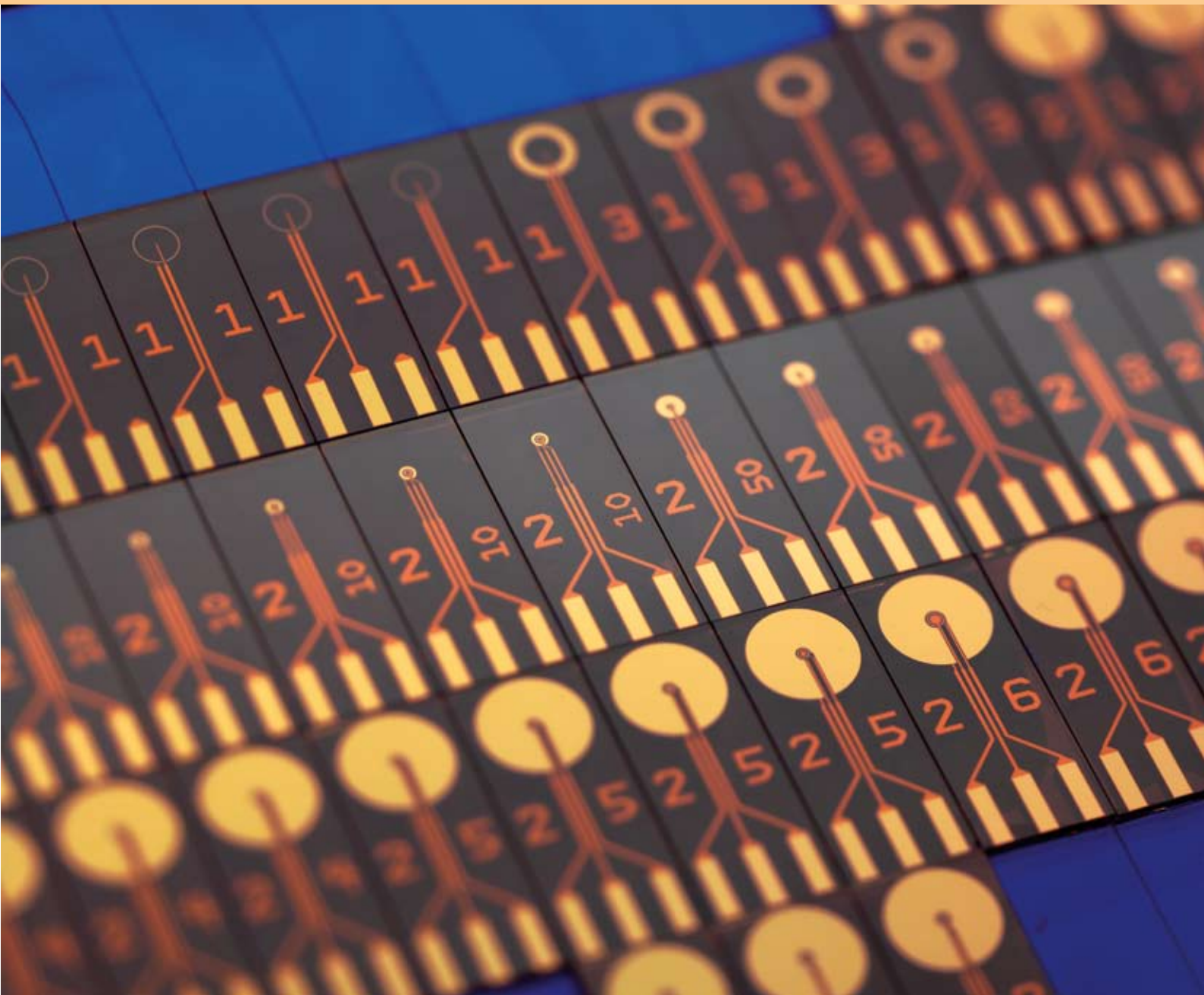


# FRAUNHOFER-NETZWERK ELEKTROCHEMIE



# FRAUNHOFER-NETZWERK ELEKTROCHEMIE

An vielen Instituten der Fraunhofer-Gesellschaft werden Forschungs- und Entwicklungsarbeiten zu elektrochemischen Themenstellungen durchgeführt. Die Interdisziplinarität der Elektrochemie führt dazu, dass in den einzelnen Instituten nur Teilbereiche der Elektrochemie abgedeckt werden. Um das vorhandene elektrochemische Wissen und die Erfahrungen besser zu nutzen und Synergien zu schaffen, bildeten Mitarbeiter von zehn Instituten das Fraunhofer-Netzwerk Elektrochemie.

