

Sommer 2014



— 1 **Arbeitswissenschaft:** Ergonomie ganz groß im Kindergarten — 2 **Gedruckte Elektronik:** Chemie trifft Ingenieurwissenschaften — 3 **Kinetische Speicher:** Schwung für die Energiewende — 4 **Effizient und schadstoffarm:** Optimierte Verbrennungsprozesse

hoch<sup>3</sup>FORSCHEN / Jahrgang 3 / Juni 2014

## Bitte Zahlen!

# 12.896

Rechenkerne sind das Herzstück des Lichtenberg-Hochleistungsrechners an der TU Darmstadt, um komplexe wissenschaftliche Forschung zu ermöglichen.

Abbildung: Katrin Binner

### 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** Frotscher Druck GmbH, Darmstadt  
gedruckt auf 100 g/m<sup>2</sup> PlanoScript, FSC-zertifiziert

**Auflage** 6.000 **Nächste Ausgabe** 12. September 2014

**Leserservice** presse@pvw.tu-darmstadt.de

ISSN 2196-1506

# Ergonomie im Kindergarten

*Körperliche Gesundheit in der Kindertagesstätte: Mit dem Projekt ErgoKita wollen Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler der TU Darmstadt Arbeitsbedingungen verbessern.*

Von **Katrin Collmar**

Kleine Stühle, kleine Tische – die Inneneinrichtung von Kindertagesstätten (Kitas) ist kindgerecht und fördert die Selbstständigkeit der Kleinen. „Dass die Kita auch ein Arbeitsplatz für Erwachsene ist, geht unter“, sagt die Medizinerin Andrea Sinn-Behrendt vom Institut für Arbeitswissenschaft an der TU Darmstadt.

**Gerade die kleinen Möbel** können den Alltag für Betreuungspersonal zu einer körperlichen Belastung machen. Sitzen Erzieherinnen und Erzieher beispielsweise auf Kinderstühlen an Kindertischen, kann das den Knien schaden oder zur unnatürlichen Verdrehung des Oberkörpers führen. Die Folge: Viele leiden unter Erkrankungen des Muskel-Skelett-Systems.

**Sinn-Behrendt und ihr Team** haben gemeinsam mit dem Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Unfallversicherungen (IFA) und dem Institut für Arbeitsmedizin, Sozialmedizin und Umweltmedizin der Goethe-Universität Frankfurt den Arbeitsplatz Kita untersucht. Sie

befragten Leitung und Personal von Einrichtungen in Hessen, Rheinland-Pfalz und Nordrhein-Westfalen, beobachteten vor Ort und erarbeiteten und testeten Lösungsansätze. Die Ergebnisse sind in einem Bericht zusammengefasst und werden demnächst in einem IFA-Report veröffentlicht.

**Am Anfang des Projekts** befragten die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler die Leitungen von 264 Kitas. In jeder dieser Einrichtungen gab es Betroffene, die Beschwerden oder Erkrankungen im Bereich des Muskel-Skelett-Systems äußerten. „Zu lange hat der Fokus nur auf dem Wohl der Kinder gelegen. Doch auch die Gesundheit des Personals ist wichtig“, sagt Sinn-Behrendt. Das Team um die Medizinerin besuchte 24 der befragten Kitas, untersuchte genau die Ausstattung der Einrichtungen, vom Stuhl bis zum Wickeltisch. Außerdem veranstaltete das Team Workshops. „Wir haben direkt gefragt: Wo drückt euch der Schuh, wo können wir ansetzen?“ Und das Betreuungspersonal durfte eigene Ideen einbringen. So konnten Raumaufteilungen verbessert und Arbeitsschritte allein durch Verhaltensänderungen ergonomisch besser gestaltet werden.

**Eine Beispielsituation:** Die Kinder sitzen beim Mittagessen und die Erzieherinnen schneiden die Mahlzeit direkt am Tisch. „Dabei beugen sie sich weit runter, das ist nicht gesund“,



Im Forschungsfeld: Andrea Sinn-Behrendt.

beschreibt Sinn-Behrendt. Einfacher sei es, das Essen vorher auf Erwachsenenhöhe zu schneiden und so den Rücken zu schonen.

**In neun der Einrichtungen** wollten es die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler noch genauer wissen. Jeweils zwei Erzieherinnen wurden mit Sensoren versehen, um Bewegungen und Haltungen aufzuzeichnen und damit die Belastungen des Muskel-Skelett-Systems zu dokumentieren. „Die so ermittelten Daten passen gut zu den Befragungen. Die Hauptprobleme liegen im unteren Lendenwirbelbereich, den Knien, in den Schultern sowie im Nacken.“

**Mit den erhobenen Daten** erarbeitete die Forschungsgruppe einen Basiskatalog mit ergonomischen Gestaltungsvorschlägen für den Arbeitsplatz Kita. Die Unfallkassen stellten Geld zur Umgestaltung in sechs Einrichtungen zur Verfügung. Nach vier Wochen führten die Forscherinnen und Forscher erneut die Messungen mit den Sensoren durch und befragten das Betreuungspersonal. „Es war ein positiver Effekt zu erkennen“, sagt Sinn-Behrendt.

