

Partikel mit Potenzial

Particles with Potential

Die kleine Welt der Nanopartikel eröffnet große Möglichkeiten. Wenn konventionelle Materialien zu Teilchen in Nanogröße reduziert werden, zeigen sie überraschende Eigenschaften. Metalle werden zu Farbstoffen, Keramik wird transparent und Glas wird zum Klebstoff. Oben dargestellt: die Erzeugung von Nanopartikeln durch Wachstum in einer Lösung.

The small world of nano-particles has great opportunities. If conventional materials are reduced to the size of nano-particles, then they prove to have amazing properties. Metals become dyes, ceramics becomes transparent and glass becomes an adhesive. Above you see the production of nano-particles by growing them in a solution.

Text: Helmut Schmidt (form@form.de)

-

+

+

+

Materialien und Werkstoffe sind die Basis für siebzig Prozent des Brutto-sozialprodukts der westlichen Industrienationen. Neuartige Werkstoffe spielen daher für den Wettbewerb eine immense Rolle. Ihre Bedeutung allerdings erkennt man in den meisten Fällen erst auf den zweiten Blick. Sie ermöglichen Produkte überhaupt erst, denn sie bilden die „enabling technologies“ für Komponenten, Bauteile und Endprodukte. Von der ersten Idee für einen neuen Werkstoff über die chemische Synthese bis zum fertigen Produkt am Markt können zehn Jahre und mehr vergehen. Die Instrumente für die Innovation im Werkstoffbereich sind vielfältig. Sie reichen von neuen chemischen Synthesen über innovative physikalische Technologien bis zur Herstellung nanopartikelbasierter Systeme.

Das Potenzial von Nanopartikeln

Nanopartikel sind Materialien, die in ihrer Dimension zwischen einem Molekül und der makroskopischen Materie liegen. Die Größe eines Moleküls wird in Angström gemessen. Ein Angström ist ein Zehnmillionstel Millimeter klein. Zum Mikrometer-Bereich rechnet man Strukturen in der Größenordnung ab einem Tausendstel Millimeter. Die chemische Synthese ist dabei die wichtigste Basistechnologie, weil es nur über sie möglich ist, die Oberflächen der Nanopartikel so zu steuern, dass sie prozesstechnisch beherrscht werden können. Wichtig dabei ist, dass sich alle Prozesse in flüssiger Phase und in geschlossenen Räumen abspielen, denn jede Kontamination in der Atmosphäre muss vermieden werden. (Ein bei fast allen chemischen Synthesen übliches Verfahren.)

Nanopartikel verfügen über eine außerordentlich hohe spezifische Oberfläche von bis zu mehreren hundert Quadratmetern pro Gramm Gewicht. Ausgebreitet würde dies bedeuten, dass ein Gramm Nanopartikel von zwei bis fünf Milliardstel Meter Durchmesser die Größe eines mittleren Bauplatzes ausmachen würde. Dies wiederum bedeutet, dass viele der molekularen oder atomaren Bausteine von Nanopartikeln an deren Oberfläche und nicht im inneren Molekül- oder Atomverbund zu finden sind. Solche Oberflächen weisen ganz besondere Eigenschaften auf. Sie sind wesentlich reaktiver als die Oberflächen kompakter Bauteile, da die Zahl der exponierten Oberflächenatome um zehn Potenzen größer ist. Diese hohe Reaktivität kann zu neuen Eigenschaften führen: Zum Beispiel zur Beschleunigung von chemischen Prozessen (Katalyse) oder zur Anbindung von Molekülen (Adsorption), um besondere Funktionen der Oberfläche zu erzielen. So entstehen Verbundwerkstoffe, so genannte Nanokomposite.

