



MINIATURISED BATTERY

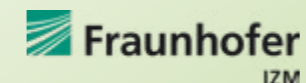
# MINIATURISIERTE BATTERIEN *FÜR KLEINSTE ANWENDUNGEN*



**D**erzeit werden am Fraunhofer-Institut für Zuverlässigkeit und Mikrointegration (IZM) in Berlin Mikrobatterien mit Ausmaßen von unter 1x1 mm hergestellt. Batterien dieser Art sind die Grundlage für kleinste energieautarke Sensoren, smarte Kontaktlinsen mit integriertem Display und Im-Ohr-Hörgeräte mit einem neuen Funktionsprinzip. Dabei kommen neueste Materialien mit hoher Energiedichte zum Einsatz.

Integrierte  
Mikrobatterien vom  
Fraunhofer IZM  
powern Kontaktlinsen,  
Insektenmonitore  
und Hörgeräte

Success Story powered by:

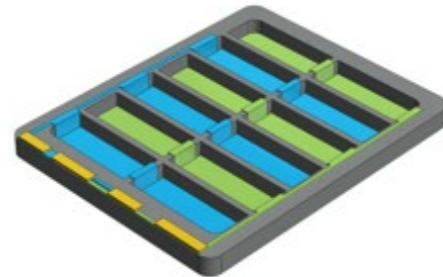


www.

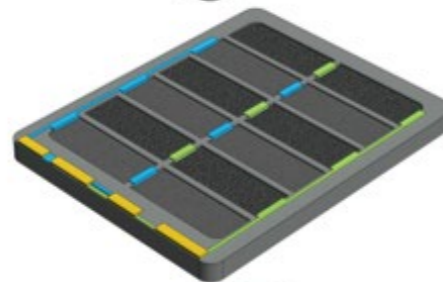
Mikrobatterien werden über hunderte von Ladezyklen aufgeladen und ermöglichen innovative, futuristisch anmutende Anwendungen.

## WAS SIND MIKROBATTERIEN

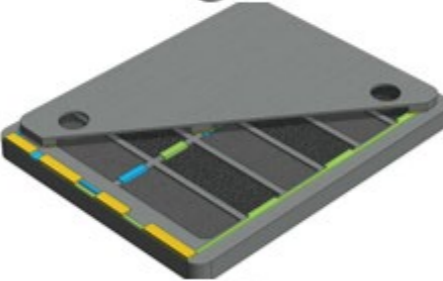
Batteriegehäuse mit Abteilungen für die einzelnen Elektroden, Stromableitern und Anschlusskontakten



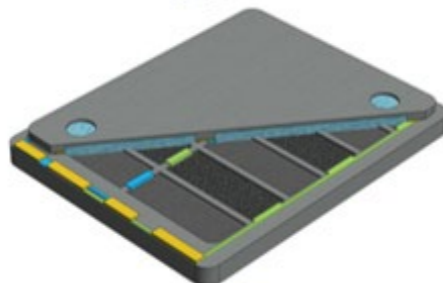
Einfüllen der Elektroden-Aktivmassen



Montage des ersten Deckels mit Öffnungen zum Einfüllen von Elektrolyt



Elektrolytfüllung



Montage des zweiten Deckels und hermetisch dichte Metallisierung



### SPEZIFIKATIONEN EINER MIKROBATTERIE

- **Ausmaße:**  
Länge und Breite: 0.5–10 mm,  
Dicke: 0.2–1 mm
- **Stromstärke:** 5–100  $\mu\text{A}$
- **Speicherkapazität des Akku:** 20–500  $\mu\text{Ah}$
- **Spannung:** 1.8, 2.5, 3.7 V je nach verwendeten Elektroden
- **Leistung pro Quadratcentimeter:** 1–3  $\text{mAh}/\text{cm}^2$
- **Ladezyklen:** 500

► Mikrobatterien werden zu mehreren tausend Stück pro Wafer im Reinraum hergestellt.

