

hoch³FORSCHEN

Das Medium für Wissenschaft

Sommer 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/m²
PlanoScript, FSC-zertifiziert

Auflage 6.000
Nächste Ausgabe
15. September 2017

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 Motorantrieb:** Perspektiven für den Diesel — **2 Kommunikation:** Einfache Netze im Krisenfall
- **3 Medizintechnik:** Sensoren für komplexe Operationen
- **4 Energieverteilnetze:** Wie Erdkabel effizient betrieben werden können

Kommunikation im Krisenfall

Einfache und robuste
Signaltechnik bewährt sich im
Krisenfall

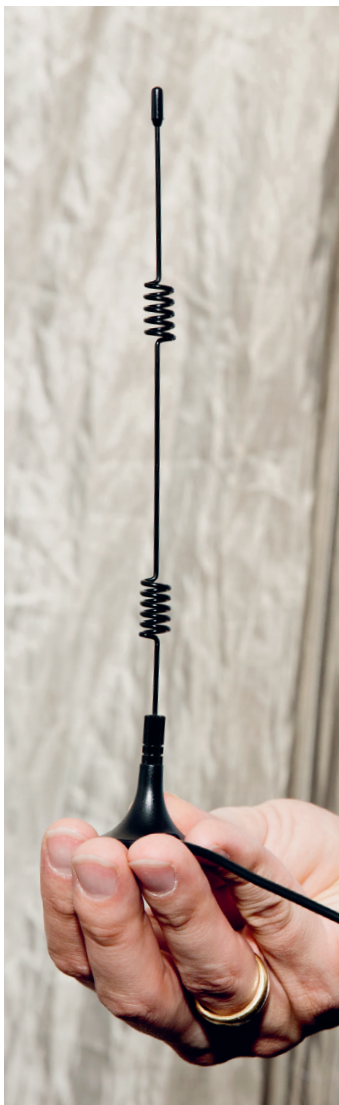


Abbildung: Katrin Binner

Wissenschaftler der TU Darmstadt erforschen Technologien, mit denen die Zivilbevölkerung beim Ausfall von Strom und Internet wieder Zugang zu Informationen erhält – und sich gegenseitig Hilfe anbieten kann.

— Von Boris Hänßler

Ende 2016 attackierten unbekannte Hacker das ukrainische Stromnetz mit Malware. Die schädliche Software griff in das Steuerungssystem ein und stellte in Teilen der Stadt Kiew für eine Stunde den Strom ab. Andere Hacker nahmen im vergangenen Jahr die DNS-Server des amerikanischen Dienstleisters Dyn ins Visier. Die Folge: Populäre Webseiten wie Netflix und Amazon fielen stundenlang aus. Das sind zwei von vielen Beispielen, die die Verwundbarkeit der Hightech-Gesellschaft vor Augen führen. Längst sieht auch die Bundesregierung Angriffe auf die Infrastruktur in Deutschland als latente Gefahr an.

Auch Naturkatastrophen oder Großschäden können eine Region von Strom und Internet trennen. So empfiehlt das Bundesamt für Bevölkerungsschutz den Bürgern, Lebensmittelvorräte für eine Krise anzulegen. Richtig ernst nimmt das fast niemand. Aber was passiert, wenn tatsächlich Strom und jeglicher Zugang zum Internet ausfallen? Die meisten Leute haben keine batteriebetriebenen Radios mehr. Sie wären von allen Informationen abgeschnitten. „Obwohl wir also immer abhängiger von infrastruktur-basierten Netzen werden, haben wir keine Backup-Pläne“, sagt Matthias Hollick, Professor für Sicherheit in mobilen Netzen an der TU Darmstadt. „Die staatliche Vorsorge wurde in den letzten Jahren sogar zurückgefahren. Behörden oder Bundeswehr haben zwar in einer Krisensituation Möglichkeiten, ihre Netze einige Zeit auch ohne externe Energieversorgung aufrecht zu halten, aber die Bevölkerung wäre in dieser Hinsicht hilflos.“

Hollick hat deshalb mit Kollegen den interdisziplinären Forschungsschwerpunkt NICER („Networked Infrastructureless Cooperation for Emergency Response“) an der TU aufgebaut. Beteiligt sind elf Professoren, drei Postdoktoranden und sechzehn wissenschaftliche Mitarbeiter; hinzu kommen sechs assoziierte Mitarbeiter. NICER ist eine Kooperation mit den Universitäten Kassel und Marburg und wird

vom Land Hessen über das Programm LOEWE mit rund 4,5 Millionen Euro gefördert. Die Grundidee ist, Menschen im Krisenfall durch infrastrukturlose Informations- und Kommunikationstechnik zu vernetzen. NICER setzt dazu auf drei Leitthemen: Etablierung autonomer Kommunikationsinseln, Aufbau von Brücken zwischen den Inseln und Betrieb eines Gesamtnetzes mit speziellen Anwendungen für die Krisensituation.

