



Power To Go



Fraunhofer Gesellschaft

Power To Go – Energie für unterwegs

von Dr. Christopher Hebling
Koordination Fraunhofer-Innovationsthema Mikroenergietechnik



Tragbare elektronische Geräte werden mit jeder neuen Produktgeneration leistungsfähiger. So wird mit dem Handy inzwischen nicht mehr nur telefoniert, sondern auch fotografiert, gefilmt, navigiert oder mobil Fernsehen empfangen. Doch all diese Funktionsmerkmale benötigen zusätzliche Energie. Den Energiehunger moderner Elektronikprodukte können auch die besten Batterietechnologien nicht mehr hinreichend zufriedenstellen und so sucht man nach innovativen, miniaturisierten Energiesystemen, die die Betriebszeiten von tragbaren oder netzfernen Geräten signifikant verlängern. »Mikroenergietechnik – Power für unterwegs« heißt eine von zwölf »Perspektiven für Zukunftsmärkte« der Fraunhofer-Gesellschaft. Diese Schwerpunktthemen zeichnen sich durch hohes Innovationspotenzial und große Marktnähe aus.

Wir leben in einer Zeit zunehmender Mobilität und Erreichbarkeit. Auch unterwegs werden Daten generiert – sei es im Handy, im Laptop, in Foto- oder Videokameras –, prozessiert und kommuniziert. Hierzu stehen die entsprechenden globalen Übertragungsstandards, Knotenpunkte und Netzwerke wie W-LAN und UMTS zur Verfügung, die Übertragungsgeschwindigkeiten lassen selbst für Musik- oder Fernsehübertragungen keine Wünsche übrig. »Always on™« bringt es auf den Punkt: In der modernen Geschäftswelt wird auch vom »Nomadic Office Worker« ständige Erreichbarkeit erwartet, ganz gleich in welchem Teil der Welt er sich befindet. Für jeglichen Bedarf stehen die entsprechenden Geräteklassen zur Verfügung, die bereits jetzt eine faszinierende Integrationsdichte aufweisen.

Dezentrale Sensornetzwerke

Neben den interaktiven elektronischen Endgeräten aus dem Konsumerbereich gibt es eine Reihe von Geräteklassen, die in Netzwerken bzw. in Verbindung mit einer Basisstation Daten aufnehmen und in Regelkreisläufen einspeisen. Beispiele sind Sensornetzwerke in Wohngebäuden zur Steigerung der Energieeffizienz und des

Wohnkomforts, Messstationen zur Überwachung der Luftqualität, Smart Labels in der Transportlogistik bzw. der Warenverfolgung, aber auch kabellos betriebene Sensoren zur Prozesssteuerung in Produktionsabläufen. In der Medizintechnik gibt es eine Vielzahl von portablen Anwendungen aus dem Patienten-Monitoring, wo etwa wichtige Blutparameter automatisiert gemessen und ggf. dem behandelnden Arzt gleich übermittelt werden. All dies sind verteilte Mikrosysteme mit dem Ziel, vergleichsweise unbemerkt Daten zu ermitteln und zu übertragen, um damit komplexe Abläufe transparenter zu machen, um Verkehrsflüsse geschmeidiger zu gestalten oder um im Fall von Toleranzüberschreitungen frühe Eingriffsmöglichkeiten zu gewährleisten.

...und woher kommt die Energie?

Mehr als jedes zweite elektronische Gerät ist mittlerweile tragbar oder wird fern einer Steckdose betrieben. Die Energie liefern dann 'Elektronenspeicher' also Batterien, Akkumulatoren oder Super-Caps. Auch wenn die Energiedichten der besten Systeme bis zu 500 Wh/l betragen, leiden hoch integrierte Endgeräte in vielen Fällen an einer unbefriedigenden Betriebsdauer pro Akkumulator-Ladung. So muss bei einem UMTS-Handy bei intensiver Nutzung schon nach gut einer Stunde die nächste Steckdose aufgesucht werden. Diesen Trend konnten auch gesteigerte Prozessor-Effizienzen, neue Displaytechnologien oder intelligentes Powermanagement nicht aufhalten und so werden Energietechnologien gesucht, die in hybriden Systemen gemeinsam mit Batterien die Betriebszeiten netzunabhängiger Geräte signifikant erhöhen.

Mikrobrennstoffzellen

Eine hochattraktive Technologie sind Mikrobrennstoffzellen, die einen chemischen Energieträger hoher Energiedichte – Wasserstoff, Methanol oder Ethanol – sehr

Inhalt

- Brennstoffzellen**
- 4 Kraftwerk für die Westentasche
- Batterietechnologien**
- 6 Spannung in Tüten
- Induktive Leistungsübertragung**
- 7 Ganz ohne Kabel
- Solarzellen**
- 8 Mit der Sonne mobil
- Thermoelektrik**
- 10 Ladestrom vom Lagerfeuer
- Powermanagement**
- 11 Energie intelligent nutzen

effizient in Strom umwandeln. Mikrobrennstoffzellen können beispielsweise in planarer, serienschalteter Bauform in die Gehäusehülle des Gerätes integriert werden und erhöhen dabei nur unwesentlich das Gesamtvolumen des Gerätes. Mit dem generierten Strom kann dann immer ein optimaler Ladezustand der Batterie garantiert werden – ist der Tank leer, wird er wie bei einer Primärbatterie einfach durch einen vollen ausgetauscht. In einer solchen hybriden Anordnung können die jeweiligen Vorteile von Batterien (Hochstromfähigkeit) und Brennstoffzellen (hohe Energiedichte der Brennstoffe) in idealer Weise kombiniert werden und die Suche nach der nächsten Steckdose wird durch das Einführen einer vollen Patrone ersetzt.

Energie aus der Umgebung

Eine faszinierende Möglichkeit der Energiewandlung ist das »Energy Harvesting«, also das passive »Ernten« von Energie aus der lokalen Umgebung des Systems. Gemeint ist dabei die energetische Konversion von Licht, Wärme oder Bewegung in elektrische Leistung, die entsprechenden Wandlertechnologien sind Photovoltaik, Thermoelektrik oder Piezoelektrik. Im Gegensatz zu den speicherbasierten Mikroenergiesystemen wird hier prinzipiell eine unbegrenzte Nutzungsdauer so genannter »Mount-and-Forget«-Anwendungen ermöglicht, vorausgesetzt, dass das Energiekonzept dem späteren Einsatzprofil hinreichend genau zugeschnitten ist.

