

Wie NANO das AUTO verändert

Manche ihrer Vorhaben klingen nach Sciencefiction. Doch längst haben Nanowissenschaftler anwendungstaugliche Neuerungen hervorgebracht, die sich in vielen Alltagsgegenständen wiederfinden. Insbesondere die Automobilindustrie setzt auf eine breite Palette an Nanoprodukten – und hat noch viele Pläne in der Schublade.

In Kürze

- ▶ Strukturen in der Größenordnung von milliardstel Metern verleihen Materialien oft ganz neue Eigenschaften. Auch die **Automobilindustrie** setzt immer mehr auf Nanotechnologie.
- ▶ Nanoprodukte im Auto dienen vor allem Umweltschutz und Verbrauchsreduzierung, Sicherheit und Komfort. Sie versprechen zum Beispiel effizientere Scheinwerfer, **verschleißfreie Motoren** und pflegeleichtere Oberflächen.
- ▶ Noch verhindern hohe Kosten und weiterer Forschungsbedarf oft, dass Neuerungen tatsächlich auf den Markt kommen. **Nanolacke** etwa oder blendfreie Rückspiegel gehören aber schon fast zum automobilen Alltag.

Von Björn Lohmann

Transparente Autodächer, die Sonnenenergie in Strom umwandeln, Lacke, die Kratzer selbst entfernen und auf Knopfdruck die Farbe wechseln, oder gar Fahrzeugkarosserien, die ihre Form der sie umströmenden Luft anpassen: An mehr oder weniger futuristischen Ideen, die sich mittels Nanotechnologie realisieren ließen, mangelt es der Automobilindustrie nicht. Zumal das Auto ein guter Kandidat ist, um Nanotechnologie in vielfältiger Form zum Einsatz kommen zu lassen oder auf Herz und Nieren zu testen, was – wie die Katalysatortechnik – in anderen Branchen ersonnen wurde. Der Umwelt käme vor allem eine Verbrauchsminimierung zugute. Erreichen ließe diese sich, indem man Reibung und Verschleiß im Motor senkt oder durch neue Materialien Gewicht spart. »Nano« kommt sogar in Batterien oder Brennstoffzellen zum Einsatz, und auch effizientere Katalysatoren, die zudem auf Schwermetalle verzichten, würden die Umwelt entlasten.

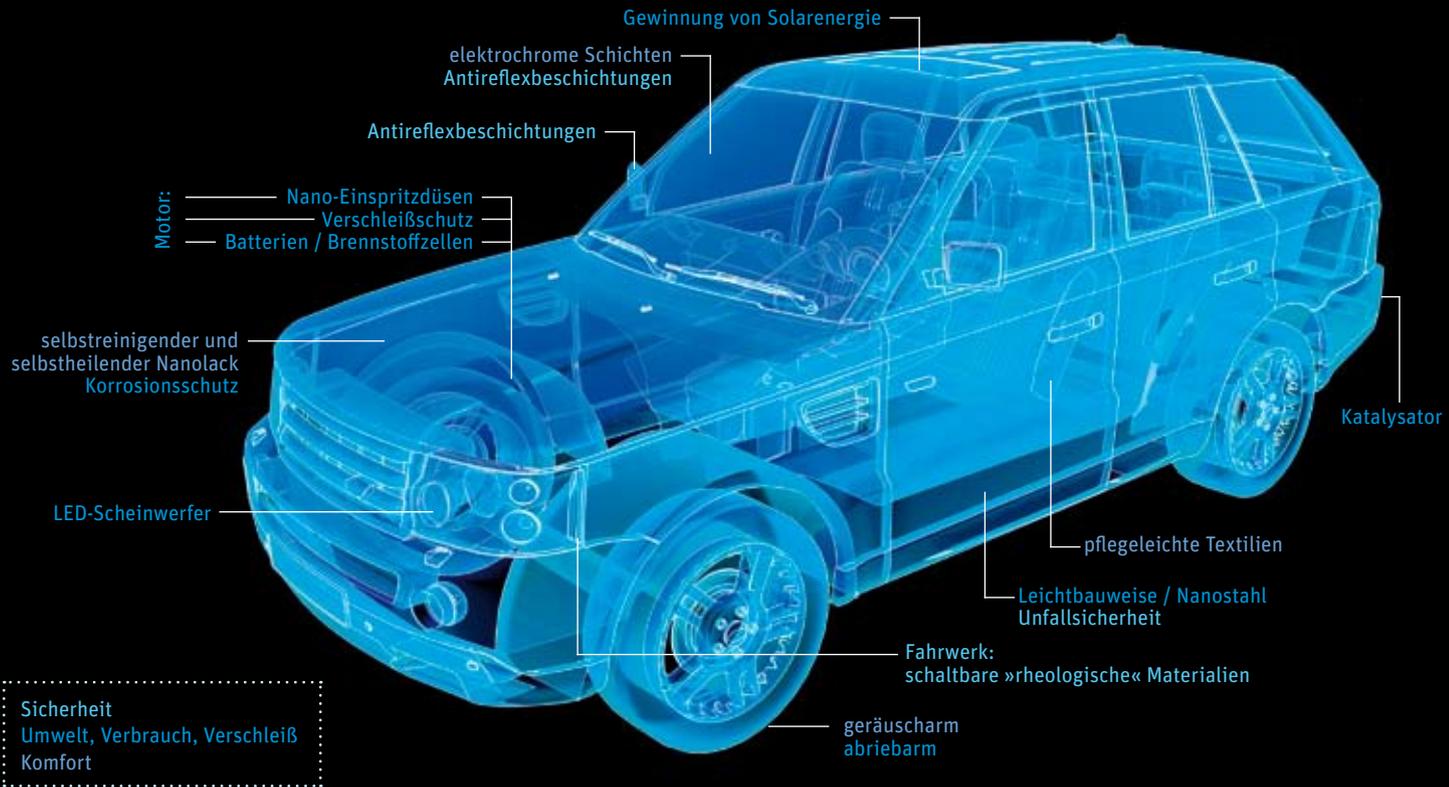
Ein weiterer großer Anwendungsbereich ist die Sicherheit. Nanosensoren könnten zahlreiche Daten über Wetter und Fahrbahnzustand, Motorsysteme und Reifendruck zusammentragen und beschichtete Spiegel und Scheiben die Sicht des Fahrers verbessern. LEDs mit hoher Lichtausbeute würden in Strom sparenden Scheinwerfern verwendet, und ermüdungsfreie Nanostähle

könnten die Zuverlässigkeit von Fahrzeugen im Güterverkehr erhöhen.

