

Die Hexenküche der Werkstoffwissenschaften

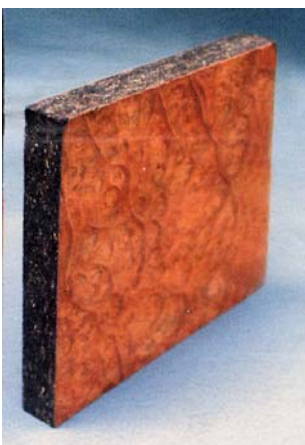
Von Dietmar Kippels

Metall, Holz, Glas, Kunststoff - die klassische Einteilung der Werkstoffe taugt nicht mehr. Die maßgeschneiderten Materialien von heute und morgen revolutionieren den Leichtbau, senken den Energieverbrauch, sind biokompatibel, recycelbar und reagieren intelligent auf veränderte Betriebsbedingungen.

Im Englischen nennt man sie Advanced Materials, fortschrittliche Werkstoffe. Gemeint sind für bestimmte Zwecke maßgeschneiderte Materialien oder auch solche mit bislang unbekanntem Eigenschaften. "Sie können durchaus innerhalb der traditionellen Werkstoffklassen wie Metalle, Keramiken oder Kunststoffe liegen" erläutert Prof. Dr. Ing. Peter Eyerer. Der Leiter des Fraunhofer-Instituts für Chemische Technologie (ICT) in Pfinztal zeigt sich optimistisch: "Aus einem exakt beschriebenen Anforderungsprofil läßt sich heute ein Werkstoff mit optimalen Eigenschaften entwerfen!" Ein solches High-Tech-Material werde allerdings meist ein Verbundwerkstoff sein, der Elemente aus unterschiedlichen Werkstoffklassen vereint.

"Zusammen mit Partnern aus der Industrie versuchen wir am ICT, neue Verbundstoffe zu komponieren, Kunststoffe mit neuartigen Eigenschaften auszustatten und Smart Materials zu entwickeln", umreißt Eyerer das Forschungsfeld in Pfinztal. Für ihn sind Smart Materials die Werkstoffe der Zukunft, denn sie gelten als "intelligent" und können veränderte Belastungen erkennen und darauf reagieren. "Die Lernfähigkeit von Werkstoffen", schränkt der Wissenschaftler ein, "steckt allerdings noch in den Kinderschuhen. Sie zu entwickeln, ist das höchste Ziel der Werkstoffforschung!" In ersten Arbeiten wird dabei versucht, den Memoryeffekt von bestimmten Nickel-Kobalt-Titan-Legierungen zu nutzen: Nach einer Verformung bei tiefen Temperaturen nehmen sie bei Wiedererwärmung ihre alte Form an - sie sind also temperatursensibel.

Eine vielversprechende Zukunft attestieren die Fraunhofer-Wissenschaftler auch den nachwachsenden Rohstoffen. "Sie dienen uns als Ausgangsmaterial für natürlich-polymere Werkstoffe und können synthetisch aus Erdöl gewonnene Kunststoffe vielfach ersetzen", hebt Peter Eyerer hervor. Diese haben ökologische Nachteile: Es gelangen kohlenstoffhaltige Verbindungen an die Erdoberfläche, die - nachdem sie zu Kunststoffen verarbeitet und in Produkten genutzt wurden - nur allzu häufig in Verbrennungsanlagen enden. "Auf diese Weise kommt zusätzliches Kohlendioxid in die Atmosphäre, das den Treibhauseffekt verstärkt". Produkte aus nachwachsenden Rohstoffen seien hier eine umweltverträgliche Alternative: "Man kann sie bedenkenlos verbrennen, denn dabei wird nur soviel Kohlendioxid in die Umwelt entlassen, wie die Pflanze zuvor beim Wachstum der Atmosphäre entnommen hat".



Das Polymer Lignin ist in jedem Baum und jeder Pflanze enthalten. Es wird durch Photosynthese gebildet. Als Baumaterial weist es vielfältigere Einsatzmöglichkeiten als Holz auf ist ihm aber in seinen Eigenschaften ähnlich.

