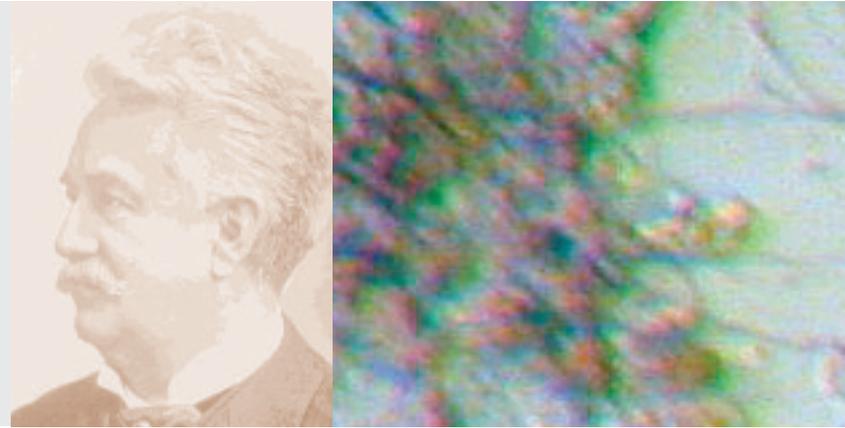


125 Jahre Empa.



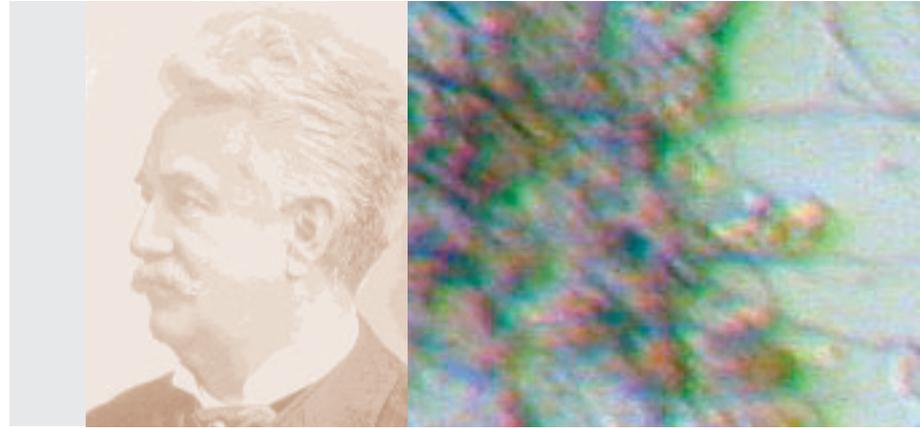
Streiflichter in die Vergangenheit

Glanzlichter der Gegenwart

Blitzlichter in die Zukunft

Forschung, die begeistert.

125 Jahre Empa.



125 Jahre Empa, das bedeutet 125 Jahre wissenschaftliche Arbeit an Materialien, Produkten, Anlagen und Verfahren, Arbeiten zur Sicherheit von Mensch und Umwelt, zur Förderung der Wettbewerbsfähigkeit der Schweizer Wirtschaft im internationalen Umfeld, zur Unterstützung von Hochschulen in Lehre und Forschung, zum Generieren von Wissen.

Viele Ereignisse, viele Veränderungen haben die Institution Empa in diesen 125 Jahren geprägt und begleitet. **Im Rückblick ist es einmal mehr interessant zu erfahren, wie die Empa mit ihrer wertvollen Tätigkeit die an sie gestellten Anforderungen erfüllte.**

Wie ging die Empa auf die Bedürfnisse der Gesellschaft ein? Welche Impulse vermittelte sie der Industrie, Wirtschaft und Kultur? Welche Leistungen erbrachte sie in der Forschung und Bildung?

IMPRESSUM

Herausgeber
Empa
CH-8600 Dübendorf
CH-9014 St. Gallen
CH-3602 Thun

Redaktion
Redaktionsteam Empa und
CH-Forschung, Zürich

Konzept/Gestaltung
Grafikgruppe Empa

Lithos/Druck/Ausrüstung
?????

Unsere Chronik

1880



Prof. Ludwig von Tetmajer
im Studierzimmer.

1891



Eisenbahnbrücke über die Birs
bei Münchenstein.

1895



Erstmalige Verwendung des
Namens.

1880 fing es an. Die «Anstalt für die Prüfung von Baumaterialien» startet mit Prof. Dr. Ludwig von Tetmajer an der Spitze im Kellergeschoss des Polytechnikums, der späteren ETH, in Zürich. **Seine Vision:** eine Institution zu schaffen «zur wissenschaftlichen Untersuchung von Eigenschaften mannigfacher Materialien und Rohstoffe».

1891 erhält Tetmajer den Auftrag, die **Ursache für den Einsturz** der vom weltberühmten Ingenieur Gustav Eiffel erbauten Eisenbahnbrücke bei Münchenstein **abzuklären**. Es gelingt

ihm in kurzer Zeit aufzuzeigen, dass die **bisher verwendete Eulersche Hyperbel nur im elastischen Bereich** des zur Diskussion stehenden Stahles verwendet werden darf. Die «Anstalt für die Prüfung von Baumaterialien» zieht in ein neues Gebäude an der Leonhardstrasse in Zürich, das 1901 und 1907 erweitert wird.

1895 wird die Bezeichnung Eidg. Materialprüfungsanstalt zum ersten Mal verwendet.

In den 1890er-Jahren kommt die Prüfung von **Druckbehältern als neue Aufgabe** an die Empa.

1937



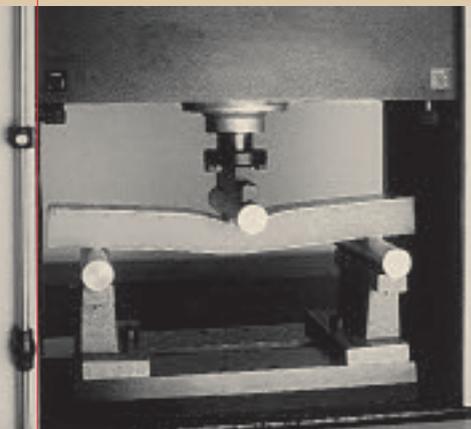
In der ersten Hälfte des 20. Jahrhunderts entwickelt sich die Empa zur universellen Prüfanstalt auf dem Gebiet des Bauwesens und des Maschinenbaus.

Abnahme von Stauwerkbauten, Korrosionsschutz im Stahlbau, Forschung am Beton und seinen Zusatzstoffen, Seilbahn- wie auch Sprengsicherheitstechnik werden zu zentralen Elementen der Empa-Tätigkeiten.

1928 wird die Eidgenössische Prüfungsanstalt für Brennstoffe integriert.

Von 1937 bis 1996 Sitz der Empa St. Gallen.

1950



1937 kommt die bereits seit 1885 bestehende Textilkontrollstelle und «Schweizerische Versuchsanstalt St. Gallen» hinzu.

1938 erhält die Empa die Bezeichnung «Eidg. Materialprüfungs- und Versuchsanstalt für Industrie, Bauwesen und Gewerbe»; die Kurzform Empa ist zu diesem Zeitpunkt bereits ein geläufiger Begriff.

Routineprüfungen für Industrie und Behörden.

1968



In den 1950er-Jahren führt die Empa effizient und kostendeckend lukrative Routineprüfungen für Industrie und Behörden durch.

Seit 1962 befindet sich der Geschäftssitz der Empa in Dübendorf. Schwerpunkte sind dort die Bereiche Hoch- und Tiefbau, Sicherheitstechnik, Oberflächentechnik, Werkstoffe und Stoffverbunde, zerstörungsfreie Prüfungen und Analytik im Spurenbereich, Abgas- und Aussenluftuntersuchungen, Energie, Haustechnik, Bauphysik, Akustik und Lärmbekämpfung.

Meteo-Messfühler.

1972



Bereits seit 1968 untersucht die Empa die positive und negative Entwicklung der schweizerischen Luftqualität, von der belasteten Stadt bis zum hochalpinen Gebiet.

Schon in den 1940er-Jahren forscht die Empa in ihren Labors mit Polymeren. Sie entwickelt 1969 in Zusammenarbeit mit Dritten kunststoffbasierte Verankerungssysteme für Brücken in Deutschland und auch das Dach des Olympiastadions in München.

Dach des Olympiastadions in München.

1973

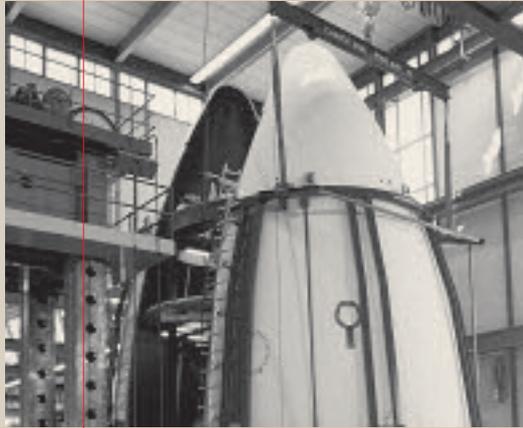


1973 experimentiert die Empa **erst-**
mals mit dem damals **exotischen**
Material «kohlenstoffaserverstärkte
Kunststoffe» (CFK). Daraus entstehen
in den **1990er-Jahren** völlig neue und
sehr erfolgreiche Anwendungen im
Bauwesen. Die **Empa** erlangt dadurch
auf diesem Gebiet einen **Platz an der**
Weltspitze. Schweizer Firmen haben
die Anwendungen zu einem wirt-
schaftlichen Erfolg umgesetzt.

Seit **1978** führt die Empa auf ihrem
grossen Aufspannfeld im Auftrag der
European Space Agency (ESA) an

5 mm CFK-Draht mit
400'000 Fasern für
Anwendungen in der
Bautechnik.

1978

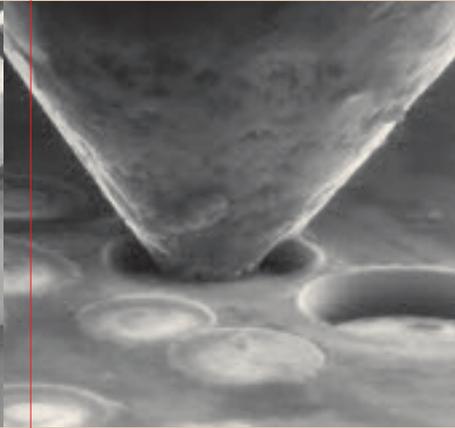


Nutzlastverkleidungen von Träger-
raketen, **zuletzt an Ariane V**, umfas-
sende **Belastungsversuche** durch.

1988 Die Strategie 88 markiert einen
deutlichen **Wechsel Richtung ver-**
mehrter Forschung. Empa heisst von
da an «Eidgenössische Material-
prüfungs- und **Forschungsanstalt**».
Sie wird in ihrer Forschungsstrategie
von einer neu gegründeten
Forschungskommission unterstützt.

Belastungsversuch der
Trägerraketen Ariane.

1994



Mitte der 1990er-Jahre beginnt die
Empa mit **ersten Schritten** auf dem
Gebiet der **Nanotechnologie**; auch
rücken die **adaptiven Werkstoffe/**
Werkstoffsysteme immer mehr ins
Visier des Forschungsinteresses.

1994 hält die Empa mit der
Werkstofftechnologie in Thun Einzug.
Sie übernimmt auch Mitarbeitende
der Gruppe für Rüstungsdienste.
Massgeschneiderte Werkstoffe und
innovative Technologien säumen im
nächsten Jahrzehnt den Weg der
Empa im Berner Oberland.

Untersuchung von
Verbundwerkstoffen im
Rasterelektronenmikroskop.

2000

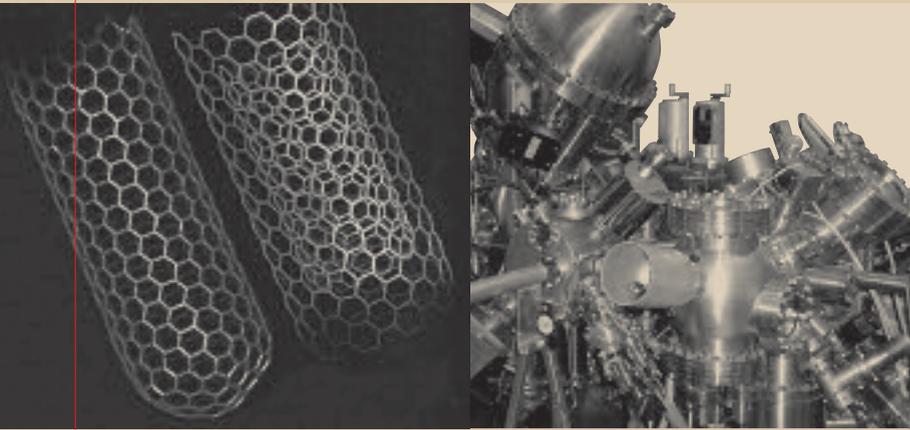


1996 bezieht die **Empa** am Standort
St. Gallen ihren Neubau. Im Zentrum
der Tätigkeit stehen, Bekleidungs-
physiologie, persönliche Schutz-
systeme, technische Textilien,
funktionale Schichten, biokompatible
Werkstoffe, Material- und
Bildmodellierungen, Technologie-
Risikoabschätzung und Technologie-
transfer.

Im **Millenniumsjahr 2000** wird die
Empa-Akademie gegründet mit eige-
nem Gebäude in Dübendorf. Sie
macht sich die **nutzbringende**
Verwertung von Fachwissen und
Know-how zu Gunsten von Industrie,
Wirtschaft und Gesellschaft zur
Aufgabe.

Gebäude der Empa-Akademie
in Dübendorf.

2003



Seit 2001 richtet sich die Empa deutlich **prioritär auf Forschung** und innovative Entwicklung aus; Wissensvermittlung und anspruchsvolle Dienstleistungen bleiben jedoch wichtiger Teil des Portfolios. Die Gliederung der Empa erfolgt in **Forschungsdepartemente**, **Forschungsprogramme** werden lanciert, eine neue **Forschungskommission** mit nationalen und internationalen Mitgliedern wird eingesetzt.

Kohlenstoff-Nanoröhrchen für millimeterdünne Flachbildschirme (Skizze).

2003 läutet die Empa am Standort Thun die **nanotechnologische Neuzeit** ein. Tätigkeitsgebiete der **neuen Abteilung nanotech@surfaces**: Nanostrukturen, Nanotubes als Elektronenquellen und quasikristalline Schichten. Auch die **Abteilung Funktionspolymere** wird **neu** geschaffen. Sie entwickelt Funktionspolymere für vielfältige innovative Anwendungen.

Rastertunnelmikroskop für den Blick in die Welt der Atome.

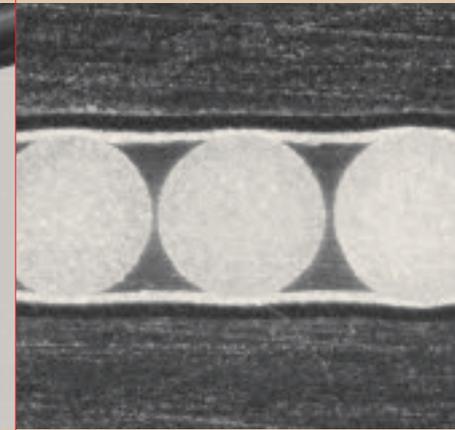
2004



2004 entsteht die **neue Empa-Abteilung Oberflächen, Beschichtungen, Magnetismus**. Sie konzentriert sich auf die Entwicklung und Analyse von Oberflächen und Beschichtungen **im Bereich der Nanowissenschaften**.

Hauchdünner Polymerfilm als aktive Schicht auf einer Solarzelle.

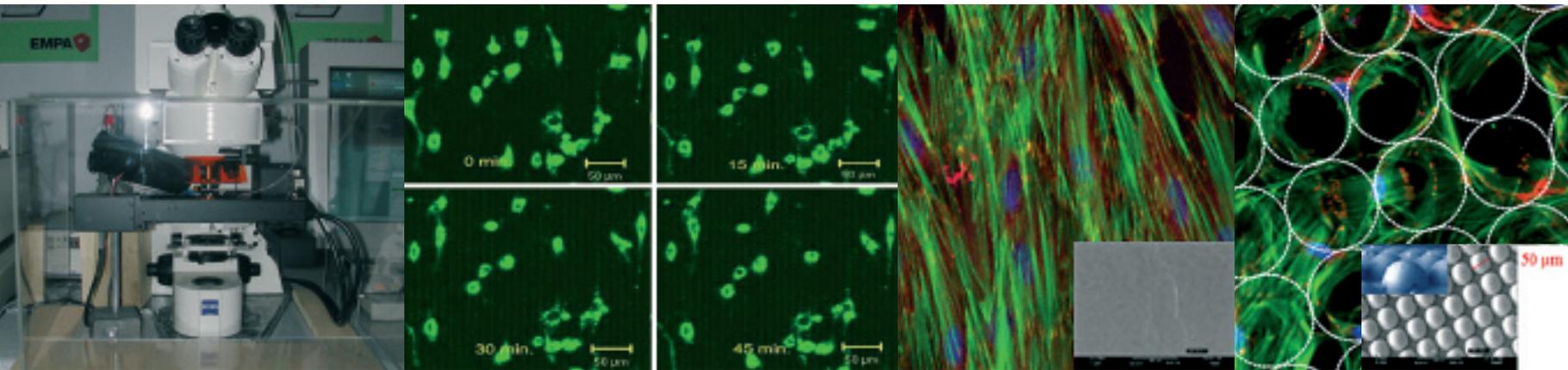
2005



2005 werden die Abteilungen Kunststoffe/Composites sowie Festigkeit und Technologie aufgehoben. Die **neu gegründete Abteilung Materials and Engineering** beschäftigt sich vornehmlich mit **adaptiven Werkstoffsystemen**.

Adaptive Werkstoffe: Querschnitt eines piezoelektrischen Faserverbundes.

Materialstrukturen beeinflussen das Verhalten von Zellen



AUSGANGSLAGE

Eine gute Wechselwirkung **zwischen Zelle und Material** ist ausschlaggebend für den klinischen **Erfolg eines Implantats**. Sowohl chemische als auch topographische Eigenschaften einer Implantatoberfläche **bestimmen die Reaktion der Zellen**. Bis jetzt war jedoch noch nicht bekannt, welche **Eigenschaften für die Zellreaktion** wesentlich sind. Ebenfalls unbekannt war, was die grundlegenden Mechanismen für diese Reaktion sind.

ZIEL

Das Ziel der Empa ist es, die Mechanismen von Zell-Zell- und Zell-Materialinteraktionen zu verstehen. Insbesondere **untersucht sie die Interaktionen verschiedener Zelltypen** im Mikrometer- und Submikrometerbereich. Dazu wird das **Verhalten der Zelle** (Migration / Zellbewegung / Zelldifferenzierung) und die **Aktivität von spezifischen Genen** während längerer Zeitperioden beobachtet.

Fluoreszenzmarkierte Bindegewebszellen auf einer gerillten Oberfläche nach 0, 15, 30 und 45 Minuten.

LÖSUNG

Zellen werden auf **unterschiedlichst strukturierten Oberflächen** ausgesät: auf Rillen von verschiedener Breite und Tiefe, hügelartigen Erhebungen oder textilähnlichen Topographien. Mit Hilfe von **fluoreszenzmarkierten Zellen** wird unter dem Konfokalen Laser-Scanning-Mikroskop detailliert analysiert, **wie sich die Zellen auf den Oberflächen verhalten**. Anschließend wird das **Zellskelett** mit Fluoreszenzmarkern sichtbar gemacht und die Differenzierung der Zellen bestimmt.

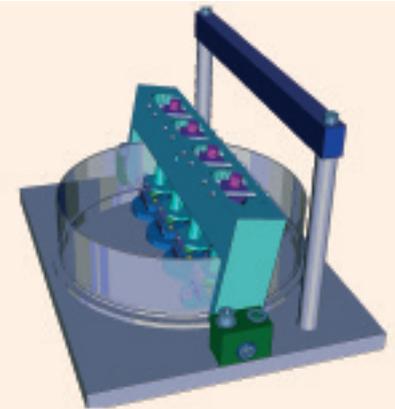
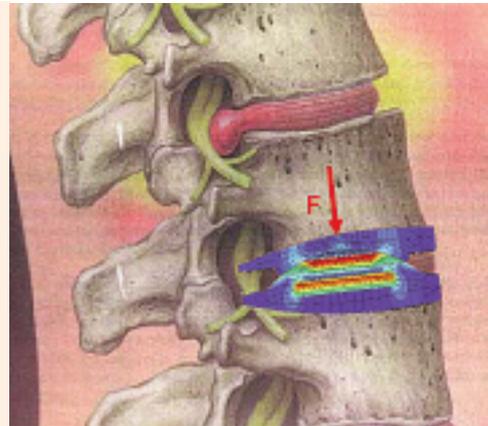
Menschliche Knochenmarkzellen auf einer unstrukturierten und einer strukturierten Oberfläche.

ERGEBNIS

Die Strukturen einer Oberfläche beeinflussen das **Verhalten von Zellen**: die Migrationsrichtung und -geschwindigkeit, die Zellform und die **fokalen Adhäsionspunkte**. Diese wiederum bestimmen die **Organisation des Zellskeletts**. Zudem wurden Hinweise gefunden, dass Oberflächenstrukturen die **Zelldifferenzierung verändern können**. Mit den gewonnenen Erkenntnissen hofft die Empa, **neuartige biokompatible Oberflächen** für Implantate zu entwickeln.

Simulation medizinischer Implantate

2004



AUSGANGSLAGE

Die strengen Zulassungsvorschriften für **medizinische Implantate** verlangen einen **Nachweis über Lebensdauer** und **Verschleisseigenschaften**. Dafür werden Prüfvorrichtungen benötigt, auch **Simulatoren** genannt, welche die **Belastbarkeit von Implantaten untersuchen**, z.B. von Bandscheibenprothesen. Diese werden bei Patienten eingesetzt, die an einer degenerativen Erkrankung der Bandscheibe leiden.

METHODE

In Zusammenarbeit mit dem Implantat-Hersteller Synthes hat die Empa das **Design eines Bandscheibenersatzes** mit Hilfe der Finite-Elemente-Methode optimiert sowie einen vereinfachten **Wirbelsäulensimulator entwickelt**. Der Simulator kann verschiedene Bewegungen – **seitwärts, beugen, strecken** – und Kräfte in der Wirbelsäule unter tatsächlichen Umgebungsbedingungen **wirklichkeitsgetreu nachbilden**.

Mit Hilfe eines Computermodells berechnete Spannungsverteilung des Bandscheibenersatzes. (Bildquelle: Empa und www.dorn-therapie.ch/imagenes/ws_ausschnitt.jpg)

LÖSUNG

Anhand der berechneten mechanischen Spannungen liess sich schon in der **Designphase die Geometrie des Bandscheibenersatzes anpassen**, was eine möglichst hohe Sicherheit gegen Versagen gewährleistete. Der Simulator hat an **vier Prototypen** eine Lebensdauer von **etwa 20 Jahren nachgewiesen**, das entspricht 15 Millionen Bewegungen. Der Versuch dauerte drei Monate. Regelmässige Unterbrüche waren nötig, um die **Implantate zu wiegen** und so die **Abriebmenge zu ermitteln**.

CAD-Modell des Wirbelsäulensimulators

AUSBLICK

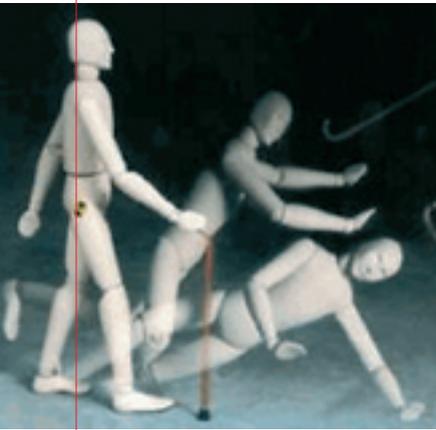
Die Empa untersucht die Anwendung von harten, **langzeitstabilen Oberflächenschichten aus Kohlenstoff auf Implantaten**. Sie könnten deren Verschleiss verringern. Zudem erforscht die Empa, wie der **Abrieb der Implantate** das menschliche **Gewebe beeinflusst**. Nachgegangen wird auch der Frage nach der inneren Belastung und Kinematik des menschlichen **Bewegungsapparats bei sportlichen Aktivitäten** und extremen Ereignissen wie **Stolpern oder Gewichtheben**.

Bernhard Weisse
bernhard.weisse@empa.ch

Bandscheibenersatz
(Foto: Synthes)

Schutz für die Hüfte

2004



AUSGANGSLAGE

In der Schweiz ereignen sich jährlich gegen 8000 **Hüftfrakturen aufgrund von Stürzen**. Die **Mobilität** eines grossen Teils der betroffenen Personen ist dadurch **stark beeinträchtigt**. Viele sterben infolge eines Oberschenkelhalsbruchs. Um dieser Problematik zu begegnen, werden **zahlreiche Hüftprotektoren** angeboten, welche sich in ihrem Design und den verwendeten Materialien **stark unterscheiden**. Bislang existieren keine anerkannten Methoden, welche die Schutzwirkung von Protektoren untersuchen.

Sturzvorgang

AUFTRAG

Die Empa verfügt über langjährige Erfahrung im Bereich der **Stossdämpfung**. Das hat dazu geführt, dass sie zusammen mit der Schweizerischen Beratungsstelle für Unfallverhütung (bfu) eine Messmethodik aufgebaut hat, mit welcher sich die **Schutzwirkung von Protektoren wissenschaftlich untersuchen lässt**. Die bfu ist daher heute in der Lage, besonders wirksame Hüftprotektoren zu empfehlen.