Nicht zuletzt profitieren Autofahrer auch von neuartigem Komfort – oder können zumindest davon träumen. Abschattbare Fenster, »selbstreinigende« Sitze und ebensolcher Lack oder gar die variable Dämpfung des Fahrwerks in voller Fahrt gehören zu dem, was Materialstrukturen mit Größenordnungen im Bereich von milliardstel Metern schon leisten oder zumindest versprechen.

Tatsächlich verfolgen Forscher und Ingenieure zahlreicher Firmen und Institute etliche konkrete Ansätze. Dabei hilft ihnen, dass sie viele Teilerfolge erzielt und manche Produkte in den letzten Jahren den Weg in die Serienfertigung gefunden haben oder auch in die Fertigung selbst, wo sich die Wartungsintervalle von Werkzeugmaschinen senken lassen. Andererseits: Allzu viel »Nano« wird Ihr Autohändler in der Regel nicht anbieten. Denn die Technologie ist bislang oft so teuer, dass sie gar nicht in den Massenmarkt gelangt. Ein elektrotransparentes Panoramadach etwa, dessen Durchlässigkeit für Licht sich per Knopfdruck regeln lässt, ist für gängige Mittel- und Oberklassefahrzeuge nicht vorgesehen – wohl aber für den edlen Maybach 62 S, den der Daimler-Konzern als »Chauffeur-Limousine« auf den Markt brachte.

Auch für Effekt- oder Flipflopplacke, die mittlerweile immerhin ausgereift sind, zahlt der Kunde ungerne einen Aufpreis. Sie enthalten winzige Plättchen aus Silizium-, Alumi-



SPOOKY 2006 / FOTOLIA

nium- oder Eisenoxid, die von einem weiteren Metalloxid und einer Reflektorschicht umhüllt sind. Abhängig von Schichtfolge und Schichtdicke des Metalloxids kommt es bei Lichteinfall zu unterschiedlichen Interferenz- und damit Farbeffekten, die zudem auch abhängig vom Blickwinkel sein können.

Weitere Nanoanwendungen wiederum dürften ihre Premiere anderswo feiern, nicht aber im Auto. Das Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme etwa präsentiert auf Messen derzeit ein Solarmodul aus organischem Farbstoff, das mit Hilfe feinsten Nanopartikel Sonnenlicht in Strom umwandelt und sich einfach auf Glasscheiben aufdrucken lässt. Fassaden und Dächer sind aber allemal geeigneter, um seine Leistungsfähigkeit zu demonstrieren, als die vielleicht zehn Quadratmeter Fläche der Autokarosserie. Auch der (noch in weiter Ferne liegende) Plan, Karosserieelemente durch elektrisches Stauchen und Dehnen von Nanoröhrchen dynamisch zu verformen, wird sicherlich eher im Flugzeugbau zum Einsatz kommen, um das Flügelprofil und damit Flugeigenschaften und Treibstoffverbrauch zu optimieren. Denn hier stünden die hohen Kosten in einem günstigeren Verhältnis zum Gesamtpreis des Produkts.

Was genau wir in den nächsten Jahren zu erwarten haben, ist noch unklar. Über Details künftiger Anwendungen schweigt sich die Branche oft aus oder spricht über ihre Ziele nur hinter vorgehaltener Hand. Aus Wettbewerbsgründen ist den Automobilzulieferern

und Forschungsinstituten, die meist die eigentliche Entwicklungsarbeit leisten, oft Geheimhaltung auferlegt. Was dennoch durchsickert, gibt aber gemeinsam mit den bereits in den Markt eingeführten Neuerungen einen guten Überblick über den Stand der Technik und ihre Zukunft.

Beispiel Lack. Während die ersten Nanolacke das Auto metallic- oder perlmuttfarben schimmern ließen, sieht man seit 2003 auch kratzfeste und selbstreinigende Autolacke auf deutschen Straßen. Klarlack auf der Basis von Nanoteilchen war eine der ersten Nanoanwendungen im Fahrzeugbereich und von Mercedes-Benz 2003 als »Weltpremiere« eingeführt worden. Kratzfester und damit sicherer vor Rollsplit oder auch den Borsten der Waschanlage wurde der Lack nämlich erst, als man gelernt hat, Siliziumkarbide darin einzulagern – sehr harte, anorganische Nanoteilchen meist keramischer Natur. Zunächst schwimmen die Keramiktteilchen in flüssigem Klarlack, der als äußerste Schicht auf die Autokarosserie aufgetragen wird. Erst beim Trocknen vernetzen sie sich und bilden so zusammen mit elastischen organischen Bindemitteln eine gleichmäßige Schutzschicht.

Fachleute sprechen von diesem Aushärteprozess als »Sol-Gel-Verfahren«, weil dabei aus einer Lösung (lateinisch *solutio*) durch die Vernetzung der eingelagerten Partikel ein Gel mit festkörperartigen Eigenschaften entsteht. Darin sind die Nanoteilchen wesentlich dichter gepackt als die Bestandteile herkömmli-

Sicherheit, Komfort sowie der Bereich Umweltschutz, Treibstoffverbrauch und Materialverschleiß sind die großen Anwendungsgebiete für Nanotechnologie im Auto. In den kommenden Jahrzehnten werden sie in praktisch alle Fahrzeugkomponenten vordringen.

WAS HEISST »NANO«?

