

# Empa **News**

Magazin für Forschung, Innovation und Technologietransfer  
Jahrgang 11 / Nummer 41 / August 2013



## Gian-Luca Bona setzt Kurs

# Wir tippen auch fürs Tablet!



Unser digitales Magazin finden Sie jetzt auch im App-Store für Ihr iPad  
und im Android Play Store unter dem Suchwort «EmpaNews».

*(Läuft nur auf Tablets, nicht auf Smartphones)*



## EmpaNews

TOUCH THE SCIENCE



MICHAEL HAGMANN Leiter Kommunikation

# ... und kein bisschen leise

Liebe Leserin, lieber Leser

*Sprichwörtlich aus einer grünen Dübendorfer Wiese gestampft wurde vor 50 Jahren der Empa-Campus am Stadtrand von Zürich. Eine enorme (und enorm weitsichtige) Infrastrukturleistung, die vermutlich heute so nicht mehr möglich wäre. In dieser Zeit ist – logischerweise – viel passiert; einige Episoden lassen wir für Sie im aktuellen Fokus aufleben.*

*Viel wichtiger jedoch ist, wo die Reise hingeht. Als eine Art Innovationsschmiede für die Schweizer Wirtschaft und Industrie geht es für die Empa in Zukunft in erster Linie darum, die Innovationspipeline nicht austrocknen zu lassen, immer wieder neue Materialien und Technologien zu entwickeln. Denn nur durch clevere Ideen, Produkte und Konzepte kann die Schweiz in Zeiten eines sich stetig verschärfenden globalen Wettbewerbs langfristig konkurrenzfähig bleiben. Und sich dadurch ihren Wohlstand sichern.*

*Höchste Zeit also für einen weiteren grossen Wurf, einen Schweizer Innovationspark, in dem Forschungsinstitute und Hochschulen zusammen mit Schweizer Firmen, aber auch mit internationalen Grosskonzernen Lösungen für drängende Probleme erarbeiten. Und davon gibt es weiss Gott genügend. Wo dieser Innovationspark genau entsteht, ist noch offen. Aber vielleicht hat ja das Beispiel Empa gezeigt, dass Dübendorf ein gutes Pflaster für zukunftsweisende Investitionen ist.*

Viel Vergnügen beim Lesen!

## Impressum

**Herausgeberin:** Empa, Überlandstrasse 129, 8600 Dübendorf, Schweiz, [www.empa.ch](http://www.empa.ch) / **Redaktion & Gestaltung:** Abteilung Kommunikation / Tel. +41 58 765 47 33 [empanews@empa.ch](mailto:empanews@empa.ch), [www.empanews.ch](http://www.empanews.ch) // Erscheint viermal jährlich, **ISSN 1661-173X**

## Titelbild

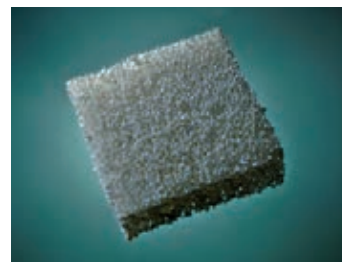
Empa-Direktor Gian-Luca Bona hat den Auftrag, die Empa in die Zukunft zu führen. Wie er das tun will und wo die Herausforderungen liegen, lesen Sie im Interview auf Seite 12.

Bild: Daniel Winkler Fotografie, Zürich

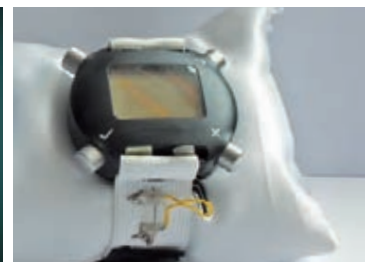


Der Empa-Campus in Dübendorf wurde vor 50 Jahren eingeweiht. Die Fassaden haben sich kaum verändert, das Innere der Forschungsanstalt dagegen sehr. 04

- FOKUS: 50 Jahre Empa Dübendorf**
- 04 **Die Verwandlung**  
Von der Prüfanstalt zum internationalen Hightech-Labor
  - 06 **Warum stürzte die Caravelle ab?**  
Die Katastrophe von Dürrenäsch – aufgeklärt mit der Empa
  - 12 **Wiege der Innovation**  
Gian-Luca Bona setzt den Kurs – Interview
  - 14 **Die «Tochterplaneten der Empa»**  
Die wichtigsten Spin-offs mit Empa-Know-how
  - 16 **Erschütternde Forschung**  
Ein Rüttelversuch am Holzhaus liefert Daten für Architekten
  - 20 **Dioxin aus dem Partikelfilter**  
Manchmal erzeugen Dieselmotoren das Seveso-Gift. Warum?
  - 22 **Abgas in der Schaumwäsche**  
Ein neuartiger Keramik-Katalysator: leichter, kleiner, effizienter
  - 25 **Blutdruckmessung rund um die Uhr**  
Ein Sensor am Handgelenk warnt vor Infarkt und Schlaganfall



Abgaskatalysator aus Keramikschaum 22



Revolution in der Blutdruckmessung 25



# Die Verwandlung

Der Empa-Campus in Dübendorf wurde vor 50 Jahren eingeweiht. Äusserlich haben sich die Gebäude nur wenig verändert. Doch hinter den Mauern blieb (fast) kein Stein auf dem andern.

TEXT: Rainer Klose / BILDER: Empa Archiv



Bauhalle (links) und Verwaltungstrakt (oben) am Empa-Standort Dübendorf haben ihr Aussehen in 50 Jahren kaum verändert.

Am Anfang stand ein Vertrauensbeweis erster Güte. Im Juni 1953 bewilligte das Schweizer Parlament 64 Millionen Franken für den Umzug der Empa nach Dübendorf – und startete damit das bis anhin teuerste zivile Bauvorhaben der Nachkriegszeit. Zuvor war die Empa auf über 20 Einzelgebäude in der Stadt Zürich verteilt – zum Teil umgebaute ältere Wohnhäuser. Es war zu eng geworden. Welch dicker Brocken die zugesagten 64 Millionen damals waren, zeigt ein Vergleich: Das Jahresbudget der Empa betrug 1955 knapp vier Millionen Franken. Der neue Campus war also so viel wert wie 16 Jahre Materialforschung – heute müsste man für eine entsprechende Investition mehr als 1 ½ Milliarden in die Hand nehmen.

1962 war der Umzug abgeschlossen, Dübendorf «up and running». Noch heute verströmen Verwaltungs- und Laborgebäude, Schall-, Motoren- und Röntgenhaus, Bau- und Metallhalle die klassische Moderne, die der Zürcher Architekt Werner Forrer mit seinem preisgekrönten Entwurf vorgegeben hatte.

Doch die praktisch unveränderten Fassaden täuschen darüber hinweg, wie sehr sich die Empa hinter den Kulissen verändert hat. Heute mutet 1962 wie eine andere Zeit an: Der Luftfahrtpionier Eduard Amstutz führte die Empa und amtierte zugleich als Vizepräsident des Swissair-Verwaltungsrats. Standesgemäss ausgestattet mit Limousine und Chauffeur, entbehrte das damalige Auftreten des

Empa-Direktors nicht einer gewissen Imposanz. Einen Direktor, der krawattenlos auf dem Velo über den Campus rauscht, sollte die Empa erst im neuen Jahrtausend erleben.

Amstutz zur Seite stand 1962 Vizedirektor Ernst Brandenberger, Chemiker, General und Kommandant der Grenzbrigade 6. Auch Amstutz selbst war als Artilleriechef des 4. Armeekorps ins dicht gewebte grüne Netzwerk der Schweizer Milizoffiziere eingebunden. Eine Empa-Direktorin wie Brigitte Buchmann heute gab es damals noch nicht einmal als Vision.

Der Absturz der Swissair-Caravelle am 4. September 1963 in Dürrenäsch im Kanton Aargau stellte die analytischen Fähigkeiten der neuen Empa erstmals auf die Probe. Als ehemaliger ETH-Lehrstuhlinhaber für Flugzeugbau engagierte sich Amstutz stark bei der Suche nach der Absturzursache. So kam die Empa Dübendorf erstmals in die Schlagzeilen (siehe Text unten).

Äusserlich war die Empa in der Lage, derartige Katastrophen kühl und professionell zu analysieren, doch nach innen war Unruhe nicht mehr zu vermeiden. Schmerzhaft Umwälzungen standen an: 1969 hatte Theodor H. Erismann sein Amt als neuer Direktor angetreten – und packte die längst fällige Strukturreform an. Zuvor waren dem durch diverse Nebenämter viel beschäftigten Empa-Direktor 20 Abteilungsleiter direkt unterstellt. Kein Wunder, galten die Abteilungen als kleine Königreiche, wie sich ein Zeitzeuge erinnert. Erismann zog unter lautem Protest ebendieser royalen Abteilungsleiter eine zusätzliche Hierarchieebene ein und unterteilte die Empa in sechs Ressorts. Bis heute funktioniert die Empa nach einer ähnlichen Struktur.

Zur gleichen Zeit – Anfang der 70er-Jahre – spielte die Empa bereits eine Vorreiterrolle in Sachen Umweltschutz und Ressourcenknappheit. Als 1972 im Auftrag des Club of Rome die Studie «Die Grenzen des Wachstums» erscheint, ist die Empa längst damit beschäftigt, Umweltschäden aufzudecken und zu bekämpfen: Man untersucht Luftfremdstoffe und Industrieabwässer auf schädliche

&gt;&gt;



1963

### Warum stürzte die Caravelle ab?

Ein rauchender Krater und ein Trümmerfeld am Dorfrand von Dürrenäsch sind das Einzige, was am Morgen des 4. September 1963 von 80 Menschenleben übrig blieb. Der Absturz des Swissair-Flugs 306 ist bis heute das zweitgrösste Flugzeugunglück der Schweiz. Die Empa suchte nach Antworten.