Die Wechselwirkung mit Licht

Eine weitere wichtige Eigenschaft von Nanopartikeln ist ihre Wechselwirkung mit Licht. Im Gegensatz zu größeren Partikeln streuen sie das Licht nicht. Das heißt, sie sind prinzipiell transparent. Werden solche Partikel dicht aneinander gereiht oder in eine transparente Matrix (Glas oder transparente Polymere) eingebettet, so werden sie unsichtbar. Andere physikalische Eigenschaften bleiben jedoch erhalten. Dadurch gelingt es, neue optische Werkstoffe herzustellen, deren Leistungsfähigkeit die Eigenschaften der Nanopartikel und die der Matrix vereinen. Damit lassen sich einfache Formgebungseigenschaften von Kunststoffen (thermoplastische Formung) mit Eigenschaften anorganischer Werkstoffe verbinden. Dies bietet das Potenzial einer komplett neuen Serie optischer Werkstoffe. Von Bedeutung ist dies für alle Bereiche der Optik, insbesondere für die moderne Nachrichtentechnik und die Informationsspeicherung.

Neue Oberflächentechniken

Während die Beschichtungstechnik für viele funktionelle und dekorative Eigenschaften bei Massenprodukten einen hohen Stand erreicht hat, ist die individuelle Gestaltung von Bauteilen, Komponenten und Endverbrauchersystemen damit nicht realisierbar. So ist zum Beispiel im Korrosionsschutzbereich auf Stahl ein zufrieden stellender Stand erzielt. Doch etwa eine Anti-Fingerprint-Beschichtung auf Edelstahl ist zur Zeit noch nicht erhältlich. Ähnlich verhält es sich mit hoch spezialisierten Funktionen auf Oberflächen, die über Schichten aufgetragen werden. Dies könnten holografische oder keimtötende Schichten sein oder solche mit selbstreinigenden Eigenschaften.

Transparente Kunststoffe haben gegenüber Glas den Vorteil, dass sie leicht verformbar sind und damit auch die Möglichkeit zu außergewöhnlicher Formgebung bieten. Während sich mit Glas über Spritzguss keine komplexen Formen herstellen lassen, ist das bei Kunststoff sehr einfach möglich. Ein entscheidender Nachteil von Kunststoffen gegenüber Glas ist ihre Anfälligkeit für Kratzer. Erste Verbesserungen von Kunststoff-Oberflächen sind für Brillengläser entwickelt worden. Hier nutzt man Nanopartikel aus Bohemit, eine Aluminiumoxidmodifikation, da sie zum einen katalytisch vernetzend wirken und damit ein festes, abriebresistentes Gerüst bilden. Zum anderen tragen sie durch ihre eigene Härte zur Abriebfestigkeit bei, und zum dritten weil sie Licht nicht streuen und damit unsichtbar sind. Vorteil dieser Beschichtungswerkstoffe ist, dass sie wie Lacke aufgetragen und sich bei niedrigen Temperaturen einbrennen lassen, so dass der Kunststoff nicht beschädigt wird.