Das gesamte Netzwerk deckt thematisch weitere elektrochemische Bereiche ab, als die Gruppen der einzelnen Institute und eröffnet damit eine Basis für die schnelle und kompetente Bearbeitung spezifischer elektrochemischer Aufgabenstellungen. Zusätzlich hoffen die Beteiligten, dass durch die Netzwerkbildung die Bedeutung der Elektrochemie für die unterschiedlichen industriellen Bereiche in Deutschland wieder zunimmt.

## Elektrochemie

Das Umfeld für die Elektrochemie hat sich nach Aussagen der GDCH-Fachgruppe Angewandte Elektrochemie in den letzten Jahren zunehmend verschlechtert. Lehrstühle, die mit Elektrochemikern besetzt waren, werden nicht neu besetzt und in der Folge nimmt der wissenschaftliche Nachwuchs ebenso wie die Verfügbarkeit spezifisch ausgebildeter Fachkräfte ab. Dieser Trend ist umso verwunderlicher, da elektrochemische Methoden und Verfahren die Basis für eine Vielzahl industrieller Prozesse und Produkte darstellen. Möglicherweise erschwert aber die breite Anwendbarkeit der Elektrochemie die deutliche Wahrnehmbarkeit dieses Wissenschaftszweigs.

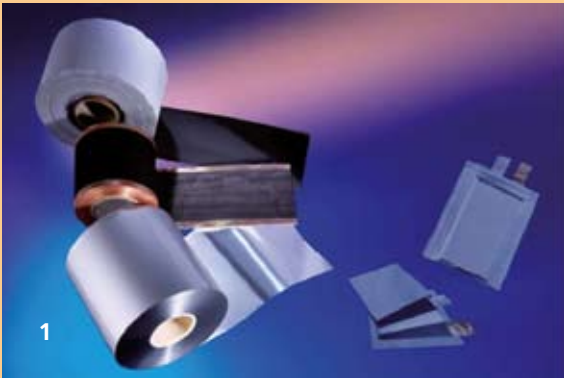
Ein Beispiel für die Bedeutung der Elektrochemie ist das Automobil und der Automobilbau. Mit der Kombination Elektrochemie und Automobil wird zumeist als erstes die Starterbatterie und aktuell sicherlich auch die Brennstoffzelle assoziiert. Viele Anwender verbinden weder  $\lambda$ -Sonde noch selbst abblendende Rückspiegel mit der Elektrochemie. Nach verschiedenen Angaben sind bis zu 3000 der im Automobil eingesetzten Teile galvanisch behandelt.

..

Elektrochemische Methoden werden in fast allen Bereichen von den Life Sciences über die Analytik und Sensorik, die Oberflächentechnik, die chemische Reaktionstechnik bis hin zur Energietechnik eingesetzt. Ihr Potenzial, neue Funktionalität in Bauteilen zu generieren, ist noch lange nicht ausgeschöpft. Ihre umfassende Bedeutung für Oberfläche und Bauteile wird am Beispiel des Automobils besonders deutlich. Batterien und Akkumulatoren.

Das Automobil zeigt wie viele Komponenten und Funktionalitäten durch elektrochemische Prozesse hergestellt werden.





## Höhere Leistungs- und Energiedichte bei größerer Sicherheit

Batterien sind aus dem heutigen Alltag nicht mehr wegzudenken: Als Energieversorgung für Mobiltelefone, MP3-Player oder Laptops benutzt sie jeder täglich, und auch Anwendungen wie Akkuschauber und ähnliche Werkzeuge erleichtern den Arbeitsalltag. Hier setzen sich die modernen Lithium-Ionen-Akkus mehr und mehr gegenüber den althergebrachten Technologien wie Nickel-Cadmium- oder Nickel-Metallhydrid-Akkus durch.

