

hoch³FORSCHEN

Das Medium für Wissenschaft

Frühjahr 2019



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,
Darmstadt
gedruckt auf 100 g/m²
PlanoScript, FSC-zertifiziert

Auflage 5.000
Nächste Ausgabe 17. Juni 2019

Leserservice
presse@pvw.tu-darmstadt.de

ISSN 2196-1506

Möchten Sie die nächste Ausgabe der hoch³FORSCHEN gerne in digitaler Form erhalten? Dann senden Sie bitte eine E-Mail an:
presse@tu-darmstadt.de



— **1 Energietechnik:** Sauberer Strom aus der Müllverbrennung — **2 Materialwissenschaft:** Elektronische Bauelemente in Aktion — **3 Architektur:** Die barrierefreie Stadt — **4 Maschinenbau:** Wie Autos sich selbst optimieren

Das Labor im Innern des Mikroskops

Darmstädter Forscher um Leopoldo Molina-Luna beobachten winzigste elektronische Bauelemente in Aktion. Ihr Elektronenmikroskop kann nicht nur einzelne Atome abbilden, sondern die Probe herstellen, heizen und elektronisch steuern.

— Von Christian Meier

Unter den vielen Bildschirmen und zwischen Kabeln fallen die beiden Kontrollkästchen ganz unten am raumfüllenden Elektronenmikroskop zwar kaum ins Auge, doch für Leopoldo Molina-Luna machen sie den entscheidenden Unterschied. Sie dienen ihm als Upgrade, das aus dem Mikroskop ein ganzes Labor für Nanotechnologie macht. Der Physiker will die Welt einzelner Atome nicht nur beobachten. Er will sie gleichzeitig manipulieren. „Das Ziel ist, zu verstehen, was tatsächlich auf der Nanoebene passiert“, sagt Molina-Luna, Experte für Elektronenmikroskopie am Fachbereich Material- und Geowissenschaften. Mit „Nanoebene“ meint der Wissenschaftler eine Größenordnung, in der Objekte nur wenige Nanometer messen – maximal ein Hunderttausendstel Millimeter. Ein Grippevirus ist in diesem Universum des Winzigen schon ein Riese. Die Technologie ist indessen längst in diese Welt hineingeschrumpft. So messen die kleinsten Elemente eines Computerchips, zum Beispiel Transistoren, nur einige Nanometer. Milliarden davon passen auf einen finger-nagelgroßen Chip.

Die Nanoelektronik will neue Wege einschlagen, etwa Bauelemente mit ähnlicher Erinnerungsfunktion wie Gehirnzellen oder Speichermedien mit gigantischer Kapazität auf kleinstem Raum. Dafür müssen unterschiedliche Materialien zu Schichten gefügt werden, die nur wenige Nanometer dünn sind: eine Maßarbeit im unsichtbar Kleinen.

Zwar kann man derart winzige Bauelemente im Elektronenmikroskop sehen, doch es gelingen nur Momentaufnahmen. Molina-Luna aber will den winzigen Elektronikbauteilen beim Arbeiten zusehen. Er will beobachten, wie sich einzelne Atome beim Schaltprozess verhalten. Ein solches Bauelement besteht aus einer dünnen Isolatorschicht zwischen zwei Metallschichten, einem Sandwich nicht unähnlich. Bei Anlegen einer elektrischen Spannung bildet sich eine leitfähige Brücke zwischen den

Metallen, ein sogenanntes Filament, welches durch Änderung der angelegten Spannung auch wieder unterbrochen werden kann. Diese zwei unterschiedlichen Zustände erlauben die Speicherung von Daten, wenn man den einen Zustand als 0, den anderen als 1 codiert.

„Zumindest ist das die Modellvorstellung“, sagt Molina-Luna. „Bislang konnte man es nur indirekt prüfen, weil die klassischen Messverfahren makroskopisch sind.“ Die gängigen Methoden messen etwa den Stromfluss bei einer bestimmten Spannung, also ein Phänomen, das von zig Milliarden Teilchen kollektiv verursacht wird. „Doch die Elektronenmikroskopie hat in den letzten Jahren enorme Fortschritte gemacht“, sagt Molina-Luna. Das Elektronenmikroskop sei zu einem „multidimensionalen“ Instrument geworden.

Geholfen dabei hat die Entwicklung so genannter Mikrosysteme. Das sind komplexe elektromechanische Geräte in mikroskopischer Größe. Molina-Lunas Kooperationspartner, die niederländische Firma DENSSolutions, hat ein Prüflabor auf die Größe weniger Millimeter geschrumpft und es auf einen Probenhalter fixiert. Dieser Chip lässt sich in ein Elektronenmikroskop einführen. Damit können die Darmstädter Forscher nun Proben innerhalb des Mikroskops heizen und unterschiedliche elektrische Spannungen anlegen. Der Probenhalter sei sehr stabil, betont Molina-Luna. Das ermöglicht sehr hohe Vergrößerungen bis zum 25-millionenfachen. Gleichzeitig dient der Probenhalter als Fabrikationsstätte: Die Darmstädter Forscher haben Nanopartikel darauf synthetisiert. Das Pulver wurde mit dem Lösungsmittel vermischt, das Lösungsmittel ließ man verdunsten, im Mikroskop fand ein Sinterprozess statt, der die „neuen“ Nanopartikel erzeugte.