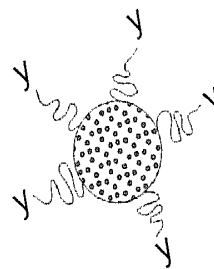
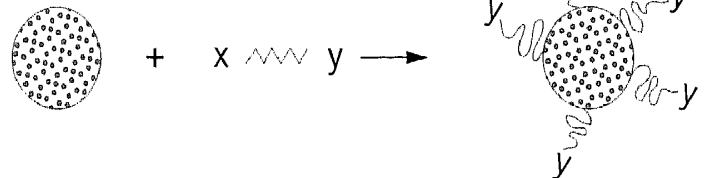
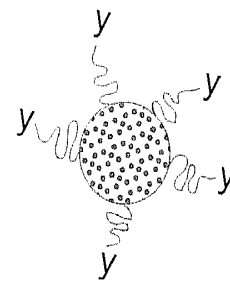
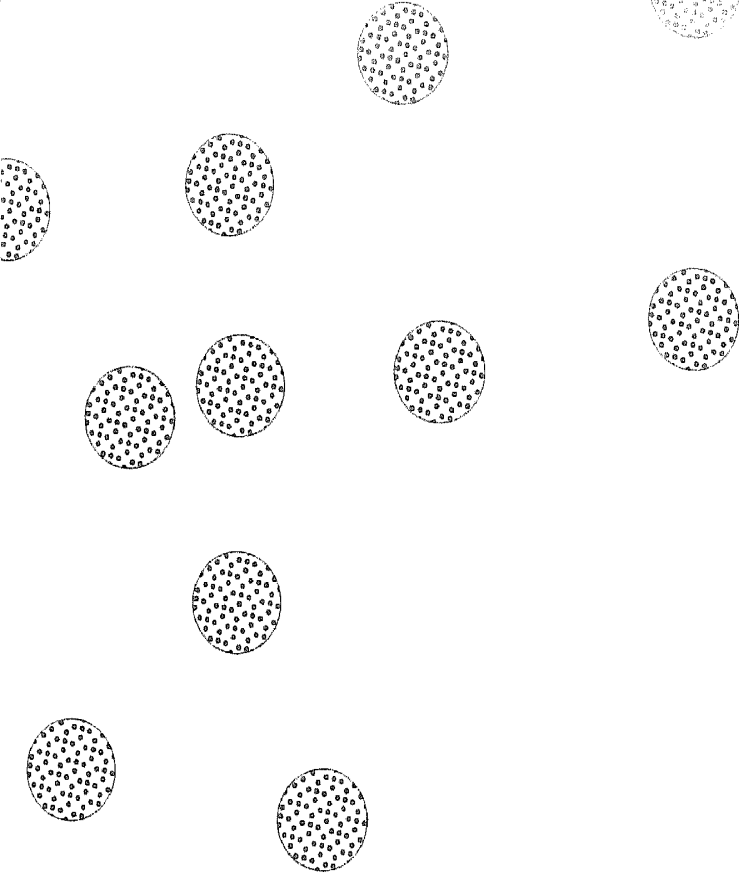
Eine Variante dieser Materialien wurde für die Beschichtung von Polycarbonat-Automobilverschiebungen weiter entwickelt. Diese Beschichtungen sind inzwischen so weit fortgeschritten, dass sie in ihrem Abriebverhalten trotz der dem Kunststoff angepassten niedrigen Aushärtungstemperatur von 130 Grad Celsius, dem Glas (das bei 1500 Grad geschmolzen wird) in nichts nachstehen. Solche Werkstoffe bieten nun die Möglichkeit, auch komplexe Polycarbonatbauteile mit einer abriebsfesten Schicht zu versehen. Beim Automobilbau ist Polycarbonat vielfach einsetzbar. Sie sparen Gewicht und können auch sicherheitstechnisch relevant werden. So haben zum Beispiel Überrollversuche bei Testfahrten in den USA gezeigt, dass die Fahrgastzellen aller mit Polycarbonatscheiben ausgestatteten Fahrzeuge die Versuche ohne Deformation überstanden hatten. Glasverschiebungen dagegen zerbrachen. Ein spritzgegossener Polycarbonatdom könnte in Zukunft eine nahezu uneingeschränkte Rundumsicht erlauben. Ein solcher Dom würde gleichwohl eine ausgeklügelte Temperaturregulierung erforderlich machen, wobei auch hier nanopartikelbasierte Werkstoffe einen entscheidenden Beitrag leisten können. So reduzieren zum Beispiel elektrochrome Beschichtungen den Eintrag an Licht und damit auch an Energie in Form von Wärme. Mit dieser Technologie können Schichtsysteme elektrisch auf- und abgedunkelt werden. Diese Technologie ist derzeit nur für Glas und bei den relativ kleinflächigen Rückspiegeln auf dem Markt, Prototypen auf Nanotechnologiebasis sind derzeit im Test.

Optische Schichtsysteme

Mit der neuen Nanopartikeltechnologie lassen sich Antireflex-Schichten nun auch auf Kunststoffe und große Flächen auftragen, wie zum Beispiel auf Windschutzscheiben. Das Besondere der Nanopartikelschichten ist, dass sie bei sehr niedrigen Temperaturen über UV-Belichtungstechniken ausgehärtet werden, aber auch auf Glas zu transparenten keramischen Schichten eingebrannt werden können. Dadurch entstehen äußerst abriebsfeste Antireflexschichten. Darüber hinaus lassen sich auch helle Armaturenbretter realisieren, die den Wärmeeintrag im Vergleich zu dunklen, die sich in der Sonne rasch aufheizen, deutlich reduzieren.