Den Weg in das Automobil finden Lithium-Ionen-Batterien nur zögerlich: Während der gute alte Bleiakku seit Jahrzehnten in jedem Auto seinen Dienst versieht, werden für die neuen Anforderungen Hochleistungsakkus benötigt: Die immer größere Anteile erobernden Hybridfahrzeuge sollen mit Hilfe der Batterie Benzin sparen, durch Start-Stop-Automatik, Rückgewinnung der Bremsenergie oder sogar durch zusätzlichen »Dreh« am Antrieb. Dabei kommen die Lithium-Ionen-Batterien mit ihrer hohen Energiedichte gerade recht, denn es soll Gewicht und Platz gespart werden. Bis die Lithium-Ionen-Batterien bei den Hybrid- oder Elektrofahrzeugen einen signifikanten Marktanteil erobert haben, werden aber noch einige Jahre vergehen.

Eine Batterie ist ein komplexes kleines Kraftwerk, in dem die verschiedenen Disziplinen der (Elektro)chemie aufeinandertreffen und zusammenspielen müssen: die anorganische Chemie bei den Stromableitern und Elektrodenmaterialien für Anoden und Kathoden, die organische Chemie bei den Elektrolyten, die Polymerchemie bei den Bindern, Separatoren und Polymerelektrolyten, die physikalische Chemie zum Verständnis der elektrochemischen Teilprozesse, die Verfahrenstechnik und viele mehr. Und wenn die Batterie fertig und verschlossen ist, will man auch noch von außen feststellen, wie voll die Batterie ist, wie lange sie noch halten wird, wann man sie austauschen muss, etc.

12 Institute der Fraunhofer-Gesellschaft bündeln dazu ihre Kompetenzen im Netzwerk Batterien. Ein Arbeitsschwerpunkt sind leistungsfähige und sichere Lithium-Ionen-Batterien. Dazu entwickeln sie neue Elektrodenmaterialien, Stromableiter, Elektrolyte und Separatoren. Weiter beschäftigen sich Institute des Netzwerks mit Zelldesign, Packaging, Zellenfertigung, Batteriebau, -management, -monitoring sowie Sicherheitstest. Die besondere Stärke des Netzwerks: Fraunhofer verfügt über Know-how in der Material-, Elektroden-, Elektrolyt-, Zellen- und Batterieherstellung und kann so Unterstützung über die gesamte Prozesskette anbieten.

Die Tabelle zeigt eine Gegenüberstellung verschiedener Akkumulatoren in Bezug auf ihre Leistungsdichte und die zu erwartende Reichweite.

System	Wh/kg	Wh/l	Reichweite
Blei	35	70	160
NiCd	50	100	200
NiMeH	70	245	320
Li-Ion	140	440	400

### 1 Li-Polymer-Akkumulatoren.

Quelle: Knud Dobberke für Fraunhofer ISC.

2 Zur elektrochemischen Charakterisierung der entwickelten Materialien werden die Lithiumionenzellen an einem Mehrkanalmessgerät getestet, wobei bis zu 96 Messkanäle für verschiedene voneinander unabhängige Messungen zur Verfügung stehen. Insbesondere Langzeitzyklisierungen mit Referenzelektrode erlauben detaillierte Aussagen über das Verhalten von Anoden- und Kathodenmaterialien im Zusammenspiel mit dem Elektrolyten.

Quelle: Knud Dobberke für Fraunhofer ISC.



3 Ein nicht brennbares, formstabiles Polymer als Elektrolyt für eine verbesserte Sicherheit von Lithium-Ionen-Akkus. Das Polymer stammt aus der Stoffgruppe der ORMOCER®e – eine Verbindung mit Silizium-Sauerstoffketten, die ein anorganisches Gerüst bilden, an dem organische Seitenketten hängen. Die große Herausforderung: Das Polymer muss die Lithiumionen gut leiten, die dem Handy und dem PDA den Strom liefern.

Quelle: Knud Dobberke für Fraunhofer ISC.

## Brennstoffzellen

Alle Automobilproduzenten arbeiten seit rund einer Dekade intensiv an der Entwicklung von Brennstoffzellen. Die Elektrotraktion stellt auf Grund der Anforderungen (dynamische Lastwechsel, Temperaturverhalten, Preis) einen sehr anspruchsvollen Einsatzbereich dar. Neue Erkenntnisse und Entwicklungen, unter anderem in den Feldern Elektrokatalyse, Materialentwicklung (Membranen, Bipolarplatten) und Systemaufbau können diese Technologie für den Einsatz im Automobil attraktiver machen.

