

## **FORSCHUNG KOMPAKT**

07 | 2014 ||

### **1 Nano-Superkondensatoren für Elektroautos**

Hierzulande ist das Interesse an Elektroautos mäßig. Dies könnte sich bald ändern: Neuartige Superkondensatoren mit Nanomaterialien sollen den Weg zum Massenmarkt ebnen. Sie können deutlich mehr Energie speichern als derzeit verfügbare Modelle.

### **2 Formel errechnet Dicke von bombensicherem Beton**

Ein neuartiger Stahlbeton schützt Gebäude besser vor Bombenanschlägen. Forscher haben eine Formel ermittelt, die die notwendige Dicke des Betons schnell berechnet. Der Baustoff kommt im One World Trade Center auf dem Ground Zero zum Einsatz.

### **3 Neue Arzneien gegen Asthma und Co.**

Wissenschaft und Industrie arbeiten gemeinsam an künftigen Wirkstoffen zur Behandlung chronisch-entzündlicher Erkrankungen. Die Medikamente sollen fehlgeleitete Immunprozesse bekämpfen.

### **4 Fernsehen und Internet miteinander verknüpft**

Forscher verbinden im Projekt »LinkedTV« das Angebot von Fernsehen und Internet nahtlos miteinander. Der Zuschauer profitiert von einem informativen und personalisierten Fernseherlebnis.

### **5 Schnelle Gebäudeinspektion aus der Luft**

Viele Bauwerke in Deutschland sind sanierungsbedürftig. Gründe hierfür sind oftmals alternde Bausubstanzen und Umwelteinflüsse. Fliegende Prüfroboter könnten Inspektionen künftig beschleunigen, vereinfachen und somit das Sicherheitsrisiko senken.

### **6 Durchblick im Datenwust**

Viele Biolabore kämpfen mit einer Fülle an Messdaten. Eine neuartige Software vereinfacht die Auswertung der Laborexperimente und vereinheitlicht die Speicherung der Daten. Auch Messfehler lassen sich sofort erkennen.

### **7 Telemedizin für chronisch Leberkranke**

Menschen mit kranker Leber könnten durch Telemedizin ihre Lebensqualität verbessern. Doch noch fehlen die geeigneten Systeme für die Betreuung zuhause. Im EU-Projekt »d-LIVER« arbeiten Wissenschaftler daran, dies zu ändern. Jetzt gibt es erste Ergebnisse.

### **8 Kurzmeldungen**

Die Fraunhofer-Gesellschaft ist die führende Organisation für angewandte Forschung in Europa. Unter ihrem Dach arbeiten 67 Institute und Forschungseinrichtungen an Standorten in ganz Deutschland. Mehr als 23 000 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter erzielen das jährliche Forschungsvolumen von 2 Milliarden Euro. Davon fallen rund 1,7 Milliarden Euro auf den Leistungsbereich Vertragsforschung. Über 70 Prozent dieses Leistungsbereichs erwirtschaftet die Fraunhofer-Gesellschaft mit Aufträgen aus der Industrie und mit öffentlich finanzierten Forschungsprojekten. Internationale Kooperationen mit exzellenten Forschungspartnern und innovativen Unternehmen weltweit sorgen für einen direkten Zugang zu den wichtigsten gegenwärtigen und zukünftigen Wissenschafts- und Wirtschaftsräumen.

---

#### **Impressum**

FORSCHUNG KOMPAKT der Fraunhofer-Gesellschaft | Erscheinungsweise: monatlich | ISSN 0948-8375 | Herausgeber und Redaktionsanschrift: Fraunhofer-Gesellschaft | Kommunikation | HansasträÙe 27c | 80686 München | Telefon +49 89 1205-1302 | [presse@zv.fraunhofer.de](mailto:presse@zv.fraunhofer.de) | Redaktion: Beate Koch, Britta Widmann, Tobias Steinhäuser, Janine van Ackeren, Tina Möbius | Abdruck honorarfrei, Belegexemplar erbeten. Alle Pressepublikationen und Newsletter im Internet auf: [www.fraunhofer.de/presse](http://www.fraunhofer.de/presse). FORSCHUNG KOMPAKT erscheint in einer englischen Ausgabe als RESEARCH NEWS.

## Nano-Superkondensatoren für Elektroautos

FORSCHUNG KOMPAKT

07 | 2014 || Thema 1

In Norwegen gehören Elektroautos zum Alltag, dort steht bereits zum zweiten Mal ein Stromer an der Spitze der Pkw-Neuzulassungen. Hierzulande ist der Anteil von Elektrofahrzeugen gering. Von den 43 Millionen Autos fahren nur 8000 mit Strom. Hohe Preise, geringe Reichweiten und fehlende Stromtankstellen halten viele Deutsche vom Kauf ab. Ein weiteres Hindernis auf dem Weg zum Massenmarkt sind die langen Ladezeiten der Batterien, die mit einem üblichen Tankvorgang nicht vergleichbar sind. Superkondensatoren, die mit Batterien gekoppelt sind, könnten den Ladevorgang künftig erheblich verkürzen. Diese alternativen Stromspeicher laden und entladen schnell und unterstützen den sparsamen Umgang mit Energie im Elektroauto. Beim Bremsen wird bisher bei Verbrennungsmotoren Bewegungsenergie in Wärme umgewandelt, die jedoch ungenutzt verpufft. In Stromern dagegen wandeln Generatoren die Bewegungsenergie in elektrische Energie um, die von Superkondensatoren blitzschnell aufgenommen und gespeichert werden kann. Im Gegensatz zu Batterien sind sie in Sekunden geladen und liefern den elektrischen Strom bei Bedarf zurück an Klimaanlage, Radio und Co.

Wichtige Eigenschaften der schnellen Speicher sind Energie- und Leistungsdichte – also Energie, beziehungsweise Leistung pro Masse. Und hier liegt auch die Herausforderung: Superkondensatoren verfügen zwar über eine hohe Leistungsdichte, ihre Energiedichte muss jedoch optimiert werden. Hier sind sie bestehenden Batterietechnologien unterlegen, ihre Energiespeicherkapazität ist geringer. Im EU-Projekt »ElectroGraph« ([www.electrograph.eu](http://www.electrograph.eu)) entwickeln zehn Partner aus Forschung und Industrie neuartige Superkondensatoren mit einer deutlich erhöhten Speicherkapazität. Das Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung IPA in Stuttgart koordinierte das Projekt, das jetzt erfolgreich abgeschlossen wurde. »Beim Speichervorgang wird die elektrische Energie in den Elektroden aufgenommen. Je größer die nutzbare Fläche der Elektroden entwickelt wird, desto mehr Energie kann gespeichert werden«, erläutert Carsten Glanz, Projektleiter und Gruppenleiter am IPA.