Auch photochrome Beschichtungen lassen sich mit Hilfe von Nanopartikeln herstellen. Unter Photochromie versteht man die Veränderung der Farbe des einfallenden Lichtes. Die Basis dafür sind so genannte photochrome Farbstoffe, die ihr Lichtabsorptionsvermögen durch eingefangene Photonen verändern, indem sie durch eine intramolekulare Bewegung ihre Struktur verändern.

Werden sie in eine transparente Schicht eingebaut, so können sie sich nicht mehr „bewegen“. Die Schicht ist stabil, aber nicht mehr aktiv. Werden sie in weiche Werkstoffe eingebaut, so bewegen sie sich gut, sind aktiv, doch solche Schichten sind wegen ihrer Anfälligkeit für Kratzer nicht brauchbar. Mit dem Nanokompositprinzip ist es nun gelungen, beide Eigenschaften zu vereinen. Es können kratzfeste Beschichtungsmaterialien hergestellt werden, die den Molekülen in den Zwischenräumen zwischen Nanopartikeln gerade genügend Bewegungsspielraum lassen, dass sie aktiv sein können und dennoch stabilisiert werden, und bei dem die Nanopartikel die hohe Abriebfestigkeit sichern. Damit ist es nun möglich, beliebige Oberflächen photochrom zu beschichten, wobei verschiedene Farbgebungen möglich sind.



Man kann sich unter anderem vorstellen, dass Wände oder Fliesen mit Dekors beschichtet werden, die nur bei Licht aktiv werden, also dass zum Beispiel Blumen zu blühen beginnen oder dekorative Ornamente auf der Oberfläche erscheinen, wenn die Sonne darauf scheint. Es können auch transparente Rollos beschichtet werden, die bei Sonneneinstrahlung abdunkeln.

Erwähnenswert ist auch die Möglichkeit, über Nanopartikel Hologramme zu erzeugen beziehungsweise durch Prägen von Oberflächen optisch Daten zu speichern. Hologramme können nach dem Prinzip der „wandernden Nanos“ erzeugt werden. Dabei wird eine Oberfläche mit einem Laser bestrahlt, der die darin enthaltenen Nanopartikel so arrangiert, dass ihre Struktur die entsprechende Information trägt. Solche Volumenphasen-Hologramme sind äußerst stabil und abriebfest und können auf Glas, Metallen, Keramik und Kunststoffen aufgetragen werden. Bei Glas, Keramik und Metallen hat man eine weitere Option: Durch die Auslegung der Nanopartikel als Keramik kann das organische Polymer weggebrannt werden. Das Resultat: glasartige Hologramme. Damit lassen sich Fliesen, Glasfenster oder auch Metalloberflächen mit holografischen Bildern versehen, die absolut abriebfest sind. Hier eröffnen sich neue Design-Möglichkeiten für solche Werkstoffoberflächen.

Neue Welten

Allgemein lässt sich also feststellen: Nanostrukturierte Werkstoffe haben das Potenzial, produktionstechnisch neue Welten zu eröffnen. Die ersten konkreten Einsatzmöglichkeiten finden sich in der Oberflächentechnik. Sie sind jedoch nicht darauf beschränkt. Es wird gewiss in Zukunft gelingen, Kunststoffe mit neuen Eigenschaften, zum Beispiel für Lebensmittelverpackungen, für den Brandschutz oder für Anwendungen der Reibungs- und Schmier-technik zu entwickeln. Nanopartikel können aber auch ganz konkret in der Medizin Anwendung finden: Zum Beispiel als Vehikel zum Einschleusen von Wirkstoffen in Zellen, zum selektiven Eintrag von zelltötenden Komponenten in Tumorzellen oder für die selektive thermische Abtötung von Tumorzellen. Erste Versuche sind hier schon sehr erfolgreich verlaufen: man

hat superparamagnetische Eisenoxidnanopartikel in Tumorzellen selektiv eingeschleust und die Tumorzellen durch Anlegen magnetischer Wechselfelder aufgeheizt und somit positiv beeinflusst.

