

# Der Unzufriedene, der zu forschen begann

**MOBILITÄTSFORSCHUNG:** Elektro-Rollstühle ermöglichen Menschen mit Handicap mehr Mobilität, doch ihre Reichweite ist begrenzt. Forscher an der RWTH Aachen haben ein spezielles Navigationssystem entwickelt, das E-Rollstuhlfahrern in der Kaiserstadt den energieeffizientesten Weg weisen soll. Nun muss noch die Batterie-Anzeige verbessert werden.

VDI nachrichten, Düsseldorf, 28. 3. 14, lls

Die Batterieladung ist halb voll, Dzenan Dzafic sollte noch 15 km weit kommen. Wenn er der Anzeige seines Elektro-Rollstuhls Glauben schenken könnte. Der 30-Jährige weiß aber, dass das leichtsinnig wäre. Denn er wohnt in Aachen, einer Stadt, die mit dem in der Reichweitenprognose angenommenen Flachland nichts gemein hat. Jeder Anstieg lässt den Energiebalken auf dem Display merklich schrumpfen. Wie lange Dzafics Akku noch reicht, kann er nur anhand seiner Erfahrung ermesen. Wie bei Handys zeigen die Ladebalken nämlich lange eine konstant hohe Ladung an und brechen dann plötzlich ein.

Ist der Handy-Akku leer, ist das meist nur ärgerlich. Entlädt sich der Rollstuhl-Akku schneller als gedacht, wird es dagegen richtig schwierig. Der E-Rollstuhl wiegt rund 150 kg und lässt sich nicht falten. Ein Taxi zu rufen, wäre sinnlos. Für solche Fälle bietet das Rote Kreuz eine Notfallnummer an. Liegen gebliebene Rollstuhlfahrer müssen jedoch warten, bis ein Transportfahrzeug frei wird. Dzafic kalkuliert deshalb lieber vorsichtig und verlässt sich nicht auf die Akkustandanzeige. „Für eine sichere Kapazitätseinschätzung ist das zu ungenau.“

Als er vor vier Jahren sein Informatikstudium an der RWTH Aachen begann, beschloss der gebürtige Bosnier, sich nicht mehr damit abzufinden. Er nahm seinen Mut zusammen und kloppte bei Stefan Kowalewski an, dem Inhaber des Informatik-Lehrstuhls für Eingebettete Software. Im folgenden Gespräch konnte er den Professor für seine Idee gewinnen, das Problem mit Mitteln der Informatik anzugehen. „Das ist Forschung nah am Menschen, das hat mir sofort gefallen“, sagt Kowalewski heute. Bevor er an die RWTH wechselte, arbeitete er als Ingenieur für Elektrotechnik an Softwareprodukten für Autos.

Was als studentisches Praktikum begann, mauserte sich bald zum Forschungsprojekt „eNav“. Hier arbeiten die Aachener seit 2011 daran, die Akku-Anzeige für E-Rollstühle zu verbessern und die Akkukapazität effektiver nutzbar zu machen.

Herausgekommen ist jetzt ein spezielles Navigationssystem für E-Rollstühle.

In die Routenberechnung fließen Daten zu Streckensteigungen und Bodenbeschaffenheiten ein. Mit diesen Informationen kann der Routenplaner jeweils die Route errechnen, auf der ein E-Rollstuhl am wenigsten Energie verbraucht – allerdings erstmal nur für das Gebiet der Stadt Aachen.

Das System berücksichtigt außerdem Barriereinformationen wie Treppen und den Steigungsgrad, den der E-Rollstuhl eines Nutzers maximal bewältigen kann. Vor allem abfallende Treppen sind ein Problem. Anders als die aufsteigenden sieht man sie nämlich erst, wenn man unmittelbar vor ihnen steht.

