlage oder bei Kollisionsgefahr erfassen. Wichtig werden auch ästhetisch-funktionale Aspekte, die durch Nanotechnologien erschlossen werden: Durch schaltbaren Farbwechsel der Lacke und Umbaumöglichkeiten bei Leichtbaukonzepten erhält das Fahrzeug ein individuell anpassbares äußeres Erscheinungsbild. Bei Karosserie, Chassis und Motorleichtbau kommen Verbundwerkstoffe mit neuen Eigenschaften zum Einsatz, die leichter und crashresistenter sind. Gerade bei Fahrzeugantrieb und Komponenten haben die Nanotechnologien erhebliches Optimierungspotenzial im Hinblick auf die weitere Verbrauchsund Emissionsreduzierung. Nanopartikel sind bereits Basis für die Herstellung von Katalysatoren. Da der Verschleiß von Komponenten funktionale Eigenschaften des Fahrzeugs, wie Lebensdauer, Verbrauch, Emission und Geräusche beeinflusst, werden durch Nanotribologie neue Potenziale erschlossen. Durch optimale nanotechnologische Beeinflussung der Werkstoffoberflächen gelingt es, die Verschleißbeständigkeit zu erhöhen. Nicht nur die Optimierung des Verbrennungsmotors, sondern vor allem auch die Weiterentwicklung alternativer Antriebskonzepte steht bei der Reduzierung von Verbrauch und Emissionen im Sinne einer nachhaltigen weltweiten Mobilität im Mittelpunkt. Die Zukunft der Antriebstechnologie gehört der Brennstoffzelle als echtem ,Zero-Emission'-Fahrzeug. Nanotechnologische Produkte werden eingesetzt, um die Diffusionsmembranen der Brennstoffzellen zu optimieren. Zellen-Elektroden aus Kohlenstoff-Nanoröhrchen können eine höhere Energiedichte erzielen. Natürlich birgt der Einsatz neuer Technologien immer auch Risiken. Diese sind in der Grundlagenforschung zu hinterfragen und müssen beantwortet sein, wenn die jeweiligen Projekte von der Prinzip- zur Konzepttauglichkeit geführt werden. Partnerschaften mit Forschungszentren weltweit sind hier von allergrößter Bedeutung. Die Automobilindustrie erreicht den Einsatz neuer Materialien durch die anwendungsorientierte Forschung zusammen mit Materialherstellern, Forschungsinstituten und Zulieferern. Ausgehend von neuen Anforderungen im Fahrzeugbau übernehmen innovative Zulieferer wichtige Forschungsaufgaben in den Nanotechnologien. Der Einsatz der Nanotechnologien stärkt und fördert die Wirtschaftlichkeit und Wettbewerbsfähigkeit der Automobilindustrie am Standort Deutschland. Politik und Wissenschaft sind aufgefordert, gemeinsam mit der Automobilindustrie den Nanotechnologien zum Durchbruch zu verhelfen.

Kompetenzfeld Nanotechnik des Vereins Deutscher Ingenieure (VDI)

Der VDI ist heute mit rund 125.000 persönlichen Mitgliedern der größte technisch-wissenschaftliche Verein in Deutschland und international führend. Sein enormes technisches Wissen in den verschiedensten Branchen und branchenübergreifenden Bereichen sowie in der Ingenieurförderung generiert er aus dem Netzwerk seiner Mitglieder und Kooperationspartner sowie in Zusammenarbeit mit Wirtschaft und Wissenschaft. Als einer der größten technisch-naturwissenschaftlichen Vereine Europas und anerkannter Sprecher der Technik in Deutschland sieht sich der VDI verpflichtet, die Technik zum Nutzen für Wissenschaft, Industrie und Gesellschaft zu fördern und aktiv mitzugestalten. Die Nanotechnik nimmt hier einen besonderen Platz als Innovationsmotor für das beginnende Jahrtausend ein.

Aufgabenschwerpunkt des VDI-Kompetenzfeldes Nanotechnik ist der gezielte Wissenstransfer durch die Bildung von hochqualifizierten Netzwerken und Expertenforen, die Erarbeitung von VDI-Richtlinien und eine intensive Öffentlichkeitsarbeit. Dabei erfolgt der Austausch und die Diskussion von Ideen und Meinungen auch branchenübergreifend, um Synergiepotenziale frühzeitig zu erkennen und zum Nutzen aller umzusetzen.