**Die Projektergebnisse** machen deutlich: „Die Verhältnisse in den Kitas, also beispielsweise die Möblierung, müssen sich ändern, aber auch das Verhalten des Personals“, sagt die Medizinerin. Nur einen ergonomischen Stuhl hinzustellen helfe dabei wenig, es müsse sich auch etwas in den Köpfen bewegen: „Ein Seminar, das je nach Zielgruppe optimales Verhalten oder Verhältnis vermittelt, wäre ideal.“

Die Autorin ist Wissenschaftsjournalistin.

Ein Forscher, der das komplexe System aus Funktion, Material und Anwendung im Blick hat: Prof. Jörg J. Schneider.



Bild: Katrin Binner

# Gedruckte Elektronik

*Das Merck TU Darmstadt Lab vereint Grundlagenforschung und Anwendung. Wissenschaftler aus Universität und Industrie entwickeln hier drucktaugliche Materialien für Elektronikkomponenten.*

— Von Uta Neubauer

Klaus Bonrad bringt Interessen von Chemikern und Maschinenbauern, Elektrotechnikern und Materialwissenschaftlern unter einen Hut. Der Chemiker, angestellt beim Unternehmen Merck in Darmstadt, leitet ein Labor, das die TU und das Chemieunternehmen vor acht Jahren gegründet haben: das Merck TU Darmstadt Lab, präsent auf dem Campus Lichtwiese.

„Dass Industrie und Hochschule auf engem Raum zusammenarbeiten, mag ungewöhnlich sein, ist aber sehr befruchtend“, betont Chemieprofessor Jörg J. Schneider, der sich seit dem Start im Jahr 2006 an der Forschungskooperation beteiligt. Laborleiter Bonrad ist seit 2011 dabei. Er kümmert sich nicht nur um die reibungslose interdisziplinäre Zusammenarbeit, sondern bewägt obendrein den Spagat zwischen Grundlagenforschung und industrieller Anwendung. „Was wir hier machen, muss für beide Partner interessant sein, sonst verliert eine Seite irgendwann die Lust“, lautet seine Devise.

Zum Erfolgsrezept zählt, dass sowohl die Interessen der Industrie als auch die der Forscher der Universität gewahrt sind. Merck und die TU

*„Wir sind als Forschungskooperation gestartet, nicht als produktgetriebenes Projekt.“*

schützen die im Rahmen der Kooperation entwickelten Erfindungen durch Patente, die Uni-Wissenschaftler publizieren die gewonnenen Erkenntnisse ohne Einschränkungen zeitnah nach der Erfindungsmeldung. Das Konzept geht auf: Weit über ein Dutzend wissenschaftliche Publikationen in international renommierten Fachzeitschriften, zahlreiche Konferenzbeiträge und sechs Patente hat das Lab bereits hervorgebracht. Auch Studierende profitieren von der Forschungsallianz. Sie können im Lab ihre Studien-, Bachelor- und Masterarbeiten durchführen. Es motiviere die Studierenden ungemein, wenn sie die enge Verknüpfung von grundlagen- und anwendungsgetriebener Forschung sehen, hebt Schneider hervor.

Der Forschungsschwerpunkt des Lab-Teams liegt auf gedruckter Elektronik. Noch werden Dünnschichttransistoren für Displays und andere feinstrukturierte Elektronikkomponenten in aufwendigen Vakuum- und Ätzverfahren hergestellt. Dabei könnten Drucktechniken die Prozesse deutlich effizienter gestalten. Das A und O solcher Verfahren sind druckbare Materialien, etwa Tinten, die anstelle von Farbstoffen halbleitende oder dielektrische Substanzen beziehungsweise deren Vorläufermoleküle enthalten. Das Merck TU Darmstadt Lab deckt die gesamte Wertschöpfungskette ab. Die Forscher entwickeln nicht nur die elektronisch aktiven Substanzen, sie stellen daraus auch drucktaugliche Formulierungen her, die sie an verschiedenen Druckmaschinen testen. „Unsere Philosophie

besteht darin, stets das komplexe System – also Material, Funktion und Anwendung – im Blick zu haben“, betont Schneider. Bereits das Verständnis und die Entwicklung der Halbleitermaterialien ist eine Herausforderung: Sie sollen nicht nur gute elektronische Eigenschaften besitzen, sondern sie, beziehungsweise ihre Vorläufersubstanzen, müssen sich – damit man aus ihnen überhaupt eine Tinte herstellen kann – zudem in einer Flüssigkeit lösen oder fein verteilen lassen. Außerdem sollen sie anschließend fest auf dem Druckträger haften.

Die Grundlage der im Darmstädter Labor entwickelten Halbleiter und Dielektrika bilden anorganische Oxide, vor allem Zinkoxid, das mit Indium oder auch mit Gallium dotiert ist. Organische Substanzen lassen sich zwar leichter zu Tinten verarbeiten, sind den anorganischen in puncto Stabilität und elektronischen Eigenschaften aber deutlich unterlegen. Zudem sind geeignete organische Moleküle meist farbig – eine Eigenschaft, die beim Bedrucken von Glas oder transparenten Folien stört. Wer sein Smartphone anschaltet, möchte die Icons schließlich nicht durch einen Gelbschleier sehen. Nanostrukturiertes Zinkoxid hingegen ist transparent.