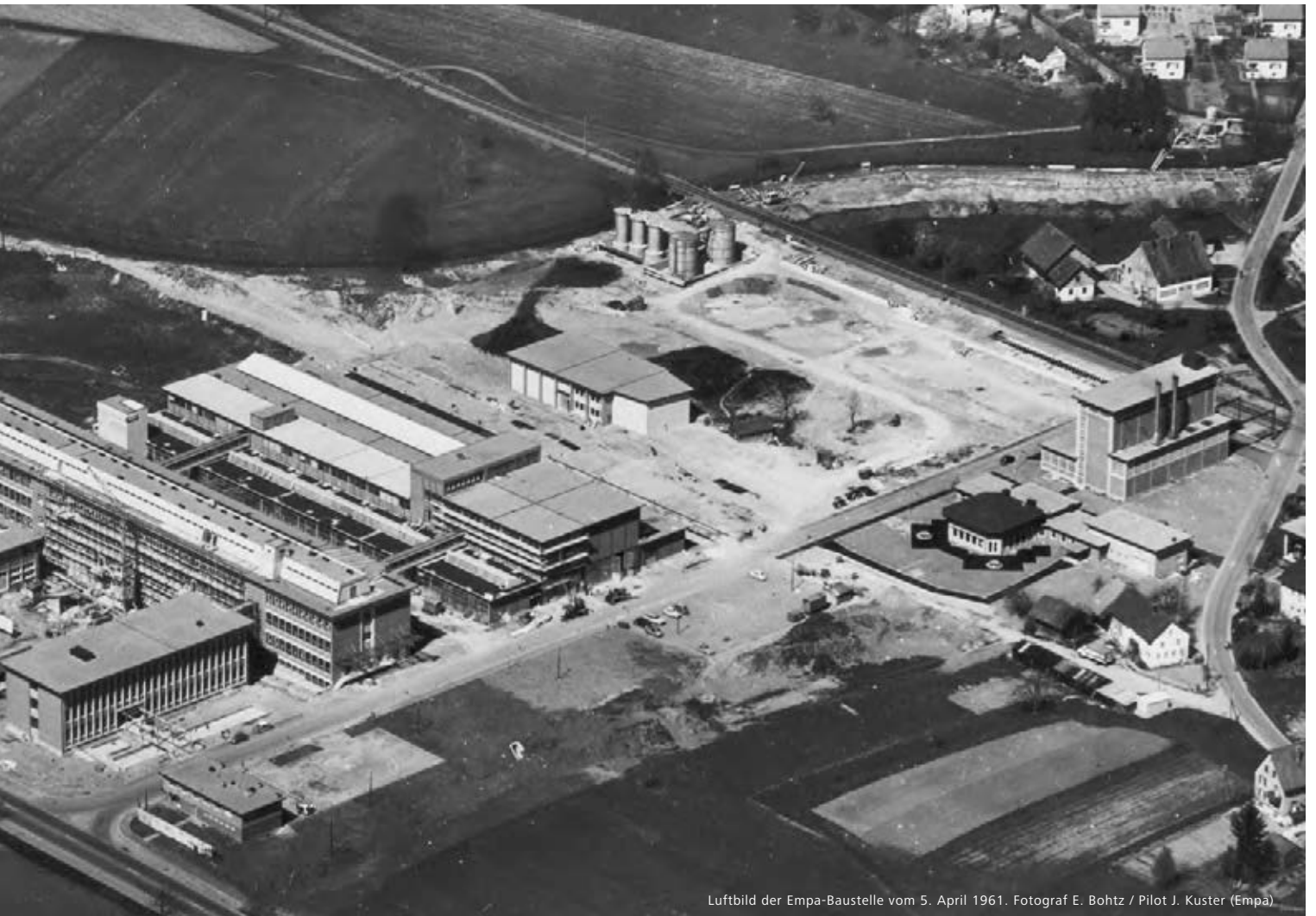
Sechs Besatzungsmitglieder und 74 Passagiere befanden sich an Bord der «Sud Aviation Caravelle», die um 7.13 Uhr vom Flughafen Zürich abhob. Der Flug nach Genf endete nur sieben Minuten später in einem Absturz ohne Überlebende. Laut Zeugenaussagen brannte das Flugzeug bereits in der Luft, doch was genau geschehen war, wusste niemand.

Die Untersuchungen sollten über ein Jahr dauern. Die brennende Caravelle hatte auf den letzten zwölf Kilometern ihres Flugs Teile verloren, der Rest explodierte beim Aufprall. Tausende von Bruchstücken wur-



Flugarchiv Graubünden, Fotograf W. Friedli

Flugzeugunglück von Dürrenäsch



Luftbild der Empa-Baustelle vom 5. April 1961. Fotograf E. Bohtz / Pilot J. Kuster (Empa).

den gesammelt, zugeordnet und analysiert. Unter der Leitung von Carl Högger vom Büro für Flugunfalluntersuchungen (heute Teil der Schweizerischen Unfalluntersuchungsstelle, SUST) beteiligten sich Polizei, Luftamt, Militär, Flugzeugbauer, Fluggesellschaften und Forschungsinstitute an der Rekonstruktion des Geschehens. Ein halbes Dutzend Empa-Mitarbeiter, u. a. aus den Abteilungen A4 (Metalle) und B21 (Oberflächen, Farben, Lacke) untersuchte vor allem die Räder und Bremsen sowie die Treib- und Betriebsstoffe, die als Ursache des Unfalls in Betracht kamen.

Aufwändige Versuche und Analysen folgten. «Der Anteil des von der Empa geleisteten Beitrages an die Unfalluntersuchung lässt sich am besten am Umfang der dem Untersuchungsleiter zur Verfügung gestellten Berichte und Beilagen dazu ermes- sen; sie nehmen den Inhalt von zwei Bundesordnern ein», schreibt Högger in seinem

Schlussbericht. Empa-Forscher setzten die Bruchstücke zusammen, führten chemische und metallografische Untersuchungen der Bauteile des Flugzeugs durch, untersuchten Röntgenbilder und analysierten in Zusammenarbeit mit dem «Etablissement Aéronautique de Toulouse» das Bremsverhalten des Flugzeugs.

Mehr als ein Jahr nach der Katastrophe stand die Ursache fest. Der Pilot fuhr vor dem Start auf der Landebahn einmal hin und zurück, um die Sichtverhältnisse auszukundschaften – der Morgen war neblig gewesen. Die Parkbremse der Caravelle war dabei leicht angezogen, was die Felgen stark erhitze. Die Magnesiumlegierung wurde dadurch spröd, und so barst eine der Felgen, als das Flugzeug wendete. Einer der Splitter muss eine Hydraulikleitung zerschnitten haben. Die hohe Temperatur reichte aus, um das austretende Hydrauliköl zu entzünden. Nach dem Start, als die Räder in den Fahr-

werkschacht eingezogen wurden, griff der Brand auf die Reifen über, bis schliesslich eine Treibstoffleitung durchschmolte. Als sich das Feuer ausbreitete, fiel das Hydrauliksystem komplett aus. Die Caravelle wurde unkontrollierbar, die Besatzung konnte den Sturzflug nicht mehr stoppen.

Die Untersuchungsergebnisse hatten weit reichende Auswirkungen auf die Flugzeugwartung und den Flugzeugbau. Die Swissair liess die Fahrwerke ihrer Flugzeuge vor dem Start zusätzlich kontrollieren, die Piloten wurden verpflichtet, auf das Fahrverhalten des Flugzeugs zu achten. Die Brennstoffleitungen aller Caravelles wurden abgeschirmt, das Hydrauliksystem verbessert, die Räder mit Schmelzsicherungen versehen und die Hydraulikflüssigkeit durch eine weniger brennbare ausgetauscht; Temperaturfühler für die Bremsen gehören seither zur Standardausstattung von Passagierflugzeugen.

*Anna Ettlin*

Projekt NEST: Experimentalgebäude der Empa mit austauschbaren Wohn- und Arbeitsmodulen. Hier sollen neue Materialien, sowie künftige Formen des Wohnens und Arbeitens erforscht werden. Baubeginn 2013/14.

Komponenten, misst den Einfluss von Lärm an Arbeitsplätzen und Wohnstätten. Seit 1970 beobachtet die Empa chlorhaltige Insektizide wie DDT und verfolgt ihre Verbreitung in Milch und Käse. Die Motorenabteilung untersucht, wie der Gehalt an Blei in den damaligen Benzinsorten verringert werden kann. 1973 wird die Luftmessstation auf dem Jungfrauoch in Betrieb genommen, als Teil eines europäischen Messnetzes für global verfrachtete Luftschadstoffe.

Im Lauf der Jahre fokussiert sich die Empa je länger, je mehr auf anwendungsorientierte Forschung und die Entwicklung innovativer Technologien, etwa im Bereich Luftreinhaltung oder Antriebstechnologien. So ist die Empa heute beispielsweise eines der weltweit führenden Labors in der Gasmotorenforschung (siehe unten). Forschungsschwerpunkte werden lanciert – unter anderem in Nanotechnologie (siehe Seite 11) –, und eine internationale Forschungskommission sowie ein «Industrial Advisory Board» beraten die Empa. Dadurch wird sichergestellt, dass die Empa am Puls der Zeit forscht und gleichzeitig die Bedürfnisse ihrer Industriepartner nicht aus den

&gt;&gt;

## 1985 Die falsche Stahlorte

Am 9. Mai 1985 stürzte die untergehängte Betondecke des Hallenbads Uster auf das Becken – zwölf Tote und 19 Schwerverletzte. Empa-Untersuchungen ergaben, dass die 1972 gebaute Decke nicht nur 30% schwerer war als projektiert, sondern auch an falschen Stahlbügeln hing, die unter hoher Spannung Risse entwickelten und in der chlogesättigten Luft korrodierten. Die Empa bot Weiterbildungskurse für Baufachleute an.



Deckeneinsturz im Hallenbad Uster

## 1992 Heisse Ware aus dem Osten

Am 26. August 1992 meldet sich ein 25-jähriger Pole am Empfang. Er möchte eine Probe des seltenen Platinmetalls Osmium 187 analysieren lassen, die er einem Ukrainer abgekauft hat. Die Ware trägt er in der Hemdtasche. Mit dem Zertifikat der Empa hofft er, einen besseren Preis zu erzielen. Als der damalige Laborchef Peter Richner die Probe zum Massenspektrometer tragen will, schlägt der Geigerzähler der Apparatur Alarm. Strahlenschutzexperten des PSI und der Suva werden alarmiert, der Pole und seine Kollegen verhaftet. Im Röhrchen befindet sich Cäsium 137 – höchst radioaktiv. Zum Glück wird niemand lebensgefährlich verstrahlt. Peter Richner und der Pole überleben die Berührung mit dem Material. Seither steht ein Geigerzähler in der Empa-Spedition, mit dem Unbekanntes kontrolliert wird.



Cäsium im Hemd



1994

### Testen für die Weltraumfahrt

Die europäische Weltraumrakete Ariane 5 kann bis zu 18 Tonnen Nutzlast in den Orbit befördern. Die Nutzlastverkleidung wird von RUAG Space in der Schweiz produziert; sie wird in 110 km Höhe abgesprengt, sobald der Luftwiderstand den Satelliten nicht mehr schaden kann. Aber davor muss sie halten. Die Empa testete die 14 Meter hohe Struktur in ihrer Halle in Dübendorf. 1997 hob die Ariane 5 erstmals erfolgreich ab.



Ariane-Strukturtest

2003

### Die Wiege des Erdgas-Turbo

Erdgasautos der 90er-Jahre waren schwächlich und wenig attraktiv. Dann kam die Empa: Ein VW Polo mit 50-PS-Motor wurde auf Erdgas umgestellt. Zunächst fiel die Leistung auf 42 PS. Durch andere Kolben mit höherer Verdichtung und einen Turbolader steigerten die Forscher die Leistung auf 60 PS. Gleichzeitig sank der CO<sub>2</sub>-Ausstoss. Seit 2009 gehören Erdgas-Turbomotoren zum Alltag. VW, Opel und Fiat bieten die Technik an.



