

FORSCHUNG KOMPAKT

10 | 2012 ||

1 Künstliche Hornhaut schenkt Augenlicht

Häufig sind es Erkrankungen der Augenhornhaut, die Blindheit verursachen. Die etablierte Therapie ist die Transplantation der Cornea, doch diese ist in einigen Fällen nicht möglich. Oft sind auch Spenderhornhäute rar. Eine künstliche Hornhaut könnte diesen Mangel künftig ausgleichen und das Augenlicht der betroffenen Patienten retten.

2 Solarzellen aus Schwarzem Silizium

Drei Viertel der Sonnenenergie wandeln Solarzellen in elektrische Energie um – die Infrarotstrahlung dagegen, also die Wärmestrahlung, geht ungenutzt verloren. Anders bei Solarzellen aus Schwarzem Silizium: Sie nutzen auch diesen Teil des Sonnenspektrums. Forscher konnten den Wirkungsgrad dieser Zellen nun verdoppeln.

3 Kabelloser Daten-Turbo

Digitalkameras und Camcorder liefern hoch aufgelöste Filmsequenzen in Gigabyte-Größe. Allerdings dauert es Minuten, wenn man per Funk via Bluetooth die Bilddaten auf den heimischen Computer übertragen will. Eine flotte Alternative bietet das »Multi-Gigabit-Kommunikationsmodul« – es ist sechsmal schneller als das USB-Kabel.

4 Schneller Zahnpasta-Check

Im Handel sind unzählige Sorten von Zahnpasta erhältlich. Es gibt sie als Creme oder Gel, einige beugen Karies vor oder schützen den Zahn vor Säureangriffen, wiederum andere eignen sich für empfindliche Zähne. Doch welche Zahnpasta reinigt gut? Welche schont den Zahnschmelz? Aufschluss hierüber gibt ein neues Bewertungsverfahren.

5 Mit weniger Sprit und Öl zum Ziel

Kurz an die Tankstelle – und wieder ist das Portemonnaie um einiges leichter. Eine neue Herstellungstechnologie für Motoren soll den hohen Tank- und Ölkosten nun entgegenwirken: Sie sorgt dafür, dass Verbrennungsmotoren zwei bis drei Prozent weniger Sprit und deutlich weniger Öl verbrauchen. Zudem entfällt ein Herstellungsschritt.

6 Blitz, schlag' ein!

Jedes Jahr fallen mehrere Millionen Tonnen Bauschutt an. Ein effizientes Recycling von Beton – dem Baustoff des 20. und 21. Jahrhunderts – existiert noch nicht. Forscher arbeiten an neuen Recyclingverfahren: Mithilfe von Blitzen zerlegen sie das Gemisch aus Zementstein und Gesteinskörnung in seine Einzelbestandteile.

Die Fraunhofer-Gesellschaft ist die führende Organisation für angewandte Forschung in Europa. Unter ihrem Dach arbeiten 60 Institute an Standorten in ganz Deutschland. Mehr als 20 000 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter bearbeiten das jährliche Forschungsvolumen von 1,8 Milliarden Euro. Davon fallen 1,5 Milliarden Euro auf den Leistungsbereich Vertragsforschung. Über 70 Prozent dieses Leistungsbereichs erwirtschaftet die Fraunhofer-Gesellschaft aus Aufträgen der Industrie und öffentlich finanzierten Forschungsprojekten. Internationale Niederlassungen sorgen für Kontakt zu den wichtigsten gegenwärtigen und zukünftigen Wissenschafts- und Wirtschaftsräumen.

Impressum

FORSCHUNG KOMPAKT der Fraunhofer-Gesellschaft | Erscheinungsweise: monatlich | ISSN 0948-8375 | Herausgeber und Redaktionsanschrift: Fraunhofer-Gesellschaft | Presse und Öffentlichkeitsarbeit | Hansastraße 27c | 80686 München | Telefon +49 89 1205-1333 | presse@zv.fraunhofer.de | Redaktion: Franz Miller, Janine van Ackeren, Britta Widmann | Abdruck honorarfrei, Belegexemplar erbeten. Alle Pressepublikationen und Newsletter im Internet auf: www.fraunhofer.de/presse. FORSCHUNG KOMPAKT erscheint in einer englischen Ausgabe als RESEARCH NEWS.

Künstliche Hornhaut schenkt Augenlicht

FORSCHUNG KOMPAKT

10 | 2012 || Thema 1

Unsere Augen sind das Fenster zur Welt, doch tausende Menschen können kaum noch oder gar nicht mehr durch dieses Fenster sehen – ihre Hornhaut ist defekt. Ursache sind oftmals Unfälle wie Verätzungen, chronische Entzündungen, fehlende Limbusstammzellen im Auge und Erkrankungen wie Keratokonus, bei der sich die Hornhaut ausdünnert und kegelförmig vorwölbt. Den Betroffenen hilft nur noch eine Spenderhornhaut. Allein in Deutschland warten 7000 Menschen auf dieses rettende Gewebe, das jedoch wie alle Spenderorgane Mangelware ist. Um diese Situation zu entschärfen, entwickeln Dr. Joachim Storsberg und sein Team vom Fraunhofer-Institut für Angewandte Polymerforschung IAP in Potsdam in enger Zusammenarbeit mit dem Aachener Centrum für Technologietransfer ACTO e. V. künstliche Hornhäute. Wissenschaftliche Partner im Projekt »ARTCORNEA« sind die Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg, das ACTO e. V. und die Augenklinik Köln-Merheim.