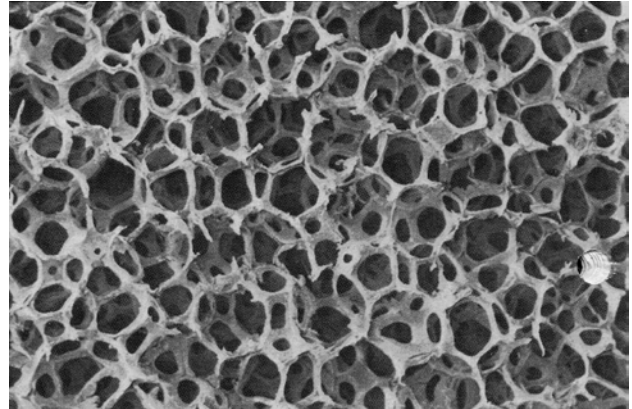
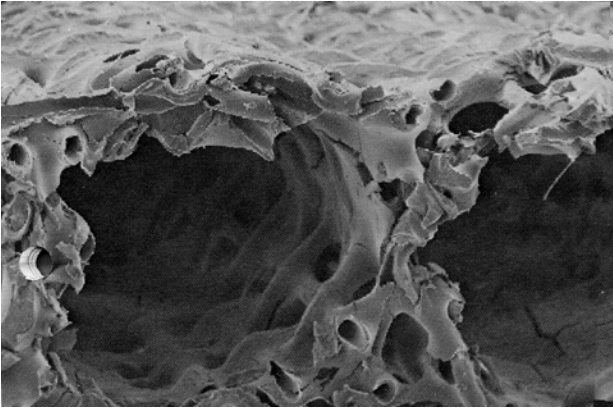
Treffendes Beispiel sind für den Werkstoffexperten die sogenannten Lignincompounds: "Dies sind durch Wärme verformbare, also thermoplastische Holzwerkstoffe, die größtenteils aus Lignin als Binder für andere Naturfasern bestehen!" Lignin ist nach der Cellulose das am häufigsten vorkommende Polymer. Es wird zu etwa 30 Prozent in jedem Baum und in jeder verholzenden Pflanze durch Photosynthese gebildet - durch Lignin erhält das Holz seine Festigkeit. An diesem Ausgangsstoff besteht im Grunde kein Mangel, denn als Nebenprodukt der Zellstoffindustrie fallen weltweit jährlich etwa 50 Millionen Tonnen Lignin an. Hier liegt geldwertes Potential brach, denn Lignincompounds lassen sich als Werkstoff auf normalem Maschinen zu Granulat, Formteilen oder Platten verarbeiten. Da sie aus den Holzkomponenten Lignin und Cellulosefasern bestehen, haben sie auch die mechanischen und thermischen Eigenschaften von Holz. "Das kann in bestimmten konstruktiven Situationen ein großer Vorteil sein, etwa beim Innenausbau von Autos", betont Eyerer. Dort müsse zum Beispiel jener Werkstoff, der die Edelholzfurniere am Armaturenbrett trägt, erhebliche Temperaturschwankungen aushalten können. Der dort üblicherweise genutzte Kunststoff aber habe einen völlig anderen Ausdehnungskoeffizienten als Holz: "Ein Kunststoffträger dehnt sich zehnmal stärker. Dadurch reißt das Holzfurnier bei Hitze leicht auf!" Für die Trägerkonstruktion besser geeignet wären Lignincompounds, denn sie seien quasi plastisches Holz mit definiert einstellbaren Eigenschaften.

"Doch auch die Entwicklung neuartiger Kunststoffe hält noch manche Überraschung parat." Dies steht für Peter Eyerer fest. "Recycelbare, leuchtende und leitende Polymere werden bald zum Alltag gehören und Spezialkunststoffe die Entwicklung neuer Batterien, Brennstoffzellen oder Displays beschleunigen."

Die Palette maßgeschneiderter Werkstoffe mit erfolgsträchtigem Zukunftspotential reicht weit über die High-Tech-Kunststoffe hinaus, auch wenn ihr Einsatz im Alltag fast schon selbstverständlich ist: "Wer denkt beim Stromeinschalten, Autofahren oder Fernsehen schon an Keramik?" fragt Prof. Dr. Waldemar Hermel, Leiter des Fraunhofer-Instituts für Keramische Technologien und Sinterwerkstoffe (IKTS) in Dresden. Ohne keramische Komponenten würde dies jedoch alles nicht funktionieren.

