

# Energie ernten, wo es nur geht

## *Wie man aus Kaubewegungen, Schritten und Vibrationen von Maschinen Strom gewinnen kann*

Aus Schritten, Kaubewegungen und dem Aufprall von Regentropfen lassen sich winzige Mengen Strom gewinnen. Damit könnte man beispielsweise die Akkus von Handys oder Hörgeräten aufladen. Noch sind die Systeme aber meist teurer als einfache Batterien.

Als Joe Paradiso vor zehn Jahren seinen Jogging-schuh präsentierte, staunte die Elektrotechnik-Zunft weltweit. Der Schuh war ein gewöhnliches Laufmodell, bis auf sein Innenleben: Bei jedem Schritt jagte ein schwacher elektrischer Puls durch die Sohle. Der Forscher vom Massachusetts Institute of Technology im amerikanischen Cambridge hatte piezoelektrische Keramiken ins Gummi eingearbeitet – ein Material, das elektrische Energie abgibt, wenn man es verformt. Diese reichte aus, um einen kleinen GPS-Navigations-sender zu betreiben. Auch wenn er nie bis zum Produkt weiterentwickelt wurde, ist der Schuh inzwischen legendär. Er gilt als Initialzündung für ein Forschungsgebiet, das man blumig als Energy-Harvesting – Energie-Ernten – bezeichnet. Die dabei entwickelten Geräte tun im Kleinen dasselbe wie grosse Solaranlagen und Windräder: Sie zapfen die Energiequellen der Natur an. Auch der altbekannte Solar-Taschenrechner und die Automatikuhr, die sich selbst aufzieht, sind Energy-Harvesting im besten Sinne, nur nannte man das früher noch nicht so. Das Thema nahm erst 1998 mit Paradisos Arbeit Fahrt auf. Vor allem eines wurde den Forschern damals klar: Nicht nur Sonne, Wind oder Wasserkraft sind passable Energiequellen, sondern auch der Mensch selbst.

### **Oft noch zu unbequem und umständlich**

Zurzeit erlebt die Energy-Harvesting-Forschung einen Boom. Allein in den vergangenen sechs Monaten sind Dutzende wissenschaftlicher Publikationen erschienen. So haben französische Forscher vor wenigen Wochen einen kleinen Generator vorgestellt, der mit piezoelektrischen Elementen die Energie aufprallender Regentropfen erntet. Und Forscher aus den USA haben ein Gerät erdacht, das man sich ums Knie bindet und das bei jedem Vorwärtsschwingen des Unterschenkels Strom erzeugt. Die erzeugten Leistungsmengen sind mit wenigen Mikro- oder Milliwatt gering. Ein Handy lässt sich damit aber durchaus schon aufladen.

Auch Gerhard Tröster und seine Kollegen vom Wearable-Computing-Labor an der ETH Zürich hatten vor einiger Zeit einen elektromechanischen Generator fürs Knie entwickelt. Darin wird mit Hilfe eines elektrischen Leiters, der durch ein Magnetfeld schwingt, Strom erzeugt. Das Resultat sei aber noch zu unbequem, meint Tröster selbstkritisch. Er ist überzeugt, dass sich derlei Gimmicks kaum im Alltag etablieren werden. Sperrige Knie-Maschinen oder Versorgungskabel, die vom Schuh zum Handy führten, dürften den Käufer wenig begeistern, so Tröster. Der Mensch werde sich sicher nicht zu einem Cyborg entwickeln, der 100 Pfund Energy-Harvesting-Ausrüstung mit sich herumschleppe, nur um sein Handy nicht mehr an der Steckdose aufladen zu müssen. Natürlich seien derartige Geräte interessant, weil

sie zeigten, was technisch möglich sei. Bedarf aber sieht Tröster woanders: Energy-Harvesting lohne sich dort, wo die klassische Energieversorgung mit einem Kabel oder einer Batterie unmöglich oder zu umständlich sei – etwa bei Sensoren im Körper, die dereinst den Verschleiss von künstlichen Hüftgelenken überwachen sollten.

