



**Fraunhofer**  
IKTS

FRAUNHOFER-INSTITUT FÜR KERAMISCHE TECHNOLOGIEN UND SYSTEME IKTS

INDUSTRIELÖSUNGEN

# LITHIUM-IONEN-BATTERIEN



1	Überblick Lithium-Ionen-Batterien
2	Materialentwicklung
4	Technologieentwicklung
6	Charakterisierung auf Zellebene
8	Batterietechnikum
10	Vorlaufforschung
12	Technische Ausstattung
13	Kooperationsmodelle

## TITELBILD

*Elektrodencoils.*

**1** *IKTS-Testzelle und Elektrodencoils.*



# LITHIUM-IONEN-BATTERIEN

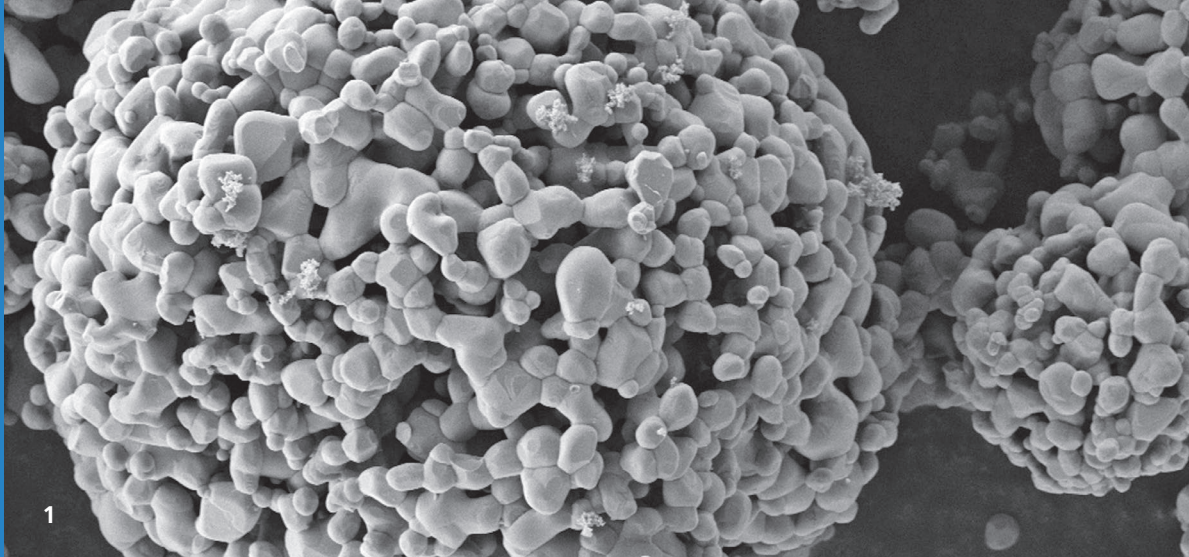
Keramische Materialien und Technologien sind wesentliche Bestandteile aktueller Lithium-Ionen-Batterien und werden auch für die nächsten Generationen eine Schlüsselrolle spielen. Am Fraunhofer IKTS wird diese Entwicklung gezielt bis in den Technikumsmaßstab geführt, um einen schnellen Transfer der Ergebnisse aus den Grundlagenuntersuchungen im Labor in die industrielle Prozessentwicklung sicherzustellen.

Das Fraunhofer IKTS nutzt seine keramische Expertise, um insbesondere an der Synthese und Aufbereitung von Aktivmaterialien und Separatorkomponenten zu arbeiten und deren Weiterverarbeitung bis zu Batterieelektroden zu verfolgen. Darüber hinaus stehen zahlreiche Methoden zur Charakterisierung der Struktur, des elektrochemischen Verhaltens und der Alterung der Elektroden im Batteriebetrieb zur Verfügung. Dadurch ist es gelungen, ein umfassendes Verständnis über das Zusammenwirken von Herstellbedingungen und Zuverlässigkeit der Batterie zu erlangen.

Das jahrzehntelange Know-how in der Entwicklung keramischer Werkstoffe und Technologien sowie in der materialanalytischen und elektrochemischen Charakterisierung ist dabei der Garant für neue wirtschaftliche Strategien. Dies betrifft zum einen die Material-, Prozess- und Anlagenentwicklung und zum anderen die Bereitstellung wegweisender Zellkonzepte für mobile und stationäre Anwendungen.

## Batteriekompetenzen am Fraunhofer IKTS: Vom Material zum System





## MATERIALENTWICKLUNG

### PULVERSYNTHESE UND -AUFBEREITUNG

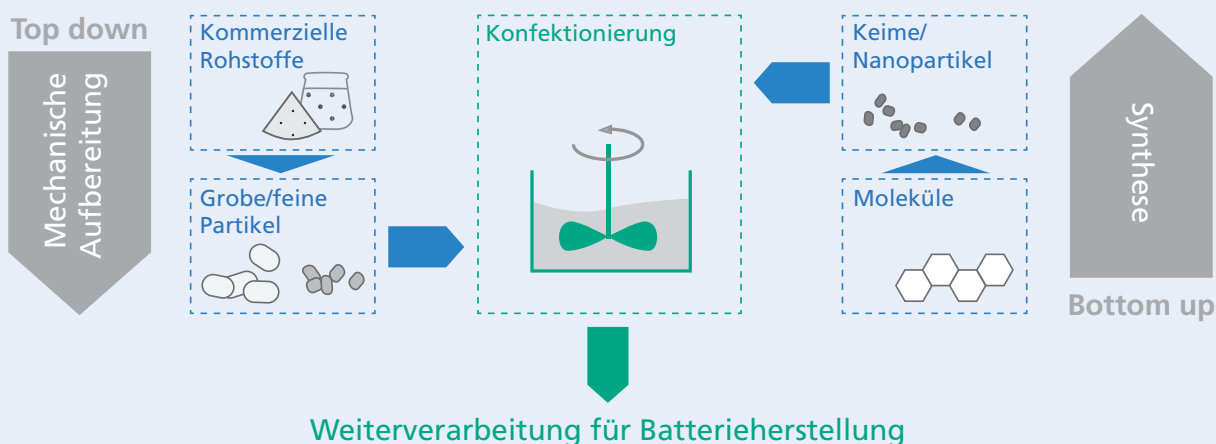
Die Entwicklung wettbewerbsfähiger Lithium-Ionen-Batterien beginnt mit der Synthese und Aufbereitung maßgeschneiderter Pulver (Aktivmaterialien, keramische Elektrolyt-/Separator-materialien). Da in aktuellen Generationen von Lithium-Ionen-Batterien rund ein Drittel der Materialkosten der gesamten Zelle auf die Kathode entfallen, wird in anforderungsspezifischen und skalierbaren Syntheserouten ein wesentlicher Ansatzpunkt zur Kostensenkung gesehen. Darüber hinaus sind die Herstellverfahren der Schlüssel, um die spezifische Speicherkapazität, Zellspannung, Leistungsdichte und Lebensdauer weiter zu steigern. Dafür ist eine exakte Kontrolle der Partikelgröße und -morphologie unerlässlich.