Folgen eines Sturzes auf die Hüfte

METHODE

Die Empa hat eine **künstliche Hüfte** von der Taille bis zum Knie **nachgebaut**, welche mit kommerziellen und experimentellen Protektoren ausgestattet werden kann. Der **Oberschenkelknochen** ist zudem mit Kraftsensoren im Halsbereich versehen. Damit lassen sich **die Kräfte messen**, die bei einem Unfall in den **Knochen übertragen** werden. Die gemessenen Kräfte werden anschliessend in **Beziehung zur Festigkeit osteoporotischer Knochen** gesetzt, wodurch sich die Schutzwirkung praxisnah ermitteln lässt.

Hüftmodell

ZUKUNFT

Die neuen Möglichkeiten, **Hüftprotektoren zu bewerten**, gaben einen Impuls zur Weiterentwicklung solcher Produkte. Deshalb plant die Empa, ihr Know-how auf diesem Gebiet weiter auszubauen, um gemeinsam mit der Industrie **verbesserte Protektoren auf der Basis neuer Materialien zu entwickeln**. Diese sollen dazu beitragen, die Gesundheitskosten in der Schweiz zu senken.

Adriaan B. Spierings
adriaan.spierings@empa.ch
Dr. Siegfried Derler
siegfried.derler@empa.ch

Schutz vor Hitze und Feuer



AUSGANGSLAGE

Bisher richtete sich die Schutzkleidung für Feuerwehrleute vor allem nach den **äusseren thermischen Risiken**. Sie sollte vor Hitze und Flammen in **unmittelbarer Nähe des Brandherdes** schützen. Bei hoher **körperlicher Belastung droht jedoch auch Hitzestress von innen**, da die Körpertemperatur steigt. Um diese Gefahr zu verringern und den Komfort zu erhöhen, ohne den Schutz zu beeinträchtigen, muss das gesamte Kleidungssystem den Anforderungen entsprechend optimiert werden.

Gefahren für Feuerwehrleute und physiologische Anforderungen.

EMPA-KOMPETENZ

Die Empa hat jahrzehntelange Erfahrung in der **Untersuchung und Charakterisierung von Schutzkleidung**. Ihre Industrienähe, gepaart mit der Kenntnis neuester Forschungsergebnisse und Materialien, ist eine hervorragende Basis, um **innovative Produkte zu entwickeln**. Mit einem einzigartigen Apparate-Pool kann sie Materialien im Submikrobereich **charakterisieren und ganze Bekleidungssysteme makroskopisch beurteilen**. Das unterstützt die praxisorientierte, zielgerichtete Entwicklung neuer Produkte.

Messpuppe Henry erlebt einen gefährlichen Flammsprung-Test (Flash-over).

METHODEN

Erkenntnisse aus Forschungsprojekten mit der sensorbestückten Messpuppe Henry trugen dazu bei, **Kleidungs-systeme zu verbessern**. Die Empa hat zusätzlich zwei Apparaturen entwickelt: einen **Schwitztorso** zur dynamischen Simulation des menschlichen Rumpfes und die **schwitzende, bewegliche Messpuppe Sam**. Damit lassen sich die extremen Anforderungen des **Hitzeschutzes** zusammen mit dem Einfluss von **Schweiss und allenfalls Löschwasser** realitätsnah untersuchen und Feuerwehranzüge optimieren.

Verbrennungsvorhersage am Menschen durch Messpuppe Henry, Computerauswertung.

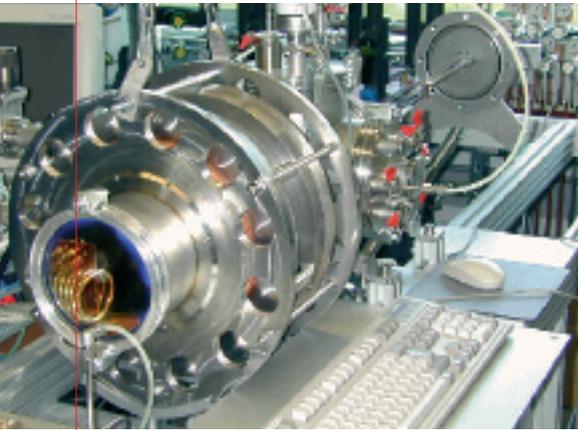
ZUKUNFT

Leichte, anpassungsfähige Textilien, an deren Entwicklung die Empa beteiligt ist, werden einen bisher nicht erreichten **Komfort und gleichzeitig optimalen Schutz** bieten. In Zukunft wird Schutzkleidung **mit Indikatoren und Sensoren ausgestattet** sein, die die Körperfunktionen überwachen, **Gefahren melden** und die Gebrauchstüchtigkeit des Textils kontrollieren. Zusammen mit Industriepartnern und abgestimmt auf die Bedürfnisse des Marktes wird die Empa die neuen Materialkonzepte in Alltagsprodukte umsetzen.

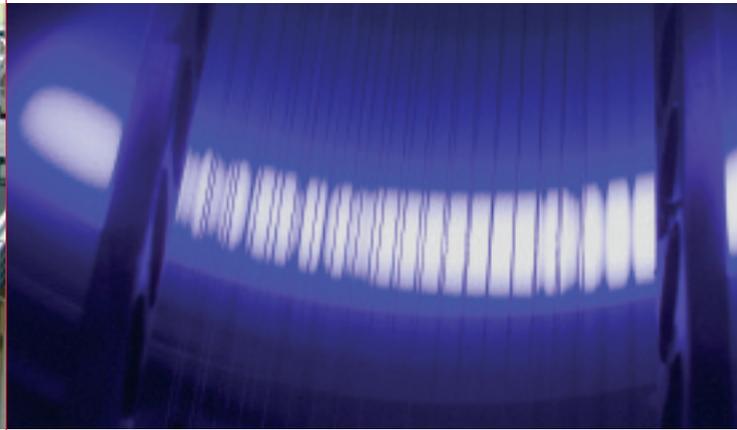
Martin Camenzind
martin.camenzind@empa.ch
René Rossi
rene.rossi@empa.ch

Fasern mit Silber ummantelt

2001



2002



2004



PROBLEMATIK

Bei **medizinischen Textilien** ist das **Anhaften von Staub**, Schmutz oder elektrischen Ladungen **unerwünscht**. Daher werden zum Beispiel Textilien **für Operationssäle** mit elektrisch leitfähigen **Karbonfasern ausgerüstet**, um das Anhaften zu vermindern. Die mechanischen Eigenschaften der **Karbonfasern unterscheiden** sich jedoch von denen der Fasern des **umgebenden Gewebes**. Dieser Unterschied reduziert die **Dichtheit** vom Gewebe, so dass Wasser, Blut, Bakterien und **Viren das Gewebe durchdringen** können.

AUFTRAG

Die **herkömmlichen** Karbonfasern sollen durch **neue, elektrisch leitfähige Fasern** ersetzt werden, welche die **gleichen Eigenschaften** haben wie die Fasern des umgebenden Gewebes. Um **derartige multifunktionale Fasern** herstellen zu können, ist ein neuer Fabrikationsprozess inklusive geeigneter Wahl eines leitfähigen Materials nötig.

LÖSUNG

Die Empa entwickelte eine **Plasma-anlage**, welche in einem kontinuierlichen **Beschichtungsverfahren** verschiedenste Schichtsysteme mit Dicken vom **Nano- bis hin zum Mikrometerbereich gezielt auf Fasern** aufbringen kann. Als Beschichtungsmaterial wurde **Silber** gewählt, da es leicht verarbeitbar, **antibakteriell, fungizid, gut leitfähig und preisgünstig** ist. Die mit Silber ummantelten Fasern lassen sich zudem problemlos in das Textil einarbeiten.

ZUKUNFT

Neben der Verwendung in der Medizin kommen die Fasern **auch bei Neurodermitis und im Sporttextilbereich** zum Einsatz. Um das Forschungsprojekt in den Markt zu überführen, plant die Empa den Bau einer Pilotanlage im Produktionsmassstab. Die Flexibilität des umweltfreundlichen Prozesses ermöglicht in naher Zukunft die **Entwicklung neuartiger Schichtsysteme und multifunktionaler Fasern**. Das wird die Produktpalette der Firmen erweitern.

Faserbeschichtungsanlage mit zylindrischem Magnetron.

Kontinuierliche Silberbeschichtung einer Faser im Plasma.

Verarbeitung der silberummantelten Faser zum Textil.

Michael Keller
michael.keller@empa.ch
Armin Fischer
armin.fischer@empa.ch

Technologiefolgen-Abschätzung für Pervasive Computing



AUSGANGSLAGE

Pervasive Computing ist eine Vision zukünftiger Informations- und Kommunikationstechnologien. Danach sollen **Computer** in **Alltagsgegenstände integriert**, drahtlos vernetzt und **nahezu unsichtbar** werden. Sensoren und drahtlose Datennetze werden den «intelligenten Gegenständen» **Augen, Ohren, Ortssinn und Internetzugang verschaffen**. Die Anwendungsmöglichkeiten sind nahezu unbegrenzt. Aber auch unerwünschte Nebeneffekte sind nicht auszuschliessen.

AUFTRAG

Die bereits heute in den Entwicklungslaboren vorhandene Technologie veranlasste das Schweizerische Zentrum für **Technologiefolgen-Abschätzung**, die Empa mit einer Studie zu **möglichen Auswirkungen von Pervasive Computing auf Gesundheit und Umwelt** zu beauftragen. Das Zentrum berät das Parlament und die Öffentlichkeit zu Chancen und Risiken neuer Technologien.

EMPA-KOMPETENZ

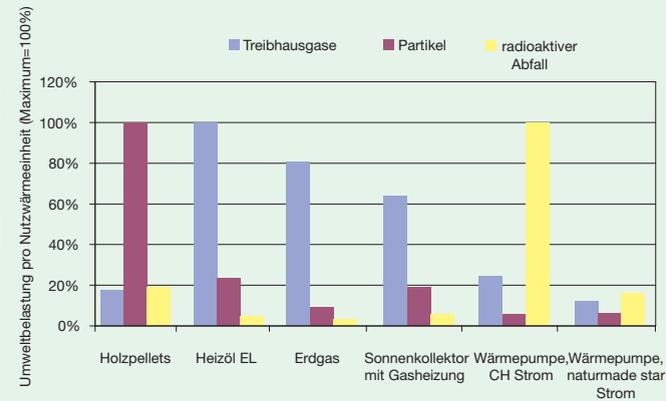
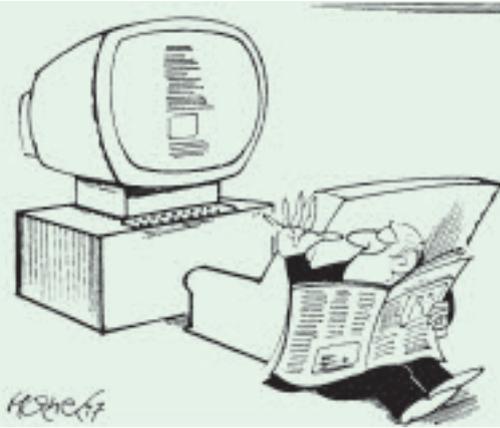
Die Empa hat langjährige Erfahrung in der Technologiefolgen-Abschätzung (TA), speziell im Bereich der Informations- und Kommunikationstechnologien. Die Studie gilt als die **weltweit erste TA-Studie zu Pervasive Computing**. Die Ergebnisse wurden international publiziert und im Auftrag des Europäischen Parlaments **in alle Sprachen der EU übersetzt**. Die Studie hat **Handlungsbedarf** unter anderem in den Bereichen Elektronikabfall, Energieverbrauch und Datenschutz **identifiziert**.

ZUKUNFT

Damit die **Gesellschaft die Chancen** des Pervasive Computing nutzen und die **Risiken frühzeitig minimieren** kann, ist eine kontinuierliche Innovations- und Technikanalyse erforderlich, die zukünftige Nutzerinnen und Nutzer in **die Diskussion einbezieht**. Dies ist eine Form der TA, die gesellschaftlich relevante Gestaltungsmöglichkeiten der technologischen Entwicklung aufzeigt.

Ecoinvent: Schweizer Zentrum für Ökoinventare

2004



AUSGANGSLAGE

Ökoinventare sind Datensammlungen von Stoff- und Energieflüssen, die mit einem Produkt oder einer Dienstleistung verbunden sind. Der Lebensweg der benötigten Materialien und Energie wird bis zur Entnahme aus der Natur zurückverfolgt. Umgekehrt werden auch die mit der Entsorgung ausgedienter Produkte verbundenen Stoff- und Energieflüsse erfasst. Ökoinventare sind die Grundlage jeder Ökobilanz und helfen z.B., die Umweltbelastungen Produktalternativen zu vergleichen.

SCHWEIZER DATENBANK

Die Informationstechnologie ermöglicht es, alle im ETH-Bereich und von weiteren Schweizer Forschungsinstituten erarbeiteten Ökoinventar-Daten in einer einheitlichen und qualitätsgesicherten Form zur Verfügung zu stellen. Damit lassen sich Ökobilanzen und Grundlagen für eine integrierte Produktpolitik effizient erarbeiten. Die vom Schweizer Zentrum für Ökoinventare an der Empa betriebene ecoinvent-Datenbank gilt international als die umfassendste Informationsquelle. Sie wird weltweit genutzt.

EMPA-KOMPETENZ

Die Empa hat zum Inhalt der Datenbank ihr Wissen über den Lebensweg von Materialien beigetragen, von Metallen über Baustoffe bis hin zu Papier und Karton. Auf der Grundlage dieser Daten konnte beispielsweise gezeigt werden, dass der Stromverbrauch beim Lesen von Nachrichten aus dem Internet die Umweltbelastung einer entsprechenden Menge Zeitung leicht aufwiegen kann, wenn die elektronischen Medien ineffizient genutzt werden.

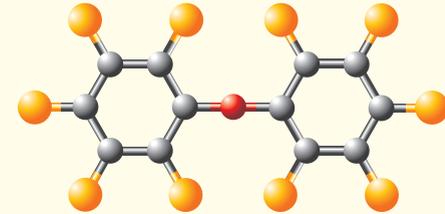
ZUKUNFT

Die ecoinvent-Datenbank wird weiterhin aus dem ETH-Bereich und von weiteren Forschungsinstituten mit aktualisierten und zusätzlichen Ökoinventar-Daten versorgt. Die Empa erschliesst dabei unter anderem den Bereich der Informations- und Kommunikationstechnologien und der darin enthaltenen Materialien.

POPs – Chemikalien, die wir nie mehr los werden



2004



POPs SIND LANGZEITGIFTE

POPs (persistent organic pollutants) sind **langlebige Chemikalien** mit **unerwünschten Eigenschaften**. Sie werden weltweit verfrachtet und finden sich in den **entlegensten Gebieten der Erde**. Durch Anreicherung in der Nahrungskette gelangen POPs in **Lebensmittel** und **Muttermilch**. Neben dem Insektizid DDT gehören Dioxine zu den **zwölf gefährlichsten POPs**, welche die Stockholm-Konvention der Vereinten Nationen kürzlich international **verboten** hat.

Schon 1960 wurde beobachtet: schwer abbaubare Pflanzenschutzmittel wie DDT stören die Fortpflanzung.

NEUE POPs

Seit die Dioxine als Umweltschadstoffe bekannt geworden sind, hat sich die Empa eine **führende Position in der Erforschung der Quellen und Umwelteigenschaften dieser Stoffe erarbeitet**. Durch technische Massnahmen, welche auf Forschungsergebnissen zu Bildung und Verhalten basieren, konnte der **Dioxinausstoss deutlich vermindert** werden. Noch bleibt aber viel zu tun! Heute stehen **neue POPs** mit noch weitgehend unbekanntem Eigenschaften im Brennpunkt des Forschungsinteresses.

Der Chemieunfall von Seveso im Jahr 1976 machte Dioxin zum Urbild eines Umweltgiftes.

BROMIERTE FLAMMSCHUTZMITTEL

Bromierte Flammschutzmittel hemmen die Entflammung von Baumaterialien, Kunststoffen und Textilien und tragen so zur Sicherheit in Transportmitteln und Gebäuden bei. Durch **Abnutzung** und bei der **Entsorgung** gelangen diese Wirkstoffe jedoch **in die Umwelt**. Die **Gefährdung** von Menschen, Tieren und Ökosystemen durch diese POPs, **die den Hormonhaushalt stören können**, ist gegenwärtig ein wichtiges Forschungsthema.

Persistente organische Schadstoffe (POPs) werden weltweit verfrachtet.

Rechts: Welche neuen persistenten Chemikalien bedrohen Mensch und Umwelt heute?

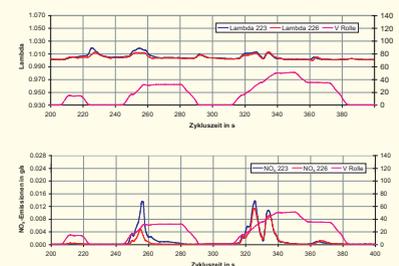
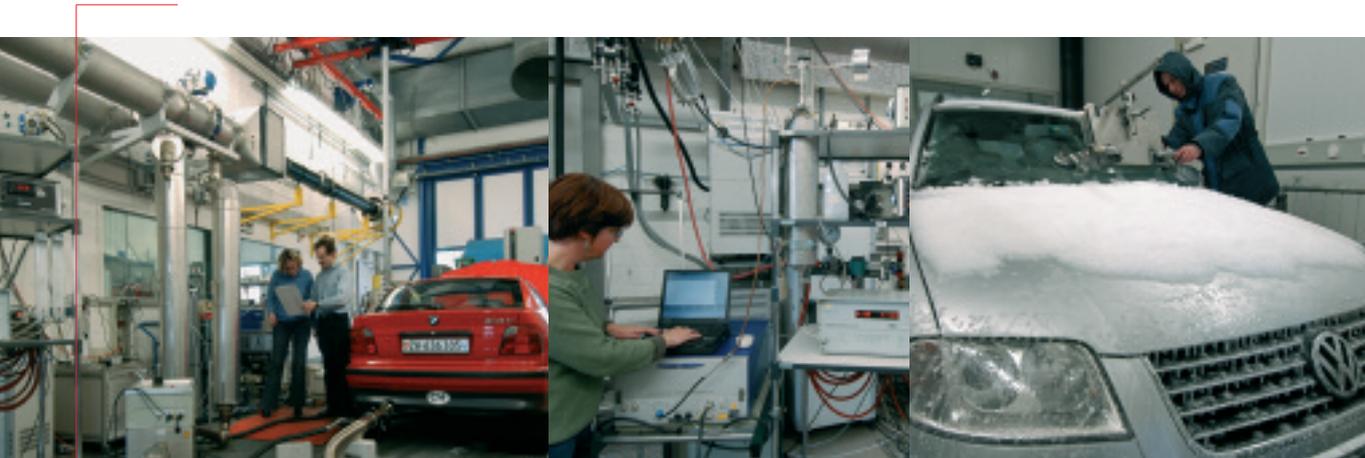
POPs IN DER UMWELT

In einer Untersuchung von **Fischen** aus verschiedenen **Schweizer Seen** fand die Empa **deutliche Belastungen** durch die Flammschutzmittel PBDE (polybromierte Diphenylether). Fische aus **flachen Seen** wiesen **höhere Gehalte** auf als Fische aus **tiefen Gewässern**. Dies deutet darauf hin, dass diese Stoffe aus flammgeschützten Produkten entweichen und – vermutlich in **Form von Partikeln** – **über die Atmosphäre** in die Gewässer gelangen.

Peter Schmid
peter.schmid@empa.ch
Martin Kohler
martin.kohler@empa.ch

Schadstoffe im Strassenverkehr – Verminderung der Abgas- und Partikelemissionen

2004



AUSGANGSLAGE

Schadstoffe belasten die **Atemluft**. Zum Grossteil ist der **Strassenverkehr** dafür **verantwortlich**. Die Empa erforscht und entwickelt deswegen Katalysatoren und **optimiert Motoren**, um die **Abgase** von Motorfahrzeugen zu **reduzieren** und somit die Umweltbelastung zu vermindern.

KATALYSATOREN

Abgase enthalten **toxische** Kohlenwasserstoffe, Kohlenstoffmonoxide und Stickoxide. **Katalysatoren wandeln** diese Substanzen zu einem wesentlichen Teil **in harmlose Stoffe** um: Wasser, Kohlendioxid und Stickstoff. **Voraussetzung** ist ein konstantes Luft-Kraftstoff-Gemisch; die **Luftzufuhr** muss genau **dosiert** werden und die **Motorsteuerung schnell** auf verschiedene Betriebszustände wie Warmlauf, Beschleunigen, Leerlauf oder Vollast **reagieren**. Die Empa optimiert die Motorsteuerung und hilft so, **Emissionen zu vermeiden**.

RUSSBILDUNG

Neben den bereits genannten Schadstoffen stehen vor allem **Russpartikel im Verdacht**, der Gesundheit zu **schaden**. Sie bilden sich im Motor durch **unvollständige Verbrennung**. Zudem lagern sich auf ihnen weitere, oftmals ebenfalls schädliche flüchtige Substanzen ab.

ANALYTIK

Mit mikroskopischer Strukturanalyse von Russpartikel untersucht die Empa auf Molekularebene die **Bildungs- und Oxidationsmechanismen** von Russ im **Inneren des Motors**. Das Ziel ist, mit den gewonnenen Kenntnissen die Verbrennungskonzepte und Motoren zu optimieren sowie **neue Systeme** für die **Nachbehandlung von Abgasen** zu entwickeln.

Im Abgaslabor wird jeweils das gesamte Fahrzeuge untersucht.

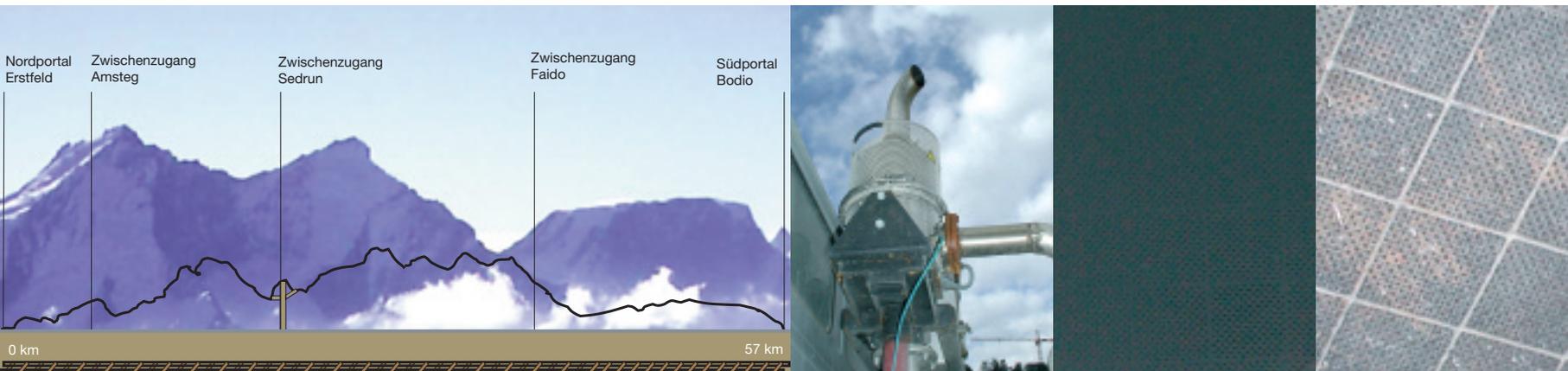
Physikalische Untersuchungen von Partikeln.

Auch bei Temperaturen unter dem Gefrierpunkt werden die Abgase analysiert.

Rechts: Abweichungen des Luft-Treibstoff-Gemisch beeinflussen die NO_x-Emissionen.

Christian Bach
christian.bach@empa.ch
Martin Weilenmann
martin.weilenmann@empa.ch
Martin Mohr
martin.mohr@empa.ch

Partikelfilter für eine saubere Luft – Risikobeurteilung von Sekundäremissionen



PROBLEMATIK

Dieselpartikel schaden der Gesundheit. Sie sind mit 10 bis 200 Nanometer zum Teil **so klein**, dass sie bis in die **Lungenbläschen** und in die **Blutbahn** gelangen. Dort können sie Krebs erzeugen. Beim Bau des längsten Tunnels der Welt, der neuen 57 km langen Eisenbahn-Alpentransversale (NEAT), sind zahlreiche **Dieselmotoren im Einsatz**. Nur mit geeigneter **Filtertechnik** lassen sich die Abgase so reinigen, dass die **vorgeschriebenen Grenzwerte** für Partikelkonzentrationen **am Arbeitsplatz** eingehalten werden können.

METHODE

Katalytische Filter sind die Schlüsseltechnologie, um Partikelemissionen zu senken. Aber nicht jeder Filter **brennt** den eingelagerten Dieselmotoren **rückstandsfrei** und **schadstoffarm** ab; es können **Sekundäremissionen** entstehen. Die Empa erforscht die Zusammensetzung der Verbrennungsprodukte und bewertet deren **toxikologische Risiken**. Das Ziel ist, nur wirksame und sekundäremissionsarme Filter zu fördern. Voraussetzung hierfür sind speziell entwickelte Verfahren zur Probenahme und eine **optimierte Ultrapurenanalytik**.

RESULTATE

Im Partikelfilter lagert sich Russ ab, der von Zeit zu Zeit abgebrannt werden muss. Um den Filter zu regenerieren, werden **Edel- oder Übergangsmetalle als Katalysatoren** eingesetzt. Sie werden dem Treibstoff beigefügt oder als Filterbeschichtung aufgebracht. Die Empa beurteilt **Nutzen und Risiken dieser Filtersysteme** bezüglich Abbau und Bildung toxischer organischer und anorganischer Verbindungen. Darauf basierend **erfolgt die Qualifizierung und Zulassung** von Partikelfilter-Systemen.