Zu jeder Anfrage erhält der Nutzer zwei Vorschläge, die kürzeste und die energieeffizienteste Route. Er sieht so, wie viel oder wenig Energie er im konkreten Fall einsparen kann. In einer Simulation lag die Ersparnis bei rund 5 %. Doch Dzafic weiß: „Es gibt Strecken, da sind es 10 % bis 15 %.“ Tests hätten außerdem gezeigt: „Für ein Drittel aller Strecken in der Stadt kann das Navigationssystem im Vergleich zur kürzesten eine sparsamere Route anbieten.“

Für die Datenbasis und den Suchalgorithmus konnten die Aachener auf Projekte wie Open Street Map (OSM) und Open Route Service (ORS) zurückgreifen. Aber sie mussten auch Pionierarbeit leisten. „Open Street Map ist im Prinzip eine zweidimensionale Karte“, sagt Dzafic. Es gebe zwar auch Höheninformationen, die könnten aber pro Messpunkt bis zu 5 m abweichen.

Fündig geworden sind die Forscher bei der Bezirksregierung Köln. Sie stellten ihnen einen kompletten Laserscan von Aachen zur Verfügung. Die Luftaufnahmen sind in einem flugzeuggestützten Scanningverfahren entstanden, bei dem Höhen und Tiefen der Topografie durch eine optische Abstandsmessung erfasst wurden. „Mit einer Abweichung von 20 cm pro Messpunkt sind diese Daten sehr genau“, so Dzafic. „So konnten wir ein 3-D-Modell von Aachen entwickeln.“

Außerdem musste eine Formel her, um den Einfluss von Steigungen auf den Energieverbrauch von E-Rollstühlen zu berechnen. „Das war bislang nicht erforscht“, sagt Kowalewski. Für eine geeignete Datenbasis sorgte Dzafic im

Selbstversuch. Er fuhr verschiedene Steigungsstrecken in der Stadt mit seinem E-Rollstuhl ab und ermittelte den Stromverbrauch. Die Aachener fanden heraus: Der Verbrauch steigt exponentiell zur Steigung. Auf öffentlichen Straßen lägen Steigungen meist im Bereich bis 5 %. Bei diesen kleinen Steigungen sei der Zusammenhang näherungsweise linear. Allerdings: „1 % mehr Steigung führt zu ca. 20 % mehr Energieverbrauch“, erklärt Kowalewski. „Das ist ein sehr relevanter Effekt.“

Auch die Bodenbeläge hat Dzafic für Aachen akribisch erfasst und insgesamt 16 „Spurtypen“ identifiziert. Das Navigationssystem berücksichtigt nun die Reibungskräfte bzw. Rollwiderstände auf der Route. Der Einfluss auf den Energieverbrauch sei im Vergleich zur Steigung geringer. Hinweise auf schwierige Bodenbeläge seien jedoch generell wichtig. Das Kopfsteinpflaster am Aachener Markt wirkt zwar herrlich historisch. Aber ein E-Rollstuhl rüttelt und schüttelt seinen Fahrer ordentlich durch. Schuld sind die kleinen, in alle Richtungen drehbaren Lenkräder, die auf dem glatten, unebenen Grund ins Schlingern geraten. Bei den Spurtypen geht es daher „um Sicherheit und Fahrkomfort“, so Dzafic.

Im Sommer soll das eNav-Navigationssystem mit einer Webapplikation und einer Smartphone-App online gehen. Zuvor müssten Aachen und Köln die zu Forschungszwecken überlassenen Daten allerdings noch freigeben. Geht es nach Dzafic, ist der Routenplaner für Aachen erst ein Anfang. Seine Vision: „Das Prinzip könnte auf andere Städte übertragen werden.“ Denn für ganz Deutschland gebe es Laserscans mit den benötigten Höheninformationen. „Und wir haben hier die Schnittstellen entwickelt, um die Daten zu integrieren.“

## Die Abhängigkeit vom Akku bremsst Elektro-Rollstuhlfahrer noch zu häufig aus

Über eine energieeffiziente Routenplanung für seine Heimatstadt Stuttgart würde sich Johann Kreiter auf jeden Fall freuen. Der frühere Vorsitzende der Nationalen Koordinationsstelle Tourismus für alle (NatKo) und heutige Tourismus-Berater ist mit seinem Rollstuhl-Akku schon oft „auf Messers Schneide“ gefahren. Der Experte weiß: „Gerade in Deutschland und Europa hat sich beim Thema Barrierefreiheit sehr viel getan.“ Aber durch Internet und Vernetzung gebe es heute neue Möglichkeiten. „Hier kann man jetzt noch mehr tun“, sagt der 65-Jährige.