 Verein Deutscher Ingenieure e.V. Kompetenzfeld Nanotechnik Postfach 10 11 39 40002 Düsseldorf Telefon 0211 6214-254

Telefax 0211 6214-160 kfnt@vdi.de

www.vdi.de

Stellungnahme des Kompetenzfeldes Nanotechnik des Vereins Deutscher Ingenieure (VDI)

Die Automobilindustrie ist für die deutsche Wirtschaft von überragender Bedeutung. 2004 lag der Umsatz der deutschen Automobilindustrie bei etwa 226 Mrd. Euro. Jeder siebte Arbeitsplatz in Deutschland hängt von der Automobilindustrie ab. Zudem wird mehr als ein Drittel des gesamten industriellen FuE-Budgets in Deutschland von der Automobilindustrie aufgebracht.

Auf der anderen Seite entwickeln sich die Nanotechnologien nach Ansicht führender Experten zu einer der bedeutendsten Schlüsseltechnologien dieses Jahrhunderts. Bereits heute wird in mehreren Studien das aktuelle Weltmarktvolumen auf etwa 100 Mrd. Euro geschätzt mit stark wachsender Tendenz für die Zukunft. Es ist daher offensichtlich, dass die Nanotechnologien, die bereits heute in Ansätzen in der Automobilindustrie genutzt werden, zunehmend von Bedeutung für die Automobilindustrie sein werden. Die treibenden Kräfte für den stetigen Innovationsprozess in der Automobilindustrie liegen dabei in dem Bedarf der Kunden und der Gesellschaft nach Fortschritten in ökonomischer und ökologischer Hinsicht wie auch in Bezug auf Komfort und Sicherheit. Die Nanotechnologien können dabei wesentlich zu allen Aspekten beitragen.

Heutige Anwendungen der Nanotechnologien in der Automobilindustrie liegen beispielsweise im Einsatz nanoskaliger Rußpartikel in Autoreifen, die maßgeblich für die exzellenten Eigenschaften wie niedriger Rollwiderstand, lange Lebensdauer sowie gute Haftung bei Trockenheit wie Nässe verantwortlich sind. Nanopartikelverstärkte Klarlacke oder auch ultradünne Antireflex- oder Sonnenschutzbeschichtungen sind weitere Beispiele. Auch superharte amorphe Kohlenstoffschichten finden aufgrund ihrer sehr hohen Härte und des niedrigen Reibungskoeffizienten zunehmend Verwendung.

Mittelfristig realisierbar erscheinen nanopartikelverstärkte Materialien, gegebenenfalls sogar auf der Basis von Kohlenstoff-Nanoröhren, oder etwa easyto-clean-Oberflächen. In ferner Zukunft sind sogar Anwendungen der Nanotechnologien wie etwa selbstreparierende Lacke oder schaltbare Farben denkbar. Angesichts der wirtschaftlichen Bedeutung der Automobilindustrie für Deutschland kommt dem Einsatz der Nanotechnologien in diesem Feld eine besondere Bedeutung zu, die es konsequent zu erschließen gilt, um den Forschungs- und Wirtschaftsstandort Deutschland optimal zu stärken.

ZVEI - Zentralverband Elektrotechnikund Elektronikindustrie e.V.

Der ZVEI vertritt die wirtschafts-, technologie- und umweltpolitischen Interessen der deutschen Elektroindustrie auf nationaler, europäischer und internationaler Ebene. Er informiert gezielt über die wirtschaftlichen, technischen und rechtlichen Rahmenbedingungen für die Elektroindustrie in Deutschland.

Der ZVEI fördert die Entwicklung und den Einsatz neuer Technologien durch Vorschläge zur Forschungs-, Technologie-, Umweltschutz-, Bildungsund Wissenschaftspolitik. Er unterstützt eine marktbezogene, internationale Normungs- und Standardisierungsarbeit.

Grundlage der Verbandsarbeit ist der Erfahrungsund Meinungsaustausch zwischen den Mitgliedern über aktuelle technische, wirtschaftliche, rechtliche und gesellschaftspolitische Themen im Umfeld der Elektroindustrie. Hieraus werden gemeinsame Positionen erarbeitet.

Aus dem engen Kontakt des ZVEI mit Politik und öffentlicher Verwaltung sowie aus dem verbandsinternen Erfahrungsaustausch resultieren umfassende, auf die spezifischen Bedürfnisse der Elektroindustrie abgestimmte Informationen über markt- und wettbewerbsrelevante Entwicklungen. Die Mitgliedsunternehmen nutzen diesen Wissensvorsprung, um ihre internationale Wettbewerbsfähigkeit zu verbessern.