### Mikrobatterien vom Fraunhofer IZM

Das Fraunhofer-Institut für Zuverlässigkeit und Mikrointegration (IZM) betreibt anwendungsorientierte, industriennahe Forschung. Es wurde 1993 gegründet und entwickelt für die Automobilindustrie, die Medizin- und Industrielektronik oder selbst für Textilunternehmen. Die Arbeitsgruppe „Mikrobatterien“ wird von Dr. Robert Hahn geleitet und konzentriert sich auf die extreme Miniaturisierung elektronischer Systeme. Grundlage dafür ist eine am Fraunhofer IZM entwickelte Mikro-Batterie. Dr. Hahns Arbeitsgruppe gehört weltweit zu den wichtigsten Forschungsgruppen auf diesem Feld.

Mikrobatterien helfen dabei, neue Funktionalitäten zu erschließen, die sich aus der Nähe der Komponenten zueinander und Miniaturisierung des Gesamtsystems ergeben. Durch den zunehmenden Einsatz kleinster, energieautarker Funksensoren beispielsweise können Produktion und Nutzung von verschiedenen Produkten effizienter und damit ressourcenschonender gemacht werden.

### Energie auf wenigen Millimetern

Mikrobatterien sind Lithium-Ionen-Batterien im Submillimeter-Bereich, die man mit den herkömmlichen Technologien der Batterieherstellung nicht mehr produzieren kann. Die Produktion findet teilautomatisiert im Reinraum statt. Der

Schlüssel zur Miniaturisierung ist Silizium. Es ermöglicht eine wesentlich höhere Präzision in der Herstellung als andere Materialien. Mit der Technologie der Silizium-Strukturierung kann man sehr kleine und dünnwandige Batteriegehäuse herstellen, so dass auch bei Abmessungen im Millimeterbereich immer noch ein großer Volumenanteil für das Aktivmaterial zur Verfügung steht. Die kleinste Größe bei herkömmlichen Batterien und Knopfzellen ohne Silizium befindet sich hingegen im cm-Bereich. Am Fraunhofer IZM dient Silizium als Träger und Teil des Gehäuses der Batterien.

### Herausforderung: Hermetische Verkapselung der Batterie

Lithium ist sehr reaktiv. Würden Wasser oder Sauerstoffmoleküle aus der Umgebungsluft in die Batterie eindringen, würde das Lithium damit in Reaktion treten und stünde dann nicht mehr der Batterie zur Verfügung. Bei größeren Batterien ist das zuweilen noch akzeptabel, aber bei Mikrobatterien zählt jedes Lithium-Ion. Deswegen muss das Gehäuse einer Mikro-Lithium-Ionen-Batterie hermetisch dicht sein. Dies wird erreicht, indem nach der Montage von Boden und Deckel eine Metallschicht abgeschieden und lithographisch so strukturiert wird, dass anschließend die beiden Batteriepole für die Kontaktierung mittels Draht-Bonden zugänglich sind.



### Insektenmonitoring

Eine Mikrobatterie des Fraunhofer IZM ist zentraler Bestandteil des elektronischen Rucksacks, den Bienen im Verbundforschungsprojekt Sens4Bee tragen. Das Ziel des Projektes ist die Gewinnung von Daten zum Einfluss des Klimawandels und der intensiven Landwirtschaft auf die Bienen und zu den Gründen des Bienensterbens. Aufgeladen wird die Batterie durch eine Solarzelle und energy harvesting. Ein RFID-Tag, ein Datenlogger und einige Sensoren gehören ebenfalls zum elektronischen Rucksack. Die Größe der Batterie beträgt 2x2 Millimeter und das Gesamtgewicht des Rucksacks ist zehn Milligramm. Er wird mittels eines biokompatiblen Klebers direkt in der ersten Entwicklungsphase der Biene auf tierfreundliche Weise angebracht.

Ein ähnliches Insektenmonitoring wird in den USA mit Monarchfaltern durchgeführt. Um Gründe für den seit fast 10 Jahren verzeichneten stetigen Rückgang der Population zu finden, haben Forscherteams der University of Michigan Minicomputer mit integrierten Mikrobatterien auf den Rücken einzelner Monarchfalter geklebt. Sensoren zeichnen Licht, Temperatur und Luftdruck während der Wanderung auf.