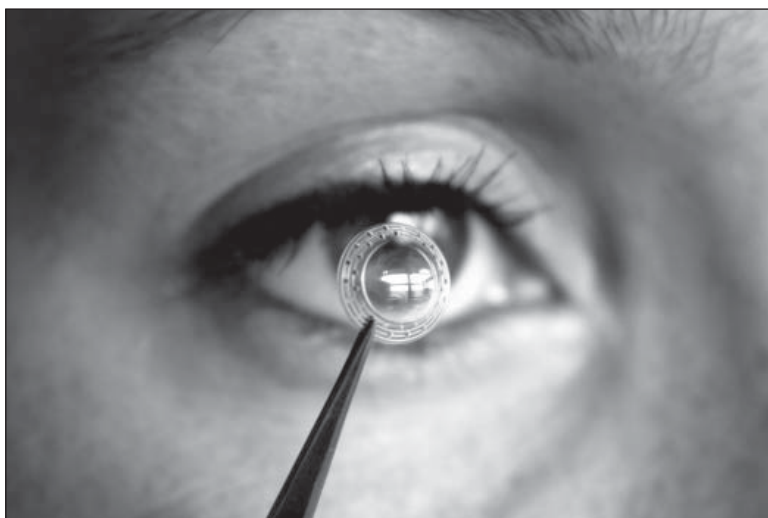
»Wir entwickeln zwei unterschiedliche künstliche Hornhäute, eine davon können wir als einfachen Transplantatersatz den Patienten einsetzen, die eine Spenderhornhaut gut vertragen, aber wegen des großen Mangels keine erhalten«, sagt Dr. Storsberg, Projektleiter am IAP. Der Wissenschaftler verfügt über großes Know-how hinsichtlich solcher Keratoprothesen: Von 2005 bis 2009 hat er schon einmal in Kooperation mit interdisziplinären Teams und Unternehmen eine künstliche Hornhaut hergestellt, die sich speziell für extrem komplizierte Versorgungssituationen bei getrübten Hornhäuten von Patienten eignete. Die Betroffenen tolerieren eine Spenderhornhaut aufgrund ihrer Erkrankung nicht oder haben bereits mehrfache erfolglose Transplantationen hinter sich. Für diese Leistung erhielt Dr. Storsberg den Josef-von-Fraunhofer-Preis 2010. »Von unserem neuen Implantat, ArtCornea® genannt, werden hingegen sehr viele Patienten mit unterschiedlichsten Krankheitsbildern profitieren. Wir haben ArtCornea® bereits als Warenzeichen eintragen lassen«, so der Forscher.

Implantat verwächst mit natürlicher Hornhaut

Basis von ArtCornea® ist ein Polymer, das Wasser gut aufnehmen kann. Dr. Storsberg und sein Team haben das ursprüngliche Material mit einer neuen Oberflächenbeschichtung versehen, die komplette Oberfläche selektiv funktionalisiert: Der Haptikrand etwa wurde chemisch so verändert, dass er etwas hydrophober, also wasserabstoßender ist und Zellen darauf anwachsen können. Nur so verbindet sich das Implantat mit dem umgebenden humanen Gewebe und erhält Stabilität. Bevor die Experten die Keratoprothese in Zellkulturen prüfen konnten, wurde sie sterilisiert. Ziel der Forscher war es, die Oberfläche und Optik des Implantats zu vergrößern und so einen besseren Lichteinfall zu ermöglichen, als dies bei der Vorgänger-Keratoprothese der Fall war – eine hohe Anforderung. »ArtCornea® lässt sich optisch gut verankern, man erkennt nur noch die Naht. Außerdem ist sie leicht implantierbar und ruft keine Immunreaktion hervor«, betont Dr. Storsberg die Vorzüge der neuen Entwicklung.

Auch bei der zweiten künstlichen Hornhaut, ACTO-TexKpro genannt, ist es den Experten gelungen, ein chemisch und biologisch inertes Basismaterial biologisch kompatibel zu machen. Hierfür veränderte Dr. Storsberg das Ausgangsmaterial Polyvinylidendifluorid selektiv, indem er das textile Fluorkunststoffgewebe mit einem reaktiven Molekül beschichtete. Dadurch konnte der Rand des Implantats fest mit der natürlichen Hornhaut verwachsen, während die innere Optik aus Silikon frei von Zellen und somit klar blieb. Die ACTO-TexKpro eignet sich vor allem für die Erstversorgung, etwa wenn die Hornhaut durch chronische Entzündungen, schwere Unfälle sowie Verätzungen oder Verbrennungen zerstört wurde.