 Zentralverband Elektrotechnik- und Elektronikindustrie e.V.
 Fachverband Bauelemente der Elektronik Stresemannallee 19 60596 Frankfurt

Telefon 069 6302-276 Telefax 069 6302-407

www.zvei.de

Stellungnahme des ZVEI zur Anwendung der Nanoelektronik im Automobil

Innovationen sind in der automobilen Welt der treibende Faktor, der das Fahrzeug zum Markterfolg führt. Aber nicht nur die direkt ersichtlichen Innovationen zum Beispiel im Bereich der multimedialen Anwendungen sind die Treiber der Entwicklungen, sondern vor allem die Sicherheit des Autofahrens steht im Fokus der Zukunft. Autofahren einfacher, sicherer und komfortabler zu machen, ist das Ziel der Innovation. Ein Ziel, das in den modernen Fahrzeugen ohne Elektronik nicht mehr realisierbar ist.

Und die Elektronik im Fahrzeug nimmt weiter zu, da immer mehr Applikationen ihre Funktionsfähigkeit nur durch Elektronik erreichen können. Eine hohe Herausforderung an die technische Koordination der einzelnen Entwicklungen im immer enger werdenden Raum eines Automobils. Aber vor allem eine Herausforderung an jedes Bauelement der Elektronik, das immer kleiner und trotzdem leistungsfähiger sein muss. Genau an diesem Punkt setzt die Nanoelektronik an, um diese Herausforderung an das Bauelement und die Applikation auf engstem Raum mit höchster funktioneller Sicherheit erreichen zu können.

Erfreulicherweise hat sich der Standort Deutschland zu einem Technologieführer in der Nanoelektronik entwickelt. Erfreulich auch, dass diese Position weiter ausgebaut werden kann. Der hohe intellektuelle Anteil an der Wertschöpfung kommt bei der Nanoelektronik dem Wirtschaftsstandort Deutschland zu Gute. Somit spielen die häufig zitierten hohen Produktionskosten am Standort Deutschland im Falle der Nanoelektronik eine eher nebensächliche Rolle. Der ZVEI begrüßt diese sehr positive Situation in der Nanoelektronik und wird alle Bemühungen zur Weiterentwicklung des Standorts Deutschland nach Kräften unterstützen.

6 Anhang

6.1 Glossar

Composit

Siehe Komposit.

Elektrorheologie

Elektrorheologie ist die Änderung der Fließeigenschaften eines Materials durch Wirkung eines äußeren elektrischen Feldes.

Farbzentren

Ein Farbzentrum ist ein Gitterdefekt in einem kristallinen Festkörper mit einer nicht besetzten negativen lonenpositition (Leerstelle) und einem oder mehreren diese Position besetzenden Elektron(en). Derartige Effekte absorbieren Licht und lassen ansonsten farblose Kristalle farbig erscheinen.

Hydrophob

Mit diesem Fachausdruck aus der Chemie werden Substanzen bezeichnet, die sich nicht mit Wasser mischen und es auf Oberflächen meist "abperlen" lassen. Oberflächen mit einem Kontaktwinkel von mehr als 90° gegenüber Wasser werden auch als superhydrophob bezeichnet. Von solchen Oberflächen perlt Wasser sehr gut ab. Hydrophobe Oberflächen bestehen in der Regel aus hydrophoben Substanzen oder sind von diesen bedeckt. Ein Beispiel ist die Beschichtung von Oberflächen mit PTFE, allgemein als Teflon bekannt. Ein Extrembeispiel für eine hydrophobe Oberfläche ist die Oberfläche von Blättern und Blüten des Lotus.

Kieselsäure

Als Kieselsäuren werden die Sauerstoffsäuren des Siliziums bezeichnet. Im Deutschen hat es sich eingebürgert, auch alle möglichen Formen von synthetischem Siliziumdioxid allgemein als Kieselsäure zu bezeichnen.

Komposit

Aus dem Englischen stammende Bezeichnung für Verbundwerkstoff.

Korngröße

Der Begriff Korngröße beschreibt die Größe von Partikeln. Wären Partikel perfekte Kugeln, könnte man den Kugeldurchmesser als Maß für die Korn-/Partikelgröße heranziehen. In der Praxis handelt es sich um unterschiedlich geformte Körper. Für die Beschreibung deren Größe bedient man sich des Äquivalentdurchmessers, das heißt man bezieht die Messwerte auf die gleichgroßer Kugeln.

