



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT

— **1 Wunsch der Kunden:** Maßgeschneiderte digitale Produktion — **2 Zu Lasten des Teams:** Phänomen Trittbrettfahren — **3 Schmutzige Magnete:** Materialwissenschaftler zeigen Alternativen — **4 Hilfe durch Informatik:** Speziell programmierte Tastatur für Schwerstkranke

hoch³FORSCHEN / Jahrgang 2 / Dezember 2013

Bitte Zahlen!

49

internationale Stipendiaten und Preisträger der Alexander von Humboldt-Stiftung wählten in den Jahren 2007 bis 2011 die TU Darmstadt aus, um hier jeweils für mehrere Monate zu forschen. Das ergab das aktuelle Humboldt-Ranking. Damit ist die TU Darmstadt in den Ingenieurwissenschaften die attraktivste Universität in Deutschland für diese herausragenden Forscherinnen und Forscher.

Abbildung: Felipe Fernandes



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

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

Leserservice redaktion@pvw.tu-darmstadt.de

ISSN 2196-1506

Fabriken für Individualisten

Die industrielle Produktion folgt dem Trend der Individualisierung. Eine ausdifferenzierte Massenproduktion für praktisch alle Erzeugnisse ist künftig möglich.

— Von Gerda Kneifel

„Denken Sie nur an die Zusatz-Ausstattungen, die Sie sich heute schon für Ihr neues Auto aussuchen können“, führt Professor Reiner Anderl beispielhaft aus. Unternehmen befriedigen inzwischen Kundenwünsche sehr detailliert. Und so denken Forscher wie der Maschinenbau-Professor Reiner Anderl gemeinsam mit der Industrie darüber nach, wie die Fabrik von morgen Produkte für individuelle Bedürfnisse noch besser produzieren kann – zum selben Preis wie für Standardprodukte.

„Das ist eine Herausforderung für die Produktionstechnik, aber insbesondere auch für die IT“, stellt Anderl klar. Das ist sein Spezialgebiet. Am Fachgebiet Datenverarbeitung in der Konstruktion (DiK) arbeitet er gemeinsam mit den Kollegen vom Institut für Arbeitswissenschaft (IAD) der TU Darmstadt an den Software-Werkzeugen für eine solche intelligente Fabrik. Seine Forschung ist eingebunden in das vom

Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) finanzierte Verbundprojekt der „Smart Factory-IT“ (SmartF-IT) – und das wiederum ist Bestandteil der Hightech-Strategie der Bundesregierung, die der deutschen Wirtschaft mit der Umsetzung der IT-gesteuerten „Industrie 4.0“ einen Wettbewerbsvorteil verschaffen möchte.

Die Smart Factory basiert auf zwei wesentlichen Innovationen: Das sind zum einen neuartige Systeme, die Elemente des Maschinenbaus, der Elektrotechnik und der Informations- und Kommunikationstechnologien miteinander kombinieren – sogenannte cyber-physische Systeme (CPS). Damit können Werkstücke nicht nur über RFID-Funketiketten mit den sie bearbeitenden Maschinen kommunizieren; sie sind auch über eine Software mit dem Internet verbunden.

Praktisch umsetzbar wird SmartF-IT zum anderen dank der Umstellung auf die neue Internet Protokoll Version 6 (IPv6). „Damit haben wir nun Internetadressen in unvorstellbaren Mengen zur Verfügung – etwa 340 Billionen Quadrillionen“, rechnet Anderl vor. „Da kann jedes beliebige Bauteil weltweit eine eigene Internetadresse erhalten – zeitlich unbegrenzt.“

Über diese Adressen sollen künftig Informationen zu jedem Produkt gespeichert werden, zum Beispiel 3D-Modelle oder auch verwendete

Materialien, so dass sich die Bauteile selbst identifizieren und miteinander vergleichen können.

Dank seiner webfähigen Sensoren kann das Produkt künftig seine Fertigung selbst steuern. „Es weiß nicht nur, welches Bauteil es ist und wie es hergestellt wird, sondern es weiß auch zu jedem Zeitpunkt der Produktion, wie weit es gefertigt ist, welche Maschine es als nächstes benötigt und ob diese auch verfügbar ist. Sollte eine Maschine defekt sein, leitet es eine Warnmeldung an den Mitarbeiter weiter, der die Produktion überwacht“, beschreibt Anderl die Fabrik von morgen.

Welchen Anforderungen ein alltagstaugliches CPS standhalten muss, erkunden die Forscher der TU an realen Produktionslinien: für Hydraulikventile bei Bosch Rexroth, mit Großküchengeräten der Marke Imperial von Miele, für Sondermotoren bei BMW. Dazu zählen auch Fragen der Ergonomie, Spezialgebiet der Forscher am IAD: Wie muss eine Software programmiert sein, die möglichst viele Informationen möglichst intuitiv verständlich aufbereitet?