Die Spezialität der Darmstädter Wissenschaftler ist, dass sie die Oxide in Form von drucktauglichen organisch-anorganischen Hybridmaterialien einsetzen. Die gedruckten Strukturen müssen anschließend noch auf über 200 Grad Celsius erhitzt werden, wobei sich die Vorläufersubstanz kontrolliert umwandelt. „Der Temperaturschritt erzeugt die richtige chemische Zusammensetzung und bringt die Bausteine zudem in die erforderliche Anordnung. Erst dadurch bilden sich die markanten elektronischen Eigenschaften aus“, erläutert Schneider. Gedruckt wird auf Silizium, Glas oder hitzestabilem Spezialkunststoff. Herkömmliche Folien hingegen eignen sich nicht – sie wellen sich oder schmelzen gar durch die Wärme. „Mit der Problematik der notwendigen Temperaturbehandlung kämpfen wir noch“, räumt Schneider ein. Auch nach einem Ersatz für Indium, das zu den kritischen Rohstoffen zählt und zukünftig knapp werden könnte, suche man bereits.

## Merck TU Darmstadt Lab

Das 2006 gegründete Merck TU Darmstadt Lab ist eine Forschungsallianz zwischen dem Darmstädter Chemie- und Pharmaunternehmen Merck und sechs Arbeitsgruppen der TU aus der Chemie, der Materialwissenschaft, der Elektrotechnik und dem Maschinenbau. Die Laborräume befinden sich im Eduard-Zintl-Institut für Anorganische und Physikalische Chemie auf dem Campus Lichtwiese. Hier forschen drei Mitarbeiter von Merck gemeinsam mit sechs TU-Wissenschaftlern, meist Doktoranden oder Postdoktoranden. Merck finanziert alle Mitarbeiter, die TU stellt Räume und Infrastruktur, Materialkosten werden geteilt. Besonders attraktiv für Merck ist der Zugang zum Know-how der beteiligten Fachbereiche. Die Kooperation war ursprünglich auf fünf Jahre angelegt, wurde aber wegen des Erfolgs bis Ende 2015 verlängert.

Das Lab-Team stellt die elektronisch aktiven Materialien in Mengen von etwa zehn bis 20 Gramm her. Die Druckmaschinen benötigen zum Testen nur wenige Milliliter Tinte. Das reicht für den Nachweis, dass die Technik im Prinzip funktioniert. Um die weiteren Schritte auf dem Weg zur Anwendung – um das Upscaling der Produktion oder die genaue Rezeptur der Tinte, die dem jeweiligen Druckverfahren angepasst werden muss – kümmert sich der Industriepartner allein. Ziel des gemeinsamen Labs sei schließlich nicht die Entwicklung eines marktreifen Produkts, betont Bonrad: „Wir sind als Forschungskooperation gestartet, nicht als produktgetriebenes Projekt.“ Dieser Ansatz gibt den Wissenschaftlern so viel Spielraum, dass sie bei neu entwickelten Substanzen nicht nur an Anwendungen in der Elektronik denken. Ein im Lab getestetes Zirkoniumdioxid etwa zeichnet sich durch eine extreme Härte aus – ideal für die Verwendung als Schutzschicht. Auch daraus könnte ein Produkt werden. Schließlich hat Bonrad den direkten Draht zu Kollegen bei Merck, die sich mit kratzfesten Schichten beschäftigen.

Die Autorin ist Wissenschaftsjournalistin und promovierte Chemikerin.

## Informationen

### Merck TU Darmstadt Lab

Prof. Jörg J. Schneider  
Alarich-Weiss-Str. 12, 64287 Darmstadt  
Telefon: 06151/16-3225  
E-Mail: joerg.schneider@ac.chemie.tu-darmstadt.de

# Schwung zur Energiewende

Ein Team der TU Darmstadt prüft, wie kinetische Energiespeicher gestaltet, ausgelegt und betrieben werden müssen, um unter den Bedingungen der Energiewende rentabel zu sein.

Von Hildegard Kaulen

Der Wunsch Energie zu speichern, ist so alt wie die Menschheit. Die älteste technische Lösung ist die Speicherung in Form von Bewegungsenergie. Nach diesem Prinzip funktioniert zum Beispiel die Töpferscheibe. Da der Ton nicht gleichzeitig geformt und die Scheibe gedreht werden kann, wird die Töpferscheibe erst in Schwung gesetzt und das Werkstück dann mit dem auslaufenden Schwung geformt. Sind kinetische Speicher, bei denen die Energie wie bei der Töpferscheibe in der Rotation einer Schwungmasse gespeichert wird, eine energieeffiziente Technologie, um minutenlange Schwankungen bei der Stromerzeugung aus erneuerbaren Energiequellen auszugleichen?

