



Bundesministerium
für Bildung
und Forschung



Branchendialog „NanoEngineering“

Nanotechnologie und Neue Materialien im
Maschinen- und Anlagenbau

8. Dezember 2009 in Düsseldorf



HIGHTECH-STRATEGIE

Ideen zünden!

Programm

10:00 - 10:15

Begrüßung und Einführung - Nanotechnologie- und Produktionsforschung des BMBF

MinR Dr. Rainer Jansen, BMBF, Unterabteilung Schlüsseltechnologien – Produktionsforschung

Übersichtsvorträge:

10:15 - 10:30

Werkstoffdesign auf der Nanoskala - Basis für Querschnittsinnovationen im Maschinenbau

Dr. Wolfgang Luther, VDI TZ Düsseldorf

10:30 - 10:45

Produktionsstandort Deutschland - Was kann Produktionsforschung leisten?

Prof. Dr.-Ing. Eberhard Abele, Technische Universität Darmstadt

10:45 - 11:00

Forschen für die Produktion von morgen - Energie- und Ressourceneffizienz in der Produktionstechnik

Prof. Dr.-Ing. Rafael Wertheim, FhG IWU, Chemnitz

11:00 - 11:20

„nano for production“ - Von der Nanotechnologie-Forschung in die Maschinenbau-Praxis

Dr. Andreas Leson, Fraunhofer IWS, Dresden

11:20 - 11:40 Kaffeepause

Nanobasierte Werkstoffentwicklungen für Anwendungen im Maschinen- und Anlagenbau

11:40 - 12:00

Nanotechnische Füllstoffe und nanooptimierte Kautschuke/Kunststoffe für die Transportbandindustrie

Prof. Dr.-Ing. Ludger Overmeyer, ITA, Universität Hannover

12:00 - 12:20

Nanokomposit-Elastomere für hochbelastete Maschinenbauteile

Dr. Judith Haller, Freudenberg Forschungsdienste

12:20 - 12:40

Nanotechnologien in der Entwicklung keramischer Massivwerkstoffe und Schichten

Prof. Dr. Rainer Gadow, IFKB Universität Stuttgart

12:40 - 13:00

Kurzzeitsintern als wirtschaftliches Verfahren zur Herstellung von massiven metallischen Bauteilen mit ultrafeinen Gefügen

Dr. Jürgen Schmidt, Fraunhofer IFAM, Dresden

13:00 - 14:00 Mittagessen

Nanooptimierte Oberflächen für Anwendungen im Maschinen- und Anlagenbau

14:00 - 14:20

Neue Materialien und Wirkprinzipien für Transportoberflächen im Druckmaschinenbau

Dr. Wolfram Kolbe, Heidelberger Druckmaschinen AG

14:20 - 14:40

Sol-Gel basierte Nanobeschichtungen - Praxisbeispiele aus dem Maschinen- und Anlagenbau

Andreas Weis, Bereichsleiter Automobil & Maschinenbau der Nanogate AG

14:40- 15:00

Nanopartikelverstärkte Gleitlackssysteme für Verschleißschutzanwendungen in tribologisch hochbelasteten Anwendungen

Dr. Matthias Koch, Merck KGaA/ Rudolf Zechel, Klüber Lubrication, München KG

15:00 - 15:20

Nanokristalline Diamant-Schichtsysteme für neue Werkzeuggenerationen und Mikrosysteme

Dr. Andre Floeter, GFD Gesellschaft für Diamantprodukte mbH

15:20 - 15:40 Kaffeepause

15:40 - 16:00

Zerspanwerkzeuge aus nanoskaligen Materialien und superharten Schichten zur Trocken-, Hart- und Gussbearbeitung

Dr. Werner Kölker, CemeCon AG

16:00 - 16:20

Nanotechnologie im Korrosionsschutz

Thomas John-Schillings, Henkel KGaA Düsseldorf

16:20 - 17:15 Podiumsdiskussion:

Mit Nano-Innovationen neue Märkte sichern - Umsetzungsstrategien und Hemmnisse im Maschinenbau

Moderation: Rudolf Schulze, Chefredakteur VDI Nachrichten

Teilnehmer:

- MinR Dr. Rainer Jansen, BMBF, Bundesministerium für Bildung und Forschung, Unterabteilungsleiter Schlüsseltechnologien – Produktionsforschung
- Dipl.-Wirtsch. Ing. Hans-Jürgen Alt, Geschäftsführer VDMA NRW/ Clustermanager ProduktionNRW
- Dipl.-Ing. Harald Cremer, Clustermanager „NanoMikro+Werkstoffe.NRW“
- Wolf-Michael Catenhusen, Vorsitzender der Nanokommission der Bundesregierung
- Dr. Andreas Leson, Fraunhofer Institut für Werkstoff- und Strahltechnik, Dresden
- Andreas Weis, Leiter Geschäftsbereich Automotive/Maschinenbau, Nanogate AG

17:15 Ende der Veranstaltung

Begrüßung und Einführung – Nanotechnologie- und Produktionsforschung des BMBF

MinR Dr. Rainer Jansen

BMBF, Bundesministerium für Bildung und Forschung,
Unterabteilungsleiter Schlüsseltechnologien – Produktionsforschung



Übersichtsvorträge

Werkstoffdesign auf der Nanoskala – Basis für Querschnittsinnovationen im Maschinenbau

Dr. Wolfgang Luther

Zukünftige Technologien Consulting
VDI Technologiezentrum GmbH, Düsseldorf



Abstract:

Weltweit werden erhebliche Finanzmittel in die Nanotechnologie investiert - nach einer Studie von Lux Research mehr als 12 Mrd. US-\$ pro Jahr, wovon über die Hälfte aus der Privatwirtschaft stammen. In Deutschland befassen sich derzeit rund 750 Unternehmen in unterschiedlichen Stufen der Wertschöpfungskette mit der Herstellung und Vermarktung nanotechnologischer Produkte, davon ca. 600 KMU. Die Gesamtzahl der derzeit im Bereich der Nanotechnologie Beschäftigten in Deutschland wird auf rund 63.000 geschätzt.