Energetisches Gesamtkonzept

Neben der Entwicklung der einzelnen Wandlertechnologien kommt dem Energiemanagement des Gesamtsystems eine zentrale Bedeutung zu. Dies umfasst die optimale Abstimmung und ggf. Regelung der einzelnen Komponenten, eine bedarfsgerechte Energieverteilung, die Anpassung der jeweiligen Strom- und Spannungsniveaus der Elektronikkomponenten sowie den energie-

effizienten Betrieb des Gesamtsystems. Erweitert werden die systemarchitektonischen Möglichkeiten durch die induktive, also kabellose Energieübertragung von einem Stromgenerator auf einen Speicher, wie es beispielsweise bei elektrischen Zahnbürsten bereits der Fall ist. Mittels hochfrequenter, gerichteter Sender und passender Empfänger können auch etwas größere Distanzen überbrückt werden und schließlich bietet ein Laser in Kombination mit einer bandangepassten photovoltaischen Zelle auch die Möglichkeit, elektrische Leistung mit hoher Effizienz über große Distanzen zu übertragen bzw. in ein eventuell schwer zugängliches System einzukoppeln.

Vielfältige Herausforderungen

Das wirtschaftliche Potenzial und die technologischen Herausforderungen für die Mikroenergie-technik sind gleichermaßen hoch und die Anforderungen an maßgeschneiderte Energieversorgungen, die bisherige speicherbasierte Lösungen übertreffen sollen, beträchtlich: Die Architektur des Energiesystems muss dem zu erwartenden Nutzungsprofil entsprechen, eine hohe Konversionseffizienz, die vollständige Wartungsfreiheit bzw. absolute Zuverlässigkeit müssen gewährleistet und schließlich die Fertigung des Gesamtsystems kostengünstig sein. Hier sind in besonderem Maße die Materialwissenschaften gefragt, neue Werkstoffe für die speziellen Randbedingungen der jeweiligen Wandler zu entwickeln, aber auch die Elektrotechnik, um auf Basis der digitalen Signalprozessierung (DSP) umfassende Gesamtsysteme zu erstellen, die eine Vielzahl von Einzelkomponenten auf intelligente Weise miteinander vernetzt.

Hierzu leisten insgesamt zehn verschiedene Fraunhofer-Institute mit ihrer anwendungsorientierten Forschung einen substanziellen Beitrag, wie die folgenden Ausführungen exemplarisch zeigen sollen.

Kraftwerk für die Westentasche

Bessere Stromversorgung für unterwegs – das bieten Minibrennstoffzellen, die mobile Geräte länger als herkömmliche Akkus mit Energie versorgen. Mehrere Fraunhofer-Institute treiben die technologische Entwicklung mit praxisnahen Lösungen voran.

»**Bitte** speichern Sie Ihre Daten, der Laptop wird heruntergefahren« – für jeden, der Dienstreisen zum Arbeiten nutzt und gerade mühsam im Zug eine neue Kalkulation erarbeitet oder eine wichtige Präsentation vorbereitet hat, ist der drohende Datenverlust ärgerlich. Tragbare elektronische Geräte wie Notebooks, Handys und Co. weisen mit jeder neuen Produktgeneration neue Funktionalitäten auf. Darunter leiden die Betriebszeiten. Denn während in den vergangenen 10 Jahren die Mikroprozessoren etwa 30-fach schneller geworden sind, hat sich die Energiedichte von Batterien etwa verdoppelt. Kein Wunder also, dass der Laptop je nach Qualität des Akkus bereits nach zwei bis drei Stunden schlapp macht.

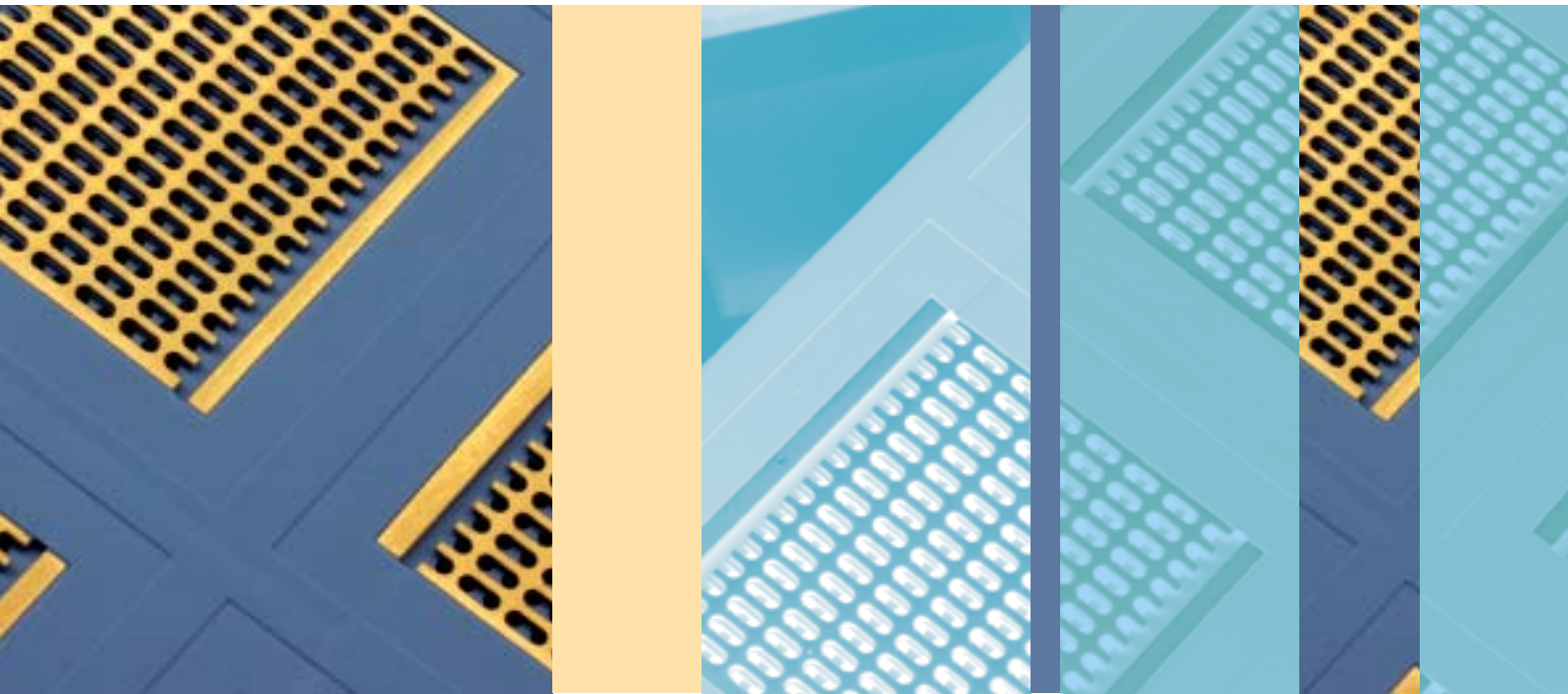
Mikrobrennstoffzellen sollen das Problem der mobilen Energieversorgung lösen. Der Vorteil der Technologie: Brennstoffzellen wandeln chemisch gespeicherte Energie direkt in Strom um und haben eine deutlich höhere Energiedichte als Akkus. Das ermöglicht einen viel längeren netzunabhängigen Betrieb. Für tragbare Kleingeräte werden Membranbrennstoffzellen favorisiert, die sich auch bei Raumtemperatur betreiben lassen. Die technischen Möglichkeiten der Mikrobrennstoffzellen sind allerdings noch nicht ausgeschöpft. Die Systeme müssen miniaturisiert und ihre Zuverlässigkeit erhöht werden. »Es gibt Optimierungsbedarf bei der Systemtechnik und den Materialien sowie dem Design der Zellen«, unterstreicht Dr. Christopher Hebling, Leiter der Abteilung Energietechnik am Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE. Eine weitere Herausforderung ist es, die Systeme auf die unterschiedlichen »Treibstoffe« abzustimmen. Denn Brennstoffzellen lassen sich direkt mit Wasserstoff, Methanol oder Ethanol betreiben, mit einem Reformierungsschritt dazwischen kommen auch Propan oder sogar Diesel in Betracht.

