

# hoch<sup>3</sup>FORSCHEN

Das Medium für Wissenschaft

Winter 2017



TECHNISCHE  
UNIVERSITÄT  
DARMSTADT

## Impressum

### Herausgeber

Der Präsident  
der TU Darmstadt

### Redaktion Stabsstelle

Kommunikation und Medien  
der TU Darmstadt:  
Jörg Feuck (Leitung, Vi.S.d.P.)  
Ulrike Albrecht (Grafik Design)  
Patrick Bal (Bildredaktion)

### Gestalterische Konzeption

conclouso GmbH & Co. KG, Mainz

### Titelbild Katrin Binner

Druck Druckerei Petzold,  
Gernsheim  
gedruckt auf 100 g/m<sup>2</sup>  
PlanoScript, FSC-zertifiziert

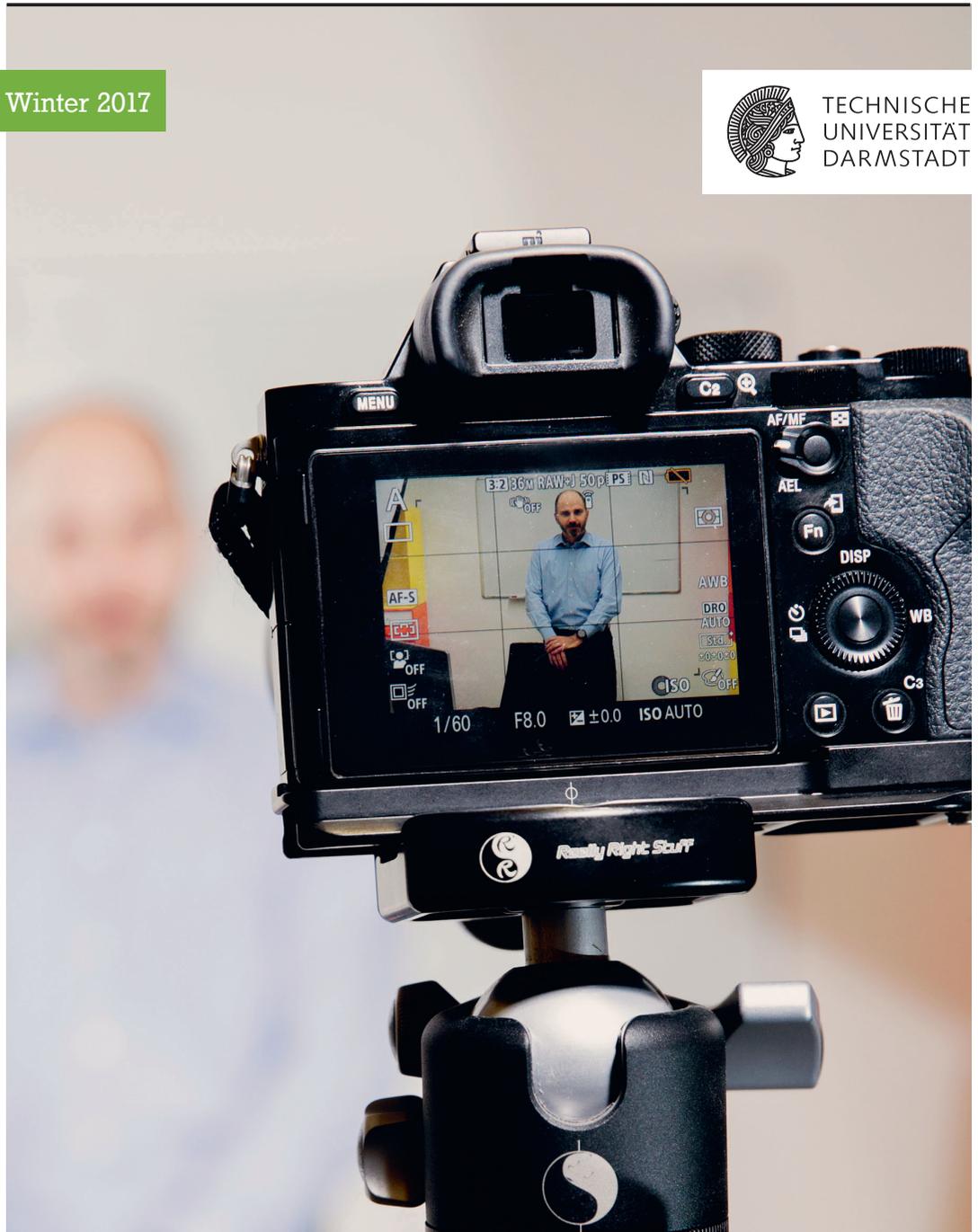
### Auflage 6.000

Nächste Ausgabe  
15. März 2018

### Leserservice

presse@pvw.tu-darmstadt.de

ISSN 2196-1506



Möchten Sie die nächste Ausgabe der hoch<sup>3</sup>FORSCHEN gerne in digitaler Form erhalten? Dann senden Sie bitte eine E-Mail an [presse@tu-darmstadt.de](mailto:presse@tu-darmstadt.de)