„Wir gehen von zwei Szenarien aus: einem großflächigen Stromausfall und einem lokalen, komplexen Schadensfall wie bei der Nuklearkatastrophe in Fukushima“, sagt Hollick. „Wie lässt sich in diesen Fällen die Kommunikation mit Smartphones und Tablets aufrecht erhalten? Wie lässt sich vorhandene Sensorik nutzen, um ein Lagebild zu erstellen?“ Ein Problem ist laut Hollick die schiere Masse an Daten, die es im Falle einer Krise zu bewältigen gibt. Jeder Betroffene

„Wie lässt sich die Kommunikation mit Smartphones und bestehender Sensorik aufrechterhalten?“

hat das Bedürfnis zu kommunizieren – ob es der Familie gut geht, um sich über die Gefahrenlage zu informieren oder um Hilfe anzufordern. Gibt es zum Beispiel Leute, die Pumpen haben, die bei einer Überflutung helfen? Wer hat Decken, Medikamente oder Nahrungsmittel? „Die Bevölkerung verfügt über diese Ressourcen“,

sagt Hollick. „Aber um sie zu verteilen, müssen sich die Leute abstimmen.“

Die Forscher möchten daher Kommunikationsinseln etablieren. Eine Insel kann ein Stadtviertel oder ein Dorf sein. Innerhalb einer Insel kommunizieren alle mobilen Geräte infrastrukturlos miteinander. Bei großflächigen Ausfällen kann es zudem mehrere Inseln geben, die voneinander unabhängig existieren. Um dann zwischen Inseln zu kommunizieren, bedarf es zusätzlicher Brücken. Würde ein Bewohner zum Beispiel von einer Insel in die nächste fahren und sein mobiles Gerät mit sich führen, könnte dieses als Brücke fungieren: Es würde Informationen speichern und mitnehmen, die für die Zielinsel bestimmt sind. So könnten über größere Distanzen Informationen ausgetauscht werden.

Informationen

Secure Mobile Networking Lab

Prof. Dr.-Ing. Matthias Hollick
Telefon: 06151/16–2 54 72
E-Mail: mhollick@seemoo.tu-darmstadt.de
www.seemoo.tu-darmstadt.de

Eine Schwierigkeit beim Aufbau der Inseln ist der Ausfall der Basisstationen und damit der zentralen Koordinierungseinheiten. So können mobile Geräte nur bis zu einer gewissen Entfernung direkt miteinander kommunizieren und sind daher darauf angewiesen, dass andere Geräte als Vermittlungsknoten dienen. Durch den Ausfall der Koordinierungseinheiten ist es besonders schwierig, den Verkehr so zu lenken, dass es nicht zu Überlastungen kommt. Die Geräte müssen sich deshalb ihren Zustand mitteilen, damit Informationen priorisiert werden können. Für den Austausch solcher Zustandsinformationen hat die Gruppe um Hollick einen besonders schnellen und gleichzeitig robusten Weiterleitungsmechanismus entwickelt. Die Signale eines Geräts werden dabei von allen benachbarten Geräten gleichzeitig weitergeleitet und die Nachricht breitet sich ringförmig aus – wie Wellen, wenn man einen Stein ins Wasser wirft. Die Abstimmung zwischen den Geräten muss dabei so präzise sein, dass sich die Aussendungen konstruktiv überlagern – eine Präzision, die die Forscher auch auf handelsüblichen Geräten erreichen wollen.

Damit die Abstimmung auch energieeffizient funktioniert, haben die Forscher von NICER in ihrem interdisziplinären „Emergency Response Lab“ verschiedene mobile Geräte umfunktioniert, um sie leistungsfähiger zu machen. So besitzt jedes Gerät eine sogenannte Firmware, also eine separate Betriebssoftware für die Prozessoren des Funkmoduls. Bei der alltäglichen Kommunikation gehen ankommende Datenpakete über die Firmware zum Betriebssystem und werden dort oder in den Anwendungen verarbeitet und von dort wiederum über die Firmware zum richtigen Empfänger auf den Weg gebracht. „Wenn wir jedoch direkt mittels des Prozessors auf dem Funkmodul die Kommunikation steuern, sparen wir uns einige Schritte“, sagt Hollick. „Einfache Datenpakete lassen sich in Bruchteilen von Millisekunden verarbeiten, während es über das Betriebssystem um Größenordnungen länger dauert. Bei Hunderten von Geräten ist das ein erheblicher Gewinn.“ Die alleinige Nutzung des Prozessors im Funkmodul ist zudem stromsparender, denn der Hauptprozessor muss nicht mehr aufgeweckt werden – gerade bei Stromausfall könnten Geräte somit länger genutzt werden. Um die Firmware dafür zu nutzen, müssten Mobilgeräte lediglich über einen standardisierten Notfall-Modus verfügen – er würde bei einer Krise in Betrieb gehen. Die Forscher beschäftigen sich zudem mit der Frage, wie sie verschiedene Daten in einer Insel für ein aktuelles Lagebild erheben könnten: Welche Sensoren stehen zur Verfügung? Welche müssten abgefragt werden, damit das Lagebild akkurat ist, aber das Netz nicht überlastet wird? Mit dieser Sensordatenverarbeitung beschäftigen sich die Signalverarbeitungs-Experten gemeinsam mit den Robotik-Forschern.



Abbildung: Katrin Binner

Sie benötigen ohnehin Kommunikationslösungen für die Interaktion mit Rettungsrobotern, die insbesondere bei Notfällen wie einem Kernreaktor-Unfall gebraucht werden.