Das Fraunhofer IKTS verfolgt hierbei zwei Prozessrouten: Im Top-Down-Ansatz lassen sich kommerzielle Pulver über mechanische Aufbereitungsprozesse auf die gewünschte Größe bringen

und anschließend klassieren. Im Bottom-Up-Ansatz dagegen wird die Partikelgröße, -verteilung und -morphologie bereits bei der Synthese der Primärpartikel (0,1–50 µm) gezielt eingestellt.

Neben den klassischen Festkörperreaktionen und sprühtrocknungsbasierten Methoden über Vorläuferverbindungen werden auch Sol-Gel-Verfahren unter Normaldruck sowie Hydro- bzw. Solvothermalsynthesen mit mikrowellenunterstützten Reaktoren angewandt. Die Aufbereitung der entstandenen Primärpartikel zu homogenen Pulvern mit wohldefinierter Funktionalität stellt hohe Anforderungen an Reinheit und inerte Prozessbedingungen. Für die Herstellung der Aktivmassen werden Pulver mit exakt definierten Eigenschaften der Granulien in Bezug auf Morphologie, Größe und Zusammensetzung benötigt, die durch den späteren Einsatzzweck beispielsweise

#### Prozessschritte der Pulversynthese und -aufbereitung







## BEGLEITENDE ANALYTIK

für High-Power- und High-Energy-Elektroden oder für Zellkonzepte mit festen Elektrolyten vorgegeben sind.

Das Fraunhofer IKTS bietet sämtliche Verfahren, um Batteriepulver (5–100 µm) und ihre chemischen Vorprodukte zu modifizieren, zu konfektionieren und hinsichtlich der Pulvereigenschaften zu charakterisieren. Die technische Ausstattung und Erfahrung reichen dabei von Kleinstmengen (bis 1 kg) bis in den Technikumsmaßstab (mehrere 100 kg).

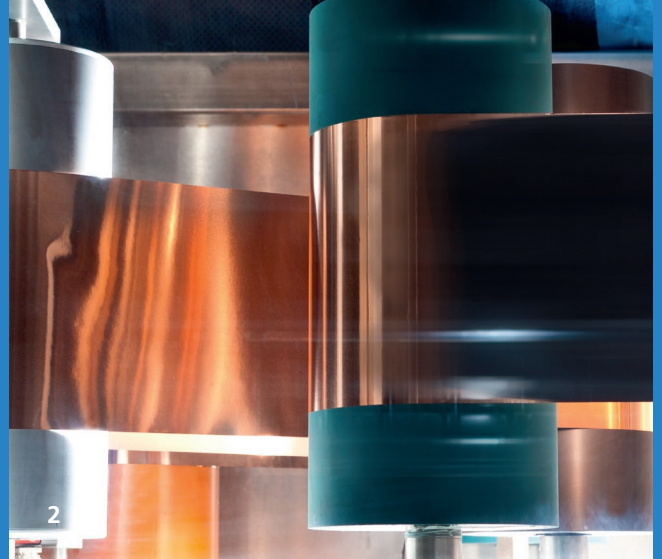
Mikroskopisches Materialverhalten, Alterung und Degradation sowie der Einfluss der Herstellungstechnologien bedingen einander entlang der gesamten Batterieentwicklung und -fertigung. Die begleitende messtechnische Bewertung der pulverförmigen Batteriekomponenten liefert daher wesentliche Hinweise für eine zielgerichtete Prozessanalyse, -kontrolle und -optimierung.

Dafür kann am Fraunhofer IKTS auf modernste technische Ausstattung und ein umfassendes Portfolio hochmoderner Analysemethoden zurückgegriffen werden. Neben Standardanalysemethoden wie FESEM, TEM, XRD, EDX, Raman- oder IR-Spektroskopie stehen spezielle Untersuchungsmöglichkeiten zur Verfügung. So hat das Fraunhofer IKTS in den letzten Jahren ionenstrahlbasierte Präparationsmethoden (FIB/BIB) etabliert, die es erlauben, empfindliche Proben wie Granulate, Elektroden oder angesinterte Komponenten derart zu präparieren, dass sich die inneren Strukturen und das Gefüge hochauflösend und artefaktfrei abbilden lassen. Damit kann gezeigt werden, wie Feststoffe und organische Komponenten über den Probenquerschnitt verteilt sind. Mit diesen Informationen lassen sich gezielt Prozesstechnologien optimieren sowie Degradationsmechanismen untersuchen.

Darüber hinaus ist das Fraunhofer IKTS in der Lage, Proben direkt aus der Glovebox unter Schutzgas in ein Rasterelektronenmikroskop bzw. Röntgendiffraktometer zu transferieren und dort zu analysieren. Somit ist gewährleistet, dass die Materialien nicht mit Luft reagieren und ihre Eigenschaften verändern.

**1** Maßgeschneiderte Kathodenpulver des Fraunhofer IKTS.

**2** Analyse der Batteriematerialien am Rasterelektronenmikroskop.



## TECHNOLOGIEENTWICKLUNG

### SLURRYAUFBEREITUNG

Bei der Überführung der pulverförmigen Ausgangsstoffe in einen homogenen Slurry müssen alle Bestandteile an die eingesetzten Beschichtungsverfahren sowie an die gewünschten Elektrodeneigenschaften angepasst werden. Das Fraunhofer IKTS macht hierbei von seiner Expertise in der keramischen Technologie Gebrauch. Die Aktivmaterialien definieren die Kapazität und die Leitadditive sind entscheidend für den Elektrodenwiderstand. Daneben bestimmen besonders die verwendeten organischen Bindermaterialien maßgeblich die spätere mechanische Elektrodenstabilität, Verarbeitbarkeit und Zyklenfestigkeit.