Von nanostrukturierten Werkstoffen können wir also durchaus Innovationsschübe gerade in den Bereichen Medizin und Werkstofftechnik erwarten. Allerdings stehen viele Entwicklungen erst am Anfang. ○

Over seventy percent of the gross domestic product of the western industrialized nations is based on materials and substances. As a result innovative substances play an immense role in competition. That said, their importance is generally only evident at second glance. They enable the creation of products in the first place since they form the “enabling technologies” for components, parts and end products. It can ten years or longer from the first idea for a new substance via the chemical synthesis through to the finished product on the market. The methods for producing innovative substances are diverse and range from new chemical syntheses via revolutionary physical technologies through to the manufacture of systems based on nanoparticles.

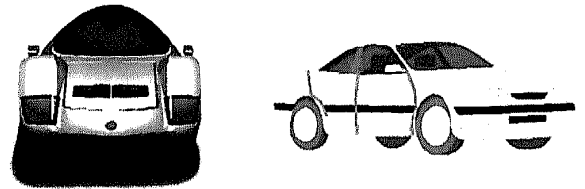
The Potential of Nanoparticles

Nanoparticles are materials that in terms of size lie between a molecule and macroscopic material. Molecules are measured in angstrom units of 10-10 m. Structures in the micrometer range are those measuring a thousandth of a millimeter upwards. In this connection chemical synthesis is the most important basic technology since it offers the only means of steering the surfaces of the nanoparticles in such a manner that they can be controlled using process engineering. What is important is that all processes take place in a liquid state and under “clean room” conditions since all contamination through the atmosphere must be avoided. (A common requirement for virtually all chemical synthesis methods.)

Nanoparticles dispose of an extraordinarily high specific surface of up to several hundred square meters per gram of weight. In practical terms this means that one gram of nanoparticles spread out would have a diameter of

Freie Sicht durch Nanopartikel. Linke Seite: Schema der Herstellung oberflächenreaktiver Nanopartikel. Unten links: Aus spritzgegossenem Polycarbonat könnte man für Autos eine gewölbte Verschiebung herstellen, die dem Fahrer uneingeschränkte Rundumsicht ermöglichen würde. Unten rechts: Durch eine elektrochrome Beschichtung von Autofenstern könnten diese auf- und abgedunkelt werden.

Nano-particles ensure a clear view of things. On the left: how surface-responsive nano-particles are made. Below left: injection-molded polycarbonate for curved windscreens that offer drivers all-round vision. Below right: the electro-chromatic coating on car windows could enable them to darken or become clear.



two to five billionths of a meter – equivalent to a medium-sized building site. Consequently, many of the molecular or nuclear components of nano-particles are to be found at their surface and not in the inner molecular or nuclear cluster. Such surfaces possess very specific properties. They are considerably more reactive than the surfaces of compact particles, since the number of exposed surface atoms is greater by the power of ten. This new reactivity can result in new properties: For example the acceleration of chemical processes (catalysis), or the attraction of molecules (adsorption), in order to achieve special surface functions. This results in composite substances known as nanocomposites.

The Interaction with Light

Another important property of nanoparticles is their interaction with light. Unlike larger particles they do not scatter light. In other words, they are in effect transparent. If such particles are lined up closely or embedded in a transparent matrix (glass or transparent polymers), they become invisible. However, other physical properties are retained. Thus it is possible to produce new optical substances that unite the properties of nanoparticles and those of matrices. Consequently, simple molding properties of plastics (thermoplastic molding), can be combined with the properties of inorganic substances. This enables the potential creation of a completely new series of optical substances. This is of importance to all fields of optics especially for modern news technology and information storage.