Nanotechnologie bieten als Querschnittstechnologie auf breiter Basis die Möglichkeit für Werkstoffoptimierungen und neue Anwendungen im Maschinenbau. Eines der wichtigsten Anwendungsfelder sind Beschichtungen, die als wahre Multitalente seit über 30 Jahren den Werkzeug- und Maschinenmarkt revolutionieren. Sie ermöglichen zum einen höhere Härten und dadurch bis zu 100fach längere Standzeiten im Vergleich zu unbeschichteten Werkzeugen und Maschinen. Gleichzeitig lassen sich weitere Funktionen wie Schutz vor Korrosion und Verschmutzung, Abrieb- und Kratzfestigkeit oder verbesserte Gleiteigenschaften realisieren. Der Grundwerkstoff dient dann oftmals nur noch als „Trägermaterial“ für die Oberflächenschicht. Bei immer höheren Anforderungen hinsichtlich Produktivität und Standzeiten in Verbindung mit der Bearbeitung neuer Materialklassen wie Faser oder Partikel verstärkten Kompositen stoßen konventionelle Systeme zunehmend an die Grenzen der Leistungsfähigkeit. Hier ermöglicht die Nanotechnologie neue Lösungsansätze, um entscheidende Eigenschaftsoptimierungen zu verwirklichen – häufig mit reduziertem Materialeinsatz und niedrigeren Prozesskosten. Die Nanotechnologie ist oftmals der einzige Weg, um mehrere und nach klassischen Konzepten oftmals gegenläufige Materialeigenschaften zu kombinieren, z.B. eine hohe Elastizität bei zugleich hoher Härte und Bruchfestigkeit sowie beispielsweise einer ausgeprägten Temperatur-, Lösemittel-, Säure- oder Korrosionsbeständigkeit.

Das Applikationsspektrum der Nanotechnologie im Maschinenbau reicht dabei noch wesentlich weiter und umfasst beispielsweise eine optimierte Mechatronik durch hochsensible und ultrapräzise Sensoren und Stellglieder, einen verbesserten Produktschutz durch nanobasierte Sicherheitsmerkmale oder leistungsfähigere Maschinen durch hochfeste Leichtbauwerkstoffe.

Produktionsstandort Deutschland – Was kann Produktionsforschung leisten?

Prof. Dr.-Ing. Eberhard Abele

Institut für Produktionsmanagement, Technologie und Werkzeugmaschinen (PTW) an der TU Darmstadt



Abstract:

Der Vortrag zeigt den aktuellen Stand der Studie *Produktionsforschung 2020* auf. Ausgehend von der Tatsache, dass von den 40 Mio. Beschäftigten in Deutschland insgesamt mehr als 14 Mio. vom verarbeitenden, produzierenden Gewerbe abhängig sind wurde ein Negativ- und Positivszenario auf Basis der relevanten Megatrends entwickelt. Diese zeigen, dass letztendlich zwei große Chancen genutzt werden können:

Optimierung und Verbesserung unserer Wettbewerbsfähigkeit in produzierenden Netzwerken durch eine rasche Weiterentwicklung der Fertigungstechnologie, der Maschinen und Anlagen in der Produktion. Wandlungsfähige Fabrikstrukturen und Organisation, neue Weiterbildungskonzepte und Qualifizierungskonzepte werden dabei Schlüsselemente sein.

Deutschland hat traditionell einen hohen Anteil an Exportquote im Bereich von Produktionsmaschinen. Diese führende Rolle können wir ausbauen, wenn es uns gelingt auch in Zukunft Innovationsführer in diesem Bereich zu bleiben.

Der Vortrag zeigt das Zusammenwirken von Nanotechnologie und Produktionstechnik auf. Nanotechnologie bietet viele Chancen für die Gestaltung von zukünftigen Produktionsmitteln, wie z. B. beschichtete Werkzeuge, andererseits gibt die Nanotechnologie aber auch zahlreiche Impulse für neue Produkte im Maschinen- und Anlagenbau.

Der Vortrag gibt einen Überblick über die bisherigen vom Projektträger PTKA geförderten Nanotechnologie-Projekte und zeigt wie in Zukunft durch eine engere Kooperation des Maschinen- und Anlagenbaus, mit der Nanotechnologie neue Chancen wahrgenommen werden können.

„Forschen für die Produktion von morgen – Nanotechnologien für Energie- und Ressourceneffizienz“

Prof. R. Neugebauer, Prof. R. Wertheim

Fraunhofer Institut für Werkzeugmaschinen und Umformtechnik, Chemnitz



Abstract:

Der weltweite Energieverbrauch wächst ständig und hat sich in den letzten zehn Jahren mehr als verdoppelt. Vor dem Hintergrund immer knapper werdender Ressourcen und einem steigendem globalen Bevölkerungswachstum, ergeben sich daraus Probleme für die Umwelt, die Gesundheit und ein hoher Kostendruck.

Die Verbesserung der Energie- und Ressourceneffizienz wird zurzeit in Wirtschaft, Forschung und Politik stark fokussiert. Besonderes Energie- und Ressourceneinsparpotential liegt dabei im Bereich

der verarbeitenden Industrie, die 40 % der Energie verbraucht, im Vergleich zu den privaten Haushalten mit nur 34 %.

In der Industrie und besonders in der Automobilbranche gibt es zur Reduzierung des CO₂-Ausstoßes zahlreiche Maßnahmen, um Energie und Material nicht nur einzusparen, sondern auch wiederzuverwerten.

Auch Nano- und Mikrotechnologien bieten in der Fahrzeugindustrie sehr gute Möglichkeiten, um den Energieverbrauch erheblich zu reduzieren. Einerseits werden die zu produzierenden Teile dadurch immer kleiner, andererseits führt der Einsatz von Nanotechnologien und Materialien zu besseren mechanischen und thermischen Eigenschaften sowie zu einer verbesserten Standzeit und reduzierten Kosten.

In dem Vortrag werden Möglichkeiten aufgezeigt, wie durch die Anwendung von Nanomaterialien, -beschichtungen und -technologien gezielte Eigenschaften erreicht werden können, um z.B. durch höhere Härten, geringere Reibung und bessere Isolierung, den Energieverbrauch zu reduzieren. Der Einsatz derartiger Materialien und Technologien wird an Beispielen aus der Umformindustrie, der Blechbearbeitung und Bearbeitungsverfahren vorgestellt. Die Beispiele zeigen, dass Energieeinsparungen durch geringeren Materialeinsatz sowie die Anwendung von Nanoschichten erreicht werden können und sich wesentliche Vorteile bei der Herstellung von Komponenten und bei der Anwendung und dem Einsatz im Motor- und Karosseriebau ergeben.