Lotus-Effekt

Der Lotuseffekt beruht auf einer Kombination einer hydrophoben Oberfläche (natürliches Wachs) mit einer speziellen Oberflächenstruktur, die durch Wachsschuppen gebildet wird. Ein Wassertropfen perlt dadurch noch wesentlich besser ab, als er es von einer glatten Oberfläche aus dem gleichen Wachs tun würde und nimmt anhaftenden Staub einfach mit. Dieser Effekt wird zunehmend in die Technik übertragen und zum Beispiel für "Easy-to-Clean-Schichten" genutzt.

Nanostrukturierte Werkstoffe

Über Verfahren und Prozesse der zumeist chemischen Nanotechnologien hergestellte Nanokomposite. Hierbei steht die Herstellung und gezielte Nutzung von nanoskaligen Strukturen zur Erzeugung und Verbesserung von Werkstoffeigenschaften im Vordergrund.

OEM (Original Equipment Manufacturer)

Unter einem Original Equipment Manufacturer (deutsch: Originalausrüstungshersteller) versteht man einen Hersteller von fertigen Komponenten oder Produkten, der diese in seinen eigenen Fabriken produziert, sie aber nicht selbst in den Handel bringt. In vielen Branchen hat sich jedoch die gegenteilige Bedeutung des Begriffs OEM etabliert. So versteht man zum Beispiel in der Automobilindustrie unter einem OEM eine Firma, die nicht Orginalhersteller eines Produkts ist, sondern ein fertiges Produkt weiterverarbeitet und unter eigenem Namen in den Handel bringt.

Oleophob

Fettabweisend; Öle und Fette können an oleophoben Oberflächen nicht haften beziehungsweise eindringen. Sie können einfach entfernt werden. Vergleiche die Analogie "hydrophob".

PET

Polyethylenterephthalat (Kurzzeichen PET) ist ein thermoplastischer Kunststoff aus der Familie der Polyester.

Piezoelektrischer Effekt

Piezoelemente erzeugen Elektrizität, wenn sie gestreckt oder gestaucht werden, so auch den Zündfunken in "elektronischen" Feuerzeugen. Umgekehrt kann ein piezoelektrischer Kristall mit elektrischen Spannungen hauchfein, auf Bruchteile eines Atomdurchmessers, verformt werden.

Remanenz

Die zurückbleibende Magnetisierung/Remanenzflussdichte eines ferromagnetischen Körpers, wenn das äußere Magnetfeld abgeschaltet wird. Stoffe mit hoher Remanenz werden als "magnetisch" bezeichnet.

Silica

Siehe Kieselsäure.

Stöchiometrisch

Stöchiometrisch bedeutet nach quantitativen Gesetzen reagierend.

Van-der-Waals-Bindung

Eine Van-der-Waals-Bindung ist die Anziehung zwischen Dipolmolekülen und die Wechselwirkung zwischen unpolaren Molekülen. Die Ursache für die Anziehung zwischen unpolaren Molekülen ist eine nur kurzzeitig unsymmetrische Elektronenverteilung. Es bildet sich ein temporärer Dipol, der benachbarte Moleküle polarisiert und dadurch weitere Dipole induziert, die eine elektrostatische Anziehung bewirken. Die Van-der-Waals-Bindung nimmt mit steigender Molekülgröße zu. Sie ist jedoch sehr schwach im Vergleich zu anderen Bindungsarten, wie der Ionenoder Atombindung.

X-by Wire

X-by-Wire steht für "X" über Draht und das "X" kann für jede beliebige Kfz-Funktion stehen: Für Gas-by-Wire mit den Funktionen des Vergasers, der Einspritzung, Abgasrückführung, oder für Power-by-Wire mit den Funktionen des Anlassers, der Lichtmaschine, Zündung usw. oder für Shift-by-Wire mit den Steuerfunktionen für Schaltgetriebe, Allrad und Kupplung oder bei Drive-by-Wire für die Rückinformation über die Unebenheit der Straße. Die Lenkbewegung geht damit zuerst in ein elektrisches Signal über, das als Steuersignal dem Steuergerät für die Lenkung zur Verfügung gestellt wird.

Zylinderlaufbahnen

Bauteil im Verbrennungsmotor, in der die Erzeugung der Kraft erfolgt. Im Zylinder befindet sich der Kolben, welcher durch die Verbrennung des Kraftstoff-Luft-Gemisches auf und ab bewegt wird. Die Wände im Zylinder werden als Zylinderlaufbahnen bezeichnet.