### Graphen-Elektroden erhöhen Energieeffizienz deutlich

In zahlreichen Tests untersuchten der Forscher und sein Team das Nanomaterial Graphen. Mit seiner extrem hohen spezifischen, sprich der messbaren inneren Oberfläche von bis zu 2600 m<sup>2</sup>/g und seiner hohen elektrischen Leitfähigkeit bietet es sich als Elektrodenmaterial geradezu an. Dem bislang verwendeten Werkstoff Aktivkohle mit einer spezifischen Oberfläche zwischen 100 und 800 m<sup>2</sup>/g ist es deutlich überlegen. Graphen besteht aus einem ultradünnen, einlagigen Netz von Kohlenstoffatomen. Es vergrößert die Oberfläche der Elektroden erheblich. »Der Raum zwischen den Elektroden ist mit einem flüssigen Elektrolyt gefüllt. Hierbei setzen wir auf ionische Flüssigkeiten. Graphenbasierte Elektroden in Kombination mit ionischen Elektrolyten sind die ideale Materialkombination«, sagt Glanz. Indem die Forscher die Graphen-Schichten so zueinander anordneten, dass zwischen den einzelnen Lagen ein Abstand besteht,

konnten sie ein Herstellungsverfahren etablieren, durch das die theoretisch verfügbare Oberfläche des Nanomaterials auch tatsächlich nutzbar wird. Es verhindert, dass sich die einzelnen Graphen-Schichten verbinden. Denn das hätte zur Folge, dass sich die Speicherfläche verringern würde und damit auch die speicherbare Energiemenge. »Die entwickelten Elektroden besitzen bereits heute eine um 75% höhere Speicherkapazität im Vergleich zu kommerziell verfügbaren Elektroden, die bisher in Superkondensatoren eingesetzt werden«, betont der Ingenieur. »Ich gehe davon aus, dass im Auto der Zukunft eine Batterie mit vielen, räumlich verteilten Kondensatoren gekoppelt sein wird, die etwa die Steuerung von Klimaanlage, Navigationssystem und Spiegeln übernehmen, so dass die Batterie entlastet und Spannungsspitzen beim Anlassen des Autos abgefangen werden können. Die Batterie ließe sich somit auch kleiner bauen.«

Um die neue Technologie präsentieren zu können, hat das Projektkonsortium einen Demonstrator des Energiespeichers entwickelt. Er ist im Autospiegel angebracht und sorgt für die richtige Einstellung desselben. Das energieautarke System wird über eine Solarzelle geladen. Der Demonstrator wurde erstmals Ende Mai auf einem Workshop am IPA vorgestellt.



Die Forscherin zeigt eine am Fraunhofer IPA entwickelte Graphen-Elektrode für den Einsatz in Superkondensatoren. (© Fraunhofer IPA) | Bild in Farbe und Druckqualität: [www.fraunhofer.de/presse](http://www.fraunhofer.de/presse)

## Formel errechnet Dicke von bombensicherem Beton

FORSCHUNG KOMPAKT

07 | 2014 || Thema 2

Bei Erdbeben oder Explosionen entstehen große Kräfte. Spannungen im Bereich von mehreren tausend Megapascal wirken im nahen Abstand zu einer Autobombe, aber auch in weiteren Entfernungen zum Detonationsort können noch mehrere hundert Kilopascal Druckbelastung auftreten. Zum Vergleich: Der Luftdruck in einem Fahrradreifen liegt bei etwa drei bar. Das entspricht etwa 300 Kilopascal. »Bei Detonationen ist für den Menschen im größeren Abstand zum Detonationsort aber weniger die Druckwelle gefährlich. Darauf ist unser Körper eigentlich ganz gut eingestellt. Gefährlicher sind herumfliegende Trümmerteile«, erklärt Dr. Alexander Stolz aus der Abteilung »Sicherheitstechnologie und Baulicher Schutz« am Efringen-Kirchener Standort des Freiburger Fraunhofer-Instituts für Kurzzeitdynamik, Ernst Mach-Institut, EMI. Genau das passiert mit herkömmlichem Stahlbeton, wenn dieser von der Druckwelle einer Explosion erfasst wird: Er ist so spröde, dass einzelne, zum Teil große Stücke herausgerissen werden und unkontrolliert durch die Luft fliegen.

Dr. Stephan Hauser, Geschäftsführer der DUCON Europe GmbH & CoKG, hat einen Beton entwickelt, der unter einer solchen Belastung nicht bricht, sondern sich lediglich verformt. Eine spezielle Mischung aus einem sehr festen Hochleistungsbeton und einem feinmaschigen Bewehrungsgitter aus Stahl macht dies möglich. Das EMI unterstützt Hauser seit mehreren Jahren bei der Optimierung seiner patentierten Innovation. Die Forscher sind insbesondere für die dynamischen Qualifikationstests des Materials bei außergewöhnlichen Lasten zuständig. Dazu gehört unter anderem, dass sie den Werkstoff charakterisieren und die Kennlinien zu dessen Bemessung errechnen. Die Wissenschaftler haben eine mathematische Formel ermittelt, die es für jede individuelle Anforderung erlaubt, die Dicke des neuartigen Betons einfach und schnell zu ermitteln. »Bisher geschah dies aus Vergleichswerten heraus und durch Erfahrungswerte. Jetzt können wir einen allgemeingültigen Algorithmus nutzen«, so Stolz.

Die Formel ist während einer Versuchsreihe mit der neuen Stoßrohranlage am Standort Efringen-Kirchen entstanden. »Wir können hier Explosionen unterschiedlicher Sprengkraft simulieren – von 100 bis 2500 Kilogramm TNT in Abständen von 35 bis 50 Metern vor Gebäuden. Und das, ohne Sprengstoff einsetzen zu müssen«, sagt Stolz. Das Prinzip: Das Stoßrohr besteht aus einem Kompressions- und einem Expansionsteil, getrennt durch eine Stahlmembran. Im Kompressionsteil können die Wissenschaftler die Luft auf bis zu 30 bar komprimieren, den Druck also auf den 30-fachen Luftdruck erhöhen. Ist der Druck eingestellt, wird die Stahlmembran angestoßen: Die Luft weicht schlagartig, läuft durch das Expansionsteil hindurch und trifft als ebene Stoßfront auf das Betonelement, das am Ende des Stoßrohrs befestigt ist. »Bei herkömmlichem Beton riss das Rohr Teile heraus und die Wand versagte nahezu schlagartig. Bei der duktilen, also der dehnbaren Variante hat sich der Beton lediglich verformt. Es gab keine Trümmerteile, der Baustoff blieb in sich geschlossen«, sagt Stolz. Wegen seiner duktilen Eigenschaften ist der Beton wesentlich filigraner und gleichzeitig fester als

herkömmlicher Stahlbeton. Dünnere Bauteile sind möglich. »Als Faustregel gilt: selbe Festigkeit bei halber Dicke«, so Stolz.