Jüngst haben die Forscher an solchen Partikeln einen Effekt beobachtet, der neue, superdichte Speichermedien ermöglichen könnte. Die Nanopartikel ähneln Kirschen, da sie Kern und Schale besitzen.

An der Spitze des Probenhalters befindet sich ein Labor in mikroskopischer Größe, Temperatur und elektrisches Feld können kontrolliert werden.



Abbildung: Katrin Binner

Informationen

Fachgebiet

Elektronenmikroskopie

Dr. rer. nat. Leopoldo

Molina-Luna

Tel.: 06151/16-2 23 09

molina@aem.tu-darmstadt.de

www.mawi.tu-darmstadt.de/aem



Dr. Leopoldo Molina-Luna am Transmissionselektronenmikroskop mit geöffneter Schleuse zum Einführen des „Labors“ (vergrößert im Bild unten links gezeigt).

Abbildung: Holger Menzel

Der Kern besteht aus einem anderen Metalloxyd als die Schale (der Kern aus Natrium-Wismut-Titanat, die Schale aus Strontium-reichem Natrium-Wismut-Titanat). Durch das Zusammenzwängen in ein Partikel baut sich in dessen Innern eine mechanische Spannung auf. Die Forscher steuerten die Stärke der Verspannung, indem sie den Anteil an Strontium veränderten.

Die mechanische Spannung führt zur so genannten Flexoelektrizität: Die elektrischen Ladungsträger im Inneren trennen sich in positive und negative Ladungszentren, wodurch ein elektrischer Dipol entsteht. Dieser bleibt durch die Flexoelektrizität auch bei hohen Temperaturen erhalten, was die Darmstädter Forscher weltweit erstmals beobachteten. Dank ihres Mikroskops konnten sie den Mechanismus der Flexoelektrizität im Nanopartikel aufklären. Der Effekt zeigte sich in winzigen, Fischgräten ähnelnden Mustern. Die Ergebnisse konnten die Forscher im renommierten Fachmagazin *Nature Communications* publizieren.

Weil Flexoelektrizität in herkömmlichen Materialien wenig ausgeprägt ist, fand sie bislang kaum Beachtung. Dabei wäre sie technisch interessant, und zwar dann, wenn sie sich an- und abschalten lässt, da das Schalten zwischen zwei Zuständen ein Bit codieren und somit als Datenspeicher fungieren könnte. Die TU-Forscher zeigten, dass das geht: Die Polarisation in ihren Nanopartikeln ließ sich umschalten, indem sie – ebenfalls innerhalb des Mikroskops – eine elektrische Spannung anlegten. Neben der Anwendung als Datenspeicher könnten flexoelektrische Bauteile als Sensoren, Aktoren oder Energiewandler dienen.

Mit seinem Erfolg demonstrierte das Team um Molina-Luna, wie flexibel das neue Mikroskopieverfahren ist. „Solche Experimente machen wir, um den Chip weiterzuentwickeln“, sagt Molina-Luna. Die erweiterte Form der Mikroskopie soll auf mehrere Klassen von Nanomaterialien angewendet werden. Dafür hat Molina-Luna einen der renommierten ERC-Starting Grants des Europäischen Forschungsrates erhalten. Das Darmstädter Labor besitzt Technik, um Proben zu präparieren. Mit einem Strahl beschleunigter Ionen kann Molina-Lunas Team sehr dünne Schichten aus Bauteilen schneiden, damit diese elektronenmikroskopisch untersucht werden können. Die Darmstädter Wissenschaftler sehen sich zwar als Grundlagenforscher, suchen sich aber trotzdem Materialien heraus, „die sich für die Anwendung eignen“, sagt Molina-Luna.

Molina-Luna betrachtet die erweiterte Elektronenmikroskopie als Ergänzung der bisherigen Verfahren, wie etwa die Untersuchung von Proben mit Röntgenstrahlen oder elektrische Messungen. „Wir tragen zum Gesamtbild bei“, sagt er. Die Information, was sich auf atomarer Ebene tut, fehle heute häufig. Im Falle von filamentbasierten Datenspeichern könne man jetzt zum Beispiel direkt beobachten, welche Rolle Sauerstoffatome beim Ausbilden eines Filaments durch eine isolierende Schicht spielen. „Neu ist, dass wir sagen können, wie der Schaltprozess geschieht“, sagt der Physiker. „Wir wollen die Modelle verfeinern“, fügt er hinzu. Doch darin erschöpft sich der Anspruch des Forschers nicht: „Letztendlich geht es darum, bessere Geräte zu entwickeln.“

Der Autor ist Wissenschaftsjournalist und promovierter Physiker.

