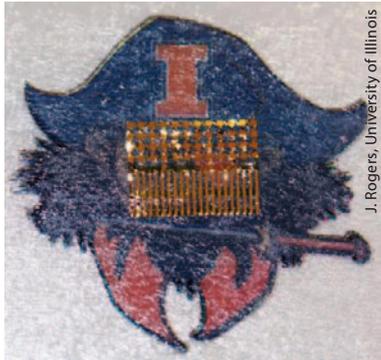


## ■ Elektronik zum Aufkleben

### Elektronische Systeme haften wie Einmal-Tattoos auf der Haut.

Physiologische Messungen an der Haut lebender Organismen lassen sich z. B. mittels EKG und EEG durchführen. Aufgrund der sperrigen Messgeräte, der starren Elektroden und eventuell erforderlicher leitfähiger Gele eignen sich solche Untersuchungen vor allem für das



Auf der Rückseite eines Tattoos zum Aufkleben befindet sich die integrierte Sensortechnologie.

klinische oder Forschungsumfeld. Ein Forscherteam der University of Illinois in Urbana-Champaign, der Northwestern University, der Tufts University, des Institute of High Performance Computing in Singapur und der Dalian University of Technology in China hat nun eine Elektronik entwickelt, deren mechanische Eigenschaften denen der Haut sehr nahe kommen und die sich wie ein Abziehbild aufkleben lässt.<sup>1)</sup>

Die von den Forschern als Epidermal Electronic Systems (EES) bezeichnete Elektronik ist nur 50  $\mu\text{m}$  dick und besitzt Elastizitätsmodule, Biegesteifigkeiten und Massenflächendichten, die so ausgelegt sind, dass sie sich den Konturen der Haut sehr gut anpassen und kaum zu spüren sind. Das haben die Wissenschaftler experimentell und theoretisch untersucht. Die EES haften allein aufgrund der Van-der-Waals-Kräfte bis zu einem Tag unter idealen Bedingungen.

Die Systeme enthalten elektro-physiologische, Temperatur- oder Dehnungssensoren sowie Transistoren, LEDs, Fotodetektoren, Spulen, Kondensatoren, Oszillatoren oder Verstärkerdioden. Die aktiven Elemente bestehen aus etablierten Materialien wie Silizium oder

Galliumarsenid, die in feinen gewundenen Linien oder Flächen aufgetragen werden. Als Träger dient eine modifizierte Polyesterfolie.

Mit den EES konnten die Projektpartner die elektrischen Aktivitäten von Herz, Gehirn und Skelettmuskeln messen und nachweisen, dass sich aus den Daten medizinisch verwertbare Informationen ableiten lassen. Auch als Schnittstelle zur Steuerung von Spielen eignen sich die EES prinzipiell.

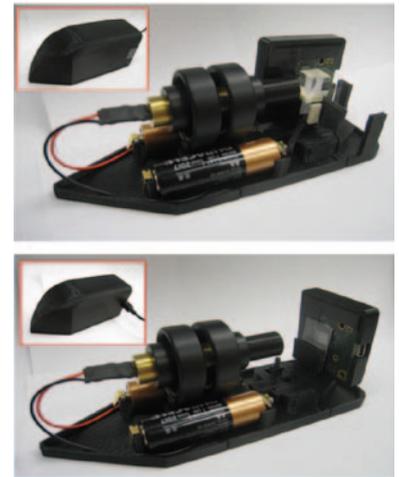
## ■ Optik für die Hemdtasche

### Dank Holografie lässt sich ein Mikroskop drastisch verkleinern.

Laborgeräte für den Einsatz in entlegenen Gegenden müssen besondere Anforderungen in puncto Mobilität und Kosten erfüllen. Für die Beurteilung der Wasserqualität oder zur medizinischen Diagnose müssen Mikroskope für den Feldeinsatz möglichst klein und leicht zu bedienen sein. Wissenschaftler der University of California in Los Angeles (UCLA) haben ein solches Gerät als Demonstrator entwickelt, das bei einem Gewicht von 200 g und Dimensionen, die mit einem sperrigen Brillenetui vergleichbar sind, eine räumliche Auflösung von weniger als 2  $\mu\text{m}$  erreicht.<sup>2)</sup> Das ist vergleichbar mit Linsenmikroskopen bei niedrigen bis mittleren Vergrößerungen. Der Materialwert des UCLA-Geräts liegt unter 100 US-Dollar; zur Energieversorgung genügen zwei AA-Batterien.

Möglich wird dies dadurch, dass statt Linsen die Holografie zum Einsatz kommt. Das Mikroskop lässt sich in Reflexion und Transmission betreiben. Der Reflexionsmodus eignet sich für lichtundurchlässige Proben wie Gewebe. In Transmission lassen sich größere Flüssigkeitsvolumina analysieren.

Als kohärente Lichtquelle dient eine kommerzielle 20-mW-Laserdiode, deren Licht über eine Blende und einen Strahlteiler zur Probe gelangt. Im Reflexionsmodus interferieren der von einem leicht geneigten Spiegel reflektierte Referenzstrahl mit dem von der Probe



Das holografische Mikroskop der UCLA arbeitet wahlweise in Reflexion (oben) oder Transmission (unten).

reflektierten Analysestrahl, bevor sie auf einen CMOS-Sensor fallen. Die holografischen Rohdaten werden im Fourier-Raum digital gefiltert, damit nur die räumlichen Frequenzen des Bildes übrigbleiben. Die Bildrekonstruktion erfolgt mithilfe einer kommerziellen Software auf einem gängigen PC und dauert weniger als zwei Minuten für ein Gesichtsfeld von etwa 9  $\text{mm}^2$ .