VW Polo als Erdgas-Forschungsauto



2005

### Seilriss nach Routinejob

Am 29. Dezember 2004 riss mit einem Knall die Aussenhülle des Seils der Schilthornbahn. Passagiere wurden per Helikopter gerettet, ein Seilstück zur Empa geflogen. Ergebnis: Eine Firma hatte 1979 das Seil um ein paar Meter verschoben und bei dieser Routinearbeit angekratzt. 25 Jahre später war es an dieser Stelle gerissen. 130 Seilbahnen in der Schweiz wurden daraufhin überprüft.

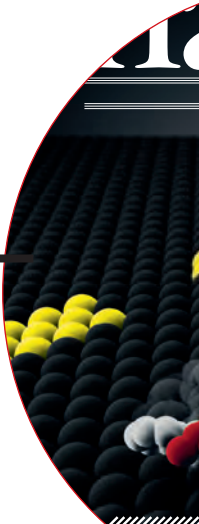


Riss am Seil der Schilthornbahn

2011

### Das kleinste Allradauto der Welt

2011 schafft es die Empa auf die Titelseite des Fachblatts «Nature». Zwei Mikroskop-Spezialisten sublimieren ein chemisches Molekül, das wie ein Formel-1-Fahrzeug aussieht, auf eine Kupferoberfläche und absolvieren eine Probefahrt. Das Auto wird durch die Spitze eines Rastertunnelmikroskops mit Strom versorgt. Die vier Räder drehen sich gleichzeitig. Die Spritztour ist kurz: sechs Nanometer.





Augen verliert. Immer wieder wurden neue wissenschaftliche Abteilungen aufgebaut, zum Beispiel für Hochleistungskeramik, für Nanowissenschaften, Biomaterialien und verschiedene Energietechnologien (siehe unten).

Doch wo Neues entsteht und aufgebaut wird, muss Altes weichen. So auch bei der Empa. Denn um einen «Impact» zu haben und echte Innovationen hervorzubringen, muss sie ihre Kräfte bündeln, darf nicht auf allen Hochzeiten tanzen. Regelmässig reagiert das Forschungsinstitut auf aktuelle Erfordernisse, etwa seitens der Industrie, und passt ihr Forschungsportfolio an. Für die Empa-Forscher hiess das: flexibel bleiben und immer wieder etwas Neues anreissen.

Der Wandel zeigt sich in erster Linie im wissenschaftlichen Output der Empa. Sowohl die Anzahl wissenschaftlicher Publikationen als auch der Doktorierenden erreichen regelmässig neue Rekordwerte. Ende 2012 waren an der Empa 160 Doktorierende beschäftigt; 44 Doktorarbeiten wurden abgeschlossen – so viele wie nie zuvor. Empa-Forscher und -Forscherinnen waren in 120 KTI-Projekten (Kommission für Technologie und Innovation), 100 SNF-Projekten (Schweizerischer Nationalfonds) und 70 EU-Projekten involviert. Nie zuvor in ihrer Geschichte war die Empa wissenschaftlich so aktiv.

Gleichzeitig meldeten Empa-Forscherinnen und -Forscher 18 Patente an und schlossen 33 neue Verwertungsverträge mit Industriepartnern sowie 150 Forschungsvereinbarungen mit externen Partnern ab. Die Technologiezentren der Empa – glaTec in Dübendorf und tebo in St. Gallen – betreuten insgesamt 15 Spin-off-Firmen. Allesamt Rekorde, die die Empa von heute in der Tat als Innovationschmiede der Schweiz ausweisen (siehe Seite 12). Hinter Fassaden aus gutem altem rotem Backstein. //

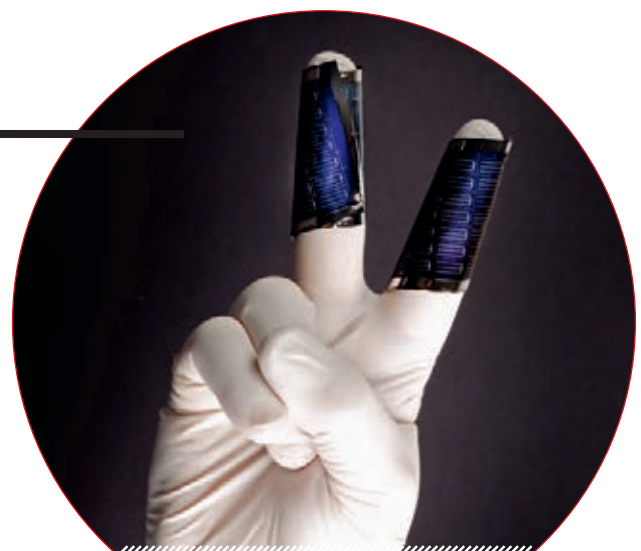
2011

### Preiswerte flexible Solarzellen

Die Empa ist Vorreiter bei der Entwicklung hocheffizienter und dabei kostengünstiger Dünnschicht-Solarzellen: Forschern gelingt es, flexible Zellen aus Cadmiumtellurid (CdTe) mit einer Weltrekord-Effizienz von 13,8% zu bauen. Monate zuvor hatte das Team den Effizienzrekord auch bei flexiblen Solarzellen aus Kupfer-Indium-Gallium-Diselenid (CIGS) auf 18,7% verbessert.



Nano-Auto



Solarzellen-Effizienz-Weltrekord

# Wiege der Innovation

**Nach vier Jahren am Steuer der Empa zieht Direktor Gian-Luca Bona Zwischenbilanz und wagt einen Blick in die Zukunft. Wohin könnte die Reise gehen?**

TEXT: Rainer Klose / BILD: Daniel Winkler Fotografie, Zürich

**Herr Bona, Sie leiten die Empa seit vier Jahren als Direktor. Die Forschungsanstalt hat sich in den vergangenen Jahrzehnten stark verändert. Wo stehen wir heute – und was gibt es noch zu tun?**

Ich beobachte, dass sich das Bewusstsein durchsetzt, dass an der Empa hochkompetente Leute sind, die nicht nur die wissenschaftlichen Grundlagen ihres Fachgebiets beherrschen und weiterentwickeln, sondern viel mehr: Man kann sich mit ihnen Gedanken machen, wie ein Produkt, eine Technologie beschaffen sein muss, um am Markt erfolgreich zu sein. Und das Know-how, das wir hier entwickeln, transferieren wir auch. Jedes Jahr verlassen über hundert Wissenschaftler die Empa und gehen zum grossen Teil in die Industrie. Wir produzieren sozusagen Fachleute, die unsere Wirtschaft, unser Land weiterbringen.

Auch nach innen hat sich einiges verändert. Unseren Leuten ist klar geworden, dass sie über ihr eigenes Fachgebiet hinaus zusammenarbeiten müssen, weil gerade dann grossartige Dinge entstehen. Dieser Prozess, dieser Kulturwandel ist noch nicht ganz abgeschlossen – vielleicht wird er das auch nie sein. Denn die Empa muss dynamisch mit dem Markt wachsen, zukünftige Entwicklungen antizipieren und gestalten und sich permanent verändern.

**Wann sind Sie der Empa zum ersten Mal begegnet?**

Daran kann ich mich gut erinnern, das war vor 42 Jahren in der Sekundarschule St. Gallen. Wir besuchten die Empa, mitten in der Stadt. An der ersten Station unseres Rundgangs liess eine Maschine Verpackungen aus einer bestimmten Höhe in einem bestimmten Winkel fallen, um ihre Stärke zu testen. Ich fand das ziemlich langweilig und dachte, das könnten die Verpackungshersteller doch selber machen. Die zweite Station hat mir besser gefallen, da testeten sie luftdurchlässige Rennanzüge.

Aber daran sehen Sie, dass die Empa damals ein reines Testinstitut war. Und das haftet uns – leider – noch etwas an. Wir wollen das ändern, indem wir den Leuten zeigen: Die heutige Empa ist der Ort, von dem Innovationen ausgehen. «The place where innovation starts», wie unser neuer Slogan lautet. Wir sind

heute ein sehr kreatives Institut. Unsere Partner aus Industrie und Forschung wissen das. Bei anderen – auch bei manchen Firmenchefs – müssen wir noch Überzeugungsarbeit leisten. Denn das widerspricht ein wenig dem, was die Empa früher war: Wir haben Zuverlässigkeitstests gemacht. Kreativität und Zuverlässigkeit passen für viele nicht zusammen. In der Wissenschaft funktioniert beides miteinander allerdings sehr gut: Man kann zuverlässig, analytisch etwas Neues angehen, und der Prozess, der zu dem Lösungsansatz geführt hat, kann dabei kreativ, sogar chaotisch sein. Gute Wissenschaftler tragen beide Eigenschaften in sich.

**Welche Forschungsgebiete muss – und wird – die Empa künftig angehen?**

Dass wir uns regelmässig neue Gebiete erschliessen müssen, steht ausser Zweifel – und dass wir dafür limitierte finanzielle Mittel haben werden, auch. Die Empa wird sich also immer wieder verändern. Das ist auch gut so, eine Entwicklung, wie sie jeder lebende Organismus macht. Dabei sind es einfache Fragen, die uns die Richtung vorgeben: Womit kann die Schweiz in Zukunft Geld verdienen und ihren Wohlstand sichern? Wo entsteht ein neues

Bedürfnis, und wie sieht eine nachhaltige Lösung aus? Wo eröffnen sich neue Gebiete, die man heute noch nicht kennt?

Vor zwanzig Jahren hätte ich beispielsweise nie gedacht, dass heute alle mit einem Smartphone herumlaufen, mit dem sie immer erreichbar sind und auf sämtliche verfügbaren Informationen zugreifen können. Und möglicherweise haben wir in zwanzig Jahren völlig andere Mobilitätskonzepte als heute.

Ganz sicher aber ist: Die Schweiz kann wirtschaftlich nur mit nachhaltiger Hightech und innovativen Konzepten überleben. Die Empa hat die Aufgabe, derartige Konzepte und Technologien zu entwickeln und vorzubereiten. Ein Beispiel für diese Art von Forschung ist unsere Demonstrationsplattform «Future Mobility», mit der wir untersuchen, wie sich Überschussenergie, etwa aus Wind- und Solaranlagen, in Treibstoffe umwandeln und praktisch nutzen lässt. Ein anderes wichtiges Feld sind Beschichtungen, ein Gebiet, das in der Schweiz eine grosse Tradition hat. Die Zukunft wird uns Beschichtungen bringen, die etwa sensorische Fähigkeiten haben. Oder Funktionen, an die wir heute noch gar nicht denken.

**Wie sieht die Empa in zwanzig Jahren aus?**

Konkret weiss ich das natürlich nicht, aber es wird bestimmt eine stark vernetzte und sehr flexible Organisation sein. Die einzelnen Fachbereiche werden ihr Know-how intensiv untereinander austauschen und miteinander um neue Lösungen ringen. Und diejenigen, die das am besten machen, werden am erfolgreichsten sein. Dadurch ist und bleibt die Empa einer der Pfeiler der Schweizer Wettbewerbsfähigkeit – und somit unseres hohen Lebensstandards, der sich nur mit Hilfe dauernder Innovation halten lässt. Wer stehen bleibt, verliert. //

«Jedes Jahr verlassen  
100 Wissenschaftler  
die Empa und gehen  
in die Industrie.»