Auf einen Blick

EU-Förderung:

European Research Council (ERC) Starting Grant: Functionality of Oxide based devices under Electric-field: Towards Atomic-resolution Operando Nanoscopy (FOXON), Budget ca. 1,8 Millionen Euro.

Neues Fachgebiet:

Advanced Electron Microscopy.
www.mawi.tu-darmstadt.de/aem

Publikation:

Enabling nanoscale flexoelectricity at extreme temperature by tuning cation diffusion.
Molina-Luna, Leopoldo et. al.
In: *Nature Communications*,
9 p. 4445. ISSN 2041-1723
<https://www.nature.com/articles/s41467-018-06959-8>

Stadt ohne Barriere

Viele Menschen fühlen sich unwohl, wenn sie sich durch ihre Stadt bewegen. Martin Knöll und sein Team im Fachbereich Architektur bringen deshalb neue Ansätze in die Stadtplanung ein. Im Fokus stehen die vielfältigen Bedürfnisse der Bewohner.

— Von Boris Hänßler

Leo ist Mitte 20 und studiert Geschichte an der TU Darmstadt. Er hat eine körperliche Beeinträchtigung, und wenn er aus seinem Alltag vor Architekten und Studierenden berichtet, ist es mucksmäuschenstill. Am Darmstädter Luisenplatz, sagt er, habe er wiederholt die Bahn verpasst, weil zum Beispiel eine Mutter mit Kinderwagen einstieg und für ihn keine Zeit blieb nachzurücken. Eine Mutter mit Kind sollte es leicht haben, in eine Bahn einzusteigen, aber Leo auch.

Wie sieht ein erschwerter Alltag aus, wie fühlt sich das an? Einige TU-Studierende besuchen Blindenstammtische, um herauszufinden, wie sich Blinde in der Stadt zurechtfinden. Andere legen sich einen Alterssimulator an, einen Anzug mit Gewichten, um sich durch die Straßen zu schleppen. „Wir möchten, dass alle Studierenden solche Erfahrungen sammeln“, sagt Martin Knöll, Junior-Professor und Leiter der Forschungsgruppe Urban Health Games. „Das ist ein großer Motivationsschub für eine Stadtplanung, die auch weniger mobile Menschen einschließt.“

Wie es um die Gesundheit und das Befinden der Menschen bestellt ist, hängt zu einem Gutteil von ihrem räumlichen Umfeld ab – etwa vom Straßennetz, der Gebäudetypologie, von Bewegungs-Gewohnheiten oder der Schadstoffkonzentration in der Luft. Wie bedeutend jeder dieser Faktoren ist und wie sie zusammenspielen, das beleuchten Knöll und sein Team. „Aus den drei Bausteinen Mobilität, Barrierefreiheit und Gesundheit leiten wir universelle Designs für den öffentlichen Raum ab“, sagt Knöll. „Die Menschen sollen sich wohlfühlen, frei bewegen können und gesund bleiben – und zwar alle, ob mit oder ohne Beeinträchtigung.“

Stadtplaner interessieren sich für räumliche Gestaltung, Oberflächen, Beleuchtung, Orientierung, Sicherheit, Bewegungsfreiheit und vieles mehr. Einen Standard für den öffentlichen Raum gibt es

nicht – jeder Raum verlangt eine orts-spezifische Lösung. Allerdings können Planer lernen, ihn von vornherein aus Sicht von Menschen mit unterschiedlichen Bedürfnissen zu betrachten.

An der TU Darmstadt ist dies fester Bestandteil der Ausbildung und ein Forschungsfokus. Damit ist das Fachgebiet im Bereich Stadtplanung wohl einzigartig in Deutschland.

Auch deshalb kamen vor zwei Jahren die Veranstalter der Frankfurter Buchmesse auf Knöll zu. Die Messe lockt jährlich über 285.000 Besucher an. Die Ausstellungsfläche umfasst 366.000 Quadratmeter, auf zehn Hallen verteilt. Die Besucher strömen vom Bahnhof auf die Ebene des ersten Obergeschosses und verteilen sich dann in alle Richtungen. Die Stände sind zu Blöcken zusammengefügt, umgeben von einem Raster aus horizontalen und vertikalen Gängen, am Rand gibt es Cafés. Messebesucher fühlen sich allerdings unwohl. Sie kommen schwer voran, verlaufen sich, es ist eng, die Luft ist schlecht, etliche müssen pausieren, finden aber keine Sitzmöglichkeit. Eine Herausforderung also – erst recht für jene, die zum Beispiel auf Rollstuhl oder Blindenstock angewiesen sind.

