

Akustik an der Startbahn West

Flugzeuge am Boden umweltfreundlich und kraftstoffsparend manövrieren – das ist das Ziel des Flughafen-Projekts Airport eMove. Der Betriebslärm könnte deutlich verringert werden.



Abbildung: Lufthansa LEOS

Schleppen zur Startposition.

Von Katrin Collmar

Lauter, Treibstoff fressende Flugzeugtriebwerke laufen schon Minuten vor dem Start. Denn beim sogenannten Taxiing steuern die Piloten mit den leistungsstarken Triebwerken ihre Maschine vom Flugsteig in die Startposition. Das verbraucht Kerosin, verursacht Abgase – und ist laut.

Geht es um Flugzeuge und Lärm, steht trotzdem häufig der Überfluglärm im Vordergrund. „Mit dem Bodenlärm an Flughäfen befasst sich kaum jemand“, sagt Katja Hein. Die Ingenieurin promoviert am Institut für Flugsysteme und Regelungstechnik der TU Darmstadt und begleitet das Projekt Airport eMove wissenschaftlich. Zusammen mit der Lufthansa, der Lufthansa LEOS und der Lufthansa Technik arbeitet ein Forschungs-Team daran, die Vorgänge auf dem Rollfeld zu elektrifizieren. Was dort heute Kraftstoff verbraucht, soll in Zukunft elektrisch werden.

TaxiBot beispielsweise ist ein Hybridschlepper, bestückt mit zwei Dieselgeneratoren und einem elektrischen Antrieb für die Räder. Er könnte in Zukunft, gesteuert vom Piloten, die Flugzeuge auf die Startbahn ziehen. „Dadurch würde Kerosin eingespart und möglicherweise könnten sich auch die

Schadstoffemissionen und der Lärm reduzieren“, sagt Hein. Das Team um die Forscherin soll prüfen, wie effektiv das ist. Vor Ort vergleichen sie die verschiedenen neuen Technologien mit den bisherigen Standards. Immer mit im Gepäck sind Ohrstöpsel. „Ohne ist der Lärm nicht auszuhalten“, erzählt Hein. Doch wie laut ist ein Flugzeug wirklich, wenn es beim Taxiing mit den eigenen Triebwerken auf die Startbahn rollt? Und wie laut ist es, wenn es vom TaxiBot gezogen wird?

Nachts ist die beste Zeit für Hein und ihr Team, um das herauszufinden. Nur dann sind die störenden Hintergrundgeräusche am Frankfurter Flughafen gering – dank des Nachtflugverbots. Trotzdem ist das Zeitfenster für die akustischen Messungen kurz. Nur 20 Minuten bleiben den Forschern, denn gerade wegen des Verbots dürfen die lauten Triebwerke nachts nur mit Sondergenehmigung laufen. „Auch die Wetterbedingungen müssen stimmen“, berichtet Hein. Starker Regen bedeute ebenso störende Geräusche. Passen die Bedingungen auf der Startbahn West und sind die Mikrofone aufgebaut, fährt ein Flugzeug erst aus eigener Kraft und dann gezogen vom TaxiBot an der Messstation vorbei. „Schon während der Messungen haben wir den Lautstärkeunterschied extrem wahrgenommen“, sagt Hein. Die gemessenen Werte bestätigen das: 102 Dezibel laut ist das übliche Taxiing, 86 Dezibel das neue TaxiBotting. Dieser Unterschied ist beachtlich, denn nimmt ein Geräusch um 10 Dezibel ab, so halbiert sich die vom Menschen subjektiv wahrgenommene Lautstärke.

Doch damit ist nicht genug getan. „Wir müssen auch untersuchen, wie und ob sich das auf die Lebensqualität der Menschen in der Region auswirkt.“ Deshalb dienen Hein die Messungen als Grundlage für eine Simulation der Lärmentwicklung in einem Radius von rund zehn Kilometern. Zusätzlich möchte die Wissenschaftlerin das Flughafenpersonal, die Passagiere sowie die Bevölkerung befragen. „Fluglärm und Flughafenlärm ist groß in der Diskussion und wir wollen unseren Teil dazu beitragen.“

Die Messungen mit dem TaxiBot sind abgeschlossen. Jetzt stehen Versuche mit dem eSchlepper und dem eTaxi an. „Am Ende werden wir hoffentlich sehen, dass sich der Lärm auf und um Flughäfen beim Nutzen neuer Technologien verringert.“

Die Autorin ist Wissenschaftsjournalistin.