Für eine maßgeschneiderte Aufbereitung der Slurries nutzt das Fraunhofer IKTS verschiedene Mischaggregate wie Dissolver, Planetenmischer und Kneter. Während der Prozessführung entscheiden Parameter wie Energieeintrag, Temperierung, Partikelstabilität, Atmosphäre und Mischdauer über den Dispergierungsgrad. Durch abgestimmte Prozessrouten wird am Ende des Mischprozesses eine homogene Partikelverteilung im Slurry sichergestellt und eine Reagglomeration verhindert.

Das Fraunhofer IKTS fokussiert sich dabei zum einem auf die Substitution organischer durch wässrige Lösungsmittel und zum anderen auf eine weitestgehende Reduzierung des Lösungsmittelanteils, um eine bestmögliche Umweltverträglichkeit des Herstellprozesses gewährleisten zu können.

### ELEKTRODENFERTIGUNG

Für die Entwicklung von Elektrodenbeschichtungsprozessen werden Raketel- (Doctor Blade, Comma Bar) und Schlitzdüsenauftrag (Slot Die) sowie unterschiedliche Trocknungsmethoden eingesetzt. Darüber hinaus sind Batch-Verfahren wie Siebdruck oder Maskenextrusion verfügbar, die auch eine flexible Geometriegestaltung der Elektroden ermöglichen.

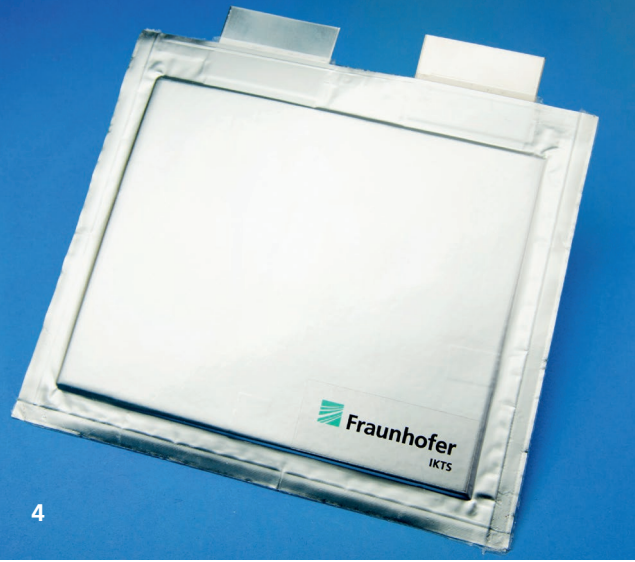
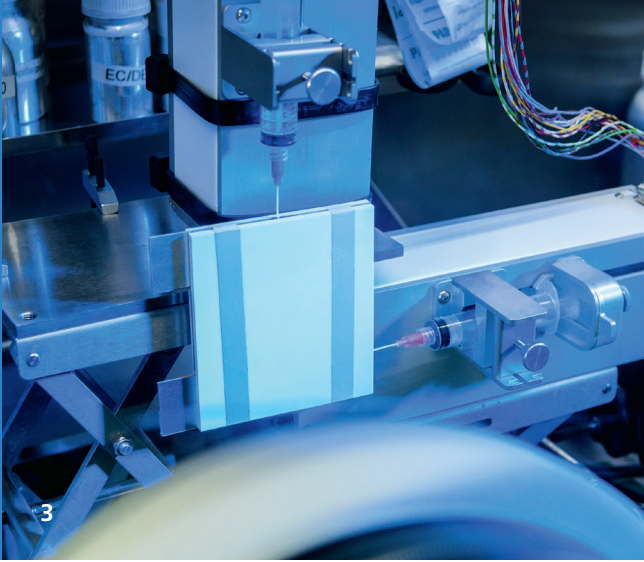
Während der Elektrodenfertigung können durch die Auswahl geeigneter Prozessparameter die Langzeitstabilität und Leistung wesentlich beeinflusst und Vorteile hinsichtlich Wirtschaftlichkeit, Qualität und Geschwindigkeit erreicht werden. Im Fokus stehen dabei:

- Optimale Haftung und Binderverteilung nach der Trocknung
- Hohe Beschichtungsgeschwindigkeiten
- Oberflächenqualität (ohne Lunker, Partikel)
- Vermeidung von Gaseinschlüssen
- Minimierung der Schichtdickenschwankungen

Gerade die Trocknung der Elektroden eröffnet signifikante Kostensenkungspotenziale durch optimierte Temperaturprofile innerhalb der Trocknungszonen sowie ein begleitendes Monitoring. Die so erzielten Energieeinsparungen dürfen dabei keinerlei Auswirkungen auf Haftfestigkeiten, morphologische Eigenschaften, Elektrodenqualität und Prozessgeschwindigkeiten haben. Im abschließenden Verdichtungsprozess der Kalandrierung lässt sich die finale Porosität der Elektroden definieren.

1 Mischen und Streifenbeschichtung.

2 Elektrodenbeschichtung.



## ELEKTROLYTBEFÜLLUNG

Die Prozesszeiten für den aufwendigen Befüllvorgang der Lithium-Ionen-Batteriezellen sowie die langen Penetrationszeiten des Elektrolyten in Separator und Elektroden stellen in der Batterieproduktion nach wie vor einen erheblichen Kostenfaktor dar und stehen in engem Zusammenhang mit dem Design von Elektroden sowie dem Elektroden/Separator-Verbund. Die homogene Verteilung des Elektrolyten in der Zelle ist außerdem Grundlage einer zuverlässigen Formierung und Zelllebensdauer.