Die Forscher konzentrierten sich vor Ort zunächst auf die Bedürfnisse von Familien mit Kindern und Menschen mit Geh- sowie Sehbeeinträchtigung. Daraus entstand ein Konzept, das nach und nach auch andere Gruppen einschließt. Das Vorgehen ist ein gängiges „Darmstädter Prinzip“: Jedes Semester können sich Studierende auf Gruppen fokussieren, zum Beispiel auf Senioren, Rollstuhlfahrer, Kleinwüchsige, Kinder, Geflüchtete oder Menschen mit Depressionen. Die Leitfrage lautet: Wie nehmen diese Menschen

Räume wahr? „Senioren brauchen zum Beispiel eine halbe Stunde für eine Strecke, die junge Menschen in ein paar Minuten zurücklegen“, sagt Professorin Sabine Hopp, Leiterin des Bereichs „Smart und Inklusiv City“ innerhalb der Forschungsgruppe. „Diesen Blick verstehen wir nur durch einen Perspektivenwechsel – sowohl durch Selbstversuche als auch Einbindung der Betroffenen.“

Informationen

Forschungsgruppe Urban Health Games

Jun.-Prof. Dr.-Ing. Martin Knöll

Tel.: 06151/16-22167

knoell@stadt.tu-darmstadt.de

www.stadtspiele.tu-darmstadt.de



Abbildung: Katrin Binner

Gute Zugänglichkeit und breite Nutzbarkeit von öffentlichen Räumen im Blick: Sabine Hopp, Marianne Halblaub Miranda, Martin Knöll (v.l.n.r.)

Der Ansatz zählt sich aus: Vier TU-Studierende entwarfen zum Beispiel für den Darmstädter Luisenplatz ein Leitsystem für Sehbeeinträchtigte. Es besteht aus einem Tastmodell und im Bodenbelag eingebrachten Vertiefungen. Blinde können darin ihren Stock entlangführen und sicher über den von Bahnschienen durchzogenen Platz navigieren. Die Studierenden erhielten eine Anerkennung beim „Hessischen Staatspreis Universelles Design 2018“. Auch die Buchmesse profitierte von den Ideen der TU-Forscher – Wege wurden verbreitert, auf gut sichtbaren Schildern wurden Hallen-Nummern in großen schwarzen Zahlen auf weißem Hintergrund angezeigt. Jede Halle erhielt eine eigene Leitfarbe und zusätzliche Ruhezonen. Ein homogener Umlauf führte an allen Ständen vorbei. In jeder Halle gab es Infostände, Infopfeiler und Stationen für in der Mobilität eingeschränkte Menschen. Haptische Module boten blinden Besuchern Auskunft.

„Die Messe ist eine Stadt im Kleinen“, sagt Knöll. „Die Probleme sind auf den öffentlichen Raum übertragbar – auch dort spielen Barrierefreiheit, Bewegungsräume und Gesundheit derzeit eine untergeordnete Rolle.“ Für öffentliche Gebäude gebe es Normen, damit sie für Rollstuhlfahrer zugänglich seien, aber für den Stadtraum nicht. Dies zeige sich zum Beispiel aktuell bei der Umsetzung eines Gesetzes, nach dem Haltestellen in Deutschland bis 2022 barrierefrei sein müssen. Den Stadtraum, so die Kritik, habe der Gesetzgeber außer Acht gelassen. „Es bringt nicht viel, wenn die Haltestelle barrierefrei ist, aber die

Menschen nicht gut hinkommen“, sagt Knöll. Er mahnt mehr Partizipation und Expertise an. So organisierte er unter anderem mit der wissenschaftlichen Mitarbeiterin Marianne Halblaub Miranda die Tagung „Accessible Hubs“ und brachte internationale Fachleute für Stadtplanung, Produktdesign, Geographie, Ökonomie und Umweltpsychologie in Darmstadt zusammen. Der Tagungstitel war Programm: Eine Stadt braucht zentrale Mobilitätsknoten („hubs“), die zugänglich („accessible“) für alle sind.

Knölls Forschungsgruppe gehören Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler aus Psychologie, Soziologie und Sportwissenschaften an, aber auch Informatiker des FG Multimedia Kommunikation (KOM), um Daten zu sammeln und zu analysieren. „Wir müssen als Stadtplaner genau erforschen, wie die Menschen den Raum nutzen“, sagt Knöll. „Dafür brauchen wir Daten, die uns auch zeigen, welcher Eingriff welchen Effekt hat. Nicht zuletzt müssen wir dies den Menschen vermitteln und es ihnen leicht machen, sich einzubringen.“ So ermöglicht es etwa die von Marianne Halblaub Miranda entwickelte App „MoMe“, Stadträume individuell zu bewerten, Bereiche und Elemente des öffentlichen Raumes zu markieren, die als stressig oder entspannend empfunden werden, und diese persönlichen Wahrnehmungen und Verhaltensmuster zu speichern.

Der Autor ist Technikjournalist.

Weitere Infos:

Aspekte der Partizipation erforscht die Arbeitsgruppe von Professor Martin Knöll auch im Rahmen des von ihm koordinierten Forschungsbereichs „Stadtgestaltung und Mobilität“, Teil des LOEWE-Schwerpunkts „Infrastruktur – Design – Gesellschaft“, den das Land Hessen mit 3,5 Millionen Euro fördert.
www.project-mo.de

Artikel zu Inklusiver Stadtgestaltung: <https://tuprints.ulb.tu-darmstadt.de/8333>
Videodokumentation der Konferenz Accessible Hubs: www.stadtspiele.tu-darmstadt.de/hubs
Forschungskoooperation mit der Frankfurter Buchmesse: www.stadtspiele.tu-darmstadt.de/buchmesse
Artikel zur Applikation MoMe@school: <https://www.urbandesignmentalhealth.com/journal-3---mome.html>

Der Weg zum Auto mit echtem Umweltp

Der Forschungsverbund „Fahrzeug 5.0“ setzt auf Fahrzeuge, die laufend aus Betriebsdaten lernen und sich selbst optimieren. Der wissensbasierte Ansatz soll auch die Ökobilanz verbessern.