Professor Matthias Hollick
forscht und lehrt am
Fachbereich Informatik

Nicht zuletzt sind auch die Dienste, die in einer Insel zur Verfügung stehen sollten, Forschungsgegenstand – Apps, die zum Beispiel Bürger informieren oder Ressourcen anzeigen. Die Forscher entwickeln Methoden, um die Apps verteilt über die Geräte im Notfallnetz zu betreiben und damit den Ausfall der Infrastruktur aber auch einzelner Geräte zu überstehen. Hollick sagt: „Wir hoffen also, dass auf Basis der NICER-Forschung bald Lösungen entstehen, mit denen die Menschen es selbst in der Hand haben werden, sich bei Katastrophen zu unterstützen – und zwar mit all den Geräten, die sie bereits haben.“

Der Autor ist Technikjournalist.

OP-Roboter mit Fingerspitzengefühl

Ein an der TU Darmstadt entwickelter Roboter für Operationen im Bauchraum soll die Chirurgen entlasten und den Behandlungserfolg steigern. Dank neuartiger Sensoren operiert der künstliche Helfer besonders feinfühlig.



Abbildung: Katrin Binner

Der FLEXMIN-Roboter und ein Teil des Projektteams (v.l.n.r.): Dr. Christian Hatzfeld, Professor Roland Werthschützky, Johannes Bilz, Professor Helmut F. Schlaak

Schnitt aus. Die Halterung mit den Instrumenten soll transanal, also über eine natürliche Körperöffnung, eingeführt werden. „Das schont den Patienten“, erklärt Hatzfeld, denn der Verzicht auf Schnitte beschleunigt die Heilung. Außerdem bleibt keine Narbe.

Der Operationsroboter wird vom Chirurgen ferngesteuert. An einem Bedientisch mit Bildschirm verfolgt der Arzt den vergrößerten Eingriff live. Die in den Körper eingeführten chirurgischen Instrumente bewegt er über stiftähnliche Griffe und Klammern mit seinen Händen. Da die relativ groben Handbewegungen des Arztes in feinste Roboterbewegungen transferiert werden, lassen sich die Instrumente im Körperinneren akkurat lenken, öffnen und schließen. Der künstliche Helfer entlastet die Ärzte zudem körperlich: Während sie bei minimalinvasiven Eingriffen ohne Roboterhilfe auf engstem Raum teils stundenlang gebeugt hantieren müssen und anschließend oft unter Verspannungsschmerzen leiden, bietet das FLEXMIN-System ihnen eine bequeme Sitzposition. Weiteres Plus: Für das Ausführen von Standardaufgaben können zukünftig Autopilotfunktionen integriert werden. Der Roboter führt dann Routineaufgaben autonom durch, setzt zum Beispiel auf Abruf chirurgische Nähte und Knoten. Auch das entlastet die Ärzte.

Außerdem eliminiert das System Händezittern und andere störende Effekte. Sogar Eingriffe am schlagenden Herz sind denkbar. Das Pulsieren des Herzens könnte – so die Vision – durch entsprechende Bewegungen des Roboters ausgeglichen werden. Der Chirurg operiert dann via Bildschirm ein quasi stillstehendes Herz. „Roboter erlauben Eingriffe, die bisher nicht möglich waren, und überzeugen mit diesen Funktionen auch die Ärzte“, unterstreicht Professor Mario Kupnik, der das Fachgebiet Mess- und Sensortechnik seit zwei Jahren leitet. Das FLEXMIN-Projekt hat er von seinem Vorgänger Professor Roland Werthschützky übernommen, der das Projekt weiterhin begleitet.

Für bestimmte Eingriffe, vor allem für die Entfernung der Prostata, verwenden viele Kliniken schon Chirurgieroboter. Bisherige Systeme besitzen aber

— Von Uta Neubauer

Ob selbstfahrende Autos, autonome Staubsauger oder humanoide Maschinenwesen am Hotelempfang: Roboter halten Einzug in unseren Alltag. „Auch in der Medizin sind sie zunehmend gefragt“, sagt Dr. Christian Hatzfeld, Habilitand im Fachgebiet Mess- und Sensortechnik der TU Darmstadt. Im Rahmen des von der Deutschen Forschungsgemeinschaft geförderten Projekts FLEXMIN entwickeln er und seine Kollegen einen Roboter für die minimalinvasive Chirurgie im Bauchraum, speziell für die Entfernung von Tumoren des Enddarms. Bei minimalinvasiven Eingriffen werden die chirurgischen Instrumente und eine Mini-Kamera üblicherweise durch kleine Schnitte ins Körperinnere gesteckt. Das Darmstädter System hingegen kommt ganz ohne

Informationen

Fachgebiet Mess- und Sensortechnik

Dr.-Ing. Christian Hatzfeld
Telefon: 06151/16-23884
E-Mail: c.hatzfeld@emk.tu-darmstadt.de
www.institut-emk.de/flexmin

einen Nachteil: Sie können nicht spüren, ob ein Gewebe hart oder weich ist, und daher – anders als ein erfahrener Arzt – nicht ertasten, wo knotiges krankes Gewebe endet und gesundes anfängt. Auch das Gefühl dafür, wie stark sie an einem Gewebe ziehen dürfen, ohne es zu beschädigen, besitzen die künstlichen Helfer nicht. „Durch die Roboterassistenz geht die direkte Kopplung zwischen Mensch und Werkzeug verloren. Der Arzt sieht den Vorgang zwar auf dem Bildschirm, bekommt aber kein haptisches Feedback“, umreißt Hatzfeld das Problem.