Frühjahr 2014/15



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/m²
PlanoScript, FSC-zertifiziert

Auflage 6.000

Nächste Ausgabe
16. Juni 2015

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 **Flugzeugtechnik**: Leise und sparsam auf die Startbahn rollen
- 2 **Bleifreie Materialien**: Pizeoelektrische Keramiken
- 3 **Mathematische Optimierung**: So werden Erdgas-Netze effizient
- 4 **Brandschutz**: Digitale Technik und Modelle machen Gebäude sicherer

Eine Zukunft ohne Blei

Der Sonderforschungsbereich 595 an der TU Darmstadt hat viel Wissen zu bleifreien piezoelektrischen Keramiken generiert. Eine Bilanz.

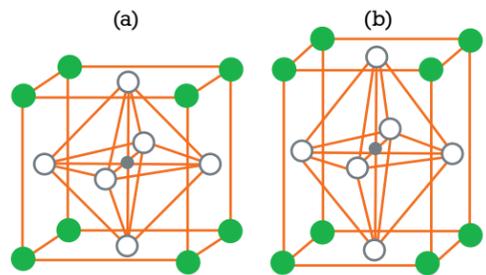
Von Hildegard Kaulen

Wer einen Dieselmotor startet, eine Einparkhilfe benutzt oder ein Mikroskop bedient, wird dabei nicht ohne weiteres an piezoelektrische Keramiken denken. Aber die Einspritzung des Kraftstoffs, die Positionierung des Autos und die Justierung des Mikroskops geschieht mit Hilfe von Piezoelementen. Diese werden in der Regel aus ferroelektrischen, polykristallinen Keramikwerkstoffen gefertigt. Allerdings gibt es ein Problem: Alle technischen Standardlösungen arbeiten mit Materialien auf Basis von Blei-Zirkonat-Titanat (PZT) oder Blei-Magnesium-Niobat (PMN). Bei der Herstellung und Entsorgung dieser Keramiken entsteht giftiges Bleioxid. Es gibt daher einen erheblichen umweltpolitischen Druck, bleifreie Alternativen zu finden, zumal Bauteile aus bleihaltigen Keramiken im Gegensatz zur Autobatterie nicht in geschlossenen Stoffkreisläufen recycelt werden können. Bisher sind allein über 20 Millionen Einspritzpumpen mit Piezo-Injektor in Dieselmotoren eingebaut worden. „Wir brauchen für solche Anwendungen dringend bleifreie Alternativen“, bringt Professor Karsten Albe die Situation auf den Punkt. Albe leitet das Fachgebiet „Materialmodellierung“ und war zuletzt Sprecher des nunmehr ausgelaufenen Sonderforschungsbereichs (SFB) 595 „Elektrische Ermüdung in Funktionswerkstoffen“ an der TU Darmstadt. Die an dem SFB beteiligten Gruppen haben deshalb alternative bleifreie Keramiken entwickelt und zur Anwendung gebracht.

„Wir werden die Erfahrungen bei der Entwicklung ressourcenschonender Substitutionswerkstoffe nutzen.“

Informationen

Fachbereich Material- und Geowissenschaften
Prof. Dr. rer. nat. Karsten Albe
Jovanka-Bontschits-Straße 2, 64287 Darmstadt
Telefon: 06151/16-63 74
E-Mail: albe@mm.tu-darmstadt.de
Webseite des SFB: www.sfb595.tu-darmstadt.de



Wie funktionieren piezoelektrische Keramiken? Das Wort „Piezo“ stammt aus dem Griechischen und bedeutet „ich drücke“. 1880 entdeckten Jaques und Pierre Curie, dass sich Quarzkristalle aufladen, wenn man Druck auf sie ausübt. Sie nannten diesen Effekt den Piezoeffekt. Umgekehrt lässt sich durch eine elektrische Spannung eine Ausdehnung des Materials erzeugen. Diese Ausdehnung kann technisch in Aktoren, wie zum Beispiel Dieseleinspritzpumpen, genutzt werden. Der Vorteil von Piezoaktoren sind kurze Ansprechzeiten und hohe verfügbare Kräfte. Um bleifreie Alternativen zu finden, muss man sich die Struktur der PZT-basierten Keramiken genauer anschauen. Sie kristallisieren in der Perowskit-Struktur (siehe Abbildung). Der Name geht auf das in der Natur vorkommende Mineral Perowskit zurück. In seiner idealen Form hat der Kristall eine kubische Gestalt. Die Ecken entsprechen den sogenannten A-Positionen, in der Mitte liegt die sogenannte B-Position und in den Flächenmitten liegen Sauerstoffatome. Bei PZT nimmt Blei die A-Position ein, Zirkon oder Titan belegen den B-Platz. Unterhalb der piezoelektrischen Curietemperatur bildet sich durch Verzerrungen der idealen Perowskit-Struktur ein Dipolmoment aus. Die internen Dipole gruppieren sich nach der Herstellung aber zunächst noch in Domänen zufälliger Orientierung, weshalb sich keine piezoelektrischen Eigenschaften zeigen. Erst wenn das Material bei erhöhter Temperatur im elektrischen Feld gepolt und wieder abgekühlt wird, entsteht eine geordnete Domänenstruktur, und es bleibt eine eingepölte, eine sogenannte remanente Polarisation zurück. Dadurch lassen sich technisch nutzbare piezoelektrische Eigenschaften erzielen.