Hochleistungskeramik

"Hochleistungskeramiken sind maßgeschneiderte anorganische nichtmetallische Werkstoffe", erklärt der Fraunhofer-Forscher. Sie bestehen aus Grundbausteinen, die zu den häufigsten Elementen der Erde gehören. Ausgangsstoffe für derartige Keramiken sind extrem feine, homogene und hochreine Pulver: Oxide, Boride, Nitride, Carbide und Silizide von vielen Elementen des Periodensystems. Aus ihnen lassen sich zahlreiche Verbindungen mit den unterschiedlichsten Eigenschaften synthetisieren. "Dort, wo Metalle und Kunststoffe an ihre Grenzen stoßen, eröffnen sie oftmals völlig neue Anwendungen, denn keine andere Werkstoffgruppe kann so hohe Temperaturen und so extreme mechanische, chemische und elektrische Belastungen aushalten", betont Hermel. Für ihn gehören Hochleistungskeramiken deshalb auch zu den strategischen Werkstoffen: "Sie herstellen, handhaben und richtig einsetzen zu können, ist mitentscheidend beim Benchmarking der Industrienationen im 21. Jahrhundert."



Beispiele für Strukturvariabilität keramischer Netzwerke

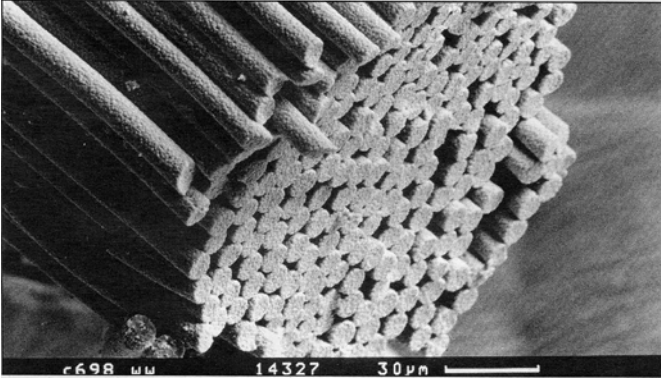
Weltweit wird der Umsatz an Hochleistungskeramik derzeit auf etwa 28 Milliarden DM geschätzt, hier liegt Deutschland mit knapp zwei Milliarden DM an dritter Stelle - nach Japan (11,5 Milliarden DM) und den USA (sieben Milliarden DM). Im Leitprojekt "Adaptronik" des Bundesministeriums für Bildung und Forschung entwickelt das IKTS zusammen mit anderen Fraunhofer-Instituten und der Industrie neue Verbundwerkstoffe, die piezokeramische Fasern und Folien enthalten. "Sie sollen in zukünftigen Maschinen aktiv die auftretenden Schwingungen dämpfen", umreißt Waldemar Hermel ein wichtiges Anwendungsfeld.

Und schon in näherer Zukunft könnten Aerogele als hochporöse Keramik-Materialien die Wärmedämmung und Hochleistungskeramiken das Kochen im Haushalt revolutionieren, "Wir haben zusammen mit Industriepartnern zum Beispiel einen Elektroherd entwickelt, der mit 30 Prozent weniger Energie auskommt", freut sich der Leiter des IKTS. Grundlage der Innovation sei eine drei Millimeter dicke Platte aus Siliziumnitrid, auf die sowohl Heizung als auch Sensoren aufgebracht wurden. Die Integration der Heizung in die Keramik ermöglicht nach IKTS-Angaben temperaturgesteuertes Kochen, hohen Komfort und geringe Bauhöhe.

Anpassungsfähig: Smart Materials

Am Vorbild der Natur wiederum orientieren sich die Fraunhofer-Entwicklungsarbeiten von multifunktionalen Verbundwerkstoffen, einer neuen Materialklasse, die auch adaptive Materialien oder, wie bereits erwähnt, Smart Materials genannt wird. "Das Vermögen, sich wechselnden Umgebungen anzupassen, also zu adaptieren, beruht zunächst darauf, daß diese biologischen Strukturen mit sensorischen und aktuatorischen Funktionselementen sowie mit Signalleitungen und einer signalverarbeitenden Einheit ausgerüstet sind", erläutert Prof. Dr. Gerd Müller, Leiter des Fraunhofer-Instituts für Silikatforschung (ISC) in Würzburg. Und weiter: "Nun ist es sicherlich so, daß solche Strukturen weder im Grad ihrer Integration noch dem der Effizienz ihrer Sensor/Aktuator-Reaktionen und kaum in der Befähigung zur Selbstreparatur technisch leicht zu kopieren sein dürften."