Fraunhofer-Forscher haben die Funktionalität von Brennstoffzellensystemen für Massenprodukte wie Laptops und digitale Videokameras bereits unter Beweis gestellt. Gemeinsam mit der Firma Masterflex haben Ingenieure des ISE sogar eine PEM-Brennstoffzelle (Proton Exchange Membrane Fuel Cell; PEM) mit einer Dauerleistung über 50 W entwickelt. Die »Powerbox« bietet eine unabhängige portable Energieversorgung für elektronische Geräte. »Die möglichen Anwendungen reichen vom mobilen Büro mit Laptop, Drucker, Bildschirm und Camcorder oder Beamer bis zum Freizeitsektor, z.B. der Energieversorgung beim Camping oder Segeltörn«, zählt Hebling auf.

Flache Zellen für Hochprozentiges

Für den Leistungsbereich bis ca. 200 W werden am ISE Membran-Brennstoffzellen-Systeme auf Basis von Wasserstoff oder Methanol entwickelt. Ein Beispiel ist die Methanol-Brennstoffzelle. Die Forscher fertigen mit Hilfe von Leiterplattentechnik und Spritzgussteilen aus Kunststoff planare Brennstoffzellen mit nur wenigen Millimetern Bauhöhe. Erste Prototypen dieser Direct Methanol Fuel Cell (DMFC) benötigen keine aufwändigen Zusatzkomponenten, sondern nutzen Kapillarkräfte, durch die der Brennstoff ohne zusätzlichen Energieaufwand angesaugt wird. »Dieser Zellentyp lässt sich beispielsweise im Klappdeckel eines Laptops unterbringen«, so Dr. Hebling.

Noch im Forschungsstadium befindet sich die Direkt-Ethanol-Brennstoffzelle (DEFC). Das hochenergetische, aber ungiftige Ethanol lässt sich einfacher als Wasserstoff speichern und transportieren. Weiterer Vorteil: Es besteht bereits eine flächendeckende Infrastruktur zur Versorgung. Allerdings hat der flüssige Alkohol einen



Mini-Brennstoffzellen können künftig mobile Geräte mit Energie versorgen.

© Fraunhofer IKTS

gravierenden Nachteil: Sowohl Methanol als auch Ethanol durchdringen die aus Kunststoff-Folie hergestellte Membranschicht, die die Anode von der Kathode trennt. Die Folge sind Verluste bei der Stromerzeugung. Deshalb forschen Fraunhofer-Wissenschaftler an besseren elektrochemischen Verfahren: »Ein wesentlicher Schwerpunkt unserer Aktivitäten liegt in leistungsfähigeren Elektrodenmaterialien und Membranen«, sagt Dr. Michael Krausa, Direktor Electrochemistry am Fraunhofer-Institut für Chemische Technologie ICT in Pfinztal.

Einen anderen Lösungsweg haben Ingenieure des Fraunhofer-Instituts für Zuverlässigkeit und Mikrointegration IZM entwickelt. Sie arbeiten an einer flachen Mikrobrennstoffzelle, die aus Polymer- und Metallfolien besteht und auf Waferlevel- und Folientechnologien basiert. Dabei erzielen drei Einzelzellen, in Reihe geschaltet, eine Gesamtspannung von etwa 1.5 V, das reicht aus, um etwa herkömmliche Knopfzellen zu ersetzen. Durch die verwendeten Folientechnologien lassen sich die Zellen leicht in die Oberfläche elektronischer Geräte integrieren.

Keramik für die Kleinkraftwerke

Die winzigen Brennstoffzellen werden meist aus Hunderten von filigranen Einzelteilen zusammengebaut. »Das macht die Entwicklung aufwändig und die Her-

stellung teuer«, sagt Dr. Michael Stelter vom Fraunhofer-Institut für Keramische Technologien und Systeme IKTS in Dresden. Der Forscher und seine Kollegen gehen deshalb einen neuen Weg. Als Baumaterial nutzen sie Multilayer-Keramiken, die Low Temperature Cofired Ceramic (LTCC). »Aus diesen Spezialkeramiken lassen sich sehr einfach zahlreiche Funktionselemente kostengünstig in einer Zelle realisieren«, betont Stelter.