### Hörkontaktlinse

Neueste Hörgeräte können ähnlich einer Kontaktlinse für das Auge direkt auf das Trommelfell appliziert werden. Das Start-Up Vibrosonic hat dies mit seiner Hörkontakt-

linse unter Beweis gestellt. Sie besteht aus einem Aktuator, der direkt auf das Trommelfell wirkt. Die Schwingungen werden ohne Luftschall und damit sehr effizient und verzerrungsfrei auf die Gehörknöchelchen übertragen. Das Hörgerät weist einen so geringeren Energieverbrauch auf, dass eine Mikrobatterie genutzt werden kann. Zur Zeit sitzt sie mit dem Mikrofon hinter dem Ohr und ist per Draht mit der Linse im Ohr verbunden. Die Batterie wird abends abgenommen und aufgeladen. In der Weiterentwicklung wird die gesamte Elektronik einschließlich Batterie mit einer Solarzelle als Hörkontaktlinse integriert und in das Ohr hinein appliziert. Die Aufladung erfolgt dann durch einen Ohrstöpsel mit Infrarotstrahlung.

### Kontaktlinse mit akkubetriebenem integriertem Display

Das amerikanische Start-Up Mojo Vision hat den Prototyp einer Kontaktlinse mit einem integrierten Display von 0,5 Millimeter Durchmesser vorgestellt, die Mojo Lens. Das Display wird durch einen selbst entwickelten Akku angetrieben. Ebenfalls in die Linse integriert sind ein Modem, ein ARM-CoreM0-Prozessor und verschiedene Sensoren. Auf dem monochromen Display werden Informationen sichtbar, die eine Ergänzung zum Erlebten darstellen. Die Mojo Lens wird deshalb als Augmented Reality (AR)-Kontaktlinse bezeichnet.

Mikroelektrische Geräte, die wichtige Einblicke in Umweltveränderungen geben und Menschen medizinische Hilfestellung leisten, gibt es nur dank Mikrobatterien.



► RFID ist eine gängige Technologie im Insektenmonitoring.