Hendrik Schaede und Professor Stephan Rinderknecht vom Institut für Mechatronische Systeme im Maschinenbau der TU Darmstadt und weitere Kollegen nähern sich dieser Frage auf mehreren Ebenen. Das Team interessiert sich nicht nur für die Bauform mit der höchsten Energie- und Leistungsdichte, den geringsten Energieverlusten und der kompaktesten Bauweise, sondern auch dafür, wie kinetische Speicher betrieben werden müssen, damit sie im hochregulierten Strommarkt der Bundesrepublik konkurrenzfähig sind. „Wir haben einen ganzheitlichen Ansatz gewählt“, erklärt Stephan Rinderknecht die Strategie seines Teams. „Über die Wirtschaftlichkeit entscheiden nämlich auch andere Fragen: Wann soll wie viel Energie aufgenommen und wieder abgegeben werden? Wie hoch sind die Anschaffungs- und Betriebskosten? Welche Lebensdauer haben die Systeme? Wie sieht der Wartungsaufwand aus und wie hoch ist der finanzielle Nutzen?“, so Rinderknecht im Gespräch. Er sieht in den kinetischen Energiespeichern zurzeit nur eine Nischenanwendung, hofft aber, dass sich diese Nischen bald deutlich vergrößern werden.

Warum sind Energiespeicher heute so interessant? „Das wachsende Interesse hat mit den Bedingungen und Strukturen der Energiewende zu tun“, erklärt Hendrik Schaede, der das Projekt seit Jahren vorantreibt. Die Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien schwankt stärker als die Stromerzeugung im konventionellen Kraftwerksbetrieb. Wenn die Sonne nicht scheint und der Wind nicht bläst, entsteht kein Strom. Das kann zu einem Ungleichgewicht zwischen erzeugter und verbrauchter Energie führen und ohne Gegenmaßnahmen eine Instabilität des Stromnetzes nach sich ziehen. Außerdem wird Strom heute nicht mehr nur zentral in Großkraftwerken erzeugt, sondern auch dezentral in Photovoltaik-Anlagen oder Windrädern vor Ort.

## Informationen

**Institut für Mechatronische Systeme im Maschinenbau**  
Prof. Dr.-Ing. Stephan Rinderknecht  
Otto-Berndt-Str. 2, 64287 Darmstadt  
Telefon: 06151/16-2074  
E-Mail: rinderknecht@ims.tu-darmstadt.de

„Dezentrale Energiespeicher können helfen, eine sichere Stromversorgung zu gewährleisten, Netze ohne aufwendigen Netzausbau zu stabilisieren und die Stromversorgung insgesamt zuverlässiger zu machen“, erklärt Lukas Quurck, der ebenfalls an dem Projekt beteiligt ist.

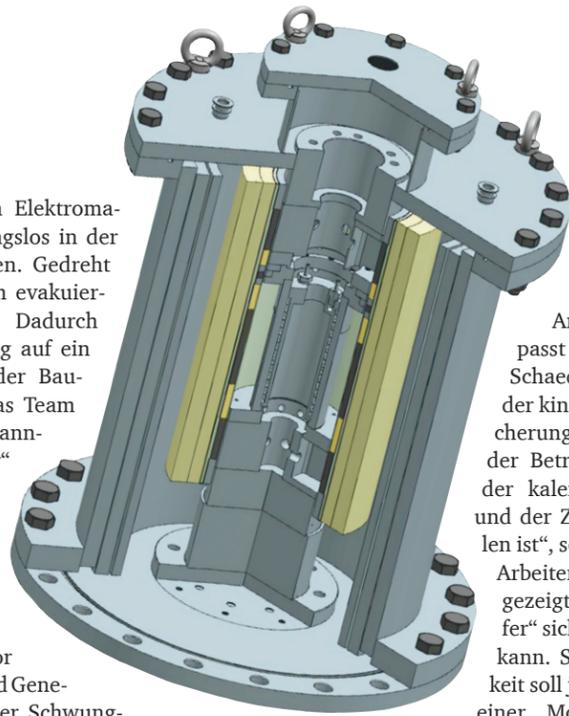
Derzeit sind die meisten kinetischen Energiespeicher in den Vereinigten Staaten im Einsatz, weil dort die nötigen Rahmenbedingungen für eine wirtschaftliche Nutzung geschaffen wurden. Da Schwungräder die gespeicherte Energie in relativ kurzer Zeit abgeben, werden sie in den Vereinigten Staaten bereits zur Stabilisierung des Stromnetzes eingesetzt. Im deutschen Stromnetz wird diese Aufgabe derzeit noch von den Kohle- und Atomkraftwerken übernommen. Welche Rolle kinetische Energiespeicher in Zukunft in Deutschland spielen werden, ist derzeit noch offen. „Niemand weiß, wie sich das Stromnetz und die politischen Rahmenbedingungen hierzulande weiterentwickeln werden“, erklärt Rinderknecht im Gespräch. „Es kann durchaus sein, dass kinetische Speicher bald zunehmend interessanter werden.“