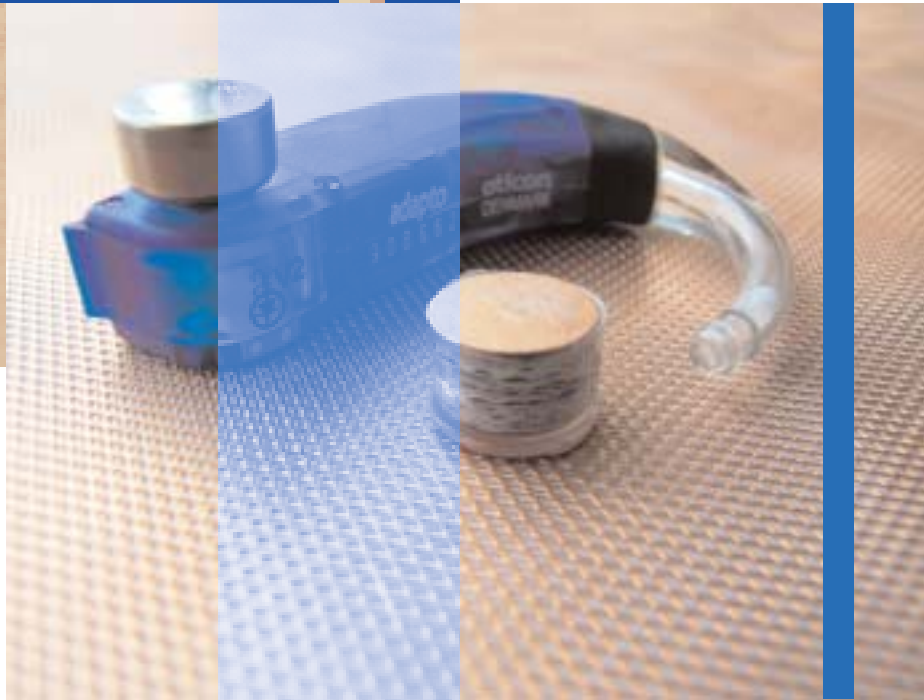
Fortschritte erreichten Fraunhofer-Wissenschaftler auch bei der Temperaturempfindlichkeit von Mikrobrennstoffzellen. Während Minus-Temperaturen im Außenbereich die Gefahr heraufbeschwört, dass der Zellenstack vereist und damit kein Elektronenfluss mehr stattfindet, entzieht Sommerhitze der Membran zwischen Kathode und Anode die Feuchtigkeit und verändert damit die Ionen-Durchlässigkeit der Membran. Wasserstofftechniker des ISE haben diesen Engpass durch ein besseres Feuchte- und Wärmemanagement entschärft. Der Trick: Das Reaktionswasser der Brennstoffzelle wird bei extremer Umgebungswärme zur Luftbefeuchtung des Stacks recycelt. Fallen die Temperaturen unter den Gefrierpunkt, so sorgt beim Ein- und Ausschalten des Systems eine ausgeklügelte Heizstrategie dafür, dass das Reaktionswasser an der Kathode nicht einfriert und den chemischen Wandlungsprozess zum Erliegen bringt.

Minibrennstoffzellen werden sich schon bald neben den bekannten Akku-Technologien etablieren. Vollkommen ablösen werden sie die Batterie jedoch nicht. »Favorisiert werden derzeit Hybridsysteme, bei denen die Mikrobrennstoffzelle die Grundlast liefert und einen Akku oder Kondensator auflädt«, erläutert Ulf Groos, verantwortlich für Marketing im Geschäftsfeld Wasserstofftechnologie am ISE.

Andreas Beuthner

Spannung in Tüten

Für Massenprodukte sind Akkumulatoren seit Jahrzehnten Standard. Fraunhofer-Forscher haben eine flexible Batterie entwickelt, die eine freiere Wahl der Gehäuseform erlaubt.



Eine Einsatzmöglichkeit für flexible Batterien sind Hörgeräte.

© Caplio GX User

Pulverkaffee und Lithium-Polymer-Akkus haben manches gemeinsam: Beide liefern hoch konzentrierte Energie und beide haben es gerne trocken. Weil weder das Kaffeepulver im Regal noch der Akku Feuchtigkeit vertragen, stecken sie häufig in einer Verpackung aus metallisiertem Kunststoff – den »coffee bags«. Batterien und Akkus benötigen meist ein stabiles Gehäuse, das die enthaltene Elektrolytflüssigkeit sicher bewahrt. In Lithium-Polymer-Zellen ist der aggressive Elektrolyt auslaufsicher im Polymer gebunden. »Deshalb kann man hier auf das starre Metallgehäuse verzichten und den Akku im Prinzip wie Filterkaffe verpacken«, sagt Dr. Gerold Neumann vom Fraunhofer-Institut für Siliziumtechnologie ISIT in Itzehoe.

Baukasten-System für Batterien

Die Mitarbeiter der Abteilung »Integrierte Energiesysteme« haben ein Baukasten-System für Lithium-Polymer-Zellen entwickelt, mit dem sie Akkus auf die verschiedensten Formen und Größen »zuschneiden« können. Die Serienproduktion übernimmt bei Bedarf ein Partnerunternehmen vor Ort. Im Gegensatz zu den großen Herstellern, die fast ausschließlich Batterien für Massenprodukte wie Handys produzieren, fertigt es auch Kleinserien. Unternehmen wie Institut konzentrieren sich auf individuelle Lösungen für Produkte, für die es bislang keine Akkusysteme gibt. Die Energiespeicher sind nicht nur biegsam und relativ frei formbar. Auch ihr Innenleben ist flexibel. Sie lassen sich für eine breite Palette von Anwendungen optimieren und erzeugen wahlweise eine Spannung von 2,3 Volt oder 3,7 Volt.

Die 3,7-Volt-Variante schöpft das Leistungspotenzial des Systems voll aus. Kein anderer Akkutyp am Markt besitzt derzeit eine höhere Energiedichte. Das 2,3-Volt-System ist besonders robust, langlebig und sicher.

»Das macht dieses System sehr interessant für medizinische Anwendungen«, so Neumann. Etwa für Hörgeräte – externe wie implantierte: Im Rahmen eines EU-Projekts zum Einsatz von Lithium-Polymer-Akkus in elektronischen Hörhilfen haben die Akkus aus Itzehoe ihre Leistungsfähigkeit bereits unter Beweis gestellt. 7 300 Lade- und Entlade-Zyklen bei 37 °C mussten sie über sich ergehen lassen. »Bei einer typischen Hörgerätenutzung hätte dies einer Lebensdauer von 20 Jahren entsprochen«, erklärt Neumann. Am Ende der Tests hatten die Akkus nur ein Fünftel ihrer Kapazität eingebüßt. Anders als Akkus für Laptops oder Smart-Cards steckt das Lithium-Polymer-System für implantierbare Hörgeräte allerdings nicht in einer Folienverpackung, sondern in einem eigens entwickelten Titan-Gehäuse, das den hohen Sicherheitsstandards für medizinische Implantate genügt.