Er und seine Mitarbeiter haben im Detail gemessen, welche Körperbewegungen am meisten Strom liefern und mit welcher Frequenz Energiepulse erzeugt werden können. Dazu statteten sie Probanden mit kleinen Stromgeneratoren aus, befestigt an neun Punkten am Körper. Am grössten war die Ausbeute am Fuss, am geringsten am durch die Wirbelsäule gut gefederten Kopf. Mit der körpereigenen Energie wollen die ETH-Forscher künftig ihre «wearable electronic» – Elektronik zum Anziehen – versorgen. Ihre Philosophie: Die Geräte dürfen nicht stören und müssen unmerklich mit der Kleidung verschmelzen. Derzeit arbeiten sie an Piezofasern, die sich später einmal in Kleidung einweben lassen sollen. Allein durch die Dehnung des Stoffs würde dann Strom generiert. Damit könnte man Sensoren in Jacke oder Hemd betreiben, die den Puls überwachen und erspüren, ob man rückschonend sitzt.

### **Weniger Kupferkabel dank Funkschalter**

Wie andere Forschergruppen auch werden die Elektrotechniker von der ETH noch einige Jahre brauchen, bis erste Prototypen im Einsatz sind. Doch Energy-Harvesting ist längst Alltag: in der Industrie und in der Gebäudetechnik. Da spricht man allerdings nicht von Energy-Harvesting, sondern nüchterner von energieautarken Systemen. Die Firma Enocan aus Oberhaching bei München ist eine der ersten weltweit, die solche Systeme im grossen Stil verkaufen. Seit mittlerweile sechs Jahren rüstet der Hersteller Gebäude mit Funkschaltern für Lampen aus. Drückt man den Schalter, bewegt sich eine kleine Spule durch ein Magnetfeld. Die freigesetzte Energie reicht aus, um per Funk eine kurze Botschaft an den Empfänger in der Lampenfassung zu schicken – die Glühbirne erstrahlt. Mit der Technik wird das Kabel, das normalerweise den Schalter mit der Lampe verbindet, überflüssig. Das lohnt sich vor allem in grossen Bürokomplexen. Erst kürzlich hat die Firma ein 55-stöckiges Hochhaus in Madrid mit 4200 Schaltern ausgestattet und damit viele Kilometer Kupferkabel eingespart.

Auch für Industrie-Unternehmer hätte diese Technik Vorteile. Denn viele Maschinen sind heute riesige vollautomatische «Produktionszentren», in deren Innerem Hunderte von Sensoren über Temperaturen, Drücke oder den Verschleiss von Motorwellen wachen. Bis anhin sind sie fast immer per Kabel mit dem Daten- und Stromnetz und mit anderen Maschinen verknüpft. Diese Verdrahtung ist enorm aufwendig. Kabelfreie Lösungen seien bei den Kunden deshalb gefragt, sagt Eberhard Niggemann von der deutschen Firma Weidmüller, die Ausrüstung für industrielle Kommunikations- und Stromnetze liefert. Die englische Firma Perpetuum hat bereits einen elektromechanischen Sensor entwickelt, der seine Energie aus den Vibrationen einer Maschine gewinnt. Er wird direkt am Gehäuse der Maschine befestigt und schlägt über Funk Alarm, wenn der Apparat nicht rund läuft. Auch Niggemann

forscht gemeinsam mit dem Heinz-Nixdorf-Institut an der Universität Paderborn an einem ähnlichen energieautarken Übertragungssystem.

Ein solches System besteht in der Regel aus mehreren Teilen – dem Energiewandler, dem Sensor, einer Recheneinheit und dem Funkmodul. Hinzu kommt meist ein Zwischenspeicher, in dem die gewandelte Energie gesammelt wird – etwa eine Batterie oder ein Kondensator. Er speichert die einzelnen schwachen Stromimpulse, bis genügend Energie da ist, um das Funksignal loszuschicken. Die Kunst besteht darin, die Grösse und den Energieverbrauch aller Bauteile so weit zu reduzieren, dass die magere Umgebungsenergie tatsächlich ausreicht, um das System am Leben zu erhalten. Die Ansprüche der Industrie sind hoch: Ein Fabrik-Sensor darf, vor allem wenn es um die Sicherheit der Arbeiter geht, nie versagen. Zudem muss er mitunter im Millisekundentakt Daten funken. Da reicht die geerntete Energie kaum aus. Niggemann und das Institut testen nun verschiedene Energiewandler – die bekannten Piezokeramiken und elektromechanische Generatoren, aber auch thermoelektrische Elemente. In diesen werden Elektronen in einem Halbleitermaterial durch den Temperaturunterschied zwischen einer kalten und einer warmen Seite zum Fliessen gebracht – ähnlich wie in Photovoltaik-Zellen durch Sonnenenergie. Die ersten thermoelektrischen Elemente reisten schon vor mehr als zwanzig Jahren in Satelliten durchs All; sie nutzten das starke Temperaturgefälle zwischen deren sonnenbeschienener und deren dunkler Seite.

