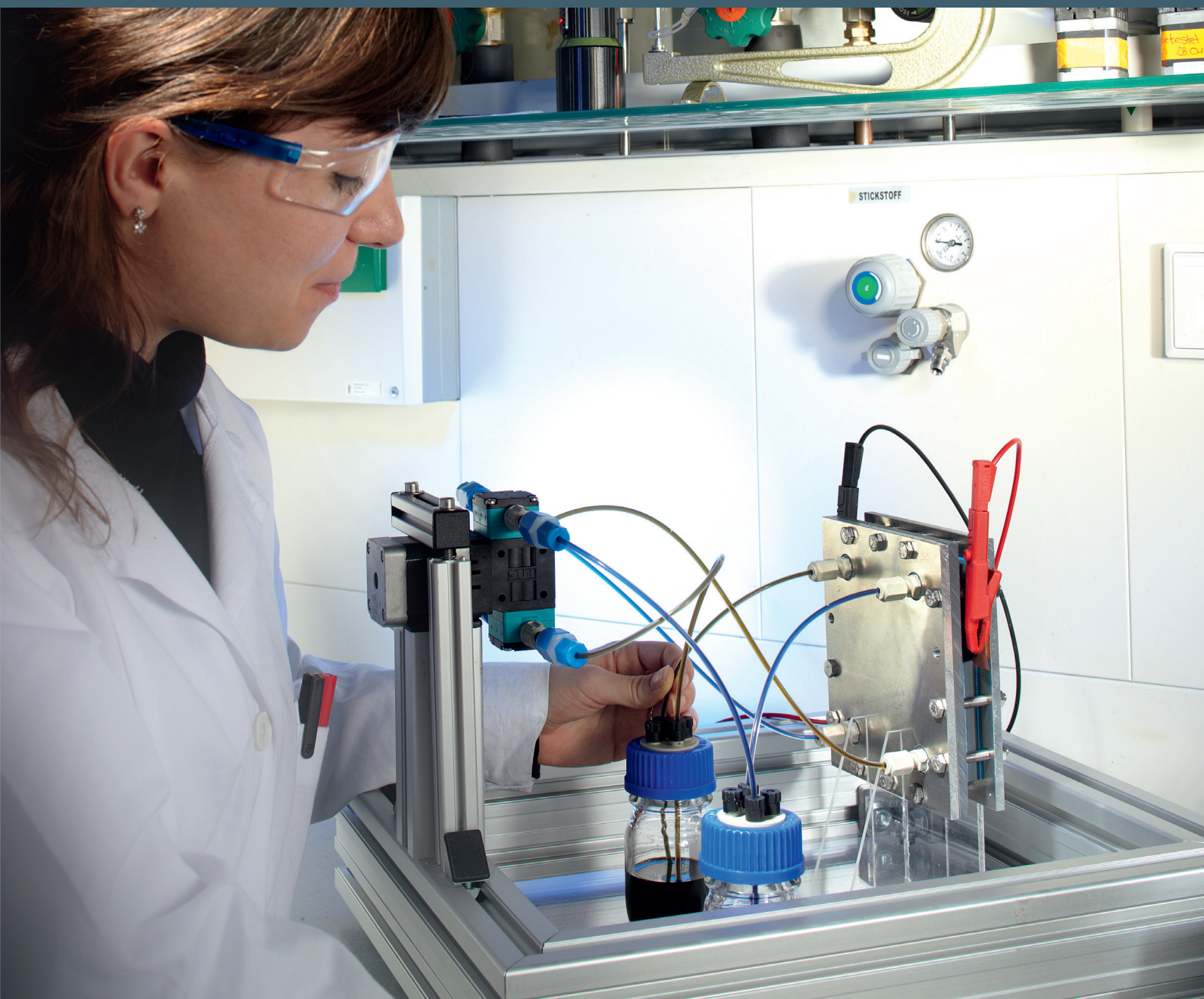




**Fraunhofer**  
ICT

FRAUNHOFER-INSTITUT FÜR CHEMISCHE TECHNOLOGIE ICT

# REDOX-FLOW-BATTERIE



REDOX-FLOW-BATTERIE





## REDOX-FLOW-BATTERIE

Redox-Flow-Batterien besitzen eine hohe Effizienz und sind dabei bedeutend langlebiger als herkömmliche Batterien. Durch die Speicherung in externen Tanks lässt sich die Batterieleistung unabhängig von der Batteriekapazität skalieren.