Denn selbst, wenn es zunächst nicht so klingen mag – der Mensch hat in der digital gesteuerten Fabrik keineswegs ausgedient, „seine bisherigen Aufgaben verändern sich allerdings, erhalten eine neue Qualität“, berichtet Anderl. „Weiterbildungen werden einen hohen Stellenwert bekommen.“

Die Autorin ist Wissenschaftsjournalistin und Diplom-Biologin.



SmartF-IT: Produktionssteuerung über Gesten.

Deutsche Industrie im globalen Wettbewerb

Die Technologie für die Umsetzung der intelligenten Fabrik solle, so das Ziel des Bundes, in Deutschland entwickelt werden, sagt Professor Anderl. Hierzulande sei die Forschung eng verzahnt mit einer starken produktionstechnischen Industrie. Das Projekt SmartF-IT eröffnet die Perspektive, sich flexibel auf globale Trends einzustellen sowie individuelle Kundenwünsche durch Kleinst-Serien zu bedienen.

Informationen

Fachgebiet DiK

Prof. Reiner Anderl

E-Mail: anderl@dik.tu-darmstadt.de

Institut IAD

Prof. Ralph Bruder

E-Mail: bruder@iad.tu-darmstadt.de

Otto-Berndt-Straße 2, 64287 Darmstadt

Schwimmer als Analyse-
Objekt: Der Ökonom
Michael Neugart verglich
Leistungs-Schwankungen
in Teams.

Auf Kosten des Teams

Trittbrettfahrer gibt es auch im besten Team. Professor Michael Neugart, Leiter des Fachgebiets Finanzwissenschaft und Wirtschaftspolitik der TU Darmstadt, im Gespräch über seine jüngste Studie.



Bild: Katrin Binner

Projekt im Überblick

Was: Sichtung der Rohstoffpotenziale in Industrie- und Gewerbegebäuden

Wer: TU Darmstadt mit den Professoren Liselotte Schebek, Hans-Joachim Linke und Christoph Motzko und den Mitarbeitern Dr. Tine Köhler, Jan Wöltjen und Carolin Wiesenmaier; Adam Opel AG, Re2area GmbH sowie assoziierte Partner

Wo: Rhein-Main-Gebiet mit 2.458 km² Fläche, 75 Kommunen und den kreisfreien Städten Frankfurt und Offenbach

Wie lange: 2 Jahre

Seit wann: 1. April 2013

Was ist für das Rhein-Main-Gebiet zu erwarten:

- Gebäuderegister
- Ressourcenkataster zu den Rohstoffen im regionalen Baubestand
- Szenarien für Immobilienmarkt
- Vorhersagen über zukünftige Stoffströme in der Region
- Empfehlungen für die regionale Planung

Was ist überregional zu erwarten:

- Allgemeingültige Gebäudetypologie
- Rohstoffkennzahlen für verschiedene Gebäudetypen
- Materialflussmodell
- Planungshilfe für Eigentümer
- Generelle Empfehlungen zum Urban Mining

Informationen

Finanzwissenschaft und Wirtschaftspolitik

Prof. Michael Neugart

Telefon: 06151/16-2800

E-Mail: neugart@vwl.tu-darmstadt.de

— Von Jutta Witte

Herr Professor Neugart, welche Rolle spielt Teamarbeit in einer globalisierten Wirtschaft?

Sie ist aus modernen Unternehmen nicht mehr wegzudenken. Neu ist aber, wie die globalen Produktionsprozesse organisiert werden. In der Softwareentwicklung zum Beispiel wird rund um die Uhr produziert: Die einen fangen in Indien mit dem Code an und dann übernehmen nach und nach andere Teams die Folgeaufgaben, so wie die Sonne in Richtung Westen zieht. Das ist eine für die Wirtschaft heutzutage ganz typische Form von sequentieller Teamarbeit.

Sie glauben, dass diese Art von Teamarbeit nicht nur positiv ist. Warum?

Wenn Teams zusammenarbeiten, die versuchen ein gemeinsames Produkt herzustellen, gibt es für einzelne immer den Anreiz, ein bisschen weniger zu machen als der Rest, also Trittbrett zu fahren auf der Leistung der Kolleginnen und Kollegen. Denn der Einzelne arbeitet ja nicht auf eigene Rechnung, sondern es zählt am Ende das Gesamtergebnis des gesamten Teams, unabhängig davon, wie sehr ich mich selbst engagiere.

Und dieses Phänomen haben Sie wissenschaftlich nachgewiesen?

Das Phänomen ist eigentlich schon lange bekannt – in der ökonomischen Literatur und auch in den Unternehmen. Jetzt aber haben wir einen evidenten wissenschaftlichen Beleg, dass es selbst in Teams, die in Konkurrenz zu anderen Teams stehen, immer Trittbrettfahrer gibt.

Sie stützen sich auf Daten aus dem Leistungssport. Wo besteht der Zusammenhang?