**„nano for production“
Von der Nanotechnologie-Forschung in die Maschinenbau-Praxis**

Dr. Andreas Leson

Fraunhofer-Institut für Werkstoff- und Strahltechnik (IWS), Dresden



Abstract:

Die Nanotechnologie hat sich mittlerweile in etlichen Branchen fest etabliert. So basieren die Halbleiterindustrie, in der mittlerweile Strukturgrößen von 45 nm in Serie produziert werden, oder etwa die Datenspeicherung mit ihren heutigen Speicherdichten von 100 Gbit/inch² und mehr ganz wesentlich auf nanotechnologischen Entwicklungen und Verfahren. In der Kunststoffindustrie werden zunehmend Nanomaterialien eingesetzt, um mechanische, elektrische oder andere Eigenschaften positiv zu beeinflussen. Aber auch in Branchen wie dem Maschinenbau, bei denen man auf den ersten Blick keinen Bezug zur Nanotechnologie vermutet hätte, gibt es vielfältige Ansätze, nanotechnologische Verfahren und Produkte einzusetzen.

Im Maschinenbau stehen insbesondere nanotechnologische Verfahren im Mittelpunkt, die zu Verbesserungen in Bezug auf den Leichtbau führen. So führt etwa der Zusatz von Carbon Nanotubes (CNT) in Aluminium zu deutlich verbesserten Festigkeitswerten. Nanostrukturierte Beschichtungen auf der Basis von amorphem Kohlenstoff führen zu einer deutlichen Reduktion der Reibung, einem verringerten Verschleiß und lassen teilweise einen völligen Verzicht auf Schmiermittel zu.

Neben dem Nachweis der prinzipiellen Realisierbarkeit ist insbesondere die Aufskalierbarkeit der Prozesse von entscheidender Bedeutung, wenn die industrielle Umsetzung erfolgreich gelingen soll. Dabei kommt der frühzeitigen und engen Kooperation zwischen Partnern aus dem industriellen wie dem akademischen Bereich eine entscheidende Bedeutung zu, um diesen Prozess möglichst effizient zu gestalten. Thematisch orientierte Netzwerke oder regionale Cluster bieten hierfür eine exzellente Plattform.

Nanotechnische Füllstoffe und nanooptimierte Kautschuke/Kunststoffe für die Transportbandindustrie

Prof. Dr.-Ing. Ludger Overmeyer

Institut für Transport- und Automatisierungstechnik, Universität Hannover



Abstract:

Bandanlagen eignen sich sowohl aus technischer und wirtschaftlicher, als auch aus ökologischer Sicht besonders zur Realisierung großer Massenströme.

Dementsprechend stellt das Produkt „Transportband“ heutzutage ein komplexes Hochleistungsbauteil dar, dessen Anwendungen sich über einen weiten Bereich erstrecken. Die Weiterentwicklung dieser hochkomplexen Bauteile erfordert in Zukunft eine Integration neuer Technologien und die Entwicklung neuer Werkstoffe. Nanoskalige Füllstoffsysteme scheinen dabei eine vielversprechendere Wirkung auf das Leistungspotential dieser Verbundwerkstoffe zu besitzen als bisherige Feinstfüllstoffe im Mikrometerbereich. Durch den Zusammenschluss führender Transportbandhersteller, Anlagenhersteller und -betreiber mit Unternehmen der Nanotechnik wurde in Verbindung mit dem Institut für Transport- und Automatisierungstechnik (ITA) der Leibniz Universität Hannover im Rahmen eines gemeinsamen Forschungsprojektes, ein interdisziplinär tätiges Kompetenznetzwerk ins Leben gerufen.

Innerhalb dieses Forschungsvorhabens konnten erstmals Kennzahlen hinsichtlich des Energieverbrauches sowie des Verschleißverhaltens von Transportbändern definiert und durch Versuche an Probekörpern im Labormaßstab sowie an konventionellen und modifizierten Fördergurten ermittelt werden.

Dabei fanden nanoskalige Füllstoffsysteme, beispielsweise Siliziumdioxid, Verwendung, um betriebliche Parameter wie Energieverbrauch oder Reibungseigenschaften, aber auch adaptive Eigenschaften, wie Verschleißfestigkeit, für den jeweiligen Anwendungsfall zu optimieren.

Durch die Entwicklung praxisnaher Materialprüfungen und deren Belegung mit verifizierten Zielwerten konnte die Basis zur energetischen Optimierung von Fördergurten nachhaltig verbessert werden.

Die im Rahmen des Forschungsvorhabens entwickelten Fortschritte im Bereich der energieoptimierten Gurte führen zu einer Reduktion des Energieaufwandes beim Betrieb von Bandanlagen und damit zu einer Reduktion der Betriebskosten. Die Kennzahlen für das Material bereits eingesetzter Transportbänder können zur Abschätzung des aktuellen Betriebszustandes genutzt werden.

Mit der Entwicklung neuer, eigenschaftsoptimierter Werkstoffe kann der deutliche technologische Vorsprung gegenüber internationalen Marktbegleitern ausgebaut und durch die Entwicklung angepasster Prüfverfahren quantifiziert werden.

Nanokomposit-Elastomere für hochbelastete Maschinenbauteile **J. Haller, R. Bieringer, S. Stangler, B. Traber*, M. Viol**, E. Osen***

Dr. Judith Haller

Freudenberg Forschungsdienste KG, 69465 Weinheim (D)

*Freudenberg Dichtungs- und Schwingungstechnik GmbH & Co. KG (D)

**Helix Medical Europe KG (D)



Abstract:

Viele elastomere Werkstoffe, die z.B. als Dichtungslösungen in hochbelasteten Maschinenbauteilen verwendet werden, sind heute bereits Hightech-Produkte. Sie erfüllen höchste Anforderungen an Temperatur, Medienbeständigkeit und Verschleiß. Um den ständig steigenden Anforderungen des Marktes nachzukommen, setzt die elastomere Werkstoffentwicklung seit fast 100 Jahren auf die Nanotechnologie — Ruße als nanopartikuläre Füllstoffe in Gummicomounds haben eine lange Tradition. Gegenüber mikropartikulären Materialien bieten nanopartikuläre Systeme erhebliche Vorteile, z.B. in der Reaktivität. In den letzten Jahren werden immer mehr nanopartikuläre Füllstoffe und reaktive Komponenten kommerziell angeboten und in der Fertigung eingesetzt.