Ein Nanometer ist ein millionstel Millimeter. Zwischen Nanoteilchen und Fußbällen besteht daher ein ähnliches Größenverhältnis wie zwischen einem Fußball und dem Planeten Erde. Als Nanotechnik wird der Einsatz von Partikeln und Oberflächenstrukturen bezeichnet, deren Größenordnungen zwischen einem und einigen hundert Nanometern liegen. Dies führt nicht einfach zu filigraneren Strukturen als in der Mikrotechnik, vielmehr weisen die neuen Materialien oft völlig neue und vielfältig nutzbare Eigenschaften auf.

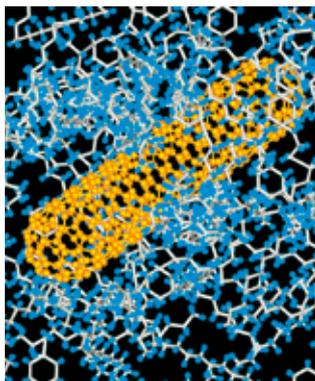
RÖHREN, WÜRFEL UND FasERN

Kohlenstoffnanoröhren sind winzige Röhren aus Kohlenstoff, deren Durchmesser im Größenbereich von Nanometern liegt. Vor rund 20 Jahren entdeckt, verdanken sie ihrer wabenartigen Struktur, dass sie leicht wie Kunststoff und fester als Stahl sind. Mittlerweile lassen sie sich mit doppelten Wänden, aber auch mit »Deckel« herstellen oder mit anderen Stoffen befüllen. Der weltweite Umsatz mit solchen CNTs (*carbon nanotubes*) könne in den nächsten Jahren bis zu zwei Milliarden US-Dollar erreichen, sagen Marktforscher.

Nanostrukturierte Materialien wie die Nanoröhren zeichnen sich unter anderem auch durch das extrem hohe Verhältnis zwischen ihrer Oberfläche und ihrem Volumen aus. Die »Nanowürfel« der BASF etwa weisen pro Gramm Material eine Oberfläche von beeindruckenden 4500 Quadratmetern auf. Das macht solche Strukturen zu idealen Kandidaten für Katalysatoren oder für Technologien zur Speicherung von Wasserstoffgas, da sich mit ihrer Hilfe mühelos die Energiedichten übertreffen lassen, die bei dessen gasförmiger oder flüssiger Speicherung möglich sind.

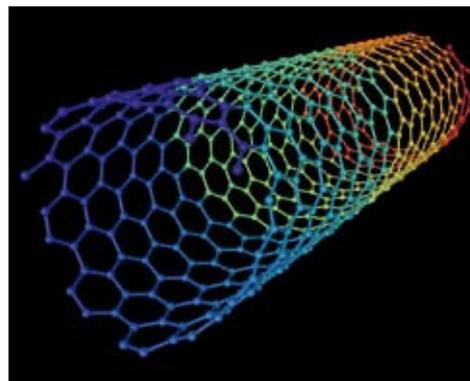
Schon seit ihrer Entdeckung werden allerdings auch immer wieder Befürchtungen laut, sie könnten unter bestimmten Umständen gesundheitsschädlich sein. Eine Studie in »Nature Nanotechnology« aus dem vergangenen Jahr zeigte, dass das Einatmen langer, dünner CNTs zu ähnlichen Folgen wie das Einatmen von Asbestfasern führen kann.

Die Supercomputersimulation (links) zeigt ein leichtgewichtiges Komposit aus einer Kohlenstoffnanoröhre (gelb) und einem Polymer. Es könnte bei einer besonderen Art von Auto zum Einsatz kommen: einem Mars-Rover der NASA. Die »Standard«-Form einer einwandigen Nanoröhre mit wabenartiger Struktur ist im mittleren Bild zu sehen. Die elektronenmikroskopische Aufnahme rechts zeigt Nanowürfel der BASF mit einer äußeren Kantenlänge von einigen Mikrometern. Die innere Struktur der Würfel, die der Wasserstoffspeicherung dienen sollen, liegt im Nanometerbereich.



cher Lacke. Im Fall der Entwicklung von Mercedes-Benz verbessert sich die Kratzfestigkeit um das Dreifache, auch glänzt das Auto selbst nach jahrelanger Nutzung noch sichtbar stärker als üblich. Offenbar nähern sich sogar noch härtere Klarlacke der Serienreife. Anders als die erste Generation von Zwei-Schicht-Lacken (wo über den eigentlichen Lack noch eine Klarlackschicht gelegt wird) soll die neue Generation als preiswerteres Ein-Schicht-System auch den Massenmarkt erschließen.

Die meisten Strukturen aus Nanoteilchen besitzen die Fähigkeit, sich selbst zu organisieren, sich also in bestimmten Mustern anzuordnen. Zerstört ein Kratzer dieses Muster, versuchen die benachbarten Teilchen, sich wieder wie zuvor zu vernetzen und gewissermaßen in den Kratzer hineinzufließen. Ein selbsteheilender Lack aus hochelastischen Kunstharzen, den Nissan 2005 als »Scratch Guard Coat« vorgestellt hat und der zum Beispiel bei den neuen Luxusmodellen der Nis-



san-Schwestermarke Infiniti zum Einsatz kommt, ist immerhin sehr kratzfest und behebt kleinere Schäden selbst – zumindest dann, wenn nicht die gesamte Dicke der Lackschicht betroffen ist. Nach drei Jahren verliert er allerdings seine Wirkung.

Praktisch schon wieder von den Straßen verschwunden ist selbstreinigender Lack, weil die Kunden die erheblich mattere Optik ihrer Autos nicht akzeptierten. Das Prinzip der Selbstreinigung basiert auf dem weithin bekannten Lotus-Effekt. Die Oberfläche dieses Lacks enthält unzählige Wasser abweisende Spitzen aus Cutin (eine polyesterartige Substanz, die in Pflanzenzellen vorkommt), die Wasser einfach abperlen lassen, wodurch es auch den Schmutz mit fortspült. Genau diese Spitzen streuen jedoch das Licht und sorgen für das matte Aussehen. Attraktiver wäre hingegen ein Lack, der aus zwei unterschiedlichen elektrisch geladenen Farbpigmenten besteht, die sich im Lack bewegen können. Abhängig vom angelegten elektrischen Feld wandern einmal die einen, dann wieder die anderen Farbpigmente an die sichtbare Lackoberfläche – das Fahrzeug wechselt seine Farbe.