Die Experimente wurden von der Arbeitsgruppe Dr. Norbert Nass und Dr. Saadettin Sel der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg durchgeführt. Sowohl die TexKpro als auch die ArtCornea® überprüften die Ärzte zunächst im Labor auf ihre Verträglichkeit und setzten sie anschließend in vivo mehreren Kaninchen ein – mit Erfolg: Die implantierten Prothesen erwiesen sich über sechs Monate als reizfrei eingeheilt, klar und dicht im Auge verankert, eine Abstoßung fand nicht statt. Die Kontrollen nach den Operationen zeigten, dass die Tiere die künstlichen Hornhäute gut vertragen. Demnächst sollen die klinischen Tests an der Augenklinik Köln-Merheim unter der Leitung von Prof. Dr. Norbert Schrage starten. Die Chancen, dass sich die bisherigen positiven Ergebnisse in den klinischen Prüfungen bestätigen, stehen gut – alle Kooperationspartner stufen die Erfolgsaussichten als sehr hoch ein. Ein weiteres Erfolgsindiz: Bereits 2009 wurde eine für Ultima-Ratio-Patienten entwickelte Keratoprothese mehreren Betroffenen implantiert, die humane Spenderhornhäute abstoßen. Sie alle tragen die Kunsthornhaut bis heute, ohne dass Komplikationen aufgetreten sind.



Die künstliche Hornhaut ArtCornea® lässt sich leicht implantieren. Sie ruft keine Immunreaktion hervor. (© Fraunhofer IAP) | Bild in Farbe und Druckqualität: www.fraunhofer.de/presse

Solarzellen aus Schwarzem Silizium

FORSCHUNG KOMPAKT

10 | 2012 || Thema 2

Die Sonne strahlt vom tiefblauen Himmel – und die Solarzellen auf den Dächern verwandeln diese Energie in Strom. Allerdings nur zum Teil: Mit der Infrarotstrahlung im Sonnenlicht, die rund ein Viertel des Spektrums ausmacht, können die Zellen nichts anfangen. Diese Wärmestrahlung geht ungenutzt verloren. Eine Alternative bietet Schwarzes Silizium: Es nutzt das komplette Sonnenlicht und wandelt auch die Infrarotstrahlung nahezu vollständig um. Doch was verbirgt sich hinter diesem Material?

»Schwarzes Silizium erhält man, indem man übliches Silizium unter Schwefelatmosphäre mit einem Femtosekundenlaser bestrahlt«, sagt Dr. Stefan Kontermann, Gruppenleiter der Fraunhofer-Projektgruppe Faseroptische Sensorsysteme des Fraunhofer-Instituts für Nachrichtentechnik, Heinrich-Hertz-Institut HHI. »Die Oberfläche wird aufgeraut, einzelne Schwefelatome in das Siliziumgitter eingebaut und das Material erscheint schwarz.« Würde man Solarzellen mit diesem Schwarzen Silizium ausstatten, wäre ihr Wirkungsgrad deutlich höher, da sie das gesamte Sonnenspektrum nutzen.

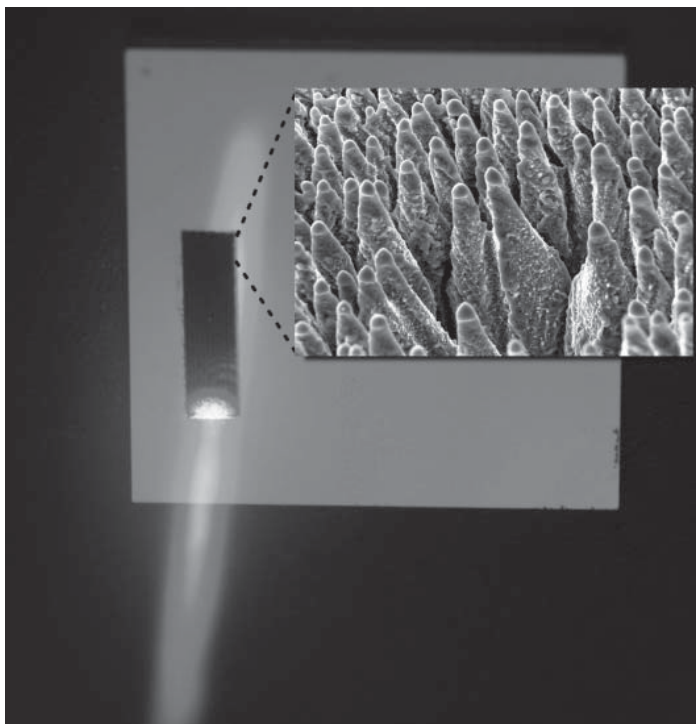
Den Forschern am HHI ist es nun gelungen, den Wirkungsgrad von Solarzellen aus Schwarzem Silizium zu verdoppeln – also mehr Strom aus dem infraroten Teil des Sonnenlichts zu produzieren. »Das haben wir erreicht, indem wir die Pulsform des Lasers verändert haben, mit dem wir das Silizium bestrahlen«, sagt Kontermann. So konnten die Wissenschaftler ein Problem lösen, das das Schwarze Silizium birgt: Während das Infrarotlicht bei normalem Silizium nicht genügend Energie hat, die Elektronen in das »Leitungsband« zu heben und somit in den Stromkreislauf zu bringen, also in Strom umzuwandeln, bildet der eingebaute Schwefel beim Schwarzen Silizium eine Art Zwischenstufe. Man kann sich das so vorstellen, als wolle man auf eine Mauer steigen – einmal erfolglos, da die Mauer zu hoch ist, einmal in zwei Schritten über eine Zwischenstufe. Allerdings ermöglicht diese Zwischenstufe im Schwefel nicht nur, dass Elektronen auf die »Mauer« hinaufkommen können, sondern ebenso den umgekehrten Weg: Elektronen aus dem Leiterband springen über diese Stufe wieder zurück – der elektrische Strom geht wieder verloren. Ändern die Forscher nun den Laserpuls, der die Schwefelatome in das Atomgitter befördert, ändern sie auch die Plätze, die diese Atome dort einnehmen und die Höhe ihrer »Stufen«, also ihr Energieniveau. »Wir haben den eingebauten Schwefel über die Laserphotonen so verändert, dass möglichst viele Elektronen hinaufkommen können, aber möglichst wenig wieder hinuntergelangen«, fasst Kontermann zusammen.