Schon während seiner Doktorarbeit an der TU Darmstadt beschäftigte er sich mit der haptischen Kraftwahrnehmung und entsprechenden Sensoren, die künstlichen Wesen eine Art Tastsinn verleihen. Dank des Einbaus von Sensoren, die der menschlichen Wahrnehmung angepasst sind, soll der Darmstädter Operationsroboter jetzt sogar Dinge spüren, die nicht einmal der Arzt bemerkt. In bestimmten Frequenzbereichen beispielsweise reißen erste Gewebefasern. Ein kommerziell erhältlicher Vibrationssensor erfasst diese Schwingungen und kann frühzeitig vor einem Geweberiss warnen. Spezielle, im Projekt entwickelte Sensoren wiederum machen die Kräfte, die während der Operation auf ein chirurgisches Instrument wirken, am Bediengerät spürbar.

Eine weitere Besonderheit des Darmstädter OP-Systems ist eine extreme Leichtgängigkeit, die noch kein Roboter zuvor erreichte. „Bei der Realisierung der ausgeklügelten Feinstmechanik und Antriebstechnik sind wir bis an die technischen Grenzen gegangen“, betont Professor Helmut F. Schlaak, Leiter des Fachgebiets Mikrotechnik und Elektromechanische Systeme. Von seinen Mitarbeitern stammt die ausgefeilte Robotermechanik. Die Darmstädter Ingenieure profitieren dabei von einer Besonderheit ihres Fachbereichs, einer eigenen feinmechanischen Werkstatt. Deren Spezialisten haben die Bauteile des Roboters, von dem es bislang nur ein einziges Exemplar gibt, mitentworfen und gefertigt. Mit dem Einzug von Robotern in die Chirurgie bricht ein neues Zeitalter der Telemedizin an, denn ob der Operateur neben dem Patienten oder auf einem anderen Kontinent am Bedienelement sitzt, macht zukünftig keinen Unterschied mehr. „Bei komplizierten Eingriffen können Top-Chirurgen über eine spezielle Datenleitung zugeschaltet werden“, erklärt Kupnik, betont aber, dass der Roboter die Anwesenheit eines Arztes im OP-Saal nicht ersetze. Im Notfall müsse jemand eingreifen können. Die Idee lautet, dass ein Chirurg vor Ort den Eingriff vor- und nachbereitet, sodass der zugeschaltete Spezialist nur den kritischen Part übernimmt. Selbst in Krisengebieten und in Kliniken auf dem Land wären so Spezialoperationen möglich, für die Patienten heute noch weite Wege in Kauf nehmen.

„Wir können durch eine kleine Öffnung extrem komplexe Aufgaben bewältigen.“

Bezüglich medizinischer Fragen kooperieren die TU-Wissenschaftler mit der Arbeitsgruppe „Chirurgische Technologie und Training“ der Eberhard-Karls-Universität Tübingen um PD Dr. med. Andreas Kirschniak. Die Mediziner aus Tübingen haben den Darmstädter Chirurgieroboter in Modellversuchen getestet und zum Beispiel Gallenblasen von Schweinelebern entfernt. „Die Grundlagen sind geschaffen. Jetzt geht es darum, Partner aus der Wirtschaft zu finden“, sagt Kupnik. Da die Robotik in der Gesundheitsbranche als Schlüsselthema gilt, ist Hatzfeld optimistisch: „Wenn jetzt ein Medizintechnik-Unternehmen in unser System investiert, es weiter entwickelt und mit der Zulassung alles glatt läuft, könnte es in zehn Jahren im Operationsaal stehen.“ Und auch anderswo, denn die Erkenntnisse aus dem FLEXMIN-Projekt sind übertragbar.

„Das Besondere an unserem System ist, dass wir damit durch eine vorhandene kleine Öffnung extrem komplexe Aufgaben bewältigen, ohne vor Ort sein zu müssen“, fasst Kupnik zusammen. Roboter mit Fingerspitzengefühl und ausgefeilter Feinmotorik sind auch bei der Wartung von Industriemaschinen und anderen Aufgaben gefragt. Vor allem wenn Gefahr droht, etwa beim Entschärfen von Bomben oder der Reparatur von Nuklearanlagen, würde mancher Experte einem Roboterkollegen gerne den Vortritt lassen.

Die Autorin ist Wissenschaftsjournalistin und promovierte Chemikerin.