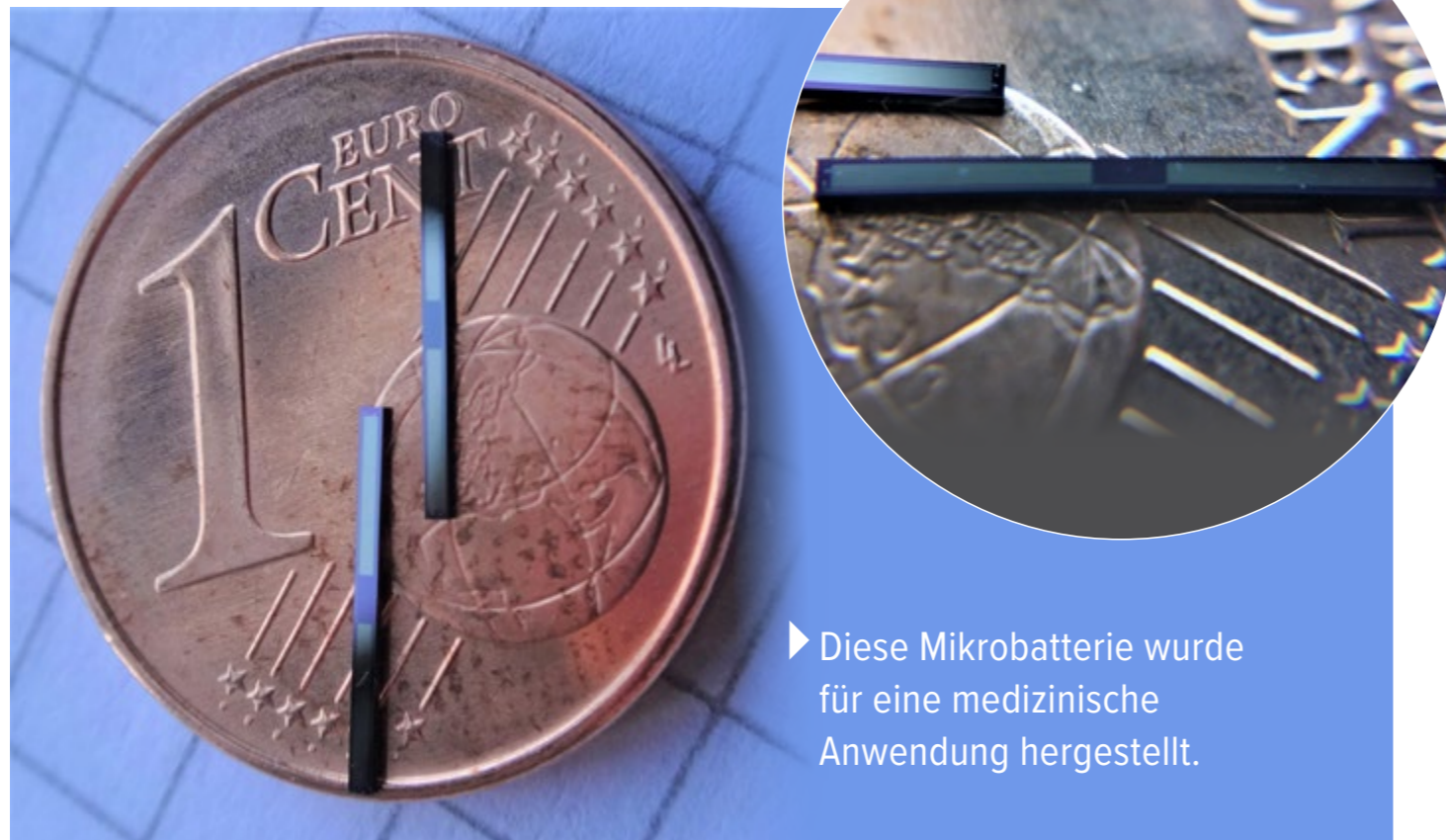


► Die „Hörkontaktlinse“ von Vibrosonic wird direkt auf das Trommelfell appliziert.

► Der Marktstart der MojoLens als medizinisches Produkt ist für die nächsten fünf Jahre geplant.



Miniaturisierung ist nur möglich, wenn fortwährend neue Materialien mit hoher Energiedichte und innovative Herstellungsprozesse erforscht werden.



► Diese Mikrobatterie wurde für eine medizinische Anwendung hergestellt.

### Batterieforschung

Obwohl der Schwerpunkt der Mikrobatterie-Technologie die Miniaturisierung des Gehäuses beinhaltet, müssen die neuesten Batteriematerialien hoher Energiedichte eingesetzt, bzw. auf die Belange der Mikrobatterie angepasst werden. Dies ist mit einem erheblichen Forschungsaufwand verbunden. Vor allem durch das Interesse an der Elektromobilität ist eine große Dynamik in der Batterie- und Materialforschung entstanden. Batterieforscher erweitern ständig die Bandbreite der Aktivmaterialien für Batterien. Die Anforderung an Mikrobatterien sind dabei, bezogen auf die Batteriegröße, sehr ähnlich denen von Traktionsbatterien: es wird sowohl eine hohe Energie- als auch Leistungsdichte bei gleichzeitig hohen Zykluszahlen gefordert. Bei den Mikrobatterien führen besonders die hohen Stromimpulse, welche bei der Datenübertragung auftreten, und die Erwartung eines schnellen Ladevorgangs zu hohen Leistungsanforderungen.

### Die Wahl des Elektrolyten

Die genannten Leistungsanforderungen können zur Zeit nur mit einem Flüssigelektrolyten erfüllt werden. Deshalb verwendet das Fraunhofer IZM Flüssigelektrolyte, welche gegenüber einem Festelektrolyten zu einem deutlich geringeren Innenwiderstand und höherer Strombelastbarkeit führt. Gleichwohl hätte ein Festelektrolyt große herstellungstechnische Vorteile. Der jetzige Herstellungsprozess ist nämlich recht aufwändig. Dabei geht ein Mikrodispenser mit einer feinen Nadel von einer Batterie zur nächsten und füllt in jede der Batterien kleinste Nanoliter-Tröpfchen Flüssigelektrolyt. Die chemische Zusammensetzung

des Flüssigelektrolyten kann allerdings nicht dieselbe sein wie bei den konventionellen, großen Batterien, sondern muss an die Erfordernisse der Mikrobatterie angepasst sein. Beispielsweise ist ein sehr geringer Dampfdruck notwendig, damit der Elektrolyt in der ersten Batterie nicht bereits verdampft ist, wenn der letzte eingefüllt wird.