Die wohl utopischste Idee auf dem Gebiet der Nanolacke besteht indessen in einer Fahrzeugaußenhaut, die Sonnenlicht in Strom umwandelt. Statt solcher Fotovoltaik-Lacke der Zukunft kommen bislang allerdings eher biegbare und nanostrukturierte Farbstoffsolarzellen, auf der Karosserie angebracht, als bescheidene Ergänzung der elektrischen Energieversorgung in Frage. Auch hier hilft die Sol-Gel-Technik. Forscher unter anderem der Fraunhofer-Institute für Silikatforschung und für Solare Energiesysteme beschichteten die Zellenoberfläche mit 10 bis 35 Nanometer großen Siliziumdioxidkügelchen. So reduzierten sie den rund zehnprozentigen Verlust, der durch Reflexion entsteht, um über fünf Prozentpunkte, weil die Zellen kaum noch Licht zurückwerfen.

Anders als bei herkömmlichen Solarzellen liefert bei den Farbstoffsolar- oder Grätzelzellen nicht Silizium die benötigten Elektro-





nen, sondern ein organischer Farbstoff, analog zum Chlorophyll bei der pflanzlichen Photosynthese. Eine nanoporöse Titanoxidschicht mit großer Oberfläche leitet die Elektronen dann weiter. Farbstoffsolarzellen funktionieren schon bei sehr schwachem Licht, allerdings sind Lichtausbeute und Wirkungsgrad vergleichsweise gering. Dafür sind sie umweltfreundlicher und in der Serienfertigung um potenziell 80 Prozent billiger als Siliziumzellen. Die großflächige Produktion der seit Anfang der 1990er Jahre bekannten Technologie steht allerdings erst noch bevor.

Weg mit dem Dreck

Nanotechnologie bietet aber nicht nur bei Sonnenschein Vorteile. Beschlagen an feuchten Tagen die Scheiben, kommt immer öfter die erstmals 2001 von Audi für Scheinwerferscheiben eingeführte Anti-Beschlag-Beschichtung ins Spiel. Wie funktioniert diese wohl älteste Serienanwendung der Nanotechnik im Fahrzeug? Normale Glasscheiben weisen an ihrer Oberfläche eine amorphe, also unregelmäßige Struktur aus Siliziumoxid auf. Silanole – Molekülgruppen aus Silizium, Sauerstoff und Wasserstoff – sorgen dort für eine Wasser anziehende Wirkung. Wassertropfen liegen daher sehr eng und flach an der Oberfläche an und perlen gleichmäßig ab, ohne die Lichtbrechung wesentlich zu verändern. In der Praxis binden sich jedoch auch winzige Wasser abweisende und organische Schmutzpartikel an die Scheibe. Dann aber fließen die Wassertropfen nicht mehr schnell ab, sondern stehen gewissermaßen von der Scheibe ab und sorgen für unerwünschte Lichtstreuung.

Ändern die Forscher jedoch die nanoskalige Struktur der Scheibe, erreichen sie »Superhydrophilie«, also eine extreme Wasseranziehung. Dazu ordnen sie negativ geladene, hydrophile Nanoteilchen in einem gleichmäßigen, transparenten Netzwerk auf der Glasoberfläche an. Ihre elektrische Ladung sorgt automatisch für gleichmäßige Abstände zueinander. Fällt Regen auf die Scheibe, wird das Wasser von den energiereichen Nanoteilchen

angesaugt, und es bildet sich eine sehr dünne, gleichförmige Schicht. Kommt mehr Wasser hinzu, als die Oberfläche binden kann, fließt die Schicht nach unten, ohne dabei ihre Form zu verändern.

Superhydrophilie bietet darüber hinaus einen Ansatz für leicht zu reinigende Autolacke. Sie verhindert zwar das Andocken von Schmutz nicht so erfolgreich wie Wasser abweisende Oberflächen, aber schon wenig Regen genügt, um die Sauberkeit superhydrophiler Flächen wiederherzustellen. Die Forscher von Audi beispielsweise stellten fest: Eis, das sich im Winter über Nacht gebildet hat, verschwindet von einer entsprechenden Windschutzscheibe binnen nur fünf Minuten, mit Scheibenwischereinsatz sogar in weniger als drei Minuten – selbst bei Außentemperaturen von minus 18 Grad Celsius. Die Lichtbrechung bleibt also gering und verändert sich überall im gleichen Maß – anders als wenn dicke Tropfen über das Glas wandern. Gleichzeitig werden auch hydrophobe, also Wasser abweisende Nanostrukturen intensiv erprobt, die auf Scheiben ähnlich dem Lotus-Effekt das Anhaften von Schmutz verhindern, Wasser leicht abperlen lassen und so auch die Blendwirkung nasser Scheiben verringern.

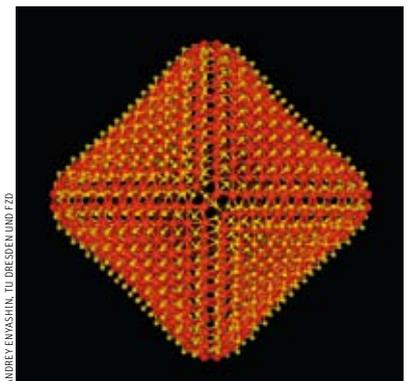
Im Autoinnenraum hingegen existieren andere Anforderungen. Während der Motteneffekt Wasser abweisende Lacke matt erscheinen lässt (Kasten S. 94), erfüllt er auf den Abdeckscheiben von Tachometern und anderen Instrumententafeln eine wichtige Funktion. Hier vermindert er nämlich die Reflexion und verbessert damit die Sicht des Fahrers. Einem ähnlichen Zweck dient auch die Elektrophorie, eine schon von mehreren Herstellern eingesetzte Kombinationsanwendung von Mikroelektronik und Nanotechnologie. Sie sorgt dafür, dass Scheinwerferlicht, das auf die Rückspiegel trifft, den Fahrer nicht blendet. Von Fotozellen gesteuert, wird an eine elektrochrome Oberflächenschicht eine Spannung angelegt. Dies führt zu einem Fluss von Lithiumionen, die sich in einer umkehrbaren Reaktion mit Wolframoxid zu stark absorbierenden

Herkömmlicher Klarlack enthält lange Molekülketten aus Bindemittel und Vernetzer (Illustration im linken oberen Bildteil). Durch höheren Vernetzungsgrad und keramische Nanopartikel (oben rechts) wird er kratzfester. Rund 40 millionstel Meter dick, bildet er den Abschluss mehrerer Lagen (durch Farbstreifen angedeutet) der insgesamt 100 millionstel Meter dicken Lackschicht auf einer Autokarosserie.