Das Penetrationsverhalten des Elektrolyten in der Zelle wird von zahlreichen Faktoren bestimmt, von denen die wichtigsten die Benetzbarkeit von Elektroden und Separator sowie die Kapillarkräfte in der Separatormembran und an der Grenzfläche zwischen Separator und Elektroden sind. Basierend auf umfangreichen Kenntnissen über Viskosität, Oberflächenspannung sowie Porenstruktur der Elektroden- und Separatormaterialien wurde eine elektrochemische Methode zur Bestimmung der Struktur-Eigenschafts-Korrelationen von Separator/Elektroden-Systemen entwickelt. Diese erlaubt auch ein Monitoring des Penetrationsfortschritts, um das Durchdringungsverhalten von Separatoren, Elektroden sowie Verbänden aus Separatoren und Elektroden mit Elektrolyten systematisch und quantitativ zu beschreiben.

3 Untersuchungen zur Elektrolytbefüllung im Labormaßstab.

## TESTZELLEN UND ZELLDISIGN

Für die frühzeitige Charakterisierung von Material- und Prozessentwicklungen kommen am Fraunhofer IKTS sowohl sogenannte Knopf- als auch Laborpouchzellen zum Einsatz. Dazu werden die hergestellten Elektroden entsprechend der späteren Zellform ausgestanzt, konfektioniert und getrocknet, um deren Restfeuchte zu minimieren. Der anschließende Aufbau der Zellen und die Elektrolytbefüllung erfolgen in Gloveboxen unter Argon-Atmosphäre.

Nach Funktionsprüfung und Formierung werden die Zellen unterschiedlichen Testprozeduren unterzogen. Darüber hinaus besteht die Option, in Kooperation mit der thyssenkrupp System Engineering GmbH im gemeinsamen Technikum Pouchzellen bis 5 Ah herzustellen.

Neben dem beschriebenen Aufbau von Testzellen werden konzeptionelle Arbeiten zur Entwicklung von Zelldesigns durchgeführt, die durch Abstimmung von Material- und Prozessentwicklungen auf spezielle Anwendungsvorgaben angepasst sind.

Im Mittelpunkt der Entwicklungen stehen bipolare Lithium-Ionen-Batterien, für die beispielsweise die Eigenschaften der Bipolarelektroden, die Wechselwirkung mit Folgeprozessen oder die Abstimmung mit anderen Komponenten wie dem Elektrolyten betrachtet werden.

4 IKTS-Testzelle aus Batterietechnikum.





## CHARAKTERISIERUNG AUF ZELLEBENE

### ELEKTROCHEMISCHE CHARAKTERISIERUNG

Die elektrochemische Materialcharakterisierung ist Grundlage für ein umfassendes Verständnis der ablaufenden elektrochemischen Prozesse im Inneren der Lithium-Ionen-Batterie. Dafür verfügt das Fraunhofer IKTS über ein umfangreiches Repertoire elektrochemischer Methoden und ergänzender Messverfahren zur Bestimmung der Kapazität, Zyklfestigkeit, Zellspannung und Impedanz von Elektrodenmaterialien für Batteriespeicher.

Insbesondere komplementäre In-operando-Messmethoden sind ein Entwicklungsschwerpunkt am Fraunhofer IKTS. Dabei werden elektrochemische Untersuchungen mit spektroskopischen, gravimetrischen oder Temperaturmessmethoden gekoppelt, um detaillierte Informationen über die ablaufenden Vorgänge während des Ladens und Entladens von Speicher-materialien zu gewinnen.

Gerade diese komplementären Untersuchungsansätze erlauben Korrelationen zwischen elektrochemischem Werkstoffverhalten und den Materialeigenschaften der einzelnen Batteriebestandteile. Das detaillierte Verständnis kinetischer und thermodynamischer Vorgänge in Abhängigkeit des Ladezustands, der Zyklenzahl und der Temperatur offenbart konkrete Optimierungsansätze und eröffnet damit vielfältige Möglichkeiten der zielgerichteten Werkstoffentwicklung und Designoptimierung.

### ZELLPERFORMANCE UND LEBENSDAUER

Mit der Charakterisierung von Zellperformance (Leistungsdaten) und Lebensdauer (Zyklen, kalendarisch) von Laborbatteriezellen lassen sich Material- und Technologieentwicklungen geeignet beurteilen. Darüber hinaus können die gewonnenen Informationen auch zur Bewertung oder zum Vergleich von Performance und Einsetzbarkeit unterschiedlicher Zelltypen im Zusammenhang mit Post-Mortem-Analysen oder zur Gewinnung von Simulationsparametern genutzt werden. So führt das Fraunhofer IKTS gezielte Leistungstests zur Untersuchung des Lade- und Entladeverhaltens besonders bei unterschiedlichen Temperaturen durch, woraufhin der Innenwiderstand der Zelle optimiert werden kann.

Im Rahmen von Lebensdauertests kann eine große Bandbreite an definierten Lastzyklen aufgeprägt und durch Auslagerungsversuche bei unterschiedlichen Temperaturen ergänzt werden. Auf diese Weise ist es möglich, nicht nur Informationen zur Zyklens stabilität, sondern auch zur Langzeitstabilität der Akkumulatoren zu gewinnen.

Moderne Batterieprüfstände am Fraunhofer IKTS erlauben den Test und die Charakterisierung von vollständigen Zellen bis zu einer Kapazität von 40 Ah mittels Strom-Spannungsmessungen und Impedanzspektroskopie sowie applikationsspezifischen Lastzyklen.

**1** *Zelldesign für In-situ-Raman-Spektroskopie an Batteriematerialien.*





## POST-MORTEM-ANALYSE VON BATTERIEZELLEN

In der sogenannten Post-Mortem-Analyse werden ermüdete oder fehlerhafte Batteriezellen unter Schutzatmosphäre zerstörungsfrei geöffnet und hinsichtlich Alterungseffekten, Degradation oder Fehlermechanismen untersucht.

Dadurch lassen sich der Einfluss von Material- und Technologieentwicklungen bzw. spezifische Betriebsbedingungen hinsichtlich der Alterungseffekte erforschen. Dabei können unter Schutzatmosphäre Proben für eine anschließende strukturanalytische Charakterisierung gewonnen werden. Anhand derartiger Proben ist es auch möglich, die Einzelelektroden wiederum zu Knopfzellen zu verbauen und gesondert elektrochemisch zu charakterisieren, um beispielsweise den Lithium-Verlust im Speichermaterial zu betrachten.

