

5.1 Automobilindustrie

Die Automobilindustrie gilt als der Motor der deutschen Volkswirtschaft schlechthin. Im Jahr 2001 wurden dort mehr als 17 % des industriellen Gesamtumsatzes erzielt, und jeder achte in der Industrie Beschäftigte arbeitete in diesem Bereich. Außerdem entfiel 2001 ein Fünftel der gesamten Industrieinvestitionen in Deutschland auf die Automobilbranche. Auch im internationalen Rahmen ist eine steigende Bedeutung des Automobils festzustellen.

Hinzu kommt, dass die Automobilindustrie eine „High-Tech-orientierte“ Branche ist, die Spitzentechnologien relativ schnell auch einem breiten Kundenkreis zugänglich macht und, um wirtschaftlich bestehen zu können, machen muss. Daraus erklärt sich, dass gerade hier dem Bereich Forschung und Entwicklung besondere Anstrengungen gelten. Diese sind Voraussetzung sowohl für den Erfolg am Markt als auch dafür, die wachsenden sicherheitstechnischen, umweltpolitischen und wirtschaftlichen Anforderungen an das Automobil zu erfüllen. Mit über 14 Mrd. Euro erreichten die FuE-Aufwendungen der deutschen Automobilindustrie im Jahr 2001 knapp ein Drittel der gesamten FuE-Aufwendungen der deutschen Wirtschaft. Auf dieser Basis zählt die Automobilbranche zu den innovativsten Industriezweigen in Deutschland. Ein Indiz dafür ist auch die hohe Zahl von ungefähr 3.000 Patenten, die aus dem Automobilsektor pro Jahr angemeldet werden. Damit liegt Deutschland im Bereich von etwa einem Drittel aller weltweiten Patente auf diesem Sektor und nach wie vor deutlich vor allen anderen Staaten der Welt (VDA 2002).

Diese Dominanz sowohl in wirtschaftlicher und gesellschaftlicher als auch in technischer Hinsicht macht das Automobil zu einem besonders interessanten Untersuchungsobjekt im Hinblick auf die Entwicklung und Durchsetzung einer neuen Hochtechnologie wie der Nanotechnik.

Heute reicht das Spektrum nanotechnologischer Innovationsbemühungen im Automobilbau von bereits eingesetzten Komponenten oder Teilsystemen (z.B. reflexionsfreie Instrumentenbeschichtungen) über konkrete Entwicklungsaktivitäten (z.B. beschlagfreie Scheiben) bis hin zu visionären Produktideen mit einer allenfalls langfristigen Realisierbarkeit (z.B. selbstgestaltende Karosserien). Insgesamt erhofft man sich von der Nanotechno-

logie Verbesserungen im Hinblick auf alle für die weitere Entwicklung des Automobils relevanten Kriterien, von der Ökologie über die Sicherheit bis hin zum Komfort. Dabei ist teilweise bereits kurz- oder mittelfristig mit Fortschritten zu rechnen.

Zum Teil sind damit grundlegende neue Entwicklungen mit weit reichenden Auswirkungen auf das Produkt verbunden, zum Teil handelt es sich um Weiterentwicklungen in Teilbereichen, die, wenn überhaupt, nur zu marginalen Änderungen im Nutzwert des Automobils führen werden. Eine Bewertung der sich bietenden Möglichkeiten aus übergeordneter Sicht führt zu dem Ergebnis, dass nanotechnologische Kompetenz im Automobilbau der Zukunft zu den Kernfähigkeiten gehören wird, die zum Erhalt der internationalen Wettbewerbsfähigkeit unbedingt erforderlich sind.

In der Diskussion um die erforderlichen Beiträge des Verkehrssystems zu einer nachhaltigen Entwicklung spielen ökologische Aspekte eine grundlegende Rolle, gerade auch mit Blick auf die im internationalen Maßstab zu erwartende wesentliche Steigerung der Verkehrsdichte und die damit verbundene Verschärfung der Probleme des Schadstoffausstoßes. Es zeigt sich, dass es bezüglich aller für den Kraftstoffverbrauch relevanten Kriterien Verbesserungspotenziale durch innovative nanotechnologische Entwicklungen gibt.