### **Formel eignet sich auch für Erdbeben- und Explosionsschutz**

Die neue Berechnungsformel erlaubt das schnelle Design der Elemente aus dem duktilen Beton. Das hohe Tragpotential des Werkstoffs, der über die Jahre gewonnene Erfahrungsschatz über dessen Möglichkeiten und schließlich die Kenntnis über die Belastungsgrenzen des Materials unter Explosionsbelastung ermöglichten den Einsatz des Sicherheitsbetons beim neuen One World Trade Center in New York. Das Gebäude ruht auf einem 20-geschossigen, bombensicheren Fundament, das über 60 Meter tief reicht. Innerhalb des Gebäudes sind an besonders sicherheitskritischen Stellen insgesamt über mehrere tausend Quadratmeter Sicherheitsbeton verbaut. Der Wolkenkratzer ist in den letzten Jahren an der Südspitze Manhattans in die Höhe gewachsen. An dem Ort, wo am 11. September 2001 die Zwillingstürme des World Trade Centers nach einem beispiellosen Terrorakt in sich zusammenfielen und über 3000 Menschen unter sich begruben. Mit 541,30 Metern ist es das höchste Gebäude der USA und das dritthöchste der Welt. »Mit Hilfe unserer Formel kann nun die Dicke des Betons exakt für die Sicherheitsanforderungen eines solchen speziellen Gebäudes errechnet werden«, sagt Stolz.



**Das One World Trade Center am Ground Zero steht kurz vor der Einweihung. Geschützt wird das Gebäude unter anderem von einem Sicherheitsbeton, der von DUCON Europe GmbH & Co KG entwickelt und von Fraunhofer berechenbar gemacht wurde. Somit lässt er sich effizient einsetzen. (© Fraunhofer EMI) | Bild in Farbe und Druckqualität: [www.fraunhofer.de/presse](http://www.fraunhofer.de/presse)**

## Neue Arzneien gegen Asthma und Co.

Weltweit leiden 300 Millionen Menschen an Asthma, weitere 600 Millionen an chronischer Lungenentzündung und bis zu 30 Prozent der Bevölkerung müssen sich mit allergischem Schnupfen herumschlagen. Chronisch entzündliche Erkrankungen befallen außer den Atemwegen weitere Organe, zum Beispiel als Colitis ulcerosa den Darm, als rheumatoide Arthritis die Gelenke, als Sklerodermie die Haut, als Arteriosklerose Herz und Gefäße. All diesen Krankheiten ist eines gemein: Ihre Ursache sind Entzündungs-herde im Körper, deren Ausheilung durch fehlgeleitete Immunprozesse gestört ist.

An diesem Punkt setzt ein neues Produkt der kanadischen Firma Nuvo Research Inc. an. Es ist weltweit in vielen Ländern als Medikament zur lokalen Wundheilung, sowie derzeit in Thailand bereits für die Therapie verschiedener chronischer Erkrankungen zugelassen. Wissenschaftler des Fraunhofer-Instituts für Zelltherapie und Immunologie IZI in Leipzig entwickeln nun gemeinsam mit einer deutschen Tochterfirma des Unternehmens, der Nuvo Research GmbH, und dem Translationszentrum für Regenerative Medizin TRM der Universität Leipzig eine Plattform, um die Wirkungsweise der Substanz besser zu verstehen. Ziel ist es, das Medikament zu optimieren, so dass es bequemer verabreicht werden kann und verträglicher ist. Vor allem aber wollen die Forscherinnen und Forscher abgeleitete Wirkstoffe (Derivate) entwickeln, die ein noch breiteres Spektrum an chronischen Erkrankungen lindern können, und deren Zulassung für den europäischen und kanadischen Markt vorbereiten. Das mit 4,4 Millionen Euro geförderte Kooperationsprojekt wird im Juni 2014 beendet.

### Regenerationsprozess bei chronischen Entzündungen gestört

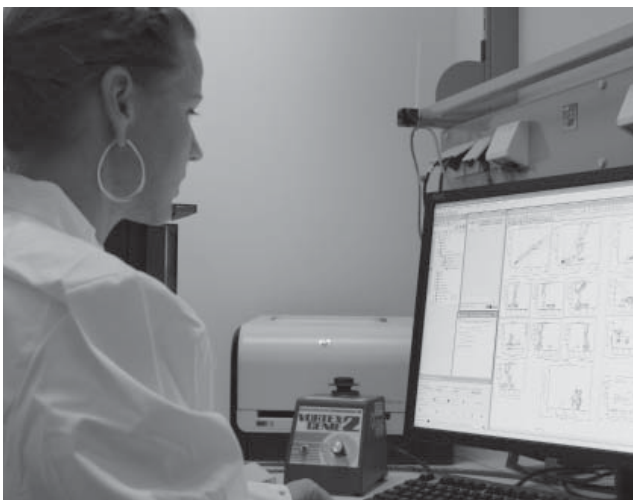
»Entzündungen sind eine Antwort des Körpers auf eine Notlage. Mit dem Beginn einer Infektion wird aber gleich auch deren Abklingen eingeleitet. Damit der Organismus wieder zur Ruhe kommt, reagiert der Körper mit einer zeitweiligen Immunsuppression. Er unterdrückt also sein Abwehrsystem, bis das erkrankte Gewebe zu einer normalen Funktion zurückgefunden hat. Dieser Prozess zur Regeneration ist bei chronischen Entzündungen gestört«, erklärt Professor Jürgen Arnhold von der Medizinischen Fakultät der Universität Leipzig, der zudem am TRM forscht. Verschiedene Komplikationen entstehen, wie Bakterien- und Pilzinfektionen oder Wundheilungsstörungen. Übersteigen diese einen gewissen Schwellenwert, dann schießt das Immunsystem sehr heftig zurück. Dieses Wechselspiel zwischen Unterdrückung und Überschießen des Immunsystems untersuchen die Forscher im Projekt. Offenbar spielt eine Klasse von Enzymen eine Rolle, die von den Immunzellen in einem ganz bestimmten Zeitfenster aktiviert wird. Wenn diese Aktivierung unkontrolliert abläuft, ist die letzte Phase des Entzündungsprozesses gestört und nimmt einen chronischen Verlauf. Hier kommt der von Nuvo entwickelte besonders kleine, niedermolekulare Wirkstoff ins Spiel: »Unsere Studien an isolierten Immunzellen deuten darauf hin, dass sich damit einige der beteiligten Enzyme in ihrer Funktion modulieren lassen«, sagt Arnhold.