## Galvanotechnologie: Korrosionsschutz und funktionale Oberflächen

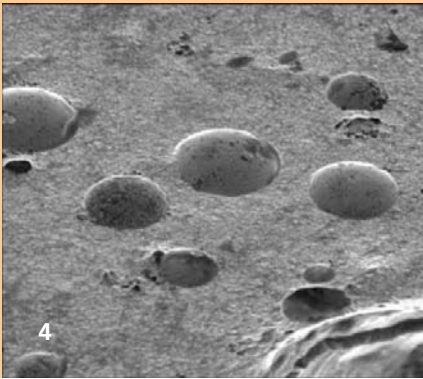
Die galvanische Veredelung von Oberflächen sind originäre elektrochemische Themenfelder. Neben der dekorativen Beschichtung spielt die funktionelle Beschichtung zum Zwecke der Verlängerung der Lebensdauer sowie zur effizienteren Nutzung von Bauteilen und Werkzeugen eine bedeutende Rolle. Diese Schichten werden insbesondere für tribologische Anwendungen, zum Beispiel für Reibminderung und erhöhtem Verschleißwiderstand eingesetzt.

Um metallische Oberflächen zu veredeln, werden heute standardmäßig verschiedene elektrochemische Verfahren, eingesetzt, bei denen beispielsweise die Oberflächen galvanisch verchromt oder chemisch vernickelt werden. Für Korrosionsschutzschichten werden häufig Zink- und Zinklegierungsschichten eingesetzt.

In Komponenten mit bewegten Teilen werden häufig reibarme Schichten benötigt, ohne große Mengen an Schmierstoffen einzusetzen. In diesem Fall lassen sich beispielsweise Dispersionschichten aufbringen, bei denen Mikrokapseln mit abgeschlossen werden, in denen ein Schmierstoff, zum Beispiel Öl, eingebracht ist. Wird die Schutzschicht durch Kontakt mit einem Gegenkörper zerstört, tritt der Schmierstoff aus den Mikrokapseln aus und reduziert die Reibung. Ähnlich arbeiten kommerziell verfügbare System, bei denen PTFE- oder Graphitpartikel in die Oberfläche eingebaut werden. Die Verschleißigenschaften von Oberflächen lassen sich beispielsweise durch die Koabscheidung verschiedener Materialien, beispielsweise Diamant, oder SiC (Siliziumcarbid) verbessern.

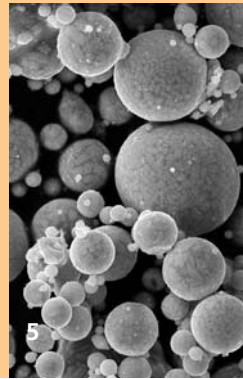
Eine weitere Anwendung elektrochemischer Verfahren zur Oberflächenbehandlung ist die Metallisierung von Kunststoffoberflächen. Bekannte Beispiele sind die dekorative Verchromung von Kunststoffbauteilen in Automobilen oder von Haushaltsgegenständen.

Neue Verfahren wurden entwickelt, um beispielsweise Form-Werkzeuge, die aus Kunststoff hergestellt worden sind, galvanisch mit einer verschleißfesten Oberfläche zu beschichten. Der Vorteil sind erhebliche Kostenersparnisse gegenüber Werkzeugen aus Metall, da sich KS-Werkzeuge sehr viel günstiger herstellen lassen. Insbesondere sind solche Werkzeuge geeignet für die Herstellung von Bauteilen in kleineren Stückzahlen oder von Prototypen.



**4** Eine REM-Aufnahme einer galvanisch abgeschiedenen Nickelschicht mit Mikrokapiteln, die mit Öl gefüllt sind, Quelle Fraunhofer IST, Braunschweig

**5** Modifizierte Zn-Pigmente für den Korrosionsschutz von Aluminium und Aluminiumlegierungen, Quelle Fraunhofer IFAM, Bremen