Medizin trifft Technik

Die Fachgebiete Mikrotechnik und Elektromechanische Systeme (Professor Helmut F. Schlaak) sowie Mess- und Sensortechnik (Professor Mario Kupnik, Professor Roland Werthschützky) beschäftigen sich schon lange mit medizinischer Robotik und Messtechnik. Die strategische Allianz der Rhein-Main-Universitäten (TU Darmstadt, Goethe-Universität Frankfurt, Gutenberg-Universität Mainz) verleiht der Medizintechnik zusätzlichen Aufwind. Die Kombination aus Universitätsmedizin in Frankfurt und Mainz und den Ingenieurwissenschaften der TU Darmstadt soll das Rhein-Main-Gebiet als Standort für Medizintechnik weiter stärken.

Aktuelle Publikationen zum FLEXMIN-Projekt:

C. Hatzfeld, C. Neupert, S. Matich et al: *A Teleoperated Platform for Transanal Single-Port Surgery: Ergonomics and Workspace Aspects*, IEEE WorldHaptics Conference, Fürstenfeldbruck, 2017.

S. Matich, C. Neupert, A. Kirschniak, H. F. Schlaak, P. P. Pott: *3-D force measurement using single axis force sensors in a new single port parallel kinematics surgical manipulator*, IEEE/RSJ IROS, Daejeon, 2016, 3665-3670.

C. Neupert, S. Matich, N. Scherping, M. Kupnik, R. Werthschützky, C. Hatzfeld: *Pseudo-Haptic Feedback in Teleoperation*, IEEE Trans. on Haptics, Vol. 9, No. 3, 397-408, July-Sept. 1 2016.

Sensible Energiekabel unter der Erde

Der störungsfreie Betrieb der Energieverteilungsnetze ist im Zeitalter erneuerbarer Energien eine Herausforderung. Forscher zeigen, wie Netzbetreiber Erdkabel effizienter betreiben und ausbauen können.

— Von Jutta Witte

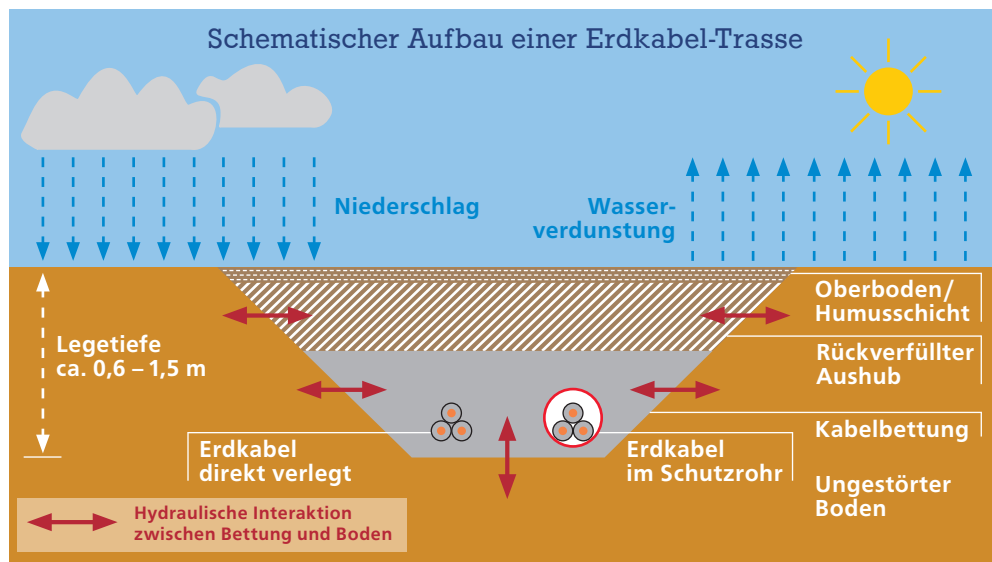
Das Erdkabeltestfeld im südhessischen Griesheim ist eine technisch anspruchsvolle Versuchsanlage. 90 Temperatursensoren, 16 Wasserdrucksensoren und 20 Feuchtigkeitssensoren messen, wie Energiekabel je nach Belastung und unter wechselnden Umgebungsbedingungen mit den Böden interagieren, in denen sie jeweils „gebetet“ sind – also Ton, Lehm, Sand und ein künstlicher Flüssigboden. Die Daten werden automatisch erfasst, ausgelesen und zur Analyse an die Wissenschaftler geleitet. Das interdisziplinäre Team aus den Fachgebieten Angewandte Geothermie (AGT) und Hochspannungstechnik (HST) der TU Darmstadt interessiert sich vor allem für die effektive Wärmeleitfähigkeit der Kabelbettungen. „Dies ist der entscheidende Parameter, um zu ermitteln, wie weit ein Kabelsystem ausgelastet werden kann“, erklärt AGT-Leiter Professor Ingo Sass.