Ganz gleich ob Piezokeramiken oder thermoelektrische Elemente, viele Energy-Harvesting-Geräte haben vor allem ein Problem: Sie sind zu teuer, gemessen an den Kosten einer Batterie. Längst gibt es sparsame batteriebetriebene Sensorsysteme, die zehn Jahre und mehr mit einer gewöhnlichen Knopfzelle auskommen. Das hat auch Robert Hahn, der Chef der Forschungsabteilung «Tragbare Energiespeicher» am Fraunhofer-Institut für Zuverlässigkeit und Mikrointegration in Berlin, zu spüren bekommen. Er hat viel Zeit in die Entwicklung eines flexiblen Bands aus Solarzellen gesteckt, das man mit einem Klettverschluss auf der Kleidung befestigen kann. Es liefert genug Strom für einen MP3-Player oder ein Handy. Doch der Bekleidungsindustrie war es zu teuer. Im Zweifelsfall sei eine kleine Batterie immer billiger, sagt Hahn.

### **Eine Frage der Wirtschaftlichkeit**

Auch Peter Woias, der Sprecher des Graduiertenkollegs «Micro Energy Harvesting» am Institut für Mikrosystemtechnik der Universität Freiburg im Breisgau, ist überzeugt, dass sich energieautarke Systeme nur dort durchsetzen werden, wo sie sinnvoll und wirtschaftlich sind – in der Industrie, in der Medizintechnik oder im Auto. Einen grossen Bedarf sieht er bei Sensoren, die den Luftdruck von Autoreifen überwachen. In den USA sind diese bei Neuwagen Pflicht. Das Thema Energy-Harvesting entwickle derzeit eine enorme Dynamik, so Woias. Bei einigen Ideen stelle sich allerdings die Frage, ob sie die kommenden Jahre überstehen werden. Vermutlich werde es dem Energy-Harvesting ergehen wie vielen Entwicklungen der Mikrosystemtechnik: Sie tun unauffällig ihren Dienst, ohne dass man sie wahrnimmt. In Freiburg packt man das Thema Energy-Harvesting gleich von mehreren Seiten an. So versuchen die Forscher zum Beispiel, mit der geernteten Energie Wasserstoff zu erzeugen und diesen zu speichern. Bei Bedarf wird der Wasserstoff über eine kleine Brennstoffzelle in Strom zurück-

verwandelt. Darüber hinaus kreieren die Freiburger Systeme, die energiereiche Moleküle wie Zucker durch eine chemische Reaktion in Strom umzuwandeln. Dereinst könnten sie im Körper die Batterie von Herzschrittmachern speisen und so deren Lebensdauer verlängern; bis jetzt müssen Herzpatienten für den obligatorischen Batteriewechsel alle paar Jahre eine kleine Operation über sich ergehen lassen.

Auch Olfa Kanoun, Professorin für Mess- und Sensortechnik an der Technischen Universität Chemnitz, denkt daran, mit Hilfe von Energy-Harvesting die Laufzeit von Batterien zu verlängern. Sie arbeitet an einem Generator, der die beim Sprechen und Kauen erzeugten Vibrationen des Wangenknochens in Strom umwandelt. Kanoun will damit Knopfzellen in Hörgeräten nachladen. Noch gibt es den Generator nicht. Nach Kanouns Berechnung aber lässt sich die Lebensdauer einer Batterie allein durch Kau- und Sprech-Energie um ein Zehntel verlängern. Pro Jahr verbraucht ein herkömmliches Hörgerät etwa 60 Batterien. Der Kaugenerator brächte eine Ersparnis von etwa 6 Stück. Das klingt bescheiden, wäre aber ein guter Anfang, denn der weltweite Batterieverbrauch ist gross, und mehr als die Hälfte der Batterien wird nicht richtig entsorgt. Energy-Harvesting wäre zweifellos die bessere Alternative.

*Tim Schröder*