Wie sieht nun der kinetische Speicher aus, den Schaede, Quurck, Maximilian Schneider und Michael Richter mit finanzieller Unterstützung der Hessenagentur und zusammen mit den Projektpartnern compoScience GmbH

und Mecatronix AG entwickelt haben? Um das Testsystem beurteilen zu können, ist ein kurzer Blick auf die physikalische Formel für die kinetische Energie nötig. Diese wird umso größer, je schneller sich das Schwungrad dreht und je größer sein Radius ist. Die Masse des Schwungrads spielt für die Energiespeicherung nur eine untergeordnete Rolle. Das Schwungrad ist daher aus faserverstärktem Kunststoff, nicht aus Stahl. Es ist auch nicht konventionell gelagert, sondern

## Die beteiligten Einrichtungen sind:

- Die **Mecatronix AG** wurde vor 14 Jahren als Spin-Off des Fachgebiets Mechatronik und Maschinenakustik der TU Darmstadt gegründet. Derzeit arbeiten 13 Mitarbeiter für das Unternehmen. Mecatronix hat die berührungsfreie Magnetlagerung des „Außenläufers“ entwickelt. [www.mecatronix.de](http://www.mecatronix.de)
- Die **CompoScience GmbH** ist ein 2006 gegründetes Spin-Off der TU Darmstadt mit zurzeit sechs Mitarbeitern. Das Unternehmen ist auf Leichtbaulösungen mit Faserverbundwerkstoffen spezialisiert und hat das Engineering und die Hardware des CFK-Rotors beigesteuert. [www.composcience.de](http://www.composcience.de)
- Die **η-Fabrik** ist eine reale Demonstrator-Fabrik für Energieeffizienztechnologien auf dem Campus der TU Darmstadt, in der die Forschungsergebnisse einem breiten Publikum anschaulich vorgestellt werden. [www.eta.fabrik.de](http://www.eta.fabrik.de)

