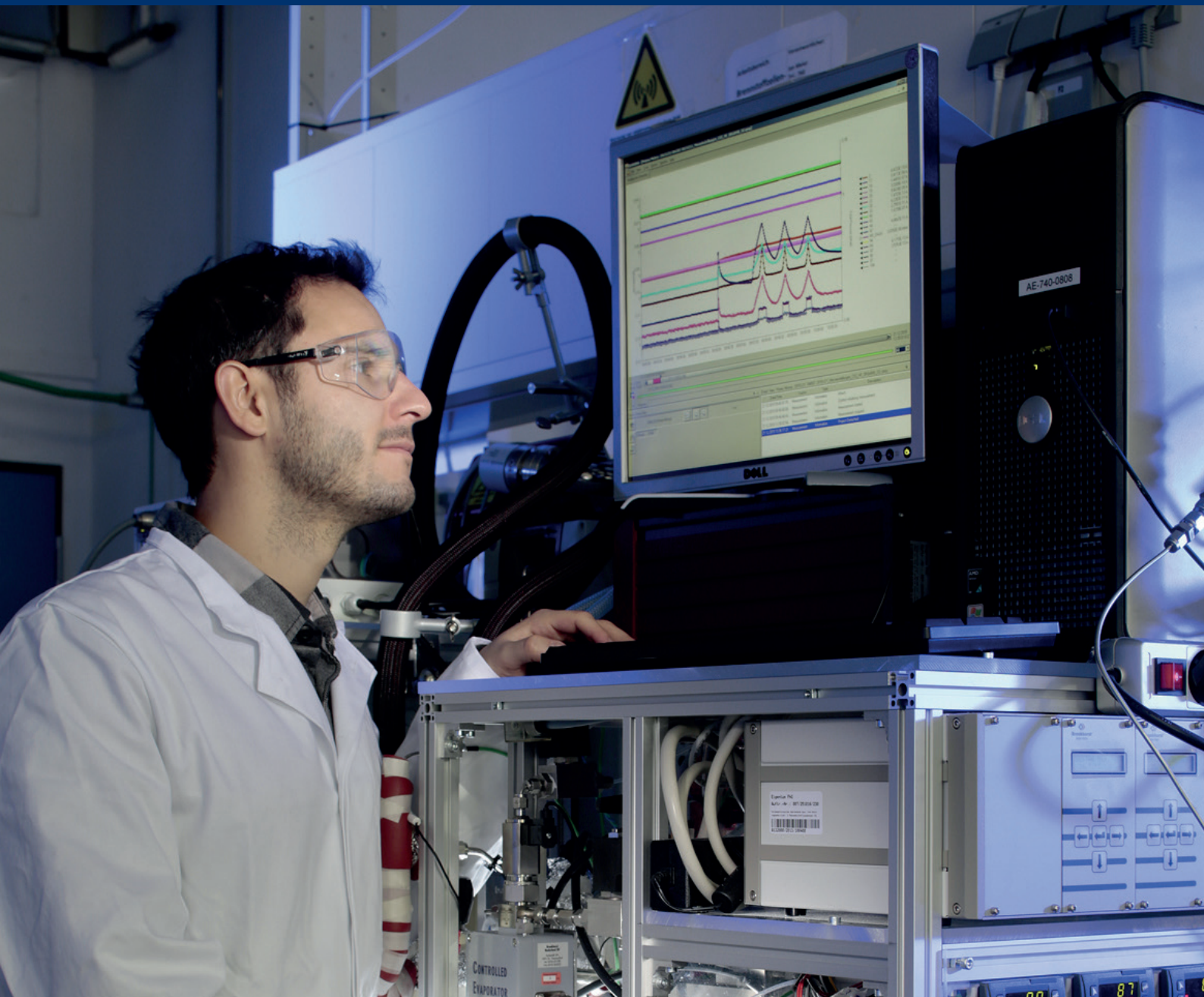


# ANGEWANDTE ELEKTROCHEMIE







# ANGEWANDTE ELEKTROCHEMIE

Batterien, Brennstoffzellen, elektrochemische Sensoren und Analysensysteme sind die Arbeitsschwerpunkte des Produktbereichs Angewandte Elektrochemie des Fraunhofer-Instituts für Chemische Technologie ICT. Die zivilen und wehrtechnischen Forschungs- und Entwicklungsarbeiten reichen von der Materialcharakterisierung und -optimierung bis zur Methodenentwicklung und der Herstellung von Prototypen. Umfangreiche Test- und Entwicklungsmethoden für Brennstoffzellen, Batterien und Komponenten werden entwickelt und als Serviceleistung angeboten.