6.2 Internetlinks zu Nanotechnologien

- Aktionslinie Hessen-Nanotech www.hessen-nanotech.de
- Plattform zu Nanotechnologien in Hessen www.nanotech-hessen.de
- HA Hessen Agentur GmbH www.hessen-agentur.de
- Förderinitiative NanoHE www.nanoHE.de
- TTN-Hessen
 TechnologieTransferNetzwerk Hessen
 www.ttn-hessen.de
- Portal des BMBF und VDI zu Nanotechnologien www.techportal.de
- Kompetenznetzwerke in den Nanotechnologien in Deutschland www.kompetenznetze.de/navi/de/Innovationsfelder/ nanotechnologie.html
- Informationsserver (Cordis) der EU zu Nanotechnologien Priorität im 6. Rahmenprogramm www.cordis.lu/nanotechnology/
- Internetportal "Nanoforum" zu den Nanotechnologie-Aktivitäten innerhalb der EU www.nanoforum.de
- "NanoNetzwerkHessen" www.nanonetzwerkhessen.de
- Leitinnovation NanoMobil www.nanomobil.de
- Staufreies Hessen 2015 www.staufreieshessen2015.de
- Internetplattform zum verantwortlichen Umgang mit Nanomaterialien

Als Service für die in Hessen tätigen Unternehmen hat die Aktionslinie Hessen-Nanotech des Hessischen Ministeriums für Wirtschaft, Verkehr und Landesentwicklung im Internet eine Informationsplattform für den verantwortlichen Umgang mit Nanomaterialien zur Verfügung gestellt. Sie soll Unternehmen, aber auch Wissenschaftlern sowie Anwendern und Interessierten helfen, einen schnellen und guten Überblick über die aktuellen Forschungsaktivitäten und die Diskussion um potenzielle Risiken von Nanotechnologien zu gewinnen.

6.3 Literaturverzeichnis

- Bauer, C. und Dimitrova, G., "Automobilstandort Hessen - Branchenprofil Automobilindustrie - Automobilzulieferer in Hessen: Ergebnisse einer Unternehmensbefragung", HA Report Nr. 700, Wiesbaden, 2006.
- Bauer, H.-P., "Innovative Antriebskonzepte und Aktorik in der Fahrzeugtechnik; Elektrofahrzeuge und Kfz-Elektronik, Folien zur Vorlesung, Darmstadt, 2005.
- Bayer AG, "Die kleinsten Flakons der Welt", in: Research, Ausgabe 15, 2005.
- Böcker, J, "Antriebe für umweltfreundliche Fahrzeuge", Universität Paderbron, Skript zur Vorlesung, 2006.
- Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF), "Standortbestimmung Nanotechnologie in Deutschland", BMBF Referat Öffentlichkeitsarbeit, Juni 2002.
- Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF), "Bundesbericht Forschung 2004", 2004.
- Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF), "Nanotechnologie erobert Märkte", BMBF Referat Publikationen, Bonn/Berlin 2004.
- Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU), "Synthetische Nanopartikel – Entwicklungschancen im Dialog", Bonn, 25.10.2005.
- Fischle, H., "Superkondensatoren, made by WIMA", Sonderdruck, 2005.
- Frost & Sullivan, "Nanotechnology Implementation in the Automotive Sector: Big Opportunities in the Small", 2004.
 www.frost.com/prod/servlet/market-insight-top.pag?docid=24687973
- Galvanotechnik 11/2005, Eugen G. Leuze Verlag, 2679-2680, 2005.
- Grobe, A., "NanoKommunikation",
 Hrsg.: HA Hessen Agentur, Wiesbaden, 2006.
- Haas, K.H. und Heubach, D., "NanoProduktion Innovationspotenziale für hessische Unternehmen im Produktionsprozess", Hrsg.: HA Hessen Agentur, Wiesbaden, 2006.
- Henkel, Firmenbroschüre, "heute für morgen 2005 – Forschung und Entwicklung bei Henkel", 2005.