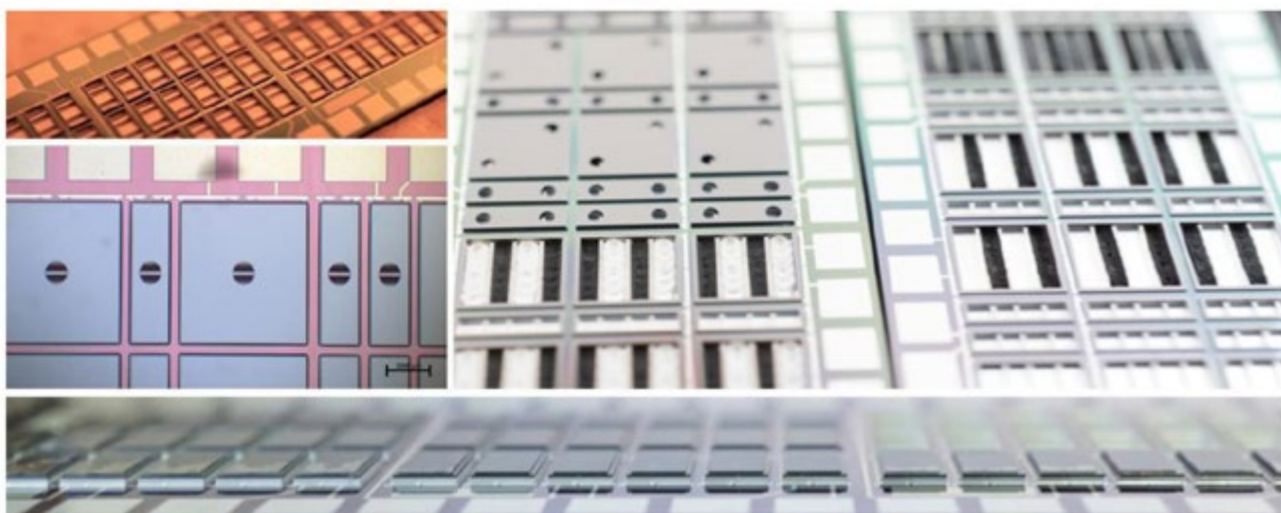
### Forschungsschwerpunkt Kostenreduktion

In das Silizium werden Vertiefungen geätzt, in die dann die Batteriematerialien eingebracht werden. Da das Silizium tatsächlich nur als Gehäuse benötigt wird, ist das ein ineffizientes Vorgehen. Es wäre stattdessen möglich, das Silizium durch (noch) preiswertere Kunststoffe mit einer isolierenden Schicht zu ersetzen, beispielsweise mit einer versiegelnden anorganischen Schicht. Kunststoffe mit derartiger Präzision im Mikrometerbereich nebeneinander auf einem Substrat herzustellen ist allerdings schwer. Eine Möglichkeit wäre das Mikroprägen.

### Forschungsschwerpunkt Erhöhung der Temperaturstabilität der Batterien

In vielen Anwendungsgebieten von Mikrosensoren treten hohe Umgebungstemperaturen auf und eine hohe Temperaturstabilität der Mikrobatterien sind wünschenswert. Batterien vertragen generell aber keine Hitze von über ca. 80 °C. Spezialbatterien für Einsatz in hohen Temperaturen gibt es zwar, aber sie sind in der Regel nicht aufladbar. Das Fraunhofer IZM forscht deswegen an hitzeresistenten wiederaufladbaren Mikrobatterien. Da die finale Verkapselung der Mikrobatterien selbst Prozessschritte mit erhöhten Temperaturen beinhaltet, erhoffen sich die Forscher davon unter anderem auch eine Vereinfachung des Herstellungsprozesses.

### Batterien in verschiedenen Herstellungsstadien



Oben rechts: noch ungefüllte Batteriegehäuse  
 Rechts: die Elektrodenpasten sind eingefüllt (weiß LTO, schwarz NCA)  
 Mitte: Deckel mit Löchern, durch die dann der Elektrolyt eingefüllt wird  
 Unten: final verkapselte Batterien auf Wafer

► Die ca. 0,5 x 10 mm große Mikrobatterie wird in mehreren Schritten hergestellt.