## BATTERIEN

Die Forschungen und Entwicklungen des Kompetenzbereichs Batterien umfassen Material- und Systementwicklung sowie Testung und in-situ und post-mortem Analysen von elektrochemischen Energiespeichern für stationäre und mobile Anwendungen. Für die zukünftige stationäre Speicherung von erneuerbaren Energien ist die Redox-Flow-Batterie ein effizienter und aussichtsreicher Kandidat. Weitere Forschungsschwerpunkte sind die Lithium-Ionen-Technologie, besonders hinsichtlich ihrer Sicherheit sowie die Entwicklung neuer elektrochemischer Speicher, wie zum Beispiel Lithium/Schwefel-Akkumulatoren oder auf Natrium basierte Systeme.

### Material- und Systementwicklung

Der Fortschritt bei mobilen Unterhaltungs- und Kommunikationsgeräten und deren Ausstattung mit neuen Funktionen sind ebenso wie Hybrid- und Elektrofahrzeuge eng mit ihrer Energieversorgung verbunden. Das Fraunhofer ICT ist seit über 30 Jahren in der Entwicklung von Akkumulatoren engagiert und arbeitet an Materialien für sichere und leistungsfähige Lithium-Ionen-Batterien.

Schwerpunkte der Entwicklungsarbeit am Fraunhofer ICT sind:

- Elektrochemische Charakterisierung von Lithium-Ionen-Zellkomponenten in speziellen Testzellen
- Bestimmung der freigesetzten Energie und der Wärmeströme beim thermischen Durchgehen der Zelle
- Anwendungsspezifische Performance-Tests von der Zelle bis zum Batteriepack mit Kapazitäten von mehreren kWh
- Ermittlung spezifischer, thermischer Parameter von Lithium-Ionen-Zellen

### TITELFOTO:

*Teststand für die in-operando-Messung von Katalysator-korrosion am PEMFC.*

### FOTO LINKS:

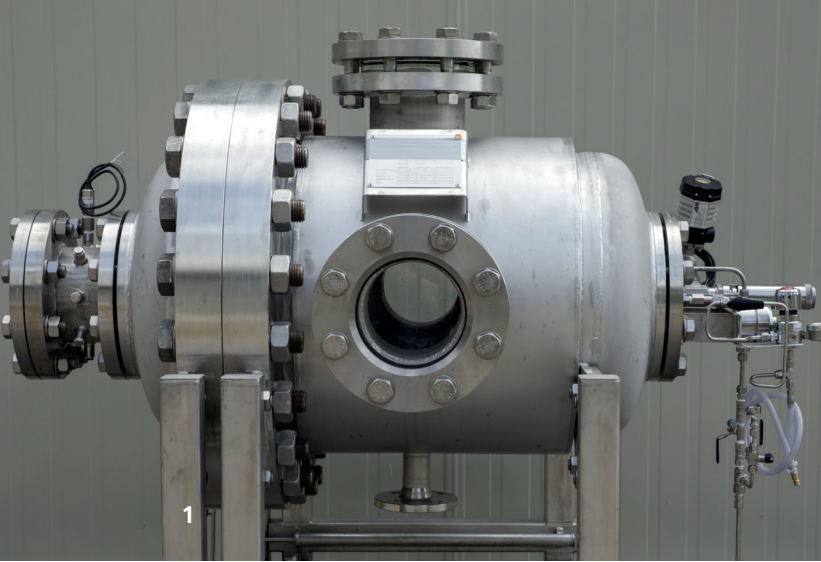
*Schutzgasbox für die Materialentwicklung.*

- Thermische Simulationsrechnungen zur Auslegung der Kühlstrukturen in Lithium-Ionen-Modulen und Batteriepacks
- In-situ Elektrolytuntersuchungen während des Zyklierens zur Bestimmung der Alterung und Elektrolytdekomposition
- Untersuchung von Systemen der nächsten Generation
- Entwicklung von Schwefel- und Li<sub>2</sub>S Kathoden mit hoher Aktivmaterialbeladung und hohem Aktivmaterialanteil
  - Untersuchung von Lithium- und Natriummetallanoden mit angepassten Elektrolyten
  - Testung und Synthese von Natrium Interkalationselektroden
  - Bau von Demonstratoren bis 1 Ah