VISIONEN

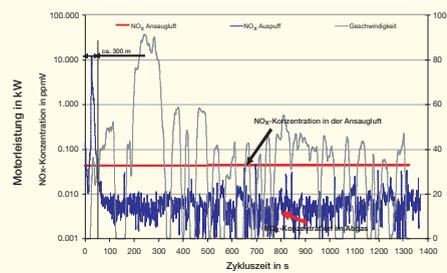
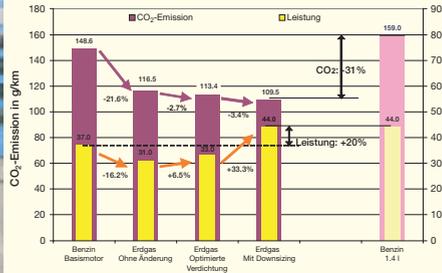
Qualifizierte Partikelfilter können bereits heute **Dieselmotoren effektiv entgiften**. Ein konsequenter Einsatz kann die Schadstoffbelastung an Baustellen nachhaltig reduzieren. **Eine Ausweitung der Filtertechnik** auf den Strassen-, Schiffs- und Bahnverkehr **wäre denkbar**; es gibt bereits Ansätze in diese Richtung. Detaillierte Untersuchungen müssen jedoch **sicherstellen, dass** die dabei eingesetzte Technologie robust und effizient funktioniert und **keine gefährlichen Sekundäremissionen** entstehen.

Mobilität, die auf Methan basiert

2002



2004



AUSGANGSLAGE

Heutige Methangasfahrzeuge weisen «mit Methangas betriebene Benzinmotoren» auf; sie können also sowohl mit Methan (Erd- oder Biogas) als auch mit Benzin betrieben werden. **Motortechnisch** bedeutet das jedoch immer einen **Kompromiss**, da die Motoren auf zwei unterschiedliche Treibstoffe konzipiert werden müssen. Um das **Potential von Methan** als Treibstoff so weit als möglich auszuschöpfen, muss der **Motor entsprechend angepasst** werden.

EMPA-AKTIVITÄTEN

Das «Clean Engine Vehicle»-Projekt (CEV) hat das Ziel, einen «echten» **Methangantrieb zu entwickeln** und dessen Potentiale aufzuzeigen. Die Empa hat in Zusammenarbeit mit dem Laboratorium für Aerothermochemie und dem Institut für Mess- und Regeltechnik der ETH Zürich ein **optimiertes Motorenkonzept erarbeitet**, eine geregelte Turboaufladung realisiert und ein Katalysatorsystem entwickelt. In einer Dissertation wurde die **motorische Verbrennung untersucht**.

RESULTATE

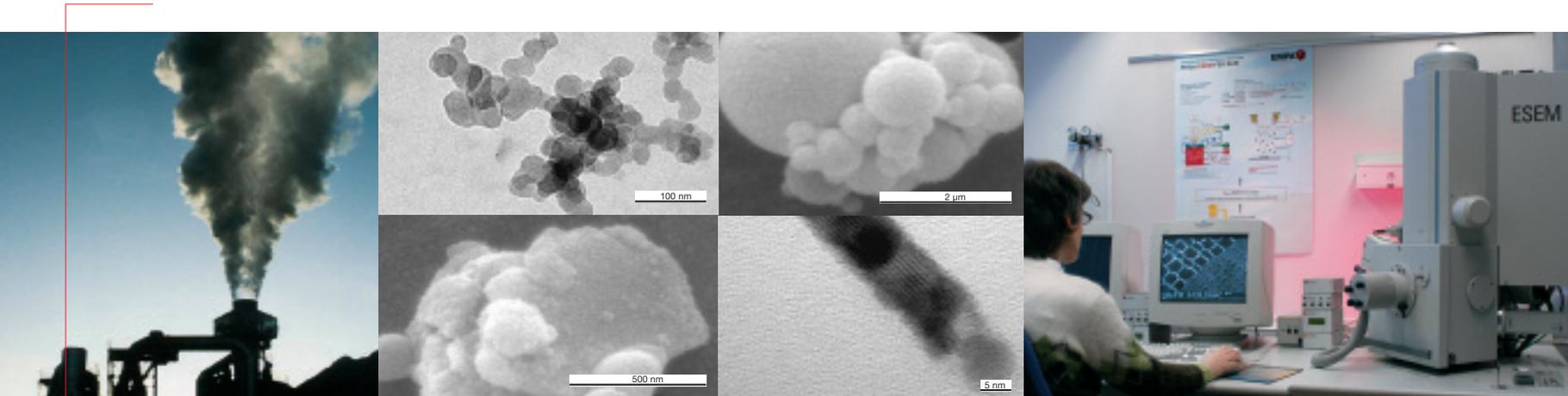
Das Projekt war erfolgreich: Neben der **CO₂-Reduktion um 30 Prozent** hält das Projektfahrzeug die strengsten kalifornischen Grenzwerte ein. Es weist **Schadstoffemissionen** an der «**Nullgrenze**» auf; der Ausstoss von Kohlenmonoxid, Benzol oder Russpartikel konnten **wesentlich reduziert** werden. Die Stickoxidemissionen sind im Abgas sogar niedriger als in der Ansaugluft. Damit gilt es in Kalifornien als **gleich sauber wie ein Elektrofahrzeug!**

ZUKUNFT

Die Empa konnte 2004 das **Prototypfahrzeug** der Volkswagen-Entwicklung in **Wolfsburg präsentieren**. Einzelne Erkenntnisse aus dem Projekt sollen nun bereits in die **nächste Generation der Methangasfahrzeuge von Volkswagen einfließen**. Ein noch ambitionierteres Nachfolgeprojekt mit denselben Partnern erhielt von der VW-Forschung ebenfalls die Zustimmung.

Partikel in der Luft: Eine Grössenordnung vom Mikrometer zum Nanometer

2003



AUSGANGSLAGE

Luftpartikel beeinflussen das Klima und beeinträchtigen die **Gesundheit** durch Atemwegserkrankungen. Sie sind ein **ernst zu nehmendes Problem** unserer industrialisierten Gesellschaft. Die **Wirkung der Partikel** hängt wesentlich von ihrer **Form, Grösse** und **chemischen Zusammensetzung** ab. Diese Parameter lassen sich alle hervorragend mit Hilfe der Einzelpartikelanalyse bestimmen und untersuchen.

EMPA-KOMPETENZ

Die Empa verfügt über eine **hohe Kompetenz in Materialwissenschaften** sowie über hochempfindliche analytische Geräte. Die an der Empa **etablierten physikalischen Methoden** sind **geeignet**, kleinste Luftpartikel von nur wenigen **Nanometer Durchmesser zu analysieren**. Bei den Methoden handelt es sich um Transmissionselektronenmikroskopie (TEM), Atomkraftmikroskopie (AFM) und Rasterelektronenmikroskopie unter Umweltbedingungen (ESEM).

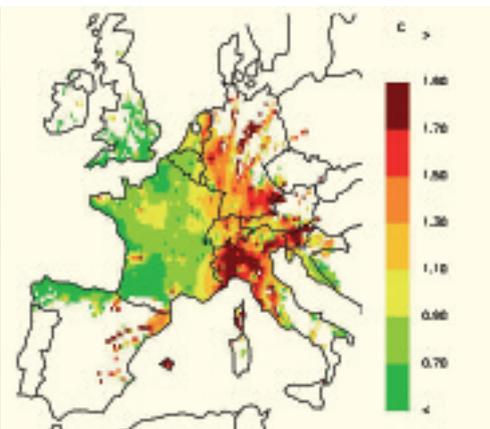
METHODE

Um kleinste Partikel von nur wenigen Nanometer Durchmesser in der Aussenluft **mit analytischen Methoden untersuchen zu können**, müssen die **Partikel auf geeignete Träger** gebracht werden. Die Empa entwickelt zusammen mit der Fachhochschule Aargau **neue Geräte**, welche in der Lage sind, **kleinste Luftpartikel auf verschiedenen Trägermaterialien zu sammeln**. Die genau definierte Probenahme dieser Luftpartikel bildet die Voraussetzung für eine nachfolgende detaillierte Analyse.

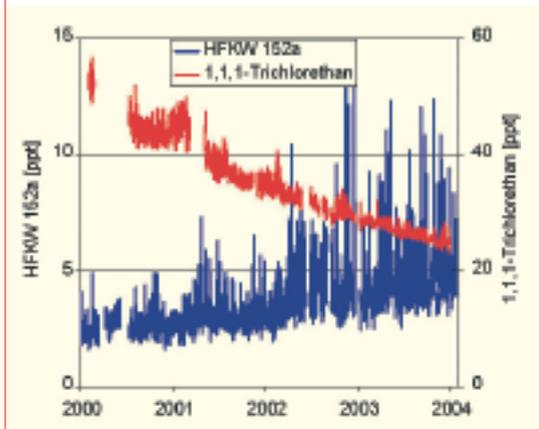
ZUKUNFT

Die **zentralen Fragen** betreffen **Herkunft und Wirkung der Luftpartikel**. Untersuchungen mit neusten materialwissenschaftlichen Analysemethoden, kombiniert mit computer-gestützten Modellrechnungen und Auswerteverfahren, ermöglichen der Empa, einen wesentlichen Beitrag zur **Quellenzuordnung und Entstehung der Partikel zu leisten**. Eine **wachsende Bedeutung** kommt dabei den **kleinsten Luftpartikeln** zu, den **Nanopartikeln**, die bisher wegen ihrer geringen Grösse kaum Beachtung fanden.

Spurengase der Zivilisation auf dem Jungfrauoch



2004



AUSGANGSLAGE

Von der Zivilisation verursachte **Spurengase** sind verantwortlich für globale Phänomene wie das **Ozonloch** und die **Klimaerwärmung**. Um einen Überblick über die weltweiten Emissionen dieser Gase zu erhalten, werden sie von den **einzelnen Ländern geschätzt** und anschliessend von **internationalen Organisationen ausgewertet**. Atmosphärische Langzeitmessungen an repräsentativen Stationen können ein wichtiges Instrument zur Überprüfung dieser Zahlen sein.

EMPA-KOMPETENZ

In der hochalpinen Forschungsstation Jungfrauoch (3580 m ü.M.) verfügt die Empa über **hochempfindliche Messgeräte, um Spurengase kontinuierlich zu messen**. Durch die zentrale Lage im hochindustrialisierten Europa spielt das **Jungfrauoch** eine wichtige Rolle in **europäischen und globalen Netzwerken** zur Messung von umweltrelevanten Substanzen in der Atmosphäre.

METHODE

Ozonschädigende **FCKWs** und deren treibhausaktive Ersatzprodukte (**HFKWs**) werden **seit dem Jahr 2000** mit einem Gaschromatograph-Massenspektrometer **gemessen**. Seit **2005** werden auch die klimarelevanten Gase **Methan und Lachgas** mit einer gaschromatographischen Methode analysiert. Diese Messungen **kombinieren** die WissenschaftlerInnen **mit meteorologischen Modellen**, um sowohl die Verschmutzungen bis zu ihrer **Herkunft** zurückzuverfolgen als auch die Stärke der **europäischen Quellen** abzuschätzen.

ZUKUNFT

Dieses Vorgehen erlaubt eine **unabhängige**, auf Umweltbeobachtung basierende **Kontrolle von internationalen Vereinbarungen** wie das Montreal- oder Kyoto-Protokoll. Durch die **langjährigen Messungen** auf dem Jungfrauoch und anderen repräsentativen Stationen ist die **Empa in der Lage, regionale Emissionen** von Spurengasen mit sehr hoher räumlicher Auflösung zu **überprüfen**. Dies kann die Basis sein für ein effizientes **globales Überwachungssystem**.

Europäische Quellregionen des treibhausaktiven Schäumungsmittels HFKW 152a, gesehen vom Jungfrauoch.

Die hochalpine Station auf dem Jungfrauoch, 3580 m ü.M.

Die Konzentration von 1,1,1-Trichlorethan sinkt ab, diejenige von HFKW steigt dagegen weiter an.

Stefan Reimann
stefan.reimann@empa.ch

Gegen die Umweltverschmutzung in Südamerikas Städten



PROBLEMATIK

Die BewohnerInnen **südamerikanischer Grossstädte** leiden unter **massiver Umweltverschmutzung**. Die Hauptursachen hierfür sind ein rasches **Bevölkerungswachstum**, eine **veraltete Fahrzeugflotte**, Industrieansiedlungen inmitten der Wohnquartiere und das weitgehende Fehlen einer Stadtplanung. Im Gegensatz zu Europa existieren aber wegen fehlender Mittel **keine Schadstoffmessnetze**, die ein gezieltes Planen von Massnahmen erlauben würden.

EMPA-KOMPETENZ

Seit drei Jahren betreut die Empa im Auftrag des Staatssekretariats für Wirtschaft (seco) das **Cleaner Production Center in Lima, Peru**. Aus diesen Kontakten heraus hat sich eine **wissenschaftliche Zusammenarbeit mit der PUCP-Universität in Lima ergeben**. Die Empa bringt ihr Wissen ein in den Bereichen **Umweltmanagement und Geographische Informationssysteme (GIS)**.

METHODE

Gemeinsam wird gegenwärtig eine Methode entwickelt, um allgemein **zugängliche Umweltdatenbanken** mit Informationen über die **räumliche Verteilung von Schadstoffquellen** in einem **GIS zu verknüpfen**. Daraus lässt sich dann abschätzen, wie die **Umweltverschmutzung in ganz Lima verteilt** ist. Die dortigen Umweltbehörden, unter anderem das «Comité Aire Limpio Lima-Callao», können damit sinnvolle Massnahmen zur Reduktion der Umweltbelastung vorschlagen und begründen.

VISION

Diese Methode zur **räumlichen Modellierung von Umweltbelastungen** wird zwar am Beispiel von Lima entwickelt – Ziel der Zusammenarbeit ist jedoch, die Methode mit wenig Mehraufwand auch **in anderen Städten Südamerikas einzusetzen**. In kurzer Zeit soll damit ein Überblick über die Belastungssituation möglich sein, so dass sowohl nationale Umweltbehörden als auch Organisationen der **Entwicklungshilfe wie DEZA oder Swisscontact die knappen Mittel möglichst effizient zur Schadstoffminderung einsetzen** können.

Empa-Mitarbeiter bei einer Betriebsbesichtigung im Rahmen des Cleaner Production-Auftrags in Peru.

Teilansicht von São Paulo.

Modellierungsschema.

Rainer Zah
rainer.zah@empa.ch

Elektronikabfall: Internationale Kooperation für ein globales Problem



AUSGANGSLAGE

Elektronikschrott (E-Schrott) besteht einerseits aus **wertvollen Materialien**, zum **Beispiel Gold**, andererseits aber auch aus **giftigen Substanzen wie Blei und Quecksilber**. Trotz internationalen Abkommen und Verboten werden Millionen Tonnen E-Schrott von Industrieländern **in Entwicklungsländer exportiert**. Dort machen niedrige Lohnkosten und Umweltstandards aus E-Schrott ein lukratives, doch auch **sehr gefährliches Geschäft**.

Eine Inderin bereitet Leiterplatten zur Kupferextraktion vor. Sie verwendet dazu gefährliche Säuren.

WISSENSPARTNERSCHAFT

Die Empa führte im Auftrag des Staatsekretariats für Wirtschaft Studien zur E-Schrott-Verarbeitung in drei Ländern durch – China, Indien und Südafrika. Sie entwickelte eine **neue Methode**, um in Zusammenarbeit mit lokalen Partnern komplexe E-Schrott-Recyclingsysteme zu beschreiben, **mögliche Risiken zu identifizieren** und eine Wissensgrundlage für deren Behebung zu schaffen. Der **ökonomische Nutzen** des E-Schrott-Geschäfts soll dabei **nicht gefährdet** werden.

Ein Chinese erhitzt eine Leiterplatte, um wertvolle elektronische Bauteile entnehmen zu können.

RESULTATE

In **Delhi (Indien)** ist das E-Schrott-Recycling ein **wichtiges Geschäft**, findet aber **meist illegal** in Hinterhöfen statt.
In **Peking (China)** gibt es zwar eine **Sammel- und Demontage-Industrie** für E-Schrott; zur Weiterverarbeitung wird er jedoch an die Küste transportiert, wo er **zwischen den illegalen Importen** verschwindet.
In **Johannesburg (Südafrika)** gibt es bereits fortgeschrittene Recycling-Anlagen. Es **fehlt jedoch ein durchgängiges** E-Schrott-Sammelsystem.

Das Recyceln von E-Schrott wird in Südafrika zum Teil professionell gehandhabt.

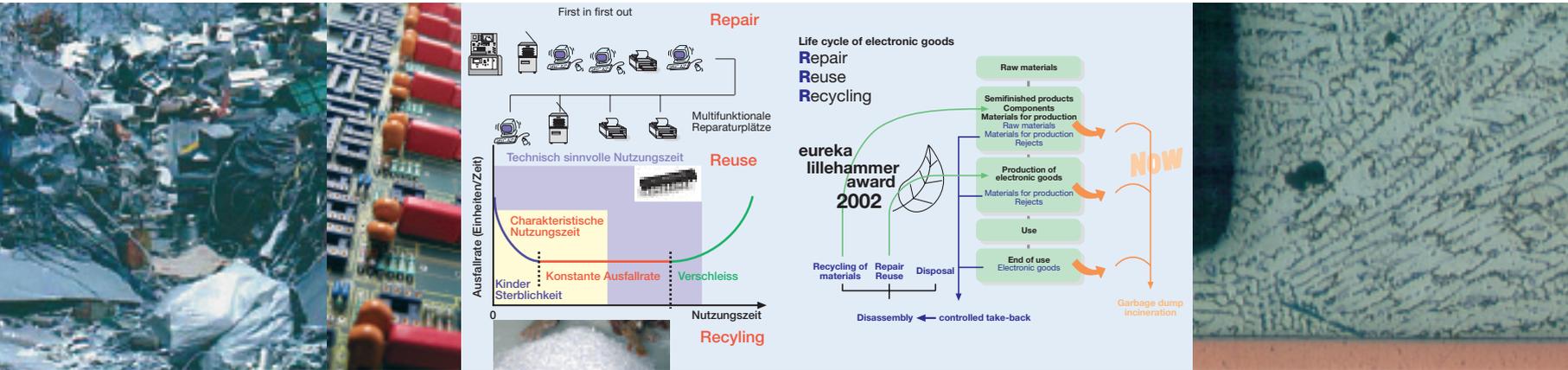
Rechts: Industrielles Recyceln von E-Schrott in der Schweiz.

AUSSICHT

Die Empa plant folgende Projekte:
Indien: Unterstützung des Technologietransfers und **Verbesserung der Schwarzarbeitspraktiken**.
China: Unterstützung der Regierung bei der **Formulierung von Gesetzen zum E-Schrott-Recycling**.
Südafrika: Förderung des bestehenden E-Schrott-Business und **Verbesserung des Recyclingkreislaufs**.
Ausserdem wird die Empa ihr Wissen und ihre Erfahrungen nutzen, um ein **E-Schrott-Kompetenzzentrum** aufzubauen.

Rolf Widmer
roff.widmer@empa.ch
Martin Eugster
martin.eugster@empa.ch

E-Schrott: Abfall oder Rohstoff?



AUSGANGSLAGE

Die Erfolgsgeschichte der Elektronik hat auch eine Kehrseite. Die **Kurzlebigkeit** elektronischer Produkte führt zu **enormen Abfallmengen**. Allein in der Schweiz fallen jährlich etwa 80'000 Tonnen **Elektronikschrott** (E-Schrott) an, in der EU 1.8 Millionen Tonnen. In der Regel werden diese auf Müllhalden oder in Verbrennungsanlagen entsorgt. E-Schrott **enthält** zum einen **giftige Materialien**, zum anderen jedoch auch **hochwertige Rohstoffe und Komponenten**, die das Ende ihrer Lebensdauer noch nicht erreicht haben.

EMPA-KOMPETENZ

Die Empa erarbeitet **Grundlagen**, um die im E-Schrott enthaltenen **Rohstoffe ökonomisch und ökologisch sinnvoll wieder zu verwenden** und den negativen Einfluss der Elektronik auf die Umwelt zu minimieren. Dabei muss der **gesamte Lebenszyklus** eines elektronischen Produkts betrachtet werden, angefangen bei der Gewinnung des Rohstoffs bis hin zur Entsorgung des Gerätes am Ende seiner Gebrauchsdauer.

Repair, Re-use und Recycling: die drei Säulen der nachhaltigen Verwertung von gebrauchter Elektronik.

RESULTATE

Im Projekt «CARE Materials and Ageing» untersuchte die Empa verschiedene Strategien zur Behandlung von Elektronik. Wie ist das **Rückgabeverhalten** der Konsumenten? Wie können **Sammelstrategien** optimiert werden? Welche **Reparaturstrategien** sind effizient? Welche verwertbaren **Sekundärrohstoffe** finden sich in elektronischen Baugruppen? Abschätzungen der Zuverlässigkeit zeigen, inwieweit Komponenten wieder verwendbar sind. Für die erreichten Resultate erhielt das Projekt 2002 einen **EUREKA-Forschungspreis**.

Der Lebenszyklus von gebrauchter Elektronik.

Rechts: Struktur einer bleifreien Lotlegierung.

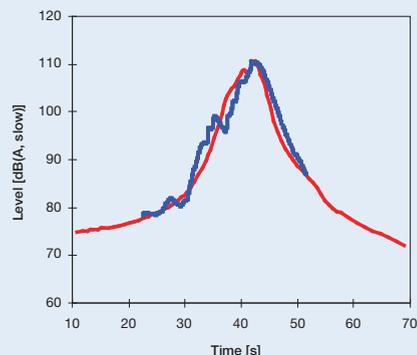
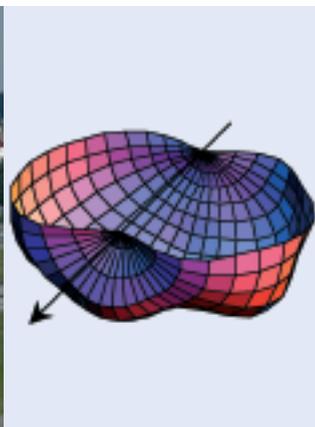
VISION

E-Schrott wird zum Rohstoff. Gesetze, wie die VREG in der Schweiz oder die WEEE und die RoHS in der EU, **regeln** das Verbot **gefährlicher Stoffe** und die **fachgerechte Entsorgung** gebrauchter Elektronik. Die Demontage zur Gewinnung gebrauchter Bauteile, die in **Schwellenländern** viele Arbeitsplätze schafft, muss **umweltverträglich werden**. Umweltschonende Technologien haben eine **Schlüsselfunktion**. So werden im EUREKA-Projekt LEAD-FREE Produktionsdaten und die Zuverlässigkeit **bleifreier Lote** untersucht.

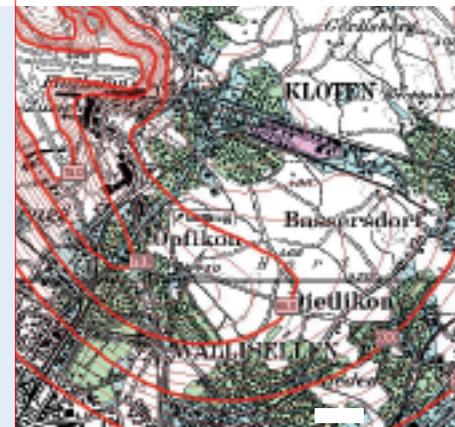
Günter Grossmann
guenter.grossmann@empa.ch
Peter Jacob
peter.jacob@empa.ch
Urs Sennhauser
urs.sennhauser@empa.ch

Fluglärm mit dem Computer simulieren

1985



2005



AUSGANGSLAGE

Wie sehr FlughafenanwohnerInnen sich durch Lärm belästigt fühlen, hängt **nicht nur von der Schallbelastung** ab. Auch Faktoren wie das **Vertrauen in den Flughafenbetreiber** beeinflussen das **Urteil der Betroffenen**. Trotzdem ist die Kenntnis der akustisch-physikalischen Belastung unverzichtbar, um zum Beispiel die Wahl von **lärmarmen Betriebsvarianten** zu erleichtern. **Lärmkarten** sind hierfür wichtige Entscheidungskriterien.

BERECHNUNGSVERFAHREN

Das an der Empa entwickelte Simulationsverfahren Flula2 basiert auf Kennwerten, welche die **Schallabstrahlung der verschiedenen Flugzeugtypen** beschreiben. Die Daten wurden in **aufwendigen Messungen auf dem Flughafen Zürich ermittelt**. Flula2 simuliert Flugzeuge, die entlang den tatsächlichen An- und Abflugrouten fliegen. Es berechnet daraus die **Schallabstrahlung aller Flüge** und die **Lärmbelastung am Boden**. Das Ergebnis sind Lärmkarten für die Umgebung des Flughafens.

EMPA-KOMPETENZ

In den heftig geführten Diskussionen rund um den **Fluglärm in Zürich** leistet die **Empa heute als neutrale und unabhängige Institution** einen wichtigen Beitrag zur **Versachlichung**. Die jährlichen Berechnungen zeigen, wie sich die **Fluglärmbelastung entwickelt**. In Studien werden Betriebsvarianten verglichen. Berichte über die Umweltverträglichkeit begleiten die Anträge der Flughäfen **für Änderungen des Betriebs**. LärmwirkungsforscherInnen erhalten akustische Daten, welche sonst nicht verfügbar sind.

ZUKUNFT

Ergebnisse von Forschungsarbeiten der Empa finden Eingang in **internationale Arbeitsgruppen**, deren Ziel es ist, die **Fluglärmrechnung zu verbessern und zu vereinheitlichen**. Wichtig dabei erweist sich die Frage der Unsicherheit der Simulation: Wie genau kann und muss die Fluglärmbelastung berechnet werden? Für die vom **Fluglärm betroffenen Regionen** wäre es wünschenswert, den **Fluglärm flächendeckend zu überwachen** und - wie beim Wetter - täglich vorherzusagen.

Die Empa versachlicht mit Forschungsergebnissen die Diskussionen rund um den Fluglärm in Zürich.