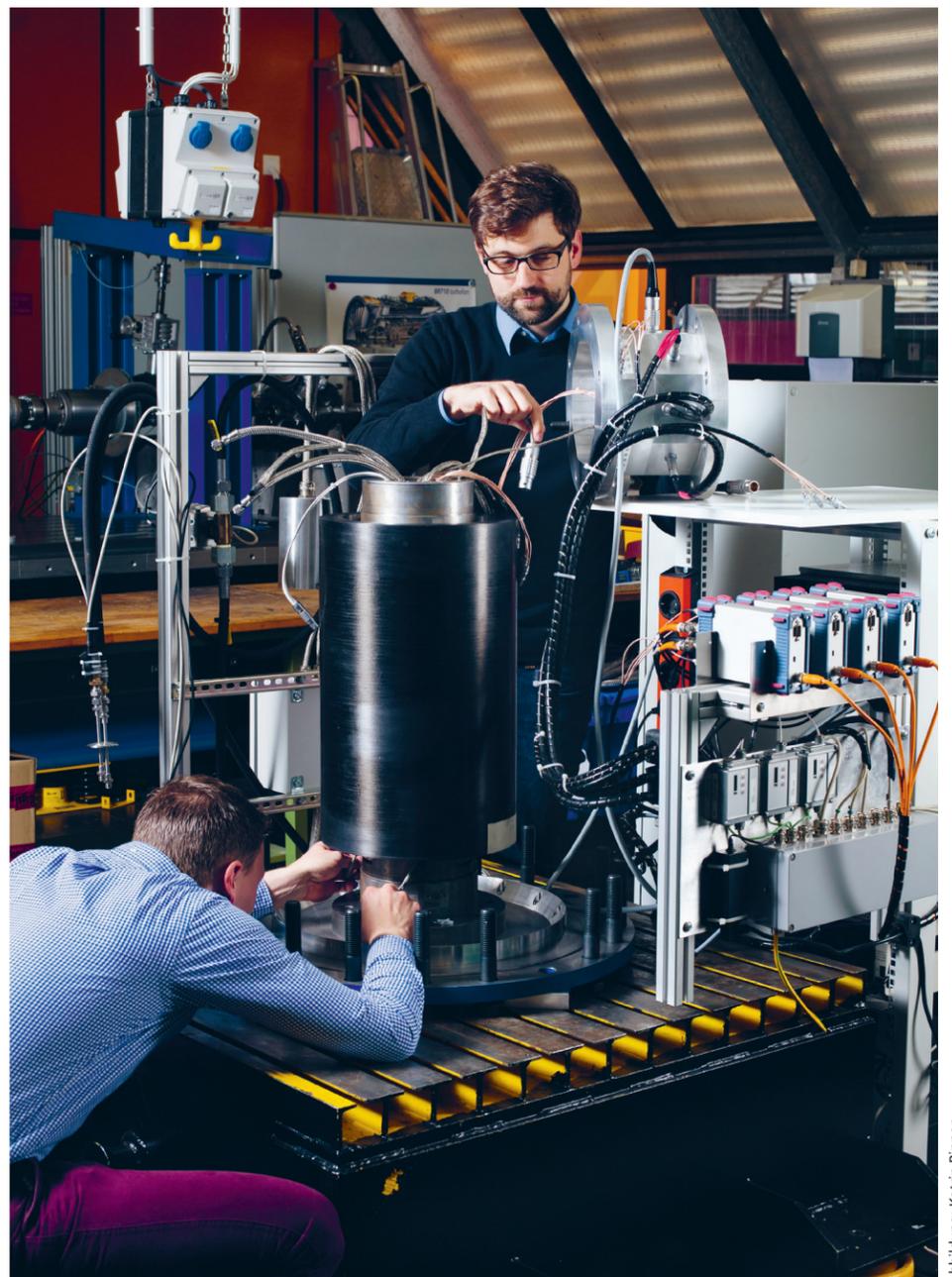


Vakuumbehälter im Längsschnitt: System inklusive Berstscheibe im Detail.

wird über einen Elektromagneten berührungslos in der Schwebe gehalten. Gedreht wird es in einem evakuierten Container. Dadurch sinkt die Reibung auf ein Minimum. Bei der Bauform hat sich das Team für einen sogenannten „Außenläufer“ entschieden. Die Schwungmasse ist in diesem Fall ein außen angebrachter Hohlzylinder, der um einen Stator rotiert. Motor und Generator sind Teil der Schwungmasse und erhöhen die Massenträgheit des Rotors. Das System hat den höchsten Integrationsgrad. Kapazität und Leistung können beinahe beliebig skaliert werden. „Es war

uns wichtig, einen Energiespeicher zu entwickeln, der an die verschiedenen Anforderungen angepasst werden kann“, sagt Schaede. „Zu den Vorteilen der kinetischen Energiespeicherung gehört zudem, dass der Betrieb unabhängig von der kalendarischen Alterung und der Zahl der Ladungszyklen ist“, so Schaede weiter. Die Arbeiten des Teams haben gezeigt, dass der „Außenläufer“ sicher betreiben werden kann. Seine Alltagstauglichkeit soll jetzt in der „η-Fabrik“, einer Modellfabrik der TU Darmstadt, erprobt werden.

Die Autorin ist Wissenschaftsjournalistin und promovierte Biologin.



Nachwuchsforscher am Prüfstand mit Stator und Rotor: Michael Richter (li.) und Hendrik Schaede.