Wenn Kabel bei der Übertragung elektrischer Leistung Verlustwärme abgeben, trocknet das umliegende Bettungsmaterial und seine Wärmeleitfähigkeit nimmt ab. Diese Wechselwirkungen sind nicht marginal. Denn zu hohe thermische Belastungen führen dazu, dass das Material der Kabel seine Eigenschaften zur elektrischen Isolation verliert. Im Extremfall kann es zu Ausfällen und Engpässen in der Energieversorgung kommen. Die hydraulischen Bedingungen des umgebenden Bodens haben einen starken Einfluss auf den Wassergehalt einer Kabelbettung. Die Wissenschaftler wollen insbesondere auch wissen, in wie weit kurzfristige Lastspitzen, die durch volatile Energieträger wie Wind oder Sonne entstehen, die Kabelbelastbarkeit beeinträchtigen können. Gelingt es, zuverlässige Aussagen über die Wärmeleitfähigkeit zu treffen und auf dieser Basis entsprechende Analyse- und Prognoseverfahren zu entwickeln, könnten Verteilnetzbetreiber ihre bestehenden Kabelsysteme besser nutzen und den im Zuge der Energiewende anstehenden kostenintensiven Netzausbau ökonomischer gestalten. Hier setzt

der Forschungsverbund an: „Wir wollen Grundlagen schaffen, dass Kabel effizienter ausgelastet werden können, als es die geltende Regelung zulässt“, sagt Sass.

Kabel für die Übertragung von elektrischer Energie im Mittel- und Niederspannungsbereich sind hierzulande überwiegend erdverlegt. Seit den Anfängen einer großflächigen Versorgung mit elektrischer Energie zu Beginn des 20. Jahrhunderts sei dieser Bestand historisch gewachsen, berichtet Professor Volker Hinrichsen, Leiter des Fachgebiets HST. Zuverlässige Diagnosemöglichkeiten, die Aufschluss geben über den aktuellen Zustand dieser Kabelsysteme, existieren praktisch nicht. Vor allem aber sind die Normen mit Blick auf die Versorgungssicherheit so konservativ ausgelegt, dass sie sich faktisch immer an einem „Worst-Case-Szenario“ orientieren. Die Experten gehen deswegen davon aus, dass die meisten Kabelsysteme aktuell weit entfernt von ihrer thermischen Grenzbelastbarkeit von 70 bis 90 Grad Celsius am Kabelleiter betrieben werden. „Und nach diesen Reserven greifen wir heute“, sagt Hinrichsen.

In Kenntnis der thermischen Eigenschaften des Bodens bestehende Kabeltrassen im Rahmen eines „Smart Grids“ intelligent zu nutzen, halten die Experten für eine schnelle und vergleichsweise wenig aufwändige Alternative zum langwierigen und kostenintensiven Netzausbau. Zehn bis zwanzig Prozent an höherer Auslastung sind bei einem intelligenteren Betriebsmanagement nach ihrer Einschätzung möglich. Doch die Herausforderungen sind komplex. „Es gibt tausende von Böden und die haben tausende von Wärmeleitfähigkeiten“, sagt Ingo Sass. Allein 39 Hauptbodenarten, von denen jede einzelne wiederum heterogen ist, haben die Forscher im Versorgungsgebiet eines großen bayerischen Verteilnetzbetreibers identifiziert. Wie groß die Unterschiede an bestimmten Stellen sein können,



Informationen

Fachgebiet Angewandte Geothermie

Prof. Dr. Ingo Sass

E-Mail: sass@geo.tu-darmstadt.de

Fachgebiet Hochspannungstechnik

Prof. Dr.-Ing. Volker Hinrichsen

E-Mail: hinrichsen@hst.tu-darmstadt.de

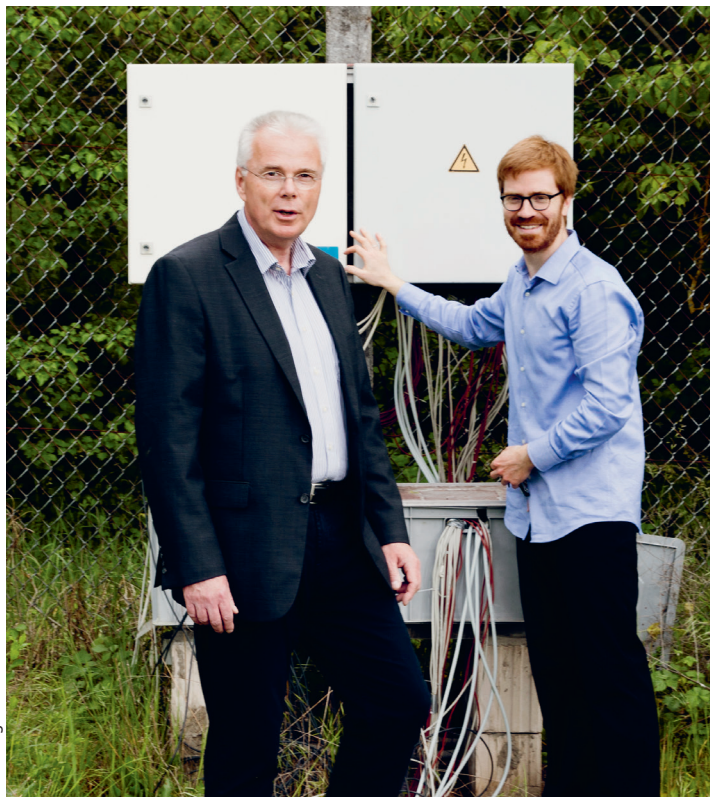


Abbildung: Katrin Binner

Professor Volker Hinrichsen (li.) und Doktorand Constantin Balzer auf dem Versuchsfeld

zeigt das Beispiel eines Sandbodens, der seine thermischen Eigenschaften grundlegend verändert – allerdings erst, wenn er mehr als 80 Prozent seines Wassergehalts verliert.