### Carbo-Link AG

CH-8320 Fehraltorf  
www.carbo-link.com  
Gegründet 2000

Entwirft, entwickelt und produziert  
Strukturbauteile aus Karbonfaser.  
Die Teile werden bei Kränen  
(Liebherr), in der Formel 1 (Saubert)  
und beim Betonbau eingesetzt.

### Ugra

CH-9014 St. Gallen  
www.ugra.ch  
Ausgegliedert 2005

Unterhält das «Schweizer Kompetenzzentrum  
für Medien- und Druckertechnologie» und  
fördert wissenschaftliche Untersuchungen in  
der Druckbranche.

### Empa Testmaterialien AG

CH-9015 St. Gallen  
www.empa-testmaterials.ch  
Gegründet 2001

Stellt künstlich angeschmutzte oder  
gefärbte Textilproben her, mit der  
Waschmittel und Waschmaschinen  
getestet werden können.

Carbo-  
Link

ugra

empa testmaterials

### World Resources Forum

CH-9014 St. Gallen  
www.worldresourcesforum.org  
Gegründet 2012

Fördert den Austausch von  
Informationen über ökonomische,  
politische, soziale und  
umweltschädliche Auswirkungen  
des globalen Rohstoffverbrauchs

World Resources  
Forum

Spin-Offs

# Die «Tochterplan

Die wichtigsten Firmengründ

### Decentlab GmbH

CH-8600 Dübendorf  
www.decentlab.com  
Gegründet 2008

Entwirft und vertreibt drahtlose  
Echtzeit-Überwachungssysteme  
für Brücken, Landwirtschaft,  
Forstbau und Forschungszwecke.

DECENLAB

### Compliant Concept

CH-8600 Dübendorf  
www.compliant-concept.ch  
Gegründet 2009

Entwickelt intelligente technische  
Lösungen für bettlägrige Patienten,  
die die Pflege erleichtern und der  
Gesunderhaltung dienen.

compliant concept  
Innovations for a better life

### CTSystems

CH-8600 Dübendorf  
www.ct-systems.ch  
Gegründet 2012

Entwickelt Aktuatoren  
(künstliche Muskeln), basierend  
auf elektroaktiven Polymeren  
für mechatronische Systeme im  
Automobil-, Multimedia- oder  
Robotik-Sektor.

CTSystems

MONOLITIX

### Monolitix AG

CH-8600 Dübendorf  
www.monolitix.com  
Gegründet 2010

Entwirft und fertigt nachgiebige  
Greifwerkzeuge für Roboter sowie  
monolithische Werkzeuge, die aus  
einem Spritzgussteil statt aus  
mehreren Einzelteilen bestehen.

## Humanikin GmbH

CH-9035 Grub  
www.humanikin.com  
Gegründet 2008

Entwirft und baut schwitzende, bewegliche Roboterpuppen, mit denen Outdoorkleidung oder Schutzkleidung für die Feuerwehr getestet werden kann.

**humanikin**  
intelligent thermal control

## Swiss Surface Solutionsnano, GmbH

CH-3602 Thun  
www.sssnano.com  
Gegründet 2013

Stellt transparente, antireflektierende und hydrophobe Beschichtungen her, die durch den Lotus-Effekt sauber gehalten werden.

**SWISS<sup>9</sup>**

## QC Expert AG

CH-8600 Dübendorf  
www.qc-expert.ch  
Gegründet 2005

Bietet neutrale Gutachten bei Bauschäden für Bauherren, Architekten und Versicherungen, erstellt Sanierungsvorschläge und führt Messungen am Bau durch.

**QC EXPERT**  
Ein Spin-off der EMPA

## ETSS, Gottschalk & Co.

CH-7558 Strada  
www.etss.ch  
Gegründet 2011

Unternehmensberatung u. a. im Gebiet Risikoanalytik, Materialflussimulation, Technikfolgenabschätzung, Toxizitätsforschung, Strategieentwicklung, Spiel- und Entscheidungstheorie.

**ETSS**  
Environmental, Technical and Scientific Services

## Eleoss Ltd.

CH-3602 Thun  
www.eleoss.com  
Gegründet 2013

Produziert Edelstahlbeschichtungen auf galvanischer Basis sowie feinmechanische Bauteile aus Edelstahl.

**ELEOSS**

## Spin-Outs

**SVTI  
ASIT**

## SVTI

CH-8304 Wallisellen  
www.svti.ch  
Ausgliedert 2009

Dienstleistungen im Bereich der Integrität metallischer Werkstoffe und Bauteile; Routineprüfungen an Druckgasflaschen und Druckanlagen.

**Quantis**

## Quantis

Lausanne, Bellinzona, Dübendorf  
www.quantis-intl.com  
Ausgliedert 2013

Life Cycle Assessments (LCA) in den Bereichen Energie, Mobilität, Materialien und Gebäude. Das Team besteht aus anerkannten Experten im Bereich LCA-Modelle und -Bestandsdaten.

1

1

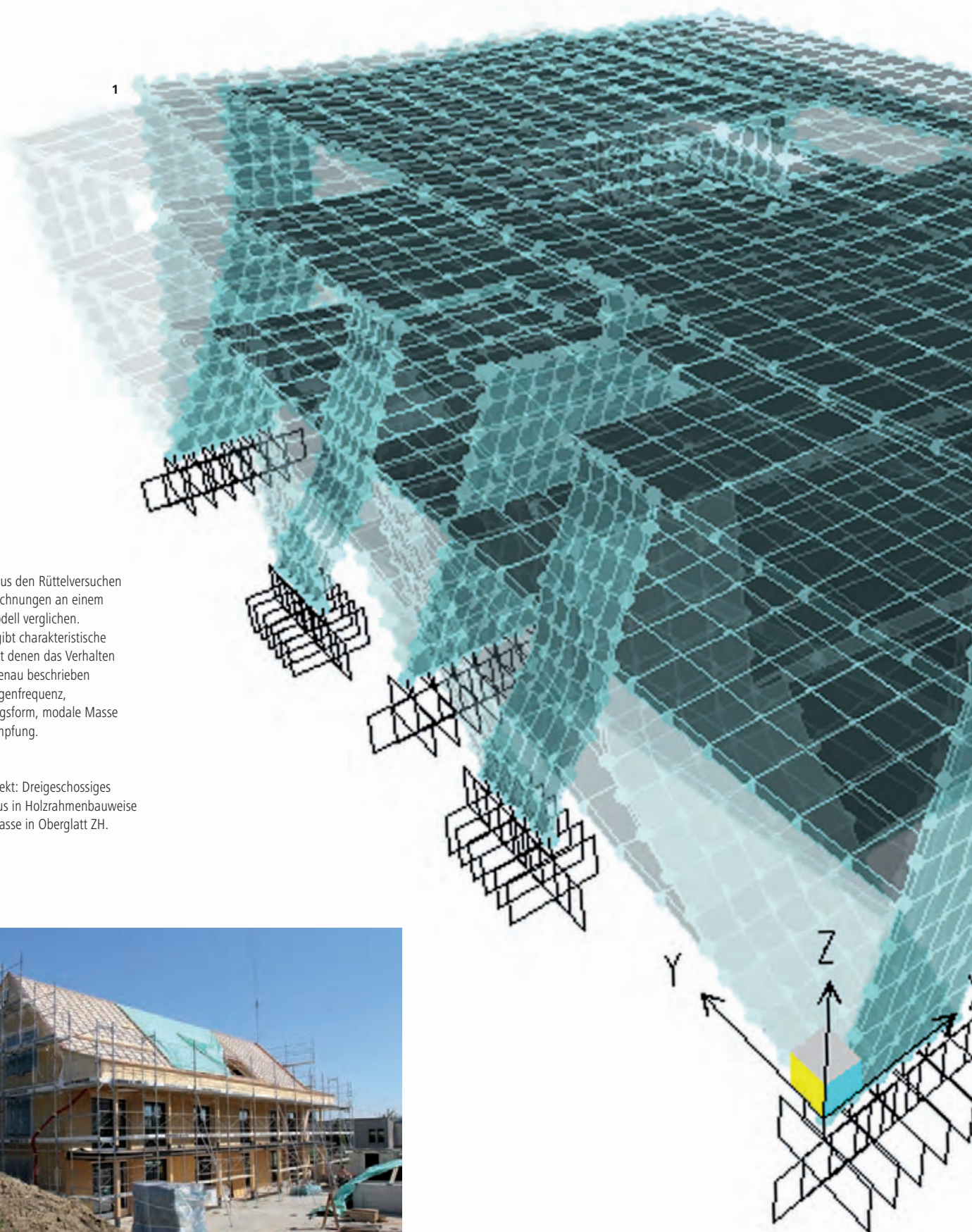
Die Ergebnisse aus den Rüttelversuchen werden mit Berechnungen an einem 3-D-Gebäudemodell verglichen. Die Messung ergibt charakteristische Kenngrößen, mit denen das Verhalten des Gebäudes genau beschrieben werden kann: Eigenfrequenz, Eigenschwingungsform, modale Masse und modale Dämpfung.

2

Das Versuchsobjekt: Dreigeschossiges Mehrfamilienhaus in Holzrahmenbauweise an der Gartenstrasse in Oberglatt ZH.