MERCEDES-BENZ

Auch die Form von Nanoteilchen ist für ihre Funktion wichtig, wie bei diesem mehrwandigen Nano-Oktaeder aus Molybdändisulfid. Solche Partikel helfen, Kraftstoff zu entschwefeln – umso effektiver, je kleiner sie sind.



ANDREY LEVASHIN, TU BREITENBURG

MOTTENAUGENEFFEKT

Motten, wie Nachtfalter umgangssprachlich meist genannt werden, sehen gut im Dunkeln, weil ihre Augen das Restlicht optimal nutzen. Jede normale Oberfläche reflektiert eine gewisse Menge Licht, die Oberfläche der Mottenaugen hingegen besteht aus einer dichten Ansammlung konischer Zäpfchen, die kleiner sind als die Wellenlänge des sichtbaren Lichts. Zusätzlich haben die außen gelegenen Zäpfchen einen kleineren Durchmesser als die inneren. Beides zusammen bewirkt, dass sich die Brechung der Lichtstrahlen an keiner Stelle abrupt, sondern stets kontinuierlich verändert – Reflexionen bleiben aus.

Die technische Version dieses Effekts erfüllt etwa auf Abdeckscheiben von Tachometern eine wichtige Funktion. Dazu wird auf beide Seiten dieser Scheiben im Tauchverfahren eine Sol-Gel-Schicht aufgebracht. Die winzigen Noppen aus Siliziumoxid und Titanoxid verringern die Lichtreflexion an der Scheibe von vier bis acht Prozent auf weniger als ein Prozent, indem sie den Übergang zwischen der Lichtbrechung in Luft und in Kunststoff glätten. So erlauben sie auch bei ungünstigem Lichteinfall zuverlässige Durchsicht. Außer den gängigen Bedienelementen im Auto kommt dies auch »Head-up-Displays« zugute, wie sie BMW bereits 2003 in die Serienproduktion übernahm.

Farbzentren verbinden, wodurch der Innen Spiegel abdunkelt.

Nicht nur für den Fahrer, sondern auch für seine Begleiter ist ein weiteres Hilfsmittel interessant: die fotokatalytische Oberfläche. Dabei werden ultraviolette Strahlen im Sonnenlicht in Verbindung mit Feuchtigkeit in Textilien genutzt, um darin organische Substanzen abzubauen. Das hält Sitzflächen sauber, geruchs- und keimfrei. Wichtig ist eine hohe Reaktionsfreudigkeit der fotokatalytischen Oberflächen, denn gerade im Fahrzeuginnenraum herrschen nur geringe UV-Intensitäten. Momentan versuchen Forscher auch, Titanoxidteilchen so zu verändern, dass sie schon von sichtbarem Licht zur Fotokatalyse angeregt werden. Entsprechende Oberflächen sind obendrein hydrophil, der entstehende Wasserfilm ermöglicht also, Schmutz leicht fortzuwischen. Noch besser wäre natürlich, wenn an den Fahrzeugsitzen überhaupt kein Schmutz haften bliebe. Ein Netzwerk aus Silikaten etwa, in das Nanoteilchen aus Silber eingebettet sind, lässt sich mit einer Kohlenstoff-Fluor-Verbindung beschichten. Dann fungiert es als chemikalienbeständige und antibakterielle Textilimprägnierung, die zudem Schmutz und Wasser abweist.

Eine ganz andere Art von Komfort verspricht die Adapttronik, die mechanischen Strukturen zu einstellbaren Charakteristika verhilft. Beispiel: die Dämpfung des Fahrwerks. Mikro- oder nanoskalige Partikel verleihen »rheologischen« Flüssigkeiten die Fähigkeit, auf äußere elektrische oder magnetische Felder binnen Sekundenbruchteilen mit starken Änderungen ihrer Viskosität zu reagieren. So ließe sich das jeweilige Bedürfnis nach mehr Sicher-

heit durch härtere Dämpfung beziehungsweise ein komfortableres Fahrgefühl durch weichere Dämpfung erfüllen – oder die Dämpfung automatisch der Straßenlage anpassen.

Neben Komfort und Fahrsicherheit steht derzeit auch der Benzinverbrauch im Mittelpunkt des Interesses. In den letzten 20 Jahren sind Autos um mehr als ein Fünftel schwerer geworden. Sicherheitsanforderungen, Assistenzsysteme, Vorrichtungen zur Einhaltung von Emissionsrichtlinien und Komfortzubehör wie CD-Spieler und Bordcomputer gehen deutlich ins Gewicht, ohne dass Leichtbautechnik dies hätte kompensieren können. Sehr leichte Nanoverbundstoffe könnten teilweise Abhilfe schaffen. Die Daimler AG setzt unter anderem auf mit Schichtsilikaten und Kohlenstoffnanoröhrchen gefüllte Thermoplaste. Solche Kunststoffe sind sehr stabil, lassen sich aber unter Wärmezufuhr mit Hilfe des Spritzgussverfahrens in praktisch jede Form bringen. Die Fahrzeugbranche verwendet vor allem Polypropylen-Mischungen, die ihre Stärke im Karosseriebau allerdings erst entfalten, wenn sie mit Kohlenstoffnanoröhrchen gefüllt sind, winzigen maschendrahtartigen Rollen, die lediglich aus Kohlenstoffatomen bestehen. Geringes Gewicht und hohe Festigkeit bei gleichzeitig hoher Elastizität kombinieren sie sogar mit elektrischer Leitfähigkeit. Gerade Karosserieteile, die – wie Kühlergrill oder Heckklappe – auch schon durch kleinere Unfälle in Mitleidenschaft gezogen werden, eignen sich als Einsatzfeld, verlangen aber auch nach besonders kostengünstigen Lösungen.