Die größten Herausforderungen um diese neuen Systeme effektiv einzusetzen sind noch nicht überwunden, denn Nanopartikel haben eine hohe Neigung zu aggregieren. Diese Agglomerate aufzubrechen und eine ausreichende Dispergierung im Gummicomound herzustellen ist oft nur unzureichend möglich. Auch sichere Handhabung und gute Dosierbarkeit stellen den Anwender vor Herausforderungen. Ein weiterer Aspekt der ungewünschten Agglomeration ist der Verlust der spezifischen Oberfläche und der damit verbundene Einsatz von höheren Konzentrationen als dies bei nicht agglomerierten Systemen nötig wäre. Dies ist bei hochpreisigen Nanomaterialien auch ein kommerzieller Effekt.

Im Rahmen des Vortrages werden intelligente Nanosysteme vorgestellt, die diese Herausforderungen meistern. Anhand von Beispielen wird gezeigt, wie durch geeignete Syntheseführung Nanomaterialien erzeugt werden können, die die Probleme herkömmlicher Nanopartikel meistern.

„Nanotechnologien in der Entwicklung keramischer Massivwerkstoffe und Schichten“

Prof. Dr. Rainer Gadow

Institut für Fertigungstechnologie keramischer Bauteile
Universität Stuttgart



Abstract:

Keramische Nanocompositematerialien als massive Strukturwerkstoffe oder als Beschichtungen z. B. auf metallischen Substraten bieten ein hohes Potential zur Verbesserung der mechanischen Eigenschaften insbesondere der Festigkeit, Härte und Verschleißfestigkeit, und mit Einschränkungen auch der Zähigkeit. Während die werkstoffwissenschaftlichen Grundlagen schon relativ gut erforscht sind, ist die Entwicklung prozesssicherer und leistungsfähiger Fertigungstechniken noch eine große Herausforderung. Bei Massivkeramiken führt die geringe Korngröße der Ausgangspulver, die in der gefertigten Komponente für die hervorragenden Eigenschaften sorgen soll, zu prozesstechnischen

Schwierigkeiten insbesondere bei der Masseaufbereitung und der Formgebung. Mitunter erweisen sich sogar beim Sintern Nanopulver wegen der geringen Gründichte der Halbzeuge sinterträger als konventionelle Pulver. Durch Verwendung von Rezepturen mit mikro-nano-Architektur, d.h. mit Dispersionen von Nanopulvern in submikrometerfeinen Matrixsystemen lassen sich diese Schwierigkeiten umgehen und es können Feedstocks für nahezu alle gängigen Formgebungsverfahren hergestellt werden. Die endkonturnahe Formgebung z.B. über Spritzgießverfahren besitzt bei Nanocompositekeramiken noch eine höhere Priorität als bei Standardwerkstoffen, da die Endbearbeitung der extrem hartzähen Werkstoffe sehr zeitraubend, maschinentechnisch anspruchsvoll und teuer ist.

Nanostrukturierte Werkstoffe zur Funktionalisierung von Oberflächen können in vorteilhafter Weise über die Verfahren des Thermokinetischen Beschichtens hergestellt werden. Dabei können nanodisperse Suspensionen direkt zu dichten, gut haftenden und vglw. dünnen Schichten und Schichtverbundwerkstoffen verarbeitet werden. Sie besitzen ein großes Potential für den Einsatz als leistungsfähige Tribofunktionsschichten in den Bereichen Automotive, Aerospace, im allgemeinen Maschinenbau und in der Medizintechnik.

Kurzzeitsintern als wirtschaftliches Verfahren zur Herstellung von massiven metallischen Bauteilen mit ultrafeinen Gefügen

Dr. Jürgen Schmidt

Fraunhofer Institut für Fertigungstechnik und Angewandte Materialforschung
IFAM, Institutsteil Dresden



Abstract:

Die Verwendung von Werkstoffe mit ultrafeinem oder nanostrukturiertem Gefüge wird seit Jahren in vielen Bereichen angestrebt, da diese signifikant verbesserte Eigenschaften aufweisen. Vielfach ist aber die Verarbeitung zur Nutzbarmachung im kompakten Bauteil gerade bei metallischen Werkstoffen ein wesentliches Hemmnis auf dem Weg zur Markteinführung. So sind viele moderne ultrafein- oder nanostrukturierten Materialien zwar seit Jahren im Labormaßstab vorhanden aber noch weit von einer kommerziellen Verfügbarkeit entfernt. Ursache ist hier meist der Herstellungsweg (Kleine Chargen, mäßige Reproduzierbarkeit) bzw. die anfallende Form des Materials (Schmelzkörper mit Lunkern und Rissen, Flakes, Bänder, (Nano)Pulver), welche eine direkte Verarbeitung zum Bauteil nur selten zulässt. Moderne pulvermetallurgische Technologien bieten hier Möglichkeiten aus ultrafeinen oder nanostrukturierten Funktions- und Konstruktionswerkstoffen Halbzeuge und Bauteile ohne Eigenschaftsseinbußen herzustellen.

Innerhalb des Vortrages soll die Herstellung von Massivmaterial aus metallischen Nanocompositen mittels Kurzzeitsinterung durch das Spark Plasma Sinterverfahren erläutert und Beispiele für die Anwendung dieser Werkstoffe im Anlagenbau aufgezeigt werden. Ausgehend von Nanopulvern, Pulvermischungen oder rasch erstarrten, amorphen oder nanostrukturierten Legierungen lassen sich so auch größere Halbzeuge und Bauteile ökonomisch herstellen und sicher verarbeiten.

Vorträge am Nachmittag

Neue Materialien und Wirkprinzipien für Transportoberflächen im Druckmaschinenbau Förderprojekt „NanoDruck“ 03X0017 01.2006-03.2009

Dr. Wolfram Kolbe

Wolfram Kolbe^A, Immanuel Fergen^A, Emanuel Ionescu^B, Ralf Riedel^B,
Monika Zschupp^C, Jens Harenburg^C,

^AHeidelberger Druckmaschinen AG, Abteilung Technologieprojekte

^BTU Darmstadt, Institut für Materialwissenschaft, Fachgebiet Disperse Feststoffe

^CFEW Chemicals, Chemiepark Bitterfeld Wolfen



Abstract:

Das Gesamtziel des Entwicklungsvorhabens war die Verbesserung der Verschleißbeständigkeit von antiadhäsiven Schichten im Maschinenbau. Im speziellen werden diese Schichten für Anwendungen in Bogen-Offset-Druckmaschinen bspw. als Bogentransportoberflächen konzipiert. Gesucht werden Schichten mit nieder-energetischen Oberflächeneigenschaften, die verschleißfest sind, zugleich eine hohe Chemikalienbeständigkeit aufweisen und im Druckprozess die Druckqualität der frisch bedruckten Papierbogen nicht negativ beeinflussen. Zum Erreichen dieser Ziele wurden mit der Sol-Gel-Technologie hergestellte Schichten mit SiCN-Nanopartikel dotiert. Die SiCN-Nanopartikel konnten zum einen im solvatisierten Zustand dem Sol-Gel-Prozess zugeführt oder als Sequenzen in das Sol-Gel-Netzwerk eingebaut werden. Die Schichten zeigten eine deutliche Verbesserung der Verschleißbeständigkeit gegenüber den Schichten ohne SiCN-Nanopulver.