Akkus und Batterien gehören schon so zu unserem Alltag, dass sie kaum mehr als High-Tech-Produkte wahrgenommen werden. »Die Weiterentwicklung von Akkus ist aber auch heute bei uns noch nicht abgeschlossen«, erklärt Dr. Michael Krausa vom Fraunhofer-Institut für Chemische Technologie ICT in Pfinztal. Neue Materialien, wie Nanotubes oder Ionische Flüssigkeiten, oder neue Fertigungsprozesse sind die Basis für Systeme mit höherer Kapazität. **Michaela Neuner**

Ganz ohne Kabel

Bei elektronischen Zahnbürsten oder Chips, die als Türöffner funktionieren, werden Energie-Impulse schon kabellos übertragen. Induktive Verfahren eröffnen für viele Anwendungen neue Möglichkeiten der Systemkonzeption.

Smart Card mit induktiver Energieübertragung.
© Fraunhofer IIS

Wer sie nutzt, kennt das Problem: Wie viel ist noch drauf, auf der Geldkarte? Reicht es noch für die Busfahrt oder die Briefmarken aus dem Automaten? Das nächste Lesegerät ist meilenweit entfernt und das Guthaben auf der Karte ungewiss. Jetzt wäre eine Karte mit Display nicht schlecht. Vielleicht noch mit Tastatur, um weitere Informationen abzurufen und einem Sensor, der den rechtmäßigen Besitzer am Fingerabdruck erkennt. Lange wird es nicht mehr dauern, bis es so weit ist. Die »intelligenteren« Karten werden genauso schlank und handlich bleiben wie ihre schlichteren Schwestern. Doch für Zusatzfunktionen wie Display, Tastatur oder Sensorik reicht ab und zu ein bisschen Ladestrom vom Geldautomaten aus. Mit zunehmender »Intelligenz« müssen die passiven Smart Cards zu aktiven werden. Aktiv bedeutet, sie brauchen eine eigene Stromversorgung an Bord – in Form einer Primärbatterie oder eines wieder aufladbaren Akkus (Sekundärbatterie). Peter Spies vom Fraunhofer-Institut für Integrierte Schaltungen IIS sieht dabei ganz klar die Akkus im Vorteil. »Mit einer Primärbatterie wäre die Karte nur sehr begrenzte Zeit zu gebrauchen«, stellt er fest. Und dafür sind erweiterte Smart Cards schlicht zu teuer.

Mit dem Akku in der Karte gibt es vor allem ein Problem: den Platz. Die Abmessungen der Smart Cards sind genormt. Ihre größte Variante im Scheckkartenformat darf gerade mal 85,6 x 54 x 0,76 Millimeter groß sein. Wissenschaftler vom IIS haben ein flexibles, induktiv ladbares Akkusystem entwickelt, das problemlos in so einer Karte Platz findet. Das Herzstück des Systems, der Chip, ist 1,5 x 2,5 Millimeter groß und 400 Mikrometer dünn. Dazu kommen ein Lithium-Polymer-Akku und eine Folienantenne – alles nicht dicker als

der Chip. Spezielle Ladekontakte sind nicht nötig. Die Folienantenne fängt die Energie des elektromagnetischen Feldes auf, das ein Ladegerät erzeugt. Zur Übertragung der Energie nutzen die Fraunhofer-Wissenschaftler bislang die Standardfrequenz von 13,56 MHz. Auf einen Abstand von 10 Millimetern können sie damit bis zu 500 Milliwatt transportieren. »Aber wir forschen auch an anderen Frequenzen«, verrät Spies, »von denen wir uns bessere Ergebnisse erhoffen.« Etwa den Abstand auf vier bis fünf Meter zu verlängern oder trotz abschirmender metallischer Objekte im Umfeld Energie zu übertragen.

Etiketten mit integrierter Stromversorgung

Die induktive Energieübertragung ist nicht nur für Smart Cards interessant. Sie eignet sich für fast alle Produkte, bei denen Stecker oder Drähte nur stören würden: gekapselte Geräte wie elektrische Zahnbürsten oder medizinische Implantate ebenso wie elektronische Schlüssel, die Türen öffnen oder Fahrzeuge starten. Solche Autoschlüssel könnten während der Fahrt geladen werden. Mit einer induktiven Ladestation im Auto müsste sie der Fahrer dazu nicht einmal aus der Tasche nehmen. In der Logistik ersetzen passive RFID-Tags (Radio Frequency Identity) zunehmend den Barcode. Sie helfen, Güter eindeutig zu identifizieren und sie auf ihrem Weg von der Fabrik bis zur Ladentheke im Auge zu behalten. Künftig werden Funk-Etiketten wohl noch mehr können: zum Beispiel die Temperatur von Gefriergut überwachen. Spätestens dann brauchen auch sie eine integrierte Stromversorgung. Idealerweise eine, die sich einfach wieder aufladen lässt. »Und am einfachsten geht das induktiv«, meint Peter Spies.

Michaela Neuner

Mit der Sonne mobil

Es müssen nicht immer Hochleistungs-Solarzellen sein, denn manchmal kommt es auf ganz andere Dinge an: Forscher am Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE in Freiburg entwickeln deshalb flexible organische Solarzellen, vor allem für mobile Anwendungen.

Die mobile Welt stößt überall dort an ihre Grenzen, wo die Energieversorgung zu Ende ist. Da müssten doch Geräte, die ihre Energie einfach aus dem Tageslicht holen, wie wir den Sauerstoff zum Atmen aus der Luft, der Marktreiber sein. Integrierte Solarmodule sollen es möglich machen. Armbanduhren oder Taschenrechner versorgen integrierte Solarzellen bereits mit Strom. Doch um energiehungrige Geräte wie Handys, Palmtops und Co. mit Energie zu füttern, bedarf es deutlich höherer Leistungen. Fraunhofer-Forscher entwickeln hierfür Lösungen. Je nach Anforderung werden Solarzellentypen aus monokristallinem Silizium oder zu polymeren Materialien gefertigt. Der Strom- und Spannungsbedarf kann individuell angepasst werden.