## Korrosion und Korrosionsschutz: Werterhalt durch Know-how

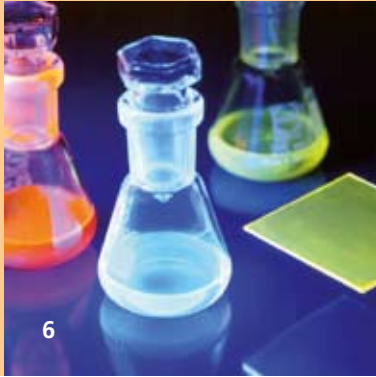
Korrosion ist eine der am häufigsten auftretenden Schädigungsarten von Bauteilen und technischen Strukturen. Korrosion tritt in allen technischen Bereichen auf, der verursachte gesamtwirtschaftliche Schaden ist immens. So wird geschätzt, dass allein aufgrund von Korrosion ca. 4 % des Brutto-Inlandproduktes jährlich an direkten Kosten entstehen, für die Bundesrepublik Deutschland im Jahr 2007 also ca. 100 Mrd €. Ein Großteil dieser Kosten lässt sich jedoch durch die Anwendung bestehenden Wissens vermeiden. Durch die Verwendung geeigneter Korrosionsschutzmaßnahmen lässt sich die Nutzungsdauer von technischen Systemen wesentlich erhöhen und deren Ausfallrisiko signifikant minimieren. Hierbei gilt: je früher Korrosionsschutz im Produktzyklus berücksichtigt wird, umso geringer sind die Kosten für den Korrosionsschutz, und umso höher das Einsparpotential gegenüber möglichen auftretenden Korrosionsschäden.

Die Natur der Korrosion metallischer Bauteile ist meist elektrochemischer Natur, deswegen eignen sich elektrochemische Methoden ganz besonders zur Charakterisierung von Korrosionssystemen (wie anfällig ist ein Werkstoff?) bzw. zur Beurteilung von Schutzmaßnahmen (ist diese Beschichtung als Schutzmaßnahme geeignet?). Der Vielfalt an Werkstoffen und korrosiven Umgebungsbedingungen steht eine Fülle an elektrochemischen Untersuchungsmethoden gegenüber, mit denen sich spezifische Fragestellungen, insbesondere hinsichtlich der ablaufenden Korrosionsvorgänge (was passiert da?), beantworten lassen. Ebenso zielen einige Schutzmethoden darauf ab, direkt in den elektrochemischen Mechanismus der Korrosionsreaktion einzugreifen und diese zu hemmen.

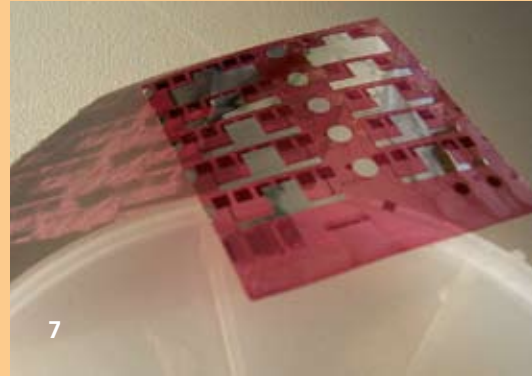
## Electrochemical Machining: Präzision im Nanometerbereich

Miniaturisierte mechanische Bauteile (MEMS = micro electro mechanical systems) werden als Sensoren und Aktuatoren direkt auf einem Chip aufgebracht. Die Herstellung von Beschleunigungssensoren, die für die Auslösung des Airbags im Automobil eingesetzt werden, basiert beispielsweise auf der MEMS Technologie. Eine wichtige Methode, um MEMS zu produzieren, ist das »electrochemical machining« (ECM). Dabei wird ein Metallsubstrat gezielt durch den Einsatz von Mikroelektroden lokal aufgelöst. Auf diese Weise können Bauteile in der  $\mu\text{m}$ -Dimension mit einer Präzision im Nanometer-Bereich gefertigt werden.

Die vorgestellten Beispiele verdeutlichen, dass elektrochemisches Know-how offensichtlich eine zentrale Position im Automobil und im Automobilbau einnimmt. Obwohl die einzelnen Verfahren bereits länger bekannt sind und eingesetzt werden, ist das Potenzial der elektrochemischen Methoden und Produkte bei weitem noch nicht ausgeschöpft. Die aktuellen Diskussionen um das Hybridauto und Brennstoffzellen sowie die zunehmende Bedeutung funktionaler Oberflächen und Sensoren verdeutlichen dies. Ein Rückgang elektrochemischer Forschung, Entwicklung und Ausbildung in Deutschland verschlechtert in der Folge auch die Wettbewerbsposition der deutschen Industrie.