Preisgekröntes Projekt

Im ersten Schritt haben die Wissenschaftler die Laserpulse geändert und untersucht, wie sich die Materialeigenschaften von Schwarzem Silizium sowie der Wirkungsgrad von Solarzellen aus diesem Material ändern. Nun arbeiten sie daran, verschiedene Laserpulse einzusetzen und zu analysieren, wie sich die Energieniveaus des Schwefels ändern. Künftig soll ein System von Algorithmen automatisch herausfinden, wie der

Laserpuls verändert werden muss, um den optimalen Wirkungsgrad zu erreichen. Das Projekt »Maßgeschneiderte Lichtpulse« gehört zu den diesjährigen Preisträgern im Wettbewerb »365 Orte im Land der Ideen«, die Auszeichnung findet am 11. Oktober 2012 in Goslar statt.

Prototypen der Schwarzen Silizium-Solarzellen konnten die Forscher bereits herstellen. In einem nächsten Schritt wollen sie diese Zellen mit der kommerziellen Technologie vereinen. »Wir hoffen, den Wirkungsgrad kommerzieller Solarzellen, der momentan bei etwa 17 Prozent liegt, um ein Prozent erhöhen zu können, indem wir sie mit Schwarzem Silizium kombinieren«, sagt Kontermann. Ausgangspunkt soll eine handelsübliche Solarzelle sein, von der die Experten die Rückseite entfernen und teilweise mit Schwarzem Silizium beschreiben – somit entsteht eine Tandem-Solarzelle, die normales und Schwarzes Silizium enthält. Weiterhin planen die Wissenschaftler eine Ausgründung: In dieser Firma wollen sie die Laseranlage vermarkten, mit der Hersteller ihre bestehenden Solarzellenlinien erweitern können. Diese wären dann in der Lage, das Schwarze Silizium selbst zu produzieren und serienmäßig in die Zellen einzubauen.



Schwarzes Silizium wird mit dem Laser bestrahlt. Kleines Foto: Schwarzes Silizium in der Vergrößerung. (© Fraunhofer HHI) | Bild in Farbe und Druckqualität: www.fraunhofer.de/presse

Kabelloser Daten-Turbo

FORSCHUNG KOMPAKT

10 | 2012 || Thema 3

Ob Hochzeit, Geburtstag oder Party – bei großen Festen hat man heute meist seinen Camcorder dabei. Das Datenkabel allerdings fehlt oftmals. Aus dem Versprechen, dem Gastgeber die Aufnahme am Morgen nach der Feier auf den Rechner zu spielen, wird meist nichts. »Kein Problem«, sagt man dann. »Ich brenne dir eine CD, wenn ich wieder zu Hause bin.« Einfacher wäre es jedoch, wenn sich die Daten ohne Kabel übertragen ließen.

Das dachte sich auch Frank Deicke vom Fraunhofer-Institut für Photonische Mikrosysteme IPMS in Dresden. Es müsste doch möglich sein, große Datenmengen schnell und einfach von einem Gerät auf ein anderes zu übertragen. Natürlich sind Funkverbindungen à la Bluetooth oder WLAN längst Alltag. Doch wer damit ein hoch aufgelöstes Video von der Hochzeitsfeier auf den Computer überspielen will, braucht Geduld. Der Datentransfer der Gigabyte-mächtigen Filmdatei per Funk benötigt Minuten. Deicke und seine Kollegen sind einen anderen Weg gegangen. Der Ingenieur ist Spezialist für Infrarot-Technik. Vor wenigen Wochen hat der Forscher ein Infrarot-Modul vorgelegt, das Seinesgleichen sucht. »Es überträgt Daten mit einer Rate von 1 Gigabit pro Sekunde (Gbit/s). Zum Vergleich: Ein E-Mail-Buchstabe besteht aus acht Bit. Das Infrarot-Modul schafft damit in einer Sekunde 125 Millionen Buchstaben«, so Deicke.