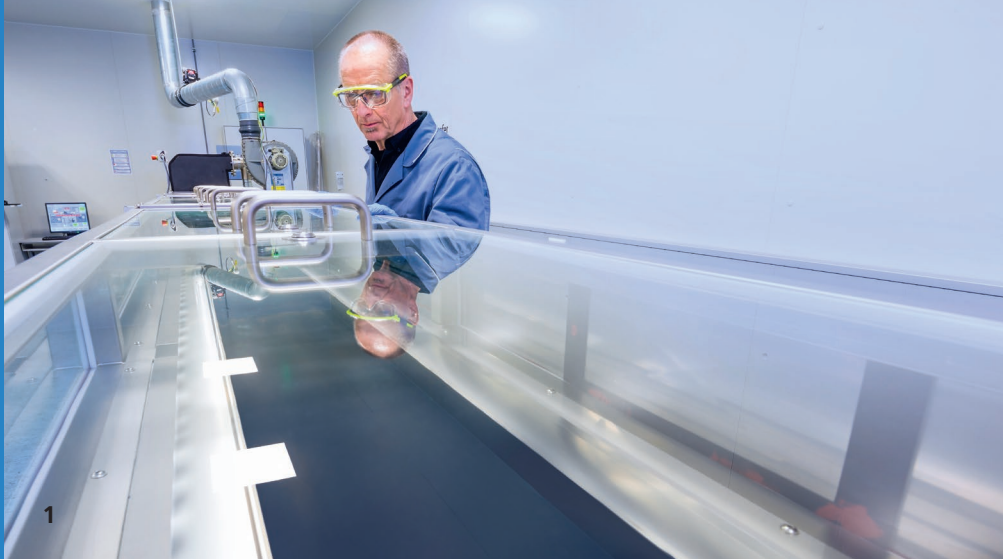
Ein zweites wesentliches Anwendungsfeld der Post-Mortem-Analyse ist die gezielte Untersuchung von Fehlermechanismen in havarierten Zellen. So können im Kundenauftrag Fertigungsfehler und Ursachen für Batterieversagen analysiert werden. Dadurch lassen sich Rückschlüsse auf die Wechselwirkungen zwischen Zelldesign, Systemintegration und Betriebsmodus ziehen und das thermische Batteriemangement optimieren.

## SIMULATION

Eine wesentliche Voraussetzung für den sicheren und langlebigen Betrieb von Lithium-Ionen-Batterien ist ein ausgereiftes thermisches Management, da zwischen den thermischen und elektrochemischen Prozessen starke Wechselwirkungen auftreten. Einen wichtigen Aspekt bildet dabei die Vermeidung von lokaler thermischer Überlastung im Inneren der Batterie.

Hierfür werden moderne Simulationswerkzeuge genutzt, die die detaillierte Analyse des Einflusses von konstruktiven Details (Windungskörper, Gehäuse, Kontaktstrukturen) und material-spezifischen Parametern auf das thermische Verhalten im Inneren von Lithium-Ionen-Zellen während des Betriebs erlauben. Sie bieten damit die einzigartige Möglichkeit, einen virtuellen In-situ-Einblick in die Verhältnisse im Inneren von Batteriezellen zu erhalten, die im realen Betrieb direkter Beobachtung kaum zugänglich sind.

Mögliche konkrete Anwendungen dieser Simulationsmodelle ergeben sich neben der Batterie-Design-Optimierung, z. B. als »Virtual Battery Lab«, zur Spezifikation der Betriebsgrenzen von Zellen in Hochleistungsanwendungen sowie zur Kalibrierung weniger detaillierter, echtzeitfähiger Lithium-Ionen-Batterie-Modelle.



## BATTERIETECHNIKUM

### FROM LAB TO FAB

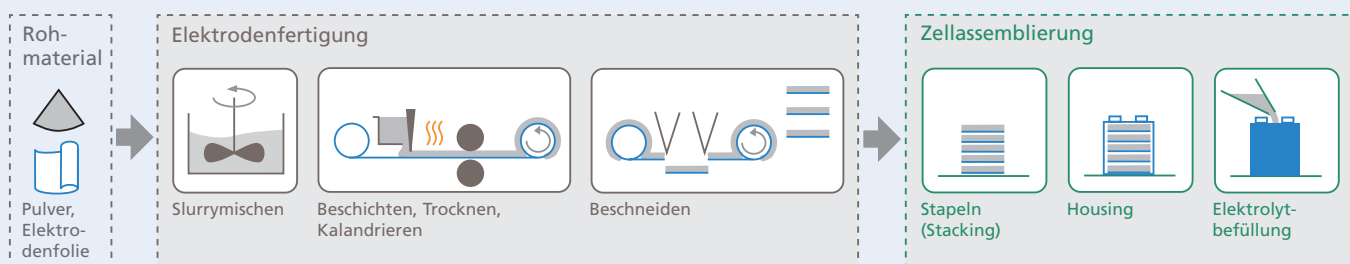
Die Reduzierung der Fertigungskosten ist eine Voraussetzung für die zukünftige Verbreitung von Lithium-Ionen-Batterien für die Elektromobilität aber auch für die stationäre Energiespeicherung. Die Technologieentwicklung im Technikumsmaßstab stellt dabei ein entscheidendes Bindeglied zwischen den Grundlagenuntersuchungen im Labor und der industriellen Prozessentwicklung dar.