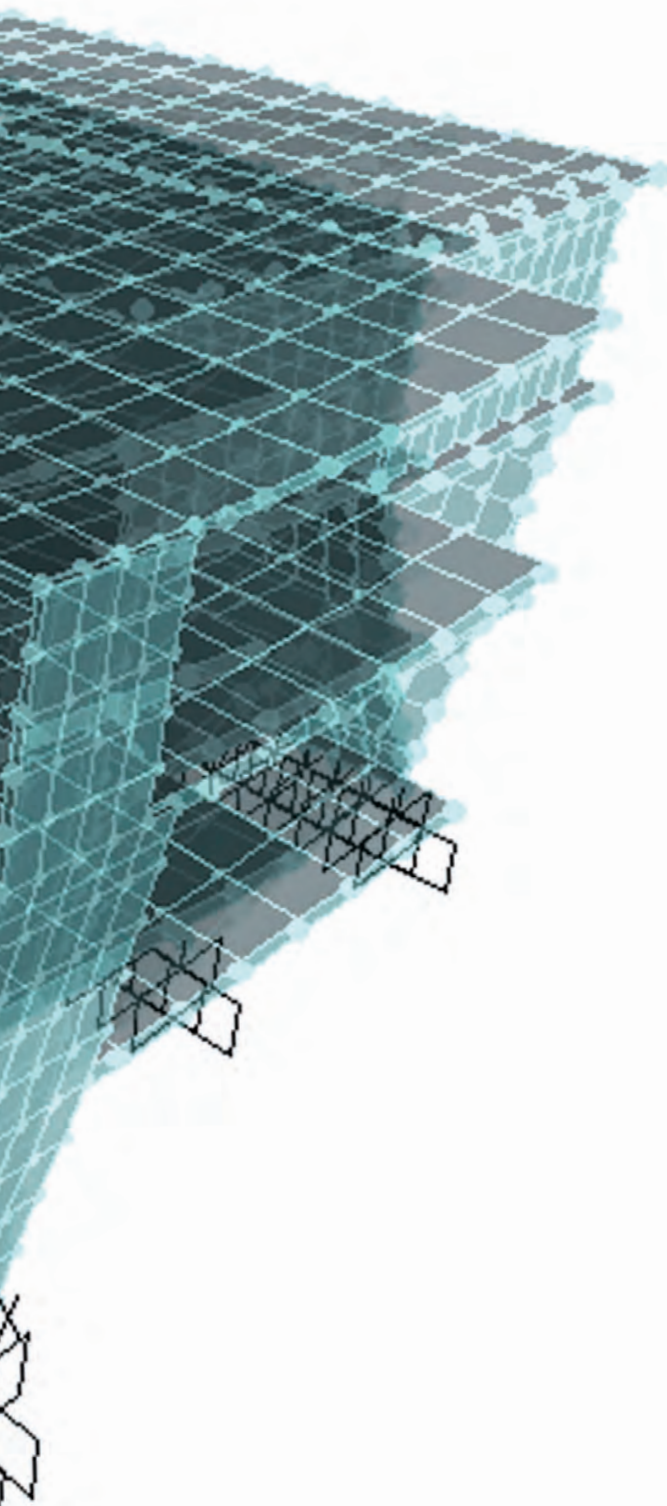


2





# Erschütternde Forschung



Mehrstöckige Holzbauten liegen im Trend. Damit ihnen starker Wind oder ein Erdbeben nichts anhaben, müssen genügend Aussteifungen im Tragwerk vorhanden sein. Ein Empa-Team rüttelt mit einem grossen Shaker ein mehrgeschossiges Haus während verschiedener Bauphasen durch. Die Messung hilft Architektinnen und Bauingenieuren, Planung und Konstruktion zu optimieren.

TEXT: Martina Peter / BILDER: Empa

**D**rei Mal fuhr der schwere Saurer-Lastwagen der Empa an der Baustelle im zürcherischen Oberglatt vor und deponierte seine Fracht: ein zwei Tonnen schwerer Shaker. Weitgehend unbemerkt von der Öffentlichkeit fand hier nicht etwa eine Prüfung, sondern ein nicht alltägliches wissenschaftliches Experiment statt. Es soll Bauingenieuren helfen, die Planung und Bemessung von mehrgeschossigen Holzhäusern dank besserer, aus der Praxis stammender Daten zu optimieren – und dabei kostengünstige Lösungen zu finden. Projektleiter René Steiger von der Empa-Abteilung «Ingenieur-Strukturen» erklärt, was dahintersteckt: «Bauingenieure sind beim Planen und Errichten von Tragwerken mit den gleichen Problemen konfrontiert wie Normalsterbliche, wenn sie ein Bücherregal zusammensetzen: Verzichten sie auf das Metallkreuz an der Rückseite, bleibt das Regal eine wacklige Angelegenheit und kommt schon beim geringsten seitlichen Anstoss bedrohlich ins Schwanken.»

## **Experimentelle Untersuchungen sind (noch) Mangelware**

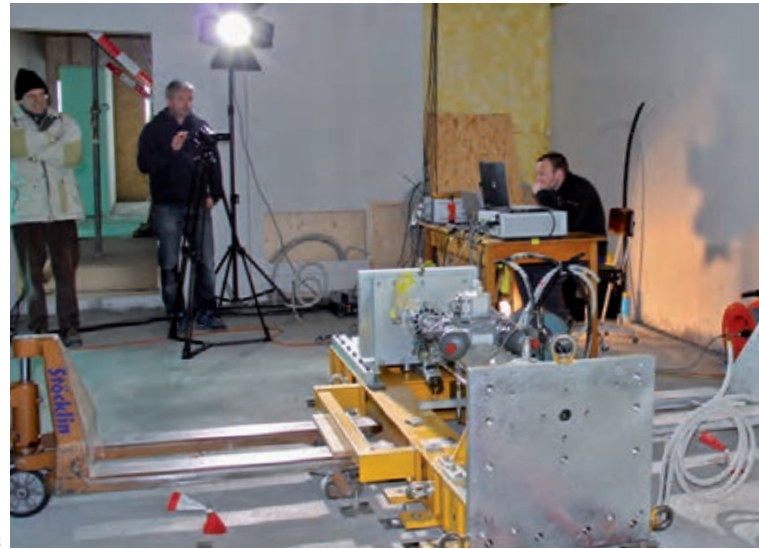
Beim untersuchten Mehrfamilienhaus reicht ein Bücherregal-Metallkreuz natürlich nicht. Um die horizontale Tragwerksteifigkeit eines Baus aus vorgefertigten Holzrahmenelementen und aufgenagelten



1



2



3

Grobspan- und Gipsfaserplatten zu gewährleisten und Schäden vorzubeugen, die durch starke Windstöße oder durch Erdbeben verursacht werden, kann der Bauingenieur zu verschiedenen Lösungen greifen. Entweder baut er zusätzliche tragende Wände ein, oder er erhöht den Tragwiderstand der vorhandenen Wände, indem er dickere Bauteile, tragfähigeres Material oder mehr Verbindungsmittel verwendet. «Unter dem Strich heisst das: mehr Material und ein erhöhter Arbeitsaufwand. Und das schlägt sich natürlich in höheren Kosten nieder», so Steiger. Was die Sache nicht einfacher macht: Versteifen ist nicht für jeden Fall die beste Lösung. Um Erdbebenstöße aufzufangen, ist es in manchen Fällen vorteilhafter, wenn das Bauwerk nicht zu steif ist, sondern bis zu einem gewissen Grad nachgiebig reagieren kann.

Die gesamte Holzbaubranche, aber auch Architekten, Ingenieure und Bauherren sind deshalb an möglichst praxisnahen Daten zu Steifigkeit, Grundschwingzeiten und Dämpfung bei mehrgeschossigen Holzbauten interessiert, um die für ihr Objekt beste Lösung zu finden. Damit ist sichergestellt, dass nur so viel Material wie wirklich nötig (und zudem an den richtigen Stellen) verbaut wird.

Bislang gab es nur rechnerische Näherungswerte, aber keine an einem realen Objekt erhobene Daten zu den dynamischen Eigenschaften eines mehrgeschossigen Holzbaus in hierzulande üblicher Bauweise. In Japan und Nordamerika wurden zwar Rütteltischversuche durchgeführt. Sie sind allerdings nicht vollumfänglich auf Schweizer Verhältnisse übertragbar, da sie Starkerdbeben simulieren. Zudem unterscheiden sich die japanischen und nordamerikanischen Konstruktionen deutlich von hiesigen. Bedingt ist dies durch

unterschiedliche Anforderungen an die thermische Isolation, den Schall- und den Brandschutz. In den Baunormen finden Bauingenieure nur Mittelwerte zur Steifigkeit einzelner Nagel-, Klammer- oder Schraubenverbindungen, Holzrahmenteile und Beplankungsmaterialien. Was fehlt, sind Angaben zur Steifigkeit ganzer Wandelemente oder gar von Wänden, die über mehrere Geschosse verlaufen. Diese Lücke wollte die Empa zusammen mit dem Ingenieurbüro Pirmin Jung und den Firmen ZBF Architekten und Artho Holz- und Elementbau mit den Rüttelversuchen schliessen. In der Bauherrschaft der Überbauung in Oberglatt, der Firma Ferrario Bau, fand die Projektgruppe einen verständnisvollen Partner, welcher durch seine Bereitschaft, die Versuche am eigenen Bauwerk durchführen zu lassen, das einzigartige Forschungsprojekt ermöglichte.

### Messungen während drei Bauphasen

Und so hievten im April und im Mai Empa-Mitarbeitende in Zusammenarbeit mit der Baustellen-Equipe der Pedrocchi Bau GmbH, Oberglatt, den tonnenschweren Shaker per Kran in das oberste Geschoss des Rohbaus, verlegten unzählige Meter Kabel und installierten 26 Beschleunigungssensoren. Immer wieder setzten sich 1000 Kilogramm Masse dank präziser Steuerung des Servohydraulikzylinders in Bewegung und brachten das Holzhaus horizontal gehörig zum Schwingen. Genauso, wie es durch Windstöße oder kleinere Erdbeben im Zürcher Unterland zu erwarten wäre. Die Beschleunigungssensoren massen derweil auf drei Geschossen die horizontalen Bewegungen des Gebäudes und lieferten Werte zu Tragwerksteifigkeit, Eigenfrequenz und Dämpfung. Die Messungen erfolgten wäh-



**1**  
Erdbebenexperte Thomas Wenk (links) besucht René Steiger (rechts) und sein Team auf dem Baugelände.



**2**  
Der hydraulische Horizontalschwinger der Empa, der bis zu 1000 kg schwingende Masse kontrolliert in Bewegung versetzen kann, wird in Position gebracht.

**3**  
Damit die Rüttelversuche ohne Schäden am entstehenden Gebäude durchgeführt werden konnten, waren zahlreiche Spezialisten der Empa-Abteilung «Ingenieur-Strukturen» vor Ort.

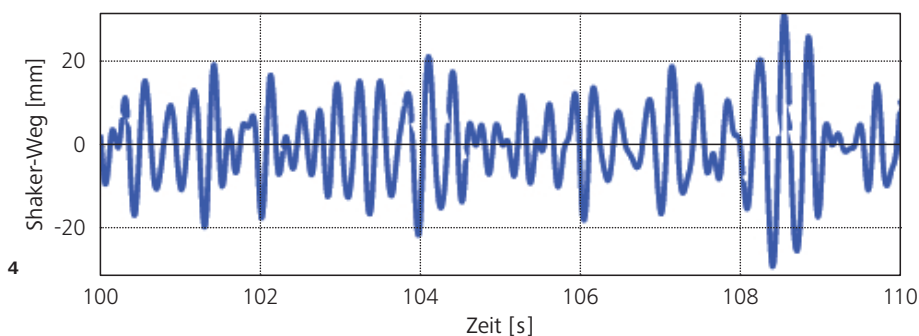
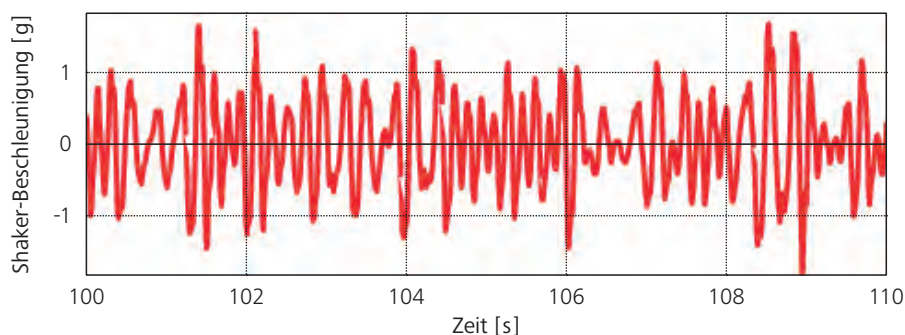
**4**  
Mit den unterschiedlichsten Amplituden und Frequenzen testet der Shaker das Gebäude.