— **1 Cybersicherheit:** Gut organisiert gegen Hacker-Attacken — **2 Massivbau:** Ökonomische und klimapolitische Perspektiven — **3 Informatik:** Mit lernfähigen Algorithmen zu maximalen Bildinformationen — **4 Enzymforschung:** Neue Biokatalysatoren treiben Grüne Chemie voran

# Enorme Potenziale für Nachhaltigkeit im Bauwesen

Ökologisch optimierter Beton:  
Die Reduktion des Klinkeranteils  
im Zement ist der Schlüssel zu  
geringeren Umweltwirkungen.



Abbildung: Katrin Binner

## Publikationen

Weißmann, C; Hong, T.; Graubner, C.-A.: Analysis of heating load diversity in German residential districts and implications for the application in district heating systems, In: Energy and Buildings, Vol. 139, 2017, Elsevier, S. 302-313.

Proske, T; Hainer, S.; Rezvani, M.; Graubner, C.-A.: Eco-Friendly Concretes With Reduced Water and Cement Content: Mix-Design-Principles and Experimental Tests, In: Handbook of Low Carbon Concrete, 2017, Elsevier, S. 63-87.

## Information

**Institut für Massivbau**  
Prof. Dr.-Ing. Carl-Alexander  
Graubner  
Telefon: 06151/16-21400  
E-Mail: graubner@massivbau.  
tu-darmstadt.de  
<http://bit.ly/2B8TSwx>

*Ohne Nachhaltigkeit im Bauwesen scheitert auch die Energiewende, davon ist Prof. Dr.-Ing. Carl-Alexander Graubner überzeugt. Ein Gespräch mit dem Leiter des Instituts für Massivbau der TU Darmstadt.*

## Herr Prof. Graubner, welche Bedeutung haben nachhaltige Gebäude für den Ressourcen- und Umweltschutz?

Rund 42 Prozent des Energieverbrauchs in Europa geht auf Gebäude zurück. Allein die Klinkerherstellung im Rahmen der Zementproduktion ist für fünf bis sieben Prozent des weltweiten CO<sub>2</sub>-Ausstoßes verantwortlich. Das zeigt die Potenziale: Das nachhaltige Bauwesen spielt für den Erfolg der Energiewende und die Erreichung anspruchsvoller Umweltschutzziele eine ganz maßgebliche Rolle.

## Wo sehen Sie Ansatzpunkte, um diese Potenziale zu heben?

Stellschrauben gibt es entlang des gesamten Lebenszyklus eines Gebäudes von der Planung über die Materialien bis hin zum Abriss. Wichtige Themen, die in unserem Institut im Fokus stehen, sind vor allem die Entwicklung neuer Baustoffe, die effiziente Energieerzeugung und -nutzung in Gebäuden und Quartieren, aber auch die verstärkte Nutzung der Speicherfähigkeit von Bauwerken.

## Sie entwickeln an Ihrem Institut so genannten Ökobeton. Was verbirgt sich dahinter?

Dabei handelt es sich um einen ökologisch optimierten Beton, der eine geringere Umweltwirkung im Vergleich zu konventionellen Betonen aufweist. Das Ziel und die Herausforderung ist es, bei unveränderten Frisch- und Festbetoneigenschaften den Klinkeranteil im Zement beziehungsweise im Beton zu verringern.

## Wie funktioniert das?

An unserem Institut setzen wir auf die Substitution des Klinkers durch klimaneutrale und reichlich verfügbare Ausgangsstoffe wie gemahlene Kalkstein oder Hüttensand. Zusätzlich reduzieren wir den Wassergehalt und optimieren die Packungsdichte des Feinstoffsystems. So können wir Betone herstellen, die bei gleichbleibenden Eigenschaften rund dreißig Prozent weniger CO<sub>2</sub> emittieren als konventionelle Betone.

## Heutzutage wird auch zunehmend mit Holz gebaut. Ist das nicht nachhaltiger als die Massivbauweise mit Beton?

Das hängt von der Gesamtbewertung ab. Holz hat als Baustoff zunächst gewisse Vorteile in der CO<sub>2</sub>-Bilanz. Aber man darf eine Nachhaltigkeitsbeurteilung nicht nur auf diesen einen Aspekt fokussieren. Wenn ich alle Kriterien – Ökonomie, Ökologie, Funktionalität und technische Qualität – über den gesamten Lebenszyklus in Betracht ziehe, ist der Massivbau dem Leichtbau im Sinne der Nachhaltigkeit sogar überlegen.