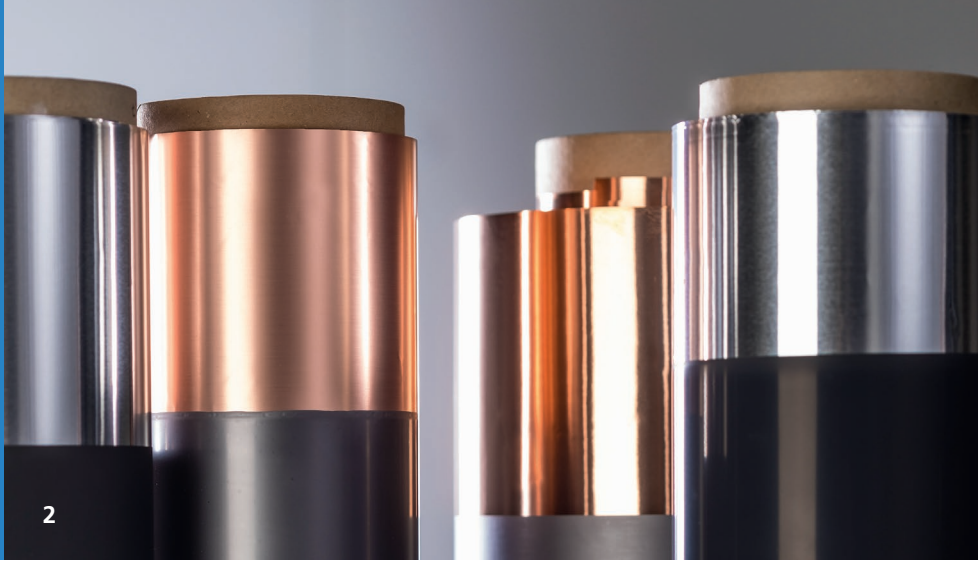
Bereits im Jahr 2012 wurde dafür gemeinsam von der thyssenkrupp System Engineering GmbH und dem Fraunhofer IKTS ein 350 m<sup>2</sup> großes Technikum am Standort Pleiße nahe Chemnitz eingeweiht. Die Pilotlinie dient zur gezielten Vernetzung von Forschungsaktivitäten und industrieller Wertschöpfung. In Kooperation wird die komplette Fertigungskette von der Slurryherstellung und -charakterisierung, Elektrodenbeschichtung sowie Kalandrierung über Zuschnitt der beschichteten Elektrodenfolien, Assemblierung der Batterie und Elektrolytbefüllung bis zur Zellformierung abgebildet und gemeinsam optimiert.

Ein Schwerpunkt liegt auf der Skalierung und Optimierung von Beschichtungs- und Fertigungstechnologien für eine effiziente, ressourcenschonende und reproduzierbare Volumenproduktion von Lithium-Ionen-Batterien. Zusätzlich zu bestehenden Technologieansätzen werden neue Methoden gezielt für einen beschleunigten Transfer in den industriellen Einsatz betrachtet und frühzeitig adaptiert.

Darüber hinaus bearbeiten die Forschungspartner Themen wie das Folienhandling im Prozess, die Gestaltung der Fertigungsumgebung sowie die Realisierung einer effizienten Prozessüberwachung. Letztere ist dabei ein entscheidender Baustein, um frühzeitig eine Fertigungsreife im industriellen Maßstab und somit wettbewerbsfähige Systemkosten sicherstellen zu können. Die maschinenbautechnische Expertise der Partner gestattet eine umfassende Anpassung des Fertigungsequipments entsprechend der Kundenanforderungen.

#### Prozessschritte der Batteriefertigung





2

## INLINE- PROZESSKONTROLLE

Neben der Bearbeitung öffentlich geförderter Verbundprojekte steht das Technikum interessierten Industriekunden aus allen Stufen der Wertschöpfungskette zur Verfügung. Das gemeinsame Serviceangebot umfasst:

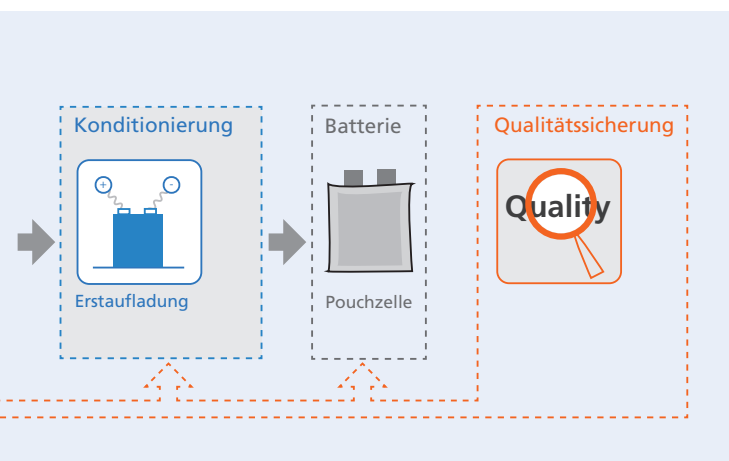
- Durchführung von Materialtests
- Erprobung und Optimierung etablierter und neuer Material- und Technologiekonzepte
- Entwicklung, Erprobung und Optimierung integrierter Fertigungskonzepte
- Up-Scaling und Technologietransfer
- Machbarkeitsstudien und Beratung

Neben einer umfangreichen begleitenden Analytik und Charakterisierung entwickelt das Fraunhofer IKTS auch Ansätze für die produktionsintegrierte Qualitätssicherung für alle relevanten Schritte der Fertigung. Auf Grundlage einer langjährigen Kompetenz in der Anwendung zerstörungsfreier Prüftechnologien werden optische, akustische und elektromagnetische Verfahren anforderungsspezifisch für die einzelnen Produktionsschritte adaptiert und integriert.

Im Mittelpunkt stehen dabei die kritischen Parameter in den Prozessschritten:

- Elektrodenfertigung (Haftung, Streifenbildung, Schnittkanten, Homogenität, Rissbildung)
- Elektrolytbefüllung (Füllgrad)
- Zellenassemblierung (Beschädigungen, Stapelgenauigkeit, Schweißverbindungen)

So konnte basierend auf einer thermographischen Methode ein berührungsloses Inline-Prüfverfahren für die Fehleranalyse von Elektroden direkt im Produktionsprozess entwickelt werden. Dieses visualisiert Poren, Risse und Oberflächeneinflüsse.



1 Elektrodenherstellung für Lithium-Ionen-Batterien im Pilotmaßstab.

2 Elektrodencoils.



## VORLAUFFORSCHUNG

### IN-OPERANDO-TEMPERATURMESSUNG

Die aktuellen Herausforderungen bezüglich der Wärmeentwicklung in Lithium-Ionen-Batterien erfordern ein umfassendes Verständnis der wärmegenerierenden Prozesse und Mechanismen auf mikroskopischer Ebene. Ein speziell entwickelter Messaufbau ermöglicht die orts aufgelöste In-operando-Temperaturmessung über die Grenzflächen Anode/Separator/Kathode einer modellhaften Lithium-Ionen-Batterie-Zelle mit sehr hoher lateraler Auflösung. Durch die zusätzliche Detektion des axialen Temperaturverlaufs kann die dreidimensionale Temperaturverteilung bei definierten Lade- und Entladeströmen rekonstruiert werden.