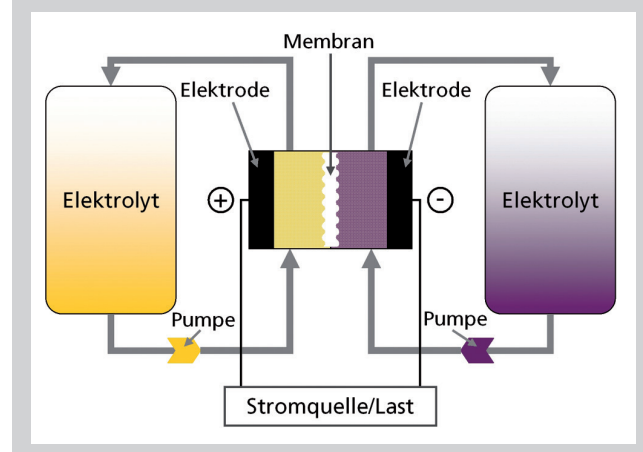
Redox-Flow-Batterien sind elektrochemische Energiespeicher mit einem flüssigen Speichermedium. Die Energiewandlung erfolgt in elektrochemischen Zellen ähnlich wie Brennstoffzellen. Die meisten Redox-Flow-Batterien besitzen eine vergleichbare Energiedichte wie Blei-Säure-Batterien, jedoch bei einem Mehrfachen deren Lebensdauer.

Die Halbzellen des Plus-Pols und des Minus-Pols werden von den Elektrolytlösungen durchströmt. Damit diese sich nicht durchmischen, sind die Halbzellen durch eine ionenleitende, semipermeable Membran getrennt. Durch die Potentialdifferenz der Elektrolyten kann an den Elektroden eine Spannung abgegriffen werden. Wird der Stromkreis geschlossen, setzt sich die elektrochemische Reaktion in Gang und der Stromfluss beginnt. Zur Ladung der Elektrolyte wird eine äußere Spannung an die Zelle angelegt und die Reaktion in den Halbzellen verläuft in die entgegengesetzte Richtung. Der Elektrolyt wird dadurch geladen.

Einzelne Zellen lassen sich wie bei einer Brennstoffzelle in Reihe zu einem Batteriestapel, dem sogenannten »Stack«, verschalten. Die Stacks werden wiederum fluidisch als auch elektrisch zu Batterien verschaltet.