Materialtuning ab Werk

Schichtsilikate wiederum, der zweite mögliche Zusatz zu den Thermoplasten, sind Verbindungen aus Silizium und einem Metall. Dieser »Nanoclay« dient der Feinjustierung der Verbundstoffeigenschaften. Gibt man große Mengen hinzu, verringert sich die thermische Längenausdehnung des Materials, so dass es unabhängiger von Temperatureinflüssen wird. Die Schlagzähigkeit – also die Krafteinwirkung, die ein Material aushält, ohne zu brechen – bleibt dabei unverändert. Soll sie erhöht werden, setzt man einfach weniger Nanoclay ein. Ähnliche Eigenschaften könnte der Thermoplast zwar auch durch andere Füllstoffe gewinnen, seine Masse stiege dadurch aber um bis zu 30 Gewichtsprozent.

Neben offensichtlichen Aspekten der Stabilität und des Kollisionsverhaltens der Fahrzeuge sind beim Einsatz neuer Materialien aber weitere Fragen zu klären: Bleiben ihre Eigenschaften auch bei eisigen Temperaturen stabil? Stimmt die Optik lackierter Thermoplastbauteile mit der von Stahlelementen



Nie wieder blenden lassen: Rückspiegel mit elektrochromer Oberfläche, gesteuert durch lichtempfindliche Fotozellen, dunkeln ab, wenn das Scheinwerferlicht nachfolgender Fahrzeuge auf sie fällt.

überein? Bisher nämlich konnten Autohersteller nicht alle Karosserieteile auf ihren Fertigungsstraßen lackieren, weil Kunststoffe die dort übliche kathodische Tauchlackierung bei über 200 Grad Celsius nicht unverändert überstehen. Erst Verbundstoffe mit Nanopartikeln sind ausreichend hitzestabil.

Stahl wiederum gehört aber selbst im Leichtbau noch nicht zum alten Eisen, behauptet etwa der Saarbrücker Materialspezialist Nano-X. Er macht den Werkstoff zumindest für die nähere Zukunft fit. Stahl erreicht besonders hohe Härten, wenn er zunächst erhitzt und dann in einer kalten Presse in Form gebracht wird. Das führt jedoch zu einer Verzunderung, einer Oxidation an der Stahloberfläche, bei der grauer Staub entsteht, der die Stahloberfläche schädigt. Zudem müsste die Presse nach jedem Durchgang gereinigt werden. Vor Verzunderung schützt zwar eine üblicherweise auf den Stahl aufgetragene 25 Mikrometer dicke Legierung aus Aluminium und Silizium. Sie versagt jedoch beim zweistufigen indirekten Formhärten, das man für die Herstellung komplexerer Formen einsetzt. Bei diesem Verfahren wird der Stahl zunächst kalt in Form gepresst, dann erhitzt und abschließend in der kalten Pressform gehärtet. Die Schutzlegierung indessen wird bereits bei der Kaltfor-

mung rissig. Abhilfe schafft Nano-X durch ein anorganisch-organisches Bindemittel, in das mikrometergroße Aluminiumpartikel eingebettet werden. Direkt auf das Ausgangsmaterial aufgebracht, verhindert das die Verzunderung. Dann nämlich bildet sich beim Erhitzen des Stahls eine Schutzschicht aus Eisen, Aluminium, Silizium und Sauerstoff, die die Oxidation blockiert. So erhält der Stahl eine gleichförmige, unbeschädigte Oberfläche, und die Reinigung der Presse entfällt. Es scheint nur eine Frage der Zeit, bis diese oder vergleichbare Technologien auch in großem Maßstab verwendet werden.

In der Karosseriefertigung kommen zudem »schaltbare Klebstoffe« zum Einsatz. Sie enthalten zehn Nanometer große Eisenteilchen (Ferrite) mit einer im Verhältnis zu ihrem Volumen großen Oberfläche. Setzt man sie einem elektromagnetischen Feld aus, zum Beispiel Mikrowellen, absorbieren die Ferrite Energie und geben sie als Wärme ab. Sie beschleunigen also den Klebevorgang, indem sie die Berührungsflächen des Klebstoffs aufheizen, möglicherweise hitzeempfindliche Kunststoffe in benachbarten Materialbereichen aber unbeeinflusst lassen. Der Prozess ist sogar umkehrbar: Unter erneuter Bestrahlung lassen sich die Bauteile wieder voneinander trennen.



Wichtige Informationen wie die aktuelle Geschwindigkeit lassen sich mittlerweile in die Windschutzscheibe einspiegeln. Ihre Premiere hatte diese Technologie allerdings schon vor über zwei Jahrzehnten im Flugzeugbau. Nun aber sind solche Systeme auch für Autobesitzer erschwinglich.

Anzeige



Ihre Karriere in Lehre
und Forschung beginnt
bei academics.de



- » Größter Stellenmarkt für Lehre und Forschung im deutschsprachigen Raum
- » Personalisierter Job-Newsletter mit wöchentlich neuen Stellenangeboten
- » Informationen und Karriere-Blog für (Nachwuchs-)Wissenschaftler

Das Karriereportal der Wissenschaft von:

Forschung
& Lehre

DIE ZEIT

Verschleißschutz ist ein weiteres großes Thema für die Branche. Seit Jahrzehnten setzen Reifenhersteller Industrieruß (»Carbon Black«) als Gummizusatz ein. Nanostrukturierter Ruß erhöht dessen Vorteile noch, indem er die innere Reibung des Reifens und damit den Rollwiderstand weiter herabsetzt, gleichzeitig aber auch Dehnungsvibrationen vermindert und die Nässehaftung verbessert. Als besonders attraktiv erscheint den Herstel-

lern, den Motor vor Verschleiß zu schützen, denn das bedeutet Leistungssteigerung und Kraftstoffersparnis zugleich. 10 bis 15 Prozent der Energie im Kraftstoff fließen in die Motorreibung. Für ein Drittel dieser Verluste sorgen Kolbenringpaket und Zylinderlaufbahnen. Beschichtet man sie mit Nanoteilchen aus Eisenborid und Eisenkarbid, erhöht man ihre Gleitfähigkeit und damit die Lebensdauer. Höhere Härte etwa von Ventiltrieb und



INTERVIEW

Risiko Nanotechnologie?