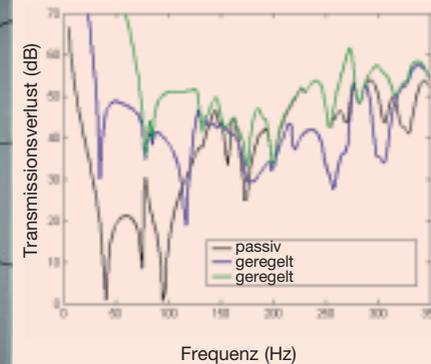
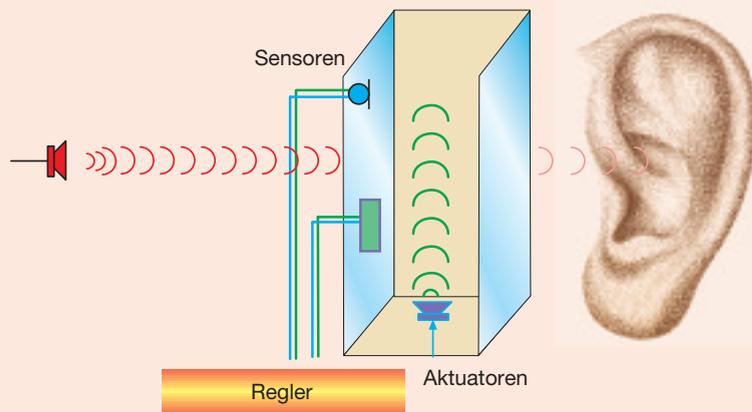
Richtcharakteristik – Schallabstrahlung gegen unten.

Berechnete (rot) und gemessene (blau) Schallabstrahlung während des Überflugs eines Militärjets.

Rechts: Ausschnitt aus einer von der Empa berechneten Fluglärmkarte.

Georg Thomann
georg.thomann@empa.ch

Aktive Lärminderung durch Gegenschall



PROBLEMATIK

Klassische passive Verfahren der Lärminderung an der Quelle führen oft dazu, dass die **Strukturen grösser** und schwerer werden. Heute ist jedoch **Leichtbau gefragt**. Hier hilft die Technologie der aktiven Lärminderung: **Schall mit Gegenschall mindern**. Dazu setzt die Empa Sensoren und Aktuatoren aus neuen **multifunktionalen Werkstoffsystemen** ein und verbindet sie mit robusten, adaptiven Reglern.

METHODE

Störende Geräusche lassen sich mit Gegenschall überlagern und dadurch auslöschen. Dazu **erfassen piezoelektrische Mikrofone das Geräusch** und Aktuatoren in Form von **adaptiven Werkstoffsystemen** und **Lautsprechern erzeugen den Gegenschall** – Schallwellen mit genau gleichen Eigenschaften wie der auszulöschende Schall aber mit verschobener Phase. **Adaptive Regler** passen das Schwingungsverhalten des Gegenschalls laufend und **ohne Zeitverzug optimal** an den ständigen Wechsel der Geräuschsignale an.

RESULTATE

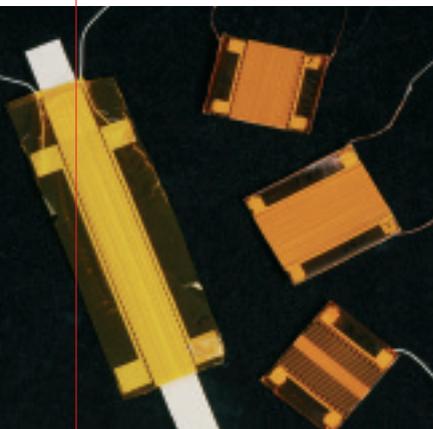
Die Empa hat eine **Doppelwandstruktur in Form eines aktiven Schallschutzfensters** aufgebaut. Darin integriert sind piezoelektrische Sensoren und piezokeramische Aktuatoren sowie eine adaptive Regler. Das **intelligente Bauteil** kann die Schalldämmung an **Intensität und Frequenz des Aussenlärms optimal anpassen**. Labortest zeigen, dass sich damit die Schallabstrahlung um mehr als **10 Dezibel reduzieren** lässt.

ZUKUNFT

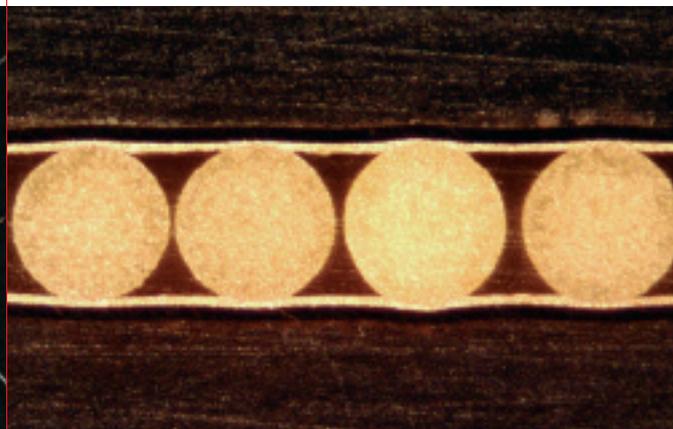
Im Rahmen des Europäischen Forschungsprogramms InMAR forscht die Empa weiter an der Technologie **aktiver Lärm- und Schwingungsminderung**. Ziel von InMAR ist die Entwicklung neuer, **intelligenter Materialsysteme** sowie deren Anwendung zur **Reduktion der Schallabstrahlung**. Adaptive Konzepte der Lärminderung werden damit gewichts- und raumsparende Alternativen zu herkömmlichen Verfahren der Lärminderung.

Aktive Faser-Komposite – flach, leicht und flexibel

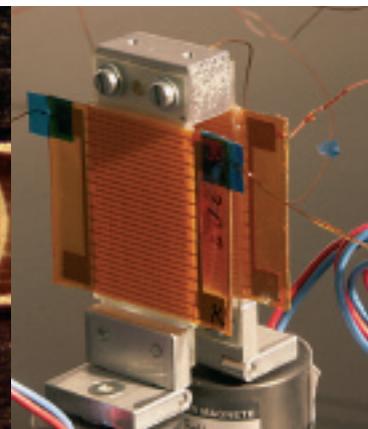
2003



2004



2005



AUSGANGSLAGE

Piezelektrische Materialien zeichnen sich durch zwei Eigenschaften aus: Einerseits können sie eine elektrische Spannung in eine mechanische Dehnung umwandeln (Aktuator), andererseits eine Verformung in ein elektrisches Signal (Sensor). Es ist möglich, aus piezelektrischen Fasern – im Gegensatz zu konventionellen Piezoelementen – flexible, flache und gleichzeitig leichte Aktuatoren und Sensoren herzustellen.

UMSETZUNG

Die Empa bettet piezelektrische Fasern in Polymer und fügt sie – mit Elektroden versehen – zu einem flexiblen Faserverbund, dem so genannten aktiven Faser Composite, zusammen. Diese Verbunde bringt sie als Aktuator oder als Sensor in Materialien und Strukturen ein, was erlaubt, ein System adaptiv zu gestalten. Die ForscherInnen der Empa evaluieren die Eigenschaften der piezelektrischen Faserverbunde und arbeiten an der Verbesserung ihrer Herstellung und der damit verbundenen Leistungssteigerung.

ERGEBNISSE

Durch Verbesserungen im Herstellungsprozess hat die Empa eine Leistungssteigerung der aktiven Faser Composites erzielt. Weitere Fortschritte konnten bei der Integration in Glasfaserlaminat und der Applikation auf gekrümmte Oberflächen erzielt werden. Dies ermöglicht unter anderem eine Änderung der Geometrie (aktive Strukturkontrolle) von Bauteilen.

VISION

Piezofaserverbunde finden vielfältige Anwendung: als Aktuatoren für die aktive Strukturkontrolle und adaptive Dämpfungssysteme wie auch als multifunktionelle Sensoren und Überwachungssysteme für Strukturbauerteile und Hi-Tech-Systeme, zum Beispiel in der Luft- und Raumfahrt. Aufgrund ihrer Flexibilität können die Aktuatoren und Sensoren auf und in verschiedenen Strukturen angebracht werden und bilden daher wichtige Elemente in adaptiven Systemen.

Aktive Faser-Komposite in verschiedenen Grössen und Geometrien.

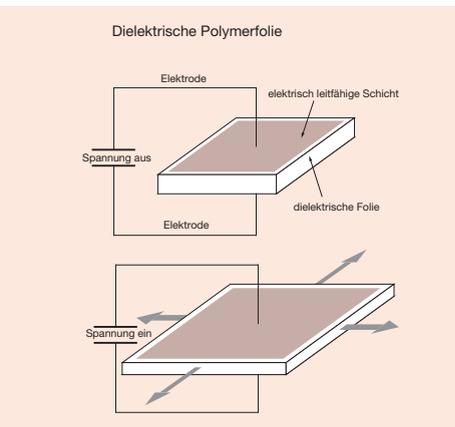
Querschnitt durch ein aktives Faser-Komposit.

Aktive Faser-Komposite in einer Anwendung.

Rechts: Windkraftanlagen: ein mögliches Anwendungsfeld in der Zukunft.

Christian Huber
christian.huber@empa.ch

Elektroaktive Polymere – intelligentes Plastik



AUSGANGSLAGE

Die Robotik benötigt **Aktoren**, die **elektrische Energie** in mechanische Arbeit **umwandeln**, zum Beispiel Elektromotoren, Schrittmotoren oder Piezokristalle. Die **herkömmlichen Aktoren** haben jedoch grosse **Nachteile**. In **Kleinformat** haben sie einen **niedrigen Wirkungsgrad**; in **Grossformat** sind sie sehr **schwer**. Seit einigen Jahren erforschen WissenschaftlerInnen der Empa ein neues, **leichtes Aktorprinzip** mit hohem Wirkungsgrad: **elektroaktive Polymere (EAP)**.

AUFBAU UND WIRKPRINZIP

Dazu **beschichten** die ForscherInnen eine dünne **elastische Folie** beidseitig mit **elektrisch leitfähigem Material**. Wird eine elektrische Spannung angelegt, entsteht zwischen den beiden Beschichtungen eine **elektrostatische Anziehungskraft**. Die Kraft quetscht die Folie einerseits **senkrecht zur Ebene zusammen**, andererseits **dehnt** sich die Fläche **horizontal** aus. Die ForscherInnen nutzen die Verformung, um Kraft auf ein Objekt auszuüben. Dieses Prinzip lässt sich beliebig vergrössern oder verkleinern.

STAND DER TECHNIK

Mit verschiedenen Prototypen konnte das Wirkprinzip bewiesen werden – **Beispiele** sind **planare, ein- oder mehrschichtige, gerollte** und **faserartige Aktoren**. Zurzeit testen verschiedene Forschungsgruppen die Anwendung in technischen Strukturen unterschiedlichster Art. Faszinierende Möglichkeiten eröffnen sich: Mit **solchen Aktoren ausgerüstete Strukturen** können sich an veränderte Umgebungsbedingungen **anpassen** (adaptive Strukturen) oder sich **gezielt verformen** (aktive Strukturen). Sie werden lebendig.

AUSBLICK

Viele Anwendungen sind vorstellbar: **Pumpen für Blut**, winzige Stellglieder, die – elektrisch angesprochen – mechanische Bewegungen in der Mikro- und Nanotechnologie ausführen, sowie **künstliche Muskeln** für Implantate und Prothesen. Käufliche Produkte sind jedoch bis heute **nicht auf dem Markt**. Weiterhin ist **viel interdisziplinäre Forschungs- und Entwicklungsarbeit** nötig, um die Beschichtungen zu optimieren, die Schichtdicken zu verringern und die Herstellung effizienter und kostengünstiger zu gestalten.

Elektroaktive Polymere schrumpfen und dehnen sich, wenn eine elektrische Spannung angelegt wird.

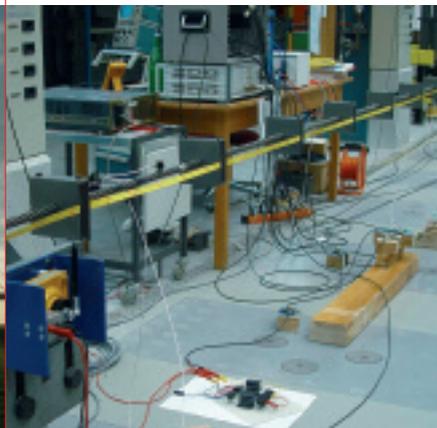
Gerollter Aktor aus elektroaktiven Polymeren: Als künstlicher Muskel kann er Prothesen bewegen.

Die Natur als Vorbild: perfekte Realisierung einer aktiven Struktur (Rochen).

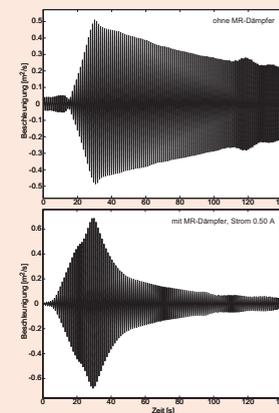
Silvain Michel
silvain.michel@empa.ch
Gabor Kovacs
gabor.kovacs@empa.ch

Dämpfung von Schrägkabelbrücken

2003



2004



PROBLEMATIK

Moderne, hochfeste und leichte Materialien ermöglichen das Bauen von **eleganten Brücken mit grossen, freien Spannweiten**. Häufig aber sind die **langen Schrägkabel** solcher Brücken sehr **schwingungsanfällig**. Um frühzeitige Materialschäden zu vermeiden und einen störungsfreien Betrieb der Brücke zu garantieren, müssen **solche Schwingungen** so weit als möglich **verhindert** werden.

METHODE

Magnetorheologische (MR) Fluid-Dämpfer sind **regelbare Dämpfungselemente**, deren Kraft den momentanen **Schwingungen angepasst** werden kann. Dazu werden die Schwingungen alle zehn Millisekunden **gemessen**, die benötigte Dämpferkraft vom Computer **berechnet** und die MR-Dämpfer dementsprechend **angesteuert**. Das Konzept ist **ausfallsicher**, da MR-Dämpfer **auch bei Stromausfall** mit ihrer Grundreibung arbeiten.

RESULTATE

An einem **Testkabel** wurde ein MR-Dämpfer mit verschiedenen Regelalgorithmen angesteuert, um das Dämpfungspotential der Algorithmen zu messen. **Abhängig vom Regelkonzept** konnten so **Schwingungen** um bis zu **90 Prozent reduziert** werden. Und auch in der realen Welt ist das Konzept der geregelten Dämpfung **im Einsatz**: Ein von der Empa geregelter MR-Dämpfer der Firma Maurer Söhne erhöht die **Kabeldämpfung der Eiland-Schrägkabelbrücke in Holland um das Neunfache**, bei Stromausfall um das Vierfache.

Experimentelles Bestimmen der optimalen Ansteuerung des MR-Dämpfers.

Rechts: Ausklingen der ersten Eigenschwingung mit und ohne MR-Dämpfer auf der Eiland-Brücke.

VISION

Dem Bauingenieur soll ein Dämpfungssystem in die Hand gegeben werden, welches

- **schwingungsabhängig** dämpft,
- nach dem Bau der Brücke **im Fall von Schwingungsproblemen** eingesetzt werden kann und
- **ausfallsicher** ist, also auch bei Stromausfall noch dämpft.

Eiland-Schrägkabelbrücke von Kampen, Holland, mit geregelter MR-Dämpfer.

Testkabel mit geregelter MR-Dämpfer von Maurer Söhne und Beschleunigungssensor.

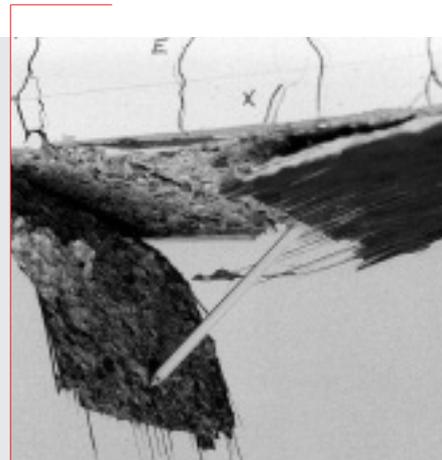
Felix Weber
felix.weber@empa.ch

Werkstoff der Luft- und Raumfahrt macht Karriere im Bauwesen

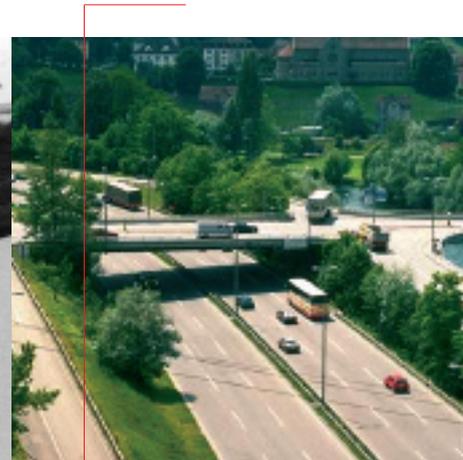
1984



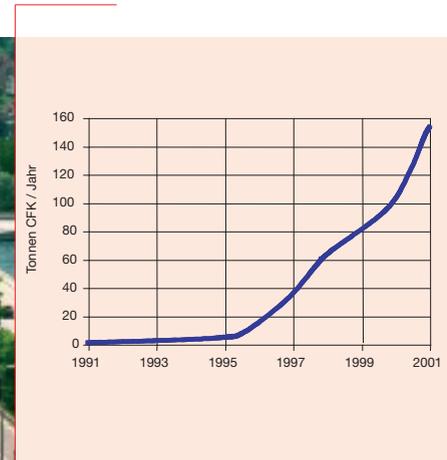
1987



1991



2001



AUSGANGSLAGE

Die militärische Luft- und Raumfahrt setzt **kohlenstofffaserverstärkte Kunststoffe (CFK)** seit den 1970er-Jahren für hoch beanspruchte Komponenten ein. CFK sind **extrem leicht, sehr korrosionsbeständig und ermüdungsfest**. Der Preis für Anwendungen spielt daher fast keine Rolle. 1982 plante ein Team der Empa, das **Verfahren auf das Bauwesen zu übertragen** und bestehende Stahlbetontragwerke durch Aufkleben federleichter Bänder aus CFK zu verstärken.

Öffentliche Präsentation der Idee, Strukturen des Bauwesens mit kohlenstofffaserverstärkten Kunststoffen zu verstärken.

TECHNISCHER ERFOLG

1987 führten **Ingenieure der Empa** an einem Medienanlass **anschaulich vor**, dass mit CFK Bauwerke, insbesondere Brücken, verstärkt werden können. **Auf einem Stahlbetonträger geklebte CFK-Bänder von nur 0,3 Millimeter Dicke erhöhten die Traglast um 30 Prozent**. Das Medieninteresse an dieser gelungenen Demonstration war gross – die Umsetzung in die Praxis wurde allerdings bezweifelt, da die teuren Kohlenstofffasern für das Bauwesen nicht bezahlbar, die Fasern spröde und deshalb nicht zuverlässig seien.

Auf einen Stahlbetonträger geklebte CFK-Bänder von nur 0,3 mm Dicke erhöhten die Traglast um 30%.

TROTZ ALLEM WIDERSTAND

1991 war es trotzdem so weit! **Mit nur sechs Kilogramm CFK-Bändern** verstärkte die Empa in Zusammenarbeit mit der StahlTon AG die **Ibachbrücke bei Luzern** – mit grossem Erfolg. Die Kosten für diese Art von Verstärkung sind vergleichsweise niedrig. Da die CFK-Bänder **einfach zu handhaben** sind, können sehr viele **Arbeitsstunden gespart werden**. Diese Einsparungen übertreffen in der Regel die Mehrkosten für den immer noch teuren Werkstoff CFK um ein Vielfaches.

Weltpremiere 1991: Die Ibachbrücke bei Luzern ist die erste Brücke weltweit, die mit kohlenstofffaserverstärkten Kunststoffen (CFK) verstärkt wird.

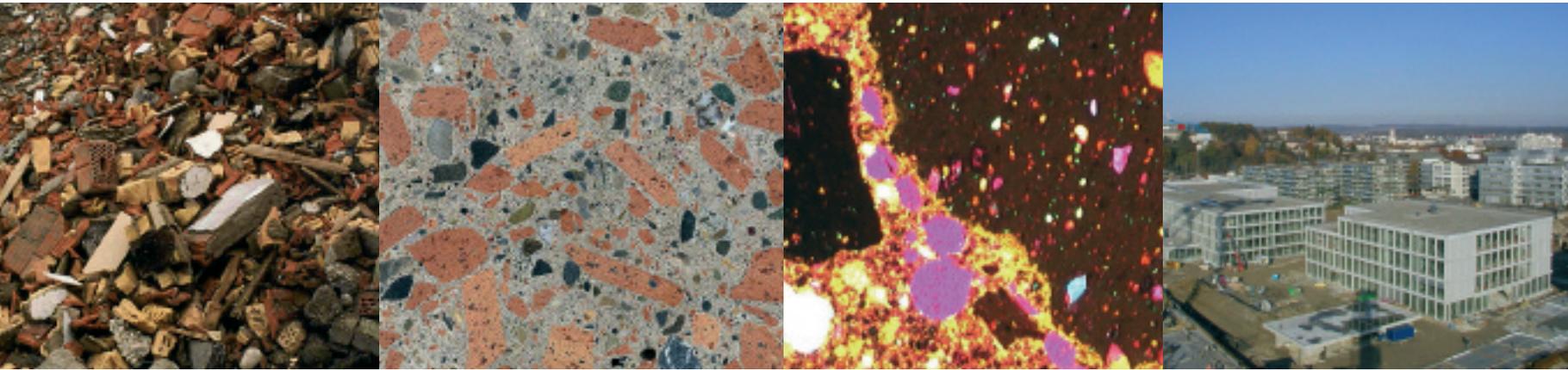
Rechts: Entwicklung des Verkaufs an CFK-Bändern für die Verstärkung von Bauwerken in der Schweiz.

ZUKUNFT

Die Verstärkung von Bauwerken mit **CFK-Bändern ist heute in Europa und vielen Teilen der Welt Stand der Technik**. Schweizer Firmen spielen in dieser Domäne weltweit eine Schlüsselrolle. Die Empa entwickelte das Verfahren in den vergangenen Jahren derart weiter, dass die **CFK-Bänder vor dem Aufkleben wie ein Heftpflaster über einen Schnitt im Finger gespannt** werden können. Das neuartige Verfahren wurde weltweit patentiert und wird heute **durch die Empa-Spin-Off-Firma Carbo-Link vermarktet**.

Urs Meier
urs.meier@empa.ch

Recyclingbeton – eine Gratwanderung zwischen Ökologie und Qualität



PROBLEMSTELLUNG

Dauerhafte **Bauwerke** müssen nicht nur wirtschaftlich erstellt, sondern am **Ende ihrer Lebensdauer** auch **umweltfreundlich und wirtschaftlich beseitigt** werden können. Baurestmassen machen zurzeit noch den **Hauptteil** der **in der Schweiz anfallenden Abfälle** aus. Es wird nach Lösungen gesucht, diesen Bauabfall in den **Stoffkreislauf** zurückzuführen. Eine Möglichkeit ist, **Sekundärrohstoffe** wie Beton- und Mischabbruch **aufzubereiten** und daraus Recyclingbeton herzustellen.

Beton- und Mischabbruch.

EMPA-KOMPETENZ

An der **Empa** sind umfassende materialwissenschaftliche **Kenntnisse über Recyclingbeton** vorhanden. Damit lassen sich sinnvolle **Anwendungsgebiete für diesen Betontyp** aufzeigen. Ressourcen schonende und nachhaltige Bauweisen werden dadurch ermöglicht.

Geschliffene Oberfläche von Recyclingbeton aus Mischabbruch.

FORSCHUNGSBEDARF

Die **Nachfrage** nach Recyclingbeton **steigt**. Noch aber sind Unsicherheiten vorhanden. Bevor Recyclingbeton in grossem Massstab eingesetzt werden kann, muss geklärt werden ob der Einsatz aus **technischer Sicht vertretbar**, aus **wirtschaftlicher Sicht attraktiv** und aus **ökologischer Sicht sinnvoll** ist. Die Empa untersucht deswegen die **charakteristischen Eigenschaften der Sekundärrohstoffe** und wie diese die mechanischen Eigenschaften und die **Dauerhaftigkeit des Recyclingbetons beeinflussen**. Zudem werden die statischen Aspekte analysiert.

Gefüge von Recyclingbeton im Lichtmikroskop.

Rechts: Einsatz von Recyclingbeton in der Praxis, Schulhaus „Im Birch“ (Quelle: Amt für Hochbauten).

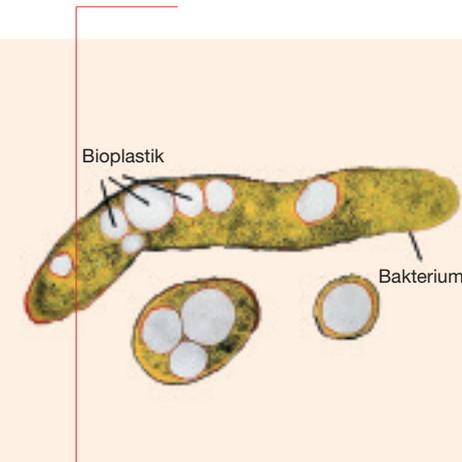
NUTZEN

Mit dem **Aufzeigen** von **Anwendungsmöglichkeiten** des Recyclingbetons kann die Empa die **Akzeptanz gegenüber Sekundärrohstoffen** erhöhen. Sie trägt somit wesentlich zu einer ökologischen und nachhaltigen Bauweise bei.

Cathleen Hoffmann
Cathleen.hoffmann@empa.ch

Bioplastik – Bakterien produzieren einen Werkstoff

2001



2005



AUSGANGSLAGE

Bis zum heutigen Tag ist **Erdöl die Basis** für die weltweite **Kunststoffproduktion**. Was aber geschieht, wenn in Zukunft die globalen **Erdölreserven erschöpft sein werden**? Die Empa forscht bereits heute an möglichen Alternativen. Hierbei steht die **Produktion von Polyestern aus nachwachsenden Rohstoffen** mit Hilfe von Mikroorganismen im Fokus der Forschung.