## Woran liegt das?

Mehr als 80 Prozent des CO<sub>2</sub>-Ausstoßes im Zusammenhang mit Gebäuden fallen während der Nutzung an. Gebäude aus massiven Baustoffen können im Gegensatz zur Leichtbauweise deutlich besser Wärme speichern. Das reduziert

den Energieverbrauch während des 50-jährigen Lebenszyklus eines Gebäudes und kompensiert Nachteile der CO<sub>2</sub>-Bilanz in der Herstellphase. Weiterhin sind Massivbauten in der Regel wirtschaftlicher und weisen technische Vorteile hinsichtlich Schallschutz, Brandschutz und Behaglichkeit auf.

## Wie kann man die Speicherfähigkeit von Gebäuden weiter verbessern?

Indem man Energieverluste an Wärmebrücken weitestgehend vermeidet, zum Beispiel im Bereich von Stützen eines Parkdecks mit einer darüber liegenden Wohnbebauung. Hierfür entwickeln wir gerade einen neuen Stützenanschluss aus Leichtbeton und erstellen die dafür notwendigen Konstruktionsregeln. So entsteht ein Produkt, das hochfest ist und eine geringe Wärmeleitfähigkeit hat. So kann Last übertragen und gleichzeitig ein Wärmepuffer zwischen der Stütze und der darüber liegenden Geschossdecke gebildet werden.



Abbildung: Katrin Binner

### **Sie entwickeln auch neue Konzepte für eine effiziente Energieversorgung von Gebäuden. Wo setzen Sie an?**

Wir betrachten das Thema ganzheitlich, suchen nach Synergien und nach Möglichkeiten, um über das Einzelgebäude hinaus Quartiere zu vernetzen und diese perspektivisch sogar mit dem Verkehrssektor zu koppeln. Ganz wichtig für die Nutzung der Potenziale volatiler erneuerbarer Energien sind zudem geeignete Speichertechnologien für überschüssige Energiemengen, die im Zuge von Lastspitzen auftreten und erst zu einem späteren Zeitpunkt gebraucht werden. Wenn wir erneuerbare Energien in Gebäuden stärker nutzen wollen, müssen wir auch die Speicherkapazitäten ausbauen.

### **Wo gibt es Synergien?**

Spannend sind vor allem die vielfältigen Vernetzungsmöglichkeiten innerhalb eines Quartiers: Eine Schule braucht die Wärme am Vormittag, ein Wohngebäude eher abends. Das heißt, Schule und Wohngebäude dienen gegenseitig dem energetischen Lastausgleich. Daneben kann Abwärme aus der Industrie für Heizung und Warmwasser in anderen Gebäuden genutzt werden.

### **Was ist Ihr Ziel?**

Wir wollen Energie dort effizient nutzen, wo sie gebraucht wird und sie auch nah am Verbraucher speichern. Hierfür nehmen wir alle bewährten Technologien in den Blick und ermitteln mit den Daten von Energieversorgern und auf der Basis dynamischer Simulationen möglichst präzise die Energieeinspeisung und -nutzung im Tagesverlauf. So entstehen innovative Versorgungskonzepte – aus ökologischer und energetischer, aber auch aus betriebswirtschaftlicher und klimapolitischer Sicht.

### **Sind die Konzepte auch umsetzbar?**

Sie bei der Planung von Neubaugebieten mit zu berücksichtigen, ist das geringere Problem. Die eigentliche Herausforderung ist jetzt die Ertüchtigung unseres heterogenen Gebäudebestands. Hier können wir den Beteiligten zeigen, was möglich ist, Argumente liefern und für Akzeptanz sorgen.

*Das Interview führte Jutta Witte.  
Die Autorin ist Wissenschaftsjournalistin  
und promovierte Historikerin.*

### **Forschungsprojekt**

Das Forschungsvorhaben „Zemente mit reduzierter Umweltwirkung bei effizientem Einsatz von Hüttensand“ (gefördert von der Deutschen Bundesstiftung Umwelt, Laufzeit: Juli 2014 bis Juni 2016) war die Reduktion der Umweltwirkungen bei der Betonherstellung durch die Anwendung klinkerreduzierter Multikompositzemente. Dabei wurden Verarbeitbarkeit, Dauerhaftigkeit und mechanische Eigenschaften von Betonen aus unterschiedlichen Zementzusammensetzungen mit variablen Anteilen an Klinker, Hüttensand und Kalksteinmehl untersucht. Es zeigt sich, dass durch eine angepasste Betontechnologie mit Multikompositzementen eine Senkung des Treibhauspotenzials um bis zu 55 Prozent gegenüber Betonen mit konventionellen Zusammensetzungen möglich ist.