Strom aus der Sonne: Solar-Handy und Solar-Palmtop

Bereits vor einigen Jahren präsentierten Forscher des Fraunhofer-Instituts für Solare Energiesysteme ISE aus Freiburg auf der Hannover Messe ein Mobiltelefon und einen PDA, die ihre Energie vollkommen aus Licht bezogen. Direkt ins Gehäuse integrierte, hocheffiziente Solarzellen sorgten für Standby-Zeiten ohne Limit. Auch der solar versorgte PDA lief autark. Die damals vorgestellten Prototypen waren äußerst ausgetüftelt. Die ISE-Forscher hatten das Mobiltelefon, ein Standardmodell der Firma Siemens, mit hocheffizienten Solarzellen ausgerüstet, die sie direkt in das Gerät integriert hatten. Durch die besondere Anordnung der Zellen, die ziegelförmig übereinander lagen, und ihre Verschaltung konnte man damit einen kleinen Solarakku im Inneren des Handys aufladen. Ein zweiter Akku wurde netzunabhängig aufgeladen und diente als Standby. Die Kennwerte waren beeindruckend: Das Solarmodul

erreichte eine Leistung von 250 Milliwatt und einen Modulwirkungsgrad von 20 Prozent.

Solche Hochleistungs-Solarzellen liefern zwar die besten Wirkungsgrade, haben jedoch einen Nachteil: »Sie lassen sich nicht immer problemlos in Geräte integrieren. Für eine einfache Integration wären dünne flexible Solarzellen, die sich an die vorgegebene Geometrie anpassen, ideal«, erklärt Andreas Gombert, der zuständige Abteilungsleiter im ISE. Dort hat man deshalb die Aktivitäten in diese Richtung erweitert. Die Forscher setzen nun zusätzlich auf einen alternativen Weg: Sie arbeiten daran, Module mit organischen Solarzellen zu entwickeln, die preiswert, flexibel und massenweise herstellbar sind.

Organische Solarzellen haben mit nur rund drei Prozent zwar einen weit geringeren Wirkungsgrad als heutige Hochleistungszellen, aber sie besitzen den großen Vorteil, dass sie sich in nasschemischen Verfahren als dünne Schichten auf flexible Folien aufbringen lassen. Damit fügen sie sich nahtlos ein in die Polytronik, bei der es darum geht, elektronische Schaltelemente direkt auf Polymerfolien zu drucken. Denn schon seit einiger Zeit arbeiten Forscher – etwa am Fraunhofer-Institut für Zuverlässigkeit und Mikrointegration IZM in München –

Organische Solarzellen sind für die Stromversorgung von mobilen Geräten interessant.

© Fraunhofer ISE





daran, das schwierige Hantieren mit winzigen Chips zu umgehen, indem man die Schaltkreise, die sich auf ihnen befinden, direkt auf Folie druckt.

Das ist überall dort sinnvoll, wo es nicht auf Hochleistungselektronik ankommt, sondern wo preisgünstige Massenware gefragt ist, etwa bei den kleinen Funkchips der RFIDs. Die Strukturen bei der Polytronik sind etwas größer und nicht ganz so exakt wie bei Silizium-Chips, aber die Technologie hat unübersehbare produktionstechnische Vorteile: Sie kommt mit wenigen Verfahrensschritten aus und das schwierige Zusammenfügen der Komponenten entfällt. Das Ausgangsmaterial ist billig und die Rolle-zu-Rolle-Fertigung, wie sie aus der Drucktechnik bekannt ist, lässt die Produktion von Mengen im Millionen-, ja Milliardenmaßstab zu.

»In der RFID-Technologie gibt es Anwendungen, bei denen die Funkchips eine eigene Energieversorgung benötigen«, so Andreas Gombert. »Alle aktiven Systeme, die von sich aus Meldungen absenden, sind deshalb Kandidaten für eine Versorgung mit Solarenergie.« Wissenschaftler des ISE arbeiten daran, den geringen Wirkungsgrad der organischen Solarzellen zu verbessern, indem sie für eine bessere Absorption des Lichts sorgen. Aufgeprägte Nanostrukturen können dies gewährleisten. Außerdem sollen intelligente Verschaltungen dafür sorgen, dass die benötigte Betriebsspannung zuverlässig erreicht wird.

Solche Mikro-Solarmodule ließen sich dann nicht nur in RFID Smart Labels verwenden, sondern auch in der Sensor- und Anzeigetechnik. Dort kommt es oft darauf an, von Stromquellen unabhängig zu sein, etwa in der Sicherheits- und Überwachungstechnik. Weil die Folien-

Solarzellen biegsam und flexibel sind, lassen sie sich auch in Kleidungsstücke einarbeiten. So können sie in Zukunft die Energie für 'Wearable Electronics' liefern – Energie aus dem Jackenkragen sozusagen.

»Wir wollen keine kleinen Bauelemente mehr, die man mühsam mit Kabelchen verbinden muss«, sagt Gombert, »sondern dünne, flexible, voll integrierte Systeme.« In dem Eigenforschungsprojekt »Smart Plastics« entwickeln Fraunhofer-Forscher derzeit solche Systeme, die insgesamt auf organischen Materialien beruhen: von der solaren Energieversorgung über die elektronische Laderegulierung, die Folienbatterie, den Sensor bis hin zur Anzeige, die etwa aus einem OLED, einem organischen LED, bestehen könnte. Neben den fertigungstechnischen Vorzügen winken dabei auch umweltpolitische Vorteile, zum Beispiel bei der Entsorgung. Damit wären derartige Systeme vor allem für kleine Wegwerfgeräte ideal geeignet.