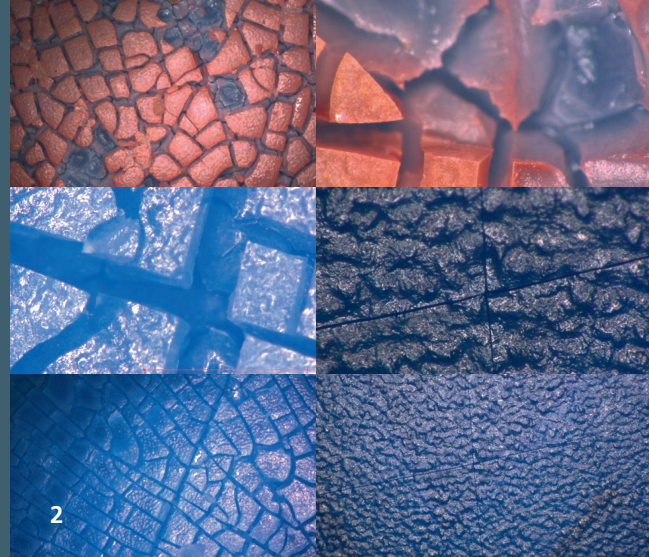
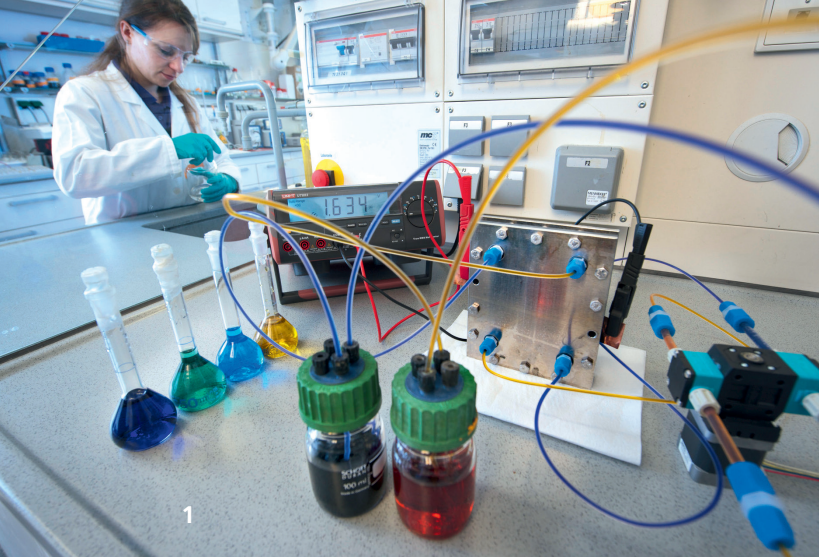
Da es sich bei Redox-Flow-Batterien um eine Speichertechnologie mit externem Speicher handelt, können Leistung und Kapazität der Batterie unabhängig voneinander skaliert werden: die Elektrolytmenge bestimmt die Batteriekapazität, die Fläche und Anzahl der Stacks die Batterieleistung. Durch die separate Speicherung der Elektrolyte in Tanks findet im Stillstand der Anlage praktisch keine Selbstentladung statt. Dies macht die Technologie für Anwendungen als unterbrechungsfreie Stromversorgung interessant. Weitere Einsatzgebiete sind die Speicherung von regenerativ erzeugtem Strom, Frequenzhaltung, Peak Shaving sowie Reservekapazität für Netzenpassmanagement.

Schematische Darstellung der Vorgänge innerhalb eines Redox-Flow-Systems.



### BILD LINKS

RFB-Teststände.



## MATERIALENTWICKLUNG UND -CHARAKTERISIERUNG

Am Fraunhofer-Institut Chemische Technologie ICT werden Materialien für Redox-Flow-Batterien untersucht und weiterentwickelt. Diese Arbeiten umfassen die Charakterisierung von Batteriematerialien, Untersuchungen zur Langzeitstabilität, sowie die Entwicklung korrosionsstabiler Bipolarplatten.

Eine der größten Herausforderungen im Bereich der Redox-Flow-Batterien ist die Kostensenkung der im Stack eingesetzten Funktionsmaterialien. Mit der Zielsetzung einer deutlichen Kostenreduktion bei gleichzeitiger elektrochemischer Optimierung des Systems werden am Fraunhofer ICT kontinuierlich neue Materialien auf ihre Eignung in Redox-Flow-Batterien untersucht. Hierfür werden Einzelzellen aufgebaut und mittels elektrochemischer Verfahren charakterisiert. Im Zelltest werden Materialien wie Membranen, poröse und textile Elektroden, Materialien für Bipolarplatten, alternative Zellgeometrien sowie neuartige Elektrolytformulierungen hinsichtlich ihrer Leistung und Effizienz getestet. Die Einzelzellen können zusätzlich mit Referenzelektroden ausgestattet werden, um Halbzelleneigenschaften getrennt zu betrachten.

Daneben werden mittels unterschiedlicher Durchflusszellen VIS/NIR- und RAMAN- spektroskopische Inline-Messungen an Elektrolyten bei unterschiedlichen Ladezuständen durchgeführt. Für neuartige Redox-Flow-Batterie-Systeme werden am Institut bereits seit 2006 Testzellen entwickelt und hergestellt.

Bipolarplatten spielen bei der Stromübertragung in Redox-Flow-Batterien als interne Stromableiter eine entscheidende Rolle. Die Entwicklung kostengünstiger, massenproduzierbarer, elektrisch hochleitfähiger und chemisch stabiler Bipolarplatten aus Kohlenstoff-Polymer-Kompositwerkstoffen ist ein wesentlicher Bestandteil für den kommerziellen Durchbruch von Redox-Flow-Batterien.