.....  
**FORSCHUNG KOMPAKT**

07 | 2014 || Thema 3  
.....

Während beim TRM die Reaktionen ausgewählter Immunzellen auf das kanadische Medikament untersucht werden, interessiert man sich am IZI für dessen Einfluss auf den ganzen Organismus. Denn für eine Zulassung des Medikaments in Europa und Nordamerika fordern die Behörden aufwändige Studien zu dessen Sicherheit, Verträglichkeit und Wirksamkeit. »Wir testen das Medikament an Mäusen, die ähnliche Krankheitssymptome zeigen wie Patienten mit chronisch entzündlichen Erkrankungen«, erklärt Dr. Franziska Lange, Leiterin der Arbeitsgruppe Entzündungsmodelle und Immun Diagnostik am IZI. »In meiner Arbeitsgruppe konzentrieren wir uns auf die drei Krankheitsbilder Asthma, Raucherlunge und Sklerodermie, einer autoimmunen Bindegewebskrankheit. Dazu haben wir 20 unterschiedliche Modellsysteme etabliert, mit deren Hilfe verschiedene Aspekte entzündlicher Erkrankungen simuliert werden können. Damit erfassen wir die Wirkungen und Nebenwirkungen verschiedener Dosierungen des Medikaments an Mäusen. Wir verstehen uns als Serviceeinheit und bieten eine Vielzahl an Möglichkeiten an, wie man Arzneimittelkandidaten präklinisch testen kann«, führt die Forscherin aus. Drei weitere IZI-Arbeitsgruppen testen, ob die Wirkstoffe bei Mäusen, die einen Schlaganfall erlitten haben oder an chronisch-entzündlichen Darmerkrankungen leiden, zur Besserung der Symptome führen. Auch, ob sich das Medikament für die Behandlung von Brustkrebs eignet, untersuchen die Wissenschaftler.

Die drei Kooperationspartner haben bereits zwei Studien durchgeführt, in denen die Wirksamkeit und Sicherheit des Basiswirkstoffs bestätigt werden konnten. Derzeit streben sie ein weiteres Projekt an, mit dem Ziel, die Applikation des Medikaments zu verbessern. In Thailand wird es derzeit als Infusion verabreicht. Dort müssen die Patienten an fünf aufeinander folgenden Tagen für mehrere Stunden in die Klinik gehen. Das Trio arbeitet daran, den Wirkstoff so aufzubereiten, dass er auch vom Hausarzt gespritzt werden kann.



**Um Wirkungen und Nebenwirkungen der neuen Arzneien zu erfassen, analysiert die Forscherin die Immunzellen. (© Fraunhofer IZI) | Bild in Farbe und Druckqualität: [www.fraunhofer.de/presse](http://www.fraunhofer.de/presse)**



## Fernsehen und Internet miteinander verknüpft

FORSCHUNG KOMPAKT

07 | 2014 || Thema 4

Die Diskussion in der Talkrunde wird immer hitziger – doch was genau steht eigentlich in dem neuen Gesetzentwurf, über den die Experten im Fernsehen gerade so heftig streiten? Solche spontanen Fragen, die während einer Sendung auftauchen, lassen sich bislang nur durch eigene Recherchen im Internet klären.

Wenn es nach Forschern des Fraunhofer-Instituts für Intelligente Analyse- und Informationssysteme IAIS in Sankt Augustin geht, sollen Zuschauer zukünftig nicht mehr lange nach passenden Zusatzinformationen suchen müssen. Im Projekt »LinkedTV« arbeitet das Institut mit elf Partnern aus sieben Ländern an einem neuen Fernsehkonzept. »Wir wollen Fernsehen und Internet nahtlos verbinden, so dass die Zuschauer direkt während der Sendung auf Hintergrundinformationen zum aktuellen Programm zugreifen können, ohne selbst aufwändig danach suchen zu müssen«, erklärt Projektleiterin Heike Horstmann. Zwar gibt es bei manchen Sendern schon Ansätze zu solch einer Vernetzung von TV und Web – allerdings ist damit ein relativ hoher personeller Aufwand verbunden: Die Redaktionsmitarbeiter müssen das Internet oder das Senderarchiv nach geeignetem Material durchforsten und die Verknüpfungen zur Sendung manuell vornehmen.

### Software beschleunigt Recherche der Redakteure

Die Projektpartner haben eine intelligente Software entwickelt, welche die mühsame Recherche künftig deutlich vereinfachen soll. Das Programm scannt den Inhalt einer Sendung vor deren Ausstrahlung mittels Sprachanalyse und Bildverarbeitung nach themenverwandten Inhalten aus dem Web. Da die Software ungefiltert eine sehr große Anzahl an Treffern und semantischen Verknüpfungen liefert, haben die Forscher Methoden entwickelt, um die Ergebnisse nach bestimmten Kriterien eingrenzen zu können. »Es werden dann beispielsweise nur Inhalte angezeigt, die mit dem Jugendschutz in Einklang stehen und deren Verwendung urheberrechtlich unproblematisch ist«, erläutert Horstmann. Den letzten Feinschliff übernimmt die Redaktion: Sie überprüft die vorgeschlagenen Inhalte auf ihre Relevanz und streicht eventuelle Dopplungen aus der Trefferliste.

Parallel zur Ausstrahlung findet der Zuschauer dann zu jedem Beitrag einer Sendung nach Themen sortierte Zusatzinformationen. Auf Wunsch kann er Filterkriterien festlegen, welche Inhalte ihm angezeigt werden sollen – also etwa Themen definieren, die ihn besonders interessieren oder Treffer zu bestimmten Inhalten ausblenden. Darüber hinaus ist die Software auch lernfähig und passt das Informationsangebot dem Nutzerverhalten an. »Greift der Zuschauer beispielsweise immer wieder auf den Wetterbericht oder Informationen zu einem bestimmten Thema zu, werden ihm diese Inhalte priorisiert angezeigt«, so Horstmann. Der Zuschauer kann Sendung und Zusatzcontent sowohl direkt auf dem Bildschirm eines internetfähigen Fernsehers ansehen oder auf

einem anderen Endgerät mit Web-Zugang wie Tablet oder Laptop. Für die optimale Nutzung eignet sich die Verwendung von zwei Bildschirmen parallel und miteinander synchronisiert. In der Regel läuft dann die Sendung auf dem Fernseher, während die weiterführenden Inhalte auf dem zweiten Endgerät – dem »second screen« – angezeigt werden. »Über den second screen steuert der Nutzer beide Geräte. Er kann dann beispielsweise die Sendung auf dem Fernseher unterbrechen, um sich auf dem Tablet über ein bestimmtes Detail zu informieren«, erklärt Horstmann.