Welche Möglichkeiten gibt es nun, das Blei in den ferroelektrischen Piezokeramiken zu ersetzen? „Wir haben durch gezielte Substitution und Dotierung neue Werkstoffe mit maßgeschneiderten Eigenschaften



Die Doktorandin Virginia Rojas bei der Pulversynthese bleifreier Materialien.

Daten und Fakten

Der von der Deutschen Forschungsgemeinschaft geförderte Sonderforschungsbereich „Elektrische Ermüdung in Funktionswerkstoffen“ hatte eine Laufzeit von zwölf Jahren und konzentrierte sich auf vier Bereiche: Synthese, Charakterisierung, Modellierung und Bauteileigenschaften. Zum SFB gehörten drei Transferprojekte und ein Graduiertenkolleg. Es gab insgesamt 28 Teilprojekte. 135 Wissenschaftler arbeiteten in dem SFB mit.

Publikationen:

Yuri A. Genenko, Julia Glaum, Michael J. Hoffmann, Karsten Albe: Mechanisms of aging and fatigue in ferroelectrics, in: Materials Science and Engineering: B, Volume 192, February 2015, pages 52-82
www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0921510714002189

Jürgen Rödel, Wook Jo, Klaus T.P. Seifert, Eva-Maria Anton, Torsten Granzow, Dragan Damjanovic: Perspective on the Development of Lead-free Piezoceramics, in: Journal of the American Ceramic Society, Volume 92, Issue 6, June 2009, pages 1153-1177
DOI:10.1111/j.1551-2916.2009.03061

entwickelt, die auch neue Anwendungsfelder eröffnen“, erklärt Albe. Bei einer Substitution wird ein Kation durch ein gleichwertiges Ion ausgetauscht. Bei einer Dotierung werden Ionen mit einer anderen Valenz in den Kristall eingebaut. „PZT-Keramiken haben nämlich unabhängig von ihrem Bleigehalt auch technische Grenzen, beispielsweise in Hochtemperaturanwendungen“, so Albe weiter. Wenn die Curietemperatur der Piezoelektrika überschritten ist, bleibt der Piezoeffekt aus. Weil die bleifreien Alternativen höhere Curietemperaturen haben, ergeben sich auch andere Verwendungsmöglichkeiten.

Welche Veränderungen wurden vorgenommen? Die wichtigsten bleifreien Alternativen enthalten Bismut-Natrium-Titanat oder Kalium-Niobat als Basisverbindung. Bismut ist das einzige nicht giftige Schwermetall. Niob ist ein Übergangsmetall. Beide haben eine ähnliche Elektronenverteilung wie Blei. Im SFB wurde in enger Kooperation ausgelotet, welche Substitutionen und Dotierungen bei diesen bleifreien Alternativen möglich und sinnvoll sind und welche strukturellen, thermodynamischen, elektromechanischen und elektrischen Eigenschaften daraus resultieren. „Wir haben im Rahmen des SFB alle Methoden, um diese Fragen zu klären“, sagt Karsten Albe, „und werden unsere Erfahrungen auch zukünftig bei der Entwicklung von ressourcenschonenden Substitutionswerkstoffen für die Energiewandlung und Energiespeicherung nutzen“.