METHODE

Wenn Kohlenstoffsubstrate wie **Zucker oder pflanzliche Öle im Überschuss vorhanden** sind, gleichzeitig aber das **Stickstoffangebot knapp** und das Wachstum limitiert ist, so produzieren **einige Bakterien «Bioplastik»**. Es entsteht eine Polymermasse, deren chemische und physikalische Eigenschaften sich mit den angebotenen Kohlenstoffsubstraten manipulieren lassen.

NUTZEN

Das von den Bakterien gebildete **«Bioplastik»** hat gegenüber erdölbasierten Kunststoffen **grosse Vorteile**: Es ist ein nachhaltiger Biowerkstoff, der aus einem immer **wieder nachwachsenden Rohstoff produziert wird**. Des Weiteren **bauen Pilze und Bakterien** diesen biologischen Werkstoff auch **wieder ab**. Schliesslich eignet er sich bestens für medizinische Anwendungen, da er mit **grosser Reinheit hergestellt** wird, was die **Verträglichkeit im menschlichen Körper verbessert**.

ZUKUNFT

Wegen ihrer **guten Abbaubarkeit** und **hohen Bioverträglichkeit** ist die natürliche Polymermasse für viele industrielle Anwendungen **sehr interessant**. Vorstellbare Produkte sind kompostierbare **Verpackungen** und **Verbrauchsgüter** wie Einweggeschirr oder -besteck. Aber auch die **Medizin könnte von Bioplastik profitieren**. Mögliche Produkte sind hier Wundfäden, Hautersatz, Implantate, künstliche Arterien, Venen oder Herzklappen.

Bakterium mit eingelagertem Biopolymer.

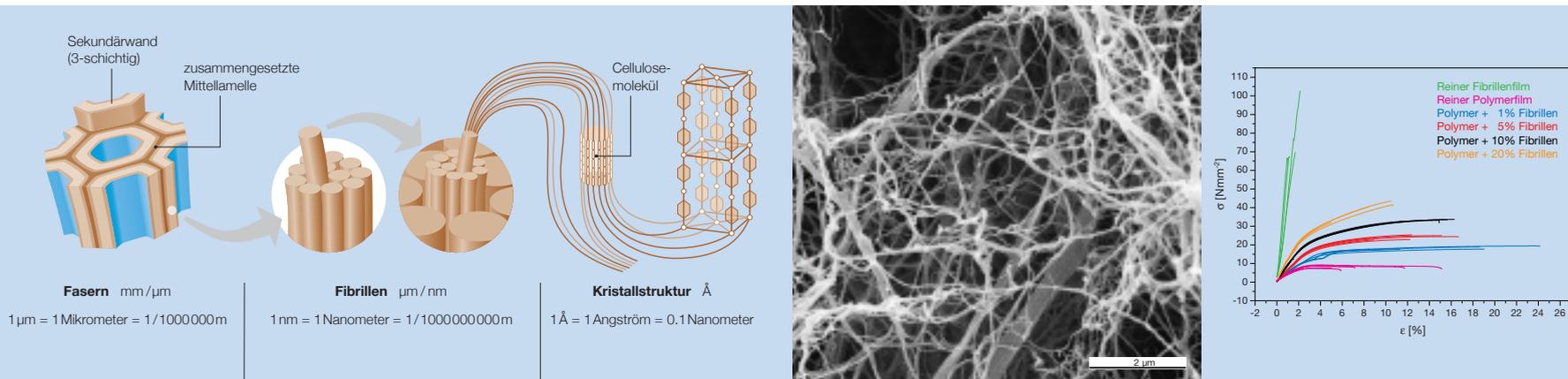
Biologisch abbaubarer Gummi.

Reaktoranlage zur Züchtung der Bakterien.

Rechts: Medizinisches Implantat aus Biopolyester (Lasersintering, R. Schindel, FH-SG).

Manfred Zinn
manfred.zinn@empa.ch

Holz – Basis für einen Nanowerkstoff



AUSGANGSLAGE

Holz besteht unter anderem aus so genannten **Cellulosefibrillen**, die etwa 5000-mal dünner als menschliches Haar sind. Sie verleihen dem **Holz seine hohe Zugfestigkeit** bei geringer Materialdichte – eine Eigenschaft, die auch für andere Werkstoffe wünschenswert ist. Ziel einer Studie an der Empa ist es, diese schmalen **Cellulosefäden zu isolieren** und das **Strukturprinzip der Holzzellwand für Verbundwerkstoffe** zu nutzen.

METHODE

ForscherInnen der Empa trennen **Cellulosefibrillen** mit Hilfe chemischer und mechanischer Verfahren **aus kommerziellem Zellstoff** heraus. Die so isolierten, in Wasser schwimmenden feinen Fibrillen werden mit einem **Polymer vermischt** und in eine Form gegossen, in der sie als Film trocknen. Die Festigkeit des Films wird unter anderem in Zug-Dehnungsprüfungen untersucht.

RESULTATE

Durch das Zerkleinern des Zellstoffes entstehen Fibrillen mit einem Durchmesser zwischen **20 und 100 Nanometer** und mit einer Länge von mehreren Mikrometern. Eingebettet in ein Polymer **erhöhen** sie dessen **Festigkeit und Steifheit**. Unter dem Elektronenmikroskop zeigt sich zudem, dass die **Fibrillen als Netzwerk und homogen** verteilt im Polymer vorliegen.

VISION

Cellulosefibrillen sind ein innovativer Bestandteil der Nanoforschung an der Empa. Ihr **natürlicher** Ursprung, ihre **hohe Festigkeit** und ihre **geringe Grösse** machen Cellulosefibrillen sehr attraktiv für eine Kombination mit Polymeren. Besonders interessant ist die Anwendung in Bereichen, welche eine **biologische Abbaubarkeit** bei gleichzeitig hoher **mechanischer Festigkeit** und gegebenenfalls **visueller Transparenz** fordern.

Struktur einer Zellwand. Die Cellulose bildet ein System aus Fibrillen.

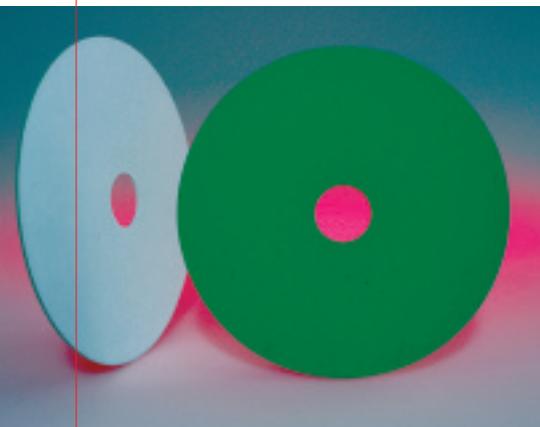
Rasterelektronenmikroskopische Aufnahme: Netzstrukturen aus mechanisch zerkleinertem Zellstoff.

Rechts: Zug-Dehnungskurven von Polymer-Verbundwerkstoffen mit unterschiedlich hohem Fibrillenanteil.

Tanja Zimmermann
tanja.zimmermann@empa.ch
Evelyn Pöhler
evelyn.poebler@empa.ch
Thomas Geiger
thomas.geiger@empa.ch

Hochleistungskeramiken für Hochtemperatur-Brennstoffzellen

2002

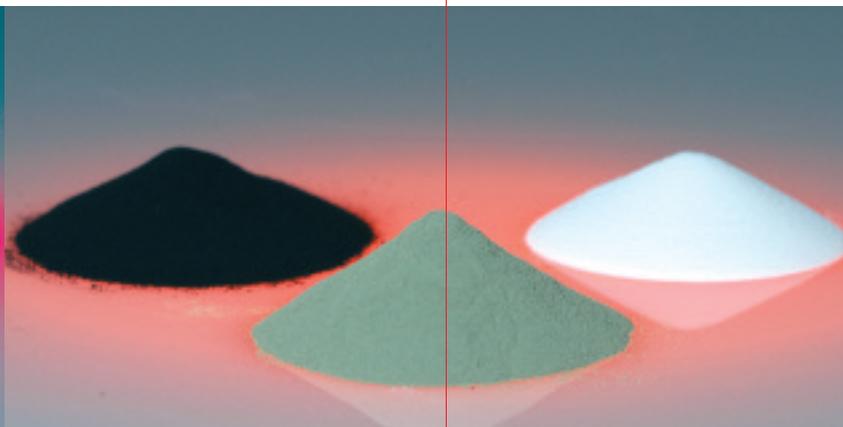


AUSGANGSLAGE

Hochtemperatur-Brennstoffzellen spielen bei der **künftigen Stromerzeugung** eine bedeutende Rolle. Sie wandeln **chemische Energie** – auch von Biobrennstoffen – leise und effizient **in elektrische und thermische Energie**. Betrieben werden die Brennstoffzellen bei Temperaturen von über 700°C. Dies stellt hohe Anforderungen an die Materialien. Die **Kernkomponenten** der Brennstoffzelle sind **keramische und metallisch-keramische Werkstoffe**, die zu einem funktionierenden Verbund zusammengefügt werden.

Anode und Elektrolyt aus Hochleistungskeramik für die Hochtemperatur-Brennstoffzelle (SOFC).

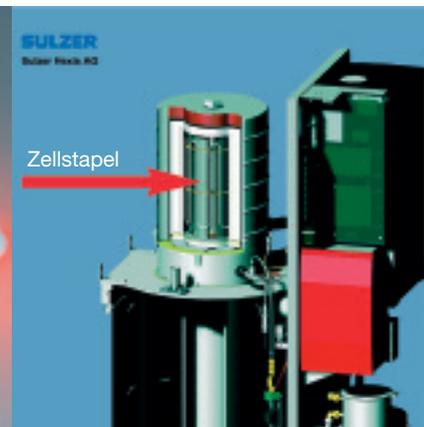
2004



EMPA-KOMPETENZ

Die Empa trägt mit ihrem Know-how dazu bei, **innovative keramische Materialien** für die Hochtemperatur-Brennstoffzelle – auch Festoxid-Brennstoffzelle, SOFC, genannt – zu entwickeln und für verschiedene Anwendungen zu optimieren. Mit **massgeschneiderten Keramikpulvern, Verarbeitungsprozessen** und **Formgebungsverfahren** ist sie Partner von Industrie und Wissenschaft.

Keramische Pulver, aus denen verschiedene Komponenten der Brennstoffzelle hergestellt werden.



METHODE

Elektrische und katalytische Eigenschaften der verwendeten Materialien bestimmen, wie leistungsfähig derartige Brennstoffzellen sind. **Elektronen und Sauerstoffionen** müssen möglichst **verlustfrei** an den **Grenzflächen übertragen** und **in den Materialien transportiert** werden können. Dazu stellt die Empa Materialien und Materialkombinationen her und untersucht deren Struktur und Funktion unter für die Anwendung relevanten Bedingungen.

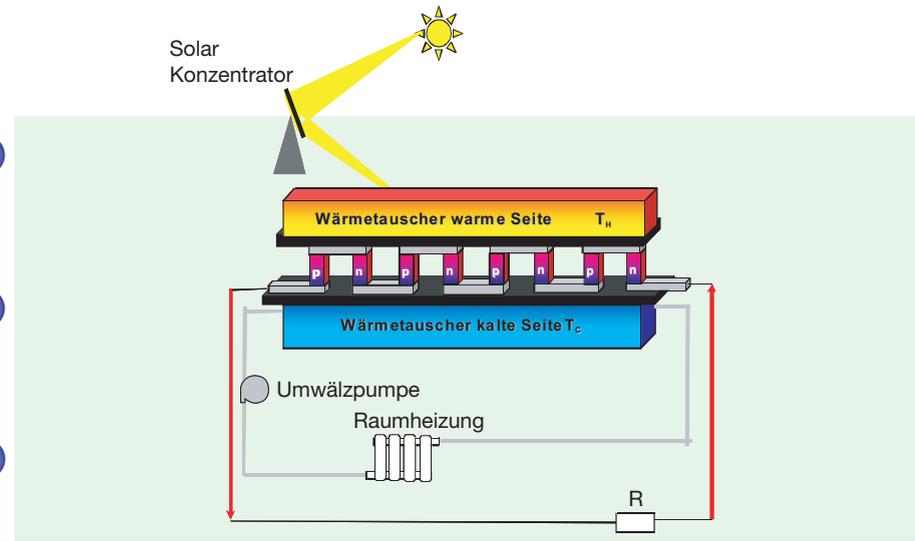
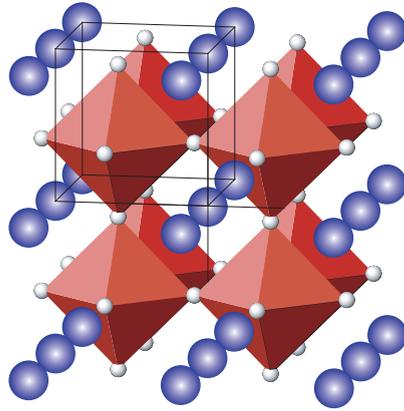
System mit Hochtemperatur-Brennstoffzellen für die zukünftige Strom- und Wärmeproduktion.

ZUKUNFT

In Zusammenarbeit mit Schweizerischen und Europäischen Forschungszentren, Industrie- und Hochschulpartnern erforscht die Empa neue Materialien und Konzepte. Damit **soll es gelingen, Leistung und Lebensdauer von bestehenden Brennstoffzellen** zu verbessern.

Peter Holtappels
peter.holtappels@empa.ch

Materialien wandeln Wärme in Elektrizität



AUSGANGSLAGE

Thermokraft wandelt thermische Energie in **elektrische Energie**. Thermoelektrische Wandler sind **umweltfreundlich, lautlos, emissionsfrei und langlebig**. Daher kommen sie für die unabhängige Stromversorgung in Betracht, für die zum Beispiel **Abwärme von Maschinen** oder **Sonneneinstrahlung** genutzt wird. Um einen möglichst hohen Wirkungsgrad zu erzielen, sind Materialien erforderlich, die **neben grosser Thermokraft** und **hoher elektrischer Leitfähigkeit** eine **niedrige Wärmeleitfähigkeit** aufweisen.

ZIEL

Materialien, die bei **hohen Temperaturen stabil sind** und einen grossen Wirkungsgrad aufweisen, würden es ermöglichen, **Sonnenenergie** oder **Abwärme** mit Hilfe von Thermokraft **zu nutzen**. **Herkömmliche** thermoelektrische Materialien **eignen sich nicht** für Anwendungen bei hohen Temperaturen, da sie in Luft nicht temperaturstabil sind. **Neue Materialien** werden daher benötigt.

PROJEKTE

Übergangsmetalloxide mit **perowskitartigen** Kristallstrukturen verfügen über eine **enorme Vielfalt von interessanten physikalischen Eigenschaften**. Die Empa untersucht sie eingehend in mehreren Projekten.

RESULTATE

Einige dieser Keramiken haben eine **grosse Thermokraft**. Mit thermogravimetrischen Experimenten wies die Empa deren **sehr gute thermische Stabilität in Luft nach** und zeigte, dass die Substanzen für Anwendungen bei Temperaturen von etwa 1000°C hervorragend geeignet sind. Die thermoelektrischen Eigenschaften dieser Substanzen können zudem unter anderem durch **strukturelle und morphologische Änderungen gezielt beeinflusst** werden.

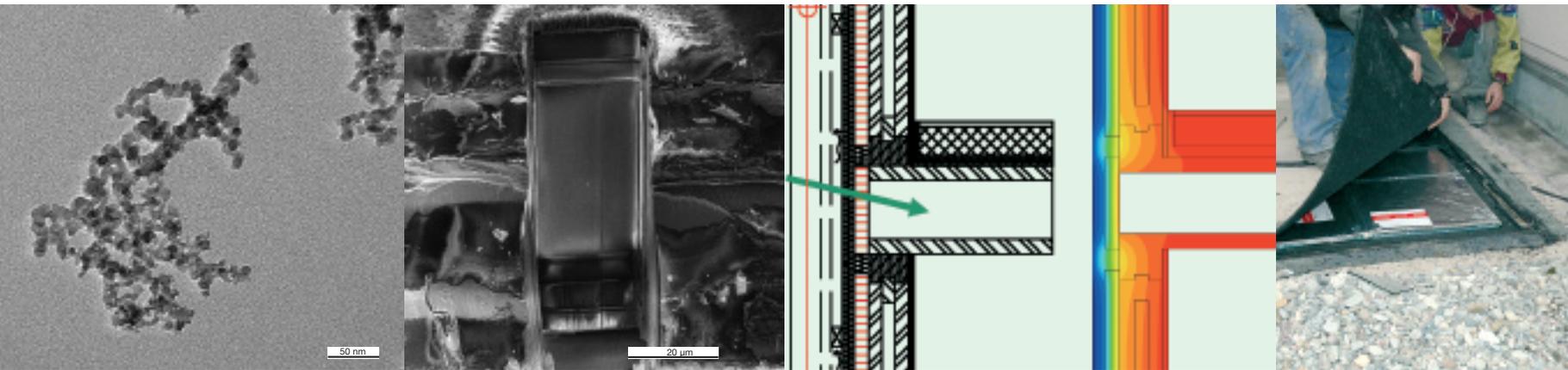
Gefüge von nanoskopisch kleinen Metalloxidpartikeln in Form von Plättchen.

Kristallstruktur eines Perowskits, einer elektrisch leitfähigen Oxidkeramik.

Solarthermischer Konverter: durch konzentrierte Solarstrahlung beheizter Wärmetauscher.

Anke Weidenkaff
anke.weidenkaff@empa.ch

Leistungsstarke Wärmedämmung



AUSGANGSLAGE

Gute Architektur und **wirkungsvolle Wärmedämmung** von Gebäuden sind oft schwierig in Einklang zu bringen, weil aus energetischen Gründen dicke Dämmschichten erforderlich sind. **Vakuumisolationspaneelen (VIP)** ermöglichen **neue Lösungen**, da vergleichsweise **dünne VIP-Schichten** die geforderten Dämmwerte erreichen. Wichtig für den erfolgreichen Einsatz sind **Zuverlässigkeit, Lebensdauer** und **wärmetechnische** Eigenschaften von VIP in Bauteilen.

BESONDERE EMPA-KOMPETENZ

Die Empa verfügt über langjährige Erfahrung in den Bereichen Bauphysik und **Wärmedämmung** sowie **Alterung** und **Lebensdauerprognose von Materialien und Systemen**. Die WissenschaftlerInnen können somit ein breites Spektrum von Labormethoden und **numerischen Verfahren** einsetzen, um Fragestellungen bezüglich **Materialeigenschaften** oder Anwendungen im Baubereich **interdisziplinär** zu bearbeiten.

UMSETZUNG

Die **Wärmeleitfähigkeit** des mikroporösen Kerns (pyrogene Kieselsäure) nimmt durch das **Eindringen von Gasen und Wasser** durch die Barrierschicht (metallisiertes Polymerlaminat) **kontinuierlich** zu. Die Lebensdauer von VIP-Bauteilen ist dadurch begrenzt. Die WissenschaftlerInnen haben diese **Effekte in beschleunigten Alterungsversuchen quantifiziert** und für klimaabhängige **Lebensdauerprognosen** ausgewertet. Sie untersuchten auch die thermische Kurzschlusswirkung der Barrierschicht im Randbereich.

RESULTATE

Die Laboruntersuchungen zeigen, dass **VIP mit Barrierschichten** auf Polymerbasis **unbedeutende Wärmebrücken im Randbereich** aufweisen und eine **Lebensdauer von einigen Jahrzehnten** erreichen können. In-situ-Messungen zur Absicherung der Laborresultate sind im Gang. Als Schwachstelle zeigt sich die Durchlässigkeit der Barrieren für Wasserdampf. Die WissenschaftlerInnen arbeiten deshalb an der **Entwicklung von Polymer-Schichtsilikat-Verbundfilmen**, die auch im **Brandfall gute Eigenschaften** besitzen.

SiO₂-Aggregate: Auch in gepresstem Zustand bleibt im VIP der Porenanteil über 90%.

Schnitt durch die Schweissnaht am Rand eines VIP.

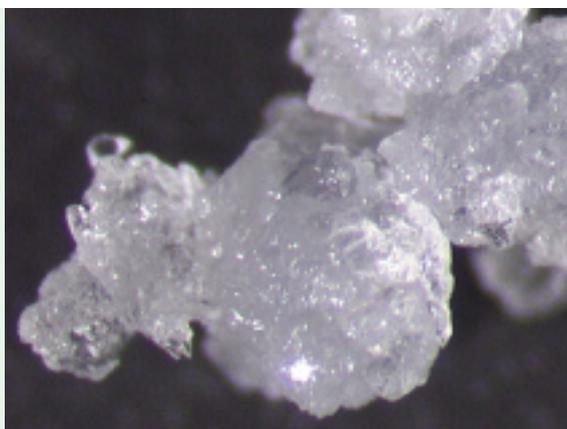
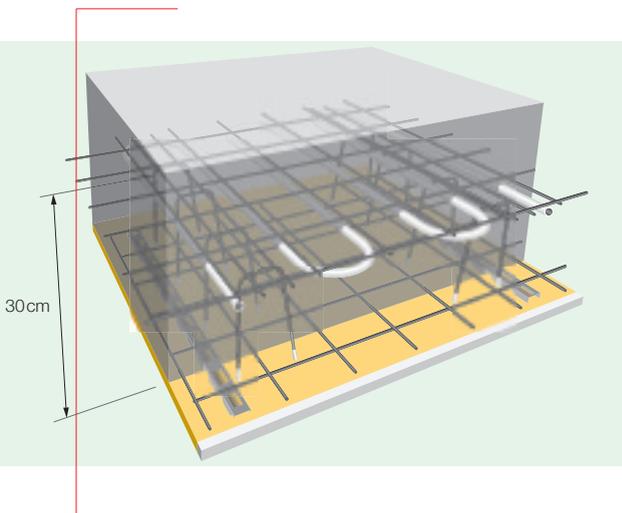
Vertikalschnitt und Isothermenbild einer VIP-Holz-Leichtbauwand mit Stockwerkanschluss.

Rechts: VIP werden unter realen Bedingungen untersucht, um Laborergebnisse zu bestätigen.

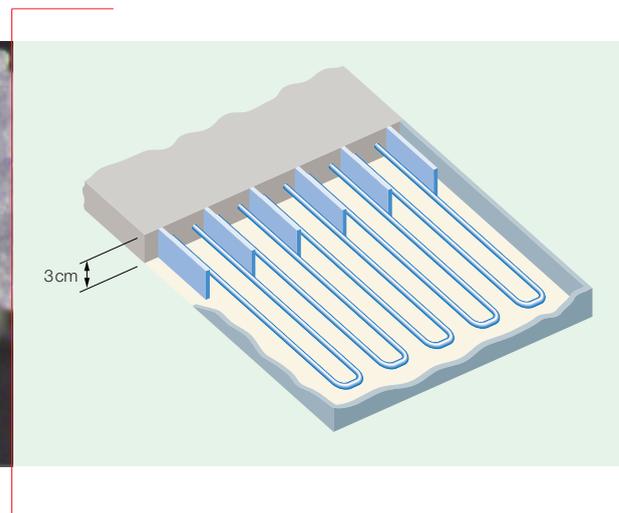
Hans Simmler
hans.simmler@empa.ch

Thermoaktive Bauteilsysteme kühlen kostengünstig

2002



2004



AUSGANGSLAGE

Räume möglichst **preisgünstig** auf einer **angenehmen Temperatur** zu halten, ist eine technische Herausforderung. Die **zwischenzeitliche Speicherung von Überschusswärme** in Gebäudebauteilen stellt eine lohnende Möglichkeit dar. Vor allem Geschossdecken und Böden eignen sich dafür. **Am Tag speichern** die thermoaktiven Bauteile die **Überschusswärme**, welche **nachts** dem Bauteil durch die im Kern verlegten **Rohrleitungen wieder entzogen** wird.

RENOVATION

In **bestehenden Gebäuden** können die Bauteile **nicht nachträglich** mit den **benötigten Rohrsystemen** ausgerüstet werden. Ein **neues Deckenelement** mit einer Aufbauhöhe von lediglich drei Zentimeter soll deshalb diese **Funktion übernehmen**. Dabei soll es über die gleiche Speicherfähigkeit wie 30 Zentimeter Beton verfügen.

METHODE

Um die **benötigte Speicherfähigkeit** bei **gleichzeitig viel geringerem Gewicht** zu erreichen, wird ein **spezielles Material** eingesetzt – ein Phasenwechselmaterial auf Salzhydratbasis (**Glaubersalz**). Dieses Material **speichert Energie**, während es **schmilzt, ohne sich** dabei stark zu **erwärmen**. Beim **Erstarren** setzt es die **Wärme wieder frei**. Aus diesem Material wurde ein Labor-Prototyp des Deckenelements entwickelt.

ZUKUNFT

Für die Zukunft ist die **Umsetzung** der Forschungsergebnisse **in die Praxis** geplant. Ausgehend von dem funktionsfähigen Prototyp plant die Empa, das beschriebene Hochleistungs-Deckenelement in Zusammenarbeit **mit der Industrie zur Produktreife** weiter zu entwickeln.

Thermoaktives Bauteil mit in der Geschossdecke einbetoniertem Rohrsystem.

Mikroskopische Aufnahme des auf Glaubersalz basierenden Phasenwechselmaterials.