6



7

## Sensoren und Analysensysteme Vielseitige Kontrollmöglichkeiten

Im Auto werden  $\lambda$ -Sonden eingesetzt, um eine optimale Verbrennung im Motor zu erreichen. Diese elektrochemischen Sensoren messen im Abgas die Sauerstoffkonzentration. Durch die Variation der eingesetzten Elektrodenmaterialien ist es vorstellbar, auch andere Substanzen, beispielsweise NO<sub>x</sub> oder auch CO<sub>2</sub> quantitativ zu bestimmen. Dadurch könnte eine weitere Optimierung der Motorsteuerung erreicht werden.

Weitere potenzielle Einsatzmöglichkeiten sind beispielsweise die Steuerung der Innenraumbelüftung, die Beobachtung des Fahrers (Ethanolbestimmung), aber auch die Korrosionsüberwachung und zukünftig die Wasserstoffbestimmung.

## Polymerelektronik

Je nach chemischem Aufbau können Polymere elektrisch leitende, halbleitende oder isolierende Eigenschaften besitzen. Die Isolationsfähigkeit der Polymere wird schon seit Beginn des 20. Jahrhunderts in der Elektrotechnik genutzt. Erst Anfang der 70. Jahre wurden erstmals elektrisch aktive Polymere hergestellt und charakterisiert. Für den Einsatz dieser neuartigen Materialien für elektronische Anwendungen wurde der Begriff Polymerelektronik geprägt. Solche elektronischen Anwendungen sind beispielsweise Displays: OLEDs, OFETs, RFID—Tags, Solarzellen, Sensoren und Aktoren. Der Vorteil gegenüber der herkömmlichen Si basierten Elektronik liegt darin, dass sich Bauelemente für großflächige, mechanisch flexible und sehr billige elektronische Komponenten und Geräte realisieren lassen. Deshalb bilden preiswerte Druckverfahren, Rolle-zu-Rolle Beschichtungs- und Strukturierungsmethoden eine wichtige Basis für zukünftige Produkte in diesem Bereich. Wir beschäf-

tigen uns mit der Entwicklung von neuen organischen Materialien für den Einsatz in der Polymerelektronik und passen diese den aus Lösung basierten Verarbeitungsprozessen an. Dazu ist es unabdingbar, die Energieniveaus der neu synthetisierten organischen Materialien zu bestimmen. Eine Methode, die sich dafür ausgezeichnet eignet, stellt die Cyclovoltammetrie dar. Aus den erhaltenen Messwerten lassen sich Abschätzungen der untersuchten Materialien hinsichtlich ihrer Elektronenaffinität oder ihres Ionisationspotentials vornehmen. Mit diesem Wissen lassen sich dann effiziente Bauteile realisieren. Neben der Synthese der neu hergestellten organischen Materialien für die polymerelektronischen Bauelemente ist ein weiterer Arbeitsschwerpunkt im Fraunhofer IAP die Deviceentwicklung. Die Präparation erfolgt zum größten Teil in Reinräumen der Klasse 1000 sowohl unter Laminaflow Boxen als auch in inerten Glovebox-Systemen. Das Know-how zum Aufbau der verschiedenen Anwendungen mit polymerelektronischen Bauelemente (OLEDs, OFETs, OPV) ist vorhanden. Für die Charakterisierung der elektrischen und optischen Eigenschaften der polymerelektronischen Bauelemente (z.B. Effizienz, Helligkeit, Ladungsträgermobilität, On-Off Verhältnis) sind automatisierte Messplätze (Strom-Spannungs-Kennlinien, optische Parameter) entwickelt worden. Für die umfassende Untersuchung von OLEDs steht ein vollautomatisches System zur Bestimmung der Lebensdauer zur Verfügung. Schichtdicken und Topographie der Schichten lassen sich mit einem Dektak sowie einem AFM von nanosurf bestimmen.