Gestützt werden die nanotechnologischen Entwicklungen im Automobilbau durch die ausgeprägte Querschnittlichkeit sowohl der Technik selbst als auch des Anwendungsgebietes. Auf nanostrukturierten Materialien basierende Entwicklungen gibt es z.B. auch im Maschinenbau, in der Chemie, der Elektronik oder der Energietechnik. Alle diese Technikfelder wiederum finden sich im Automobilbau wieder. Damit verbunden ist die Erwartung ausgeprägter Spin-off-Effekte, insbesondere auch von der „Lead-Industrie“ Automobilbau in andere Branchen hinein.

Insgesamt gibt es eine Vielzahl von Einzelvorschlägen zur Realisierung technischer Innovationen im Automobilbau auf der Grundlage nanotechnologiebasierter neuer Materialien. Die tiefer gehende inhaltliche Beschäftigung mit diesem Thema bedarf einer sinnvollen Einteilung des Gesamtgebietes. Hier bietet sich zunächst eine tabellarische Sortierung nach Einsatzmöglichkeiten in einzelnen Komponentengruppen oder Subsystemen des Automobils an (Abschnitt 5.1.1). Für die detaillierte Beschreibung ist eine Zusammenfassung der Einzeltechnologien zu bestimmten Anwendungsschwerpunkten sinnvoll (Abschnitt 5.1.2 bis 5.1.4).

5.1.4 Nanobasierte funktionale Schichten auf kundenrelevanten Flächen

Die für den Nutzer offensichtlichsten Einsatzmöglichkeiten für Nanotechnologien liegen im Bereich der direkt wahrnehmbaren Oberflächen des Autos, von der Lackierung über die Verschiebung bis hin zum Cockpit. Hier gibt es eine Vielzahl von Ideen und zum Teil bereits verwirklichten Anwendungen.

Eine bereits seit längerem praktizierte Standardanwendung sind Scheinwerferreflektorbeschichtungen. Sowohl die hauchdünne Barrieregrundierung des Reflektors als auch die aufgedampfte Aluminium-Reflexionschicht und die Korrosionsschutzoberfläche sind nur einige Nanometer dick. Die wesentlichen Vorteile gegenüber konventionellen Beschichtungen liegen in einem höheren Reflexionsgrad und damit einer höheren Lichtbrillanz sowie in einer längeren Haltbarkeit (Rügheimer/Schiller 2002).

Auch im Bereich von Wärmeschutzverglasungen und beheizbaren Frontscheiben gibt es bereits Lösungen auf der Grundlage der Nanotechnologie. Sie basieren auf der Nutzung nanoskaliger Multilayer-Interferenzbeschichtungen. Eine gleichzeitige Realisierung beider Effekte, also Wärmeschutz und Beheizbarkeit, gelingt durch das Aufbringen einer ultradünnen Beschichtung auf Silberbasis auf die Innenseite der äußeren Verbundglasscheibe. Diese reflektiert die einfallende Wärmestrahlung und gestattet gleichzeitig auf Grund ihrer elektrischen Leitfähigkeit eine flächige Beheizung der Scheibe ohne störende Heizdrähte. Vorteile sind eine verbesserte Sicht durch beschlag- und eisfreie Scheiben sowie ein erhöhter Klimakomfort für die Fahrzeuginsassen (Langenfeld 2002; Rügheimer/Schiller 2002).