Video  
Rüttelversuch der Empa am  
Holz-Wohnhaus in Oberglatt

<http://youtu.be/k8R1jGGJnI>

Shaker-Signal: 3 Hz bis 6 Hz, 30 % Intensität



## Forschungsprogramm «Holz»

Im Nationalen Forschungsprogramm 66 «Ressource Holz» ([www.nfp66.ch](http://www.nfp66.ch)) geht das Team der Empa-Abteilung «Ingenieur-Strukturen» mit Forschungspartnern der Haute Ecole d'Ingénierie et de Gestion du Canton de Vaud (heig-vd) und der EPF Lausanne – unterstützt durch die Industriepartner Pirmin Jung (Ingenieure für Holzbau), Thomas Wenk (Erdbebeningenieurwesen und Baudynamik GmbH) sowie Lignum (Holzwirtschaft Schweiz) – der Frage nach, wie sich Verbindungen und Wandelemente mehrgeschossiger Holzbauten bei Erdbeben und Wind verhalten. Die Forschenden entwickeln ein optimiertes Tragwerksystem mit Hilfe einer verformungsbasierten Bemessungsmethode. Die Forschungsergebnisse tragen bei, Holz als Baustoff wettbewerbsfähiger und mehrgeschossige Holzbauten zuverlässiger, wirtschaftlicher und planungssicherer zu gestalten.

rend drei verschiedener Bauphasen. So konnten die Wissenschaftler direkt am Objekt verfolgen, wie das Tragwerk an Steifigkeit gewann: Während in der ersten Phase nur die tragenden Wände als Aussteifung wirkten, waren in der zweiten Phase bereits die Beplankungen von nicht tragenden Wänden verklammert und in der dritten Phase die Fenster eingebaut.

Mit den Auswertungen der umfangreichen Daten sind die Wissenschaftler noch eine Weile beschäftigt. «Bereits die ersten Ergebnisse zeigten, dass die Berechnungen am Modell nicht mit den Experimenten übereinstimmen», berichtet Steiger. Das Tragwerk erwies sich als bedeutend steifer, als auf Basis der Angaben in den Normen und der verwendeten Modelle berechnet wurde. Ausserdem seien die Unterschiede der ermittelten dynamischen Parameter in den drei Bauphasen deutlich geringer gewesen als erwartet. Im konkreten Fall wäre man also mit weniger Verbindungsmitteln oder weniger aussteifenden Wänden ausgekommen und hätte immer noch sicher gebaut.

Die Auswertungen lassen nicht nur Schlüsse auf das Objekt in Oberglatt zu, sondern geben auch Aufschluss darüber, wie sich die eingesetzten Baumaterialien allgemein auf Steifigkeit, Eigenfrequenz und Dämpfung von Bauten auswirken. Mit ihrer Arbeit helfen die Wissenschaftler, Normen und Modelle zu ergänzen, und sie unterstützen Bauingenieure und Architekten darin, ihre Planung zu optimieren. Last, not least: Das Projekt, das durch den Fonds zur Förderung der Wald- und Holzforschung des Bundesamts für Umwelt und der Kantone finanziell unterstützt wurde, stärkt auch die Konkurrenzfähigkeit von Holz als nachhaltigem Baustoff für mehrgeschossiges Bauen. //

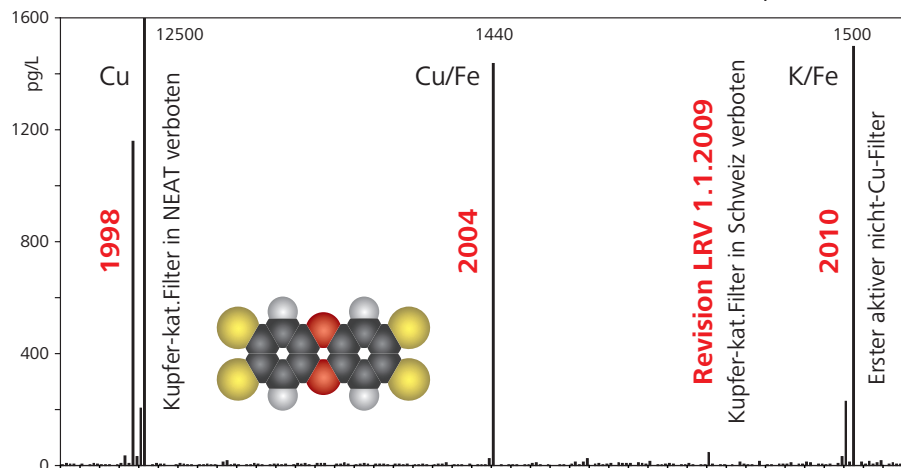
# Dioxin aus Partikelfiltern

Dieselpartikelfilter sind ein Segen für die Umwelt – und zugleich schlecht kontrollierbare Chemiereaktoren. Gefüttert mit den richtigen Zutaten, produzieren gewisse Filter sogar Dioxine, wie Forscher der Empa herausfanden.

TEXT: Rainer Klose / BILDER: Empa



2,3,7,8-Tetrachlorodibenzodioxin-Emissionen (Billionstel Gramm pro Liter Abgas)



1 Eine Baumaschine entlässt ungefilterten Dieseleruss in den blauen Morgenhimmel bei Los Angeles. Ein Nachrüstfilter würde hier grosse Mengen an Giftstoffen zurückhalten. Doch die Filter werden bis zu 500 Grad Celsius heiss – bei diesen Temperaturen kann Dioxin entstehen.

2 Mehr als 40 Filtertypen hat Norbert Heeb in den letzten Jahren getestet. Nur drei davon erzeugten Dioxin. Nach der Entdeckung der Empa wurden sie verboten.

Ich will Partikelfilter nicht schlechtmachen, aber wir müssen genau hinschauen, was hinten rauskommt», sagt Norbert Heeb. Vor kurzem hat der Empa-Forscher mit seinem Team erneut ein Fabrikat entdeckt, das zwar Russ aus dem Abgas filtert, aber eben auch Dioxine, genauer polychlorierte Dibenzodioxine/-furane, produziert. In der Fachzeitschrift «Environmental Science and Technology» machte er den alarmierenden Fund publik. Nicht zum ersten Mal.

In Sachen Dieselpartikelfilter hat Heeb schon Einiges gesehen. «Der Bau des NEAT-Basistunnels hat mir 15 Jahre Arbeit beschert», sagt er schmunzelnd. Tatsächlich spielt die Schweiz wegen dieses Tunnelprojekts eine Vorreiterrolle. Es ging um viel Geld: Ein Tunnelsystem von 57 Kilometer Länge musste hergestellt und ausgebaut werden. Zugleich galt es, die Arbeiter vor Krebs erregendem Dieselschlamm aus den Baumaschinen zu schützen. Das geht entweder durch aufwändiges Einblasen von Frischluft oder durch den Einbau von Partikelfiltern in jede Baumaschine. Der heute international anerkannte VERT-Test (Verminderung der Emissionen von Real-Dieselmotoren im Tunnelbau), der inzwischen Teil der Schweizerischen Luftreinhalteverordnung ist, wurde in enger Zusammenarbeit von Industrie, Hochschulen und Behörden entwickelt. Federführend waren Andreas Mayer vom Ingenieurbüro TTM, Jan Czerwinski, FH Biel, Gerhart Leutert, BAFU, und Andrea Ulrich und Norbert Heeb, Empa. Bis heute werden Baumaschinenfilter nach dieser Norm zertifiziert. Und noch immer erlebt Filterforscher Heeb Überraschungen – wie die mit dem Dioxin.

#### Extrem Krebs erregend und extrem giftig

Das Seveso-Dioxin (siehe Kasten) passt wie ein Schlüssel zum Schloss in das menschliche AHR-Protein, das das Zellwachstum reguliert. Es ist Krebs erregend, schlecht abbaubar und reichert sich im Körper an. Es kann bei 300 Grad Celsius aus Russpartikeln, unverbranntem Treibstoff, Sauerstoff und etwas Chlor entstehen, wenn Spuren von Kupfersalzen anwesend sind. Und hier wird es interessant: Genau diese Mischung an Zutaten – und die passende Temperatur, zwischen 100 und 500 Grad – findet sich nämlich in gewissen Dieselpartikelfiltern.

#### Dioxinbrüter im Abgasstrang

Um Dieselpartikel vom Russ zu reinigen, gibt es die unterschiedlichsten Techniken. Stark oder schwach oxidierende Filter treten gegeneinander an; oft wird durch katalytische Metalle oder Metalloxide das Abbrennen der Russpartikel im Filter beschleunigt. Als der französische Autohersteller Peugeot im Jahr 2000 den ersten Diesel-PKW mit Russpartikelfilter auf den Markt brachte, dosierten die Ingenieure eine Cer-Lösung in den Treibstoff. Der VW Passat fuhr später mit Eisen-Additiv im Tank.

Auch bei Baumaschinen wurde zu jener Zeit fieberhaft nach praktikablen Verfahren gesucht. Nicht immer ging das gut: Schon 1998 fielen Kupfer-katalysierte Dieselpartikelfilter als Dioxinbrüter auf. Sie

wurden für den Einsatz in den NEAT-Tunnels umgehend verboten. 2007 entdeckten Heeb und seine Kollegen eine weitere Dioxinquelle: ein Filter, der mit einer Eisen-Kupfer-Mischung als Katalysator betrieben wurde. Zeitgleich mit der Veröffentlichung von Heeb's Untersuchung verbot der Bund auch diese Filtertechnik. Und seit Januar 2009 sind kupferhaltige Dieselpartikelfilter in der Schweiz generell verboten.

Umso überraschter war Heeb, als er letztes Jahr einen Partikelfilter untersuchte, der mit einer Eisen-Kalium-Lösung betrieben wurde. Heeb's Fazit: Auch diese Filtertechnik produziert erhebliche Dioxinmengen. Und dies, obwohl die weit verbreitete Eisen-Katalysator-Technologie in dieser Hinsicht bislang nicht aufgefallen war. Noch wissen die Forscher nicht, wie das Dioxin in diesen Filtern entsteht. Eine Hypothese besagt, dass durch die Kombination von Kalium und Eisen bei der Verbrennung Magnetit ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ) statt Hämatit ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) gebildet wird – was die Entstehung von Dioxin eventuell begünstigt.

#### Eine chemische Wundertüte

Sehr vieles, was in einem Dieselpartikelfilter vor sich geht, lässt sich nur vom Ergebnis her beurteilen. Zu viele Zutaten sind darin kombiniert; zu viele Temperaturbereiche, Zonen mit und ohne Sauerstoff gibt es. Spuren von metallischem Abrieb aus dem Motor treffen auf einen wilden Cocktail aus Russpartikeln, unverbranntem Treibstoff und heissen Verbrennungsgasen. Dazu kommt: Im Leerlauf ist alles ganz anders als bei Vollast. Und ein alter Filter verhält sich anders als ein neuer.