6 *Lösungen von halbleitenden Polymeren, Quelle Fraunhofer IAP, Postdam.*

7 *Flexibler OTFT, Quelle Fraunhofer IAP, Postdam.*

## Mitglieder

Fraunhofer-Institut für  
Angewandte Polymerforschung IAP

Fraunhofer-Institut für  
Chemische Technologie ICT

Fraunhofer-Institut für  
Fertigungstechnik und Angewandte  
Materialforschung IFAM

Fraunhofer-Institut für  
Grenzflächen- und  
Bioverfahrenstechnik IGB

Fraunhofer-Institut für  
Keramische Technologien und  
Systeme IKTS

Fraunhofer-Institut für  
Produktionstechnik und  
Automatisierung IPA

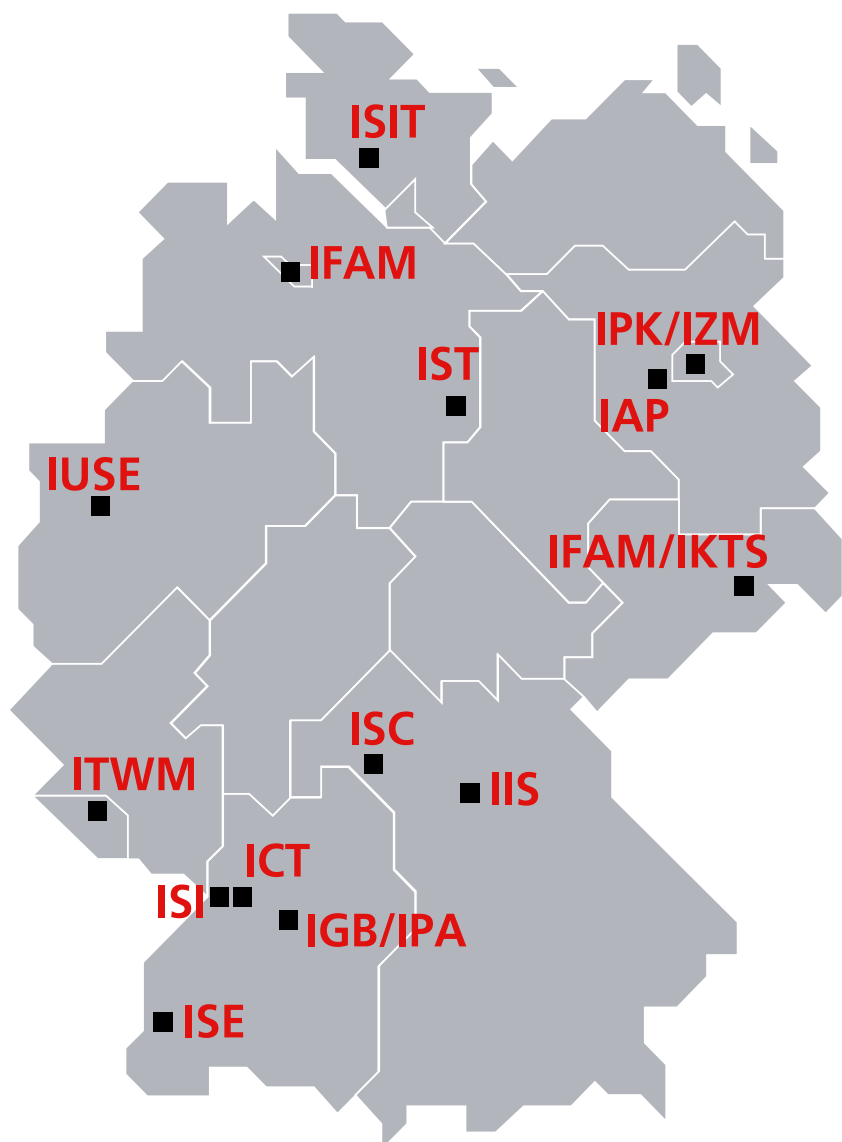
Fraunhofer-Institut für  
Silicatforschung ISC

Fraunhofer-Institut für  
Solare Energiesysteme ISE

Fraunhofer-Institut für  
Siliziumtechnologie ISIT

Fraunhofer-Institut für  
Schicht- und Oberflächentechnik IST

Fraunhofer-Institut für  
Zuverlässigkeit und Mikrointegration IZM



**Fraunhofer-Institut für  
Chemische Technologie ICT**

Joseph-von-Fraunhofer-Straße 7  
76327 Pfinztal (Berghausen)

Institutsleiter:  
Prof. Dr.-Ing. Peter Elsner  
Telefon +49 721 4640-0

**Ansprechpartner**

Dr. Karsten Pinkwart  
Telefon +49 721 4640-322  
Fax +49 721 4640-800322  
karsten.pinkwart@ict.fraunhofer.de  
www.ict.fraunhofer.de