Am ISC wird ein erster - und wie die Wissenschaftler meinen - erfolgversprechender Schritt in Richtung technisch einsetzbarer adaptiver Materialien unternommen: Es geht um die möglichst strukturkonforme Integration funktioneller Komponenten wie Sensoren, Aktuatoren oder Regler in lasttragende Bauteile. "Strukturkonformität bedeutet, daß gute mechanische Eigenschaften, zum Beispiel von Faserverbundwerkstoffen, möglichst nicht oder nur gering durch die integrierten Funktionskomponenten und Signalleitungen beeinträchtigt werden," präzisiert Müller. Also müssen deren Abmessungen so klein wie nur möglich sein. Die logische Konsequenz hieß für die ISC-Forscher, Funktionskomponenten in einem Werkstoff der aus Fasern aufgebaut ist, auch in Form von Fasern zu integrieren.



Blei-Zirkonium-Titan-Fasern unter dem Rasterelektronenmikroskop

"Bei der Suche nach geeigneten Materialien wurden wir bei den Piezokeramiken fündig", erinnert sich Gerd Müller. Piezoelektrizität entsteht bei manchen Kristallen, wenn Druck auf sie ausgeübt wird. Doch auch der umgekehrte Weg läßt sich einschlagen. Wird Strom angelegt, verändern sie ihre Dimensionen. Hier interessierte die Forscher besonders das Blei-Zirkonium-Titan-System. "Es nimmt unter den Piezokeramiken eine Sonderstellung ein", hebt der Institutsleiter hervor. So sei es ein ernstzunehmender Kandidat für Sensorik/Aktuatorik-Komponenten, "denn diese Keramiken lassen einen sehr dynamischen und präzisen Betrieb zu!" In ihrer volumenspezifischen Energiedichte werden sie nach ISC-Angaben nur von den Formgedächtnis-Legierungen und dem biologischen Muskel übertroffen.

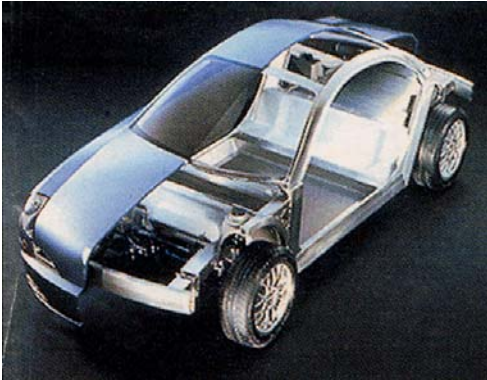
Gleichzeitig stellt die Verpackungsindustrie die Werkstoffentwickler vor neue Herausforderungen. Dort sucht man schon seit längerem nach Kunststoffen, die eine besonders hohe Barriere gegen Gasdurchlässigkeit bieten. So hat das Verpackungsmaterial die Füllgüter nicht nur vor extremen Einflüssen von außen zu schützen, wie etwa Sauerstoff oder Wasserdampf. Auch dem Verlust von Inhaltsstoffen, beispielsweise Aromen, soll Einhalt geboten werden. "Welche Eigenschaften ein Werkstoff zeigt, ist nicht alleine eine Frage seiner chemischen Zusammensetzung, sondern ebenso in seinem strukturellen Aufbau begründet", verweist Gerd Müller auf einen möglich Lösungsansatz. Dies gelte insbesondere für anorganisch-organische Hybridpolymere, sogenannte ORMOCERE, welche am ISC entwickelt wurden, "Sie werden im Sol-Gel-Verfahren erzeugt", führt Müller weiter aus. Solche Sole entstehen, wenn flüssige Substanzen durch chemische Reaktionen kleine Teilchen bilden. Durch Eindicken wird das Sol zum Gel: in einer Lösung reagieren die Grundbausteine, zu ihnen gehören auch spezielle Siliziumverbindungen, und bilden molekulare Netzwerke. Nach dem Abdampfen der Lösung bleibt ein Material zurück, das sich bei hohen Temperaturen oder unter Ultraviolettstrahlung aushärtet. "Beim Einsatz entsprechender Monomere lassen sich organisch-anorganische Netzwerke erzeugen. ORMOCERE werden auf diese Weise zu Werkstoffen mit gezielt einstellbaren Nanostrukturen", betont der ISC-Wissenschaftler. Mit diesem Werkstoff sei die Entwicklung von effektiven Barrierschichten möglich: "Derartige Trennschichten mit einer Dicke von sieben Mikrometern verringern die Durchlässigkeit von Kohlenwasserstoffen um bis zu 97 Prozent."