Schneller als USB2, WLAN oder Bluetooth

Für gewöhnlich sind Kabelverbindungen zwischen Elektrogeräten schneller als der Funk. In diesem Fall ist es anders. Das neue »Multi-Gigabit-Kommunikationsmodul« schafft das Sechsfache der USB2-Kabel-Geschwindigkeit. Ein Vergleich mit den etablierten Funkstandards ist noch eindrucksvoller: Die IPMS-Lösung ist 46-mal schneller als herkömmliches WLAN und 1430-mal rascher als das Bluetooth-Verfahren, mit dem zum Beispiel Handys und Headset-Kopfhörer kommunizieren. Das liegt vor allem an einer schnellen Signalverarbeitung. Denn das Nadelöhr sind das Ver- und Entschlüsseln der Daten, das Ver- und Entpacken für den Versand durch die Luft. So muss die Video-Information von der Digitalkamera zunächst in ein Funksignal umgewandelt werden, ehe sie auf die Reise geht. Im Empfangsgerät, einem Laptop zum Beispiel, wird das Funksignal dann wieder entschlüsselt und in die Filmdatei verwandelt. Das kostet Rechenzeit.

Für den Forscher und sein Team bestand die Herausforderung also darin, eine kleines Infrarot-Modul zu bauen, dessen Hard- und Software schnell arbeiten. Zudem sollte der Rechenaufwand möglichst gering sein, denn je stärker die Mikroprozessoren werkeln, desto mehr Strom fressen sie. »Letztlich haben wir das durch kluges Kombinieren verschiedener technischer Lösungen erreicht«, sagt Deicke. Das gilt zum Beispiel für den Transceiver, jenes optische Bauteil, das Lichtsignale zugleich aussenden und empfangen kann. Der Transceiver ist etwa so groß wie ein Kinderfingernagel, enthält aber dennoch

eine Laserdiode, die die Lichtimpulse aussendet und einen Photodetektor, der diese wahrnimmt. Wichtig sind auch die Decoder, welche die verschlüsselten Daten empfangen und übersetzen. Da die Lichtsignale in der Luft abgeschwächt und verzerrt werden, mussten Deicke und seine Mitarbeiter ausgeklügelte Fehlerkorrekturmechanismen programmieren. Wie bei der TV-Fernbedienung muss auch zwischen dem Sender und dem Empfänger freie Sicht herrschen. Für Frank Deicke kein Problem: »Man legt die Kamera oder das Smartphone einfach direkt neben den Computer oder den Laptop.« Nach wenigen Sekunden ist das Video übertragen.

Die Forscher vom IPMS wissen sehr genau, dass sich eine solche Technologie nur dann durchsetzen kann, wenn sie von den Herstellern als Standard akzeptiert wird. Erst dann wird sie in verschiedensten Geräten verbaut, sodass der Kunde diverse Laptops und Kameras problemlos verkuppeln kann. Deicke engagiert sich deshalb in der Infrared Data Association. Er bringt sein Wissen unter anderem in die »10 Giga-IR-Arbeitsgruppe« ein. Damit ist sein Ziel klar. Es geht noch schneller als 1 Gbit pro Sekunde. »Mit unserem aktuellen Infrarot-Modul zeigen wir bereits, dass die Infrarot-Technologie herkömmliche Standards weit hinter sich lassen kann. Für die Zukunft wollen wir die Leistung noch steigern.« Deicke konnte bereits zeigen, dass sich die Übertragungsrate seines aktuellen Moduls auf 3 Gbit hochtreiben lässt. 10 Gbit erscheinen da durchaus erreichbar zu sein.



Dieses optische drahtlose Kommunikationsmodul bringt es auf eine Übertragungsrate von 3 Gbit/s. (© Fraunhofer IPMS/Jürgen Loesel) | Bild in Farbe und Druckqualität: www.fraunhofer.de/presse

Schneller Zahnpasta-Check

Schöne Zähne wünscht sich jeder. Schließlich symbolisiert ein perfektes Gebiss Gesundheit und Jugend, es kann sogar Karrierechancen beeinflussen. Doch makellose Zähne setzen eine gründliche Mundhygiene voraus. Aber wie gut oder schlecht reinigt eine Zahnpasta, wie wirksam ist sie? Wie muss sie beschaffen sein, um die Zahnstruktur nicht zu beschädigen? Hierfür interessieren sich vor allem die Hersteller von Zahnpflegemitteln. Antwort auf diese Fragen liefern Forscher vom Fraunhofer-Institut für Werkstoffmechanik IWM in Halle. In enger Zusammenarbeit mit dem MikroTribologie Centrum μ TC in Karlsruhe haben sie ein neues Verfahren entwickelt, mit dem sie die Schmirgelwirkung von Zahnpasten – Experten sprechen von Abrasivität – im Labor vergleichen und bewerten können.