Auf der Basis von Untersuchungen von weit über hundert Bodenproben im Labor können die Wissenschaftler die Prozesse, die in verschiedenen Böden und Bettungsmaterialien ablaufen, genau beschreiben und die Messergebnisse aus dem Kabeltestfeld mit Hilfe numerischer Simulationen in Modellen nachbilden. Die Laborversuche geben Aufschluss darüber, wie sich die Wärmeleitfähigkeit eines Bettungsmaterials in Abhängigkeit der hydraulischen Bedingungen des umgebenden Bodens und der Wärmeableitung eines Kabels verändert. Hierzu trocknen die Experten Bettungsmaterialien und Böden unter definierten Randbedingungen durch die Verlustwärme von Kabeln gezielt aus und erfassen dabei präzise, wie sich Temperatur und Feuchte im Umfeld zeitlich entwickeln.

Die Ergebnisse der Feld- und Laborversuche fließen in numerische Modellierungen ein. Diese helfen, ein noch besseres Verständnis der physikalischen Vorgänge aufzubauen, Parameter besser zu quantifizieren oder Versuchskonzepte zu korrigieren. Und sie ermöglichen es, die Ergebnisse der Grundlagenforschung auf jegliche Erdkabeltrassen und deren Betriebszustand zu übertragen. Die Berechnungen bilden die Basis für onlinefähige Tools, die in eine intelligente Betriebsführung in den Verteilnetzen der Mittel- und Niederspannung integriert werden sollen. So könnten Netzbetreiber auf eine aufwändige Dauerüber-

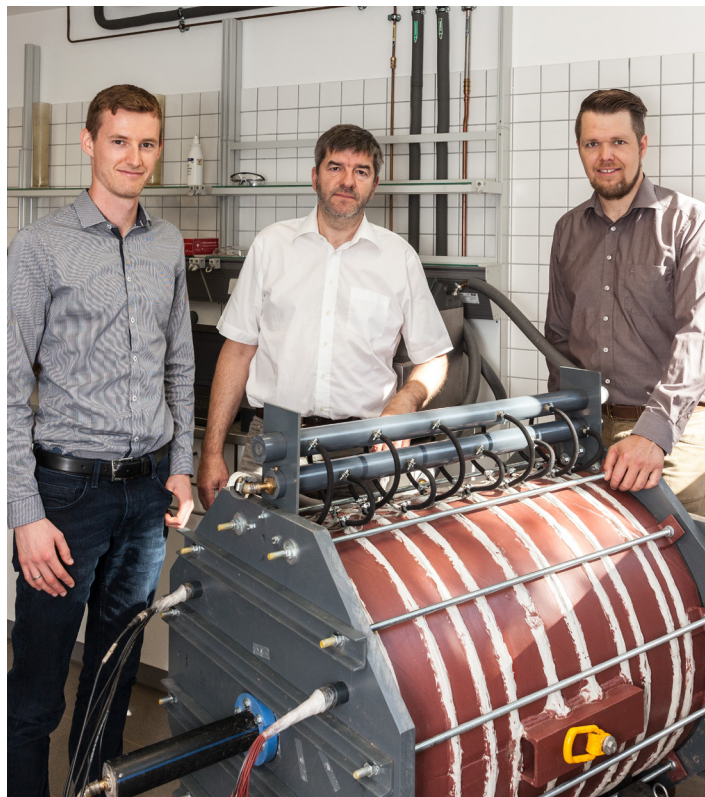


Abbildung: Sandra Junker

Professor Ingo Sass (mi.), Christoph Drefke (re.) und Markus Schedel (li.) an einem Versuchsstand, zur kombinierten Untersuchung von Wärme- und Wassertransportprozessen in Bettungen um Kabel

wachung der Kabel über Temperatursensoren, wie sie bei Hoch- und Höchstspannungskabeln im Einsatz sind, verzichten. Stattdessen könnten sie frühzeitig thermisch hoch belastete Teile ihres Kabelsystems identifizieren und vorübergehend entlasten oder langfristig diese „Hot Spots“, durch den Einsatz verbesserter Bettungsmaterialien entlasten.

Die Autorin ist Wissenschaftsjournalistin und promovierte Historikerin.

Der Verbund

2012 entstand ein interdisziplinärer Forschungsverbund zwischen den TU-Fachgebieten Angewandte Geothermie (AGT) und Hochspannungstechnik (HST) sowie einem bayerischen Verteilnetzbetreiber. Das Forschungsvorhaben basiert auf drei Säulen: Untersuchungen von Bodenproben unter definierten Randbedingungen im Labor, Messungen auf dem Kabeltestfeld unter realen Bedingungen sowie Modellierungen der Ergebnisse über numerische Simulationen.

Wesentliche Projektarbeiten leisten die Doktoranden Constantin Balzer (HST), Christoph Drefke und Markus Schedel (AGT).

Die Forschung wird unter anderem gefördert im Rahmen der DFG-Graduiertenschule für Energie-wissenschaft und Energietechnik (GSC 1070). Eine Startförderung steuerte das Forum für Interdisziplinäre Forschung der TU Darmstadt bei.