So bleibt Norbert Heeb und seinem Team nur, immer wieder sorgfältig das Abgasgemisch zu analysieren und Ausreisser unter den Filtern aufzuspüren. Zum Glück sind es wenige: Mehr als 40 Partikelfilter hat der Empa-Forscher über die Jahre geprüft, und nur drei davon erzeugten eine auffällige Menge Dioxine/Furane. Es gibt also genügend Alternativen – sie sind in einer ständig aktualisierten Liste des Bundesamts für Umwelt (BAFU) einzusehen ([www.bafu.admin.ch/partikelfilterliste](http://www.bafu.admin.ch/partikelfilterliste)).

Abgasreinigung, so erfahren wir am Ende des Gesprächs, ist keine einfache Sache, sondern immer ein Kompromiss, der ständig neu bedacht werden muss. Russpartikel sind nur ein Teil dessen, was ein Dieselmotor ausstösst. Stickoxide, polyzyklische Aromaten (PAH), Kohlenmonoxid und diverse genotoxische Stoffe kommen dazu. Ein Partikelfilter an einem Gabelstapler einer Lagerhalle muss etwas anderes können als der eines Linienbusses im ozongefährdeten Grossstadtdschungel. Doch auch wenn die Reinigungsleistung in Einzelaspekten unterschiedlich sein mag: Ein nach Schweizer VERT-Norm getesteter Filter ist allemal besser als keiner – auf diese Aussage legt Heeb grossen Wert. Nur von ganz wenigen Dioxin produzierenden Filtern sei abzuraten. Es wäre höchste Zeit, so der Empa-Forscher, nach Baumaschinen und Personenwagen nun endlich auch Lastwagen, Traktoren und Binnenschiffe mit guten Partikelfiltern auszurüsten. Einen Teil der Überzeugungsarbeit für diesen Prozess leistet die Empa. //

## Chlor am Jungfrauojoch

Das Seveso-Gift (2,3,7,8-Tetrachlordibenzodioxin) enthält – wie sein systematischer Name sagt – Chlor. Doch wie kommt Chlor in den Dieselmotor und von dort in den Partikelfilter? Kann man das nicht verhindern – und so die Bildung von Dioxin vermeiden? Nein, sagt Norbert Heeb und macht eine einfache Rechnung auf: Selbst die saubere Bergluft um die Empa-Messstation Jungfrauojoch enthält pro Kubikmeter  $9\frac{1}{2}$  Mikrogramm Chlor. Eine Baumaschine braucht 23 Kubikmeter Luft, um einen Liter Diesel zu verbrennen – saugt also selbst am Jungfrauojoch 220 Mikrogramm Chlor pro Liter verbranntem Diesel ein und jagt es durch den heissen Auspuff. An der Küste, bei salziger Seeluft, ist der Chlorgehalt deutlich höher, chlorfreie Luft gibt es nirgends. So lässt sich die Dioxingefahr also nicht bannen.

# Abgas in der Schaumwäsche

Abgasvorschriften werden immer strenger, und die Preise für Platin und andere Katalysatormetalle steigen. Damit Autofahren weder den Fahrer noch die Umwelt zu teuer zu stehen kommt, entwickeln Empa-Forscher einen neuartigen Abgaskatalysator – aus Keramikschaum.

TEXT: Anna Ettlín / BILDER: Empa





**A**m Anfang stand ein Katalysator, der zur Analyse ins Motorenhaus der Empa in Dübendorf kam. Das zylinderförmige Bauteil gehörte zu einem Luxusauto und zeigte eine unerfreuliche Abnutzung: Auf einem Teil der Zylinderfläche war es geschmolzen und somit unbrauchbar, rundherum jedoch unversehrt – laut Empa-Forscher Potis Dimopoulos Eggenschwiler aus der Abteilung «Verbrennungsmotoren» ein Zeichen für eine ungleichmässige Verteilung der (heissen) Abgase im Katalysator, eine Beobachtung, die er häufig macht in den klassischen Monolithkats mit Bienenwabenstruktur.

Um die sinkende Effizienz mit zunehmendem Alter zu kompensieren, bauen die Kat-Hersteller ihre Abgasreiniger immer grösser; ein höheres Gewicht und ein höherer Preis sind die Folge. Der klassische Monolithkat ist zwar sehr gut für die Abgasreinigung, braucht aber einiges an seltenen Ressourcen (Edelmetalle) dafür. Um diese Problematik zu entschärfen, entwickelten Dimopoulos Eggenschwiler und sein Team eine Alternative: einen Katalysatorträger aus Keramikschaum.

#### **Kleiner, leichter – und günstiger**

In einem Labor liegen zwei Versuchsbauteile in Form identischer Metallzylinder nebeneinander: ein Monolithkat mit feiner, regelmässiger Wabenstruktur und ein grobporiger keramischer Schaum, das Ergebnis mehrjähriger Forschungsarbeit. Den Unterschied erkennt man erst, wenn man die Zylinder umdreht: Der Schaumkat nimmt nur etwa die Hälfte des Zylinders ein, während der Monolith seinen komplett ausfüllt. «Die beiden Bauteile haben die gleiche katalytische Wirkung», verrät Dimopoulos Eggenschwiler.

Das entscheidende Feature des Schaumkats ist seine unregelmässige Struktur. Autoabgase durchströmen einen Monolithkat inhomogen, in der Mitte strömt deutlich mehr als am Rand. Im Schaum wird die Strömung turbulent und dadurch homogenisiert, die thermische Last besser verteilt. Positiver Nebeneffekt: Der Schaumkat heizt sich schneller auf, geringere Kaltstart-Emissionen sind die Folge. Dank den intensiveren Turbulenzen kommen die Abgase auch eher mit der katalytischen Oberfläche in Kontakt, die Effizienz steigt. Der Schaumkat braucht nur



**1** Ein Iveco-Lieferwagen dient auf dem Empa-Gelände als Versuchsobjekt für den Schaumkat. Ein weiterer Versuchswagen fährt für die Industriellen Werke Basel.



**2** Das passiert, wenn heisse Auspuffgase ungleichmässig durch einen herkömmlichen Katalysator strömen. An der heissen Stelle schmilzt das Material. Statt feiner Poren gibt es grosse Löcher – der Katalysator wird unwirksam.



**3** Die ungleichmässige Struktur des Keramikschaumkats sorgt für eine turbulente Strömung. Das Abgas verteilt sich gleichmässig und kommt schneller mit der Wand in Berührung.

**4** Potis Dimopoulos Eggenschwiler entwickelt den Schaumkat.



4

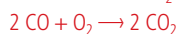
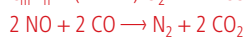
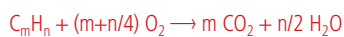
etwa ein Drittel des teuren Edelmetalls für die gleiche Wirkung wie der Monolithkat – und ist erst noch einfach herzustellen.

Durch Experimente mit Material und Struktur des Schaums, durch Strömungssimulationen und Messungen nähert sich das Projekt dem Abschluss. Der Schaumkat hat einen ausgezeichneten Wirkungsgrad, einen minimalen Strömungswiderstand (und verbraucht damit nur geringfügig mehr Treibstoff) und ist mechanisch robuster. Hergestellt wird er vorerst in kleinen Mengen an der Empa. «Wir wollten das Produktionsverfahren und die Zusammensetzung des Washcoat, der katalytisch aktiven Schicht, genau überwachen», so Dimopoulos Eggenschwiler. Doch die Industrie zeigt bereits Interesse: Umicore und Fiat Powertrain Technologies sind am Projekt beteiligt. Ein Auto der Industriellen Werke Basel (IWB) fährt bereits seit eineinhalb Jahren im Langzeitversuch mit einem Schaumkat. Auf dem Gelände der Empa hat es ebenfalls ein Versuchskaninchen, einen Lieferwagen mit Dieselantrieb.

Insbesondere für Dieselfahrzeuge könnte der Schaumkat interessant werden. Mit der kommenden Abgasnorm Euro VI wird der zulässige Stickoxidausstoss von Dieselpkw um mehr als die Hälfte reduziert. Dafür wäre ein zusätzlicher Katalysator für Stickoxide notwendig. Zusammen mit dem Dieselpartikelfilter und dem Oxidationskat würde das Abgasnachbehandlungssystem für Diesel noch grösser, schwerer und teurer. Kleine, leichte und günstige Katalysatoren wären da durchaus willkommen. //

## So funktioniert ein Abgaskatalysator

Die Abgasnachbehandlung bei einem Ottomotor umfasst drei Vorgänge: die Verbrennung von Kohlenwasserstoffresten (nicht oder nur teilweise verbrannter Treibstoff), die Reduktion von giftigen Stickoxiden zu Stickstoff und Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>) und die (gleichzeitige) Oxidation von Kohlenmonoxid (CO) zu CO<sub>2</sub>:



Alle drei Vorgänge laufen in einem Katalysator parallel ab, einem Zylinder mit einem etwas grösseren Durchmesser als das Abgasrohr. Das Innere des Katalysators ist mit einer aktiven Schicht, dem Washcoat, bedeckt, die die Edelmetalle Platin, Rhodium und/oder Palladium enthält. Im Katalysator laufen aber nur dann alle drei Reaktionen ab, wenn die Betriebstemperatur und das Verhältnis von Luft zu Treibstoff im Brennraum des Motors stimmen. Benziner erreichen diese Bedingungen nach einigen Minuten. Ein Dieselmotor wird jedoch unter Luftüberschuss betrieben, sodass das Kohlenmonoxid vollständig oxidiert wird und die Stickoxide entweichen können, wenn kein zusätzlicher Katalysator eingebaut wird.





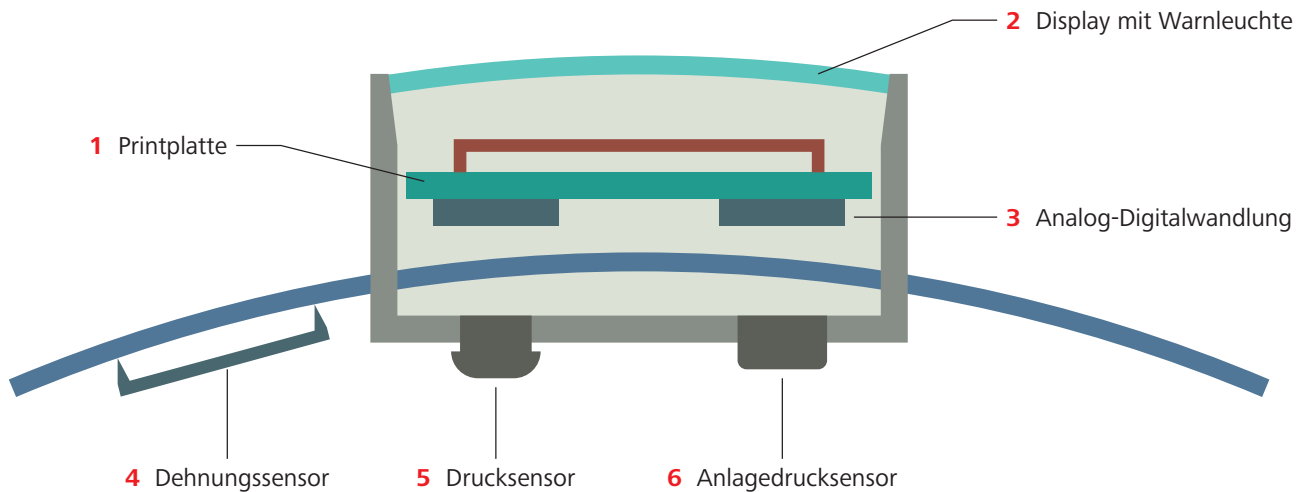
# Blutdruckmessung rund um die Uhr

Die Folgen von Bluthochdruck gehören weltweit zu den häufigsten Todesursachen. Trotzdem misst gemäss Weltgesundheitsorganisation WHO nicht einmal jede(r) zweite Betroffene regelmässig den Blutdruck. Das liegt vor allem daran, dass regelmässige Messungen aufwändig sind. Ein neuartiger Sensor fürs Handgelenk soll das nun ändern.