Um einen praktischen Eindruck zu vermitteln, wie das verlinkte Fernsehen aussehen könnte, haben die IAIS-Forscher gemeinsam mit den Projektpartnern zwei reale Formate – eine Nachrichtensendung des Rundfunk Berlin-Brandenburgs und eine Doku-Serie des niederländischen Senders AVRO – mit virtuellen Zusatzinhalten angereichert. Die Ergebnisse werden dieses Jahr auf mehreren Fachveranstaltungen vorgestellt – unter anderem auf der IBC 2014 in Amsterdam.



**Beim Fernsehen über mobile Geräte auf passende Webinhalte zugreifen: Forscher arbeiten daran, beide Welten so zu verbinden, dass der Verbraucher die neuen Möglichkeiten einfach und komfortabel nutzen kann. (© Fraunhofer IAIS) | Bild in Farbe und Druckqualität: [www.fraunhofer.de/presse](http://www.fraunhofer.de/presse)**

## Schnelle Gebäudeinspektion aus der Luft

FORSCHUNG KOMPAKT

07 | 2014 || Thema 5

Leise surrend schwebt der Flugroboter an dem Hochhaus empor. Langsam schraubt sich der mit acht Rotoren ausgerüstete Miniflieger nach oben, bis zum 11. Stock. Dort soll er die Fassade auf Schäden wie Risse, defekte Fugen, abgeplatzten und bröckelnden Beton untersuchen. Im Abstand von zwei Metern zum Gebäude scannt der Oktokopter das Mauerwerk ab. Mit an Bord ist eine hochauflösende Digitalkamera, die detailgenaue Aufnahmen macht – jedes Gebäudeteil wird erfasst. Zudem ist der Materialprüfer mit Sensoren bestückt, die Windböen ausgleichen, für stabile Fluglagen sorgen und Kollisionen mit dem Bauwerk verhindern. Während sich der ferngesteuerte Roboter meterweise vorarbeitet, wird er aufmerksam von Christian Eschmann beobachtet. Er ist Forscher am Fraunhofer-Institut für Zerstörungsfreie Prüfverfahren IZFP in Saarbrücken, der Mikrofluggeräte für Bauwerksinspektionen entwickelt und adaptiert.

Gebäude, Industrieanlagen und Brücken müssen hohe Lasten tragen, sie sind Wind und Wetter ausgesetzt. Viele Bauwerke in Deutschland wurden in den Nachkriegsjahren errichtet und weisen mittlerweile Alterungsschäden auf. »Um ihren Zustand zu kontrollieren und Gefährdungen für Menschen auszuschließen, muss derzeit bei schwer zugänglichen Bauwerken noch ein großer Aufwand betrieben werden«, sagt Eschmann. Bislang inspizieren Prüferingenieure den Beton bei den vorgeschriebenen Prüfungen mit dem bloßen Auge, eventuelle Risse tragen sie manuell in 2D-Karten ein – eine fehlerträchtige Vorgehensweise. Hinzu kommt, dass sich schwer zugängliche oder einsehbare Stellen oftmals nur mit Helikoptern, Kränen, Steigerfahrzeugen, Industriekletterern und Gerüsten erreichen lassen.

### 3D-Modellbilder geben Aufschluss über Zustand der Bausubstanz

Im Vergleich zu vielen konventionellen Verfahren ist die Inspektion mithilfe eines Flugroboters günstig und kann in zeitlich kürzeren Intervallen erfolgen. Zudem lässt sich die Inspektionsdauer deutlich verkürzen, meist ohne dass es zu Einschränkungen bei der Nutzung der Bauwerke kommt. »Für eine 20 mal 80 Meter große Fassade benötigt ein Prüferingenieur etwa zwei bis drei Tage. Unser Oktokopter braucht dafür drei bis vier Stunden«, sagt der Forscher. Risse und andere Mängel können nun hochauflösend digital fotografiert werden. Schnelle Rückschlüsse auf den Zustand der Bausubstanz sind so möglich. Falls erforderlich lässt sich der Oktokopter zusätzlich mit einer Thermographiekamera ausstatten, um beispielsweise die Isolierung von Gebäuden zu prüfen.

Die Bilderausbeute ist hoch: Bereits nach einem 15-minütigen Flug fallen bis zu 1200 Fotos an. Am Computer werden die Einzelaufnahmen zu einem Gesamtbild zusammengesetzt, die entstehenden 2D- und 3D-Datenmodelle stellen den visuell abbildbaren Zustand der Bausubstanz dar. Nicht benötigte, überschüssige Aufnahmen soll eine Software künftig automatisiert löschen. Geplant ist zukünftig eine komplette Software-Suite inklusive Schadenserkennung, Bildverarbeitung, Datenbank und Dokumentation

sowie die Automatisierung aller Vorgänge – dies umfasst unter anderem das Zusammenfügen der Einzelbilder und das Ermitteln der Rissmuster.

Zu seiner ersten Inspektion ging der Oktokopter bereits 2011 in die Luft. Seither hat er zahlreiche Test-Messflüge absolviert. Bislang muss er noch manuell gesteuert werden. Eschmann und seine Kollegen arbeiten aktuell an Navigationssensoren, die künftig den Flugroboter steuern. Nach einem vorgegebenen Muster sollen sie den Oktokopter an Fassaden entlang lotsen – Etage für Etage, von einer Seite zur anderen. »Das ist ein bisschen wie Fliegen auf Schienen«, sagt der Ingenieur. Dieser Automatisierungsprozess werde aber sicherlich noch ein Jahr Entwicklungsarbeit beanspruchen, so der Forscher. Umstehende und Passanten seien durch den Einsatz des Flugroboters nicht gefährdet. Das Gerät ist mit acht Elektromotoren ausgerüstet. Sollte einer ausfallen, kann es jederzeit sicher heruntergeholt werden.

»Sachverständige und eine handnahe Prüfung können durch unser Mikroflugzeug nicht ersetzt werden. Der Oktokopter beschleunigt aber das Prüfverfahren und ermöglicht ein permanentes Monitoring und eine Dokumentation von Anfang an. Ausführungsmängel und Gewährleistungsansprüche lassen sich frühzeitig erkennen, erforderliche Maßnahmen zur Instandsetzung rechtzeitig einleiten. Das heißt mehr Sicherheit für Gebäude und Menschen«, resümiert Eschmann.