— Von Jutta Witte

„Wir verknüpfen die revolutionären Ansätze aus den Bereichen Big Data und Maschinelles Lernen mit den klassischen evolutionären Methoden der Fahrzeugentwicklung“, Professor Stephan Rinderknecht, Koordinator des Forschungsverbunds „Fahrzeug 5.0“ an der TU Darmstadt, formuliert einen visionären, einen anspruchsvollen Rahmen. Er ist überzeugt, dass neue Technologien, mit denen riesige Datenmengen in Echtzeit gesammelt, aggregiert und analysiert werden können, in Kombination mit der zunehmenden Vernetzung von Fahrzeugen neue Potenziale für einen Paradigmenwechsel in der Automobilindustrie eröffnen. Digitalisierung biete die Chance, Fahrzeugeigenschaften im laufenden Betrieb an die sich ständig verändernden Fahrt- und Umgebungsbedingungen anzupassen, anstatt sie wie bislang auf der Basis von starren Referenzmodellen und Fahrprofilen fortzuschreiben.

Der an der TU Darmstadt verankerte interdisziplinäre Verbund will diese Potenziale heben, hat bereits konkrete Anwendungsideen entwickelt und erforscht gegenwärtig die wissenschaftlichen Grundlagen, die für die Praxistauglichkeit unerlässlich sind. Dabei nehmen die Experten nicht nur die technischen Herausforderungen in den Blick, sondern auch wichtige gesamtgesellschaftliche Aspekte – etwa den Schutz von Daten und Privatsphäre, Akzeptanzfragen oder Folgekosten für Wirtschaft und Umwelt.

„Wir wollen den ökologischen Fußabdruck eines Fahrzeugs unter realen Bedingungen bewerten“, fasst Rinderknecht, Leiter des Instituts für Mechatronische Systeme im Maschinenbau (IMS), eines der übergeordneten Ziele zusammen. Wie dies in der Praxis aussehen kann, zeigen die Wissenschaftler im Rahmen des Projekts „FahrKlang“. Und dazu setzen sie an den derzeit unbefriedigenden Rahmenbedingungen an: Um heutzutage den Kraftstoffverbrauch beziehungsweise die CO₂-Emission eines Autos zu bewerten, durchläuft es ein EU-weit verbindliches Messverfahren, dem genommte, aus Durchschnittsdaten gewonnene Fahrprofile zugrunde

liegen. Dies birgt zwei Probleme: Zum einen stimmen diese Fahrprofile nur selten mit dem wirklichen Nutzungsverhalten überein. Zum anderen verlässt ein Elektrofahrzeug eine solche Prüfung mit dem Label „null CO₂-Ausstoß“. Das IMS-Team hält dies für irreführend und arbeitet deswegen auf eine sich stets aktualisierende Bewertung der Umweltwirkungen eines Autos hin. Sie soll die Gesamtökobilanz abbilden – von der Herstellung der Antriebskomponenten über die Stromerzeugung und Kraftstoffbereitstellung bis hin zur Entsorgung.

„Wir wollen den ökologischen Fußabdruck eines Fahrzeugs unter realen Bedingungen bewerten.“

„Hierfür brauchen wir Kennzahlen, die immer auf dem neuesten Stand sind, und agile Fahrzyklen, die sich auf Basis dieser Echtzeitdaten kontinuierlich anpassen“, erläutert Arved Eßer. Der IMS-Wissenschaftler zeigt, dass sich vor allem bei Elektroantrieben ein sehr differenziertes Bild ergibt. Mittels statistischer Daten des Instituts für Verkehrsforschung am DLR hat Eßer gemeinsam mit dem Forschungsteam ein breites Spektrum an Antriebskonzepten untersucht, die jeweiligen Auslegungen mit Blick auf die Umweltbelastung optimiert und deren Potenziale verglichen. Im Fokus stand dabei die Langstreckentauglichkeit der Fahrzeuge. Er

kommt zu einem differenzierten Ergebnis: „Obwohl es als Null-Emissions-Fahrzeug eingestuft wird, ist das reine Elektroauto heute für Deutschland bei realen Reichweiten von 350 Kilometern kontraproduktiv.“ Denn um ein Battery Electric Vehicle (BEV) langstreckentauglich zu machen, braucht es eine sehr große Batterie, die aber nach heutigem Stand nicht nur sehr teuer ist, sondern auch eine schlechte Ökobilanz aufweist. Gleichzeitig bietet eine solche rein elektrische Antriebs-Architektur jedoch für Reichweiten bis zu 100 Kilometern und im Stadtverkehr Vorteile, weil dort geringere Batteriekapazitäten ausreichen und ein BEV lokal emissionsfrei fahren kann.