Eine ebenfalls bereits realisierte Anwendung ist der Einsatz von Anti-reflexionsbeschichtungen auf Abdeckscheiben im Displaybereich. In der Photoindustrie dienen ähnliche Systeme bereits seit Jahrzehnten zur Herstellung vergüteter Optiken. Allerdings waren für diese Anwendung immer vakuumgestützte Verfahren erforderlich. Dabei kann die Fertigung nur in kleinen Chargen in Bedampfungsanlagen stattfinden und ist relativ teuer. Für einfachere Anwendungen wie die Entspiegelung von Instrumentenabdeckungen im Automobil sind derartige Beschichtungsprozesse zu aufwändig. Deshalb ist hier viele Jahre lang nach Alternativen gesucht worden. Eine Lösung wird heute von der Firma Schott angeboten. Dabei kommen beidseitig im Tauchverfahren aufgebrauchte interferenzoptische Sol-Gel-Schichten zum Einsatz. Diese haben Dicken im Nanometerbereich und bestehen im Wesentlichen aus Siliziumdioxid und Titandioxid. Sie können die Reflexion einer Scheibe von 8 % auf 1 % verringern.

Es besteht ein großes Interesse daran, diese oder eine ähnliche Technologie auch für die Verringerung der Reflexionen an der Windschutzscheibe anzuwenden. Sollte dies gelingen, hätte man wesentlich größere Freiheiten beim Design und vor allem bei der Farbgestaltung des Innenraumes. Selbst ein ausgesprochen helles Armaturenbrett würde dann nicht mehr zu störenden Blendwirkungen an der Frontscheibe führen. Allerdings gibt es hier immer noch grundsätzliche Schwierigkeiten mit der Haltbarkeit der Schichten insbesondere an der Außenseite der Scheibe (Hedderich 2001; Langenfeld 2002; Rügheimer/ Schiller 2002).

Ein weiteres interessantes Feld für Nanotechnologien sind elektrochrome Beschichtungen. Bereits verwirklicht sind derartige Systeme bei automatisch abblendenden Rückspiegeln. Sie basieren auf einem aufgedampften Schichtsystem aus Lithium, Cer und Wolframtrioxid. Eine sich ändernde Intensität des auftreffenden Lichtes wird über zwei Photozellen erfasst. Diese veranlassen eine Änderung der an das Schichtsystem angelegten elektrischen Spannung und damit eine Diffusion von Lithiumionen in die Wolframtrioxid-Schicht hinein oder aus ihr heraus. Eine dort ablaufende reversible chemische Reaktion bewirkt, dass der Spiegel abgedunkelt oder aufgehellt wird. Als besonderer Vorteil dieser Technologie ergibt sich eine Erhöhung der Fahrsicherheit auf Grund der stufenlosen und dabei automatisch, also ohne Ablenkung des Fahrers, ablaufenden Unterdrückung der störenden Blendreflexe.

Auch bei diesem Effekt ist man an einer Übertragung auf die Verschiebung des Fahrzeugs interessiert. Hier verspricht man sich davon eine Reduzierung der Sonneneinstrahlung und damit eine Verringerung der Innenraumerwärmung sowie einen je nach Fahrsituation anpassbaren allgemeinen Blend- und Sichtschutz. Probleme bei der weiteren Entwicklung dieser Technologie gibt es derzeit jedoch noch mit den zu langen Schaltzeiten des Systems, mit dem zu geringen erreichbaren „Hub“, also dem Unterschied zwischen „ganz hell“ und „ganz dunkel“, sowie mit den zu hohen Kosten (Elektronik 2002; Langenfeld 2002; Rügheimer/Schiller 2002).

Wesentlichen Einfluss auf Fahrsicherheit und Komfort haben die Benetzungseigenschaften der Fahrzeugoberflächen gegenüber den allgegenwärtigen Wassermolekülen. Hydrophil beschichtete Oberflächen können für die Herstellung beschlagfreier Scheiben genutzt werden, die von Wasser ohne Tropfenbildung großflächig benetzt werden.

Die hydrophilen Eigenschaften entstehen hier durch Aufbringen einer chemisch modifizierten, einseitig polaren Nanoschicht. Dazu nutzt man eine gezielte Anbindung bzw. Einlagerung von Tensiden bzw. Hydroxyl-Gruppen in den oberflächennahen Bereich des Beschichtungswerkstoffes. Anwendungsmöglichkeiten werden in der Beschichtung der Scheiben-Innenseiten, der Außenspiegel oder der Scheinwerferabdeckscheiben gese-

hen. Neben der Steigerung des Komforts verspricht man sich dadurch eine wesentliche Verbesserung der Fahrsicherheit auf Grund der freien Sicht bzw. der besseren Ausleuchtung der Straße.