Gefährlicher Schmirgeleffekt

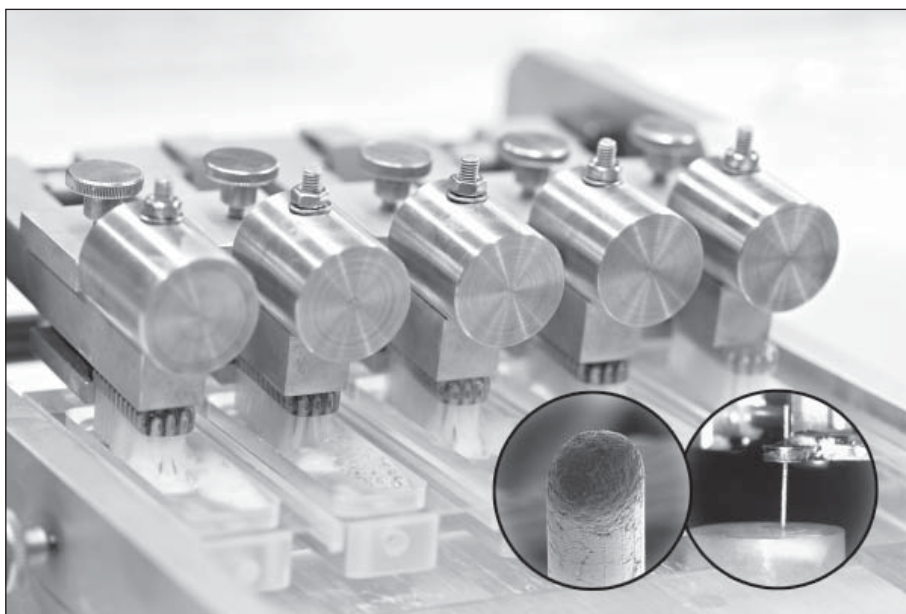
Ein wichtiger Bestandteil von Zahnpasten sind Putzkörper, auch Abrasivstoffe genannt, die den Zahnbelag mechanisch entfernen. Eine Paste sollte nicht zu abrasiv sein, ihre Schmirgelwirkung also nicht zu stark ausfallen. Über Jahre hinweg kann der Abrieb den Zahnschmelz schädigen, der sich nicht regeneriert. Deutlich ausgeprägter zeigen sich die Schäden zudem am weichen Dentin. Wer freiliegende Zahnhälse hat, sollte daher eine Zahncreme mit geringem Abrieb wählen, empfiehlt die Bundeszahnärztekammer.

Wie abrasiv eine Zahnpasta auf die Zahnhartsubstanzen wirkt, hängt von der Härte, Menge und Größe der beigefügten Putzkörper wie Silizium- oder Aluminiumoxid ab. Ein Maß für die Abrasivität ist der RDA-Wert (radioactive dentin abrasion), der über eine Spanne von 30 bis über 200 reicht und in einem aufwändigen Verfahren ermittelt wird. Hierbei bürsten die Tester radioaktiv markierte Dentinproben und bestimmen das abradierete Material anschließend aus der resultierenden Strahlungsintensität der Zahnpasta-Wasser-Mischung. Doch die Aussagekraft des RDA-Werts ist in der Fachwelt umstritten, unter anderem weil die Messergebnisse der Labors mitunter stark variieren.

Abriebraten mit mikrotribologischen Tests bestimmen

Eine alternative Methode zu diesem Radiotracer-Verfahren haben die Forscher vom IWM gewählt. »Mit unserem neuen Ansatz können wir realistische Abriebsraten bestimmen und die Wechselwirkung zwischen der Bürste, dem Zahnschmelz und der Zahnpasta charakterisieren. Zudem sind unsere Tests weniger aufwändig als die zeitintensiven Radiotracerverfahren, die weltweit nur sehr wenige Laboratorien durchführen«, sagt Dr. Andreas Kiesow, Gruppenleiter am IWM. Mit mikrotribologischen Experimenten ist es dem Wissenschaftler und seinem Team gelungen, den Abrieb verschiedener Zahnpasten in mikroskopischer Größenskala zu bestimmen und die Reibwerte zu messen. »Bislang gab es in diesem Zusammenhang keine tribologischen Kennwerte wie den Reibungskoeffizienten«, so Kiesow.

Für ihre Experimente verwendeten die Forscher humane Zähne sowie verschiedene, von Industriepartnern hergestellte Zahnpasten. Diese verdünnten sie mit Wasser und Speichel, um so eine Lösung zu erhalten, die in ihrer Konsistenz der Zahnpasta-Speichel-Mischung beim echten Zähneputzen entspricht. Die Reib- und Verschleißtests wurden jeweils mit einer einzelnen Borste – die Experten nennen sie Monofilament – durchgeführt, die in tribologische Spezialgeräte, einen Mikrotribometer und einen Nanoindenter, eingespannt und sowohl in geradlinigen als auch in kreisenden Bewegungen, im letzteren Fall bis zu 8000-mal, über die Probe gezogen wurden. Danach wurde unter anderem die Tiefe der entstehenden Reibspur auf dem Zahn mit hochempfindlichen Instrumenten vermessen. »Wir stellten fest, dass der RDA-Wert der Zahnpasten mit der Abrasionstiefe korreliert: Je höher dieser Wert ist, desto höher fällt der Abrieb aus. Durch die Analyse des Reibwerts erkannten wir außerdem eindeutige Abhängigkeiten zwischen dem Reibverhalten der Borste auf dem Zahnschmelz und der Abrasivität der Zahnpasta«, resümiert Kiesow. Mit dem neuen Verfahren ist es den Forschern möglich, nicht nur die Abrasivität schneller und einfacher zu charakterisieren, sondern auch zu beschreiben, wie unterschiedliche Geometrien von Zahnbürstenfilamenten auf die Zahnoberfläche einwirken und wie die Borstenform idealerweise beschaffen sein sollte. Mit ihrem Know-how können die Experten vom IWM Hersteller von Zahnpflegemitteln bei der Produktentwicklung unterstützen. Profiteur ist letzten Endes der Verbraucher.