Sol-Gel basierte Nanobeschichtungen - Beispiele für Serienanwendungen aus dem Anlagen- und Maschinenbau

Andreas Weis

Bereichsleiter Automobil & Maschinenbau, Nanogate AG, Götterborn



Abstract:

Obwohl die Nanotechnologie seit mehr als einem Jahrzehnt bereits mit Produkten und Anwendungen die verschiedensten Märkte bedient, gilt sie noch immer als eine stark wissenschaftlich geprägte Disziplin. Viele Anwendungen und Möglichkeiten der Nanotechnologie sind einem nicht wissenschaftlichen Umfeld, obwohl vielleicht schon lange in Gebrauch, nicht im Bewusstsein. Die Nanogate AG zeigt hier anhand von Beispielen aus Serienanwendungen, wo bereits spannende Technologien im Einsatz sind. Durch das „Enabling“ Prinzip öffnet die Nanogate AG vielen verschiedenen Branchen das Tor zur Nanotechnologie und ermöglicht damit eine höhere Wertschöpfung und einen Wettbewerbsvorsprung. Die Oberflächenveredelung von Maschinen- und Anlagenkomponenten stellt hierbei ein wichtiges Anwendungsfeld dar.

Im Bereich der Druckmaschinenindustrie sind funktionelle Oberflächen für die Leistungsfähigkeit einzelner Komponenten entscheidend für die Druckqualität. Flexible Maschinenlaufzeiten sowie eine schnelle Umrüstung für den nächsten Druckauftrag sind wichtige Elemente eines effizienten Prozesses. Ein Beispiel für die Produktivitätsverbesserung mit Hilfe der Nanogate-Technologie® stellt die Oberflächenveredelung von Rotationskörpern in Druckmaschinen dar, hier insbesondere

von Papierleitwalzen im Zeitungsdruck. Die einem hohen Verschleiß ausgesetzten Walzenoberflächen werden durch eine widerstandsfähige hauchdünne Schicht so veredelt, dass sich die frische Druckfarbe nicht mehr so stark auf der Walzenoberfläche ablegt. Hiermit wird die Laufzeit der Maschine verlängert, der Reinigungsaufwand minimiert und somit die Produktivität gesteigert. Ein speziell entwickeltes Applikationsverfahren sorgt für die qualitätsgesicherte und mittlerweile serienerprobte, hohe Zuverlässigkeit des Systems.

Für den Bereich der Energieerzeugung ist der Wirkungsgrad eine entscheidende Kenngröße zur Beurteilung der Leistungsfähigkeit. Vor allem im Segment der Wärmeübertragung ist ein gleich bleibender Wärmeübergang für einen effizienten Prozess notwendig. Die hier verwendeten Wärmetauscher benötigen hoch temperaturfeste Oberflächen, die auch bei anspruchsvollen Umgebungsparametern einen Schutz vor Korrosion bieten. Hier wurde mit Hilfe der Nanogate-Technologie® für Wärmetauscher aus Leichtmetall ein System entwickelt, das nach umfangreichen Testphasen für die Serien-Anwendung freigegeben ist.

Nanopartikelverstärkte Gleitlacke für Verschleißschutzanwendungen in tribologisch hochbelasteten Reibkontakten

Dr. Matthias Koch, Merck KGaA, Darmstadt
Rudolf Zechel, Klüber Lubrication KG, München



Abstract:

Gleitlacke trennen Oberflächen in tribologisch beanspruchten Reibkontakten voneinander und schützen dadurch vor Verschleiß. Der Gleitlack funktioniert durch eine Transferschmierung, wobei geringe Mengen von Festschmierstoffen vom Gleitlack abgerieben werden und sich am Gegenkörper anlagern. Jedoch darf der Abrieb nicht zu hoch sein, damit eine möglichst lange Lebensdauer erzielt wird.

Hier bieten Nanopartikel eine effiziente Möglichkeit, trotz hoher Belastungen in Reibkontakten hohe Lebensdauern zu erreichen. Ausgehend von den Grundlagen zur Steigerung der Abriebfestigkeit werden Messergebnisse an einem Gleitlacksystem mit und ohne Nanopartikel dargestellt, um mögliche Leistungssteigerungen aufzuzeigen. Hierzu werden allgemein anerkannte Prüfgeräte, wie z.B. Kugel-Scheibe-, Tannert- oder OGP (oszillierender Gleitplatten-) Prüfstand genutzt und ein Ausblick auf mögliche Anwendungen gegeben.

Damit die Nanopartikel in den Gleitlackanwendungen die gewünschte Wirkung herbeiführen können, müssen sie geeignet, daß heißt an die Lackmatrix angepaßt funktionalisiert sein. In erster Linie bedeutet das, die Bildung von Agglomeraten zu vermeiden. Weiterhin ist zur Verbesserung mechanischer Eigenschaften eine chemische Einbindung in die Lackmatrix vorteilhaft. Anderenfalls können die Partikel in Tribosystemen sogar gegenteilige Effekte haben, indem sie abrasiv wirken.