Im Transmissionsmodus liegt die Probe unmittelbar vor dem CMOS-Sensor, der ein Gesichtsfeld von rund 24  $\text{mm}^2$  erreicht – deutlich mehr als ein vergleichbares Linsenmikroskop (1  $\text{mm}^2$ ). Zur Interferenz kommt es in Transmission zwischen den ungehindert zum Sensor laufenden und den an der Probe gestreuten Strahlen.

## ■ Rundfunk als Energiequelle

### Drahtlose Fensterkontakte beziehen Energie aus der elektromagnetischen Strahlung der Umgebung.

Energy Harvesting gilt als die Lösung, um vernetzte Sensorik, die sich nicht über Leitungen mit elektrischer Energie versorgen lässt, wartungsfrei zu betreiben. Dabei bezieht ein Sensor die nötige Energie aus seiner Umgebung – in Form von Temperaturänderungen, mechanischen Schwingungen oder elektromagnetischer Strahlung. Es gibt bereits Produkte, die Energy Harvesting nutzen, zudem forschen

1) D.-H. Kim et al., Science 333, 838 (2011)

2) M. Lee et al., Biomed. Opt. Express 2, 2721 (2011)

weltweit Arbeitsgruppen an verbesserten Konzepten. Typische Anwendungen finden sich z. B. in der Industrie oder bei Immobilien.

Forscher des Fraunhofer-Instituts für Mikroelektronische Schaltungen und Systeme (IMS) in Duisburg haben den Prototyp eines drahtlosen Fensterkontakts entwickelt, der Energie aus UHF-Wellen entnimmt. Derzeit betreiben die Wissenschaftler dazu ein entsprechendes Funkmodul, nach Klärung rechtlicher Fragen sollen die Fensterkontakte ihre Energie direkt aus den Mikrowellen entnehmen, die Rundfunksender ausstrahlen.

Der IMS-Prototyp besteht aus einer Stabantenne, die in einen Fenstergriff passt, und einem Mikrochip, der die Gleichrichtung der Versorgungsspannung, das Energiemanagement und die Abfrage der Schaltkontakte übernimmt. Die Kommunikation zwischen dem Sensor am Fenster und dem zentralen Steuerungsmodul im Raum, das derzeit auch die Mikrowellen ausstrahlt, beschränkt sich auf die Übertragung einer ID, um das Fenster zu identifizieren, sowie einen von drei möglichen Werten, um die Fensterstellung zu charakterisieren.

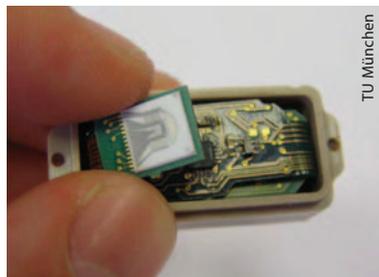
Magnetkontakte (Reedkontakte), am senkrechten Gestänge des Fensters ermitteln, ob das Fenster offen, gekippt oder zu ist. Ein bis zwei Mikrowatt elektrische Leistung genügen, um den Sensor mit Energie zu versorgen – Werte, die ein Rundfunksender noch in einigen Kilometern Entfernung „liefert“.

## ■ Wachehalten am Tumor

### Ein Sensor misst die Sauerstoffkonzentration nahe eines Tumors.

Manche Tumore (z. B. ein Hirntumor) lassen sich schwer operieren. Andere Geschwulste wie viele Prostatakarzinome wachsen sehr langsam – eine Operation bei den meist älteren Patienten verschlechtert deren Lebensqualität, ohne ihr Leben merklich zu verlängern.

Medizintechniker der TU München haben daher das Labormuster eines Sensors entwickelt, der sich



Auf der kleinen Platine des Sauerstoffsensors sind die fünf Elektroden für Messung und Selbstkalibration zu erkennen.

nahe eines Tumors implantieren lässt. Er misst die Konzentration an gelöstem Sauerstoff im Gewebe und gibt diese Information per Funk an ein Empfangsgerät weiter, das der Patient bei sich trägt. Sinkt der Sauerstoffgehalt in Tumornähe, droht dieser schneller zu wachsen und aggressiv zu werden. Dank dieser Daten kann der Arzt rasch reagieren.

Bei dem Sensor handelt es sich um eine Clark-Elektrode, die die Sauerstoffkonzentration elektrochemisch bestimmt: Sie besteht aus Anode, Kathode und Referenzelektrode und reduziert den zur Kathode diffundierenden gelösten Sauerstoff. Der resultierende Strom ist direkt proportional zum Partialdruck des Sauerstoffs. Die TUM-Forscher haben die Clark-Elektrode als planaren Sensor auf einer Keramik ausgeführt und zwei Elektroden zur Selbstkalibration hinzugefügt: Mit ihnen stellt sich eine 100-prozentige Sauerstoffsättigung in der Umgebung des Sensorchips ein. Der mit der Clark-Elektrode gemessene Strom dient zum Rekalibrieren des Sensors. So lassen sich eventuelle Verschmutzungen der Elektrode korrigieren. Zudem schützt eine Membran die Sensorfläche vor Proteinanlagerungen.

Der Sensor steckt zusammen mit Ansteuerungselektronik und Stromversorgung in einem Gehäuse von der Größe eines Radiergummis. Um den Sensor minimalinvasiv im Körper eines Patienten platzieren zu können, müssen die Forscher die bislang diskrete Elektronik auf einem Chip integrieren und die Energieversorgung induktiv bewerkstelligen. Der nächste Schritt ist aber zunächst die Validierung des Prinzips an Tieren.

**Michael Vogel**