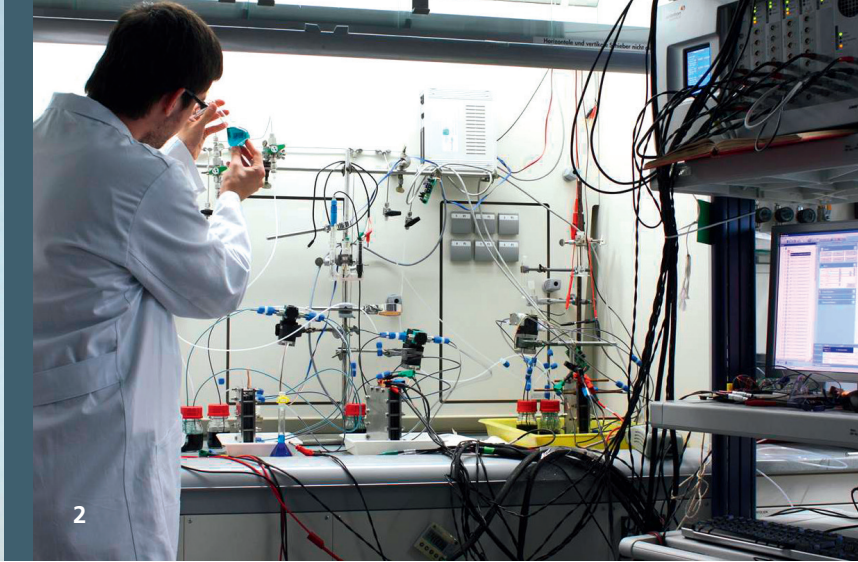
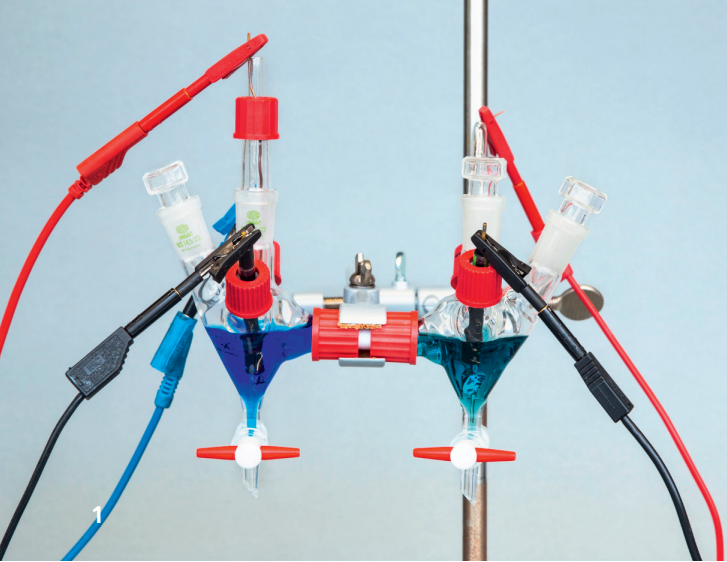
Am Fraunhofer ICT können Materialien vom Compound bis zur fertigen Platte oder Folie gefertigt werden. Mittels Spritzguss können Bipolarplatten bis zu einer Größe von 800 x 250 x 3 mm hergestellt werden.

### Unser Angebot

- Testen von Materialien wie Membranen, Elektroden, Bipolarplatten oder Elektrolytformulierungen im Zelltest (Einzelzellen / galvanostatische Lade- und Entladezyklen/ nach Wunsch temperiert oder im Klimaschrank)
- Testen oben genannter Materialien nach individuellem Kundenwunsch (zum Beispiel Protokolle oder Zyklen zum hervorrufen künstlicher Alterung)
- Langzeitmessungen in Einzelzellen
- Entwicklung von Testzellen mit gekoppelten in-situ- oder in-line-Messeinrichtungen, Referenzzellen oder mittels spektroskopischer Methoden nach Kundenwunsch

1 RFB-Zelltest

2 Aufsichtsmikroskopieaufnahme eines degradierten Dichtungsmaterials.



## REDOXCHEMIE

Am Fraunhofer ICT werden Elektrolytformulierungen für all-Vanadium Redox-Flow-Batterien entwickelt und optimiert. Darüber hinaus werden Formulierungen für andere Flow-Batteriesysteme entwickelt, elektrochemisch getestet und im Zelltest charakterisiert. Hervorzuheben sind hierbei Elektrolyte für brombasierte und organische Redox-Flow-Batterien, sowie für Vanadium-Luft-Systeme.