### Sicherheitstests

Elektrochemische Energiespeicher, unter anderem Lithium-Ionen-Systeme, können aufgrund ihrer hohen Energiedichte und der eingesetzten Materialien bei Betrieb außerhalb ihrer Spezifikationen ein großes Gefahrenpotenzial aufweisen. Voraussetzung für den sicheren Einsatz von Lithium-Ionen-Zellen ist die Einhaltung von Temperatur und Potenzialgrenzen. Durch den Ausbau unserer Batterielabore können wir umfassende elektrische, thermische und mechanische Sicherheitstests durchführen. Die Ermittlung relevanter elektrischer Parameter für Module und Batteriepacks, auch unter verschiedenen klimatischen Bedingungen, ist die Basis der Analyse. Diese hilft bei der Beurteilung des Leistungsvermögens elektrochemischer Energiespeicher sowie bei der Abschätzung der mit dem Betrieb verbundenen Gefahren. Dabei führen wir zerstörende und nicht zerstörende Untersuchungen auf Zell- und Modulebene durch. Eine nahezu einzigartige begleitende Online-Analytik der Zersetzungsprodukte erlaubt die Qualifizierung und Quantifizierung der im Versagensfall freigesetzten Stoffe. Damit kann die Sicherheit bewertet, schrittweise verbessert und eine Risikoabschätzung für den Einsatz getroffen werden.





Am Fraunhofer ICT werden folgende Dienstleistungen angeboten:

- Elektrische-, thermische- und mechanische Abusetests an Lithium-Ionen-Systemen zurzeit bis 2 kWh SpeichergroÙe
- Kundenspezifische Auslegung von Testumgebungen und Testszenarien
- Prüfung der Kompatibilität von neuartigen Batteriekomponenten
- Qualitative und quantitative Gasanalysen nach thermischen, mechanischen oder elektrischen Abusetests

Darüber hinaus verfügen wir über umfassende Erfahrungen bezüglich Alterungs- und Versagensmechanismen elektrochemischer Speicher. Auf dieser Basis werden post-mortem-Analysen neuer, gealterter, nicht funktionstüchtiger oder zerstörter Zellen bzw. Batterien durchgeführt. So können die Ursachen für das Versagen ermittelt und Veränderungsmöglichkeiten aufgezeigt werden.

Seit der Inbetriebnahme des neuen Testgebäudes für Lithium-Ionen-Systeme auf dem Gelände des Fraunhofer ICT wird die Laborausstattung kontinuierlich erweitert. Aktuell steht folgendes Equipment zur Verfügung:

**Test-Box 1: Missbrauchsversuche, spezifische Messaufbauten**

- Hydraulische Presse mit Pressrahmen
- Nagelvorrichtung
- diverse Heizblöcke für thermische Tests an Li-Ion-Zellen
- Hochstromfähige Schütze für Kurzschluss tests

**Test-Box 2: Havariefester Klimaschrank mit Unterdruckfunktion**

- Prüfkammervolumen 1 m<sup>2</sup>
- Inertisierung mit Stickstoff möglich
- Sensorische Überwachung des Prüfraumes (O<sub>2</sub>, CO, KW's)
- Unterdruck bis 100 mbar
- Temperaturzyklen zwischen -40 °C / +80 °C in 30 min.

**Test-Box 3: Schock- und Schwingprüfung**

- Schwingerreger mit Gleittischplatte für Prüflinge mit einer Maximallast von bis zu 300 kg
- Fallschocktester für Prüflingsmassen bis zu 85 kg

**Batteriezyklisierer**

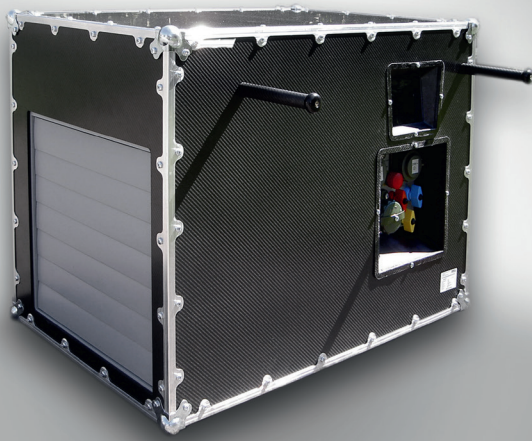
- verschiedene Zelltester
- Modultester
- Packtester

**Analytische Ausstattung**

- Online-Fourier-Transformations-Infrarotspektrometer (FT-IR)
- Online-Kapillar-Massenspektrometer (MS)
- Adline-Gaschromatograph (GC)
- Gaschromatograph mit Massenspektrometer (GC-MS)
- Ionenchromatograph (IC) und Kappilarelektrophorese (CE)
- optische Emissionsspektrometrie mittels induktiv gekoppelten Plasmas (ICP-OES) etc.