Auch Christian Röhling könnte ein energieeffizientes Navigationssystem manchmal gut gebrauchen, vor allen Dingen auf Reisen. Der 20-Jährige aus dem südhessischen Lampertheim ist leidenschaftlicher Eishockey-Fan und spielt selbst Elektrorollstuhl-Hockey im Team der Ludwigshafener „Rolli-Teufel“. Neulich gab's in Österreich gerade wieder viel zu entdecken, aber überall ging es bergauf. Schafft der Akku seines E-Rollstuhls auch noch die nächste und übernächste Steigung? Die Zweifel bremsen ihn und die Familie ständig aus.

Auch in Sachen Batterieanzeige ist bei Kreiter und Röhling die Unsicherheit ein ständiger Begleiter. „Im letzten Drittel weiß man nie, schafft man jetzt noch



Auf Forschungsfahrt durch Aachen prüften die Kommilitonen Dzenan Dzafic (vorne) und Danni Baumeister die Wege zunächst auf Steigungen, Beschaffenheit und Barrierefreiheit, um dem zweidimensionalen Stadtplan Leben einzuhauchen. Foto: RWTH Aachen / Peter Winandy

fünf Kilometer oder nur drei“, erzählt Röhling. Dass Forscher und ein Elektro-Rollstuhlersteller hier an Verbesserungen arbeiten, wusste er bis jetzt nicht. „Aber das wäre sehr hilfreich“, begeistert sich der Rolli-Teufel.

Herzstück des Aachener Ansatzes ist ein Stromsensor, der den Stromverbrauch des Rollstuhl-Akkus laufend misst und daraus die verbleibende Kapazität berechnet bzw. abschätzt. Eine Leiterplatte, die Dzafic und seine Kommilitonen zusammen mit Informatiker Dominik Franke erstellen, fusioniert den Sensor mit einem Mikrocontroller und einem Bluetooth-Modul. Eine einfache App stellt die Sensor-Daten über Smartphone zur Verfügung und zeigt die Akku-Kapazität in Prozent an. So ausgestattet, konnte Dzafic bei seinen späteren Testfahrten auf Steigungsstrecken mit präziseren Akkudaten arbeiten.

Die studentische Entwicklung sei aus Sicherheitsgründen bis dato nur zu Testzwecken im Einsatz gewesen, stellt Lehrstuhlleiter Kowalewski fest. Das Ergebnis sei jedoch eindeutig: „Wir können hier mit einem relativ einfachen Konzept zu deutlich präziseren Aussagen über den Akkustand kommen.“ Zur Weiterentwicklung brauche man aber Unterstützung aus der Industrie. „Hier suchen wir einen Partner“, sagt Kowalewski.

Ein Hersteller von Elektrorollstühlen, der sich des Themas angenommen hat, ist das Thüringer Medizintechnikunternehmen Otto Bock Mobility Solutions. In Zusammenarbeit mit dem Fraunhofer Institut für Angewandte Systemtechnik (AST) im thüringischen Ilmenau hat man ein klares Ziel: „Die Abweichung in der Batterieanzeige darf künftig nicht größer als 10 % sein“, sagt Entwicklungsleiter Andreas Biederstädt. Heute liege die Abweichung bei bis zu 50 %.

Wie die Aachener, will man bessere Batteriedaten generieren. 98 % aller Ak-

kus, die Otto Bock verwendet, sind Bleibatterien, die das Unternehmen zukaufte. Ein Batteriemangelsystem vom Hersteller gebe es nicht. „Wenn wir Batteriedaten bereitstellen wollen, müssen wir das selbst machen.“ Zurzeit arbeite man an Sensoren und Berechnungsalgorithmen.

Dabei werde man künftig Faktoren wie den Batterie-Alterungsprozess, aber beispielsweise auch die Außentemperatur berücksichtigen. „Wenn Sie im Winter mit dem E-Rollstuhl fahren, hat der Akku 30 % bis 40 % weniger Kapazität“, weiß Biederstädt.