Abbildung: Katrin Birner

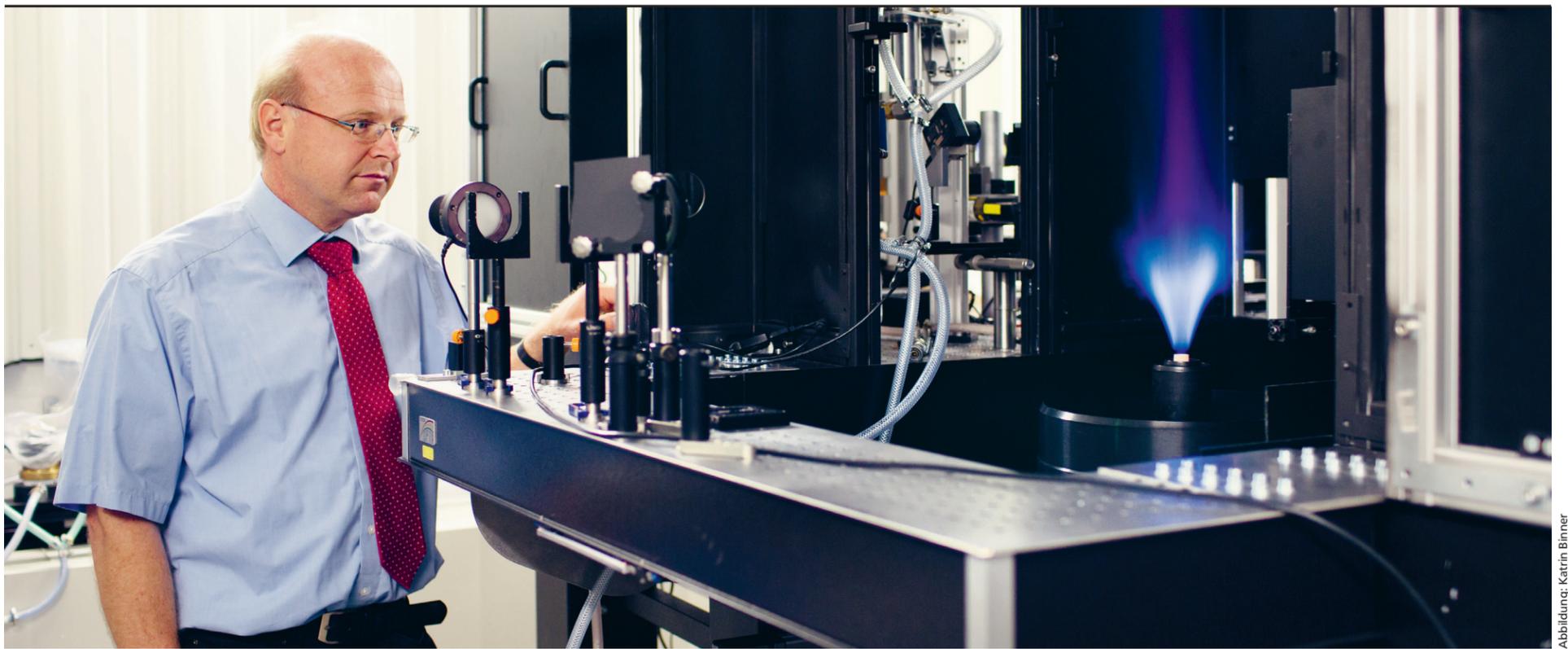


Abbildung: Katrin Binner

# Turbulenzen um die Flamme

*Optimierte Verbrennungsverfahren sollen für mehr Effizienz und weniger Emissionen sorgen. Die Experten vom Fachgebiet Reaktive Strömungen und Messtechnik erforschen hierfür die Grundlagen.*

— Von Jutta Witte

Die Flamme, die waagrecht in den Versuchstand schießt, ist rund einen Meter lang und hat eine Besonderheit: Sie entzündet sich auf einer stabilen Höhe immer wieder selbst. Diesen Effekt, der bei Dieselmotoren erwünscht ist, aber etwa bei Flugzeugtriebwerken zu Problemen führen kann, untersucht Felix Eitel in einer Maschinenhalle der TU Darmstadt. „Mich interessiert vor allem, wie die Strömungseigenschaften der Luft die Selbstzündung beeinflussen“, erklärt der Doktorand. „Diesen turbulenten Prozess im Labor zu simulieren ist sehr schwierig“.

Mit einer übergroßen Mikrowelle erhitzt der Wissenschaftler die aus einem Glasrohr strömende Luft auf rund 11.000 Grad. Aus einer kleinen Lanze mitten im Rohr tritt der Treibstoff hinzu und verbindet sich mit der heißen Luft. Mit einer Hochgeschwindigkeitskamera kann Eitel nun festhalten, was in der Fackel passiert und mit Hilfe eines Laserlichtbandes untersuchen, wie sich die am Verbrennungsprozess beteiligten Moleküle verhalten. Bis zu vierzig Messungen pro Sekunde sind so möglich. Eitels Versuchstand ist einer von zehn, die das Fachgebiet Reaktive Strömungen und Messtechnik derzeit in Betrieb hat. „Unsere Aufgabe ist es, ein grundlegendes Verständnis über die einzelnen Phänomene und ihre Wechselwirkungen zu erlangen“, erklärt Fachgebietsleiter Andreas Dreizler. Ziel sei es, die Entwicklung neuer Methoden voran zu treiben, die langfristig zu Verbesserungen der Verbrennungstechnologie führen sollen. Noch immer basieren nach Angaben des Experten 80 Prozent der Verbrennungsprozesse in der Industrie, in der Energieversorgung und im Straßenverkehr auf fossilen Energieträgern.

Die Steigerung der Effizienz und die Minimierung des Schadstoffausstoßes sind vor allem mit Blick auf die Energiewende die vordringlichen Aufgaben im Bereich der klassischen Verbrennungsverfahren. Diese anhand verschiedener Messparameter so präzise wie möglich zu analysieren und am Ende belastbares Datenmaterial für die Entwicklung mathematischer Simulationsmodelle zu liefern ist die Herausforderung, vor der Dreizler und seine 22 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter tagtäglich stehen.

Denn eine genaue Prognose, wie die Wechselwirkung zwischen den sich stets ändernden turbulenten Strömungen mit ihren vielen kleinen Wirbeln, und den chemischen Reaktionen, die während einer Verbrennung ablaufen, jeweils aussieht, ist eigentlich nicht möglich. „Wir wissen, dass ähnlich wie beim Wetter kleinste Veränderungen der Rahmenbedingungen große Auswirkungen haben können“, erklärt Leibniz-Preisträger Dreizler. „Aber dennoch stehen wir immer wieder vor einem deterministischen Chaos.“ Mit ihren Versuchen können die Wissenschaftler immer nur einen „Teil der Realität“ erforschen und hieraus empirische Regeln oder Tendenzen ableiten. Einer davon ist die so genannte Flamme-Wand-Reaktion. Was dies in der Praxis ist, lässt sich am Phänomen des Kaltstarts erläutern. Die Abgaswolken, die im Winter morgens aus Auspuffen qualmen, entstehen, wenn in den ersten Sekunden des Starts der Katalysator noch nicht richtig läuft und die Flamme im Motor auf die kalte Wand des Brennraums trifft. Die Wand entzieht der Flamme die Wärme bis sie erlischt; die Reaktion bricht ab. Dies ist ineffizient und erhöht die Konzentration der Schadstoffe Kohlenmonoxid und Kohlenwasserstoff.