### **Das Institut**

Neben den Kernkompetenzen im Massiv- und Mauerwerksbau gilt das Institut für Massivbau der TU Darmstadt in Deutschland als besonders profiliert im Bereich des nachhaltigen Bauens. Die maßgebenden Grundzüge des Deutschen Gütesiegels Nachhaltiges Bauen wurden hier entwickelt. Zum Forschungsportfolio des interdisziplinären Teams gehören außerdem die Bemessung und Konstruktion von Betontragwerken und die Entwicklung mineralischer Öko-Baustoffe. Das auf Nachhaltigkeitszertifizierungen spezialisierte Spin-Off Life Cycle Engineering Experts (LCEE) sowie die Mitarbeit in Ausschüssen und Normungsgremien sorgen für den Transfer der wissenschaftlichen Expertise in die Praxis.

Further information:  
[www.massivbau.tu-darmstadt.de](http://www.massivbau.tu-darmstadt.de)

# Sehlehrer für Computer

*In digitalen Bildern und Videos steckt sehr viel mehr Information, als Computer derzeit aus ihnen gewinnen. Mit Hilfe lernfähiger Algorithmen will ein Forscherteam um Professor Roth ein Maximum an Wissen aus Bildern ziehen.*



Abbildung: Katrin Binner

Professor Stefan Roth bei der Justierung einer Kamera zur kontrollierten Bildaufnahme.

— Von Christian J. Meier

Auf dem Bildschirm im Büro von Stefan Roth ist eine typische Straßenszene zu sehen – aber aus dem „Blickwinkel“ eines Computers. Rot eingefärbte Autos parken ein und aus, violette Fußgänger wuseln umher, grün markierte Pflanzen kennzeichnen den Straßenrand. „Für den Computer besteht ein Video erst einmal nur aus Pixeln“, erklärt Informatik-Professor Stefan Roth. „Wir bringen ihm bei, Pixel zu interpretieren“, sagt der Leiter des Visual Inference Labs an der Technischen Universität Darmstadt. Roths Team lehrt lernfähigen Algorithmen, Autos, Fußgänger oder etwa potenziell gefährliche Gegenstände auf Röntgenbildern aus der Passagierkontrolle zu erkennen. Auch die Bildinformation, die sich hinter Verwacklungen oder Unschärfe verbirgt, rekonstruiert die von den

Darmstädtern entwickelte Software. Die Forschungsfrage, die sie leitet: Wie viel Information lässt sich aus einem digitalen Bild herausholen?

**Der Bedarf** an automatischer Bildanalyse ist enorm. Millionen von digitalen Kameras erzeugen eine beispiellose Bilderflut. Könnten Computer nicht nur geordnete Straßenszenen, wie auf einer Autobahn, sondern auch chaotisch anmutendes Verkehrsgeschehen, etwa an einer Kreuzung, zuverlässig interpretieren, „dann wäre auch in belebten Innenstädten vollständig autonomes Fahren möglich“, sagt Roth. Und es gäbe viele weitere potenzielle Anwendungsfelder. Intelligente Bildanalyzesysteme könnten Nutzer bei ermüdenden Tätigkeiten, etwa die Gepäckkontrolle an Flughäfen, unterstützen. Aus Satellitenbildern kann eine Flächen-Nutzung automatisch

## Informationen

**Visual Inference Lab**  
**Fachbereich Informatik**  
Prof. Stefan Roth, Ph.D.  
Telefon: 06151/16-21425  
E-Mail: stefan.roth@visinf.tu-darmstadt.de  
www.visinf.tu-darmstadt.de

erkannt werden, beispielsweise auf welchen Feldern Weizen wächst.

**Doch Computern das Sehen zu lehren**, ist schwer. Vor Jahrzehnten versuchten Forscher, die menschliche Wahrnehmung nachzuprogrammieren. Doch sie scheiterten bislang weitgehend. „Heutige Ansätze sind sehr stark datengetrieben“, sagt Roth. Computer lernen anhand einer Masse von Beispielen. Grundlage sind oft so genannte künstliche neuronale Netze. Diese sind inspiriert vom Aufbau des Gehirns: Nervenzellen, im Fachdeutsch Neuronen genannt, untereinander verbunden durch Nervenbahnen.

Zeigt man einem solchen Netz Fotos mit Autos, dann stärken wiederkehrende Muster – Karosserie, Räder, Scheinwerfer – bestimmte Nervenbahnen. Tauchen ähnliche Muster auf unbekanntem Fotos auf, werden über die verstärkten Nervenbahnen die gleichen Neuronen aktiv wie beim Training: Das neuronale Netz hat gelernt, auf Bildern Autos zu erkennen. Oder

eben Fußgänger und Pflanzentöpfe. Der Haken: Beim Training muss man dem Computer auf jedem Beispielbild im wahrsten Wortsinn zeigen, wo das Auto, wo der Fußgänger und wo der Pflanzentopf ist. „Dafür haben wir anfangs eineinhalb Stunden pro Bild gebraucht“, berichtet Roth. Weil Computer erst nach Zigtausenden von Beispielen Dinge zuverlässig erkennen, sei das nicht immer praktikabel. „Wir versuchen daher erstens mit weniger Daten auszukommen und zweitens, Datenquellen zu erschließen, in denen ein Teil der Information schon steckt.“ So zeigen Computerspiele zum Verwechseln realistische Strassenszenen. Auf einem Foto einer realen Szene müssen die Forscher erst mühsam die Einzelobjekte voneinander abgrenzen, sprich ihre Konturen nachzeichnen. „Im Computerspiel hingegen sind die einzelnen Objekte schon getrennt“, erklärt Roth. Man müsse dem neuronalen Netz nur noch sagen, was davon als Auto oder was als Straßenbelag zu bewerten ist.