**REDOX-FLOW-BATTERIE**

Redox-Flow-Batterien ermöglichen eine optimierte Nutzung erneuerbarer Energien aus fluktuierenden Energiequellen wie Windkraft- oder Solaranlagen. Generell kann dieser Batterietyp aber auch als hoch verfügbarer Energiespeicher im Netz sowie als unterbrechungsfreie Stromversorgung eingesetzt werden. Das Verfahren der Redox-Flow-Batterie beruht auf dem Prinzip der Speicherung von chemischer Energie in Form von gelösten Redox-Paaren in externen Tanks. Die Stromwandlung erfolgt in einem getrennten Leistungsmodul. Redox-Flow-Batterien bieten so die Möglichkeit, Energie und Leistung unabhängig voneinander zu skalieren. Durch ihren modularen Aufbau und die vergleichsweise einfache Konstruktion können lange Standzeiten bei gleichzeitig hoher Verfügbarkeit erzielt werden. Da die Speicherkapazität im Wesentlichen von der Menge der Elektrolytlösung bestimmt wird und der Wirkungsgrad bei über 75 Prozent liegt, ist dieser Speichertyp für Großanwendungen interessant. Die Redox-Flow-Technologie bietet ein großes Innovationspotenzial bei einer vielfachen Lebensdauer gegenüber Bleiakkus.



3

- 1 *Heizbarer Druckbehälter für (Li-Ionen-) Batterietests, vorwiegend auch um entstehende (gasförmige) Stoffe zu analysieren und zu detektieren.*
- 2 *Vanadium-Redox-Flow-Batterie.*
- 3 *2 kW-portabler Brennstoffzellen-Strom-generator in Kooperation mit FutureE GmbH.*

Die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler am Fraunhofer ICT forschen in den Bereichen:

- Untersuchung neuer geeigneter Elektrolyte, Elektroden und Membranen
- Optimierung der Energie- und Leistungsdichte
- Reduzierung der Materialkosten
- Entwicklung von Prototypen zur flexiblen Testung und Evaluierung
- Stackentwicklung und Systemtests
- Modellierung und Simulation

## BRENNSTOFFZELLEN

Die Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten im Kompetenzbereich Brennstoffzellen umfassen die Materialentwicklung mit Schwerpunkt Elektrokatalysatoren, die Entwicklung innovativer Testmethoden mit Schwerpunkt Degradationsanalyse und die Systementwicklung für hybridisierte mobile Anwendungen (APU und Range-Exender) sowie Spezialanwendungen z. B. im militärischen Bereich. Als weiteres Thema werden elektrochemische Prozesse für mögliche industrielle Anwendungen untersucht.

### Materialentwicklung

Die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler am Fraunhofer ICT forschen an neuen Materialien für unterschiedliche Polymerelektrolytmembranzelltypen:

- Platinmetallarme Katalysatoren für kostengünstige alkalische Direktalkoholbrennstoffzellen
- Alkoholbeständige Bindermaterialien für alkalische Direktalkoholbrennstoffzellen
- Alkoholtolerante Kathodenkatalysatoren für Direktalkoholbrennstoffzellen
- Anodenkatalysatoren für HT-PEMFC mit erhöhter Toleranz gegen Verunreinigungen in reformierten Kraftstoffen

- Geträgerte Anodenkatalysatoren für die PEM-Elektrolyse
- Dabei können die Forscher auf eine Reihe am Fraunhofer ICT entwickelter, spezieller Untersuchungsmethoden, wie beispielsweise einer Testzelle zur Durchführung von in-operando massenspektrometrischen Untersuchungen unter realen HT-PEMFC Bedingungen, zurückgreifen.