„Für lange Strecken ist es also sinnvoller, zusätzlich einen Verbrennungsmotor und ein Mehrgang-Getriebe einzubauen, als in sehr große Batteriekapazitäten zu investieren, die statistisch belegt nur selten wirklich genutzt werden“, resümiert Eßer. So bieten unter den vielen verschiedenen Hybrid-Varianten parallele Plug-in-Hybride das größte Potenzial, also Fahrzeuge, die auch an der Steckdose aufgeladen werden können und deren Elektromotor bei Bedarf von einem Verbrennungsmotor unterstützt wird.

„Wir wollen elektrisch fahren, aber wir wollen die für die Langstrecke attraktive Technologie des Verbrennungsmotors dabei nicht über Bord werfen“, betont Rinderknecht. Wie beides möglichst effizient und ökologisch sinnvoll verknüpft werden kann, haben die Experten im Rahmen des Projekts „DE-REX“ erforscht. Das Akronym steht für „Doppel-E-Antrieb mit Range-Extender“. Range-Extender, also Reichweiten-

Informationen

Institut für Mechatronische Systeme im Maschinenbau

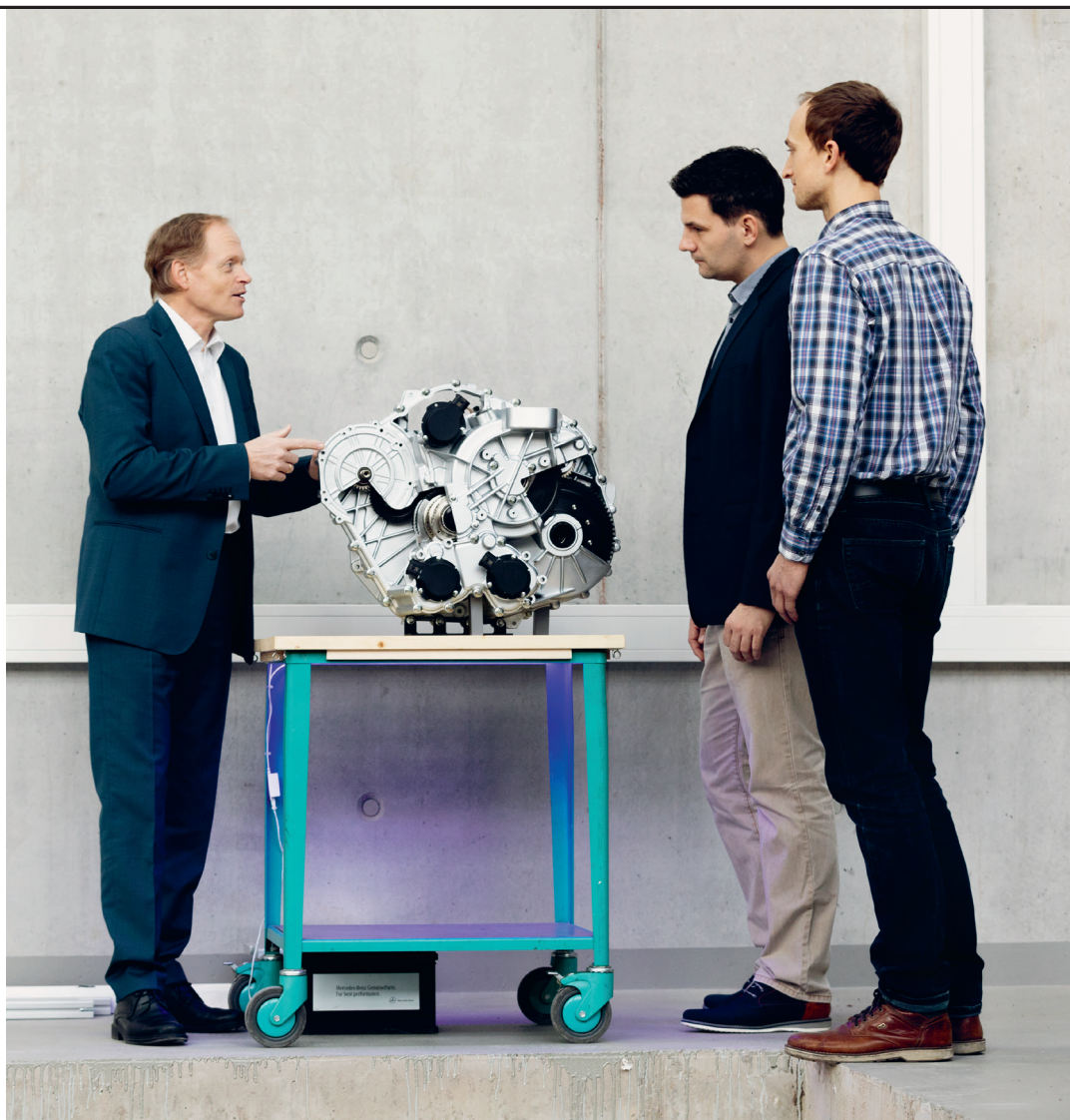
Prof. Dr.-Ing. Stephan Rinderknecht
Tel.: 06151/16-23250
rinderknecht@ims.tu-darmstadt.de
www.ims.tu-darmstadt.de