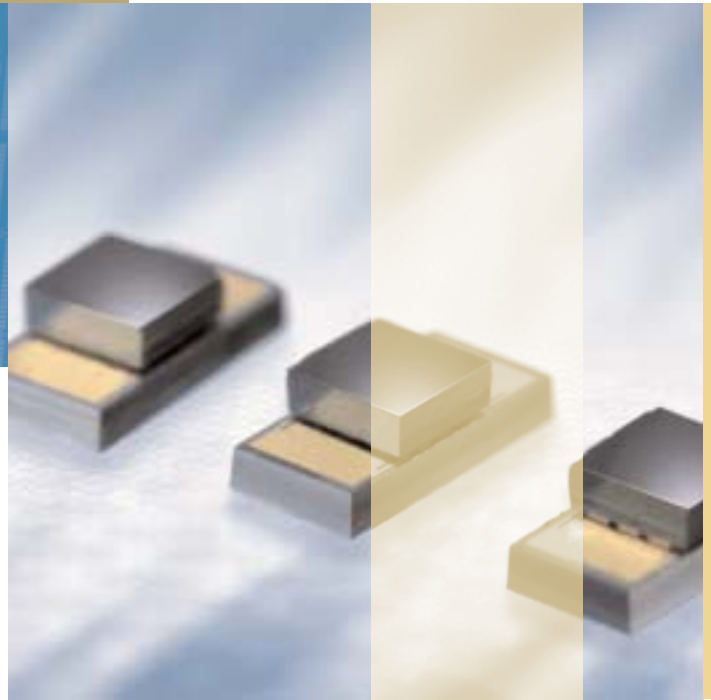
Großes Marktpotenzial für die Integrierte Solartechnik

Marktforscher glauben, dass die organische Elektronik inklusive Solarzellen eine große Zukunft hat: Auf gigantische 250 Milliarden Dollar schätzt beispielsweise die Beratungsfirma IDTechEx das Potenzial dieser Technologie bis zum Jahr 2025 ein. Allein die integrierte Solartechnik könnte dabei ein Marktvolumen von zehn Milliarden Dollar erreichen. »Fraunhofer ist bei dieser Technologie vorne mit dabei, wir haben schon früh angefangen, daran zu arbeiten, und so gibt es derzeit in Deutschland noch nichts Vergleichbares«, freut sich Andreas Gombert.

Brigitte Röhlein

Ladestrom vom Lagerfeuer

Aus Licht, Wärme oder Bewegung Energie zu gewinnen, ist das Konzept des Energy Harvesting. Das Fraunhofer-Institut für Physikalische Messtechnik IPM nutzt zum Beispiel die Thermoelektrik: Durch den Wärmefluss – etwa am Handgelenk – wird Strom erzeugt.



Der Traum des modernen Out-door-Freaks: Während auf dem Camping-Kocher der Kaffee kocht, lädt sich gleichzeitig das Handy auf. Möglich wäre das mit einem thermoelektrischen Modul zwischen Flamme und Kochtopf – einem thermoelektrischen Generator (TEG), der Strom aus einer Wärmedifferenz erzeugen kann. Der Aufbau steht bereits, allerdings zunächst in einem japanischen Labor. Die Japaner nutzen zur Stromgewinnung einen Effekt, der bereits vor Erfindung der Glühlampe beschrieben wurde: 1821 beobachtete Thomas J. Seebeck, wie eine Kompassnadel in der Nähe von zwei verschiedenen, miteinander verbundenen Leitern ausschlug, wenn an den Verbindungsstellen unterschiedliche Temperaturen herrschten. In seinem Versuch hatte Seebeck thermische Energie in elektrische verwandelt. Den umgekehrten Vorgang beschrieb 1834 Jean C. A. Peltier.

Die NASA nutzt den Seebeck-Effekt für ihre Raumsonden. Im Weltall wandeln Thermogeneratoren (TEG) die Zerfallswärme radioaktiven Materials zu Strom. Auf der Erde entsteht Wärme bei einer Vielzahl von Prozessen oft genug ganz nebenbei und »verpufft« meist ungenutzt in der Luft. Dabei wäre solche Energie bestes Futter für das »energetische Hausschweinchen«, wie Dr. Harald Böttner vom Fraunhofer-Institut für Physikalische Messtechnik IPM in Freiburg die Thermoelektrik gelegentlich augenzwinkernd nennt. *Sus scrofa domestica*, das Säugetier von der Ordnung der Paarhufer, ist relativ frei, was sein Futter angeht. Genau wie die Thermoelektrik: »Sie kann fast alles fressen und aus fast allem etwas machen, solange es nur warm ist«, schmunzelt Böttner. Selbst die menschliche Körperwärme lässt sich nutzen, etwa zum Betrieb von Armbanduhren.

Allerdings ist das »energetische Hausschweinchen« ein schlechter Futterverwerter. Das liegt am Material: Es sollte einen hohen Seebeck-Koeffizienten aufweisen, elektrisch gut und thermisch schlecht leiten. »Diese Eigenschaften sind üblicherweise nicht gleichzeitig optimierbar«, stellt Harald Böttner fest. Damit die Thermoelektrik den breiten Durchbruch schafft, müsste sich die Effizienz der Materialien mindestens verdoppeln. In der Mikroenergie-technik lässt sich das mit Nano-Materialien und speziellen Fertigungsverfahren erreichen. Der Schlüssel sind Materialverbände, die nur wenige Mikrometer dick sein dürfen – selbst, wenn sie aus ein- bis zweitausend nanometerdünnen Schichten bestehen. Im Labor lassen sich solche Materialien bereits herstellen. An der Produktion im industriellen Maßstab feilen die Entwickler noch.

Gekühlte Mikroprozessoren

Einen viel versprechenden Weg fanden Wissenschaftler des IPM. In Zusammenarbeit mit Infineon-Forschern haben sie Mikro-Peltierelemente samt industrietauglichem Fertigungsverfahren entwickelt. Die Elemente lassen sich zum punktgenauen Kühlen von Mikroprozessoren ebenso einsetzen wie zum schnellen Temperieren kleinster Proben im Labor. Herstellung und Vertrieb liegen mittlerweile in Händen einer Infineon-Tochter, der Micropelt GmbH, Freiburg.

Beim IPM stehen neben den Kühlelementen künftig verstärkt Thermogeneratoren auf dem Plan – kleine wie große: sowohl Mikro-TEG zum Betrieb winziger autarker Sensoren in Sensornetzwerken, als auch ihre großen Brüder, die beispielsweise die Abwärme von Müllverbrennungsanlagen in Strom umsetzen.

Michaela Neuner

Thermoelektrischer Wandler.
© Fraunhofer IPM



Energie intelligent nutzen

Um in mobilen Geräten Energie besonders effizient zu nutzen, ist ein intelligentes Powermanagement erforderlich.

Powermanagement steht für das optimale Konfektionieren, Verwalten und Verteilen von Energie.