Im Gegensatz zu gängigen integralen Messungen an kommerziellen Batteriesystemen lassen sich somit Wärmequellen und -senken des elektrochemischen Systems lokalisieren, identifizieren und differenzieren. Die Kombination aus lokaler In-operando-Temperaturmessung und fortgeschrittenen elektrochemischen Techniken erlaubt die Aufklärung komplexer Zusammenhänge zwischen Kinetik und Thermodynamik der individuellen Zellbestandteile und der resultierenden, lokalen Wärmeentwicklung. Auf Basis dieser Erkenntnisse werden mechanistische Modelle entwickelt, welche in die Modellierung und Simulation des elektrochemisch-thermischen Verhaltens von Lithium-Ionen-Batterien einfließen und die Grundlage für eine zielgerichtete Werkstoffoptimierung hinsichtlich thermisch bedingter Sicherheitsaspekte bilden.

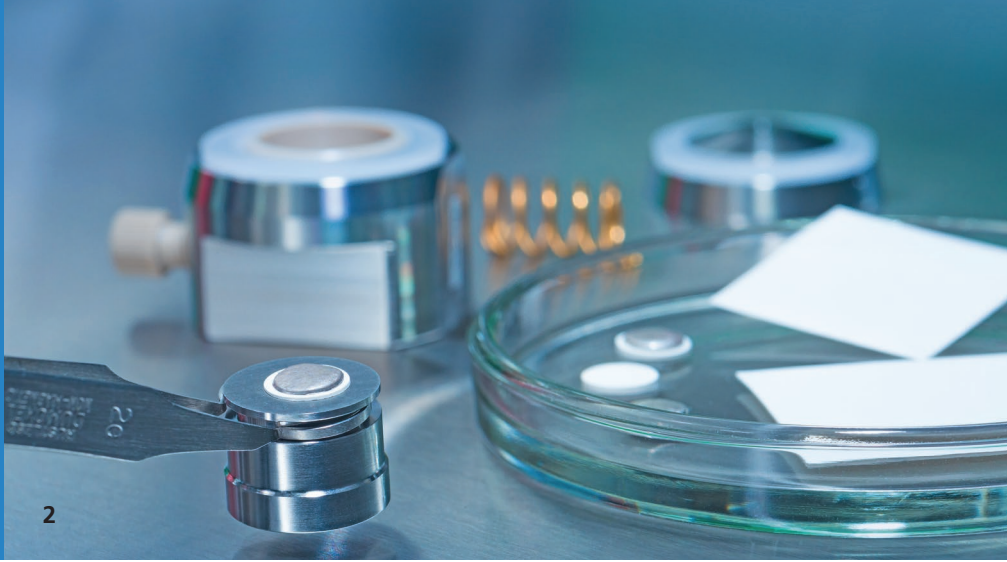
### HIGH-ENERGY-KATHODE

Die Erhöhung der Energiespeicherdichte von Lithium-Ionen-Batteriezellen ist eines der zentralen Ziele aktueller Entwicklungen, um die Anforderungen vor allem automobiler Anwendungen zu erfüllen. Ein wesentlicher Ansatzpunkt dafür liegt in der Optimierung der Kathodenstruktur und deren Speicherinhalt, da diese den ‚Lithiumlieferanten‘ für die Zelle darstellt. Optimierte Zellen besitzen heute Kathoden mit einer spezifischen Flächenkapazität von etwa 4 mAh/cm<sup>2</sup>. Erreicht wird dies durch die Verwendung von Aktivmaterialien hoher Speicherdichte in Kombination mit erhöhten Packungsdichten der Elektrode. Flächengewicht und Elektrodendichte stellen somit die technologischen Stellschrauben für speicherdichte-optimierte Elektrodendesigns dar. Allerdings ergeben sich Einschränkungen aus der Verarbeitbarkeit in den Folgeprozessen der Zellherstellung (mechanische Anforderungen, Dauer der Elektrolytbefüllung) und der Zellperformance im Betrieb (insbesondere limitierte Ratenfähigkeit durch limitierte Lithium-Ionendiffusion).

Das Fraunhofer IKTS bearbeitet im Labor- und Technikumsmaßstab extrusionsbasierte Abscheideverfahren, wobei sowohl klassische Extrusionsprozesse (Feststoffanteil 90 %) aus der keramischen Technologie als auch der Auftrag über Schlitzdüsen (Feststoffanteil 50–70 %) großes technologisches Potenzial besitzen.

1 Gefügaufnahme einer Bipolarelektrode LTO/LFP.





## BIPOLARBATTERIE EMBATT

Mit der EMBATT-Batterie verfolgt das Fraunhofer IKTS gemeinsam mit Partnern einen neuen Ansatz, um auf Systemebene Energiedichten von über 450 Wh/l zu erzielen, und alltags-taugliche Reichweiten von Elektrofahrzeugen zu ermöglichen. Die EMBATT-Bipolarbatterie besteht aus Zellen, die in einer Stackbauweise derart gestapelt sind, dass der Ableiter der negativen Elektrode einer Zelle die Kontaktierung der positiven Elektrode der nächsten Zelle darstellt. Damit teilen sich zwei in Reihe geschaltete elektrochemische Zellen die Ableiter – eine Seite der Bipolarelektrode dient als Anode in einer Zelle und die andere Seite als Kathode in der nächsten Zelle.

Das bipolare Batteriekonzept umgeht durch seinen Stapelaufbau ein aufwändiges Zellpackaging. Vorteile der EMBATT-Batterie sind der geringe Innenwiderstand im Stapel, die potenziell sehr großen Elektrodenflächen und die stark vereinfachte Verbindungstechnik im Batteriesystem. Das EMBATT-Konzept überführt damit die hohe Energiedichte auf Zellebene direkt ins Batteriesystem.

Ein Konsortium entwickelt gemeinsam die großflächige Lithium-Bipolarbatterie, abgestimmte Fertigungstechnologien sowie Konzepte für die direkte Integration ins Chassis des Fahrzeugs. Das Fraunhofer IKTS arbeitet dabei am Design der Bipolarelektrode sowie an effizienten Herstellprozessen.