Vor allem die Bestimmung des Kohlenmonoxid-Anteils im Brennraum ist wichtig, weil dieser Aufschluss darüber gibt, ob der Verbrennungs-

prozess abgeschlossen ist, beziehungsweise wie weit er fortgeschritten ist. „Je weniger CO desto besser“, sagt Christopher Jainki. 30 Prozent des Kohlenmonoxids gehen nach seinen Angaben auf die Reaktion der Flamme an der Wand zurück. An seinem Versuchstand verfolgt der 28jährige die Flamme auf ihrem Weg durch den Brennraum in einem Wandabstand von zwei Zentimetern bis zu zehn  $\mu\text{m}$ , misst dabei Temperatur und CO-Konzentration gleichzeitig und beobachtet, wie beide sich mit der geringer werdenden Entfernung zur Wand verändern.

Bei beiden Messungen kommen laserdiagnostische Verfahren zum Einsatz, die ihren Ursprung in der Spektroskopie haben, den zu untersuchenden Brennprozess im Gegensatz zu Sensoren

nur wenig stören und eine zeitlich und räumlich deutlich bessere Auflösung ermöglichen. So werden etwa die Kohlenstoffmoleküle, die der Strömung folgen, auf ein höheres Energieniveau gebracht. Beim Absinken dieses Niveaus senden sie binnen Nanosekunden Licht aus und lassen so Rückschlüsse auf ihre Konzentration zu. Pro Versuchsreihe

nimmt Jainki rund vierzig Messpunkte in unterschiedlichen Konfigurationen unter die Lupe. Zehn Messungen pro Sekunde liefert sein Versuchstand.

Um den Faktor zwei, wissen die Experten mittlerweile, erhöht sich die CO-Konzentration an der Wand des Brennraums im Vergleich zu einer ungestörten Flamme. „Bis wir genügend valide Messdaten haben, kann es manchmal Jahre dauern“, berichtet Dreizler. Bei der Optimierung von Verbrennungsprozessen ist sein Team die erste Adresse. Die von den Verbrennungsspezialisten erhobenen Daten bilden die Grundlage für die Arbeit der Mathematiker, die zum Beispiel am Center of Smart Interfaces der TU Darmstadt die Simulationen für die numerische Strömungsmechanik entwickeln.

*„Wir wollen alle Phänomene und Wechselwirkungen des Verbrennungsprozesses grundlegend verstehen.“*

Ausgezeichneter Verbrennungsforscher:  
Leibniz-Preisträger Prof. Andreas Dreizler.

Das Fachgebiet Reaktive Strömungen und Messtechnik (Teil des Center of Smart Interfaces) ist an Verbundprojekten beteiligt:

- Sonderforschungsbereich Transregio 75: Tropfendynamische Prozesse unter extremen Bedingungen
- Sonderforschungsbereich Transregio 129: Oxyflame – Entwicklung von Methoden und Modellen zur Beschreibung der Reaktion fester Brennstoffe in einer Oxyfuel Atmosphäre
- Paketvorhaben der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG): Modellierung, Simulation und experimentelle Untersuchung von turbulenten vorgemischten Flammen und geschichteten Vormischflammen unter technisch relevanten Bedingungen
- Verbundprojekt der DFG und Forschungsvereinigung Verbrennungskraftmaschinen e.V. (FVV): Numerische Simulation und Validierung der Selbstzündung und Verbrennung
- AG Turbo 2020: Vom Bundeswirtschaftsministerium gefördertes Teilverbundprojekt Verbrennung
- Verbundvorhaben des Bundesministeriums für Bildung und Forschung: Innovative Extinktionsphotometrie zur Charakterisierung eines mehrkomponenten-Aerosols und zur Feuchtemessung

Neben der Entwicklung von Messdaten für die Verbesserung der klassischen Verbrennungsprozesse kommen mit der Energiewende nun auch neue Aufgaben auf die Verbrennungswissenschaft zu. So können etwa Brennstoffe aus Biomasse ein völlig anderes Vergasungsverhalten aufweisen. Im Methangas, das aus überschüssigen regenerativen Energien gebildet und gespeichert wird, kann eine Erhöhung des Wasserstoffgehalts zu einer anderen Flammendynamik führen. „Wir haben es hier mit neuen Eigenschaften zu tun, die die Stabilität der Flamme beeinflussen“, sagt Dreizler. Fortschritte in der Verbrennungstechnologie sind für ihn auch Teil der Lösung, wenn es darum geht, die Schwankungen in der Erzeugung von Wind- und Sonnenenergie auszugleichen, Verbrennungssysteme also im Rahmen des Lastmanagements schneller und flexibler geregelt werden müssen. Nicht zuletzt ergeben sich nach seiner Überzeugung auch „hochspannende“ Fragen zwischen Verbrennungs- und Materialforschung: „Denn das, was verbrennungstechnisch möglich ist, scheidet am Ende vielleicht an den Komponenten und ihrer Lebensdauer.“

Die Autorin ist Wissenschaftsjournalistin und promovierte Historikerin.

## Informationen

Fachgebiet Reaktive Strömungen und Messtechnik

Prof. Dr. Andreas Dreizler

Alarich-Weiss-Str. 10; 64287 Darmstadt

Telefon: 06151/16-6610

E-Mail: dreizler@csi.tu-darmstadt.de