Der Stahl ist tot es lebe der Stahl

Auf dem Weg zu den maßgeschneiderten Materialien des 21. Jahrhunderts kann allerdings auch der wohl bekannteste und altbewährte Traditionswerkstoff mithalten: "Stähle heute, das sind High-Tech-Werkstoffe, die sogar in ihrem Herstellprozeß kaum noch Ähnlichkeiten mit ihren Vorläufersorten im 18. und 19. Jahrhundert aufweisen", hebt Prof. Dr. Ing. Hans-Dieter Kunze hervor. "Die Verfahrensschritte bei der Herstellung werden immer weiter abgekürzt, was preislich von Vorteil ist und den Werkstoff konkurrenzfähig hält", so der Leiter des Fraunhofer-Instituts für Fertigungstechnik und Angewandte Materialforschung (IFAM) in Bremen.

Gleichzeitig ist Stahl hochattraktiv für viele High-Tech-Anwendungen; der Grund sind seine überragenden Werkstoffeigenschaften, "Das innere Gefüge läßt sich durch Wärmebe-

handlung in festem Zustand umwandeln. Auf diese Weise können die Eigenschaften fast nach Belieben verändert werden", erläutert Kunze. Solche Umwandlungsprozesse finden auf kristalliner und atomarer Ebene statt. Vielversprechende Forschungsergebnisse in diesem Bereich sind superplastische Stähle mit optimaler Formbarkeit. "Der Grund dafür ist ihr feines Gefüge, der Korndurchmesser beträgt nur einige Hundert Nanometer", präzisiert der Wissenschaftler. Bisher nutzt die Industrie superplastische Stähle überwiegend im Flugzeugbau.



Metallschäume bringen frischen Wind in die Werkstoff-Palette. Autos machen sie leichter und sie absorbieren besser die Stoßenergie bei einem möglichen Aufprall. Aluminiumschäume werden bald schon um Stahlschäume ergänzt

Darüber hinaus steht durch die Erfindung der Metallschäume eine völlig neue Werkstoffklasse zur Verfügung. Hierbei handelt es sich um hochporöse Materialien, deren Porengröße und Porenverteilung im Herstellprozeß definiert einstellbar sind. "Ursprünglich für Aluminiumwerkstoffe entwickelt, läßt sich das Prinzip des Schäumens auch auf Stahl anwenden", weiß der Werkstoffwissenschaftler. Das Fertigungsprinzip sei relativ einfach, Metallpulver wird mit einer chemischen Verbindung vermischt, die später das Aufschäumen bewirkt. Am Schmelzpunkt des Metalls wird Gas freigesetzt, das zum Schäumen führt." Stahlschäume können zudem hervorragend Energie vernichten, etwa die Aufprallenergie bei einem Autounfall", verweist Hans-Dieter Kunze auf die schwergewichtigen Sicherheitsaspekte der neuen leichten Stahlinnovation. Er ist sicher: "in vermeintlich sattsam bekannten Werkstoffen schlummern Potentiale, die es nur wach zu küssen gilt!"

Die Schicht macht's

Aber nicht nur Werkstoffe nach Maß erschließen zukünftige Wettbewerbsvorteile, sondern auch flexible gestaltbare Bauteiloberflächen. Herausragende Eigenschaften sind für Prof. Dr. Heinz Dimigen, Leiter des Fraunhofer-Instituts für Schicht- und Oberflächentechnik (IST) in Braunschweig, Kratzfestigkeit und attraktives Aussehen: "Beides läßt sich durch das Aufbringen von Schichten erreichen" Die Meßlatte liegt hoch, denn die Oberfläche bestimmt wichtige Eigenschaften wie den Reibwert, den Verschleiß, die Bioverträglichkeit und die Leitfähigkeit. Für die moderne Oberflächentechnik bedeutet dies, daß gleichzeitig mehrere Produktanforderungen miteinander in Einklang gebracht werden und durch maßgeschneiderte Schichten optimiert werden müssen", betont der Oberflächenexperte. So solle zum Beispiel die diamantähnliche Beschichtung einer Hüftprothese Reibung und Verschleiß des Gelenks gering halten. Darüber hinaus müsse die Oberfläche biokompatibel sein und sich problemlos in das Körpergewebe einfügen.

Ganz oben auf der Wunschliste der Industrie steht der fehlerfreie und langzeitstabile Korrosionsschutz: "Wenn wir das schaffen, kann allein in Deutschland jährlich Material von etlichen Milliarden Mark eingespart werden", bemerkt Heinz Dimigen und prophezeit: "In nicht allzu ferner Zukunft werden die Oberflächen von Autos nicht mehr lackiert, sondern beschichtet."