Option für den Dieselmotor

Synthetische Kraftstoffe wie OME könnten Diesel-Fahrzeuge fit machen für einen Antriebsmix der Zukunft. Wissenschaftler der TU Darmstadt erforschen die Praxistauglichkeit der alternativen Treibstoffe.

Von Jutta Witte

Professor Christian Beidl, Leiter des Instituts für Verbrennungskraftmaschinen und Fahrzeugantriebe (VKM) der TU Darmstadt, hält die aktuelle Debatte um Verbrennungs- und Elektromotoren als konkurrierende Antriebe für wenig zielführend. Der Experte setzt vielmehr auf einen offenen Technologiewettbewerb, der das Gesamtsystem im Blick behält. Denn im Antriebsmix der Zukunft wird nach seiner Überzeugung der Dieselmotor weiter eine entscheidende Rolle spielen – vor allem im Fernverkehr.

„Nicht die Motoren als Energiewandler sind das Problem, sondern die Energieträger“, betont Beidl. Sein Team erforscht schon lange neue, von fossilen Energieträgern unabhängige Diesel-Kraftstoffe, die nicht nur die Belastung durch Stickoxide und Feinstaub weiter senken sollen, sondern auch das CO₂-Problem nachhaltig lösen. Die besondere Herausforderung ist es dabei, einen für Dieselmotoren typischen Zielkonflikt zu beenden. Denn Motoren mit hohem Wirkungsgrad erzeugen hohe Temperaturen und damit viel Stickoxid. Die Rückführung fast sauerstofffreien Abgases ist die etablierte Technologie, um im Brennraum die Spitzentemperaturen wieder zu senken. Je weniger Sauerstoff jedoch dort vorhanden ist, desto mehr Rußpartikel entstehen. „Verhindern wir also die Rußbildung, können wir diesen Knoten auflösen“, sagt Beidl. Experimente an Industrie- und PKW-Motoren sowie einem Einzylinder-Forschungsmotor zeigen bereits jetzt, dass Oxymethylenether, kurz OME, ideal ist, um dieses Ziel zu erreichen. Die Wissenschaftler haben Grundlagenversuche und Realfahrtsimulationen für verschiedene Betriebszustände und Fahrerprofile unter unterschiedlichen Umgebungsbedingungen durchgeführt und dabei unter anderem Emissionen, Prozessführung und Abgasnachbereitungskonzepte in den Blick genommen. Sie wiesen nach, dass OME rußfreie Verbrennung ermöglichen, den Wirkungsgrad des Motors erhöhen, allerdings aufgrund ihres hohen Sauerstoffgehalts auch die Energiedichte senken.

Die optimale Adaption von Dieselmotoren an diesen synthetischen Kraftstoff ist laut Beidl also mit vertiefter Forschung und technolo-

gischen Weiterentwicklungen verbunden. An der grundlegenden Technologie des Motors ändere sich jedoch nichts. „Wir wissen jetzt, dass OME hervorragende Eigenschaften aufweisen.“ Spannend ist für ihn auch die verfahrenstechnische Prozesskette bei der Herstellung des neuen Kraftstoffes. Da OME unter anderem aus Wasserstoff bestehen, der aus den Überschüssen elektrischer Energie synthetisiert werden kann, deutet sich auch ein Weg an, um bei regenerativem Strom Spitzenlasten abzufedern und diesen besser verteilen und speichern zu können.

Für die Einführung von OME sieht Beidl derzeit zwei Szenarien. Zum einen – vergleichbar mit Ethanol – als Beimischung für einen flächendeckenden Einsatz im Markt und in der bestehenden Infrastruktur. Zum anderen als Reinslösung für „Nischenanwendungen“ in Schiffen, Zügen oder landwirtschaftlichen Fahrzeugen. Nur: Rohölbasierte Kraftstoffe und ihre Herstellung dürften noch lange deutlich günstiger bleiben als synthetische, die es bislang nur im Labormaßstab gibt. Das CO₂-Problem allerdings nur über E-Mobilität zu lösen, hält Beidl für kurzsichtig: „Wir wollen zeigen, dass OME ein gesellschaftlich relevanter Parallelpfad ist.“

Die Autorin ist Wissenschaftsjournalistin und promovierte Historikerin.

Oxymethylenether (OME) ist ein aus Methyl und Trioxan hergestelltes synthetisches Molekül mit Kettenlängen von eins bis sieben. Es bildet den Ausgangsstoff für neue C1-Kraftstoffe, weil es keine für fossile Kraftstoffe typischen und für die Entstehung von Rußpartikeln verantwortlichen Kohlenstoff-Kohlenstoff-Bindungen aufweist. OME besteht neben Kohlenstoff aus Sauerstoff und Wasserstoff mit einem hohen Sauerstoffanteil, ist farblos, brennbar und hat eine hohe Energiedichte.



Professor Christian Beidl am weltweit ersten mit OME betriebenen Forschungsfahrzeug

Informationen

Institut Verbrennungskraftmaschinen und Fahrzeugantriebe
Prof. Dr. Christian Beidl
Telefon: 06151/16-21270
E-Mail:
beidl@vkm.tu-darmstadt.de