© Fraunhofer ICT

Strom sparen ist, das Licht nur dann anzuschalten, wenn man es wirklich braucht. In der einfachen Variante. Fortgeschrittene Stromsparer machen sich Gedanken darüber, wie lange sie das Licht brauchen, was außer dem Licht noch Strom benötigt und wie viel Strom aus welchen Quellen zur Verfügung steht. Fraunhofer-Forscher beschäftigen sich mit ähnlichen Fragen. Allerdings geht es bei ihnen nicht um »Licht an« oder »Licht aus«, sondern um Powermanagement: das optimale Konfektionieren, Verwalten und Verteilen von Energie. Dafür entwickeln sie Algorithmen, Bauteile und Schaltungen.

Powermanagement ist eine wichtige Voraussetzung dafür, dass elektronische Geräte immer kleiner, leichter und leistungsfähiger werden. Vor allem solche, die ihren Strom nicht direkt aus der Steckdose beziehen wie zum Beispiel Handys: Mobil telefonieren bedeutete Ende der 80-er Jahre in Deutschland noch C-Netz. Die Apparate waren so groß wie Kofferradios und brachten mehrere Kilogramm auf die Waage. Heute passen Mobiltelefone in die Innentasche eines Sakkos und können eine ganze Menge mehr als ihre klobigen Vorgänger.

Energiebedarf muss sinken

»Damit sich diese Entwicklung fortsetzen kann, reicht es aber nicht, immer kleinere Bauteile zu entwickeln und immer mehr Funktionen auf immer engeren Raum zu packen«, stellt Peter Spies vom Fraunhofer vom Fraunhofer-Institut für Integrierte Schaltungen IIS in Erlangen fest. »Solange der Stromverbrauch konstant bleibt, ist das eine Sackgasse.« Auch der Energiebedarf der Elektronik muss kleiner werden. Erreichen lässt sich das etwa mit intelligenten Schaltungen, die nicht nur erkennen, welche Gerätefunktionen gerade gefragt

sind, sondern auch »wissen«, welche Funktion wie viel Energie braucht. Entsprechend steuern und regeln sie den Energiefluss und schalten zum Beispiel das Display der Digitalkamera ab, wenn der Strom zum Fotografieren sonst zu knapp wird.

Doch selbst wer keinen Strom sparen will oder muss, kommt bei akkubetriebenen Geräten nicht um Powermanagement herum. So benötigen Lithium-Akkus ihren Energie-Nachschub nach einem bestimmten Muster, sonst werden sie beim Laden beschädigt. Wird dann aus dem geladenen Akku Strom abgezapft, sinkt mit dem »Füllstand« auch die abgegebene Spannung. Alle elektronischen Schaltungen sind jedoch so ausgelegt, dass sie nur mit einer einzigen Spannung optimal arbeiten. Peter Spies und seine Kollegen entwickeln u. a. Regler, die diesen Spannungsabfall ausgleichen bzw. für den richtigen Ladestrom sorgen.

Einen besonderen Stellenwert nimmt Powermanagement ein, wenn die Energie nicht vorkonfektioniert vom nächsten E-Werk kommt, sondern aus ganz unterschiedlichen Quellen stammt. Wenn beispielsweise Batterien mit Thermogeneratoren, Photovoltaik-Elementen oder Brennstoffzellen kombiniert werden. Gemeinsam mit der Wehrtechnischen Dienststelle für Kraftfahrzeuge und Panzer in Trier hat das Fraunhofer-Institut für Chemische Technologie ICT in Pfinztal ein tragbares Energiemanagementsystem entwickelt, das Energie aus den unterschiedlichsten Quellen sammelt, speichert und maßgeschneidert an verschiedene Endgeräte wieder abgeben kann. Es soll künftig die Soldaten der Bundeswehr auf ihren Einsätzen mit dem Strom versorgen, den sie für Funkgerät, Laptop, Nachtsichtgeräte und Co. benötigen.


Michaela Neuner



Perspektiven für Zukunftsmärkte: **Mikroenergietechnik**

Koordination:

Dr. Christopher Hebling
Fraunhofer-Institut für
Solare Energiesysteme ISE
Telefon +49 (0) 7 61/45 88 -51 95
Fax +49 (0) 7 61/45 88 -91 95
info@mikroenergietechnik.de
www.mikroenergietechnik.de



Forscher der Fraunhofer-Gesellschaft arbeiten unter dem Motto »Mikroenergietechnik – Power für unterwegs« an neuen Technologien für die Energieversorgung mobiler Kleingeräte, sowie industrieller Anwendungen wie netzferner Sensorik, Robotik oder im Sicherheitsbereich.

Fraunhofer-Institut für
Chemische Technologie ICT
michael.krausa@ict.fraunhofer.de
www.ict.fraunhofer.de

Fraunhofer-Institut für
Integrierte Schaltungen IIS
guenter.rohmer@iis.fraunhofer.de
www.iis.fraunhofer.de

Fraunhofer-Institut für
Keramische Technologien und Systeme IKTS
michael.stelzer@ikts.fraunhofer.de
www.ikts.fraunhofer.de

Fraunhofer-Institut für
Physikalische Messtechnik IPM
harald.boettner@ipm.fraunhofer.de
www.ipm.fraunhofer.de

Fraunhofer-Institut für
Silicatforschung ISC
michael.popall@isc.fraunhofer.de
www.isc.fraunhofer.de

Fraunhofer-Institut für
Solare Energiesysteme ISE
christopher.hebling@ise.fraunhofer.de
www.ise.fraunhofer.de

Fraunhofer-Institut für
Siliziumtechnologie ISIT
peter.gulde@isit.fraunhofer.de
www.isit.fraunhofer.de

Fraunhofer-Institut für
Zuverlässigkeit und Mikrointegration IZM
robert.hahn@izm.fraunhofer.de
martin.richter@izm-m.fraunhofer.de
www.izm.fraunhofer.de
www.izm-m.fraunhofer.de

Fraunhofer-Technologie-
Entwicklungsgruppe TEG
ivica.kolaric@teg.fraunhofer.de
www.teg.fraunhofer.de

Impressum:

Fraunhofer-Gesellschaft
Presse und Öffentlichkeitsarbeit
www.fraunhofer.de

Konzept + Redaktion: Birgit Niesing
Autoren: Andreas Beuthner,
Michaela Neuner, Brigitte Röthlein
Layout: Vierthaler & Braun