Wir haben das Thema aus dem Unternehmens- in den Sportzusammenhang gebracht, weil wir es dort empirisch besser fassen können. Uns war klar, dass es sehr schwierig wird, in der Unternehmenswelt das Phänomen „Trittbrettfahren“ in einem kontrollierten Experiment genau zu messen. Im Sport aber sind die Regeln klar, der Output ist exakt messbar und alle Teilnehmer haben die gleichen Rahmenbedingungen.

Warum haben Sie Schwimmen ausgewählt?

Zum einen, weil es hier Staffel-Wettkämpfe

gibt. Eine solche Staffel ist nichts anderes als ein sequentiell arbeitendes Team, das sich im Wettbewerb mit anderen Teams befindet. Wir sind also relativ nahe an den realen Arbeitsbedingungen zum Beispiel der IT- oder Automobilbranche. Zum anderen können wir im Schwimmsport auch Daten von Einzelwettkämpfen hinzuziehen, also untersuchen, wie jeder einzelne Sportler sich verhalten hätte, wenn er nicht in ein Team eingebunden gewesen wäre, und so sein Leistungspotenzial kontrollieren. Wir können zum Beispiel zeigen, dass Michael Phelps in der 100-Meter-Freistil-Staffel langsamer schwimmt als im entsprechenden Einzelwettbewerb.

Was fanden Sie über die Vierer-Staffel heraus?

Die Sportler schwimmen in der Staffel im Schnitt zehn Hundertstel langsamer als im Einzelwettbewerb. Das ist eine Menge im Leistungsschwimmen. Wir haben festgestellt, dass Position zwei langsamer schwimmt als drei und drei langsamer als vier. Wir interpretieren das so, dass jeder den „Workload“ auf den nächsten weiterschiebt, wohlwissend, dass der mit Blick auf die Gesamtzeit mehr leisten wird. Den Startschwimmer müssen wir ausnehmen, weil er vom Block springt und seinen Start weniger gut planen kann als die drei anderen, die durch den Flying Start ohnehin fast eine halbe Sekunde schneller sind.

Welche Erklärung haben Sie für dieses Verhalten?

Es ist typisch für Trittbrettfahrer: Das Produkt, das hergestellt werden soll, ist eine schnelle Schwimmzeit. Es ist vollkommen egal, wer wie schnell oder langsam war, denn am Ende zählt die Gesamtzeit. Das wissen die Sportler genau. Der Anreiz, sein Bestes zu geben ist eben klein, wenn man den Preis hinterher sowieso teilen muss. Das ist der springende Punkt. Alle bekommen Goldmedaillen und das gleiche Preisgeld. Und alle sind Olympiasieger.

Aber Trittbrettfahrer verschlechtern die Gesamtleistung des Teams nicht?

Der Output ist zwar nicht so hoch wie er sein könnte, wenn alle sich so bemüht hätten wie sie es könnten. Aber das Endergebnis reicht aus.

Sind Ihre Forschungsergebnisse übertragbar auf wirtschaftliche Zusammenhänge?

Wir glauben schon. Wenn in der Automobilindustrie in der Linienfertigung am Anfang die Kabelbäume unordentlich verlegt werden, haben die folgenden Produktionsstufen ein Problem, müssen mehr Arbeit investieren. Im Grunde aber können alle auf die Endkontrolle vertrauen. Die Erstellung von Dokumenten ist auch ein gutes Beispiel. Viele arbeiten daran und reichen es dann an den nächsten weiter, aber die meiste Arbeit hat am Ende derjenige, der hieraus ein Papier machen muss, das den Standards entspricht.

Wenn das Problem eigentlich bekannt ist, warum schauen dann Führungskräfte nicht genauer hin?

Weil es schwierig ist, hinterher das Ergebnis so aufzugliedern, dass klar wird, was jeder einzelne geleistet hat. Wenn es so wäre, müsste man ja auch keine Teams bilden. Man bildet Teams, weil man der Meinung ist, dass bestimmte Aufgaben nur in der Gruppe erledigt werden können.

Was sagen Sie Führungskräften, die Teams zusammen stellen und begleiten müssen?

Sie können Trittbrettfahren nicht abstellen, höchstens minimieren. Viele Arbeitsergebnisse sind nicht kontrollierbar. Wie will man zum Beispiel bei einer Aufgabe, bei der es wie in der Produktentwicklung um Kreativität geht und Teamstrukturen unumgänglich sind, herausfinden, was der Einzelne geleistet hat? Hier wird es schwierig, Verantwortlichkeiten zuzuteilen. Bei anderen Aufgaben, wo der Output messbar ist und es um ein konkretes Produkt geht, könnte mehr Kontrolle aber durchaus sinnvoll sein.

Schaden Trittbrettfahrer aus ökonomischer Sicht?

Das ist wohl kaum zu beantworten. Ich halte es für eine große Herausforderung, ein bereits an sich in Unternehmen schwer messbares Phänomen zu quantifizieren.

Die Autorin ist Wissenschaftsjournalistin und promovierte Historikerin.