- Hessen Agentur (HA), "Nanotechnologie in Hessen – Eine Bestandsaufnahme auf Basis von Unternehmensbefragungen", HA Report Nr. 680, Wiesbaden, 2005.
- Heubach, D. et al., "Einsatz von Nanotechnologie in der hessischen Umwelttechnologie –
 Innovationspotenziale für Unternehmen", Hrsg:
 HA Hessen Agentur, Wiesbaden, 2005.
- Klockmann, O., Sprit sparend und Umweltschonend", elements, degussa Science Newsletter, Nr. 16, 4-11, 2006.
- Langner, U., Vortrag "Nanotechnologie in der Galvanotechnik - Praxisbeispiel für den Einsatz bei korrosionsschützenden Beschichtungen", gehalten auf dem 5. hessischen Automobil-Zuliefertag am 19.09.2006 in Darmstadt.
- Luther, W. et al., "Nanotechnologie als wirtschaftlicher Wachstumsmarkt", VDI-TZ, Düsseldorf, 2004.
- Noack, A., "Nanotechnologien für die optische Industrie. Grundlage für zukünftige Innovationen in Hessen", Hrsg.: HA Hessen Agentur, Wiesbaden, 2006.
- Oberholz, A., "Innovation ist der Schlüssel!", Statement anlässlich der Veranstaltung "Degussa Meets Science" am 13./14. Dezember 2001 in Düsseldorf von Dr. Alfred Oberholz, Mitglied des Vorstands der Degussa AG.
- Oberholz, A., "Mit Zwergentechnologie zum Automobil der Zukunft", Hessen-Nanotech NEWS, Nr. 4, 6-12, 2006.
- Postinett, A., "Festplatte im Auto speichert die Daten für die Navigation", Handelsblatt, 15.06.2005.

- Rudolph, S., "Neue Alternativen im Automobilbau: Zunehmende Konkurrenz für den Werkstoff Stahl", DOWJONES Stahlmonitor, Nr. 4, 18. April 2006.
- Scheu, M., "Nanotechnology Patents at the EPO", International Symposium on Nanotechnology and Patenting, The Hague, 9. - 10. November 2004.
- Steingrobe, B., Vortrag "Nanotechnology in the Automobile Sector", gehalten auf der Nano-Equity Europe 2006 am 10.07.2006 in Frankfurt am Main.
- SusTech, Kleben mit Nano-Antennen, 2003.
- TAB Büro für Technikfolgenabschätzung beim Deutschen Bundestag, TA-Projekt Nanotechnologie, Endbericht, Arbeitsbericht Nr. 92, 2003.
- Taneike, M. et al., "Creep-strengthening of steel at high temperatures using nano-sized carbonitride dispersions", in: Nature, Volume 424, Number 6946, 294-296, 2003.
- Volkswagen AG, Nanotechnologie im Automobilbau, 2003.
- Wagner, V. und Zweck, A., "NanoMedizin Innovationspotenziale in Hessen für Medizintechnik und Pharmazeutische Industrie", Hrsg.: HA Hessen Agentur, Wiesbaden, 2006.
- Warzelhan, V.: Vortrag "BASF Innovation pipeline automotive", gehalten auf der Nano-Equity Europe 2006 am 10.07.2006 in Frankfurt am Main.

Schriftenreihe

der Aktionslinie **Hessen-Nanotech** des Hessischen Ministeriums für Wirtschaft, Verkehr und Landesentwicklung

Band 1 Einsatz von Nanotechnologie in der hessischen Umwelttechnologie

Innovationspotenziale für Unternehmen

Band 2 Nanomedizin

Innovationspotenziale in Hessen für Medizintechnik und Pharmazeutische Industrie

Band 3 Nanotechnologie im Auto

Innovationspotenziale in Hessen für die Automobil- und Zuliefer-Industrie

Band 4 NanoKommunikation

Leitfaden zur Kommunikation von Chancen und Risiken der Nanotechnologien für kleine und mittelständische Unternehmen in Hessen

Supplement zum Leitfaden NanoKommunikation

Innovationsfördernde Good-Practice Ansätze zum verantwortlichen Umgang mit Nanomaterialien

Band 5 Nanotechnologien für die optische Industrie

Grundlage für zukünftige Innovationen in Hessen

Band 6 NanoProduktion

Innovationspotenziale für hessische Unternehmen durch Nanotechnologien im Produktionsprozess

Band 7 Einsatz von Nanotechnologien in Architektur und Bauwesen

Band 8 NanoNormung

Normung im Bereich der Nanotechnologien als Chance für hessische Unternehmen

Band 9 Einsatz von Nanotechnologien im Energiesektor

Informationen / Download / Bestellungen: www.hessen-nanotech.de

Hessen

Nanotech

www.hessen-nanotech.de