### Degradationstest

Die Steigerung der Lebensdauer von Brennstoffzellen ist eine wichtige Herausforderung auf dem Weg zur Markteinführung. Ein besseres Verständnis der Degradationsvorgänge ist hierfür eine wichtige Voraussetzung. Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler am Fraunhofer ICT arbeiten daher an innovativen Testmethoden zur Verfolgung von Degradationsprozessen auf Katalysator und Einzelzellebene. Durch die Nutzung von Massenspektrometrie als schnellem Analyseverfahren ist dabei eine Verfolgung auch von Vorgängen möglich die nur transient auftreten. Neben einer Reihe von Zellen zur Differentiellmassenspektrometrie an Katalysatorproben unter LT- und HT-PEMFC Bedingungen verfügt das Fraunhofer ICT über einen Teststand zur Online-Verfolgung von Degradationsindikatoren an Einzelzellen unter automobilen Testbedingungen z. B. nach den vom Japan Automotive Research Institute (JARI) vorgeschlagenen Testprotokollen.

### Systementwicklung

Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler des Fraunhofer ICT beschäftigen sich mit der Entwicklung von anwendungsangepassten Systemen.

- Gewichtsreduktion für tragbare Direktalkohol-Brennstoffzellen
- Platzoptimierter Einbau von Brennstoffzellen Range-Extender in existierende Systeme
- Außenluftunabhängiger Betrieb von Brennstoffzellen
- Schutz von Brennstoffzellen gegen häufige Luft-Luft-Starts



In ihren Arbeiten können die Forscher auf eine umfangreiche Infrastruktur zur Umweltsimulation am Fraunhofer ICT zurückgreifen.

### Industrielle Elektrochemie

Die erwartete Verfügbarkeit größerer Mengen an Überschussstrom aus erneuerbaren Quellen macht es erforderlich neue Möglichkeiten zur Nutzung zu untersuchen. Die elektrochemische, dezentrale Produktion von Chemikalien ist eine Option. Durch die mögliche Dezentralisierung ergeben sich weitere wichtige Umweltvorteile, wie die Vermeidung von Energieaufwendungen für die Aufkonzentration zum Transport oder auch der Transport von Gefahrgütern. Ausgehend von Ihrer Expertise aus der Brennstoffzellenelektrokatalyse befassen sich die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler des Fraunhofer ICT aktuell mit der Entwicklung eines Verfahrens zur dezentralen elektrochemischen Erzeugung von Wasserstoffperoxid mit möglichen Anwendungen in der Zellstoffbleichung oder der Durchführung von Oxidationsprozessen in der Feinchemikalienherstellung.

4 MEA-Elektroden-  
beschichtung durch  
manuelles Heiß-  
sprühen.

## SENSORIK

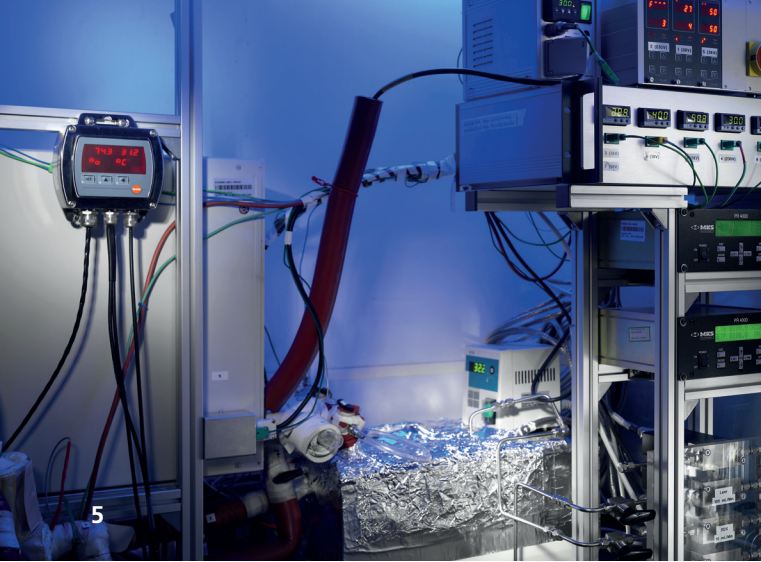
Mit elektrochemischen Sensoren können viele unterschiedliche Substanzen in Flüssigkeiten oder in der Gasphase nachgewiesen werden. Sie finden heute breite Anwendung, beispielsweise in den Bereichen Sicherheit, Umweltdiagnostik, Prozesskontrolle und Medizintechnik. Im Vergleich zu anderen Sensortypen zeichnen sich elektrochemische Sensoren durch ihre hohe Sensitivität, eine einfache Handhabung und geringe Herstellungskosten aus. Insbesondere die empfindliche Bestimmung von geringen Substanzkonzentrationen stellt die chemische Sensorik vor große Herausforderungen. Neben dem klassischen Einsatz von elektrochemischen Sensoren, bei dem einzelne Substanzen spezifisch durch Detektion charakteristischer Merkmale wie Oxidations- und Reduktionsreaktionen nachgewiesen werden, können auch komplexe Matrices auf unspezifische Weise elektrochemisch untersucht werden. Hierbei kann das Messsystem lernen, vielfältige Merkmale zur Auswertung heranzuziehen (Fingerabdruck).