New Surface Technologies

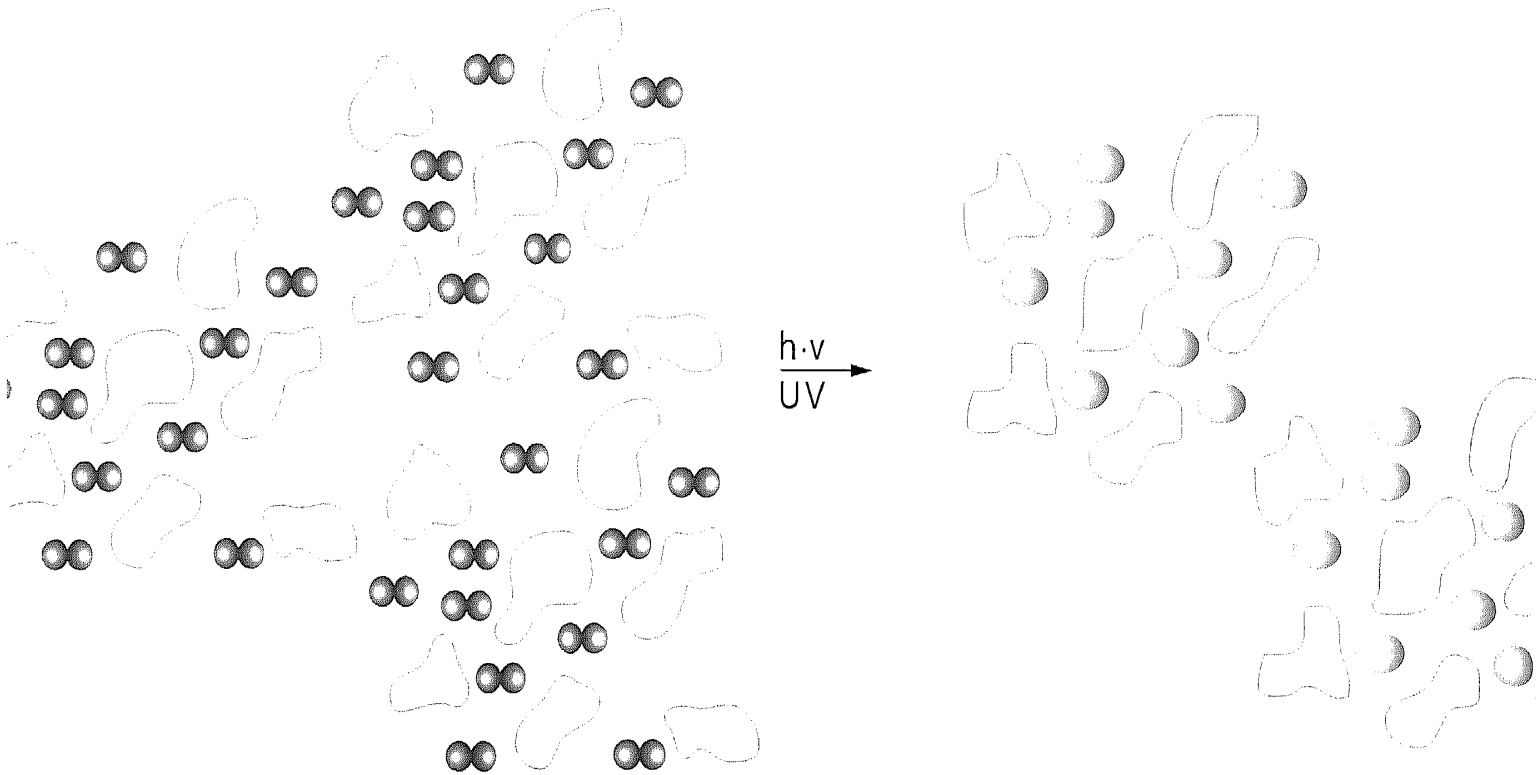
Though coating technology has reached a high standard for many functional and decorative properties in mass production, it is not yet possible to individually design prefabricated parts, components and end user systems. For instance, a satisfactory standard has now been reached in the field of corrosion protection on steel. But an anti-fingerprint-coating on stainless steel is not yet available. The situation is similar for highly-specialized functions on surfaces that are applied in layers. These might be holographic or antiseptic layers or coatings with self-cleaning properties.

Transparent plastics have the advantage over glass that they are easily workable, and thus allow for unusual styling. While it is impossible to produce complex forms with glass using injection molding, this is very easy to achieve with plastics. A decisive disadvantage of plastics over glass is that they are very susceptible to scratching. Boehmit nano-particles have now been developed which achieve a better surface on plastics for spectacles lenses. The nano-particles of this modified form of aluminum oxide act as a catalytic network, thereby forming a firm, non-abrasive structure. In addition, their intrinsic hardness contributes to their non-abrasiveness, and finally, since they do not scatter light they are invisible. An advantage of these coating substances is that they are applied like varnishes, and since they can be burned in at low temperatures the plastic is not damaged.