Leistungsstarke Magnete

Windkraftanlagen und Elektromotoren enthalten Magnete mit Metallen, die unter kritischen Bedingungen überwiegend in China gewonnen werden. Materialwissenschaftler suchen Alternativen.

— Von Uta Neubauer

Sie halten Notizen an Kühlschränken fest, verschließen Handtaschen und machen Pseudopiercings möglich. Magnete sind praktisch – und manche Typen sogar unverzichtbar. „Ohne Magnete funktioniert in unserem Alltag nicht viel“, sagt Oliver Gutfleisch, Professor an der TU Darmstadt. Er meint damit allerdings nicht die einfachen Haftmagnete, sondern jene Hochleistungsmagnete, die in Mobiltelefonen und Computern, in medizinischen Geräten, Elektromotoren und Generatoren stecken. „50 bis 100 solcher Magnete besitzt der moderne Mensch“, unterstreicht der Materialwissenschaftler, „und neue Technologien werden den Bedarf zukünftig noch deutlich steigern.“ An magnetischen Materialien für kompressorfreie Kühlschränke und Klimaanlage forschen sowohl Gutfleisch als auch einige Unternehmen bereits – wird die Technik praxisreif, eröffnet sich Magnetherstellern ein weiterer Riesenmarkt.

Die derzeit gängigen Hochleistungsmagnete für technische Anwendungen enthalten hauptsächlich Eisen, etwas Bor zur Stabilisierung und fast 30 Gewichtsprozent Neodym, teils auch dessen Verwandten Dysprosium, der Magnete hitzetauglich macht. Die beiden exotisch klingenden Metalle gehören zur Gruppe der sogenannten Seltenen Erden. So rar, wie die Bezeichnung vermuten lässt, ist aber zumindest Neodym nicht. „Selbst bei steigendem Bedarf dürften die Vorräte noch einige hundert Jahre reichen“, meint Gutfleisch. Gesichert ist die Versorgung dennoch nicht, denn 97 Prozent der Seltenen Erden werden in China gefördert. Das spiegelt sich in der Magnetproduktion: China stellt 80 Prozent aller Neodym-Eisen-Bor-Magnete her, gefolgt von Japan mit 18 Prozent. Die restlichen zwei Prozent werden in Deutschland, genauer: in Hanau, produziert.

Seltene Erden kommen in der Natur meist gemeinsam mit Thorium oder Uran vor, bei der Förderung entsteht radioaktiver Müll. Neue Minen im Westen sind daher aus Umweltschutzgründen kaum in Betrieb zu nehmen, doch verzichten können moderne Industriegesellschaften auf die Metalle nicht. Mit der Energiewende sei der Bedarf sogar noch gestiegen, betont Gutfleisch. Moderne Windgeneratoren enthalten pro Megawatt Leistung ungefähr eine halbe Tonne seltenere Magnete, in einem Hybridfahrzeug stecken bis zu zwei Kilogramm. Das ausschließlich in Südchina gewonnene Dysprosium, das dort mit Säure aus dem Erdreich gewaschen wird, ist für diese beiden Anwendungen derzeit unersetzlich. „Windkraft und Elektrofahrzeuge

bezeichnen wir zwar als grüne Technologien. Die dafür benötigten Metalle sind aber nicht grün“, beschreibt Gutfleisch das Dilemma.

Eines seiner Forschungsziele lautet daher, den Gehalt des besonders bedenklichen Dysprosiums in Magneten zu senken. Üblicherweise wird das Metall in die Ausgangslegierung eingeschmolzen und ist daher homogen im Material verteilt. „Das muss nicht sein“, erklärt Gutfleisch und skizziert die Struktur eines Magneten. Er besteht aus vielen kleinen Kristallen. Entscheidend für die Hochtemperaturstabilität sind die Dysprosium-Gehalte an den Grenzflächen zwischen diesen Kristallen. Auf Dysprosium im Innern hingegen könnte man verzichten. „Mit hochauflösenden mikroskopischen Untersuchungen und Rechnungen wollen wir genau verstehen, wie die Kristallgrenzen beschaffen sind, um dann dort gezielt Dysprosium einzubringen oder es vollständig zu substituieren“, erklärt Gutfleisch. Ein entsprechendes Verfahren entwickeln er und seine Mitarbeiter bereits: Neodym-Eisen-Bor-Blöcke beschichten sie mit Dysprosium und unterziehen sie anschließend einer Wärmebehandlung. Dadurch diffundiert das Seltenerdmetall entlang der Kristallgrenzen ins Innere des Magneten und lagert sich dort an. Mit solchen Verfahren ließe sich der Dysprosium-Gehalt von teils acht auf unter zwei Gewichtsprozent senken, schätzt Gutfleisch.