**Um mit weniger Daten** auszukommen, lassen sich die Forscher weitere Tricks einfallen. „Anhand der im Computerspiel enthaltenen Information weiß man, welches schon bekannte Objekt zu einem späteren Zeitpunkt nochmal erscheint“, erklärt Roth. So muss das Objekt, etwa ein bestimmtes Auto, nicht mehr auf jedem Einzelbild einer Videosequenz neu markiert werden. Dass die Darmstädter mit ihren Ansätzen erfolgreich sind, beweist das vom Computer

interpretierte Video einer belebten Einkaufsstraße. Selbst in der Straßenflucht weit entfernte Fußgänger und Fahrzeuge werden erkannt. Ähnlich beeindruckt die Informationsfülle, die von Roths Team trainierte Algorithmen aus verschwommenen Fotos herausziehen. Selbst die Risse im Fels, vor dem ein Steinbock steht, werden wieder sichtbar. In einem Bild der Berliner Siegestsäule zoomt Roth zum Lorbeerkranz, den die Statue der Viktoria in die Höhe hält. Zunächst nur unscharf, erkennt man nach der Bearbeitung einzelne Blätter. Allerdings hat der Computer weder Blätter noch Felsrisse erkannt, sondern die Störung an sich auf der Pixel-Ebene.

„Der Rechner sieht sich Nachbarschaften von Pixeln an und untersucht deren Statistik“, erklärt Roth.

**Auf einem ungestörten Bild** tauchen in solchen Nachbarschaften beispielsweise typische Kontrastunterschiede auf. Diese Statistik lernt der Computer anhand vieler Beispiele. Weicht ein Bild von diesen

typischen Verteilungen ab, passt es der Rechner an den Normalfall an. Das Ziel der Forscher ist eine universelle Korrekturmethode für Verwacklungen, Bewegungsunschärfe und andere ungewollte Bildeffekte. „Dadurch könnte man die Bildqualität weiter steigern, und das mit der Rechenkraft eines Smartphones“, stellt Roth in Aussicht. Auch neue Funktionen könnten so realisiert werden, etwa ein Schärfentiefeeffekt, wie bei Spiegelreflexkameras.

**Ganz frei von Artefakten** sind die korrigierten Bilder indes noch nicht. „Viel Forschungsbedarf besteht auch weiterhin“, sagt Roth. Die Zuverlässigkeit von computerinterpretierten Bildern ist ein zentraler Punkt in Roths Forschung. „Davon wird die Akzeptanz des autonomen Fahrens abhängen.“ Wurde die Bewegung des Fußgängers richtig vorhergesagt? Erkennt der Rechner einen Blumentrog am Straßenrand in Rom genauso zuverlässig wie in Darmstadt? „Die Herausforderung ist, die Dinge gut genug zu erkennen, damit das System nicht zu oft wegen Unsicherheit bremst“, sagt Roth. Er ist optimistisch, dass das gelingt. Die Darmstädter sind sehr einfallreich darin, Computern das Sehen beizubringen. Die Grenzen der Wahrnehmungsfähigkeit der Maschinen seien noch nicht absehbar, meint Roth.

*Der Autor ist Wissenschaftsjournalist und promovierter Physiker.*

#### Forschungsprojekt

ERC Starting Grant “Visual Learning and Inference in Joint Scene Models (VISLIM)”: <http://bit.ly/2i2pEr6>

#### Publikationen

S. R. Richter, V. Vineet, S. Roth, and V. Koltun, “Playing for data: Ground truth from computer games,” in Proc. of the European Conference on Computer Vision (ECCV), B. Leibe, J. Matas, N. Sebe and M. Welling, Eds., ser. LNCS, vol. 9906, Springer, 2016, pp. 102–118.

U. Schmidt, J. Jancsary, S. Nowozin, S. Roth, and C. Rother, “Cascades of regression tree fields for image restoration,” IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence (PAMI), vol. 38, no. 4, pp. 677–689, Apr. 2016.