René Zimmer ist Nanotechnologie-Koordinator beim Bundesinstitut für Risikobewertung. Im Gespräch mit Björn Lohmann berichtet er vom Stand der Risikoforschung in der Nanotechnologie.

Spektrum der Wissenschaft: Herr Zimmer, das Bundesinstitut für Risikobewertung befasst sich auch mit der Nanotechnologie in Verbraucherprodukten. Ist Nanotechnologie gefährlich?

René Zimmer: Um abzuschätzen, ob von ihr spezifische gesundheitliche Risiken ausgehen, ist es wichtig zu wissen, ob die eingesetzten Nanomaterialien in einer Matrix gebunden oder ungebunden in Verbraucherprodukten vorliegen. Insbesondere freie Nanopartikel, Nanoröhrchen oder Nanofasern könnten durch ihre geringe Größe, ihre Form, ihre hohe Mobilität und höhere Reaktivität gesundheitliche Risiken hervorrufen. Die größten Risiken sehen Wissenschaftler in der Einatmung von Nanopartikeln. Das Eindringen von Nanopartikeln durch die menschliche Haut kann nach derzeitigem Stand des Wissens weitgehend ausgeschlossen werden. Ob es Risiken durch die Aufnahme von Nanopartikeln über den Magen-Darm-Trakt gibt, ist bislang nicht bekannt.

Spektrum: In den Endanwendungen liegen die Nanoteilchen meist gebunden vor, nicht so während der Verarbeitung. Sind Menschen, die mit Nanoteilchen arbeiten, besonderen Risiken ausgesetzt?

Zimmer: Nach derzeitigem Kenntnisstand kann nicht ausgeschlossen werden, dass die Inhalation von Nanopartikeln zu Gefährdungen führen kann. Nach den Bestimmungen des Arbeitsschutzgesetzes und der Gefahrstoffverordnung ist der Arbeitgeber aber verpflichtet, Maßnahmen zur Expositionsminderung zu ergreifen. Staubförmige Nanomaterialien müssen also in flüssigen oder festen Medien gebunden sein und alle Arbeiten möglichst in geschlossenen Apparaturen durchgeführt werden.

Spektrum: Wo kommt der Verbraucher mit Nanoteilchen in Kontakt?

Zimmer: Mittlerweile enthält eine ganze Reihe an Produkten Bestandteile, die mit nanotechnologischen Verfahren herge-

stellt wurden. So wird zum Beispiel die Krawatte Schmutz abweisend, und Sonnencremes schützen besser vor UV-Licht. Und der Markt für Nanoprodukte wächst rasant. Eine Datenbank des US-amerikanischen Woodrow Wilson International Center listet derzeit etwa 600 Nanoprodukte auf.

Spektrum: Im Fall von Beschichtungen und Versiegelungen, wie sie bei Autos zum Einsatz kommen, sind die Nanoteilchen mit chemischen Gerüsten vernetzt. Was geschieht, wenn sie in die Umwelt gelangen?

Zimmer: Solange Nanopartikel fest in eine Matrix oder eine Suspension eingebunden sind, muss sich der Verbraucher keine Sorgen machen. Und tatsächlich sind die Bruchstücke, die sich aus Nanobeschichtungen lösen könnten, in der Regel mikrometergroß. Toxische Wirkungen von Nanopartikeln, die auf ihrer geringen Größe und höheren Reaktivität beruhen, sind dann nicht mehr zu erwarten.

Spektrum: Vor zwölf Jahren kamen gentechnisch veränderte Pflanzen auf den Markt, die Risikodebatte folgte erst später und mit ihr ein Aufschrei der Bevölkerung. Auch die Nanotechnologie ist mit wenig Begleitdiskussion in den Alltag vorgedrungen. Bleibt das so?

Zimmer: Trotz der Risikodebatte, die derzeit intensiv auf Expertenebene geführt wird, nimmt die deutsche Bevölkerung die Nanotechnologie ganz überwiegend positiv wahr. Das bestätigen uns sowohl die Verbraucherkonferenz zur Nanotechnologie als auch eine jüngst von uns durchgeführte Bevölkerungsbefragung. Dies kann damit zusammenhängen, dass die Nanotechnologie, anders als die Gentechnik, dem Anwender schon in der ersten Produktgeneration Vorteile bietet. Weniger putzen zu müssen, überzeugt viele Menschen. Allerdings, auch das zeigt die Umfrage, hängt die Akzeptanz stark vom Anwendungsbereich ab. Während Nanotextilien als unproblematisch angesehen werden, würde kaum ein Verbraucher Nanolebensmittel kaufen.

Kurbelwellenlager könnten den Abrieb ebenfalls vermindern und gleichzeitig leichtere Bauteile ermöglichen.

Extreme Belastungen erfahren auch die Gelenklagerschalen des Fahrgestells. Der übliche Werkstoff, der Thermoplast Polyoxymethylen, gerät dabei an seine Grenzen. Kombiniert man aber globulare und faserartige Nanopartikel zu einem Verbundstoff, wie dies bei Daimler seit Kurzem geschieht, senkt dieser die Reibung in den Gelenkschalen um bis zu 50 Prozent und verdoppelt so ihre Lebensdauer. Titanoxid bildet dabei den Grundstoff für die globularen Teilchen, während Kohlenstoffnanoröhren als Fasern dienen.

Demnächst ganz ohne Katalysator?