Ihre mikrotribologischen Analysen der Wechselwirkungen zwischen Zahnbürsten, Zahncremes und der Zahnoberfläche wollen die Forscher künftig durch praxisnahe Tests mit einer eigens entwickelten Zahnputzmaschine ergänzen. Rechts unten: Reib- und Verschleißtests mit einzelnen Borsten. (© Fraunhofer IWM) | Bild in Farbe und Druckqualität: www.fraunhofer.de/presse

Mit weniger Sprit und Öl zum Ziel

FORSCHUNG KOMPAKT

10 | 2012 || Thema 5

Ohne Öl hat ein Motor schnell einen Totalschaden. Die zylindrischen Kolben brauchen ausreichend Schmiermittel, damit sie sich in den ebenfalls zylindrischen Laufbuchsen im Motorblock gut bewegen können. Dabei erhöhen zwei Effekte die Reibung: Zum einen verzieht sich die zylindrische Bohrung, wenn der Zylinderkopf aufgesetzt wird – man spricht von statischem Verzug. Zum anderen verformt sich die Bohrung durch die Temperatur, wenn der Motor läuft. Dieser thermische Verzug hängt von der Temperatur und der Art des Motors ab. Der Kolben läuft in der Bohrung also nicht komplett rund, an einigen Stellen eckt er an. Die Folge: Der Motor verbraucht deutlich mehr Öl und auch etwas mehr Benzin. Den statischen Verzug können die Automobilhersteller recht gut ausgleichen. Beim letzten Bearbeitungsgang, dem Honen, schrauben die Techniker eine Honbrille auf den Motor, die den montierten Zylinderkopf simuliert. Erst dann wird die Bohrung final bearbeitet. Schwierigkeiten dagegen bereitet der thermische Verzug: Ihn kann man bisher noch nicht ausgleichen.

Zwei bis drei Prozent Kraftstoff sparen

Forscher am Fraunhofer-Institut für Werkzeugmaschinen und Umformtechnik IWU haben dieses Problem nun gelöst – gemeinsam mit einem Automobil- und einem Werkzeugmaschinenhersteller. »Mit unserer Technologie können wir sowohl den statischen als auch den thermischen Verzug ausgleichen. Bei Verbrennungsmotoren sparen wir so zwei bis drei Prozent Kraftstoff ein. Zudem entfällt ein Bearbeitungsschritt bei der Motorherstellung«, sagt André Bucht, Abteilungsleiter am IWU. Der Clou der Technologie ist ein Werkzeug, das seine Form anpassen kann. Die Forscher errechnen zunächst, wie sich ein Motorblock verziehen wird: Sie ermitteln den statischen Verzug, indem sie einen Zylinderkopf aufschrauben und ausmessen, wie sich die Bohrung verformt hat. Zudem simulieren sie den thermischen Verzug bei einer Betriebstemperatur von 90 Grad Celsius, jeweils für die entsprechende Motorserie. Anhand dieser Berechnungen ändert das Honwerkzeug seine Form: Es bildet kleine Erhebungen aus und formt die Bohrung beim Bearbeiten so, dass sie später im laufenden Motor exakt rund ist. Somit kann sich der Kolben ohne allzuviel Reibung darin bewegen. Um die Werkzeugform anzupassen, haben die Forscher kleine Piezoaktoren in das Werkzeug eingebaut, die den Durchmesser entsprechend aufweiten. »So können wir beliebige Unrundheiten in die zu bearbeitende Bohrung bringen«, sagt Bucht.

Ein Prototyp des Werkzeugs existiert bereits. Mit ihm gelingt es den Forschern, die nötige Oberflächengenauigkeit zu erreichen und die üblichen Taktzeiten in der Motorfertigung zu halten – jeder Motor muss in 20 bis 30 Sekunden zusammengesetzt sein. Momentan laufen die Untersuchungen – in Zusammenarbeit mit einem Autobauer – auf dem Prüfstand. Hier wird ein mit dem Werkzeug gefertigter Motor getestet. Die Forscher prüfen: Wie weit reduziert sich die Reibung im Kolben? Wie weit sinkt der Kraftstoffverbrauch? Ist die Lebensdauer des Motors genauso lang wie die herkömmlich

gebauter? Die Untersuchungen werden Ende des Jahres abgeschlossen. In einem weiteren Schritt wollen die Forscher das Werkzeug und den Herstellungsprozess so gestalten, dass es in die Fertigungslinien der Fahrzeugbauer aufgenommen werden kann.



Das Honwerkzeug kann seine Form an den Zylinderkolben anpassen. (© Fraunhofer IWU) | Bild in Farbe und Druckqualität: www.fraunhofer.de/presse

Blitz, schlag' ein!