# Neue Enzyme für die Grüne Chemie

*Wolf-Dieter Fessner setzt auf die Werkzeugkiste der Natur. Der Chemie-Professor und sein Team entwickeln Biokatalysatoren für die Chemieindustrie.*

— Von Uta Neubauer

Zu einem klassischen Chemieprozess gehören organische Lösemittel, hohe Temperaturen, manchmal Überdruck und oft Edelmetallkatalysatoren. Dass es auch anders geht, erfuhr Wolf-Dieter Fessner, Professor für Organische Chemie an der TU Darmstadt, Mitte der 1980er-Jahre auf einer Konferenz in Freiburg. Auf dem Programm standen unter anderem Vorträge zum Thema Biokatalyse. „Was ich dort hörte, war für mich eine Offenbarung“, erinnert er sich. „Ich hatte nie gedacht, dass sich komplexe Moleküle hoch spezifisch unter milden Reaktionsbedingungen in Wasser und bei Raumtemperatur herstellen lassen, indem man ein paar Enzyme mit in den Topf packt.“ Seitdem hat Fessner ein Ziel: Er entwickelt Enzyme für die Industrie, um Chemieprozesse umweltfreundlicher zu gestalten.

**Enzyme sind Proteine**, die als Biokatalysatoren nahezu alle biochemischen Reaktionen antreiben, unseren Stoffwechsel ebenso wie die Photosynthese der Pflanzen. Wie alle Katalysatoren erleichtern und beschleunigen Enzyme chemische Umsetzungen. Im Laufe der Evolution haben sie darin eine Perfektion sondergleichen erreicht, betont Fessner: „Die Natur hat die Chemie im Griff. Sie betreibt eine optimale Katalyse.“ Daran sollte sich die Chemiebranche ein Beispiel nehmen, denn abgesehen von den harschen Reaktionsbedingungen und dem hohen Energieaufwand der klassischen Prozesse bergen die üblichen Metallkatalysatoren einige Probleme: Sie sind nicht nur teuer, sondern auch empfindlich in der Handhabung und schädigen zudem die Umwelt. „Bei der Gewinnung von Edelmetallen gelangen Millionen Tonnen an Schwermetallen in die Atmosphäre“, gibt Fessner zu bedenken. „Wir entwickeln mit der Biokatalyse nachhaltigere Wege.“

**Seit 2015 koordiniert Fessner** das EU-Projekt Carba-Zymes, das sich auf Biokatalysatoren für die Knüpfungen von Kohlenstoff-Kohlenstoff-Bindungen

konzentriert. Diese grundlegenden Reaktionen, die in fast allen chemischen Prozessen eine Schlüsselrolle spielen, verbinden kleine organische Fragmente miteinander, zum Beispiel zu Vorstufen von Massenkunststoffen. Die Bausteine müssten dabei in der richtigen räumlichen Orientierung aufeinander treffen, betont Fessner, für Chemiker sei die selektive Verknüpfung daher eine Herausforderung. Enzyme hingegen steuern die Reaktion mit Leichtigkeit, denn sie binden die Ausgangssubstanzen für einen kurzen Moment und bringen sie in die perfekte Position zueinander. Nur so gelingt es zum Beispiel unserem Körper, aus einfachen Fragmenten komplexe Hormone und andere Biomoleküle herzustellen.

**In der Chemie-** und vor allem in der Pharmaindustrie haben sich zwar schon viele enzymatische Verfahren etabliert, aber die Knüpfung von Kohlenstoff-Kohlenstoff-Bindungen ist laut Fessner ein unterentwickeltes Gebiet: „Die dafür erforderlichen Enzyme galten lange als zu spezifisch und daher industriell nicht anwendbar.“ Das Problem: Viele derartige Enzyme katalysieren nur eine bestimmte Verknüpfung, da sie die Ausgangsstoffe hochspezifisch nach dem Schlüssel-Schloss-Prinzip binden. Es gibt aber auch tolerantere Enzyme, die verschiedene Substanzen umsetzen. „Danach suchen wir“, erklärt Fessner, „außerdem können wir Enzyme mittlerweile so verändern, dass sie sich für eine ganze Schar von Molekülen eignen, sogar für solche, die unter natürlichen Bedingungen unreaktiv sind.“

**Fessners Gruppe gewinnt** die Enzyme fermentativ aus Zellen von *Escherichia coli*, auch Kolibakterien genannt. Der Bauplan für die Enzyme steckt in den Genen der Zellen. Mit molekularbiologischen Methoden wie dem Einschleusen künstlicher Gensequenzen können die Forscher den Bauplan verändern und die Enzyme optimieren. Auch Biokatalysatoren, die in Kolibakterien natürlicherweise nicht vorkommen, lassen sich so herstellen. Hilfreich bei

## Information

### Organische Chemie

Prof. Dr. Wolf-Dieter Fessner

Telefon: 06151/16-23640

E-Mail:

fessner@tu-darmstadt.de

<http://bit.ly/2i1Uv7h>



Abbildung: Katrin Binner

Arbeitsgruppenleiter Fessner ist stolz auf die schlagkräftige Zusammenarbeit in einem interdisziplinären und internationalen Team von Experten auf dem Gebiet der Biokatalyse.

der Enzymsuche und -entwicklung ist das Verfahren der gerichteten Evolution: Es induziert zufällige Genveränderungen und führt so zu zahlreichen abgewandelten Enzymen, aus denen die Wissenschaftler die am besten geeignete Variante selektieren. Diese Auslese erfolgt über mehrere Zyklen.