Die Stromspeicherung findet in einer All-Vanadium Redox-Flow-Batterie (VRFB) in chemischer Form durch verschiedene Oxidationsstufen von gelösten Vanadiumverbindungen statt. Bei den meisten VRFB-Elektrolyten handelt es sich um eine schwefelsaure Lösung der entsprechenden Vanadiumsulfate. Eine Besonderheit dieses Systems ist die komplexe Chemie des pentavalenten Vanadiums, welches bei Temperaturen oberhalb von ca. 40 °C zu einer irreversiblen Kondensation neigt. Diese Temperaturgrenze beschränkt das System in seinem Einsatzbereich. Um das Betriebstemperaturfenster zu erweitern und den Wirkungsgrad sowie die Leistungsdichte zu erhöhen, werden am Fraunhofer ICT neue Elektrolytformulierungen für Vanadium-Elektrolyte entwickelt und getestet.

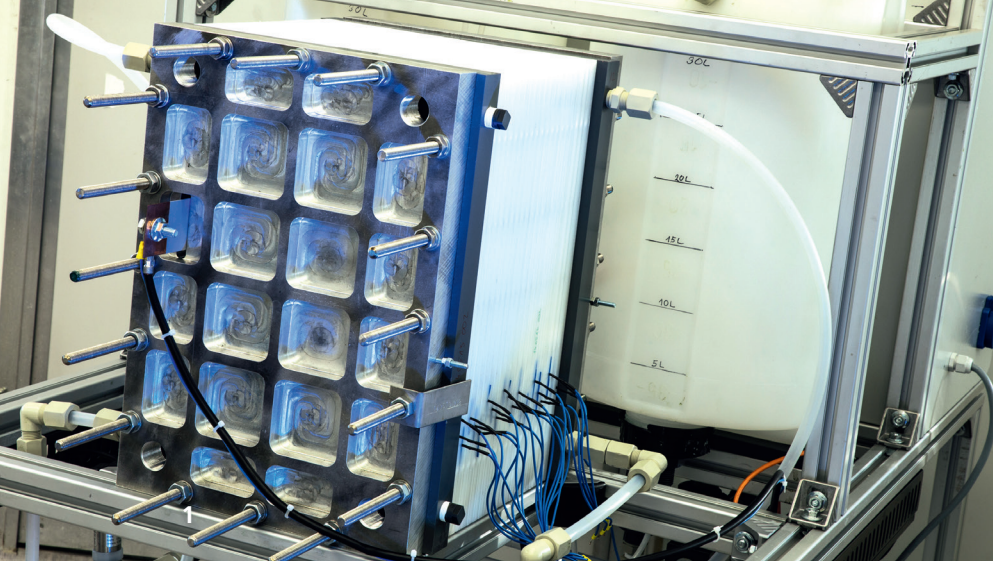
Die Elektrolytlösungen werden mit Hilfe der Voltammetrie hinsichtlich ihrer Elektrodenkinetik untersucht. Die Leistungsfähigkeit und die Effizienz der Elektrolyte werden in standardisierten Testzellen durch Batterieladezyklen exakt charakterisiert. Darüber hinaus werden kommerzielle und in der Forschung befindliche Redox-Flow-Batteriesysteme in Halbzellentests elektrochemisch charakterisiert. Aufgrund des hohen Elektrodenpotentials und der hohen Verfügbarkeit der Ausgangsstoffe basieren viele Flow-Batterien auf dem Redoxpaar Brom/Bromid. Allerdings können hohe Brom-Konzentrationen in den wässrigen Elektrolytlösungen erst durch die Bildung von Polybromiden/-halogeniden ( $\text{Br}_3^-$ ,  $\text{Br}_5^-$ ,  $\text{ClBr}_2^-$ ) erreicht werden. Hier arbeiten wir insbesondere an neuen Komplexierungsmitteln, um Brom-Elektrolytlösungen mit höherer Energiedichten und erhöhter Sicherheit herzustellen.