Ob das Pantheon in Rom oder die deutsche Betonkanu-Regatta, ob Ultraleichtbeton oder Sichtbeton: Beton ist unglaublich vielseitig und der meistverwendete Baustoff der Welt. Er wird aus Zement, Wasser und Gesteinskörnung, einer Mischung aus Gesteinskörnern wie Kies oder Kalksplitt in unterschiedlichen Größen, hergestellt. Allerdings sind die CO₂-Emissionen nicht unproblematisch, die vor allem bei der Zementherstellung entstehen: Die Produktion von einer Tonne gebranntem Zementklinker aus Kalk und Ton setzt 650 bis 700 Kilogramm Kohlendioxid frei. So gehen jährlich acht bis 15 Prozent der weltweiten CO₂-Produktion auf das Konto der Zementherstellung. Auch beim Recycling von Altbeton gibt es noch keinen Königsweg, um den Stoffkreislauf zu schließen. Allein in Deutschland betrug die Abfallmenge 2010 fast 130 Millionen Tonnen.

»Das ist ein riesiger Materialfluss, aber es gibt momentan kein effektives Recycling-Verfahren für Betonabbruch«, erklärt Volker Thome vom Fraunhofer-Institut für Bauphysik IBP aus der Gruppe der Betontechnologie in Holzkirchen. Zurzeit wird Altbeton unter enormer Staubentwicklung zerschreddert. Die Gesteinsbrocken landen bestenfalls als Belag unter der Straße. »Das ist Downcycling«, erklärt Thome, also lediglich die Wiederverwertung von Rohstoffen, deren Qualität sich von Vorgang zu Vorgang verschlechtert. Gelänge es hingegen, die Gesteinskörnung von der Zementsteinmasse zu trennen, könnte der Kies als Zusatz (im Fachjargon auch Zuschlag genannt) wieder problemlos in den Frischbeton eingesetzt werden – ein erster entscheidender Schritt in Richtung Recycling von Altbeton. »Die Rückgewinnung von hochwertigen Zuschlägen aus Altbeton würde die Recyclingquote etwa verzehnfachen und damit auf bis zu 80 Prozent steigern«, erklärt Thome. Gelänge es, auch einen Zementersatzstoff aus Altbeton zu gewinnen, ließen sich die CO₂-Emissionen der Zementindustrie deutlich senken. Um diese Ziele zu erreichen, hat Thome ein Verfahren aus dem Dornröschenschlaf geweckt, das russische Wissenschaftler bereits in den 1940er Jahren entwickelten: die elektrodynamische Fragmentierung. Mit ihr gelingt es, den Beton in seine Einzelbestandteile – Zuschläge und Zementstein – zu zerlegen.

Hochwertige Bestandteile recyceln

Bei dieser Vorgehensweise lassen es die Forscher in Holzkirchen ordentlich blitzen. »Normalerweise bevorzugen Blitze es, durch Luft oder Wasser zu verlaufen und nicht durch einen Festkörper«, sagt Thome. Damit der Blitz in den Beton einschlägt und einen Durchschlag erzeugt, nutzt der Experte die Erkenntnisse der russischen Wissenschaftler: Die fanden vor mehr als 70 Jahren heraus, dass die elektrische Durchschlagsfestigkeit – also der Widerstand, den jede Flüssigkeit und jeder Feststoff einem elektrischen Impuls entgegensetzt – keine physikalische Konstante ist: Sie ändert sich mit der Dauer des Blitzes. »Bei einem äußerst kurzen Blitz unterhalb von 500 Nanosekunden besitzt Wasser plötzlich eine höhere Durchschlagsfestigkeit als die meisten Festkörper«,

erklärt Thome. Einfach ausgedrückt: Liegt der Beton unter Wasser und die Forscher generieren einen 150 Nanosekunden-Blitz, schlägt er bevorzugt nicht mehr ins Wasser ein, sondern in den Festkörper.

»Das ist der Clou bei dem Verfahren«, erklärt Thome. Im Beton sucht sich der Blitz dann den Weg des geringsten Widerstands, das sind die Grenzen zwischen den Bestandteilen, also zwischen Kies und der Zementsteinmasse. Die ersten generierten Impulse, die Vorentladungen, schwächen das Material mechanisch vor. »Die Vorentladung, die in unserer Fragmentierungsanlage die Gegenelektrode zuerst erreicht, führt dann zum elektrischen Durchschlag«, erläutert Thome. In diesem Moment bildet sich in dem Beton ein Plasmakanal aus, der binnen einer Tausendstel Sekunde wie eine Druckwelle von innen nach außen wächst.

»Die Kraft dieser Druckwelle ist vergleichbar mit der einer kleinen Sprengstoffexplosion«, sagt Thome. Der Beton werde auseinandergezogen und in seine Bestandteile zerlegt. Mit der Labor-Fragmentierungsanlage gelingt es den Forschern zurzeit, pro Stunde eine Tonne Altbeton aufzubereiten. »Damit man wirtschaftlich arbeiten kann, ist eine Durchsatzrate von mindestens 20 Tonnen in der Stunde unser Ziel«, erklärt Thome. Bereits in zwei Jahren könnte eine entsprechende Anlage marktreif sein.



Forscher haben ein Verfahren entwickelt, das Beton in seine Bestandteile zerlegt.
(© Fraunhofer IBP) | Bild in Farbe und Druckqualität: www.fraunhofer.de/presse