„50 bis 100 solcher Magnete besitzt der moderne Mensch.“

Auch an komplett seltenerd-freien Magneten arbeiten die Darmstädter Materialwissen-

schaftler. Zu den vielversprechenden Kandidaten zählen Eisen-Kobalt-Legierungen. Sie lassen sich stärker magnetisieren als Neodym-Eisen-Bor-Werkstoffe und funktionieren selbst bei hohen Temperaturen. Aber sie verlieren ihre Magnetkraft relativ schnell wieder – wie ein durch einen Starkmagneten magnetisierter Eisennagel, der nach Entfernen des Feldes nur kurze Zeit selbst magnetisch ist. Lässt sich die Magnetwirkung stabilisieren? Der Schlüssel liegt in der Kristallstruktur, in der Anordnung der Atome. Während der Magnetisierung in einem äußeren Feld richten sich die vielen winzigen magnetischen Bereiche eines Materials parallel aus. In den meisten Substanzen kann diese Orientierung in beliebige Richtungen geschehen, je nach Verlauf der Feldlinien. Neodym-Eisen-Bor-Legierungen hingegen besitzen eine durch das Kristallgitter festgelegte Vorzugsrichtung. „Damit eignen sie sich nahezu ideal als Dauermagnet“, schwärmt Gutfleisch. Die Magnetisierung ist im Kristallgitter verankert und wird durch äußere Felder, die aus anderen Richtungen angreifen, nicht geschwächt.

Um Eisen-Kobalt-Legierungen in Dauermagneten zu verwandeln, zwingen die Darmstädter Forscher dem Material eine magnetische Vorzugsrichtung auf. Sie lassen die Legierung beispielsweise auf einem Träger wachsen, der eine geeignete Struktur vorgibt. Das funktioniert aber nur für dünne magnetische Schichten, die man beispielsweise für Computer und Speicher-

medien braucht. Ein anderes Verfahren basiert auf dem Einbau von Fremdatomen wie Bor, Kohlenstoff oder Wolfram in das Kristallgitter – in der Hoffnung, dass es sich dadurch verzerrt und dann eine magnetische Vorzugsrichtung aufweist. Im Projekt „Response“, das im Rahmen der hessischen Landes-Offensive zur Entwicklung Wissenschaftlich-ökonomischer Exzellenz (LOEWE) mit 4,4 Millionen Euro gefördert wird, sollen massive Materialien zudem bei hohen Drücken und Temperaturen so verformt werden, dass Vorzugsrichtungen entstehen.

Eine andere Stoffklasse, in die Gutfleisch und seine Kollegen ebenfalls große Hoffnungen setzen, sind Eisennitride. Sie bestehen aus Eisen und dem ebenfalls reichlich verfügbarem Stickstoff, sind allerdings thermisch instabil. „Bei erhöhten Temperaturen zersetzen die sich sofort“, erklärt Gutfleisch. Auch hier tüftelt das Darmstädter Team schon an einer Lösung. Bereits bei der Entwicklung neuer Magnetwerkstoffe denkt Gutfleisch, der neben seiner Professur an der TU Darmstadt den Geschäftsbereich Substitution der Fraunhofer-Projektgruppe für Wertstoffkreisläufe und Ressourcenstrategie in Hanau leitet, an das spätere Recycling. Die Wiederverwertung wäre auch für Neodym und Co. eine Option, doch noch liegen die Raten unter einem Prozent. „Vernünftige Sammellogistiken gibt es nicht“, kritisiert Gutfleisch. Problematisch sei

Response: Interdisziplinäre Magnetforschung
„Ressourcenschonende Permanentmagnete durch optimierte Nutzung Seltener Erden“ (Response) heißt der neue LOEWE-Schwerpunkt an der TU Darmstadt. Neben dem Team um Koordinator Oliver Gutfleisch und weiteren Gruppen aus der Materialwissenschaft beteiligen sich die Arbeitsgruppen der Chemie-Professorin Barbara Albert mit Arbeiten zu Nanopartikeln sowie des Maschinenbau-Professors Peter Groche, Experte für Umformtechniken. „Die speziellen Verfahren der beiden Partner wurden bislang nicht auf Magnetwerkstoffe angewandt. Das verspricht neue Blickwinkel“, freut sich Gutfleisch.

zudem die Rückgewinnung selbst, denn die Metalle der Seltenen Erden ähneln sich untereinander so stark, dass ihre Trennung extrem aufwendig und teuer ist. Bislang haben Materialentwickler aus dem Vollen geschöpft und alle Elemente des Periodensystems verwendet, die gerade hilfreich schienen. „Jetzt wollen wir die Komplexität reduzieren, um das Recycling zu erleichtern“, betont Gutfleisch. „Wir müssen das Materialdesign neu aufziehen.“ Die Ressourceneffizienz steht künftig an erster Stelle.

Die Autorin ist Wissenschaftsjournalistin und promovierte Chemikerin.



Ressourceneffizienz im Blick: Professor Oliver Gutfleisch entwickelt umweltverträgliche Magnete.