Im Bereich der beschlagfreien Scheiben gibt es eine Reihe von Entwicklungsaktivitäten und prototypischen Anwendungen. Eine Serienproduktion ist aber noch nicht in Sicht. Neben den hohen Kosten gibt es Probleme mit den Schichtdicken, die auf Grund des Entstehens optischer Interferenzfarben optimiert werden müssen. Außerdem verfügen derzeit herstellbare Schichten über zu geringe Abriebfestigkeiten und Härten. Auch andere Fragen der Langzeitwirksamkeit sind noch zu klären. Am ehesten ist wohl mit der Einsetzbarkeit auf den Innenseiten der Scheinwerferabdeckscheiben zu rechnen, da hier die mechanische Belastung der Oberfläche relativ gering ist (Langenfeld 2002; Langenfeld et al. 2001; Rügheimer/Schiller 2002).

Als Anwendung wasser- bzw. schmutzabweisender Beschichtungen im Automobilbau wird an eine hydrophobe Beschichtung der Außenspiegel oder der Außenseite der Windschutzscheibe gedacht, wo man möglicherweise ganz auf den Scheibenwischer verzichten und damit zu einer weiteren Gewichts- und Bauraumreduzierung beitragen möchte. Ob man jedoch auf den Scheibenwischer wirklich verzichten kann, ist zumindest umstritten. Probleme gibt es hier insbesondere bei höheren Geschwindigkeiten, bei Sprühregen oder bei nassem Schnee.

Außerdem gibt es Überlegungen, auch die Lackoberflächen oder die Radfelgen hydrophob zu machen, umso durch Verringerung des Reinigungsaufwandes eine Komfortsteigerung zu erreichen.

Für die Herstellung hydrophober Beschichtungen stehen zahlreiche Prozesstechniken zur Verfügung. Sie können z.B. durch Einreibe- oder Sprühverfahren appliziert werden. Von grundsätzlicher Bedeutung ist dabei die Erzeugung einseitig unpolarer Nanoschichten, die insbesondere durch fluorierte organische Verbindungen gebildet werden können. Solche Schichten sind heute hinsichtlich ihrer wasserabweisenden Eigenschaften erfolgreich getestet. Trotzdem ist vor einem verbreiteten Einsatz im Automobilbau noch eine Vielzahl von Fragen zu lösen. Die Probleme liegen ähnlich wie bei den hydrophilen Systemen, also insbesondere bei den Kosten sowie bei den mangelhaften mechanischen Eigenschaften und der Langzeitwirksamkeit. Auch die angedachte Fähigkeit zur Selbstausheilung bzw. Regeneration im Beschädigungsfall ist noch weit von einer technischen Realisierung entfernt.

Abhängig vom Wetter oder der konkreten Fahrsituation könnte es hilfreich sein, entweder eine hydrophile oder eine hydrophobe Oberfläche, z.B. auf der Windschutzscheibe, zu haben. Damit ist die Frage nach entsprechend schaltbaren Oberflächensystemen angesprochen. Für deren Realisie-

zung gibt es heute aber nur erste Ansätze bzw. Ideen. Ihre Erforschung befindet sich noch in einer sehr frühen Phase (Langenfeld et al. 2001).

Das gezielte Einstellen der Benetzungseigenschaften ist auch für sämtliche im Innenraum des Fahrzeugs eingesetzten textilen Oberflächen von großem Interesse. Hier können nanostrukturierte Textilien den Klimakomfort verbessern, indem sie z.B. einen verbesserten Feuchtigkeitstransport vom Körper der Insassen weg ermöglichen. Auch eine verringerte Anschmutzbarkeit bzw. eine leichtere Schmutzlösbarkeit sind erreichbar. Hydrophobe nanostrukturierte Oberflächen spielen außerdem eine Rolle im Zusammenhang mit der Entwicklung antibakteriell wirksamer Wärmetauscher in Klimaanlageanlagen (König et al. 2001).