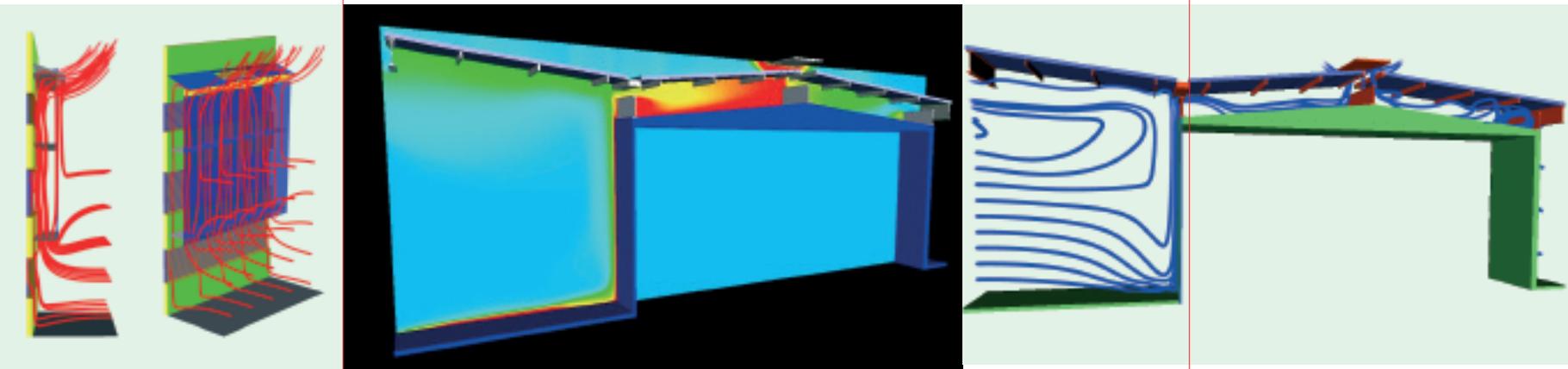
Thermoaktives Deckenelement, gefüllt mit Phasenwechselmaterial für den Einsatz bei Renovierungen.

Markus Koschenz
viktordorer@empa.ch

CFD-Modellierung von Luftströmungen in der Bauphysik

2002

2004



AUSGANGSLAGE

Hochverglaste Bürogebäude sind in letzter Zeit immer häufiger anzutreffen – der Werkstoff Glas fasziniert Architekten und Bauherrschaft. Diese Gebäude **neigen jedoch zur sommerlichen Überwärmung** und müssen deshalb sehr sorgfältig geplant werden. Der **thermische Komfort** in den dahinter liegenden Räumen soll energieeffizient, das heisst möglichst **ohne aktive Klimatisierung gewährleistet werden** können. Besonders anspruchsvoll sind Gebäude mit Glas-Doppelfassaden oder verglasten Atrien.

EMPA-KOMPETENZ

Die Empa verfügt über ein grosses Know-how sowohl in der **experimentellen als auch in der numerischen Untersuchung von hochverglasten Fassaden und Gebäuden**. Seit vielen Jahren beschäftigt sie sich mit thermischen und optischen Eigenschaften von Materialien und Komponenten.

METHODE

Der Begriff Computational Fluid Dynamics (CFD) bezeichnet die **numerische Simulation von Strömungen**. Zusätzlich zum konvektiven Wärmetransport können auch der **Wärmetransport durch Leitung oder Strahlung** sowie die **Schadstoffausbreitung simuliert** werden.

NIEDRIGENERGIE-BÜROGEBÄUDE

Gebäude mit **Glas-Doppelfassaden** werden in **drei Stufen modelliert**: (i) Solarstrahlungsprozesse und (ii) Mikroklima in der Fassade (CFD) sowie (iii) thermisches Verhalten des Gebäudes (Gebäudesimulation). Ein **energieeffizienter Ansatz** für moderne Bürobauten ist die **passive Kühlung**. Die Gebäudestruktur wird dabei durch die **Nachtluft abgekühlt**, so dass **tagsüber** eine Senke zur **Aufnahme von Wärme** vorhanden ist. Auch hier gewährleistet CFD eine hohe Sicherheit für gute Planung.

Stromlinien in einer Glas-Doppelfassade bei hoher Sonneneinstrahlung.

Temperaturverteilung unter einem Glasdach.

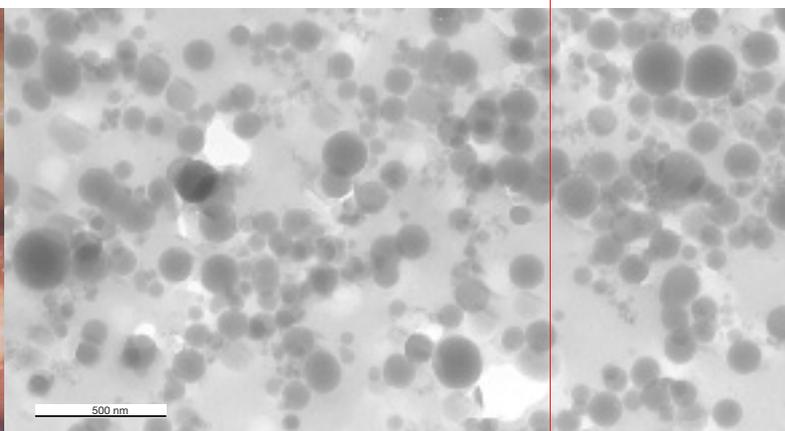
Stromlinien unter einem Glasdach.

Heinrich Manz
heinrich.manz@empa.ch

Innovation dank Nanopartikeln

1990

1990



2002



AUSGANGSLAGE

Die **Bausteine** moderner Werkstoffe werden immer **kleiner**. Dadurch lassen sich Materialien mit einzigartigen Eigenschaften herstellen. Der Zusatz von **winzigsten Partikeln** in der Grösse von 1 bis 100 Nanometer, so genannten Nanopartikeln, gibt zum Beispiel Farben und Zahnpasten die **richtige Konsistenz**, Sonnencremes den **hohen Schutzfaktor** und Zahnfüllungen die **extreme Abriebfestigkeit**.

EMPA-KOMPETENZ

Die Empa besitzt grosses **Know-how** bei der Herstellung, Charakterisierung und Verarbeitung von **Nanopartikeln**. Sie verfügt über mehrere Anlagen und Verfahren zur **Synthese** von Nanopartikeln, über eine moderne, umfangreiche Ausrüstung für deren **Analyse** und die Apparaturen und Methoden zur **Weiterverarbeitung**. In jedem Bereich stehen entsprechende SpezialistInnen zur Verfügung.

METHODE

Nanopartikel werden an der Empa auf verschiedene Weisen hergestellt: **in Flammen** und **im Plasma** als trockenes Pulver, **in Flüssigkeiten** als Dispersion oder über die **sol-gel-Methode** und die **Vermahlung**. Je nach Prozessroute entstehen gezielt rein metallische, sauerstoff-, kohlenstoff-, stickstoffhaltige oder auch Partikel aus mehreren Komponenten. Meist wird anschliessend die **Oberfläche der Partikel modifiziert**, um sie möglichst gut verarbeiten oder in einen **Grundwerkstoff einbringen** zu können.

ZUKUNFT

Das Ziel der Forschung besteht darin, Nanopartikel mit kontrollierter Form **als Nanokügelchen, -stäbchen oder -plättchen** herzustellen. Zusätzlich sollen die Partikel stabil sein, damit sie getrennt voneinander vorliegen. In dieser idealen Form können sie besser in Werkstoffe eingebracht werden. Mit den **massgeschneiderten Nanopartikeln** lassen sich **neuartige Materialien** bzw. Produkte **kreieren**: kratzfesteste Lacke, abriebfeste Reifen, selbstreinigende Fenster und Keramikimplantate mit höchster Bioaktivität.

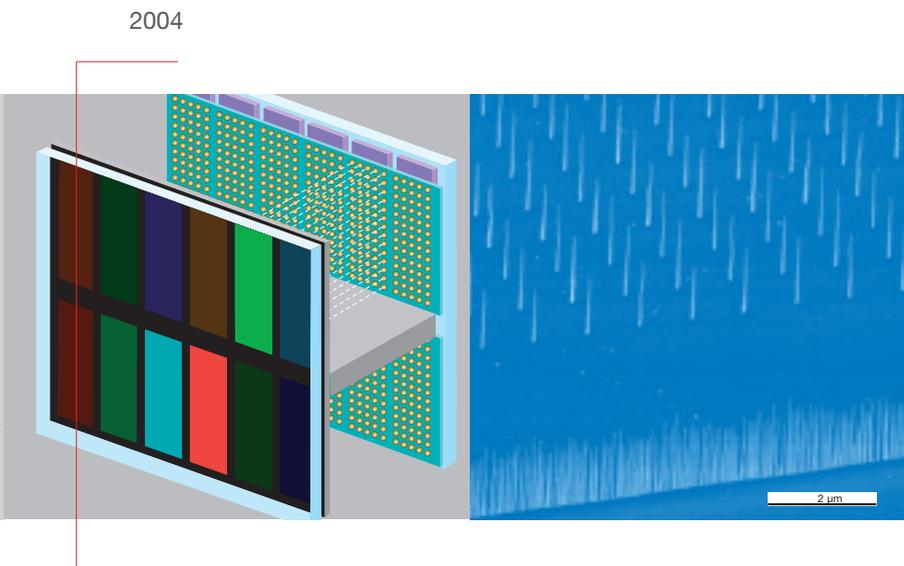
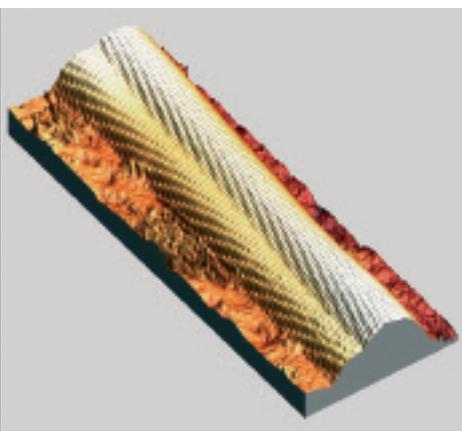
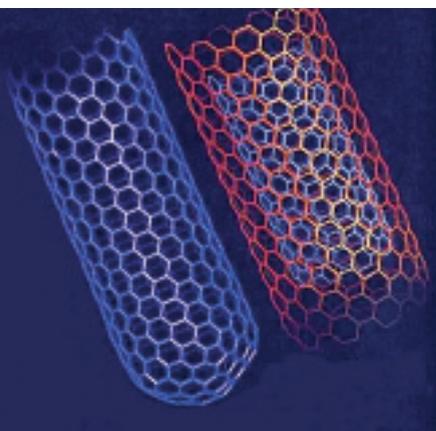
Unten: Moderne Zahnfüllstoffe bestehen zu 50% aus Nanopartikeln. Oben: Amalgam.

Mikroskopische Aufnahme des Polymerfüllstoffes mit kugelförmigen Nanopartikeln.

Rechts: In Diffusionsflammen (links) und im Plasma (rechts) lassen sich gezielt Nanopartikel herstellen.

Thomas Graule
thomas.graule@empa.ch
Andri Vital
andri.vital@empa.ch

Kohlenstoff-Nanoröhrchen (KNR)



2004

AUSGANGSLAGE

Kaltkathoden sind für den Einsatz in der nächsten Generation von **Flachbildschirmen** bereit. Ihr Herzstück sind sehr scharfe Spitzen, die durch geometrische Feldverstärkung **extrem hohe elektrische Felder** von 30 bis 50 Megavolt pro Zentimeter erzeugen. Ganz besonders **eignen sich** für die Elektronenfeldemission **Kohlenstoff-Nanoröhrchen (KNR)**, graphitische Zylinder mit einem Durchmesser von 1 bis 50 Nanometer und einer Länge von einigen Mikrometern.

WARUM DIE EMPA

Die Empa verfügt über grosses Know-how in der **Untersuchung von Elektronenemissionskathoden** hinsichtlich der technologisch relevanten Funktionsparameter. Dieses **Know-how**, gepaart mit der langjährigen Erfahrung in der **Herstellung von KNR-Feldemittern**, erlaubt es ihr, in praxisnahen Projekten mit Partnern aus Industrie und universitärer Forschung KNR-Elektronenquellen **effizient zu entwickeln – für Bildschirme, Verstärker- oder Röntgenröhren**.

UMSETZUNG

Die Qualität einer Feldemissionskathode **hängt von vier Faktoren ab**: Einsatzfeldstärke, nutzbare Emissionsstromdichte, Emissionshomogenität und Lebensdauer der Emitterspitzen. **Diese Grössen** lassen sich mit einem **Raster-Anoden-Feldemissionsmikroskop (RAFEM)** bestimmen und untersuchen; so können die relevanten Eckpunkte für die Qualität definiert werden. Das Empa-Labor „nanotech@surfaces“ **entwickelte und nutzt ein RAFEM**, um die Emissionseigenschaften von Kaltkathoden auf der Mikrometerskala besser zu verstehen.

AUSSICHTEN

Für **Sony Display Technology** (Japan) **konstruierte die Empa** ein neues Ultra-Hochvakuum-RAFEM, das zur Charakterisierung grossflächiger KNR-Kaltkathoden für Flachbildschirme herangezogen wird. Es wurde **in Japan aufgebaut** und ist **seit Dezember 2003 in Betrieb**. Für Sony stellt das Mikroskop ein wichtiges Instrument für die Entwicklung ihres **neuen Feldemissionsflachbildschirms** dar. Diese neue Bildschirmtechnologie wird möglicherweise in nicht all zu ferner Zukunft Einzug in unsere Wohnzimmer halten.

Skizze eines einwandigen und eines mehrwandigen Kohlenstoff-Nanoröhrchens.

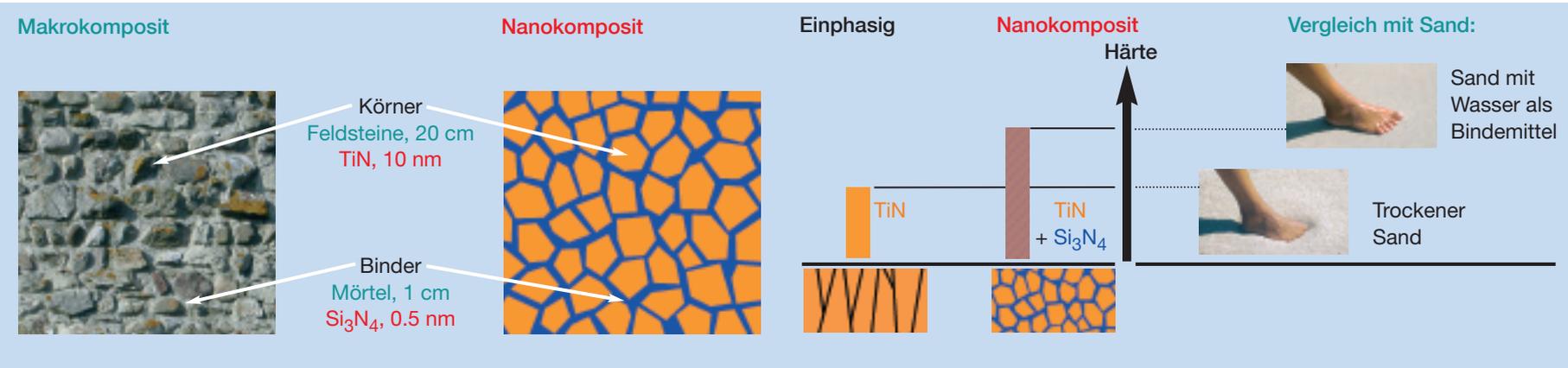
Zwei Nanoröhrchen auf einer Goldoberfläche. Der Durchmesser beträgt nur einen Millionstel Millimeter.

Schematischer Aufbau eines Feldemissionsflachbildschirms. Die gelben Punkte sind Elektronenquellen.

Rechts: Kontrolliert gewachsene Nanoröhrchen für eine Hochstromquelle auf einer Silizium-Oberfläche.

Dr. Oliver Gröning
oliver.groening@empa.ch

Nanostrukturierte Hartstoffschichten gegen Verschleiss



AUSGANGSLAGE

Viele Gegenstände des täglichen Lebens **verschleissen vorzeitig**. Sie verkratzen oder werden durch ätzende Flüssigkeiten und Gase beschädigt. **Harte Schutzschichten verlängern die Lebensdauer** von derart beanspruchten Oberflächen. Durch das Übereinanderlagern unterschiedlicher, **extrem dünner** und **nanostrukturierter Schichten** kann die **Schutzwirkung** zusätzlich deutlich **verbessert** werden. Solche Multilagen oder Nanokomposite sind nur wenige Mikrometer dick.

HARTE NANOKOMPOSITE

Damit eine Schutzschicht hohen Belastungen widerstehen kann, werden die **Körner eines Komposits** so **klein hergestellt**, dass sie **nicht mehr verformt** werden können. Die winzigen Teilchen messen dann nur noch **etwa zehn Nanometer**. Mit einem Bindematerial werden die Körner gleichzeitig zu einem **Nanokompisit zusammengefügt**, ähnlich einer Feldsteinmauer, die aus Steinen und Mörtel aufgebaut wird.

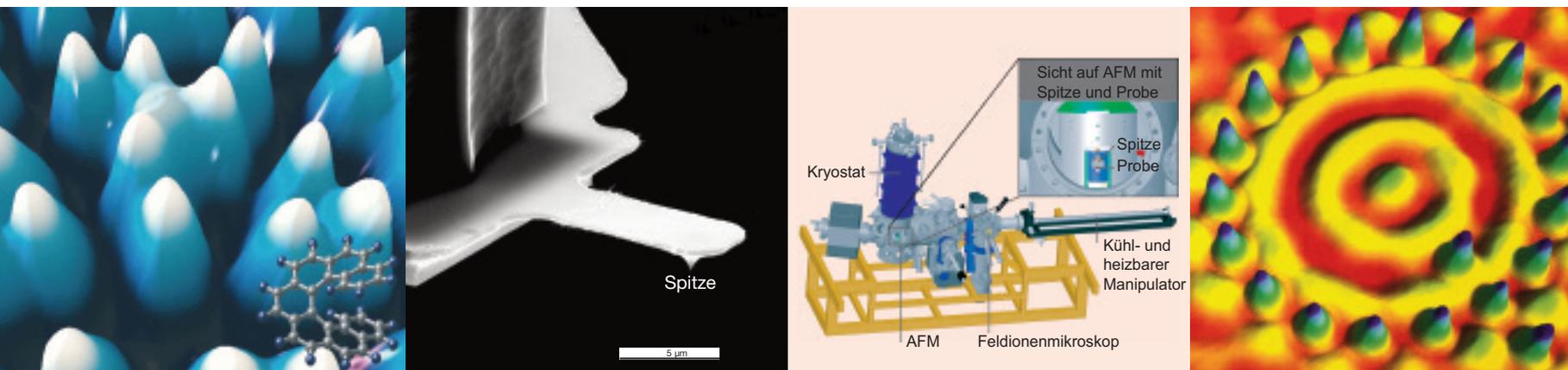
RESULTATE

Ein Beispiel für ein solches **Hartstoffmaterial** ist das **Nanokompisit TiN/Si₃N₄**, das aus Titanitrid-Körnern (TiN) und dem **Bindematerial** Siliziumnitrid (Si₃N₄) zusammengefügt ist. Dünne Schichten aus diesem Nanokompisit sind etwa **doppelt so hart wie reine TiN-Schichten**. Zudem sind sie bei hohen Temperaturen etwa **20-mal beständiger gegen Oxidation**. Sie können eingesetzt werden, um stark beanspruchte Oberflächen zu schützen, zum Beispiel die eines Bohrers oder von Umformwerkzeugen.

DAS BEISPIEL VOM MEERESSTRAND

Warum ist ein Nanokompisit härter als die Materialien, aus denen es zusammengesetzt ist? **Stellen Sie sich vor**, die TiN-Körner des Nanokomposits seien Sandkörner. Im **trockenen Sand** **sinken** Sie ein, weil sich die Sandkörner **gegenseinander verschieben** können. Kommt **Wasser** als Bindemittel hinzu, können sich die Körner viel schlechter bewegen. Der **Sand wird hart** und Sie sinken viel weniger ein. Genau so verhält es sich mit dem Nanokompisit.

Rastersondenmikroskopie – der Zugang zur Nanowelt



AUSGANGSLAGE

Erst das **Zusammenspiel** einzelner **Atome und Moleküle** bestimmt Gestalt sowie chemische und physikalische Eigenschaften aller Materialien. Die Erforschung der **Wechselwirkung** zwischen den Teilchen trägt entscheidend dazu bei, das **Bauprinzip** und die **Eigenschaften der Materie** besser zu verstehen.

Windradförmige
Selbstanordnung helikaler
Moleküle auf einer
Kupferoberfläche.

DIE WERKZEUGE

Einen **Zugang zur Welt der winzigen Bauteile** der Materie ermöglichen das Rastertunnelmikroskop und das Rasterkraftmikroskop. Sie sind die **idealen Werkzeuge**, um Atome und Moleküle **abzubilden** und **zu manipulieren**. Beide arbeiten mit einer feinen Spitze, die ähnlich einer Hand die Oberfläche von Objekten abtastet. **Feinste Unebenheiten** im Mikro- und Nanometerbereich **werden aufgezeichnet**.

Hoch sensitiver, ultrakleiner,
nur 0.01mm langer Cantilever.
(Quelle: B. Hoogenboom
Universität Basel)

KOMPETENZ AN DER EMPA

An der Empa arbeiten Physiker und Ingenieure eng zusammen, um ein **neues Rasterkraftmikroskop aufzubauen**, das im Ultrahochvakuum und bei tiefen Temperaturen funktioniert. Damit können sie **einerseits die Kräfte** zwischen einzelnen Atomen und Molekülen **direkt messen**, **andererseits Nanostrukturen** aus diesen Teilchen **bauen**.

Neue UHV-Tiefemperatur-
Rasterkraftmikroskopieanlage
an der Empa.

Rechts: Durch Manipulieren
einzelner Kupfer-Atome
hergestelltes «Q».
(Quelle: FB Physik, FU Berlin)

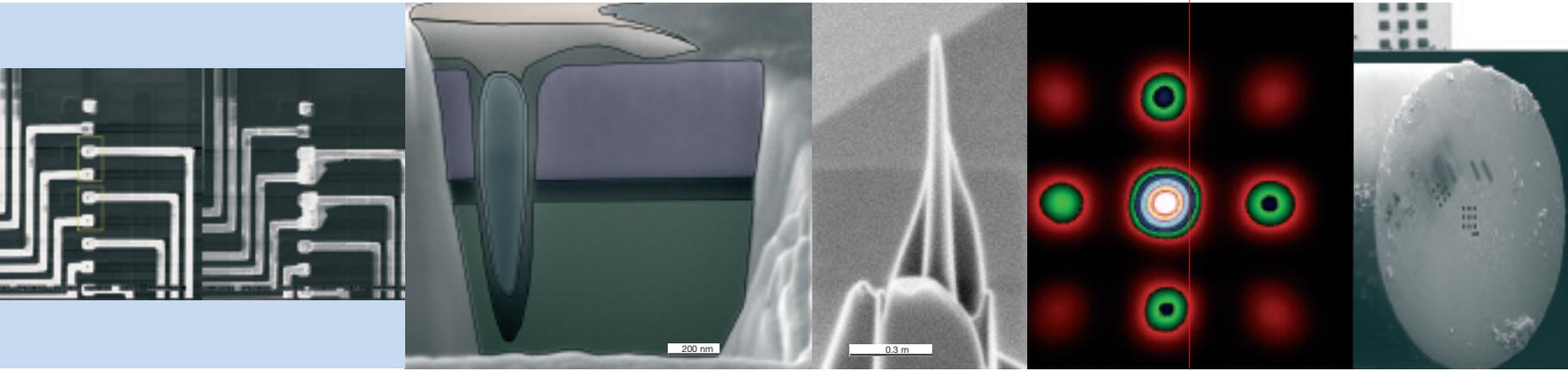
RESULTATE

Mit der **weltweit einzigartigen Kombination** von Rastersondenmikroskopen ist die **Empa in der Lage**, direkt in die Welt der Atome und Moleküle **vorzudringen**. Mit fundierten Kenntnissen über mechanische und elektronische Eigenschaften der Bausteine der Materie kann sie **gezielt neue Materialien** mit verbesserten Eigenschaften **entwickeln**.

Hans Josef Hug
hans-josef.hug@empa.ch
Karl-Heinz Ernst
karl-heinz.ernst@empa.ch
Sasa Vranjkovic
sasa.vranjkovic@empa.ch

FIB – ein fokussierter Ionenstrahl schafft winzige Strukturen

2005



AUSGANGSLAGE

FIB (Focused Ion Beam) heisst ein flexibel einsetzbares **Instrument**, um **winzige Strukturen** vom Mikrometer bis in den Nanometerbereich zu **schaffen**. Es bietet einzigartige Möglichkeiten, **dreidimensionale Bauelemente** herzustellen, zu modifizieren oder zu ergänzen, die eine spezifische Mikro- oder **Nanostrukturierung** für ihre Funktionalität **brauchen** – dies für die Mikroelektronik, die Mikroelektromechanik und die Photonik. An der Empa stehen zwei FIB-Geräte mit sich ergänzenden Ausrüstungen zur Verfügung.

Bearbeitung einer Chip-Modifikation in der Mikroelektronik.

METHODE

Der Ionenstrahl des FIB lässt sich auf einen **Durchmesser von wenigen Nanometer** fokussieren. Werden **Reaktionsgase** zugeführt, lassen sich verschiedene Materialien **selektiv und zielgenau auf- oder abtragen**. Dadurch können Strukturen bis hinunter in den Nanometerbereich erzeugt werden. Ziel der Forschung an der Empa ist zu untersuchen, wie **unterschiedliche Bearbeitungsverfahren** die Geometrie und die elektrischen, mechanischen und optischen **Eigenschaften** der hergestellten **Strukturen beeinflussen**.

Mit dem FIB hergestellte Bohrung in einem mehrschichtigen Material.

RESULTATE

Einige **Beispiele von strukturierten Mikro- und Nanobauelementen**, die an der Empa bereits hergestellt oder modifiziert wurden, sind **Linien- und Punktraster**, um mikroskopische Materialverformungen zu messen, **Mikrolöcher**, um Flüssigkeiten exakt zu dosieren, **Chip-Leiterbahnen**, Spitzen für Rastermessverfahren, antennenartige Strukturen, Strukturierung von **planaren optischen Wellenleitern** und optischen Faserspitzen und Ätzmasken für photonische Kristalle und Mikrolinsen.