A variant on these materials was further developed for the coating of polycarbonate automobile screens and windows. Meanwhile, these coatings have advanced so much that they compare favorably to glass in their abrasion behavior despite the low curing temperature of 130 °C used for plastics (glass is melted at 1,500 °C). The production of such substances means it is possible to apply a non-abrasive layer to complex polycarbonate components. Polycarbonates are used extensively in automobile construction. They not only reduce weight but can also have implications for safety aspects. For instance, in rollover tests performed in test drives in the United States it emerged that the passenger sections of all vehicles fitted with polycarbonate windows survived the tests without deformation. By contrast, glass windows broke. In future, an injection-molded polycarbonate dome could provide virtually unrestricted all-round vision. And though such a dome would also require a sophisticated temperature regulation system, substances based on nano-particles would be extremely helpful here too. Specifically, electrochromic coatings can reduce the entry of light and thus energy in the form of warmth. This technology would allow the electrical lightening and darkening of layer systems. At present, on the market for glass and the relatively small rear mirrors only, prototypes based on nanotechnology are currently being tested.

Auf die Beschichtung kommt es an. Kratzfeste, photochrome Beschichtungen lassen sich vielseitig einsetzen. Diverse Form- und Farbgebungen sind möglich. Beschichtet man etwa Fliesen oder Wände mit lichtaktiven Nano-Dekoren, werden diese nur sichtbar, wenn die Sonne auf sie scheint.

The coating is what counts. Scratchproof, photochromatic coatings can be used in many ways. Various designs and colors. For example, if tiles or walls are light-active nano-decorations, then these only become visible if the sun shines on them.



Optical coating Systems

Thanks to the new nano-particle technology it is now also possible to apply anti-reflex layers to plastics and large surfaces such as windscreens. What is so special about nano-particle coats is that they are hardened at extremely low temperatures using exposure to UV, but can also be burned into glass onto transparent ceramic layers. This produces highly abrasion-proof anti-reflex coats. Such layers can also be applied to create light dashboards that substantially reduce the production of warmth, compared to dark ones that heat up quickly when exposed to sunlight.

Photochromatic coatings can also be produced with the aid of nano-particles. Photochromy refers to the change in color of entering light, and is brought about by so-called photochromic dyes that alter their light absorption capacity through arrested photons by using intramolecular movement to change the photonic structure.

It is also worth mentioning that nano-particles can be used to produce holograms or to store optical data by embedding them in surface coatings. Holograms can also be generated on after the principle of the "wandering nanos". This involves shining a laser on a surface which arranges the nano-particles integrated into it in such a way that their structure carries the corresponding information. Such volume phase holograms are extremely stable and abrasion-resistant, and can be applied to glass, metals, ceramic and plastics. Another option exists for ceramic and metals: by arranging the nano-particles as ceramic the organic polymer can be burned away. The result: glass-like holograms. In this manner abrasion-proof pictures can be applied to tiles, glass windows or metal surfaces. This opens up new design possibilities for such substance surfaces.

New Worlds

Generally speaking you can say that nanostructured substances have the potential to open up new worlds in product engineering. The first specific applications are in surface treatment. But that is by no means everything. In future we can expect the development of plastics with new properties for such things as food packaging, fire protection or friction and lubrication

technology applications. But nano-particles can also be used in the field of medicine: for example as a means of introducing substances into cells, for the selective introduction of cell-destruction components into tumor cells or the selective thermal destruction of tumor cells. First tests have proven highly successful: superparamagnetic iron-oxide nano-particles were introduced selectively into tumor cells, then these cells were positively influenced by heat produced through the application of alternating magnetic fields.

Accordingly, we can expect nanostructured substances to provide innovation impetus precisely in the fields of medicine and substance technology. That said, many developments are still in their infancy. ○



Helmut Schmidt ist Leiter des Instituts für Neue Materialien an der Universität des Saarlandes in Saarbrücken. Helmut Schmidt is Director of the Institute for New Materials at the Saarland University in Saarbrücken.