**Die Darmstädter Forscher** arbeiten zudem eng mit ProZomix aus England zusammen, einem Partner des CarbaZymes-Projektes. Von dem Unternehmen erhalten sie Hunderte von Proteinen, die alle dieselbe Reaktion katalysieren, aber aus verschiedenen Organismen stammen. Darunter befinden sich unter anderem viele Mikroben, die unter extremen Umweltbedingungen leben und sich im Labor nicht kultivieren lassen – für die Industrie aber besonders interessant sind. Bakterien aus heißen Quellen beispielsweise besitzen besonders hitzestabile Enzyme. Aus dem Pool von ProZomix wählen die Wissenschaftler geeignete Enzyme aus, die sie bei Bedarf noch weiter verfeinern.

**Fessner hält bereits mehrere Patente** auf enzymatische Verfahren, auch aus dem CarbaZymes-Projekt resultierten bereits zwei Patentanmeldungen. Zusammen mit spanischen Partnern des CarbaZymes-Projekts veröffentlichte das Darmstädter Team Anfang 2017 ein neues biokatalytisches Verfahren zur Produktion von Homoserin, einer Vorstufe

von Pharmawirkstoffen und essenziellen Aminosäuren für Futtermittel. Die Chemieindustrie zeige großes Interesse an der Biokatalyse, sagt Fessner: „Es gibt viele Unternehmen, die massiv in dieses Gebiet investieren und schon mehrere Prozesse umgestellt haben.“ Statt reiner Enzyme werden großtechnisch oft lebende Zellen eingesetzt. Die Ganzzellbiokatalyse ist ökonomisch sinnvoller, da die Isolierung

der Enzyme entfällt. Vor allem bei komplizierten Synthesen, die mehrere verschiedene Enzyme erfordern, bietet sich der Einsatz von ganzen Zellen an. Ein klassisches Beispiel ist die Produktion von Vitamin B2: Der fermentative Prozess mit Pilzzellen produziert

das Vitamin in einem Schritt aus Pflanzenöl. Die chemische Synthese hingegen benötigte acht Stufen und verursachte mehr Kohlendioxid-Emissionen, mehr Abfall und höhere Kosten.

**Die biokatalysierte Herstellung** von Vitaminen und anderen komplexen Molekülen sei für ihn als Chemiker zwar reizvoll, sagt Fessner, er widme sich aber lieber der enzymatischen Synthese von Grundchemikalien: „Davon werden Milliarden Tonnen jährlich hergestellt. Wenn es uns gelingt, solche Prozesse umweltfreundlicher zu gestalten, hat das einen viel größeren Einfluss auf die Zukunft unseres Planeten.“

*Die Autorin ist Wissenschaftsjournalistin und promovierte Chemikerin.*

*„Wir entwickeln mit der Biokatalyse nachhaltigere Wege.“*

### EU-Projekt CarbaZymes

An dem Projekt CarbaZymes mit dem Titel „Sustainable Industrial Processes Based on a C-C Bond-Forming Enzyme Platform“ beteiligen sich insgesamt 14 Forschungseinrichtungen und Unternehmen aus Deutschland, Spanien, den Niederlanden, Kroatien und England. Chemieprofessor Wolf-Dieter Fessner von der TU Darmstadt koordiniert die im April 2015 gestarteten Aktivitäten, die EU fördert das Verbundprojekt bis Ende März 2019 mit 8,2 Millionen Euro. „Durch die Einbindung von kleinen Startup-Firmen haben wir Zugang zu modernsten Technologien bekommen, die unsere Enzymentwicklung deutlich beschleunigen“, unterstreicht Fessner. Weitere Infos: CarbaZymes.com

### Aktuelle Publikationen

- T. Saravanan et al., *Angew. Chem.*, 2017, 129, 5442-5447, DOI: 10.1002/ange.201701169, *Angew. Chem. Int. Ed.*, 2017, 56, 5358-5362, DOI: 10.1002/anie.201701169
- Y.-C. Thai et al., *Bioorg. Med. Chem.* 2017, 25, in press. DOI: 10.1016/j.bmc.2017.05.024
- R. Roldán et al., *Chem. Eur. J.*, 2017, 23, 5005-5009, DOI: 10.1002/chem.201701020
- K. Hernandez et al., *ACS Catalysis*, 2017, 17, 1707-1711, DOI: 10.1021/acscatal.6b03181

# Gut organisiert gegen Hacker-Netzwerke

*Cyberkriminelle gehen hoch koordiniert vor, während ihre Opfer isoliert agieren.  
Ein Forscherteam um Professor Max Mühlhäuser will das ändern – indem es die  
Abwehrkräfte der Opfer bündelt.*