Solch eine auf zyklischer Voltammetrie basierende Mustererkennung ist ein einfaches und schnelles Analysewerkzeug für eine breite Masse von Anwendungen.

Aktuelle Bereiche der Forschung und Entwicklung am Fraunhofer ICT sind:

- Entwicklung hochempfindlicher Sensoren für die Explosivstoffdetektion in der Luft oder im Meerwasser
- Optimierung und Konzipierung von Sensoren für die Industrie
- Entwicklung von Sensorkonzepten für Gase, Flüssigkeiten und Feststoffe, insbesondere für die Spurendetektion im Bereich von ppm bis ppt
- Analyse von Lebensmitteln und Substanzgemischen durch elektrochemische Mustererkennung
- Entwicklung eines elektrochemischen Sensors für Sauerstoffspuren bei erhöhten Temperaturen





## ANALYTIK

Im Bereich Analytik liegt der Fokus auf elektrochemischen Problemstellungen, zu deren Lösung auf eine umfangreiche elektrochemische und analytische Ausstattung zurückgegriffen werden kann. Hierbei erfordern die Arbeiten oft auch die Kombination mit klassischen analytischen Methoden. Bei Abusetests von Lithium-Ion-Akkumulatoren können gasförmige und teilweise toxische Komponenten entstehen, deren Nachweis oft schwierig und aufwendig ist. Mit Hilfe von chromatografischen Verfahren können Komponenten bis in den ppm-Bereich qualifiziert und quantifiziert werden. Weitere Arbeiten befassen sich mit der Evaluation neuer Materialien für elektrochemische Speicher und Wandler. Hierbei kommen Methoden wie die Thermogravimetrische Analyse (TGA) oder die Dynamische Differenzkalorimetrie (DSC) zum Einsatz.

Weitere Schwerpunkte der Arbeiten am Fraunhofer ICT sind:

- Untersuchung unerwünschter Korrosionseffekte und Schadensanalysen bei Batterien und elektronischen Bauteilen jeglicher Art
- Bestimmung leichtflüchtiger Verbindungen
- Dichtigkeitsmessungen von Batterien unter Vakuum
- Untersuchung von Bauteilen auf Leckagen mit Helium
- Wasserstoffmonitoring von Brennstoffzellen mithilfe der Online-Massenspektrometrie
- Bestimmung der Permeabilitäten von Membranen
- Differenzielle Elektrochemische Massenspektrometrie zur Aufklärung von elektrochemischen Reaktionsmechanismen
- Analyse von Oberflächenphänomenen
- Entwicklung von Kapillaren für die Kapillarelektrophorese
- Entwicklung von analytischen Verfahren in Verbindung mit elektrochemischen Detektoren und Detektionstechniken sowie deren Evaluierung

## WIR SIND FÜR SIE DA

Mit unserer langjährigen Expertise und unseren vielseitigen Kompetenzen in den Themenbereichen der angewandten Elektrochemie unterstützen wir Sie gerne bei Ihren zivilen und wehrtechnischen Fragestellungen.

Gemeinsam mit Ihnen führen wir an Ihre Bedürfnisse angepasste Studien durch, fördern den Wissenstransfer durch unsere Experten und entwickeln kundenspezifische Lösungen. Wir beraten Sie gerne.

- 5 Testsystem zur Kalibrierungsgaserzeugung für die Sensorcharakterisierung.
- 6 Fluss durch die FFE-Zelle.

**Fraunhofer-Institut für  
Chemische Technologie ICT**

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

**Ansprechpartner**

Prof. Dr. Jens Tübke  
Telefon +49 721 4640-343  
Fax +49 721 4640-318  
[jens.tuebke@ict.fraunhofer.de](mailto:jens.tuebke@ict.fraunhofer.de)

Prof. Dr. Karsten Pinkwart  
Telefon +49 721 4640-322  
Fax +49 721 4640-318  
[karsten.pinkwart@ict.fraunhofer.de](mailto:karsten.pinkwart@ict.fraunhofer.de)

[www.ict.fraunhofer.de](http://www.ict.fraunhofer.de)