Der Hightech-Miniflieger scannt Bauwerke in wenigen Stunden ab. (© Uwe Bellhäuser) | Bild in Farbe und Druckqualität: [www.fraunhofer.de/presse](http://www.fraunhofer.de/presse)

## Durchblick im Datenwust

Bei Laboruntersuchungen fallen zahlreiche Messergebnisse an. Diese umfangreichen Daten vollständig und systematisch zu archivieren, ist äußerst aufwändig. Ein Viertel ihrer Zeit verwenden beispielsweise Forscher in den Lebenswissenschaften für das Verwalten von Daten. Das belegt eine Online-Umfrage des Fraunhofer-Instituts für Angewandte Informationstechnik FIT in Sankt Augustin unter 70 Personen in biologischen Laboren. Viele der Befragten berichten, dass es bei ihnen keine zentrale und strukturierte Datenerfassung gebe. Der größte Datenkiller ist, wenn ein Doktorand oder Assistent mit jahrelanger Erfahrung das Institut verlässt. Wollen die Nachfolger ältere Messergebnisse nachvollziehen, beginnt nicht selten die Suche in kryptischen Excel-Tabellen und Papierlisten.

Das FIT hat daraus Konsequenzen gezogen: Der »MPlexAnalyzer«, eine Software mit Schritt-für-Schritt-Bedienung, erleichtert das Datenmanagement erheblich. Zunächst konzentrierten sich die Experten auf Geräte zur Zellvermessung, die eine simultane Bestimmung einer Vielzahl von Proteinen in einem Versuchsansatz ermöglichen. Solche Ansätze, auch zytometrische Multiplex-Assays genannt, gehören zu den Standardmethoden in jedem Biolabor. Da solche Assays sehr komplex sind und große Datenmengen erzeugen, läuft die Datenerfassung ohne Software-Unterstützung für das Personal leicht aus dem Ruder. Die FIT-Software leitet den Nutzer mit einem Assistenten, dem Wizard, durch den Messprozess. Von der Auswahl der Messplatten über die Wahl der Proben und die Belegung der Platten mit Normproben bis zum Ausdruck eines übersichtlichen Berichts als PDF-Datei sind die Abläufe transparent und für Neulinge schnell zu verstehen.

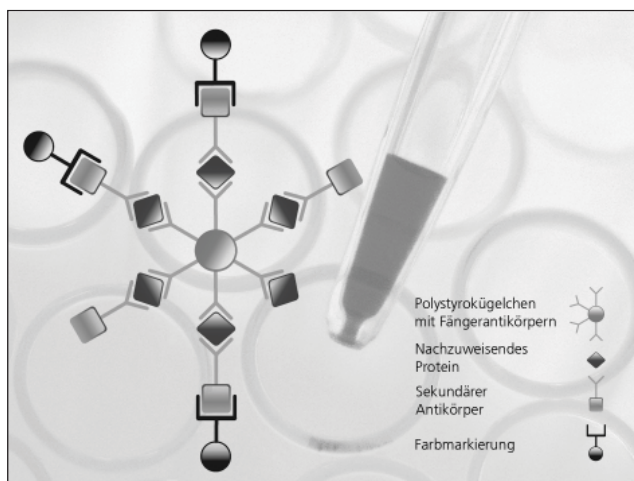
### Kügelchen werden mit Antikörpern beschichtet

Ein zytometrisches Multiplex-Assay arbeitet mit Polystyrolkügelchen, die nur sechs Mikrometer messen. Sie sind mit einer Farbstoffmischung beladen, die zwei Laserstrahlen zum Leuchten anregen. Das Leuchtmuster ist wie ein Fingerabdruck: Bis zu hundert verschiedene Sorten von Kügelchen lassen sich so unterscheiden. Bei der Messung fließen die Kügelchen (beads) wie auf einer Perlenkette aufgereiht durch eine dünne Glaskanüle. Kameras messen die Farbmuster und zählen sortenrein. Interessant wird das für die Biologen, weil die Kügelchen noch eine zweite Fracht tragen: An ihren Oberflächen befindet sich ein farblich markierter Antikörper, den einer der beiden Laser anregt. Dieser Farbstoff emittiert Licht einer anderen Wellenlänge – allerdings nur wenn an den Antikörper bestimmte Substanzen angedockt haben – das können zum Beispiel Blutbestandteile, Ausscheidungen von Zellen oder Signalproteine von Krebszellen sein. Ein Multiplex-Assay untersucht bis zu 100 dieser Substanzen gleichzeitig.

Am Ende ergibt sich ein großer Datensatz. Darin steht die Zahl der registrierten Kügelchen zusammen mit der zu bestimmenden Substanz. Die Messung ist hochautomati-

siert. Im Minutentakt werden bis zu 96 unterschiedliche Proben getestet, die sich in kleinen Töpfchen in einer Glasplatte befinden. Dabei ist ein Teil von ihnen mit Proben belegt, ein anderer Teil mit Vergleichssubstanzen, die zur Eichung der Messwerte dienen. Die Dokumentation darüber, welche Probe sich wo befindet und welche Messergebnisse jeweils anfallen, erforderte bisher aufwändige Handarbeit. »Unser Software-Wizard vereinfacht das: Mit wenigen Mausklicks lassen sich am Bildschirm Töpfchen markieren, die Vergleichsproben enthalten oder solche, die leer sind. Leuchtet das entsprechende Feld rot, stimmen Vorgabe und Messung nicht überein – der Laborant sieht sofort, wenn er einen Fehler gemacht hat oder wenn die Qualität der Messung nicht ausreicht, um eine statistisch verlässliche Aussage zu treffen«, erläutert Dr. Andreas Pippow, wissenschaftlicher Mitarbeiter am FIT.

Für das FIT ist die Software der Einstieg in das Datenmanagement biologischer Labors. Die Idee soll nun auf andere Anwendungen übertragen werden, etwa auf Mikroskope. Im biologischen Labor in Sankt Augustin baut die Abteilung »Life Science Informatik« des Fraunhofer FIT Spezialmikroskope für große Proben, die unter dem Objektiv automatisch hin- und hergefahren und abgescannt werden. Geplant ist eine Datenbank für alle Messungen, die in Laboren anfallen. Das können Daten von Multiplex-Assays, Mikroskopen oder weiteren Messgeräten sein. Der Charme des gemeinsamen Datenmanagements liegt in der Verknüpfung. Wenn zum Beispiel Körperzellen in Folge einer Krankheit bestimmte Botenstoffe aussenden, hat das oft auch Folgen für die Struktur des Gewebes. Das lässt sich nur erkennen, wenn man die Bestimmung der Signalstoffe aus dem Multiplex-Assay und die Mikroskopbilder in der Software abgleicht.