Nanokristalline Diamant-Schichtsysteme für neue Werkzeuggenerationen und Mikrosysteme

Dr. André Flöter

GFD Gesellschaft für Diamantprodukte mbH, Ulm



Abstract:

Nanokristalline Diamantschichten bieten aufgrund ihrer extremen Verschleißfestigkeit, geringen Reibung und hohen chemischen Widerstandsfähigkeit ein hohes Potenzial als Verschleißschutzschicht völlig neue Werkzeugeigenschaften zu ermöglichen. Mit Hilfe von CVD Beschichtungsprozessen (CVD – Abscheidung aus einer chemischen Dampfphase) können eine Vielzahl von Werkzeug- und Bauteilgeometrien beschichtet werden. Als beschichtbare Werkstoffe kommen derzeit Hartmetalle, Keramiken und Silizium in Frage. Durch die Verfügbarkeit von neuen Bearbeitungsmöglichkeiten für Diamantschichten, wie z.B. die Plasmapolitur, lassen sich z.B. ultrascharfe Diamantschneidklingen und diamantbeschichtete Zerspanungswerkzeuge und Bohrer mit scharfen Schneiden herstellen. Diamantbeschichtete Schneidklingen und Werkzeuge zeichnen sich dabei durch ungewöhnlich hohe Standzeitverlängerungen aus und können damit für äußerst anspruchsvolle Werkstoffe wie Faserwerkstoffe (CFK und GFK) oder abrasive Verbundwerkstoffe eingesetzt werden.

Einen weiteren Bereich, in dem nanokristalline Diamantschichten verstärkt verwendet werden, stellt die Mikromechanik dar. In diesem Anwendungsgebiet wird vor allem die extrem hohe Verschleißfestigkeit und Härte genutzt, die es z.B. ermöglicht, schmierungsfreie Getriebe zu konzipieren, die sich durch eine hohe Zuverlässigkeit, geringe Reibung und eine hohe mechanische Festigkeit auszeichnen.

Zerspanwerkzeuge aus nanoskaligen Materialien und superharten Schichten zur Trocken-, Hart- und Gussbearbeitung (NanoHM)

Dr. Werner Kölker

W. Kölker^a, Volkmar Richter^b, Martin Keunecke^c

a CemeCon AG, Adenauerstr. 20 A4, 52146 Würselen

b Fraunhofer IKTS, Wittenbergstr. 28, 01277 Dresden

c Fraunhofer IST, Bienroder Weg 54 E, 38108 Braunschweig



Abstract:

Schneidstoffe und Beschichtungen für die Zerspanung benötigen insbesondere zwei wesentliche Grundeigenschaften, Verschleißfestigkeit und Bruchsicherheit. Während die Bruchsicherheit eher eine Volumeneigenschaft ist, ist die Verschleißfestigkeit eine typische Oberflächeneigenschaft. Seit Anfang der 1980-er Jahre haben sich daher beschichtete Werkzeuge in Form von Verbundwerkstoffen zunehmend am Zerspanungsmarkt etabliert. Neue Wege eröffnen sich nun durch die Verwendung nanostrukturierter Werkstoffe sowohl für das Grundkörpermaterial als auch für die Beschichtungen. Im Rahmen des vom BMBF geförderten Forschungsvorhabens 'NanoHM' arbeiten Hartmetall- und Beschichtungsentwickler gemeinsam an der Kombination jeweils superharter, dem bisherigen Stand der Technik überlegenen Materialien. Während sich Härte und

Zähigkeit bei den traditionellen Werkstoffen gegenläufig verhalten, bietet die Nanoskaligkeit den technologischen Schlüssel, diese Tendenz zu durchbrechen. Die Nanostrukturierung der Kristallmorphologie bewirkt unerwartete neue Eigenschaften. Hohe Härte und gleichzeitig hohe Bruchfestigkeit schließen sich nicht mehr gegenseitig aus. Der Vortrag gibt einen Überblick zum Projektstatus und beinhaltet sowohl Aspekte der verwendeten Technologien als auch der bisher erzielten Materialeigenschaften.

Neue Materialien und Nanotechnologien im Korrosionsschutz

Thomas John-Schillings

Henkel KGaA, Düsseldorf



Abstract:

Die Einführung einer neuartigen Konversionsbehandlung auf Nanokeramik-Basis bietet für den Anwender und seine Kunden Vorteile: Unter anderem werden bei gleichbleibender Qualität die Umweltbelastungen erheblich verringert.

Sowohl die Eisen- als auch die Zinkphosphatierung sind seit Jahrzehnten Stand der Technik im Bereich der Metalloberflächenbehandlung, wenn es um das Erzielen von Korrosionsschutz und Haftvermittlung vor der organischen Beschichtung von metallischen Bauteilen geht. In der Umweltbilanz beider Verfahren ergeben sich zwei gravierende Nachteile. Erstens ist der Energieaufwand zur Beheizung der Vorbehandlungsbecken hoch, zweitens fallen bei den Prozessen Phosphatschlämme an, die im Falle der Zinkphosphatierung sogar schwermetallhaltig sind und teuer entsorgt werden müssen.

Bereits im Jahre 2002 konnte Henkel die Eisenphosphatierung erstmalig durch das nanokeramisch basierte Bonderite[®] NT-1 erfolgreich im industriellen Serieneinsatz ersetzen. Seit ca. 2 Jahren hält mit TecTalis ein weiteres nanokeramisches Verfahren Einzug in die Metalloberflächenbehandlung und ersetzt die Zinkphosphatierung. Beide neuartigen Verfahren bilden im Gegensatz zu den klassischen phosphatbasierten Prozessen (0,5-2 µm Schichtdicke), bereits bei Raumtemperatur eine sehr viel dünnere amorphe Oberflächenbeschichtung im Bereich von 20-50 nm aus. Ein weiterer Vorteil der neuen Verfahren ist eine drastische Reduktion der anfallenden Schlammmenge.

Die bisherigen Praxiserfahrungen in den unterschiedlichsten Industriesegmenten zeigen, dass die beiden neuartigen Konversionsbehandlungen die qualitativen Anforderungen der Kunden erfüllen und gleichzeitig die Prozesskosten um bis zu 20% senken können.

Podiumsdiskussion: Mit Nano-Innovationen neue Märkte sichern – Umsetzungsstrategien und Herausforderungen im Maschinenbau

Moderation

Rudolf Schulze

Chefredakteur VDI Nachrichten, Düsseldorf



Diskussionsteilnehmer:

MinR Dr. Rainer Jansen

BMBF, Bundesministerium für Bildung und Forschung, Bonn
Unterabteilungsleiter Schlüsseltechnologien – Produktionsforschung



Statement:

Nanotechnologie und Neue Werkstoffe sind Schlüssel für Innovationen in nahezu allen industriellen Anwendungsfeldern. Die hier entwickelten Technologien wie z.B. die Herstellung von Nanomaterialien und -beschichtungen beinhalten große Potenziale auch in klassischen Industriezweigen wie dem Maschinenbau. Für deutsche Unternehmen kann die Integration der Nanotechnologien in die Produktion einen neuen Schub für "Hightech-Produktionsverfahren" bringen, die Wettbewerbsvorteile und damit hochqualifizierte Arbeitsplätze in Deutschland sichern.