Untersucht wurde auch, wie sich bleifreie Piezokeramiken im Dauereinsatz bewähren. Dazu haben die beteiligten Kollaborationspartner die jeweiligen Ermüdungs- und Alterungserscheinungen analysiert. Ermüdung beschreibt die Degradation der funktionalen Eigenschaften bei zyklischer Belastung, ist also betriebsbedingt. Alterung beschreibt die irreversible, zeitliche Veränderung von Materialeigenschaften, die auch ohne Benutzung des Werkstoffs entstehen. Elektrische Messungen zur Alterung und Ermüdung hat unter anderem Dr. Eva Sapper aus der Arbeitsgruppe von Professor Jürgen Rödel gemacht. Rödel leitet das Fachgebiet „Nicht metallisch-anorganische Werkstoffe“ an der TU Darmstadt und hat den SFB 595 vor mehr als zwölf Jahren initiiert. „Weiche Piezokeramiken liefern hohe Dehnungen, zeigen aber auch große Verluste durch Hysterese“, sagt Sapper. „Harte Keramiken liefern geringere Dehnungen, haben aber auch weniger Verluste. Man kann durch die Dotierung steuern, ob eine Keramik hart oder weich wird. Wenn man also Keramiken dotiert, weil man die Eigenschaften anpassen will“, so Sapper weiter, „muss man Nebeneffekte wie Ermüdung und Alterung in Kauf nehmen. Dotierung ist also immer ein Kompromiss“. Das Wissen aus dem SFB fließt jetzt in weitere Projekte und Kollaborationen.

Die Autorin ist Wissenschaftsjournalistin und promovierte Biologin.

Test zur Bestimmung des Resonanzverhaltens einer piezoelektrischen Probe.



Mathe für die Energiewende

Besondere Forschung zu Gasnetzen

Ein Sonderforschungsbereich (SFB) ist ein Netzwerk herausragender und thematisch fokussierter Forscher an einer Universität, das die Deutsche Forschungsgemeinschaft bis zu zwölf Jahre lang fördert. Die Variante SFB/Transregio wird von mehreren Universitäten im Verbund beantragt. Gemeinsam mit sechs anderen Hochschulen und Instituten an den Standorten Berlin, Erlangen und Duisburg hat die TU Darmstadt im Oktober 2014 den SFB/Transregio 154 „Mathematische Modellierung, Simulation und Optimierung am Beispiel von Gasnetzwerken“ gestartet. Beteiligt sind 24 Mathematiker als Teilprojektleiter, darunter die TU-Mathematikprofessoren Herbert Egger, Jens Lang, Marc Pfetsch und Stefan Ulbrich sowie Pia Domschke, Habilitandin in Langs Arbeitsgruppe, und Michael Schäfer, Professor im Fachbereich Maschinenbau. Der SFB/Transregio 154 (Sprecher: Prof. Dr. Alexander Martin, Uni Erlangen-Nürnberg, stellv. Sprecher: Prof. Dr. Jens Lang, TU Darmstadt) bietet die optimale Möglichkeit, mathematische Grundlagenforschung zu betreiben und dabei gleichzeitig einen Beitrag zur Energiewende zu leisten.

Informationen

Fachbereich Mathematik
Prof. Dr. Jens Lang
Dolivostraße 15,
64293 Darmstadt
Telefon: 06151/16-2389
E-Mail: lang@mathematik.tu-darmstadt.de

Webseite des Transregio:
<http://trr154.fau.de/>

Die Energieversorgung wird komplexer und die Optimierung der Verteilernetze immer wichtiger. Mathematiker der TU Darmstadt beschäftigen sich mit dem Transport von Erdgas.

— Von Uta Neubauer

Kaum jemand denkt beim Anschalten der Gasheizung an das unterirdische verzweigte System aus Gasleitungen, geschweige denn an die Mathematik, die hinter der Gaslieferung steckt. Dabei läuft hier ohne Rechnen gar nichts: Computerprogramme kalkulieren, durch welche Rohre das Gas fließen soll, welche Ventile dafür geöffnet oder geschlossen sein müssen, damit der Druck in den Leitungen weder abfällt noch zu stark ansteigt.

Gasverteilung ist eine komplizierte Angelegenheit: Über 750 Unternehmen gibt es hierzulande, die Netzabschnitte betreiben und Erdgas im Auftrag der Energieversorger transportieren. Mit der zunehmenden Nutzung erneuerbarer Energien wird die Angelegenheit noch vertrackter und zudem wetterabhängig: Überschüssiger Solar- und Windstrom soll in Form von synthetischem Erdgas oder Wasserstoff gespeichert und ins Erdgasnetz eingespeist werden, ebenso wie Biogas. Da die eingeleiteten Gasmengen ständig variieren, müssen die Netzbetreiber immer wieder neu entscheiden, durch welche Leitungen sie das Gas am besten schicken. Mit der bisher verwendeten Software geraten sie allmählich an ihre Grenzen. „Der Steuerungsprozess wird immer dynamischer. Da sind neue mathematische Methoden gefragt“, sagt Jens Lang, Mathematik-Professor an der TU Darmstadt. Im Herbst 2014 hat er zusammen mit Kollegen aus seinem Fachbereich sowie aus Berlin, Erlangen und Duisburg die Arbeit in einem Forschungsverbund aufgenommen, der die mathematischen Grundlagen für die Modellierung, Simulierung und Optimierung der Gasverteilung von morgen schaffen will.