**Viele Proben müssen zugeordnet werden. Typisches Design eines Multiplex-Immunoassays für die Zellvermessung.**  
(© Fraunhofer FIT) | Bild in Farbe und Druckqualität:  
[www.fraunhofer.de/presse](http://www.fraunhofer.de/presse)

## Telemedizin für chronisch Leberkranke

FORSCHUNG KOMPAKT

07 | 2014 || Thema 7

Die Leber ist eines unserer wichtigsten Organe. Sie ist dafür zuständig, dass wir unsere Nahrung richtig verwerten – Synthesefunktion – und dass giftige Stoffe aus unserem Organismus gelangen – Entgiftungsfunktion. Zu viel Alkohol, Stress, Bewegungsmangel und falsche Ernährung greifen die Leber an. Die Folgen sind kranke Zellen, die zu Entzündungen, Krebsgeschwüren, Fettablagerungen, Zirrhosen oder zum lebensbedrohenden Leberversagen führen können. Laut der Deutschen Leberstiftung haben über fünf Millionen Menschen in Deutschland eine kranke Leber. Oft sind die Krankheitsverläufe chronisch. Die Patienten leiden beispielsweise unter Gedächtnisstörungen (Enzephalopathie), Bauchwassersucht (Aszites) oder juckenden Ablagerungen in der Haut.

Medizinische Systeme, die die Leber in ihren Funktionen unterstützen, können Wartezeiten bis zur Lebertransplantation überbrücken, die Regeneration der Leber nach operativen Eingriffen beschleunigen oder Transplantationen überflüssig machen. Sie können neben der Entgiftungs- auch die Synthesefunktion übernehmen. Bislang gibt es jedoch keine zellbasierten Systeme, die medizinisch zugelassen sind. Gleichzeitig fehlen telemedizinische Plattformen, die es erlauben, Patienten mit chronischen Lebererkrankungen auch außerhalb des Krankenhauses zu beobachten und zu behandeln. »Das würde die Qualität der medizinischen Betreuung und die Lebensqualität der Patienten deutlich verbessern«, sagt Stephan Kiefer, Informatiker am Fraunhofer-Institut für Biomedizinische Technik IBMT in St. Ingbert bei Saarbrücken.

Im EU-Projekt »d-LIVER« entwickelt das IBMT zusammen mit europäischen Partnern ein IT- und zellbasiertes System, mit dessen Hilfe Menschen mit chronischem Leberversagen in den eigenen vier Wänden medizinisch unterstützt werden können ([www.d-liver.eu](http://www.d-liver.eu)). Die Technologen sind dabei für die Programmierung der IT-Plattform und die Entwicklung der Sensorik verantwortlich, mit der der Zustand der Leberzellen im zellbasierten System gemessen wird. Am weitesten fortgeschritten sind am IBMT aktuell die Arbeiten am Patientenmanagementsystem. Die Wissenschaftler vereinen hier zum ersten Mal klassische Komponenten der Telemedizin, wie Vor-Ort-Überwachung und Telemonitoring für Ärzte, mit einem System, das bei Entscheidungen unterstützt, der »Care Flow Engine«. Kiefer erklärt, was sich genau dahinter verbirgt: »Wir haben es geschafft, dass von Ärzten entworfene Behandlungspläne von unserer IT-Technologie so benutzerfreundlich und automatisiert umgesetzt werden, dass chronisch Leberkranke längerfristig adäquat zu Hause behandelt werden können.«

Dazu haben die Wissenschaftler die IT-Applikation »Personal Health Manager« entwickelt. Patienten können sie bequem als App auf ihrem Tablet abrufen. Sie führt alle Daten von Geräten, die Blutdruck, Herzfrequenz, Gewicht, Temperatur und Leberwerte messen, sowie die Behandlungspläne aus der »Care Flow Engine« zusammen. »Es geht insbesondere darum, typische Komplikationen, die bei Lebererkrankungen entstehen, optimal zu behandeln«, sagt Kiefer. Das geschieht durch Tests, Fragen, Aufgaben oder

Handlungsanweisungen. Zum Beispiel wird der Patient regelmäßig aufgefordert, sein Gewicht und seine Leberwerte zu messen und Gedächtnisaufgaben zu lösen. Das lässt Rückschlüsse zu, wie stark er etwa an Enzephalopathie und Aszites leidet. Das System bewertet die Ergebnisse automatisch, schlägt Anpassungen von Medikamentendosen vor und gibt Handlungsempfehlungen, die dann von Arzt und Patient gemeinsam diskutiert werden. »Die Technologie ist zwar aktuell für Lebererkrankungen angepasst, im Prinzip aber für die telemedizinische Behandlung jeder chronischen Krankheit geeignet. Das bestehende System daraufhin anzupassen, ist unser mittelfristiges Ziel«, sagt Kiefer. Ein erster Prototyp der IT-Plattform wurde im letzten Jahr von Medizinern positiv getestet. Aktuell wird eine Studie in Großbritannien mit 20 Leberpatienten vorbereitet.

### Sensoren messen Vitalität der Zellen

Die Messsensorik für die Leberzellen hat am IBMT der Physiker Dr. Thomas Velten entwickelt: »Unsere Sensoren messen kontinuierlich die Vitalität der Zellen im Bioreaktor. Und das direkt an den Zellen. Das ist eine wichtige Ergänzung zu den konventionellen biochemischen Analysen«. Durch die eingebauten Sensoren muss nicht für jede Messung in den Bioreaktor eingegriffen werden. Die Gefahr der Kontamination der Zellen bei der Behandlung ist dadurch gebannt. Dabei kommt die Impedanzspektroskopie zum Einsatz. Impedanz ist der Fachbegriff für den Stromwiderstand bei Wechselstrom. Geht es den Zellen schlechter, so ändert sich deren Impedanzspektrum. Bisher konnte der Effekt in kleineren Laborreaktoren nachgewiesen werden. Ende des Jahres wollen die Forscher das in größeren Bioreaktoren wiederholen, die vom Volumen her eine menschliche Leber ersetzen können. »Die Online-Messung der Zellvitalität ist ein wichtiges Puzzleteil des IT-basierten Systems zur Unterstützung der Leber«, schließt Velten.



Bei der Telemedizin kommunizieren Arzt und Patient über eine IT-Plattform miteinander. Forscher arbeiten daran, dass von den Vorteilen bald auch Leberkranke profitieren können. (© Fraunhofer IBMT) | Bild in Farbe und Druckqualität: [www.fraunhofer.de/presse](http://www.fraunhofer.de/presse)



## Steuerung aus der Wolke

Das Auto hat sich in den vergangenen Jahren zu einem fahrenden Computer entwickelt: Software steuert heute sämtliche Komponenten eines Fahrzeugs – von der Klimaanlage über die Kommunikations- und Unterhaltungselektronik bis hin zu Fahrerassistenzsystemen. Zukünftig sollen die Fahrzeuge selbst miteinander kommunizieren und dadurch zum Beispiel helfen, Unfälle zu vermeiden. Ein neuer Ansatz ist die Vernetzung von Fahrzeugen über das Internet in einer Cloud.