Im Jahr 2008 wurden ca. 440 Mio. Euro in Deutschland von der öffentlichen Hand in die Nanotechnologie investiert. Mit dem BMBF-Förderprogramm "Nano geht in die Produktion" wird ein entscheidender Beitrag geleistet, um Anwendungspotentiale der Nanotechnologien für neue, technologietaugliche Verfahren und Ausrüstungen zu erschließen, mit denen neuartige, leistungsfähigere Produkte prozesssicher und wirtschaftlich in Deutschland hergestellt werden können. Die Investitionsgüterindustrie mit ihren Maschinen, Anlagen und Dienstleistungen soll mit Hilfe von Forschung und Innovation weltweit die Nummer Eins als Weltlieferant von Produktivität bleiben.

Künftige Herausforderungen liegen in einer intensivierten Verwertung öffentlich geförderter Forschungsergebnisse sowie der Sicherstellung eines verantwortlichen Umganges der Nanotechnologie durch Intensivierung der Sicherheitsforschung zu Nanomaterialien und das Schließen von Wissenslücken in Bezug auf Toxizität und Expositionsszenarien industriell hergestellter Nanomaterialien. Nur wenn es gelingt, Nanotechnologien in Produktionsprozessen und Produkten sicher zu handhaben, wird es möglich sein, das für einen nachhaltigen Erfolg der Nanotechnologie notwendige Vertrauen bei Kunden und Verbrauchern zu generieren. Die Sicherheitsforschung zu Nanomaterialien wird daher seitens BMBF durch eigene Forschungsschwerpunkte sowie als integraler Bestandteil in den fachlichen Förderprogrammen vorangetrieben sowie durch einen intensiven und offen geführten Dialog mit der Bevölkerung und gesellschaftlichen Interessensvertretern begleitet.

Dipl.-Wirtsch. Ing. Hans-Jürgen Alt

Geschäftsführer VDMA NRW/ Clustermanager ProduktionNRW, Düsseldorf



Statement:

Mit über 6.000 vorwiegend mittelständische Unternehmen ist der Maschinen- und Anlagenbau einer der größten Industriebranchen dieses Landes und als größter Arbeitgeber weiterhin der Polarstern am deutschen Industrie-Himmel. Die Bandbreite der Maschinenbauerzeugnisse, Komponenten und Systeme ist gewaltig. Daher ist der Maschinen- und Anlagenbau wie ein Schwamm, der alle ihn förderlich erscheinenden neuen Technologien in sich aufsaugt, um so im permanenten globalen Wettbewerb seine Spitzenposition zu behaupten. Das gilt auch für die Nanotechnologien bzw. Nanomaterialien.

Zur Bewältigung dieser Herausforderungen ergeben sich für die Nanotechnologien folgende Chancen:

- Nachhaltige Produktion: Eine nachhaltige Produktion setzt auf Umweltverträglichkeit und Minimierung des Ressourcenverbrauchs.
- Hochpräzise Produktion.
- Grenz(be)schichtungen für Produktion und Komponenten.

Neben den Anwendungen stehen auch neue Produktionsprozesse für die Herstellung von neuen Nanomaterialien bei gleichzeitiger Reduktion von Umweltbelastungen im Focus der Chancen. Doch neben diesen vielen Chancen und Potenzialen existieren wie bei allen neuen Technologien auch Herausforderungen und Risiken. Aus Sicht des Maschinen- und Anlagenbaus stehen insbesondere zwei Aspekte von Risiken im Vordergrund: Gesundheitliche Aspekte und Ökotoxische Aspekte. Grundlegend für die Regulierung ist die Definition der Nanomaterialien. Denn neben der Größe der Nanomaterialien sind aus Sicht des Maschinen- und Anlagenbaus auch deren spezifischen Oberflächen- und Grenzflächeneigenschaften bei der Risikobeurteilung der Materialien wichtig.

Dipl.-Ing. Harald Cremer

Clustermanager „NanoMikro+Werkstoffe.NRW“, Düsseldorf



Statement:

Chancen/Potenziale

Die Verwendung von Nanomaterialien/partikeln im Maschinenbau hat bereits und wird in Zukunft noch vielmehr die Produkteigenschaften signifikant verbessern können. So führt die nanotechnologische Beschichtung der Oberflächen zur Reibungsreduktion und Verminderung von Verschmutzungen. Dies kann (wird) in vielen Antriebstechniken (Kugellager, Automotor, Fördertechniken) genutzt werden und führt zu Energieeinsparungen, teilweise kann auch eine höhere (Verschleiß)Beständigkeit durch größere Härte oder Passivierung (z.B. Korrosionsschutz) der neu generierten Oberfläche erzielt werden. Der Einbau nanotechnologischer Komponenten in Materialien kann zudem zu Gewichtsreduktionen (Leichtbau) und dadurch zu Energieeinsparungen führen.

Herausforderung/Risiken

Der Einsatz von Nanomaterialien ist auch fast immer mit zusätzlichen Kosten verbunden, insofern muss auch immer überprüft werden, dass der Nutzen die höheren Kosten rechtfertigen kann. Weiterhin sind vielen F&E Aktivitäten im Bereich Nanomaterialien-/Partikel am Anfang der Wertschöpfungskette angesiedelt und der Einsatz in Produktionsprozessen und/oder Produkten ist bisher nur bedingt erfolgt, gerade in der Schließung entsprechender Wertschöpfungsketten sieht der Cluster NMW.NRW eine seiner Hauptaufgaben.