Das Konsortium fängt nicht bei null an. Viele der beteiligten Wissenschaftler, auch Lang, beschäftigen sich schon seit Jahren mit dem Gasnetz und kooperieren mit Unternehmen wie dem Energiekonzern E.ON und dem Gasnetzbetreiber Open Grid Europe. Die Mathematiker stützen ihre Rechnungen auf die sogenannten Euler-Gleichungen, die den Gastransport durch ein Rohr beschreiben und schon im 18.

Jahrhundert von dem Schweizer Wissenschaftler Leonhard Euler entwickelt wurden. Um die Vorgänge an den Kompressoren, den Ventilen und anderen Komponenten zu berücksichtigen, kombiniert man die Euler-Gleichungen mit weiteren Formeln und erhält schließlich ein mathematisches Modell des Gasnetzes – ein Konstrukt aus Tausenden Gleichungen, von denen jede ein Rohr oder ein anderes Bauteil beschreibt.

Das Modell allein hilft den Netzbetreibern noch nicht weiter, aber es bildet die Grundlage für die Simulation und anschließende Optimierung des Gastransports. Die Netzbetreiber möchten vor allem den Einsatz der Kompressoren – Verdichter, die sich etwa alle 100 bis 150 Kilometer entlang der Pipeline befinden – minimieren. Sie verbrauchen viel Energie und sind die Hauptkostentreiber beim Gastransport. Die Simulations- und Optimierungsrechnungen sind noch komplexer als die Modellierung. Millionen Gleichungen müssen dafür gelöst werden, und zwar in kürzester Zeit, erklärt Lang: „Die Simulation des Netzes sollte in wenigen Minuten erledigt sein, damit anschließend noch Zeit für die Optimierungsrechnungen bleibt.“ Mit dem bisher verwendeten Modell dauert allerdings schon die Simulation einige Stunden. Eines der Ziele lautet daher, das Modell abzurüsten, betont Lang: „Wenn sich in einem Rohr in einem bestimmten Zeitraum nichts ändert, wenn etwa in einer gut gefüllten Leitung Druck, Fluss und Temperatur des Gases konstant sind, kann ich die komplizierten Euler-Gleichungen durch einfachere Formeln ersetzen ohne an Genauigkeit zu verlieren.“ Ändern sich aber die Bedingungen in diesem Netzabschnitt, weil etwa ein Kompressor anspringt, muss wieder das komplexere Modell verwendet werden. Die Entwicklung solcher Simulationsverfahren, die verschiedene Modelle kombinieren, zählt zu den Spezialgebieten von Pia Domschke, Habilitandin in Langs Arbeitsgruppe.

Langs Kollegen Marc Pfetsch und Stefan Ulbrich, ebenfalls Professoren im Fachbereich Mathematik

„Der Steuerungsprozess wird immer dynamischer. Da sind neue mathematische Methoden gefragt.“

der TU Darmstadt, wiederum gehören zu den „Optimierern“. Sie arbeiten an Methoden, die den Netzbetreibern die optimale Fahrweise berechnen sollen: Welche Ventile müssen sich wann öffnen oder schließen, welche Kompressoren springen wann an, damit das Gas möglichst kostengünstig und dennoch sicher transportiert wird? Effiziente Optimierungsmethoden sind wichtig, um diese Fragen zu beantworten, wobei die berechnete Fahrweise nicht allzu empfindlich auf Änderungen reagieren darf. Der Netzbetreiber muss schließlich damit umgehen können, wenn er im Tagesgeschäft kurzfristig etwas mehr Gas als geplant durch seine Leitungen schicken möchte oder die Verbraucher mehr abnehmen als erwartet.

Modellieren, Simulieren, Optimieren – die Darmstädter Mathematiker haben sich einiges vorgenommen.