▶ Dr. Robert Hahn  
Gruppenleiter  
Mikroenergiesysteme  
bei Fraunhofer IZM  
in Berlin



INTERVIEW

# "MIKROBATTERIEN FÜR ULTRA-LOW-POWER ANWENDUNGEN VON MORGEN"

.....  
*Die Anwendungen, die mit Mikrobatterien möglich werden, gibt es zum Teil noch nicht. Dr. Robert Hahn vom Fraunhofer-Institut für Zuverlässigkeit und Mikrointegration (IZM) spricht mit RFID im Blick über faszinierende Projekte, schwierige Herausforderungen und die Zukunft der Mikrosystemtechnik.*

**1. Dr. Hahn, Sie und Ihre Arbeitsgruppe stellen Mikrobatterien her. Wie groß ist das Spektrum der Anwendungen für diese Kleinstbatterien?**

**Robert Hahn:** Es ist tatsächlich noch gar nicht so groß. Unsere Batterien sind ungefähr 1x1 mm oder 0,5x2 mm groß, also wirklich sehr klein. Sie können nur mit wenigen Mikroampere belastet werden, kurzzeitig vielleicht

50 µA. Und für diesen Bereich gibt es noch nicht so viele Anwendungen.

.....  
**2. Woran liegt das?**

**Hahn:** Es gibt tatsächlich heutzutage kaum Chips, die mit einem so geringem Strombedarf auskommen. Wir sind nach unserem Selbstverständnis Vorreiter in der Batterieentwicklung, aber damit derzeit bezüglich

der Anwendung auch größtenteils auf den Bereich der Forschung beschränkt. Anderen Forschungsinstituten und größeren Unternehmen, die Forschung betreiben, geht es genauso. Sie beauftragen uns mit Batterieentwicklungen für ihre eigene Forschung und bereiten sich auf zukünftige Anwendungen in großer Stückzahl vor. Bisher produzieren wir kleine Stückzahlen für sehr interessante Anwendungsfälle.

### 3. Welches Projekt, für das eine Ihrer Batterien verwendet wird, begeistert Sie am meisten?

**Hahn:** Das ist sicherlich Sens4Bee, das Verbundprojekt mit dem Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung in Leipzig und der Firma Micro Sensys in Erfurt. Dabei werden Bienen mit einem Datenrucksack versehen, in den neben einem RFID-Tag auch Sensoren und unsere Batterie integriert ist. Die Bienen generieren beim Umherfliegen Daten, die Rückschlüsse über die Auswirkungen des Klimawandels und der intensiven Landwirtschaft auf sie zulassen und uns helfen, das Bienensterben zu verstehen und letztlich zu verhindern.

### 4. Konnten Sie dafür eine vorliegende Batterie benutzen oder mussten Sie Änderungen vornehmen, beispielsweise wegen des Gewichts der Batterie auf der Biene?

**Hahn:** Der Elektronik-Rucksack wiegt ungefähr

10 mg. Das macht der Biene nichts aus und stört sie laut Aussagen der Experten auch nicht in ihrem Verhalten. Bienen haben keinen eigenen Gewichtsinn. Sie können maximal ca. 60 mg Nektar einsammeln, und das tun sie auch mit Elektronikrucksack. Allerdings haben wir für Sens4Bee Änderungen an einer bestehenden Batterie vorgenommen. Denn normalerweise ist das Batteriegehäuse metallisiert, was sich auf die Funktion der Antennen-Spule, die Teil des Systems ist, sehr ungünstig auswirkt. Deswegen haben wir die Batterie für dieses Projekt nicht ganzflächig metallisiert, sondern nur ringsherum im Bereich der eigentlichen Fügestelle. Die Batterie wird mit mehreren, in Reihe geschalteten Solarzellen aufgeladen. Deshalb haben wir Batterieelektrodenmaterialien verwendet, die zu einer niedrigen Nennspannung führen. Die normale Batteriespannung von 4 Volt wäre hier einfach zu hoch, und dann hätten wir einen Spannungswandler gebraucht. So kommen wir ohne aus.