Abbildung: Katrin Birner

Informationen

Fachbereich Materialwissenschaften
Fachgebiet Funktionale Materialien
Prof. Oliver Gutfleisch
Telefon: 06151/16-75559
E-Mail: gutfleisch@fm.tu-darmstadt.de
Alarich-Weiss-Straße 16
64287 Darmstadt

Alphabet auf sechs Tasten

Dr. Torsten Felzer leidet unter einer neuromuskulären Erkrankung. Die Arbeit mit einer handelsüblichen Tastatur ist für den Software-Ingenieur eine Qual. Jetzt hat er eine Lösung entwickelt.

— Von Hildegard Kaulen

Wie viele Wörter können Sie pro Minute fehlerfrei über eine Standardtastatur eingeben: vierzig, sechzig, hundert? Torsten Felzer vom Institut für Mechatronische Systeme im Fachbereich Maschinenbau der TU Darmstadt schafft gerade einmal dreieinhalb. Der 42-jährige Software-Ingenieur leidet unter Friedreich-Ataxie, einer Bewegungsstörung mit Lähmungen und Muskelschwund. Seine Finger versehen ihren Dienst nur mit Mühe. Die Krankheit ist progressiv. Hinter diesem nüchternen medizinischen Fachbegriff verbirgt sich die Tatsache, dass die Bewegungsstörung mit der Zeit immer schlimmer wird. Sein 1,1er-Abitur hat Felzer noch mit der Hand geschrieben. Heute fällt es ihm schwer, den Löffel zum Mund zu führen. Mit 15 Jahren konnte er noch selber gehen, mit 18 Jahren brauchte er einen Rollstuhl, um sich fortzubewegen, mit 25 Jahren konnte der knapp zwei Meter große Mann nicht mehr auf seinen Füßen stehen. Heute ist er auf Rundum-Betreuung angewiesen.

Felzer, der von seinen kognitiven Fähigkeiten her ein Ausnahmetalent ist und als Schüler Kinderarzt oder Programmierer werden wollte, ist nicht der Einzige mit dieser Krankheit. In Deutschland leiden rund 2.000 Männer und Frauen unter Friedreich-Ataxie. E-Mails schreiben, im Internet surfen, simsen, chatten, bloggen – dies erfordert eine Fingerfertigkeit, die den Betroffenen zunehmend abhandenkommt. Sie können auch nicht auf eine Spracherkennung ausweichen, weil die Krankheit die Sprechmuskeln angreift. Es gehört zu Felzers frustrierenden Erlebnissen, dass es ihm nicht gelungen ist, ein Spracherkennungsprogramm mit seiner verwachsenen Stimme zu trainieren.

Weil der Computer heute ein wichtiges Kommunikations- und Arbeitsinstrument ist, laufen Menschen mit Friedreich-Ataxie Gefahr, von beruflicher und sozialer Teilhabe ausgeschlossen zu werden. Deshalb begann Felzer vor dreieinhalb Jahren, eine einfach zu bedienende Spezialtastatur mit passender Software zu entwickeln. Deren Funktionalität sollte der

einer Standardtastatur mit Computermaus entsprechen und den Benutzern nicht zu viel, aber auch nicht zu wenig abverlangen. Menschen mit Friedreich-Ataxie brauchen nämlich kein System, das nur über Stirnrunzeln oder Hirnströme gesteuert wird. Damit würden sie hinter ihren Bewegungsmöglichkeiten zurückbleiben.

„Jemand mit Friedreich-Ataxie wird Texte nie mit einer vergleichbaren Geschwindigkeit eingeben können wie ein Gesunder“, sagt Felzer. „Auch nicht mit besonderen Hilfsmitteln. Ich wollte erreichen, dass die Eingabe weniger anstrengend ist“. Feinmotorisch gesehen ist das Anschlagen der Tasten nämlich kein Kinderspiel. Jede Taste muss im richtigen Winkel angesteuert werden. Außerdem müssen die Tasten präzise und mit gleichbleibender Kraft gedrückt werden. Sonst fehlt nachher ein Buchstabe im Text, erscheint doppelt oder zusammen mit dem Buchstaben der rechten oder linken Nachbartaste. Das zieht mühsame Korrekturen nach sich. Problematisch sind auch die Auto-Repeat-Funktionen. Mit einem allzu langen Drücken der Backspace-Taste wird der mühsam eingegebene Text auf einen Streich wieder gelöscht – für Felzer und seine Leidensgenossen eine kleine Katastrophe.

„Die Spezialtastatur sollte mit wenigen Tasten auskommen, gut in beiden Händen liegen und ohne Umgreifen mit beiden Daumen bedient werden können“, beschreibt der Computer-Ingenieur, der im Institut von Professor Stephan Rinderknecht arbeitet, die Anforderungen an die Hardware. Mit der Software, die Felzer OnScreenDualScribe nennt, hat er die Backspace-Taste an die kurze Leine gelegt und andere Auto-Repeat Funktionen radikal beschnitten.