In dem jetzt bewilligten Förderzeitraum von vier Jahren beschränken sich die Wissenschaftler zunächst auf die Beherrschung von kleineren Netzen. Später sollen reale Marktbedingungen integriert und die Einhaltung der Versorgungssicherheit angegangen werden. Von den entwickelten mathematischen Methoden profitieren übrigens nicht nur die Gasnetzbetreiber. Sie sind von grundlegendem Interesse und werden sich auf andere Netzwerke übertragen lassen, etwa auf das Leitungsnetz der Trinkwasserversorgung. Das ist das Schöne an der Mathematik: Ihre Sprache ist universell.

— *Die Autorin ist Wissenschaftsjournalistin und promovierte Chemikerin.*

Mathematische Grundlagenforschung und deren Anwendung in der Praxis sind ihre Leidenschaft.



Abbildung: Katrin Binner

Gebäude denken beim Brandschutz mit

Sie können Feuerwehren helfen, sich in brennenden Gebäuden schneller zu orientieren und den Ernstfall realitätsnäher zu üben: Wissenschaftler liefern digitale Technik und Gebäudesimulationen.

— Von Christian Meier

„Bauen ist Hightech“, sagt Uwe Rüppel. Gebäude sind für den Darmstädter Professor für Informatik im Bauwesen so etwas wie Kommunikationspartner. Ein Bürohochhaus zum Beispiel könnte Feuerwehren zum Brandherd leiten. Weil innerhalb von Gebäuden die Satellitennavigation via GPS nicht funktioniert, gelangen Brandbekämpfer oft nicht so schnell genug an Ort und Stelle. Durch Rauch müssen sie aus Sicherheitsgründen kriechen, statt schnell und aufrecht zum Ziel zu laufen. Und allzu oft werden sie von einer verschlossenen Türe aufgehalten. Eine alternative Route zu finden frisst Zeit, die Leben kosten kann.

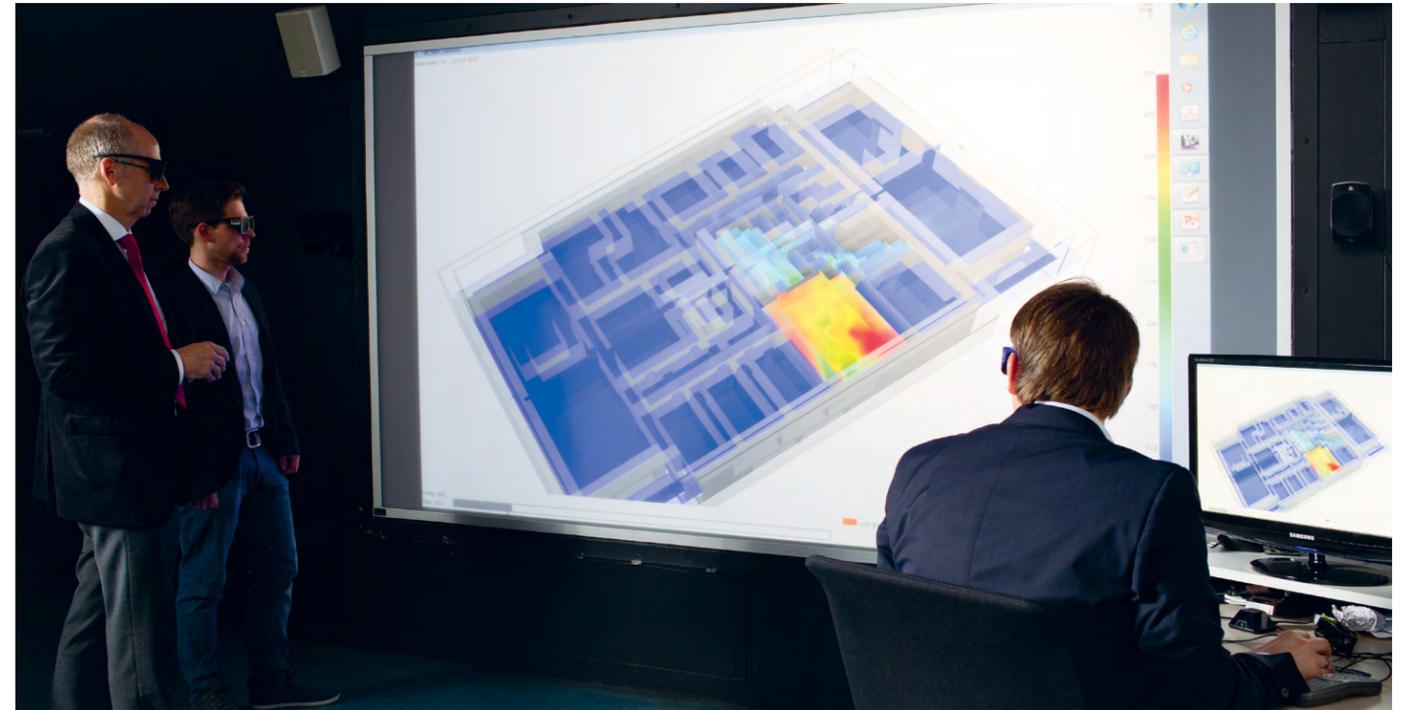
Ein Navigationssystem, das innerhalb von Bauwerken seinen Zweck erfüllt, würde abhelfen. Die Brandbekämpfer würden rasch und aufrecht laufend ihr Ziel finden. Das Indoor-Navi könnte auch Wartungsarbeiter von Rauchmelder zu Rauchmelder führen, ohne dass eines der Geräte vergessen oder verwechselt wird. Rüppels Team hat bereits Demonstratoren für Indoor-Navis entwickelt. Nun sollen Gebäude noch „intelligenter“ werden und beim Brandschutz „mitdenken“. Dazu wollen die Forscher auf dem Campus Lichtwiese auch unkonventionelle Lösungen finden. Sie prüfen neue digitale Konsumprodukte daraufhin, ob sie für ihre Zwecke nutzbar sind. So verfügen die Darmstädter bereits über das neue Tablet „Tango“ von Google mit eingebauter Umgebungserkennung. Aber auch die Videospielesteuerung „Kinect“ gehört zum Inventar des Instituts im Fachbereich Bau- und Umweltingenieurwissenschaften.