### Unser Angebot

- Entwicklung oder Verbesserung von Elektrolytformulierungen durch elektrochemische sowie physikochemische Analysen
- Voltammetrische Untersuchungen (stationäre oder rotierende Elektrode) an Modellelektrolyten nach Kundenwunsch
- Herstellung von reinen Vanadium(II)sulfat – hydrat und Vanadium(III)sulfat – hydrat Salzen für Modellelektrolyte
- Elektrochemische Untersuchung neuer Elektrodenmaterialien zum Einsatz in VRFBs (Voltammetrie, Impedanzspektroskopie, Zelltests)
- Spektroelektrochemische Untersuchung an Glaskohlenstoff- oder kundenspezifischen Elektrodenmaterialien
- Erstellung einer kundenspezifischen Spezifikation für Elektrolytlösungen

1 *Elektrochemische Messzelle mit getrennten Halbzellen.*

2 *Messplatz für Einzelzelluntersuchungen.*



## STACKENTWICKLUNG UND BATTERIESYSTEME

Beginnend bei der Konstruktion von Prototypen-Batterien bis hin zur Entwicklung von industriellen Produktionsverfahren für Batterie-Stacks können am Fraunhofer ICT alle Schritte für eine Batterieproduktion ausgelegt werden. Außerdem stehen Testkapazitäten zur Verfügung, um Flow-Batterien vom Stack bis hin zu ganzen Batteriesystemen zu zertifizieren

### Prototypenentwicklung und Tests von Zellstacks

Eine Kernkomponente der Redox-Flow-Batterie bildet der Stack. Dessen Leistungsfähigkeit entscheidet neben den Elektrolytlösungen maßgeblich über Effizienz und Kosten eines Stromspeichers. Stacks sind komplexe, elektrochemische Durchflussreaktoren, bei denen ein geringer Druckverlust, gleichmäßige Durchströmung sowie möglichst gleichmäßige elektrochemische Umsetzung mit geringen Widerstandsverlusten gewährleistet werden müssen. Dabei können sich die Stacks je nach Erfordernissen der eingesetzten Batteriechemie deutlich voneinander unterscheiden.

Neben der technischen Auslegung können Zell- und Stackgeometrien durch Fluidsimulationen und dem Einsatz elektrochemischer Modelle, auf ihre Eignung und Optimierungsmöglichkeiten begleitend untersucht werden. Die Entwicklung von Zellprototypen, deren Testung sowie die anschließende Hochskalierung zum fertigen Stack werden mittels unterschiedlicher massenproduktionstauglicher Fertigungstechnologien realisiert und auf industrielle Fertigungsprozesse abgestimmt.

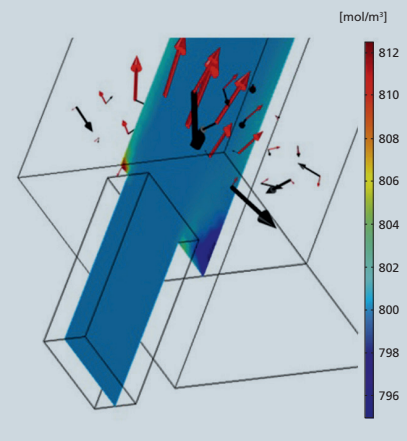
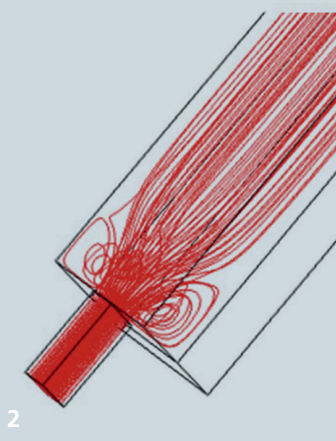
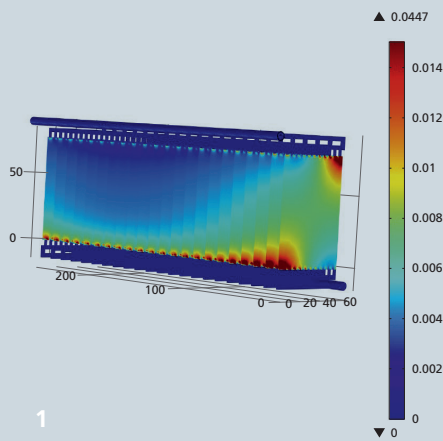
### Systemtests

Zum Testen von RFB-Stacks werden maßgeschneiderte Teststände entwickelt und aufgebaut. Die Teststände verfügen über umfangreiche Sicherheitsfunktionen und können vollautomatisiert betrieben werden. Durch den einfachen, modularen Aufbau und die Steuerung über eine Industrie-SPS sind die Teststände besonders wartungsarm und ermöglichen eine einfache Hochskalierung.