### 5. Wie wirken sich spezifische Änderungen an einer Batterie für ein Projekt auf die Preisgestaltung aus?

**Hahn:** Eher ungünstig. Je kleiner die Stückzahlen, die wir herstellen, desto teurer ist die einzelne Batterie. Wir liegen beispielsweise mit den Batterien für Hörgeräte bei circa 10 Euro. Das ist wohl noch akzeptabel, aber es gibt Anwendungen, für die ist das einfach zu viel. Deswegen forschen wir fortwährend an Möglichkeiten, wie wir Mikrobatterien preiswerter produzieren können. Neben unseren ständigen Bemühungen, die neuesten Aktivmaterialien für unsere Technologie zu qualifizieren, ist das ein ganz wichtiger Teil unserer Arbeit.

### 6. Nehmen Sie uns doch mal kurz mit in Ihren Arbeitsalltag: An welchen Materialien forschen Sie und warum?

**Hahn:** Es gibt Materialien mit höherer Energiedichte, so dass die Energiemenge im gleichen Volumen steigt. Das bedeutet: die Batterie

wird kleiner bei gleichbleibender oder steigender Leistung. Solche Materialien möchten wir gern verwenden. Ein sehr geeignetes Material in der Hinsicht ist metallisches Lithium. Wir würden es gern für die Anode nutzen, weil es die höchste Energiedichte hat. Die Schwierigkeit dabei ist jedoch das Wiederaufladen, denn beim Entladen entstehen Dendriten. Sie sind eines der größten Probleme bei der Zuverlässigkeit von Akkus. Dendriten sind schmale Metallnadeln, die beim Aufladen am Minuspol wachsen und schließlich den Separator durchdringen und zu einem Kurzschluss führen. Lithium ist eben sehr reaktiv. In Zusammenhang mit Festkörperelektrolyten könnte es mit metallischem Lithium aber funktionieren, denn da kann das Dendritenwachstum besser unterdrückt werden. Der Innenwiderstand von Festkörperbatterien ist insbesondere bei Raumtemperatur oder tieferen Temperaturen aber noch deutlich höher als bei Batterien mit Flüssigelektrolyt. Dadurch ist die Stromleitfähigkeit für viele Anwendungen nicht

ausreichend. Eine geringere Energiedichte, aber dafür ein hohe Stabilität über viele tausend Zyklen besitzt hingegen Lithiumtitanat, welches wir auch oft als negative Elektrode einsetzen.

### 7. Das hört sich so an, als müssten Sie bei jeder Anwendung für eine Ihrer Batterien den genau richtigen Kompromiss zwischen Energiedichte, Leitfähigkeit und Stabilität der Aktivmaterialien finden.

**Hahn:** Ja, so ist es auch. Lithiumtitanat beispielsweise, um dabei zu bleiben, bleibt stabil bei Tiefentladungen. Für den Einsatz im Insektenmonitoring ist das besonders günstig, und da verwenden wir es auch. Die Batterie im Bienenprojekt Sens4Bee lädt sich zwar über eine Solarzelle auf, aber bei Bewölkung funktioniert das vielleicht mehrere Tage hintereinander nicht. Eine Lithium-Ionen-Batterie mit Graphit als negative Elektrode würde dann kaputtgehen, während eine Lithiumtitanat-Batterie einige Tage bei 0 Volt Spannung

übersteht. Für Sensoranwendungen, bei denen man nicht alles unter Kontrolle hat, ist das ein spezieller Vorteil. Es gibt eben nicht eine Batterie für jede Lösung. Man muss bei jedem Anwendungsfall abwägen.

### 8. Wie schätzen Sie die zukünftige Nachfrage nach Mikrobatterien ein?

**Hahn:** Sie wird sicherlich steigen. Es gibt gegenwärtig große Bestrebungen, den Energiebedarf der Elektronik herabzusetzen. Wir sehen einen ständig steigenden Strombedarf durch das Internet, IoT durch Daten- bzw. Rechenzentren. Immer mehr Geräte funktionieren mit integrierten Schaltkreisen. Deswegen gibt es umfangreiche Forschungsprogramme für Chips, die weniger Energie verbrauchen. Wenn diese Chip-Technologie mit deutlich verringertem Strombedarf kommt, lassen sich auch immer mehr Anwendungen entwickeln, für die das Energiebudget unserer kleinen Batterie ausreicht.

### 9. Vielen Dank!