Die ganze Vielfalt digitaler Technik zu nutzen, ist für die Bauingenieure und Informatiker Methode. Beim Indoor-Navi ist dieser Multimethodenansatz geradezu ein Muss: „Je mehr Sensoren es mit Informationen versorgen, desto genauer ist es“, erklärt Rüppel. Das Team nutzt Funkwellen aus verschie-

denen Quellen für die Ortung. WLAN-Funksignale zum Beispiel schwächen sich mit dem Abstand zum WLAN-Router ab. Aus dem Ausmaß dieser Schwächung lässt sich der Abstand berechnen. Allerdings nur mit einer Genauigkeit von ein bis drei Metern. Die in Entwicklung befindliche Ultra-Breitband-Technologie (UWB von engl.: Ultrawideband) ist viel präziser: Sie ortet auf etwa 15 Zentimeter genau. Die Position eines UWB-Empfangsgerätes lässt sich aus den Laufzeiten von Funksignalen mehrerer Sender und den Winkeln zwischen diesen Sendern und dem Empfänger ermitteln.

Da kein Netzwerk ein Gebäude komplett abdeckt, setzen die Darmstädter Forscher auf die Kombination. Für entlegene Winkel im Haus bietet sich die so genannte RFID (RFID von engl.: Radio Frequency Identification) an, da die Technik ohne Verkabelung auskommt. Textilwaren tragen oft schon diese Funketiketten, die ihre Daten an ein Lesegerät senden, sobald dieses in ihre Nähe kommt. In Zukunft soll jedes einzelne Bauteil eines Gebäudes, etwa Fensterrahmen, Rohre oder Betonsäulen, mit solchen Funketiketten versehen werden. Das Gebäude enthält dann digitale Information über sich selbst. Ein Gasrohr unter dem Putz kann so einfach durch ein RFID-Lesegerät aufgespürt werden. Mithilfe der Signalstärke gibt das Funketikett seine Entfernung vom Empfangsgerät preis.

Aber die präziseste Ortung nutzt wenig ohne das digitale Modell eines Gebäudes. Und auch hier kommt die technische Entwicklung den Forschern entgegen. „Derzeit ist BIM in aller Munde“, sagt Rüppel. „BIM“ steht für „Building Information Modeling“. Gemeint ist ein virtuelles dreidimensionales (3D-) Modell eines Gebäudes. Für das Indoor-Navi liefert das BIM die digitale 3D-Karte des Gebäudes. Am Frankfurter Flughafen haben die Darmstädter ein RFID-gestütztes Leitsystem für Wartungsarbeiten getestet. Dem Brandschutz dient es darüber hinaus noch viel



Brandsimulation am virtuellen Gebäude-Modell: Professor Uwe Rüppel (li.) diskutiert im Team die Fluchtwege-Szenarien.

mehr. „Sollte den Einsatzkräften eine Wand im Weg stehen, sagt ihnen das BIM, ob es sich um eine Betonwand handelt, oder ob sie sie durchschlagen können“, erläutert Rüppel. Und ob sie dabei auf eine Gasleitung achten müssen oder nicht. Das setze freilich voraus, dass das virtuelle Modell des Gebäudes bei jedem Umbau aktualisiert werde, spricht Rüppel ein wichtiges Sicherheitsproblem an.