Auch Daten von Drittanbietern will man nutzen. „Wenn wir uns die Temperatur aus einer Wetter-App holen, sparen wir uns die Temperatursensoren“, so Biederstädt. Der Rollstuhlnutzer soll künftig über eine Android-App via Bluetooth auf die Batteriedaten zugreifen

können. Der Entwicklungsleiter schätzt, dass in zwei bis drei Jahren der erste Serien-E-Rollstuhl mit den neuen Funktionen ausgestattet sein könnte.

In Aachen wird Dzafic das eNav-Projekt künftig als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Informatiklehrestuhl mit viel Herzblut weiter vorantreiben. Außerdem wollen die Forscher hier ein zweites E-Fahrzeug unter die Lupe nehmen. „Bei Pedelecs hat man in Sachen Reichweite im Grunde die gleiche Problematik“, sagt Kowalewski. Er ist überzeugt: „Unser Ansatz ist im Prinzip übertragbar.“

Johann Kreiter und Christian Röhling blicken gespannt nach NRW und Thüringen. „Ich freue mich heute schon auf eine Akku-App“, sagt Röhling. Als reisefreudiger Rollstuhlfahrer wird er sich aber gedulden müssen, bis flächendeckendes Kartenmaterial verfügbar ist. HEIKE FREIMANN



Verlässliche Anzeigen: Diesen Wunsch vieler Elektro-Rollstuhlfahrer kann jeder nachvollziehen, der sich auf der Suche nach einer nahe gelegenen Tankstelle schon einmal auf sein Navigationsgerät verlassen musste. Foto: Otto Bock

## Steckbrief Elektro-Rollstühle

- ▶ Elektrorollstühle gelten als Fahrzeuge im Sinne der Straßenverkehrsulassungsordnung und müssen deshalb beispielsweise mit einer Beleuchtungsanlage ausgestattet sein. Sie werden vom TÜV abgenommen.
- ▶ Laut dem Hersteller Otto Bock Mobility Solutions kostet ein E-Rollstuhl zwischen 3000 € und 20 000 €. Im Schnitt sei das Fahrzeug auf einen Betrieb von fünf Jahren ausgelegt, aber auch 20 Jahre alte E-Rollstühle seien noch im Einsatz. Zu 99 % würden E-Rollstühle in Deutschland über die Krankenkasse verordnet.
- ▶ Die Rollstühle erreichen je nach Ausstattung Spitzgeschwindig-

keiten von bis zu 15 km/h und sind für unterschiedliche Reichweiten, im Mittel für 30 km bis 40 km ausgelegt.

- ▶ Als Stromspeicher sind hauptsächlich Blei-Gel-Batterien im Einsatz. Rekruperation ist, laut Otto Bock, bei allen renommierten Rollstuhlsteuerungsherstellern Stand der Technik sein.
- ▶ Hauptanbieter sind amerikanische Firmen (Invacare, Pride, Sunrise Medical), die auch in Deutschland entwickeln und produzieren. Aus der Bundesrepublik kommen Firmen wie Otto Bock und Meyra, aus Skandinavien Permobil und Handicare. H.F.

# Deutsche Unternehmen bauen ihre Forschung im Ausland aus

**FORSCHUNG:** Deutsche Unternehmen investieren zunehmend in fremden Ländern – hier wachsen ihre Forschungsausgaben schneller als in Deutschland. Doch es handelt sich dabei nicht um den einseitigen Abfluss von FuE-Mitteln ins Ausland: Ausländische Unternehmen investieren fast die gleiche Menge an FuE-Mitteln in Deutschland.

VDI nachrichten, Berlin, 28. 3. 14, moc

Das Ausland wird für forschungsintensive deutsche Unternehmen immer interessanter: Im Jahr 2011 – dem letzten Jahr mit vergleichbaren Daten – gaben deutsche Unternehmen außerhalb Deutschlands 14,8 Mrd. € für Forschung und Entwicklung (FuE) aus. Im Jahr 2009 waren es noch 11,3 Mrd. €. Damit wuchsen diese FuE-Investitionen im Ausland um 30,6 %. Im selben Zeitraum stiegen die inländischen FuE-Ausgaben deutscher Unternehmen jedoch nur um 11,8 %. Zum Vergleich: Im Jahr 2011 gab die deutsche Wirtschaft insgesamt 51,1 Mrd. € für FuE aus.