Abbildung: Jan-Christoph Hartung

## Profil und Projekte

Die Forschung von Max Mühlhäusers Team ist Teil des Profilsbereichs Cybersecurity der TU Darmstadt (CYSEC) sowie in mehrere nationale und internationale Projekte eingebunden, z.B. Sonderforschungsbereich CROSSING: [www.crossing.tu-darmstadt.de](http://www.crossing.tu-darmstadt.de); Forschungszentrum CRISP (Center for Research in Security and Privacy): [www.crisp-da.de](http://www.crisp-da.de); EU-Projekt „TAKEDOWN“, das Strukturen organisierter Kriminalität und des Terrorismus untersucht: [www.takedownproject.eu](http://www.takedownproject.eu)

## Publikation

Vasilomanolakis E., et al: Did you really hack a nuclear power plant? An industrial control mobile honeypot, 2015. (IEEE CNS 2015 Poster Session).

Blick auf einen in Griechenland ausgelegten „Honeypot“: in kurzer Zeit erfolgen Angriffe aus allen Teilen der Welt.

— Von Christian Meier

Eine grüne Linie wächst quer über die Weltkarte auf Athen zu. „Da, schon wieder ein Angriff“, sagt Florian Volk von der Telecooperation Group im Fachbereich Informatik der TU Darmstadt. Der zwei Quadratmeter große Bildschirm visualisiert Hackerangriffe auf Rechner, die das Forscherteam gleichsam als Köder ausgelegt hat – so genannte Honeypots. Indem es möglichst viele solcher Angriffe aufzeichnet, will das Team um Professor Max Mühlhäuser Muster in ihnen erkennen. Lernende Computerprogramme filtern solche Erkennungsmerkmale immer zuverlässiger heraus. Es gilt, die Taktiken einer industriell organisierten digitalen Schattenwirtschaft aufzudecken. Das Ziel: Eine ebenso gut organisierte Abwehr zu ermöglichen, bei der Betroffene ihre Schlagkraft bündeln. „Koordinierte verteilte Abwehr“ nennt Volk das.

**Derzeit herrsche** zwischen böswilligen Hackern und denen, die Ziel ihrer Angriffe werden, keine Waffengleichheit, sagt der Informatiker. Der einsame Hacker, der Computerviren in die Welt setzt, sei nur Klischee. „Es gibt in der Cyberkriminalität eine Arbeitsteilung: Die einen bauen eine Infrastruktur auf, so genannte Botnetze. Sie vermieten diese an die anderen für massive verteilte Angriffe“, erklärt der Informatiker. Botnetze sind sozusagen eine Armee von elektronischen Helfern: gekaperte PCs oder, immer öfter, an das Internet

angeschlossene intelligente Geräte wie etwa Thermostate. Das Entern der Rechner verlaufe automatisiert.

**Während der Informatiker** spricht, laufen auf dem Bildschirm etliche Angriffe auf die Honeypots, pro Monat sind es mehr als 60.000. Die eigentlichen Täter nutzen nun die Botnetze für Attacken, die Namen wie etwa „Denial of Service“ tragen. Bei dieser Angriffsart stellen Tausende gekaperte Rechner simultan Anfragen an den Server des Opfers, der unter dieser Last zusammenbricht. Die Opfer, meist Unternehmen, behielten solche Angriffe oft für sich, moniert Volk. „Das ist schade“, meint der Forscher. „Würden mehr Angriffsmuster ausgetauscht, könnte das nächste Opfer den Angriff frühzeitig erkennen und reagieren, etwa indem man die Anfragen gezielt vernichtet.“

**Im Zentrum der TU-Forscher** steht die Entwicklung eines Werkzeugs, das es potenziellen Opfern ermöglicht, gemeinsam gegen die Übermacht der Hacker-Industrie vorzugehen. Damit können Firmen Information über den Angriff auszutauschen, ohne Wissen über die eigene IT-Infrastruktur preiszugeben. Dazu soll der Angriff in Form einer „einfachen Datenstruktur“, wie Volk sagt, abgebildet werden. Diese ist eine Art Fingerabdruck des Geschehens, anhand dessen andere Firmen einen Angriff früh erkennen und sich rechtzeitig wehren können.

„**Weil die Mustererkennung** umso besser funktioniert, je mehr Daten man hat, wäre es wichtig, viel mehr Honeypots auszulegen“, erklärt Volk. So entstünde eine Infrastruktur, die es mit dem wohlorganisierten Unterbau des Hackerwesens aufnehmen kann.

Der Autor ist Wissenschaftsjournalist und promovierter Physiker.

## Informationen

**Telecooperation Group**  
Prof. Dr. Max Mühlhäuser  
Telefon: 06151/16-23200  
E-Mail: [max@tk.tu-darmstadt.de](mailto:max@tk.tu-darmstadt.de)  
<http://bit.ly/2sloCGq>