Mit dem FIB hergestellter Prototyp einer Spitze für ein Rasterkraft-Mikroskop.

Rechts: Intensitätsverteilung von austretendem Licht und Strukturen in der Endfläche einer optischen Faser.

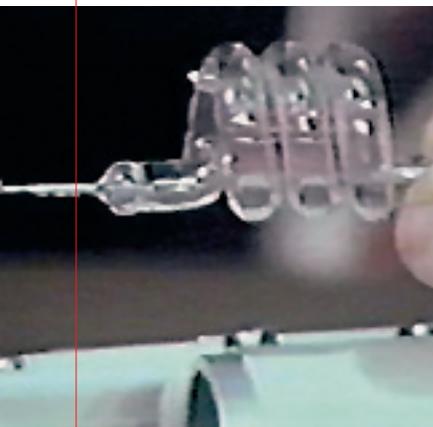
VISION

Die Möglichkeiten der FIB-Technologie sind längst nicht ausgeschöpft. Durch eine verbesserte **Modellierung der FIB-Prozesse** lassen sich immer kleiner werdende Strukturen herstellen, deren **Form- und Masshaltigkeit** immer **genauer** werden. Damit eröffnen sich weitere Anwendungsgebiete. Die Vision vom **Mikro- und Nano-Engineering** im Bereich Mikroelektronik, Mikroelektromechanik und Photonik wird Wirklichkeit.

Philipp M. Nellen
philipp.nellen@empa.ch
Rolf Brönnimann
rolf.broennimann@empa.ch
Urs Sennhauser
urs.sennhauser@empa.ch

Laserinterferometrie – Oberflächen nanometergenau vermessen

1960

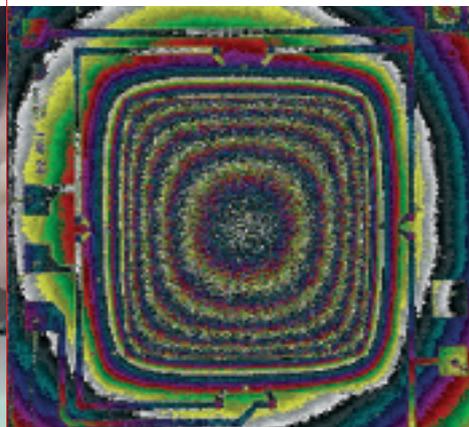


DER ERSTE LASER

Ende der 1950er-Jahre begannen Forscher die **Theorie des Lasers** zu entwickeln, die später mit dem **Nobelpreis** gewürdigt wurde. Im Jahr **1960** gelang es Theodore Maiman, aufgrund der theoretischen Vorhersagen den **ersten funktionierenden Laser zu bauen**. Damit war die Grundlage für heute nicht mehr wegzudenkende Geräte wie **CD-Player** und **Laserdrucker** gelegt. Aber auch in der Forschung leisten Laser einen wertvollen Beitrag bei der Untersuchung von Materialien und Strukturen.

Blitzlicht-Pumpquelle des ersten Lasers.

1997

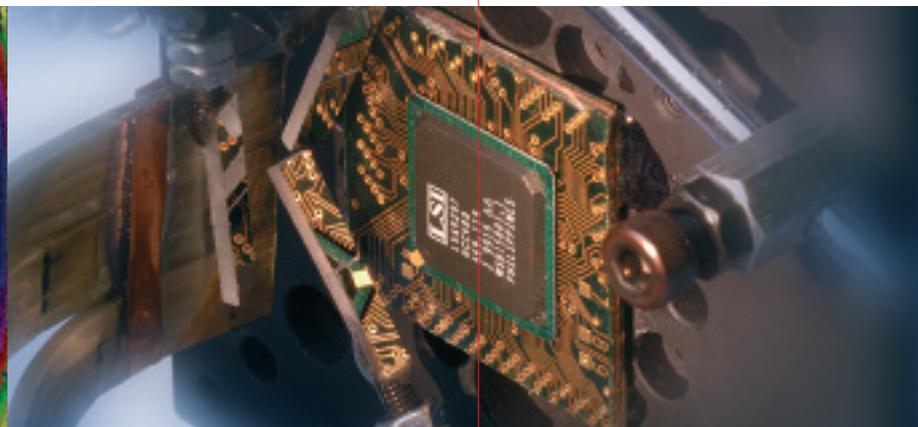


MESSEN IM NANOMETERBEREICH

Die Empa nutzt einen grünen **Festkörperlaser**, dessen Strahl eine Wellenlänge von **532 Nanometer** hat. Der Laser wird auf ein Objekt gerichtet und das reflektierte Licht in einem **Interferometer** mit einem **Referenzstrahl überlagert**; ein Interferenzmuster entsteht mit «Linien» ähnlich den Höhenlinien einer Landkarte. Die **Äquidistanz** der Interferenzstreifen **beträgt jedoch nur eine Wellenlänge**. Mit digitaler Bildbearbeitung lässt sich daraus die Oberflächenstruktur auf **einen Nanometer genau** bestimmen.

Interferenzmuster eines Silizium-Feuchtesensors mit einer Fläche von 1 mm².

2004



ANWENDUNGEN AN DER EMPA

Die Laserinterferometrie wurde bereits **1975 an der Empa eingeführt**. Heute stehen tausendfach stärkere Laser und leistungsfähige Bildbearbeitungssysteme zur Verfügung, die es erlauben, **Oberflächen exakt zu vermessen**. Die Empa setzt das Verfahren in so unterschiedlichen Gebieten wie **Raumfahrt, Biomechanik oder Mikrotechnik ein**. In internationalen Forschungsprojekten entwickelt sie zudem **massgeschneiderte Messsysteme**, welche die Laserinterferometrie nutzen.

Von der Empa entwickelte Spezialoptik für die Vermessung moderner Chips; EU-Projekt HIRONDELLE.

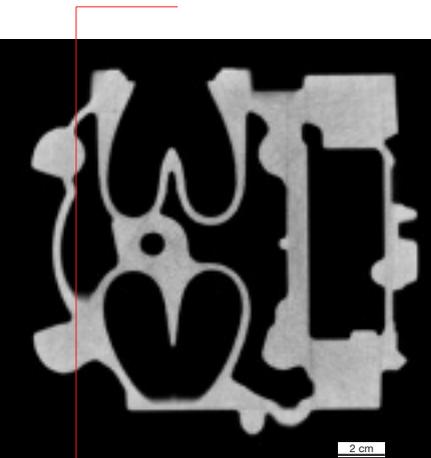
MINIATURISIERUNG

In Zukunft sollen Laserinterferometer **direkt in Mess- und Monitorsysteme integriert** werden. Die Empa entwickelt mit europäischen Partnern solche Systeme, die mit der permanenten Überwachung **wichtiger Bauteile für Sicherheit und Zuverlässigkeit sorgen** können.

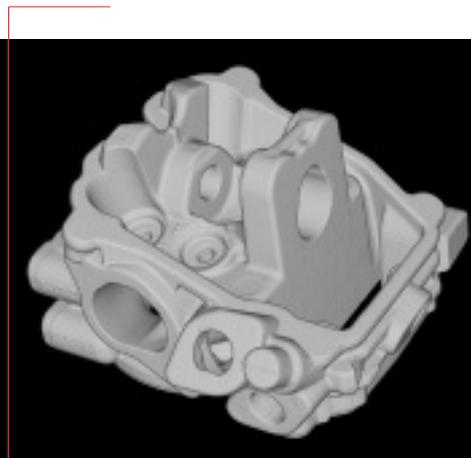
Erwin Hack
erwin.hack@empa.ch

Computertomographie – Bauteile zerstörungsfrei und dreidimensional vermessen

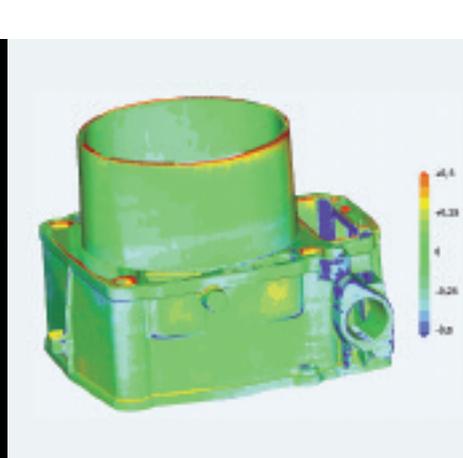
1960



1997



2004



PROBLEMATIK

Bauteile der Mikrotechnik und des Maschinenbaus **weisen komplexe dreidimensionale Formen** auf. Messverfahren sind gefordert, welche die **Geometrie der Bauteile schnell und zerstörungsfrei erfassen**. Herkömmliche Verfahren nutzen optische Methoden oder tasten die Oberflächen mit einem Sensor ab. Sie versagen jedoch dort, wo **innere Strukturen zu vermessen** sind. Hier bietet die **Computertomographie (CT) gute Voraussetzungen**. Als Nebenprodukt der Formerkennung fördert die CT auch Materialfehler zu Tage.

METHODE

Die CT erlaubt die dreidimensionale, zerstörungsfreie Erfassung **äusserer und innerer Geometrien** mit einer **Genauigkeit von etwa 1% des Objektdurchmessers**. Für grosse Bauteile werden die üblichen **Industrie-Röntgenröhren als Strahlenquelle verwendet**; für kleine Objekte kommen Mikro- und **Nanofokusröhren** oder **Synchrotronquellen** zur Anwendung. Die Messdaten werden mit der Soll-Geometrie verglichen und die Massabweichungen farblich dargestellt. Die **Empa besitzt** einen Industrie- und einen Mikro-CT.

RESULTATE

Im Rahmen des EU-Projekts FATIMA ist es der **Empa gelungen**, die Methode für **Anwendungen im Maschinenbau zu optimieren**. Sie hat die Datenerfassung mit dem Industrie-CT wesentlich verbessert und die **Weiterverarbeitung der Tomogramme automatisiert**. Die Datenerfassungszeit ist jetzt bei vergleichbarer Genauigkeit um **bis zu 50 Prozent kürzer**. Mit dem Synchrotron-CT am PSI konnte die Empa **Formfehler von wenigen Mikrometern** im Inneren von Bauteilen einer Bondkapillare einwandfrei nachweisen.

VISION

Die CT soll **noch schneller werden**. Das EU-Projekt DETECT hat zum Ziel, die **Datenerfassungszeit** für grosse Bauteile auf ein **Zehntel zu reduzieren**. Dazu sind neue Detektorsysteme und Algorithmen für die Datenkorrektur nötig, **an deren Entwicklung die Empa** beteiligt ist. Aber auch für die Vermessung kleiner Bauteile im Bereich vom **Mikrometer bis zum Submikrometer** plant die Empa zeitliche Verbesserungen.

2D-Tomogramm von Zylinderkopf (mit Genehmigung Bombardier-Rotax GmbH)

3D-Tomogramm von Zylinderkopf (mit Genehmigung Bombardier-Rotax GmbH)

3D-Soll-Ist Vergleich eines Motorradzylinders (mit Genehmigung Bombardier-Rotax GmbH)

Rechts: 3D-Bondkapillare

Alexander Flisch
alexander.flisch@empa.ch
Peter Wyss
peter.wyss@empa.ch

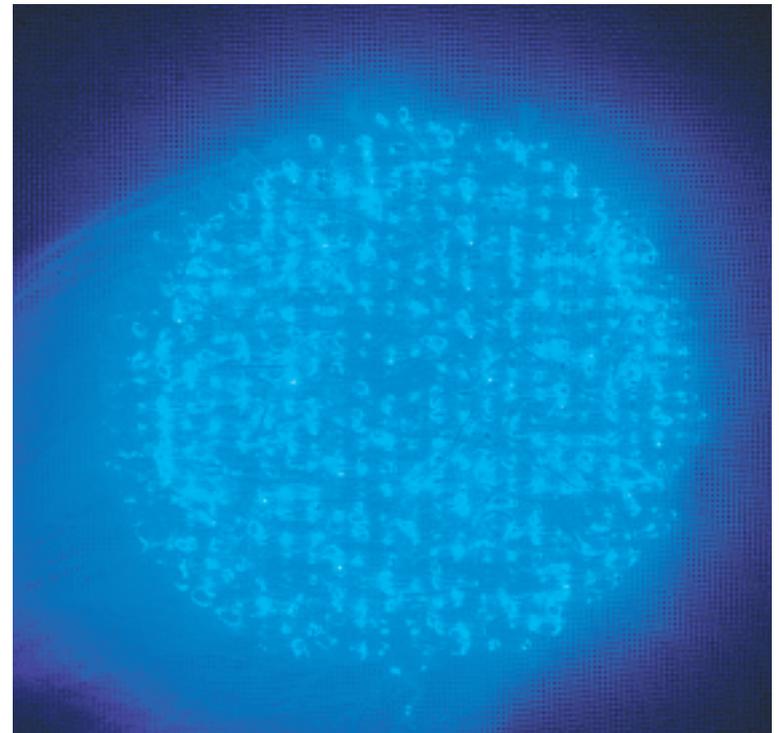
Das wachsame Hemd

Textilien werden multifunktional: Kleider schützen nicht mehr nur vor Kälte oder Regen. Sie absorbieren Gerüche, verhindern Bakterienwachstum oder sind Wasser abstossend. Darüber hinaus können die Stoffe in Zukunft lebenswichtige Körperfunktionen, zum Beispiel die Atemfrequenz oder die Herzaktivität, überwachen. Auch Parameter wie die Sauerstoffsättigung des Blutes oder Schweißabsonderungen sollen künftig von den Textilien erfasst werden.

Dazu nähren die ForscherInnen nicht einfach miniaturisierte Sensoren in die Kleidungsstücke. Ihre Idee ist vielmehr, dass die Stoffe selbst als Sensoren fungieren. Sobald ein Messwert ausserhalb der Toleranz liegt, könnte die Kleidung zum Beispiel ihre Farbe ändern und so die TrägerInnen oder deren Umgebung rechtzeitig warnen.

Die ForscherInnen der Empa kombinieren gebräuchliche Textilien mit neuen Materialien, wie elektrisch leitfähigen Fasern, polymeren Lichtleitern oder keramisch beschichteten Fasern. Da die Kleidung ständig mit der Hautoberfläche in Kontakt ist, können damit Körperfunktionen kontinuierlich überwacht werden.

Mit polymeren Lichtleitern lässt sich beispielsweise der Sauerstoffgehalt des Blutes messen. Möglich sind auch therapeutische Anwendungen: Das Licht kann gezielt an bestimmte Orte am Körper gebracht werden.



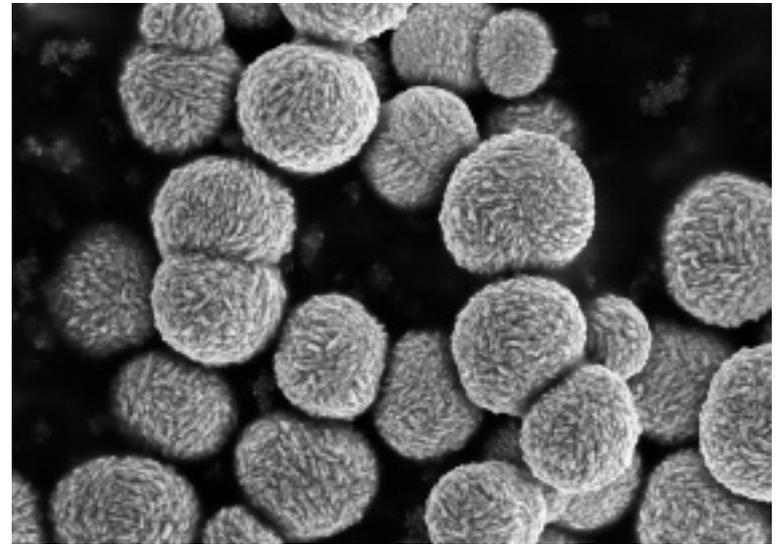
Textile Fasern, die Licht leiten.

Wunderverband

Medizinische Textilien müssen biokompatibel sein. Mit zunehmender Kenntnis der Wundheilungsprozesse werden **weitere Eigenschaften gewünscht**. Die wachsenden Möglichkeiten der modernen Materialwissenschaften machen neue Anwendungen möglich: Empa-ForscherInnen entwickeln Fasern, die fähig sind, **kontrolliert Medikamente freizuset-**

zen. Wundauflagen, Verbände oder Nähfäden von morgen können damit automatisch und gleichzeitig **wohl-dosiert medizinische Wirkstoffe** an die Wunde abgeben. Dadurch entstehen weniger oft Infektionen und Entzündungen und die Wunden heilen besser.

Mit einer Kombination von Schmelzspinnverfahren und Nanotechnologie entwickelt die Empa Zweikomponentenfasern: Die **äussere Schicht** besteht aus einer Mischung von biologisch **abbaubaren Polymeren** und **therapeutischen Substanzen** mit antibakterieller oder entzündungshemmender Wirkung. Diese Substanzen werden freigesetzt, wenn sich die Polymere zersetzen. Der **Kern** besteht aus einem biokompatiblen Material, dessen **Oberfläche das Zellwachstum** fördert und somit die Wundheilung unterstützt. Je nach Verwendung sollte der Kern über lange Zeit stabil sein oder sich langsam abbauen.

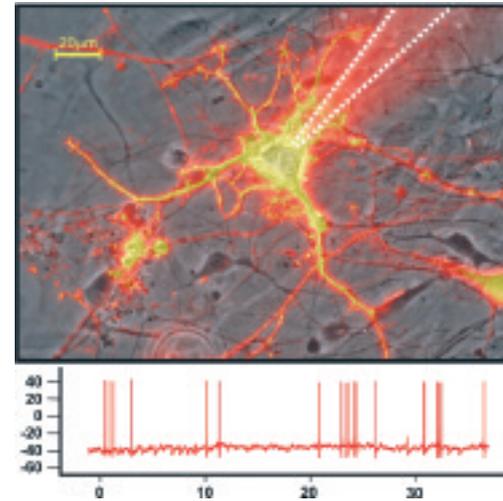


Nanopartikel von antistatischem Silber in der äusseren Faserschicht wirken Infektionen entgegen.

Der Cyborg existiert

Cyborg – ein Begriff, der eher mit «Science-Fiction» als mit «Materials Science» in Verbindung gebracht wird. Doch der Cyborg existiert tatsächlich. **Prothesen oder Implantate**, die den **menschlichen Körper** direkt mit der **Elektronik verbinden**, machen den Träger per definitionem zu einem Cyborg.

Künftig sollen auch künstliche Gliedmassen mit dem Körper verbunden und über das Nervensystem gesteuert werden. **Mikroelektroden in Neurochips** messen die **Aktivitäten der Nervenzellen** und wandeln sie in **elektronische Signale** um. Damit lässt sich zum Beispiel die Bewegung eines künstlichen Armes steuern. Im Idealfall können PatientInnen so ihre **Armprothesen** ebenso **willentlich bewegen** wie ihre natürlichen Gliedmassen.



Messung der spontanen Aktivität einer kultivierten Nervenzelle aus dem Rückenmark.

Um eine Prothese zu steuern, muss gleichzeitig die Aktivität einer **grossen Anzahl von Nervenzellen** gemessen werden. Ein Neurochip besteht aus zahlreichen Mikroelektroden, die je mit einem Nervenzellenausläufer verbunden sind. Die **Chipoberfläche** muss so **gestaltet** sein, dass eine **dauerhafte Kontaktierung** möglich ist. Die ForscherInnen der Empa untersuchen die Signalübertragung zwischen Nervenzellen und Mikroelektroden mit Zellkulturen.

Künstliche Muskeln

Elektroaktive Polymere sind Materialien für Aktoren, die **natürlichen Muskeln sehr ähnlich** sind. Sie sind elastisch, leicht und bei gleicher Leistungsfähigkeit etwa so gross wie natürliche Muskeln. Ein gewichtiger Schritt in der biomedizinischen Technik: Aus den **Aktoren** können **künstliche Muskelstränge** gebaut werden, die Prothesen bewegen oder natürliche Muskeln ersetzen. PatientInnen mit Inkontinenz könnten dank eines solchen Implantates beschwerdefrei leben.

Diese Aktortechnologie eröffnet unzählige weitere Anwendungsfelder. Tragflächen oder Flügel, die mit **elektroaktiven Polymeren** ausgerüstet sind, **passen ihr Profil laufend an** die jeweiligen Flugbedingungen an. Damit lässt sich erheblich Treibstoff sparen.



Aus elektroaktiven Polymeren lassen sich künstliche Muskeln herstellen. (Bild: Jet Propulsion Laboratory/NASA)

Das Ausgangsmaterial ist eine dünne elastische **Polymerfolie**, die sich unter dem **Einfluss eines elektrischen Feldes verformt**. Ein künstlicher Muskelstrang besteht aus vielen Lagen dieser Folie, die um einen Kern gewickelt ist. Wird eine elektrische Spannung **angelegt**, dann **verlängert sich** der Muskelstrang um bis zu 35 Prozent. Wird die Spannung **abgeschaltet**, zieht sich der künstliche Muskel **wieder auf die ursprüngliche Länge zusammen**. Damit verhalten sich die technischen Systeme genau umgekehrt zu natürlichen Muskeln, die sich zusammenziehen, wenn sie aktiv sind. Mit einer geschickten Anordnung der Aktoren lässt sich das künstliche Muskelsystem jedoch in gleicher Weise einsetzen wie natürliche Muskeln.

ForscherInnen der Empa arbeiten an der Weiterentwicklung elektroaktiver Polymere. Ihr Ziel ist, die Eigenschaften des Materials zu verbessern und den Herstellungsprozess der Aktoren zu optimieren.

Christiane Löwe
christiane.loewe@empa.ch
Gabor Kovacs
gabor.kovacs@empa.ch

Schadstoffdetektive im All

Ozon, Stickoxide oder feinste Russpartikel: **Schadstoffe** aus dem Verkehr, der Industrie oder Heizungen belasten Menschen, Tiere und die Vegetation. Die Luftverschmutzung macht **nicht an den Landesgrenzen halt**. Satellitenmessungen liefern wichtige Informationen über die globale und regionale Verteilung der Schadstoffe. Neue **Satelliten** eröffnen in Zukunft Möglichkeiten, **Emissionsquellen zu lokalisieren** oder zu überprüfen, ob Verpflichtungen zur Reduktion von Emissionen tatsächlich eingehalten werden. Zusammen mit Modellen und Bodenmessungen lassen sich dereinst **Luftverschmutzungsperioden voraussagen**.

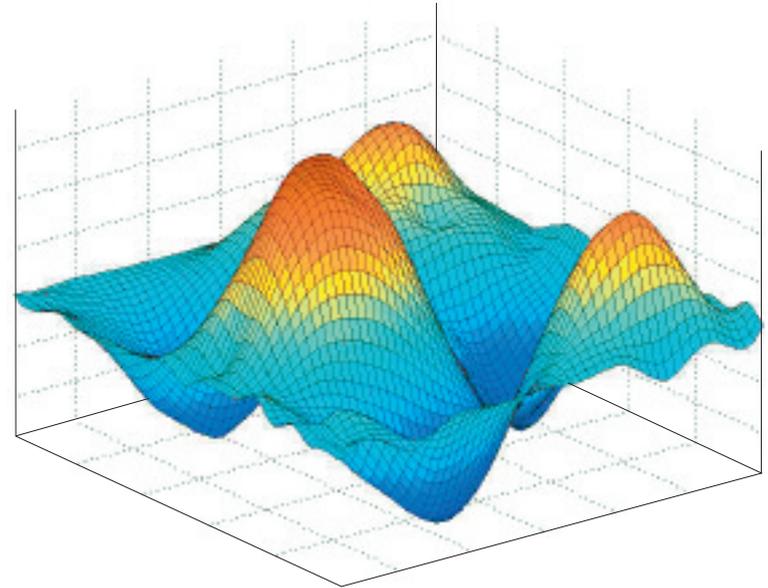


Satelliten messen Spurengase in der Atmosphäre.
(Bild: Denman Productions 2000)

Seit kurzem ist es möglich, dass Geräte an Bord von **Satelliten Spurengase** in der Atmosphäre mit Hilfe von Strahlungsmessung **aufspüren**. Internationale Organisationen planen, Messgeräte auf geostationären Satelliten ins All zu schicken. Damit wird immer die gleiche Region auf der Erde vermessen, und die zeitliche Auflösung der Spurengasdaten wird stark verbessert. Die Konzentrationen von Schadstoffen lassen sich fast in Echtzeit abrufen und **Veränderungen können laufend beobachtet** werden. Zusammen mit Wetter- und Chemiemodellen kann die Verbreitung unterschiedlicher Spurengase vorausgesagt werden.

Summen statt Brummen

Lärmbelastung ist eine **Kehrseite** der modernen **Mobilität**. Der Schalldämmung, die den Schallwellen mit einer grossen Masse zu Leibe rückt, sind jedoch Grenzen gesetzt. Denn künftig sind leichte Fahrzeuge gefragt, die wenig Treibstoff verbrauchen. Trotzdem sollen so **wenig Motorengeräusche** wie möglich **nach aussen und innen dringen**. Die Empa erforscht neue Technologien, die Schallwellen und Schwingungen aktiv mindern. Damit lässt sich dereinst auch **Lärm** von Flugzeugen und Maschinen **reduzieren**.



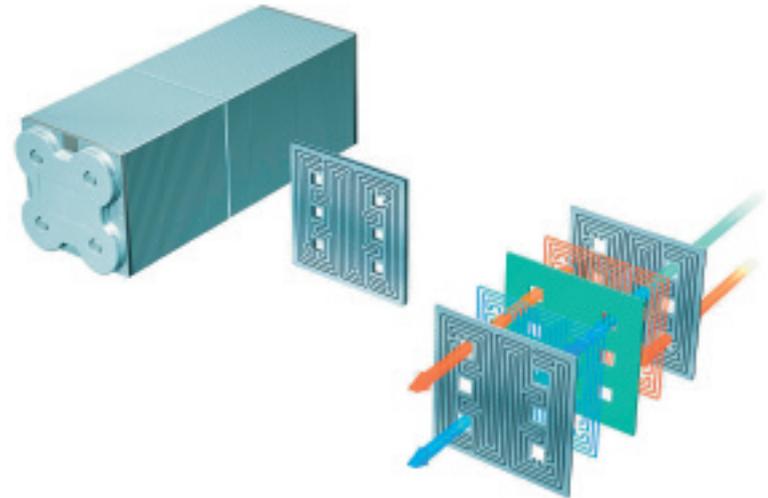
Computersimulation der Schallwellen, die von einem Konstruktionsteil abstrahlen.