Diese Zahlen stellte die Expertenkommission Forschung und Innovation (EFI) vor Kurzem in einem Bericht zu „Forschung und Entwicklung deutscher Un-

ternehmen im Ausland“ vor. Die EFI berät die Bundesregierung in forschungspolitischen Fragen.

Da insgesamt gut 85 % aller Forschungs- und Entwicklungsausgaben in Deutschland von großen Unternehmen kommen, überrascht es auch nicht, dass auch der überwältigende Teil der deutschen FuE-Investitionen im Ausland vor allem von solch großen Unternehmen stammt. Aber auch KMU investieren durchaus im Ausland in FuE.

Gründe für Investitionen im Ausland sind vorrangig Markterschließung, aber auch der Zugriff auf qualifizierte Fachkräfte vor Ort.

Zu den am stärksten im Ausland engagierten Branchen zählt die Chemie- und Pharmaindustrie, gefolgt vom Kraftfahrzeugbau. Verhältnismäßig schwach mit



Die Chemie- und Pharmaindustrie zählt zu den Branchen, die am meisten Geld für Forschung und Entwicklung im Ausland ausgeben. Hier ein Blick in das Labor des Biotech-Unternehmens BioPlanta. Foto: Jan Woltsch/dpa

FuE-Investitionen im Ausland vertreten ist nach der EFI-Studie der Maschinenbau.

Seit Jahren schon das attraktivste Land für deutsche FuE-Investoren sind die

USA. Knapp 40 % alle FuE-Investitionen deutscher Unternehmen im Ausland entfallen auf dieses Land. Mit deutlichem Abstand folgen Österreich, die Schweiz und Japan (jeweils ca. 10 %) so-

wie Frankreich (7 %), China (5 %) und Indien (4 %). Trotz dieses Gefälles bei den FuE-Ausgaben betreiben fast ebenso viele deutsche Unternehmen FuE in China wie in den USA – allerdings sind ihre FuE-Ausgaben in China noch deutlich geringer. Unter den deutschen Unternehmen ist aber, so die Studie, eine deutliche Bereitschaft zu erkennen, ihre Forschungsaktivitäten in China ausweiten zu wollen.

Überraschend ist, dass vor allem Unternehmen, die in den BRIC-Ländern FuE betreiben, planen, ihre dortigen FuE-Aktivitäten auszubauen“, so die Studie. Überraschend ist das deshalb, weil von potenziellen Investoren in den BRIC-Ländern auch am häufigsten Schwierigkeiten bei FuE-Aktivitäten gesehen werden. „Die BRIC-Länder“, so die Studie, „scheinen also Vorteile zu haben, die diese Probleme aufwiegen.“

Noch ohne Bedeutung als Ziel deutscher FuE-Investitionen scheint Südamerika zu sein, obwohl dieses Land, wie auch China, seine eigenen FuE-Investitionen kontinuierlich erhöht – und damit als potenzieller FuE-Standort für ausländische Investoren an Bedeutung gewinnt.

Die wachsenden FuE-Investitionen deutscher Unternehmen im Ausland sind jedoch kein einseitiger Abfluss von Forschungsmitteln ins Ausland: Denn im Jahr 2011 investierten ausländische Unternehmen mit 13,24 Mrd. € fast genauso viel an FuE in Deutschland wie deutsche Unternehmen im Ausland investierten, so Zahlen des Stifterverbandes für wissenschaftliche Forschung. Schon seit Jahren halten sich Zu- und Abfluss von FuE-Investitionen mehr oder weniger die Waage.

Mit der deutlichen Zunahme von FuE-Investitionen deutscher Unternehmen im Ausland ist, so die EFI-Studie, auch kein unmittelbarer Know-how-Abfluss aus Deutschland verbunden. So findet die – wenngleich geringe – grundlagenorientierte Forschung noch immer vor allem in Deutschland statt. Das ist auch bei der angewandten Forschung mehrheitlich der Fall. Dagegen konzentrieren sich in den USA 80 % der deutschen FuE-Investitionen auf die experimentelle Entwicklung – etwa zur Anpassung von Produkten an die jeweiligen Märkte. In China sind das sogar 98 %. moc