Forscher des Fraunhofer-Instituts für Experimentelles Software Engineering IESE in Kaiserslautern untersuchen derzeit in Kooperation mit einem Automobilzulieferer in einer Machbarkeitsstudie, wie sich Cloud-Lösungen einsetzen lassen, um die vorhandene Funktionalität der Automobilelektronik zu erweitern und zu ergänzen. Die Kaiserslauterer Forscher entwickeln dazu eine geeignete Softwarearchitektur und testen diese in konkreten Anwendungsszenarien an einem Modellfahrzeug. Entscheidend ist, dass das Zusammenspiel zwischen Fahrzeug und externem Server reibungslos funktioniert und dass Steuerungsbefehle zuverlässig und schnell an das Fahrzeug übertragen werden. Der größte Vorteil solcher cloud-basierten IT-Services ist ihre flexible Einsatzmöglichkeit. So können Fahrzeugfunktionen vom Kunden bedarfsabhängig für einen festgesetzten Zeitraum genutzt werden – beispielsweise ein Tempomat für die lange Autofahrt in den Sommerurlaub. Auch für die Hersteller ergeben sich Vorteile: Im Fall von Rückrufaktionen etwa könnten betroffene Fahrzeughalter schneller und zuverlässiger informiert werden.

### **Fraunhofer-Institut für Experimentelles Software Engineering IESE**

Fraunhofer-Platz 1 | 67663 Kaiserslautern | [www.iese.fraunhofer.de](http://www.iese.fraunhofer.de)

**Kontakt:** Dr. Jens Knodel | Telefon +49 631 6800-2168 | [jens.knodel@iese.fraunhofer.de](mailto:jens.knodel@iese.fraunhofer.de)

**Presse:** Nicole Spanier-Baro | Telefon +49 631 6800-1002 | [nicole.spanier-baro@iese.fraunhofer.de](mailto:nicole.spanier-baro@iese.fraunhofer.de)

## Produktionen auf einen Blick erfassen

In großen Produktionshallen rattern viele Maschinen gleichzeitig – da fällt es schwer, den Überblick zu behalten. Welche Aufträge laufen an welchen Geräten? Wo hat es Ausfälle gegeben? Bisher müssen sich Fabrikbetreiber solche Daten mühsam per Hand zusammensuchen, da sie meist in verschiedenen Systemen erfasst sind. Auch die Anschaulichkeit lässt zu wünschen übrig, die Daten werden üblicherweise als Tabelle oder Balkendiagramm dargestellt.

Künftig reicht ein einziger Blick, um den Stand der Dinge zu erfassen – und zwar für die komplette Produktionshalle. Basis dafür ist das System »Plant@Hand3D«. Es extrahiert automatisch alle relevanten Informationen, bündelt sie und zeigt sie auf einem

.....  
**FORSCHUNG KOMPAKT**

07 | 2014 || Kurzmeldungen  
.....

Multitouch-Tisch an. Der Anwender sieht darauf eine dreidimensionale virtuelle Darstellung der gesamten Fabrikhalle mit sämtlichen Maschinen. Hier kann er beispielsweise erkennen, welche Aufträge an den verschiedenen Anlagen momentan bearbeitet werden. Auch genauere Kontrollen sind möglich: Möchte der Nutzer sich nur die Daten einer einzelnen Maschine ansehen, kann er in das Bild hineinzoomen. Zusätzliche Monitore zeigen die ausgewählten Werte auf anschauliche Weise an. Das neuartige System haben Forscher am Fraunhofer-Institut für Graphische Datenverarbeitung IGD in Rostock entwickelt, der Prototyp ist bereits fertiggestellt.

**Fraunhofer-Institut für Graphische Datenverarbeitung IGD**

Joachim-Jungius-Straße 11 | 18059 Rostock | [www.igd.fraunhofer.de](http://www.igd.fraunhofer.de)

**Kontakt:** Dr.-Ing. Jörg Voskamp | Telefon +49 381 4024-120 | [joerg.voskamp@igd-r.fraunhofer.de](mailto:joerg.voskamp@igd-r.fraunhofer.de)

**Presse:** Dr. Konrad Baier | Telefon +49 6151 155-146 | [konrad.baier@igd.fraunhofer.de](mailto:konrad.baier@igd.fraunhofer.de)

## Fahrgastwechsel ohne Zeitverlust

Die Situation kennt fast jeder: Im morgendlichen Berufsverkehr bilden sich vor den U-Bahn-Türen Menschentrauben, durch die sich Passagiere, die aussteigen wollen, mühsam ihren Weg bahnen. Nicht selten führt das Gedränge am Bahnsteig und im Zug zu Verspätungen.

Forscher des Fraunhofer-Instituts für Verkehrs- und Infrastruktursysteme IVI in Dresden haben jetzt eine Simulationssoftware zum Thema Fahrgastwechsel entwickelt. Damit lässt sich untersuchen, wie verschiedene Faktoren die Ein- und Ausstiegsdauer beeinflussen. Um individuelle Fahrgastbewegungen möglichst realitätsnah abbilden zu können, setzen die Forscher ein agentenbasiertes Modell ein. Jedem Agenten – das ist im virtuellen Modell der Fahrgast – wird ein individuelles Bewegungsverhalten zugeordnet. Auch die Rahmenbedingungen – etwa die Breite der Türen, die Anordnung der Sitzplätze und die Anzahl der Fahrgäste – können für jeden Durchlauf vorgegeben werden. Durch die große Variabilität der Simulationsparameter lassen sich unterschiedlichste Szenarien durchspielen. Anhand ihrer Berechnungen konnten die Wissenschaftler abhängig von der Größe des Busses eine kritische Passagierzahl ausmachen, ab der die Zeit für den Fahrgastwechsel überproportional ansteigt. Um diese »Engpässe« zu entzerren, kann es sinnvoll sein, den Fahrzeuginnenraum anders zu gestalten. Hier erweist sich das Simulationstool als wichtiges Entwicklungswerkzeug, um potenzielle Modifikationen hinsichtlich ihrer Praxistauglichkeit zu bewerten.

**Fraunhofer-Institut für Verkehr- und Infrastruktursysteme IVI**

Zeunerstraße 38 | 01069 Dresden | [www.ivi.fraunhofer.de](http://www.ivi.fraunhofer.de)

**Kontakt:** Dr. Ulrich Potthoff | Telefon +49 351 4640-638 | [ulrich.potthoff@ivi.fraunhofer.de](mailto:ulrich.potthoff@ivi.fraunhofer.de)

**Presse:** Elke Sähn | Telefon +49 351 4640-612 | [elke.saehn@ivi.fraunhofer.de](mailto:elke.saehn@ivi.fraunhofer.de)

---