Wie funktioniert nun seine Lösung? Die circa 9 mal 13 Zentimeter große Tastatur ist ein kommerziell erhältlicher Standard-Nummernblock mit 18 Tasten, der – um 90 Grad gedreht – angenehm in den Händen liegt und durch Aufkleber ein anderes Aussehen erhalten hat. Er hat drei Modi für das Eingeben von Text entwickelt, drei zur Nachahmung der Maus-Funktion und weitere für andere Anwendungsbereiche, etwa das Editieren. Text gibt der Computer-Ingenieur gerne über den „Ambiguous Mode“ ein. Bei dieser Betriebsweise ist das Alphabet auf sechs Tasten verteilt. Die Texteingabe funktioniert

„Ich will erreichen, dass die Eingabe von Text weniger anstrengend ist.“

ähnlich wie das Simsen mit dem Zahlenblock eines Mobiltelefons. Während Felzer eine Sequenz dieser sechs Tasten anschlägt, erscheint auf dem Computerbildschirm eine Liste mit Wörtern aus einem virtuellen Wörterbuch, die zu den eingegebenen Tasten passen. Wenn das richtige Wort in der Liste enthalten ist, muss Felzer es nur noch bestätigen. Trotz der Mehrfachbelegung schlägt er höchstens eine Taste pro Buchstabe an.

Neben dieser Betriebsweise kann Felzer Texte auch mit dem „Dual Mode“ eingeben. Bei dieser Betriebsweise werden 96 Zeichen über eine doppelt besetzte Anordnung von acht Zeilen und sechs Spalten angewählt. Für die ersten 24 Buchstaben des Alphabets beispielsweise braucht Felzer zwei Anschläge. Mit dem Ersten wählt er die Zeile aus, mit dem Zweiten die Spalte. Auch hier hilft ihm ein virtuelles Wörterbuch, schneller und einfacher ans Ziel zu kommen, denn das Wörterbuch macht Vorschläge, wie der Wortanfang komplettiert werden könnte. Pro Buchstabe muss der Ingenieur zwar mehr als eine Taste anschlagen, über die Wortkompletzierung ist der Aufwand aber geringer als beim Schreiben des gesamten Wortes.

„Das klingt alles sehr aufwendig“, sagt Felzer. „Und das ist es im Grunde auch. Ich bin mit dieser Lösung nicht viel schneller als mit einer Standardtastatur, aber die Texteingabe ist nicht so mühsam, weil ich nur die Daumen bewegen muss und nicht mehr die ganze Hand und weil mir beim Anschlagen der Tasten weniger Fehler unterlaufen. Allerdings sind meine kognitiven Fähigkeiten stärker gefragt, weil ich ständig nach dem richtigen Vorschlag in der Wörterliste suchen muss. Deshalb wird meine Texteingabe auch langsamer, wenn ich müde werde. Im ausgeruhten Zustand komme ich mit OnScreenDualScribe auf fünf Wörter pro Minute.“ Für die Maus-Funktion hat Felzer drei Betriebsweisen eingerichtet. Bei zwei dieser drei Modi bewegt er den Cursor mit Tasten über den Bildschirm. Er kann den Cursor aktiv bewegen, indem er die Tasten gedrückt hält, oder passiv, indem er den Cursor ohne Tastendruck über den Bildschirm wandern lässt und ihn erst durch einen Befehl stoppt. Dieser Modus setzt allerdings eine schnelle Reaktionsfähigkeit voraus. Sonst schießt der Cursor über das Ziel hinaus. Bei dem dritten Modus zoomt sich der Cursor allmählich