Von besonderer Bedeutung für den Markterfolg eines Automobils ist seine äußere Erscheinung. Diese wird auch durch die Farbgebung, also die Lackierung, beeinflusst. Von Bedeutung für den Lackiervorgang könnte hier die Verbesserung der elektrostatischen Eigenschaften des flüssigen Lacks durch Zugabe geladener Kohlenstoff-Nanoröhren werden. Darüber hinaus eröffnet die Nanotechnologie gerade für die fertige Lackierung vielfältige Möglichkeiten zur Erzeugung verschiedener, auch ganz neuartiger Farbeffekte. Diese werden im Wesentlichen dadurch möglich, dass auch die Wellenlänge des Lichtes im Bereich von einigen hundert Nanometern liegt.

Im Vordergrund steht die Herstellung von Effektpigmenten. Diese bestehen aus kleinen Glimmerplättchen, die natürlich gewonnen und mechanisch aufbereitet werden. Inzwischen werden jedoch auch synthetisch hergestellte Plättchen aus Silizium- oder Aluminiumoxid verwendet. Diese werden mit dünnen, nur wenige nanometerdicken Schichten aus Metalloxiden, beispielsweise aus Titan- oder Eisenoxid, beschichtet. Mit Hilfe dieser Pigmente erhält man einen Perlglanzeffekt.

Dieser Effekt entsteht durch das Zusammenwirken von drei unterschiedlichen Wechselwirkungen des Lichtes mit den Pigmentoberflächen. Ein Teil des Lichtes wird direkt an der glatten Oberfläche des Pigments reflektiert, ein anderer Teil an den Phasengrenzen der plättchenförmigen Partikel vielfach reflektiert, so dass man einen Effekt der Tiefe erhält. Außerdem treten Interferenzen auf, wie sie an dünnen Schichten, deren Dicke im Bereich der Wellenlänge des sichtbaren Lichtes liegt, allgemein beobachtet werden. Diese geben der Farbe eine leicht opalisierende Wirkung. Mit Titanoxid beschichtete Glimmerplättchen, deren Farben durch die Dicke der Titanoxidschicht bestimmt werden, sind schon seit 30 Jahren im Einsatz.

Zur weiteren Erhöhung der Produktattraktivität ist es möglich, durch Einbringen so genannter Nanowhisker in den Lack richtungsabhängige Farbeffekte zu erzeugen. Außerdem denkt man daran, Automobillacke mit schaltbaren Farben zu entwickeln. Auch hier könnte die Nanotechnologie einen entscheidenden Beitrag liefern. Allerdings steht man dabei noch am

Anfang der Überlegungen. Das Gleiche gilt für die Entwicklung selbstausheilender Lacke, die Kratzer oder Beschädigungen der Korrosionsschutzschicht selbstständig beseitigen sollen. Dabei könnten so genannte selbstorganisierende Nanostrukturen eine Rolle spielen, die Störungen des Systems gezielt durch Reorganisation beheben können (Hilarius 2002; König et al. 2001; Langenfeld 2002; Laser Magazin 3/2002; MINATECH Information Day 2001).

Erste prototypische Anwendungen gibt es dagegen bereits mit superkratzfesten Lacken, die vom Institut für Neue Materialien in Saarbrücken entwickelt worden sind. Diese basieren auf dem Einbringen von nanoskalierten Keramikpartikeln und haben nahezu die Kratzfestigkeit von mineralischem Glas. Außerdem lassen sie sich mit den üblichen Lackierverfahren verarbeiten. Ähnliche Entwicklungen der Firma Degussa basieren auf dem Zusatz nanoskaliger Kieselsäuren zum Lack (Bild der Wissenschaft 9/2002; Degussa o.J.)