Da BIM auch Brandschutzregeln wie die Mindestbreite von Rettungswegen speichern kann, meldet es dem Architekten schon bei der Planung, wenn dieser einen Gang zu eng plant. „Heute wird teilweise erst nach der Eröffnung festgestellt, dass der Brandschutz unzureichend ist“, betont Rüppel. Das müsse dank BIM nicht so bleiben. Rüppels Team will seine Methoden auch für ältere Bestandsgebäude nutzbar machen. Oft sei nur unzureichend bekannt, welche Sicherheit ein altes Gebäude im Brandfall biete. Dies lasse sich aber durch virtuelle Brandsimulationen erfassen. Die Basis dafür bietet BIM.

Das virtuelle Gebäudemodell könne für Brände relevante Daten speichern, ob etwa Schreibtische aus Holz oder Metall bestünden, was eine Simulation von Ausbreitungstempo des Feuers und Rauchentwicklung erlaube. Dies helfe bei der Festlegung von Fluchtwegen, meint Rüppel. „Die Sicherheit von älteren Bestandsgebäuden lässt sich damit besser bestimmen und teure Umbauten zur Erhöhung des Brandschutzes könnten unter Umständen vermieden werden.“ Und noch mehr: „Simulationen

könnten Feuerwehreute beim Finden des Brandherdes unterstützen“, meint Rüppel. Er betont, dass das immer nur Zusatzinformationen sein könnten und keine alleinige Entscheidungsgrundlage. Auch bei komplexen Brandsimulationen macht sich die Suche nach unkonventionellen Lösungen bemerkbar. Hier hilft die Darstellung in Form von Serious Games („Ernsthafte Spiele“). Ein riesiger Beamer projiziert Simulationen auf eine Fläche, so groß wie eine Laborwand. So lassen sich Brand-szenarien durchspielen, bei denen

etwa das Fluchtverhalten erforscht werden kann. „Die Feuerwehr könnte mit Serious Games das Löschen virtuell trainieren“, sagt Rüppel. Die Forscher nutzen auch Avatare, also virtuelle Spielfiguren, um das Verhalten von Menschengruppen im Brandfall zu simulieren. „Das BIM ermöglicht Experimente, die real nicht durchführbar sind“, so Rüppel.

Bislang ist das meiste noch Zukunftsmusik. Doch das liege nicht nur am technischen Entwicklungsbedarf, meint Rüppel. „Wir müssen Genehmigungsbehörden und Feuerwehren überzeugen“, sagt er. Der Forscher ist optimistisch: „Unsere Absolventen tragen diese Ideen in die Welt hinaus“.

Der Autor ist Wissenschaftsjournalist und promovierter Physiker.

Building Information Model (BIM)

BIM ist ein 3D-Computermodell eines Gebäudes. Der Unterschied zum etablierten CAD (Computer Aided Design): BIM gibt nicht nur die geometrischen Formen eines Gebäudes wieder. Es enthält auch Semantik, also die Bedeutung und Funktion einzelner Komponenten. Es ist also eine funktionierende Simulation des Gebäudes, die schon vor dem Bau angefertigt ist. Diese „weiß“, dass ein Gasrohr ein Gasrohr ist, oder ein Fenster ein Fenster. Es speichert auch die Beziehungen zwischen den Teilen und dem Ganzen. Es zeigt zum Beispiel die Auswirkungen einer Änderung in der Planung. Und nicht nur Auswirkungen technischer Art. Das BIM gibt auch Hinweise, welche Gewerke von den Änderungen betroffen sein und was die Abweichungen vom Plan kosten werden.

Publikation:
U. Rüppel, U. Zwinger, M. Kreger:
„BIM und Sensorik im Brandschutz“, in „Building Information Modeling (BIM) – Technologische Grundlagen und industrielle Anwendungen“, Springer 2015

Informationen

Institut für Numerische
Methoden und Informatik
im Bauwesen

Prof. Dr.-Ing. Uwe Rüppel

Franziska-Braun-Str. 7

64287 Darmstadt

Telefon: 06151/16-3444

E-Mail:

rueppel@iib.tu-darmstadt.de