Das Grundprinzip einer aktiven Schall- und Schwingungsdämpfung ist, **Schallwellen mit Gegenwellen zu überlagern** und somit **auszulöschen**. Über die Konstruktionsteile, die den Motor abschirmen, werden Sensoren und Aktoren verteilt. Sensoren messen die eintreffenden Wellen und übermitteln Signale an Aktoren. Diese versetzen die Konstruktion in eine entgegengesetzte Schwingung. Als Sensoren und Aktoren erforscht die Empa multifunktionale piezoelektrische Materialien: Sie **laden sich** bei Verformung durch mechanischen Druck – beispielsweise durch den **Aufprall von Schallwellen – elektrisch** auf. Umgekehrt **verformt** sich das Material durch das **Anlegen eines elektrischen Feldes** und löst damit Schwingungen und Schallwellen aus.

Nichts als Wasserdampf

Wasserstoff aus erneuerbaren Energiequellen könnte in Zukunft **Benzin und Diesel ersetzen**. Die Forschung läuft weltweit auf Hochtouren: Wie produziert und verteilt man den **Wasserstoff**? Wie stellt man effiziente und günstige **Brennstoffzellen** her? Wie integriert man diese neue Technologie in einen Fahrzeugantrieb, der nicht nur unter Laborbedingungen, sondern **auch im Alltag dauerhaft** und sicher **funktioniert**?

Dieser Frage geht die Empa nach. Neben Forschungsarbeiten mit der Automobilindustrie konzentrieren sich die WissenschaftlerInnen in eigenen Projekten auf Spezialanwendungen. Zusammen mit Schweizer Industriepartnern planen sie die **Entwicklung** eines mit **Wasserstoff** betriebenen **Kommunalfahrzeuges**. Dieses könnte bereits zum Einsatz kommen, **bevor** eine **flächendeckende Infrastruktur** für Wasserstoff **bereit** steht.



Brennstoffzellenstack und Aufbau einer einzelnen Brennstoffzelle. (Bild: Ballard)

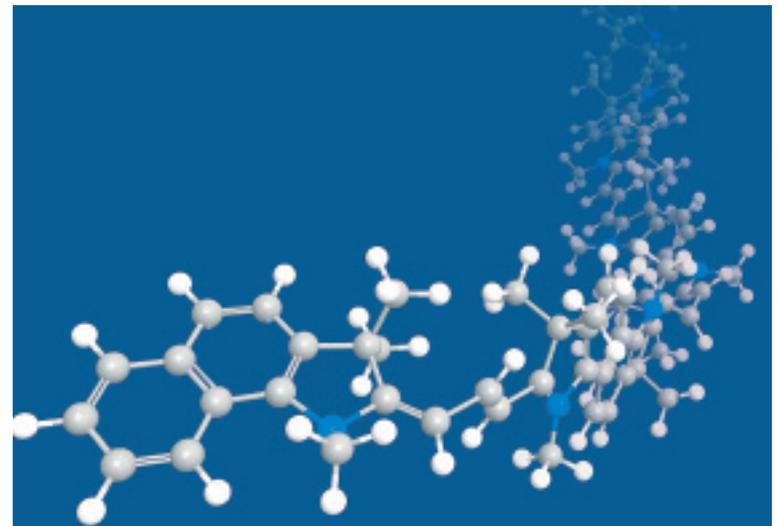
An der Empa soll eine **herkömmliche Kehrmaschine** auf Wasserstoffantrieb **umgerüstet** werden: **Brennstoffzelle** und **elektrischer Antrieb** ersetzen dabei den Verbrennungsmotor. Mit Hilfe von Computersimulationen soll das Verhalten der Brennstoffzelle in verschiedenen Betriebszuständen modelliert, die optimale Auslegung des Elektromotors bestimmt und ein Regelkonzept für das Gesamtsystem entwickelt werden. Die **Praxiserprobung wird Daten** über das **Langzeitverhalten der Brennstoffzelle** – Alterungsprozesse, Wirkungsgrad unter realen Bedingungen oder Verbrauchsverhalten – liefern.

Solarstrom zum Sparpreis

Die fossilen Brennstoffe werden knapper und heizen dem Klima ein. Auch die gesellschaftlich umstrittene Kernenergie ist keine erneuerbare Energiequelle. Für eine sichere und **nachhaltige Energieversorgung** sind Alternativen gefragt: Eine davon ist die **Umwandlung von Sonnenlicht in Strom** mit Photovoltaikmodulen. Die Empa erforscht neue Materialien, so genannte **Polymere**, als neue Halbleitermaterialien für **Solarzellen**. Günstige, flexible und vielseitig einsetzbare Solarmodule sind das Ziel. Die Abdeckung ganzer Dachflächen, aufrollbare, **portable Stromquellen** oder Stromversorgungsbauteile für die Plastikelektronik werden möglich.

Die Empa versucht, **organische Polymere** herzustellen, die das **Licht** besonders **gut absorbieren** und **effizient in Strom** umwandeln: Sie sollen Licht im blauen, grünen, roten und infraroten Bereich nutzen, möglichst viele Ladungsträger erzeugen und einen guten Ladungstransport aufweisen. Aus dem organischen Material lassen sich mit **kostengünstigen Druckverfahren Dünnschicht-Solarzellen** herstellen. Aufwendige Plasmabeschichtungen, die zur Produktion anderer zukunftssträchtiger Solarzellen eingesetzt werden, sind nicht notwendig.

Polymere sind lange, fadenförmige Moleküle.

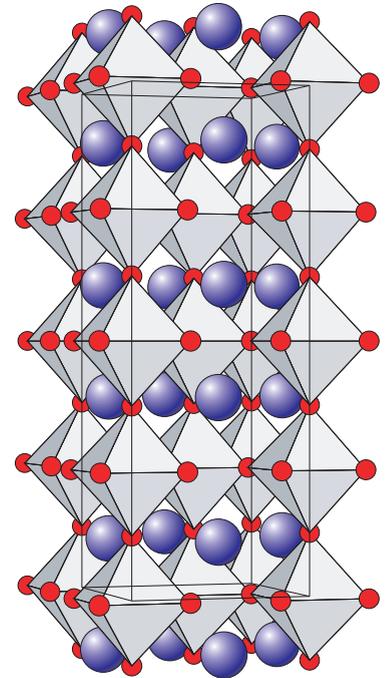


Tausendsassas

Sie sind die **Multitalente** unter den funktionalen Keramiken: **Perowskit-artige Materialien** versprechen ein grosses Potential für die moderne Energie- und Umwelttechnik sowie die Elektronik. In Zukunft sollen sie in Abgaskatalysatoren oder Brennstoffzellen teure und seltene **Edelmetalle ersetzen**, die Wärme der **Sonne direkt in Strom umwandeln** oder als **umweltfreundlichere Farbpigmente** eingesetzt werden.

Ein Traum der ForscherInnen ist, mit diesen Materialien sogar **Supraleiter** herzustellen, die bei **Raumtemperatur funktionieren**: Die verlustfreie Übertragung und Speicherung von Strom würde damit Wirklichkeit.

Der Begriff perowskitartige Materialien fasst eine Reihe komplexer Übergangsmetalloxide zusammen. Ihre Besonderheit liegt in der **flexiblen Kristallstruktur**, die weitreichende Änderungen der Zusammensetzung zulässt. Je **nach Aufbau** verfügen perowskitartige Materialien über unterschiedlichste Eigenschaften: Einige sind **thermoelektrisch** aktiv und können aus Wärme Strom erzeugen. Andere wirken bereits bei Temperaturen von **flüssigem Stickstoff supraleitend**. Manche haben piezoelektrische Eigenschaften, so dass sie durch **Verformung elektrisch geladen** werden. Wieder andere haben interessante **optische Eigenschaften** oder können als Beschleuniger chemischer Reaktionen wirken. WissenschaftlerInnen an der Empa versuchen, neue perowskitartige Materialien mit den gewünschten Funktionen zu synthetisieren oder ihre Eigenschaften zu verbessern.



Kristallstruktur eines perowskitartigen Materials.

Aus Schutt gebaut

Abbruchmaterial von Häusern ist zu wertvoll für die Deponie. Denn damit lassen sich wieder **neue Baustoffe herstellen**. Anstatt Naturkies, Sand sowie Bindemittel aus Zement verwenden die Architektinnen und Ingenieure von morgen Abbruchmaterial und Hochofenschlacke für die Konstruktion **moderner Betonbauten**, Brücken und Strassen. **Der Baustoffkreislauf schliesst sich**. Einzig der erneuerbare Baustoff Holz wird weiterhin als primäres Baumaterial eingesetzt.



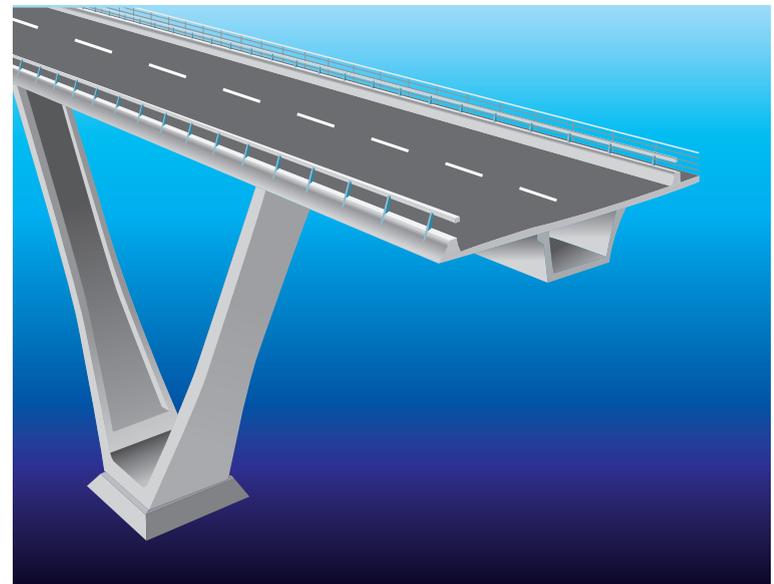
Granulat aus Mischabbruch.

Die Empa entwickelt und optimiert **Baustoffe aus Recyclingmaterial** und deren Anwendung in verschiedenen Bauteilen. Ziel der Forschung an der Empa ist, Mischabbruch aus Backsteinen, Beton und Steinen zu Konstruktionsbeton zu verarbeiten. Zudem soll das **Bindemittel Zement** durch Nebenprodukte grossindustrieller Prozesse – **beispielsweise Hochofenschlacke** – ersetzt werden. Die Zusammensetzung wird abhängig von der Anwendung optimiert. So werden **ökonomisch und ökologisch attraktive** Bauwerke aus Recyclingbaustoffen möglich.

Sprechende Strassen

Strassen, Brücken und Tunnel sind **enormen Belastungen** ausgesetzt, die mit der Zeit zu **Schäden** führen. Werden Korrosionsstellen, Risse, Steifigkeitsverlust oder eindringende Feuchtigkeit **frühzeitig erkannt**, können sie repariert werden, bevor noch grössere Probleme auftreten.

Sensoren der kommenden Generation werden diese kritischen Zustandsparameter erfassen und in Echtzeit auswerten: So wird es möglich, die Druckbelastung durch den Verkehr oder die Entstehung von **Spurrinnen laufend zu beobachten**. Dank **aktueller Informationen** zum Fahrbahnzustand – Schnee, Vereisung, Regen, Temperatur – können **VerkehrsteilnehmerInnen** oder **Unterhaltsdienste frühzeitig gewarnt** werden.

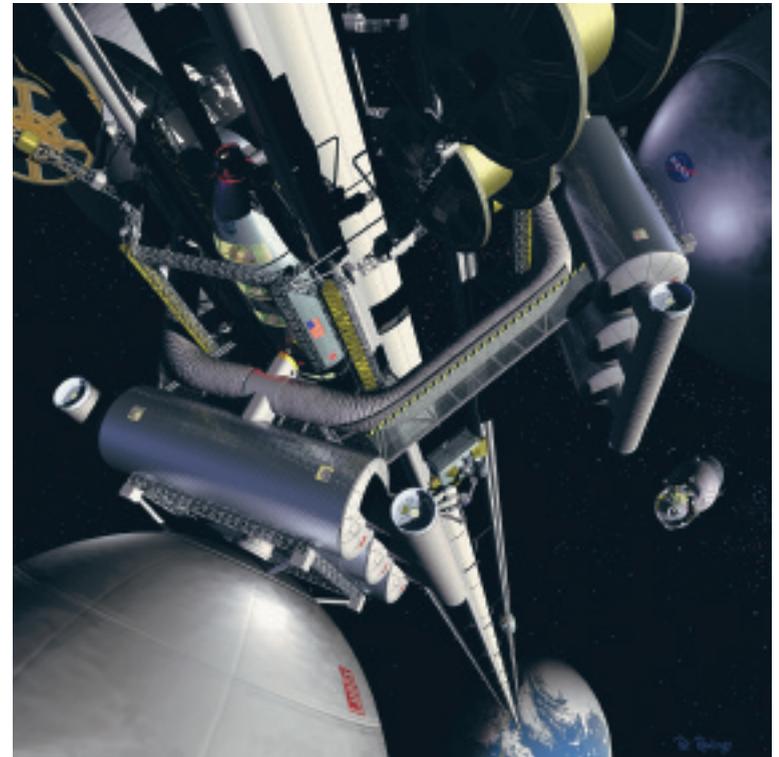


Brücken der Zukunft werden aus vorfabrizierten Elementen mit integrierten, drahtlosen Sensoren gebaut.

Die Empa entwickelt **Sensoren zur Überwachung** der Qualität und Lebensdauer von Verkehrsinfrastrukturbauten. Bei der Lastmessung arbeiten die ForscherInnen mit Piezosensoren: Mechanischer Druck erzeugt elektrische Spannung, die gemessen werden kann. Zur Ermittlung von **Langzeitdeformationen von Strassenbelägen**, wie etwa der Entstehung von Spurrinnen, werden magnetostruktive Sensoren eingesetzt: Ein elektronischer Messstab als Wellenleiter ist vertikal berührungslos in den Strassenbelag eingebaut. Um diesen herum sind in unterschiedlichen Tiefen verschiedene Magnete angeordnet. Ändert sich der Abstand zwischen diesen Magneten, weil der Belag verdichtet wird, ändert sich auch das erzeugte Magnetfeld. **Wassereintritte in die Konstruktion** versuchen die WissenschaftlerInnen mit Sensoren zu lokalisieren, die durch Feuchtigkeit ihren elektrischen Widerstand ändern.

Per Knopfdruck ins Weltall

Trägerraketen wie **Ariane** oder **Atlas** können im Vergleich zu ihrem Gewicht nur **wenig Ladung ins All befördern**, brauchen **Unmengen Energie** und hinterlassen **Schrott im Welt-raum**. Deshalb ist der Transport von Forschungs- oder Telekommunikationssatelliten sehr teuer und problematisch für Umwelt und Sicherheit. **Neue Konzepte** sind gefragt: Eine Idee ist der Bau **eines Lifts**, der an einem **Band zwischen Erde** und **Raumstation** hochfährt. Die Empa entwickelt neue **Hochleistungswerkstoffe**, aus denen dereinst **das Band** für den Weltraumlift **gefertigt** werden könnte. Dank der hohen Festigkeit und des geringen Gewichtes können diese Werkstoffe auch den Flugzeugbau revolutionieren.

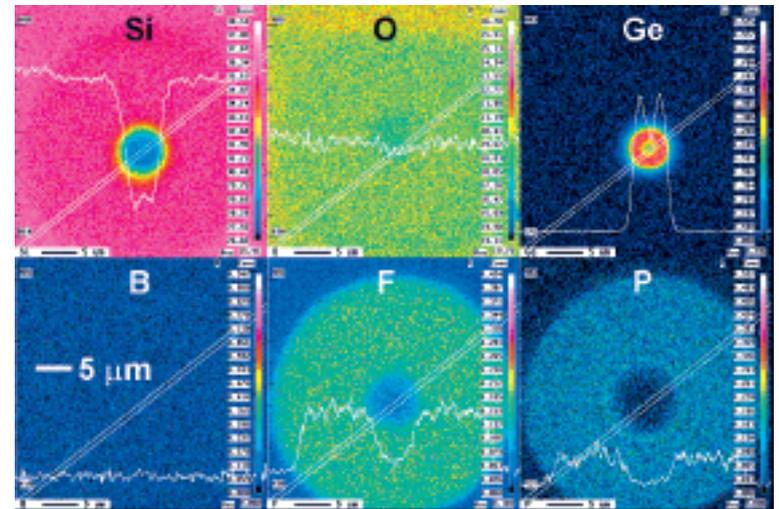


Modell eines Weltraumlifts.
(Bild: NASA)

Das **Konzept** des Weltraumlifts sieht vor, **zwischen Erde und einer 100 000 km entfernten Weltraumstation** ein Band zu spannen. Die im unteren Bereich auf das Band wirkenden **Erdanziehkräfte** stehen dabei im **Gleichgewicht** mit den **oben wirkenden Zentripetalkräften**. Mit Gummizwalzen beidseits des Bandes klettert der der Lift empor – angetrieben mit Solarstrom. Die Herausforderung für die Empa besteht darin, einen **neuen Hochleistungswerkstoff für das Band ins All zu entwickeln**. Dabei kombinieren die Empa-ForscherInnen ihr **Know-how in der Nanotechnologie** mit den Erfahrungen in den **Ingenieurwissenschaften**. Federleichte Seile aus Kohlenstofffasern für Brücken mit grossen Spannweiten wurden an der Empa bereits entwickelt und produziert. Diese wiegen fünfmal weniger als Seile aus Hochleistungsstahl, sind aber doppelt so stark. Doch das Band ins Weltall muss 50-mal grösseren Belastungen standhalten. Deshalb greifen die WissenschaftlerInnen zur Nanotechnologie und entwickeln **Polymerverbundwerkstoffe, die mit Kohlenstoff-Nanoröhrchen verstärkt sind**. Systeme zur **aktiven Schwingungsdämpfung** sollen zudem **unerwünschte Bewegungen** des Bandes **verhindern**.

Zuverlässigkeit im Zwergenreich

Die **Nanotechnologie** verspricht bahnbrechende Entwicklungen in praktisch allen Bereichen: **schnellere Prozessoren**, **bessere Oberflächen** und **neue medizinische Anwendungen** sind nur einige davon. Sie werden sich aber erst durchsetzen können, wenn nachgewiesen ist, dass die nanotechnologischen Produkte auch **zuverlässig und langlebig** sind. Die Empa untersucht mit neu entwickelten Verfahren die Zuverlässigkeit und Sicherheit von Anwendungen aus der Nanowelt.



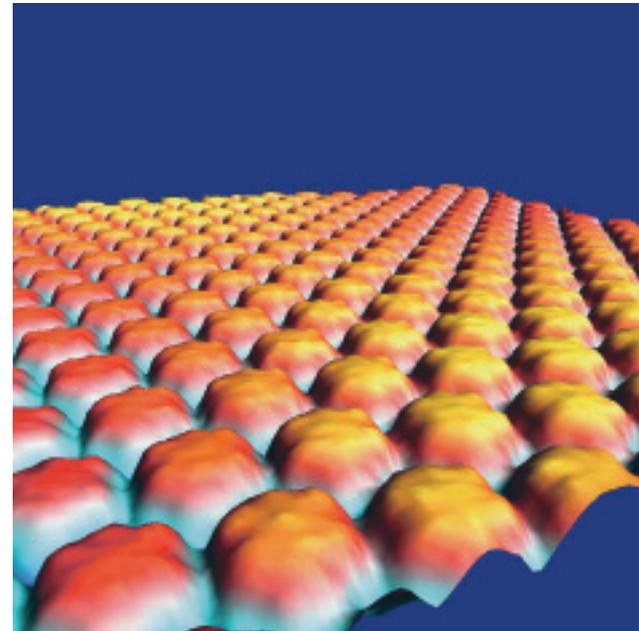
Die Verteilung verschiedener Elemente im Querschnitt einer optischen Faser zeigt, ob nach Beanspruchung Materialschäden auftreten.

Nanotechnologische Materialien werden einem **beschleunigten Alterungsprozess** ausgesetzt: Ein Halbleitertransistor wird beispielsweise mit einer erhöhten Spannung belastet. Die **beobachteten Defekte liefern Daten** für ein Computermodell, mit dem die ForscherInnen simulieren, ob, warum und wann Ausfälle auftreten und wie sich diese auswirken. Speziell daran ist, dass gleiche Materialien in nanotechnologischen Strukturen, aufgrund der **kleinen Dimensionen**, physikalisch ganz **anders reagieren können**, als wenn sie in herkömmlicher Form vorliegen. Aus den Ergebnissen der Modellsimulation und der Experimente leiten die WissenschaftlerInnen Vorschläge für Materialverbesserungen ab.

Chips wachsen von selbst

Die Natur entwickelt mit wenigen **molekularen Bausteinen**, den Aminosäuren, die ganze **Vielfalt an Lebensformen**. Die Moleküle verbinden sich dabei selbstständig zu wohldefinierten Verbänden. Nach diesem Prinzip sollen in Zukunft auch **elektronische Schaltkreise** gebaut werden: Die ForscherInnen schaffen die nötigen Bedingungen für die **molekulare Selbstorganisation** im Labor und lassen Drähte oder elektronische Bauelemente nach definierten Regeln «wachsen».

Ein Transistor wird dann nur noch aus wenigen Molekülen bestehen. Das Bauteil wird so klein sein, dass **auf einem Quadratcentimeter** über eine **Milliarde** solcher **molekularer Transistoren Platz finden** können. Selbstorganisierte molekulare Systeme werden die **Biosensorik dramatisch verändern**. Aufwendige Analysen chemischer Substanzen können damit auf kleinstem Raum durchgeführt werden.



Anordnung von HBC-Molekülen auf einer Kupferoberfläche, gesehen durch ein Rastertunnel-Mikroskop.

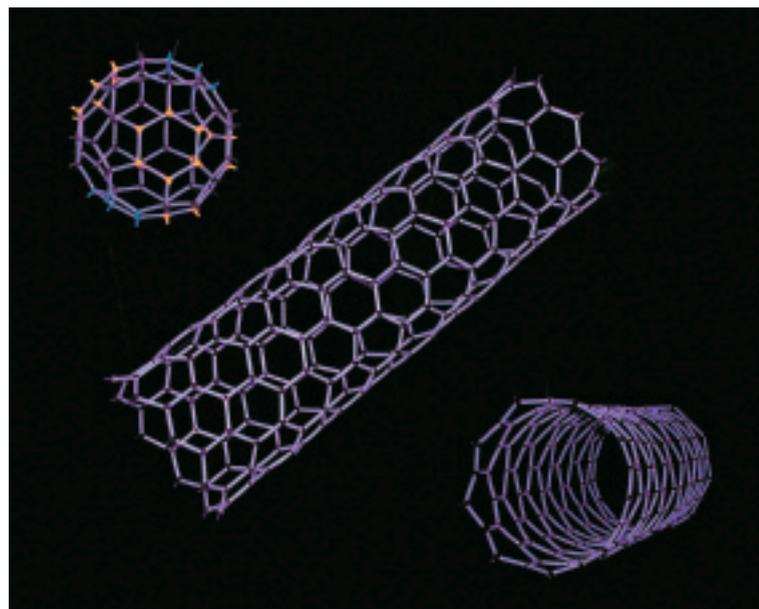
Die Empa in Thun forscht an **molekularen Drähten** und **elektronischen Schaltern**. Basiselement ist ein scheibenähnliches Molekül aus 42 Kohlenstoffatomen, das so genannte Hexabenzocoronon (HBC). **Ein Molekül** hat dabei einen Durchmesser von nur **einem Nanometer**. Der Transistor soll über ein einziges Elektron gesteuert werden.

Nanorisk

Um die Chancen und Risiken der Nanotechnologie wird rege debattiert. Können **winzige Nanoteilchen**, die Sonnencremes beigemischt werden, Gesundheitsschäden **auslösen**? Beinhalten Kohlenstoffnanoröhren ein ähnliches **Gesundheitsrisiko** wie vor Jahren die **Asbestfasern**?

WissenschaftlerInnen der Empa erarbeiten die **Grundlagen für die Debatte**. In **ausgiebigen Studien** und Versuchen erforschen sie die Auswirkungen von Kohlenstoffnanoröhren auf menschliche Zellen. Der Wissensstand bezüglich der **Risiken** wird sorgfältig aufbereitet und mit der **Öffentlichkeit diskutiert**. Damit können Vorsorgemassnahmen besser ausgearbeitet und bereits in der Forschung und Entwicklung neuer Materialien berücksichtigt werden.

Die ForscherInnen untersuchen, **ob und wie Nanopartikel** und Kohlenstoffnanoröhren die **Vitalität und Funktionalität** menschlicher Zellen **beeinflussen**. Sie bringen die Nanoteilchen mit menschlichen Zellkulturen in Kontakt und vergleichen ihre Wirkung auf die Zellen mit derjenigen von bekannten Referenzmaterialien. Neben den Laborversuchen führt die Empa Literaturrecherchen und Interviews durch und veranstaltet verschiedene Workshops. Das **vorhandene Wissen** wird aufbereitet, mögliche Risiken sollen identifiziert und mit der interessierten Öffentlichkeit hinsichtlich **Vorsorge** diskutiert werden.



Struktur eines Kohlenstoffnanoröhrens. (Bild: NCCR Nanoscale Science)