TEXT: Cornelia Zogg / BILD: iStockphoto / GRAFIK: Empa

**B**lutdruckmessungen und -überwachungen sind für Patienten eine mühselige Angelegenheit. Eine Manschette, die über mehrere Stunden alle 15 Minuten aktiv wird und den Oberarm komprimiert, ein störendes Messgerät am Körper, allenfalls sogar eine invasive Überwachung, bei der ein Katheter in die Arterie eingeführt wird, sind die Regel. Kein Wunder, vermeiden die Betroffenen diese Prozedur wenn irgend möglich.

Ein neuer Sensor, kaum grösser als eine Armbanduhr, soll bald eine angenehmere Methode der Blutdruckmessung bieten. Die Firma STBL Medical Research (STBL) entwickelte ein Gerät, das bequem am Handgelenk getragen wird und den Blutdruck kontinuierlich aufzeichnet – ganz ohne Druckmanschette oder blutigen Eingriff. Gemessen wird, indem an der Hautoberfläche in Handgelenksnähe mit mehreren Sensoren gleichzeitig Anpressdruck, Puls und Blutdurchfluss gemessen wird. Michael Tschudin, einer der Gründer von STBL, sieht grosses Potenzial: «Das Messgerät kann für medizinische Zwecke eingesetzt werden, etwa zur Vorsorge bei Risikopatienten oder zur Behandlung von Bluthochdruck, aber auch als Blutdruck- und Pulsmesser für Freizeitaktivitäten, Sport sowie zur Formstandüberwachung im Spitzensport.»



### 1 Printplatte

Das Herzstück der Blutdruck-Uhr bildet die Printplatte. Auf ihr sind die elektronische Schaltung inklusive Prozessor und Analog-Digital-Wandlung, der Drucksensor und der Anlagedrucksensor angeordnet.

### 2 Display mit Warnleuchte

Auf dem Display wird der regelmässige Blutdruck angezeigt. Die Warnleuchte wird aktiv, sobald der Blutdruck in einen kritischen Bereich fällt oder wenn das Messgerät gefährliche Veränderungen der Druckwellen detektiert, welche auf einen Herz- oder Hirnschlag hinweisen.

### 3 Analog-Digital-Wandlung

Alle Sensordaten werden in Digitalsignale umgewandelt. Damit können alle Messwerte analysiert und allenfalls kompensiert werden, falls der Anlagedrucksensor oder die Dehnung des Armbandes eine Verschiebung der Drucksensoren feststellen.

### 4 Dehnungssensor

Falls sich das Armband dehnt – temperaturbedingt oder wenn der Arm des körperlich aktiven Probanden schwillt –, registriert das der Dehnungssensor. Der so entstandene Fehler kann in der Messung kompensiert werden.

## Risikofaktor Bluthochdruck

Bluthochdruck gehört neben Diabetes, Rauchen und Hypercholesterinämie zu einem der vier grossen Risikofaktoren für Herz-Kreislauf-Erkrankungen, im Speziellen Herzinfarkt oder Schlaganfall. Ebenfalls als Folge von Bluthochdruck kann sich Arteriosklerose sowie eine Schädigung des Herzmuskels entwickeln. Dies kann zu einer diastolischen Herzinsuffizienz oder zu Vorhofflimmern führen. Nicht nur das Herz ist betroffen. Auch die Augen können Schaden nehmen, ebenso die Nieren, was zu eingeschränkter Nierenfunktion führt. Medizinisch kann Bluthochdruck in den meisten Fällen mit einer Änderung des Lebensstils vermindert werden. Gewichtsreduktion, erhöhte körperliche Aktivität, vermehrter Konsum von Obst und Gemüse und weniger salzige Speisen senken den Blutdruck. Grösster Faktor für Bluthochdruck ist das Rauchen. Es fördert nicht nur den Bluthochdruck, es blockiert auch die Wirkung von Medikamenten wie etwa Betablockern, die ebendiesen senken sollten. Einschränkungen beim Alkoholkonsum bewirken ebenfalls eine massive Senkung des Blutdrucks.



### Empa-Sensor erhöht Messgenauigkeit enorm

Die Ingenieure hatten mit der neuen Technologie vor allem ein Hindernis zu meistern: Der Gerätedruck auf die Haut wechselt ständig, weshalb hochsensible Korrekturmessungen notwendig werden. Für dieses Problem suchte die Abteilung «Hochleistungskeramik» der Empa im Rahmen eines KTI-Projekts eine passende Lösung. Ein Sensor aus piezoresistiven Fasern im Armband misst den Anpressdruck des Geräts auf der Haut. Verändert sich die Signalstärke durch Verrutschen oder durch Muskelanspannung, könnte dies zu Fehlmessungen führen. Genau diese Veränderungen registriert der Empa-Sensor, und entsprechend können die Messwerte korrigiert werden. Die Faser ist elektrisch leitend, erkennt eine Verschiebung oder Druckveränderung, wandelt sie in ein elektrisches Signal um und leitet es an das Messgerät weiter. Damit gelingt es, die Messgenauigkeit der Blutdruck-Uhr um mehr als 70 Prozent zu steigern. «Vor vier Jahren haben wir den ersten Prototyp hergestellt», sagt Doktor Frank Clemens von der Empa-Abteilung «Hochleistungskeramik».

### 5 Drucksensor

Die Drucksensoren messen den Blutdruck. Sie verfügen über eine Sensitivität von 0 bis 1,5 bar. Augenblicklich werden piezoresistive Sensoren eine elektrische Spannung aufbauen, sobald sie Druck erkennen.

### 6 Anlagedrucksensor

Der Anlagedrucksensor misst, ob das Gerät noch einwandfrei an der Haut des Trägers aufliegt. Er arbeitet zusammen mit dem Dehnungssensor, welcher angibt, ob die Sensoren auf der Haut verrutscht sind. Verwendet wird der gleiche Sensortyp wie für die Drucksensoren.

mik». Mittlerweile haben entsprechende Tests die Funktionsfähigkeit der Sensoren bestätigt. Die Empa arbeitet nun mit Hochdruck daran, den Piezosensor so in das Gerät zu integrieren, nicht nur, damit es optisch ansprechender wird: Er sollte sich auch einfach und ohne viel Aufwand einbauen lassen. Etwa durch Einkleben, Einlaminiert oder Einweben.

### Nothelfer am Handgelenk

Der Markt für ein solches Gerät ist immens. Kardiovaskuläre Krankheiten gelten als die häufigste Todesursache weltweit. Mehr als eine Milliarde Menschen müssten täglich ihren Blutdruck messen, um mögliche Folgen ihrer Hypertonie zu vermeiden. Jährlich werden aus diesem Grund etwa 60 bis 70 Millionen Messgeräte verkauft, die jedoch keine kontinuierliche Messung erlauben. Eine permanente Messung dagegen könnte zusätzliche Sicherheiten bieten; gerade bei der Möglichkeit eines bevorstehenden Herz- oder Hirninfarkts könnte das System rechtzeitig Alarmsignale geben. Denn einem Herzinfarkt wie einem Hirnschlag geht eine Stosswelle voraus, die das System erfasst und auswertet. Damit wären Notfallmassnahmen möglich, bevor Schlimmeres passiert. Um die Treffsicherheit bei solchen Ereignissen stetig zu verbessern, sind weitere Testserien an Menschen geplant.

Die permanente Messung bietet darüber hinaus weitere Vorteile, wie Professor Thomas Lüscher, Direktor der Klinik für Kardiologie am Universitätsspital Zürich und Mitgründer der STBL, erklärt: «Damit haben wir die Möglichkeit, den Blutdruck im natürlichen Umfeld der Patienten zu erfassen. Der Patient wird in seiner Bewegungsfreiheit nicht eingeschränkt.» Der «Weisskittelhochdruck», also die Nervosität des Patienten beim Arzt, die Messungen verfälschen kann, fällt bei der neuen Methode weg.

### Günstiger, einfacher, komfortabler

Zurzeit laufen klinische Tests. Bereits wurden erste Messungen parallel zu einem Eingriff – mit viel versprechenden Ergebnissen – durchgeführt. Das Produkt soll in vorerst zwei Varianten ausgeliefert werden: ein medizinisches Überwachungsgerät und eine abgespeckte Variante als Freizeitgerät für Sportler oder jedermann. «Der Sensor wird viel günstiger sein als die bisherigen 24-Stunden-Messgeräte, wie sie zurzeit in Spitälern verwendet werden», bestätigt Tschudin. Solche Geräte kosten bis zu 6000 Franken, die Blutdruck-Uhr zehnmal weniger. //



Erste Prototypen der «Blutdruck-Uhr» mit dem Empa-Band aus piezo-resistiven Fasern.

# Empa **News**

auf  
**iPad**  
und  
**Android**

*(Läuft nur auf Tablets, nicht auf Smartphones)*



TOUCH THE SCIENCE



## Veranstaltungen

3. Oktober 2013

**Strom – jetzt wird's spannend!**

Zentralveranstaltung der Tage der Technik

[www.tage-der-technik.ch](http://www.tage-der-technik.ch)

Empa, Dübendorf

16. Oktober 2013

**Intelligente Gebäude im 21. Jahrhundert**

Zielpublikum: am Thema Interessierte

[www.empa.ch/Veranstaltungen](http://www.empa.ch/Veranstaltungen)

Inselspital, Bern

29. Oktober 2013

**Materialanalyse an dünnen Schichten,**

**Oberflächen und Grenzflächen**

[www.empa.ch/Veranstaltungen](http://www.empa.ch/Veranstaltungen)

Empa, Dübendorf

Details und weitere Veranstaltungen unter

[www.empa-akademie.ch](http://www.empa-akademie.ch)

Ihr Zugang zur Empa:



[portal@empa.ch](mailto:portal@empa.ch)

Telefon +41 58 765 44 44

[www.empa.ch/portal](http://www.empa.ch/portal)