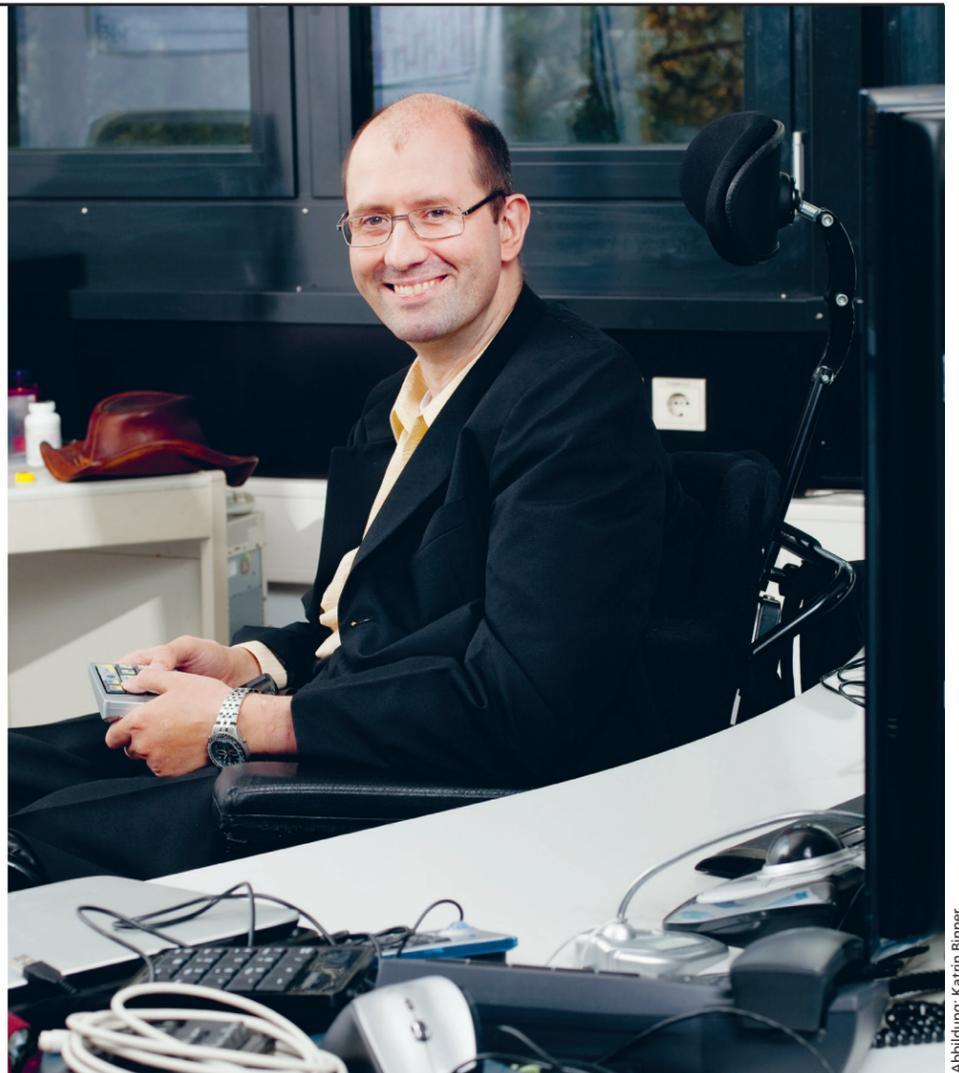
auf die richtige Position. Dazu wird per Tastendruck ein Netz von 24 Kacheln über den Computerbildschirm gelegt und die Kachel angewählt, in dem sich das Ziel für den Cursor befindet. In dieser Kachel entsteht dann ein neues Netz mit 24 Unterkacheln. Diese Prozedur wird so lange fortgesetzt, bis der Cursor sein Ziel erreicht hat.

Die Deutsche Forschungsgemeinschaft fördert Felzers Projekt. Er würde seine Hard- und Software gerne von mehr Personen mit neuromuskulären Erkrankungen testen lassen. „Das ist gar nicht so einfach, weil das souveräne Bedienen der verschiedenen Betriebsweisen anfänglich einige Übung erfordert“, sagt Felzer. „Man kann andere nur schwer davon überzeugen, sich diese Zeit zunächst einmal zu nehmen“. Dabei würde ihm deren Rückmeldung helfen, seine Lösung weiterzuentwickeln. Felzer ist auch auf der Suche nach einem Unternehmen, das Interesse daran hat, daraus ein kommerzielles Assistenzsystem für Menschen mit neuromuskulären Erkrankungen zu machen.

Die Autorin ist Wissenschaftsjournalistin und promovierte Biologin.

Was ist Friedreich-Ataxie?

Die seltene Erbkrankheit entsteht durch eine Mutation auf Chromosom 9. Die Mutation führt zu einer wackeligen Verlängerung der Gensequenz. Das Triplet GAA ist nicht mehr acht- bis siebzehnmal vorhanden, sondern mehrere hundert Mal. Je öfter diese Wiederholung hinterlegt ist, desto kranker sind die Betroffenen. Allerdings wird nur derjenige krank, der zwei defekte Kopien erbt hat. Wer noch eine gesunde Kopie besitzt, entwickelt keine Symptome, gibt die Anlage aber an seine Kinder weiter. Die Mutation beeinträchtigt den Eisenstoffwechsel. Wichtige eisenhaltige Enzyme werden nicht mehr richtig zusammengebaut. In der Folge degenerieren die feinen Nervenendigungen in Armen und Beinen und die großen Nervenfasern im Rückenmark, was zu der typischen Gangunsicherheit führt. Weitere Symptome sind eine fehlende Tiefensensibilität, fehlende Reflexe, Veränderungen am Skelett, ein Hohlfuß, Augenzittern, Schwerhörigkeit und eine undeutliche Sprache. Zu den schwerwiegenden Begleitumständen gehören eine Herzmuskelerkrankung und Diabetes. Viele Betroffene sterben an Herzversagen. Auch Torsten Felzers sieben Jahre jüngerer Bruder Markus hatte Friedreich-Ataxie. Er starb gerade einmal 22-jährig an Herzversagen.



Die Spezialtastatur bequem und sicher in der Hand: Torsten Felzer an seinem Uni-Arbeitsplatz.

Abbildung: Katrin Binner

Informationen

**Fachbereich Maschinenbau
Institut für Mechatronische Systeme**
Dr.-Ing. Torsten Felzer
Telefon: 06151/16-2274
E-Mail: felzer@ims.tu-darmstadt.de
Otto-Berndt-Straße 2
64287 Darmstadt