Für Materialeinsparungen, umweltfreundlichere Werkstoffe und Verbrauchsreduzierungen interessiert sich die Industrie vor allem aus Kostengründen, ob sie nun direkt zu Einsparungen in der Fertigung oder mittelbar zu höherer Akzeptanz bei den Kunden führen. Dass sie die Umwelt schonen, ist immerhin ein angenehmer Nebeneffekt. Am deutlichsten ist dieser allerdings bei der Abgasreinigung in Dieselfahrzeugen, deren Feinstaubausstoß weiterhin ein Problem bleibt. Sintermetallfilter lassen Ruß- und Feinstpartikel zwar nahezu vollständig aus dem Abgas verschwinden, ebenso 90 Prozent des Stickoxids. Die Langlebigkeit der Filter ist aber durch Korrosion gefährdet. Beschichtet man sie hingegen mit Nanoteilchen aus Aluminiumoxid – in einer möglichst dünnen Schicht, so dass die Poren des Sintermetalls nicht verengen und der Filter an Leistung einbüßt –, gelangt kein Sauerstoff mehr ans Metall.

Doch vielleicht sind die Sintermetalle sogar vollständig ersetzbar. Denn das günstige Verhältnis zwischen Oberfläche und Volumen macht Nanoteilchen auch zu besseren Katalysatoren. In vielleicht 15 bis 20 Jahren könnten Nanoteilchen die heute bei der Abgasreinigung üblichen Schwermetalle ersetzen. Neuere Studien belegen, dass nanostrukturiertes Glas oder Aluminiumoxid, gefüllt mit Kalium, ähnlich gut wirkt wie Platin. Ungelöst ist jedoch die Frage, wie sich diese Partikel an eine feste Matrix binden lassen. Noch faszinierender ist allerdings der Gedanke, Katalysatoren würden durch eine bessere innermotorische Verbrennung von Schadstoffen völlig überflüssig. Nanodüsen, die für eine optimierte Einspritzung des Kraftstoffs sorgen (und so gleichzeitig den Verbrauch senken), könnten dabei helfen.

Nanotechnologie verbessert aber auch Brennstoffzellen, die einige Experten weiterhin als Kraftstofftanks der Zukunft betrachten. Denn

deren Metallelektroden lassen sich mittlerweile durch Kohlenstoffnanoröhren mit viel größerer Reaktionsfläche ersetzen. Auch den Protonenaustausch in der Zellmitte übernimmt ein durch ein Nanonetz aus Silizium und Stickstoff stabilisierter Nanoverbundstoff. Gegenüber konventionellen Produkten lässt sich die Dicke dieser Austauschmembran so auf ein Zehntel reduzieren und damit der elektrische Widerstand verringern.

Der nächste größere Umbruch, den uns die Nanotechnologie vielleicht beschert, könnte indessen von der Leuchttechnik ausgehen. Mitte 2008 berichtete Timothy Sands vom Birk Nanotechnology Center der US-amerikanischen Purdue University im Fachjournal »Applied Physics Letters« über ein neues Verfahren zur Herstellung weißer Leuchtdioden (LEDs). Legt man Strom an solche Halbleiterelemente an, werden sie zum Leuchten angeregt. Weißes Licht entlockt man ihnen üblicherweise aber nur, wenn man zunächst Galliumnitrid auf eine teure Saphirgrundlage aufdampft. Dem Nanoforscher gelang es nun, Saphir durch billiges Silizium zu ersetzen und so die Basis für die Massenproduktion zu legen. Damit ist möglicherweise der Weg offen, den Preis dieser leuchtkräftigen und sparsamen Lichtquellen – schon jetzt wandeln sie bis zu über 60 Prozent der Elektrizität in Licht um und könnten bis zu 15 Jahre halten – auf ein Zwanzigstel zu senken und konkurrenzfähig zu machen.

Auf die Realisierung manch anderer Ideen werden wir hingegen noch lange warten müssen. »Buckypaper«, eine extrem dünne Folie aus Kohlenstoffnanoröhrchen, wiegt im Vergleich zu Stahl nur ein Zehntel, ist aber – wenn man es zu einem Kompositmaterial stapelt – bis zu 500-mal stärker. Prinzipiell könnte es also im Karosseriebau Verwendung finden, dürfte aber angesichts der Kosten wohl eher im Kleinen eingesetzt werden, zum Beispiel in Motorelementen, in denen große Drehmomente durch kleine Bauteile übertragen werden müssen und zudem Temperaturstabilität gefragt ist.

Wer sein Fahrzeug gerne mit zahlreichen nanotechnologischen Innovationen ausgerüstet sähe, wird aber ohnehin Geduld aufbringen müssen. Viele Neuerungen sind noch nicht ausgereift, andere zu teuer. Viel wahrscheinlicher als eine technische Revolution ist daher das stetige und allmähliche Vordringen der Nanotechnologie im Auto. Mittel- und langfristig jedoch, so viel dürfte feststehen, wird praktisch jeder Bestandteil unserer Autos optimiert werden – dank winziger Veränderungen in der Größenordnung von milliardstel Metern. ◀



VOLKSWAGEN/AUDI DESIGN CENTER CALIFORNIA

So weit denken nur Marketingstrategen: Die Volkswagen-Studie »nanospyder« soll vollständig aus zahllosen sensor-gesteuerten Nanomaschinen aufgebaut sein. Diese würden auf bevorstehende Unfälle reagieren, indem sie ihre Verbindungen untereinander systematisch lockern oder stärken, um den Insassen größtmöglichen Schutz zu gewähren.



Björn Lohmann ist freier Wissenschaftsjournalist in Stuttgart.

André, G. et al. (Hg.): nano. Chancen und Risiken aktueller Technologien. Springer, Heidelberg 2007.

Boeing, N.: »Alles Nano?! Die Technik des 21. Jahrhunderts«. Rowohlt, Reinbek 2006.

»Leitinnovation NanoMobil« des Bundesforschungsministeriums: <http://www.bmbf.de/de/1846.php>

Weitere Weblinks zu diesem Thema finden Sie unter www.spektrum.de/artikel/977242.