Für Batterietests nach unterschiedlichen Batterienormen, Stresstests und Langzeitversuchen stehen Batteriezyklisierer unterschiedlicher Leistungsklassen zur Verfügung:

- alle Größen bis zu 60 kW DC Lade-/Entladeleistung
- Einzelzellmessmodul mit 64 Einzelkanalmessungen zu je 0-5 V
- kundenspezifische Lastprofile

- 1 RFB-Stack mit seitlichen Einzelzellenabgriff.
- 2 RFB-Stack-Teststand für Leistungen bis 4 kW.



## MODELLIERUNG UND SIMULATION

Am Fraunhofer ICT werden Redox-Flow-Batterien fluidisch, thermisch und elektrochemisch modelliert, um ihr Betriebsverhalten besser zu verstehen. Neuartige Sensorik wie orts aufgelöste Stromdichtemessungen bieten Einblicke in die Funktionsweise der Batterie. Auf Systemebene bieten wir technologieübergreifende Speicherauslegungen sowie technische und ökonomische Untersuchungen von dezentralen Energienetzen (Microgrids) an.

### Fluidsimulationen

Redox-Flow-Batterien sind messtechnisch schwierig zu erfassen. Deshalb ist es besonders in der Design- und Auslegungsphase notwendig, Redox-Flow Zellen zu modellieren und mit den Ergebnissen virtuelle Batterien zu simulieren. Mit Hilfe dieser Batterie-Simulationen können die Eigenschaften von Redox-Flow-Batterien untersucht und für eine Bewertung unterschiedlicher Batteriekonzepte, von der einzelnen Zelle bis hin zu großen, stationären Energiespeichern herangezogen werden.

Die Leistungsfähigkeit einer Redox-Flow-Zelle hängt im Wesentlichen von der geometrischen Gestaltung der Zelle, dem Elektrolyt-Durchfluss als auch von den verwendeten Materialien ab. Die Modellierung beginnt bei der CAD-Darstellung der Zelle. Die Strömungs-Simulation (CFD) wird in der Modellierung mit der physikochemischen Simulation der Elektrodenvorgänge gekoppelt und ermöglicht damit die räumliche Darstellung lokaler elektrochemischer Phänomene in der Zelle.

In einem Stack bzw. in einem System aus mehreren Stacks wird das elektrische Verhalten zusätzlich durch Effekte aus der Verbindung mehrerer Zellen zu einem System beeinflusst, zum Beispiel durch Ausgleichströme im Elektrolyten (Streuströme) oder ungleiche Durchflussraten in verschiedenen Zellen. Eine abstrahierte Modellierung von Stacks ermöglicht es, die Auswirkungen dieser Effekte abzuschätzen und Optimierungspotenziale aufzuzeigen.

### Speicherauslegung

Stationäre Batteriespeicher finden zunehmend in dezentralen Systemen Anwendung. In Form einer Systemsimulation für Microgrids optimiert das Fraunhofer ICT die Wahl der Speichertechnologie und die Dimensionierung von Speichern als auch von regenerativen Energieerzeugern. Dabei werden technische und ökonomische Randbedingungen ebenso wie der geplante Einsatzort berücksichtigt. Die Simulation erfolgt auf Basis von Verbraucher-Lastgängen und wetterabhängigen Erzeugungsdaten regenerativer Energiequellen.

**1** Simulation der Strömungsgeschwindigkeit in einem RFB-Stack.

**2** Stromlinien aus einer CFD-Simulation eines Einströmkanals (links) und Simulation der Transportvorgänge in einem Einströmkanal (rechts).

# REDOX-FLOW-BATTERIE

## **Fraunhofer-Institut für Chemische Technologie ICT**

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

### **Kontakt**

Gruppenleiter Redox-Flow-Batterie  
Dr. Peter Fischer  
Telefon +49 721 4640-891  
[peter.fischer@ict.fraunhofer.de](mailto:peter.fischer@ict.fraunhofer.de)

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

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