beziehungsweise die CO₂-Emission eines Autos zu bewerten, durchläuft es ein EU-weit verbindliches Messverfahren, dem genommte, aus Durchschnittsdaten gewonnene Fahrprofile zugrunde

profil

verlängerer, sind üblicherweise Verbrennungsmotoren, die einen Generator antreiben, der wiederum die Batterie und den Elektromotor mit Strom versorgen kann. Der Verbrennungsmotor kommt nur dann zum Einsatz, wenn der Ladestand der Batterie zu niedrig ist. Die an der TU Darmstadt entwickelte neue Architektur basiert auf zwei vergleichsweise kleinen Elektromotoren und einem Verbrennungsmotor, die im Gegensatz zu herkömmlichen Range-Extender-Konzepten alle drei über ein vereinfachtes automatisiertes Zweigang-Getriebe mit den Antriebsachsen des Autos verbunden werden können.

DE-REX bietet viele Betriebsmöglichkeiten, die über die Betriebsstrategie automatisiert gewählt werden. So reicht im Teillastbereich in der Regel ein Elektromotor aus, bei voller Leistungsanforderung kommen beide Maschinen zum Einsatz. Wann der Verbrennungsmotor zugeschaltet wird, entscheiden ebenfalls die Steuergeräte. Während das Teilgetriebe des einen Elektromotors schaltet, treibt der zweite das Auto weiter an, so dass keine Zugkraftunterbrechung entsteht. „Damit erhöhen wir die Gesamteffizienz und gleichzeitig den Fahrkomfort“, erklärt Andreas Viehmann, am IMS verantwortlich für die Entwicklung des „DE-REX“. Im Vergleich zeigt der Prototyp, der für Forschungszwecke noch bis 2020 zur Verfügung steht, erfolgversprechende Werte: Das Darmstädter Modell konnte die elektrische Leistung gegenüber einem vergleichbaren Serien-Hybrid-Antriebskonzept um mehr als 40 Prozent verringern, dabei aber die elektrische Reichweite des Fahrzeugs um zehn Prozent erhöhen.



Diskussion am Schnittgetriebe: Professor Stephan Rinderknecht, Andreas Viehmann und Arved Eßer (v.l.n.r.)

Abbildung: Katrin Binner

„Beide Projekte zeigen, dass wir mit unseren realfahrt- und wissensbasierten Methoden auf dem richtigen Weg sind“, sagt Stephan Rinderknecht. Für eine zielgerichtete Optimierung und Weiterentwicklung von Fahrzeugen soll das agile Modell, in das alle jeweils relevanten Parameter inklusive der realökologischen Bewertung einfließen sollen, nun weiter verfeinert werden. Auf der Forschungsagenda steht zudem die Entwicklung eines Antriebskonzepts für ein smartes ökoeffektives Universalfahrzeug, das lokal emissionsfrei in der Stadt fährt, langstreckentauglich ist, keine neuartige Infrastruktur benötigt und im Rahmen der Sektor-Kopplung auch in eine Smart-Grid beziehungsweise Smart-Home-Architektur integriert werden könnte.

Die Autorin ist Wissenschaftsjournalistin und promovierte Historikerin.

„Fahrzeug 5.0“ interdisziplinär

Der Forschungsverbund „Fahrzeug 5.0: Das wissensbasierte Automobil der Zukunft“ umfasst mit dem softwarebasierten Leichtbau, realfahrtoptimierten Antrieben und dem akzeptierten autonomen Fahren drei profilbildende Anwendungsbereiche. Querschnittsthemen sind Big Data, Human Factors, Ökonomie und Ökologie sowie Technische Methoden. Fahrzeug 5.0-Projekte laufen derzeit unter anderem am Institut für Mechatronische Systeme im Maschinenbau (IMS), am Institut für Verbrennungskraftmaschinen und Fahrzeugantriebe (VKM), am Fachgebiet für Fahrzeugtechnik (FZD), am Institut für Elektrische Energiewandlung (EW) sowie am Fachgebiet Stoffstrommanagement und Ressourcenwirtschaft (SuR) (alle TU Darmstadt). Der Verbund kooperiert unter anderem mit dem nationalen Forschungszentrum für angewandte Cybersicherheit (CRISP) sowie dem Spin-off Compredict. Die Projekte „FahrKlang“ und „DE-REX“ wurden durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie öffentlich gefördert.

www.fahrzeug5.de und www.de-rex.de

Upgrade für den Klimaschutz

Ein Forschungsteam der TU Darmstadt hat ein Verfahren zur Abscheidung von Kohlendioxid entwickelt, das überschüssigen Strom aus der Müllverbrennung nutzt.