Wolf Michael Catenhusen

Vorsitzender der Nanokommission der Bundesregierung, Berlin



Statement:

Die NanoKommission wurde Ende 2006 als zentrales nationales Dialogforum der Bundesregierung geschaffen. Vertreterinnen und Vertreter aus Wissenschaft, Unternehmen, Umwelt- und Verbraucherorganisationen, Gewerkschaften, Ministerien und Behörden haben Erfahrungen und Informationen mit Bereitschaft zur ergebnisoffenen Zusammenarbeit ausgetauscht. Die Kommission sieht Chancen, dass durch Einsatz von Nanomaterialien wichtige Beiträge zu einem effizienteren Umgang mit Ressourcen und zum Gesundheitsschutz geleistet werden können. In der ersten Dialogphase von 2006 -2008 wurde durch die Nanokommission folgender Handlungsbedarf identifiziert:

- **Sicherheitsforschung:** Durch verstärkte Forschungsförderung müssen Wissenslücken abgebaut, die Aussagekraft von Risikoforschung gestärkt und Methoden der Risikobewertung verbessert werden. Nur so können staatliche Behörden ihrer Verantwortung für Schutz von Mensch und Umwelt beim Umgang mit Nanomaterialien, angefangen beim Arbeitsschutz, gerecht werden.
- **Transparenz für Verbraucher:** Die NanoKommission geht davon aus, dass die Zahl der Nano-Produkte und Anwendungen – sie werden aktuell auf mindestens 800 geschätzt – weiter steigen wird. Zu einer neuen Innovationskultur gehört eine bestmögliche Transparenz für Verbraucherinnen und Verbraucher. Die Kommission empfiehlt deshalb die Schaffung einer unabhängigen Marktübersicht über verfügbare Nanoprodukte, um verbraucherrelevante Informationen und neue wissenschaftliche Erkenntnisse zu sammeln und in verständlicher Weise aufzubereiten.
- **Vorsorgendes Risikomanagement:** Maßnahmen des vorsorgenden Risikomanagements, die die Industrie in eigener Verantwortung durchführt, werden begrüßt. Das schließt auch im Einzelfall eine Entscheidung ein, bei zu vielen Wissenslücken vorläufig auf eine Anwendung zu verzichten, bis gesicherte Erkenntnisse vorliegen. Grundlage dafür sollen von der Kommission erarbeitete Prinzipien sein: Transparenz, Risikomanagement, Bereitschaft zum Dialog, Übernahme von Verantwortung in der Wertschöpfungskette.
- **Vorläufige Risikobewertung:** Das Konzept einer vorläufigen Risikobewertung muss weiter präzisiert und konkretisiert werden. Hier besteht besonders Handlungsbedarf bis zur Klärung der Frage, wie der Umgang mit Nanomaterialien in bestehenden Regulierungssystemen praktiziert werden kann.

Der Nanodialog der Bundesregierung wird seit September 2009 in der zweiten Dialogphase mit insgesamt vier Themengruppen fortgeführt wird und sich mit der Umsetzung von Konzepten zum verantwortungsvollen Umgang mit Nanomaterialien, Chancen- und Risikopotenziale konkreter Nano-Produkte, Regulierungsaspekten und Kriterien zur Risikobewertung befasst.

Dr. Andreas Leson

Fraunhofer-Institut für Werkstoff- und Strahltechnik (IWS), Dresden



Statement:

Die Nanotechnologie hat sich mittlerweile in etlichen Branchen fest etabliert. So basieren die Halbleiterindustrie, in der mittlerweile Strukturgrößen von 45 nm in Serie produziert werden, oder etwa die Datenspeicherung mit ihren heutigen Speicherdichten von 100 Gbit/inch² und mehr ganz wesentlich auf nanotechnologischen Entwicklungen und Verfahren. In der Kunststoffindustrie werden zunehmend Nanomaterialien eingesetzt, um mechanische, elektrische oder andere Eigenschaften positiv zu beeinflussen. Aber auch in Branchen wie dem Maschinenbau, bei denen man auf den ersten Blick keinen Bezug zur Nanotechnologie vermutet hätte, gibt es vielfältige Ansätze, nanotechnologische Verfahren und Produkte einzusetzen.

Im Maschinenbau, dem in Deutschland eine zentrale Bedeutung zukommt, stehen insbesondere nanotechnologische Verfahren im Mittelpunkt, die zu Verbesserungen in Bezug auf den Leichtbau führen, oder deutliche Vorteile bei der Energieeffizienz aufweisen. So führt etwa der Zusatz von Carbon Nanotubes (CNT) in Aluminium zu deutlich verbesserten Festigkeitswerten. Nanostrukturierte Beschichtungen auf der Basis von amorphem Kohlenstoff führen zu einer deutlichen Reduktion der Reibung, einem verringerten Verschleiß und lassen teilweise einen völligen Verzicht auf Schmiermittel zu. Neben dem Nachweis der prinzipiellen Realisierbarkeit ist insbesondere die Aufskalierbarkeit der Prozesse von entscheidender Bedeutung, wenn die industrielle Umsetzung erfolgreich gelingen soll. Dabei kommt der frühzeitigen und engen Kooperation zwischen Partnern aus dem industriellen wie dem akademischen Bereich eine entscheidende Bedeutung zu, um diesen Prozess möglichst effizient zu gestalten. Thematisch orientierte Netzwerke oder regionale Cluster bieten hierfür eine exzellente Plattform. Hierzu zählt beispielsweise der Fraunhofer-Innovationscluster „nano for production“, der sich insbesondere die Umsetzung nanowissenschaftlicher Erkenntnisse in die industrielle Praxis zum Ziel gesetzt hat.

Andreas Weis

Bereichsleiter Automobil & Maschinenbau, Nanogate AG, Göttelborn



Statement:

Die Nanotechnologie gilt heute unbestritten als eine der vielversprechendsten und aufstrebenden Technologien der nächsten Jahrzehnte. Als eine Querschnittstechnologie kann sie entscheidend zu neuen Materialien, neuen Eigenschaften, und zur Optimierung bestehender Produkte und Prozesse beitragen. Damit liefert die Nanotechnologie bereits heute u.a. einen wichtigen Bestandteil zu mehr Energieeffizienz und Ressource schonenderen Produkten. Risiken, wie sie jede neue Technologie mit sich bringt, müssen dabei auch bei einem sehr dynamischen Entwicklungsumfeld, berücksichtigt und von verantwortungsvollen Unternehmen bei der Produktentwicklung beachtet werden.

Die Nanogate AG ist einer der international führenden Enabler im Wachstumsmarkt Nanotechnologie. Unseren Kunden und Partnern ermöglichen wir zusätzliche Wertschöpfung und Wettbewerbsvorsprung durch die Veredelung ihrer Produkte. Wir öffnen für verschiedenste Branchen das Tor zur Nanotechnologie. Begleitend engagiert sich die Nanogate AG mittlerweile seit zehn Jahren intensiv für einen verantwortungsvollen Umgang mit Nanomaterialien. Das Unternehmen ist einer der Vorreiter in der Umsetzung, einer für den Verbraucher sicheren Nanotechnologie. Produktsicherheit hat für Nanogate höchste Priorität.