Von Boris Hänßler

Mit der Stromproduktion beim Verbrennen von Müll Geld zu machen, ist gar nicht so einfach. Wenn sie den dabei erzeugten Strom ins Netz speisen, zahlen Betreiber von Müllverbrennungsanlagen (MVA) oft sogar drauf: Immer dann nämlich, wenn Sonne und Wind viel Energie liefern und die Strompreise an der Strombörse ins Minus drehen. „Das wird in Zukunft noch öfter der Fall sein“, sagt Bernd Eppler vom Fachgebiet Energiesysteme und Energietechnik der Technischen Universität Darmstadt.

Einen Ausweg bietet der Maschinenbau-Professor auch gleich an: Den Strom selbst zu nutzen, um Kohlendioxid, das bei der Müllverbrennung entsteht, in Methanol umzuwandeln. Das chemische Produkt lasse sich zum Dieselsatzstoff OME (Oxymethylenether) weiterverarbeiten oder als Grundstoff für die chemische Industrie verwenden, sagt Eppler. Das Verfahren nütze so der Umwelt. Die Methode treibe die Energieeffizienz voran, sagt Eppler, indem sie die sogenannte Sektorkopplung stärke, also das Vernetzen der Säulen Energie, Verkehr und Industrie. Zweitens entziehe das Verfahren der Atmosphäre CO_2 , denn MVAs verbrennen auch Holz. Da das erzeugte Methanol teils in Kunststoffen lande, binde es das vom Baum eingefangene CO_2 für längere Zeit. „Das ist Kunststoff ohne Rohöl“, hebt Eppler hervor.

In einer Versuchsanlage auf dem Campus Lichtwiese haben die Wissenschaftler ihre Methode in industriellem Maßstab getestet. Mehrere Stockwerke ragen zwei Reaktoren empor. In einem von ihnen reagiert Kohlendioxid mit Calciumoxid zu Calciumcarbonat, auch Kalkstein genannt. „Der Kalkstein ist fest und lässt sich leicht aus dem Abgasstrom entfernen“, erklärt Eppler. Im zweiten Reaktor wird das CO_2 wieder frei, indem der Kalk erhitzt wird. Die Hitze dafür kommt – und das ist neu am Verfahren – aus der Verbrennung von Abfallstoffen. „Wir kommen mit vielen Abfallsorten klar“, so Eppler. Er ist zuversichtlich, dass es in MVAs immer Nahrung für das neue Verfahren geben wird.

Nachdem reines CO_2 vorliegt, kommt der überschüssige Strom ins Spiel. Er hilft beim Umwandeln des Klimakillers in Methanol. Per Elektrolyse spaltet der Strom Wasser. Dabei entsteht Sauerstoff, der die Verbrennung der Abfallstoffe nährt, und Wasserstoff. Dieser verbindet sich mit dem CO_2 zu Methanol.

Informationen

Fachgebiet Energiesysteme und Energietechnik

Prof. Dr.-Ing. Bernd Eppler
Tel.: 06151/16-23001
bernd.eppler@est.tu-darmstadt.de
<https://www.est.tu-darmstadt.de>

Die Forschungsgruppe hat den Betrieb mit Abfall als Brennstoff optimiert, sodass zum Beispiel keine Klumpen entstehen. „Die Anlage läuft sehr stabil“, freut sich Eppler. „Wir können über 90 Prozent des CO_2 aus den getesteten Abgasen entfernen.“



Professor Bernd Eppler an der fachgebietseigenen Megawatt-Technikumsanlage.

Abbildung: Katrin Binner

Nun soll die Methode in einer Demonstrationsanlage getestet werden. Ein Projektpartner, das Kölner Entsorgungsunternehmen „Suez Deutschland GmbH“, untersucht, dieses Verfahren in seiner MVA zu integrieren. Eppler hofft, dort Anfang 2021 loslegen zu können. Der Forscher sieht eine glänzende Zukunft für das Verfahren. Die Anlage sei so konzipiert, dass sie sich leicht nachrüsten lasse. „Das Schöne ist, dass die bestehende Anlage unverändert bleibt.“ Nicht nur bei MVAs, sondern bei allen Arten von Verbrennungsanlagen. Wirtschaftlich sei die CO_2 -Abscheidung mit dem neuen Verfahren obendrein, meint Eppler. „Verglichen mit allen anderen CO_2 -Abscheideverfahren sind wir mehr als 50 Prozent günstiger.“ Nur die Elektrolyse verursache noch hohe Kosten. Doch günstigere Verfahren würden weltweit entwickelt, betont Eppler.

Der Autor ist Technikjournalist.

Projektförderung

Die beschriebene Entwicklung ist Teil des vom Bundeswirtschaftsministerium mit rund 370.000 Euro geförderten Projekts MONIKA („Methanol aus Strom und CO_2 einer Abfallverbrennungsanlage – Untersuchungen zur CO_2 -Abscheidung mit Kalkstein“). Ansprechpartner ist der wissenschaftliche Mitarbeiter Martin Haaf: martin.haaf@est.tu-darmstadt.de