## FESTKÖRPERBATTERIE

Lithium-Ionen-Batterien mit Festkörperionenleitern und Lithium-Metall-Anoden werden aufgrund ihrer höheren spezifischen Energie sowie ihres vorteilhaften Sicherheitsverhaltens als vielversprechende Speichertechnologien der nächsten Generation gehandelt.

Das Fraunhofer IKTS befasst sich seit vielen Jahren mit der Entwicklung Lithium-leitender Gläser und Festelektrolyte sowie deren Integration im Zellverbund. Ziel ist es, geeignete Prozesstechnologien für die Herstellung von vollkeramischen Festkörperbatterien (insbesondere Kompositkathode und Festelektrolytseparator) zu erarbeiten.

Kernthemen sind dabei die Realisierung eines defektfreien, stabilen Elektrolytseparators (Vermeidung von Dendritenwachstum an der Lithium-Metall-Anode), die Kompensation thermomechanischer Spannungen in der Kompositkathode und im Elektrolyten (Atmen des Aktivmaterials, Anpassung der Ausdehnungskoeffizienten) sowie die Herstellung einer Kompositkathode mit geringer Restporosität bei gleichzeitiger Vermeidung von schädigenden Nebenreaktionen zwischen Aktivmaterial und Ionenleiter. Dafür sind neben der Entwicklung der Fertigungsverfahren geeignete Kombinationen von Aktivmaterial und Ionenleiter sowie die Optimierung von Korn-, Oberflächen- und Mikrostruktur zu untersuchen.

*2 Komponenten und Charakterisierung von keramischen Festkörperbatterien.*



## BESONDERE TECHNISCHE AUSSTATTUNG

### Pulversynthese

- Gloveboxen
- Schlenk-Technik
- Sprühtrockner für Precursoren (Luft, Inertgas)
- Flammensprühpyrolyse
- Pyrolyseöfen
- Drehrohrofen

### Pulveraufbereitung

- Aufbereitungstechnik (Zerkleinern und Homogenisieren) und Peripherie (Dispergierbehälter beheizt, gekühlt)
- Siebanlagen zur Konditionierung
- Sprühtrockner im Labor- und Pilotmaßstab (Luft, Inertgas, Ex.-Schutz)
- Wirbelschichtanlage
- Sprüh-Gefrier-Granulierer

### Materialcharakterisierung

- Mechanische und ionenstrahlbasierte Präparationsverfahren (Broad- und Focused-Ion-Beam)
- Mikroskopische Verfahren (Lichtmikroskopie, konfokale 3D-Laserscanning-Mikroskopie, Analytische Feldemissions-Rasterelektronenmikroskopie, Transmissions-Elektronenmikroskopie, Atomkraftmikroskopie, Ultraschallmikroskopie)
- 3D-Charakterisierung (Computer-, FIB-Tomographie)
- Qualitative und quantitative Röntgendiffraktometrie inklusive Linienprofilanalyse
- Hochtemperaturröntgendiffraktometrie bis 1200 °C
- Röntgenfluoreszenzanalyse
- Mikro-Raman- und IR-Spektroskopie

### Elektrodenfertigung

- Beschichtungsanlagen (Doctor Blade, Doctor Blade auf Rolle, Slot Die und Triple Slot Die im kontinuierlichen und diskontinuierlichen Betrieb)
- Trocknungsanlagen (Passivtrocknung, Kontakttrocknung, Schwebetrocknung, UV-Härtung, Konvektion)

### Elektrochemische Charakterisierung

- Gloveboxen, Klimaschrank (-40 bis 120 °C), Mehrkanalpotentiostat
- Messzellen (2- und 3-Elektrodenanordnung) für elektrochemische, thermo- und spektroelektrochemische Untersuchungen
- FT-IR-/Raman-Spektrometer
- Karl-Fischer-Titration zur Wasserbestimmung in Festkörpern und Flüssigkeiten

### Zelltest

- Batterie-Testcontainer

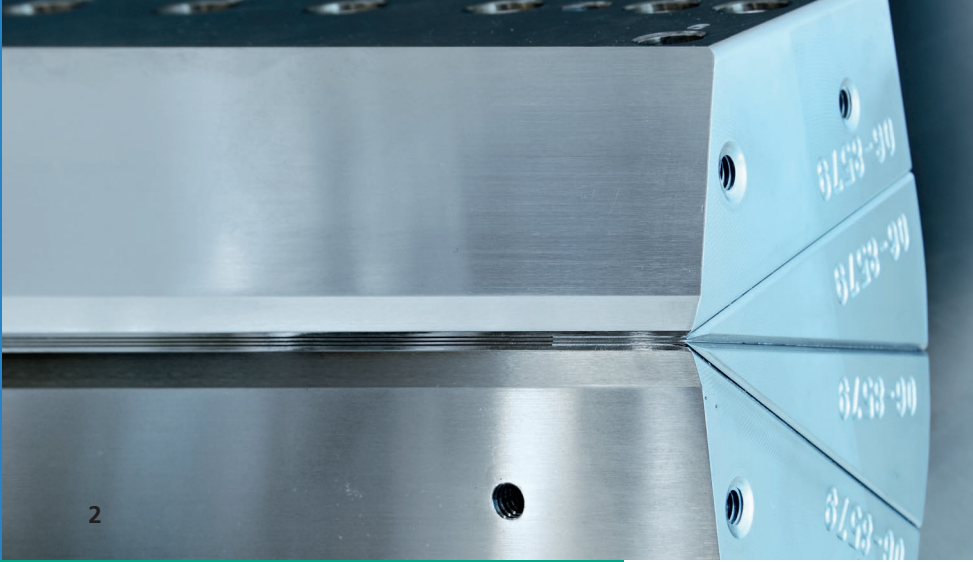
### Simulation

- FE-Codes: ANSYS, COMSOL, FlexPDE,
- CFD-Codes: Fluent, ANSYS-CFX
- Systemsimulation: Modelica/SimulationX

### Qualitätssicherung

- Demonstrator für aktive Thermographie an laufenden Foliengießbändern
- Luft-Ultraschall-Schichtdickenmessgerät zur Überwachung der Flächenmasse von Folien

1 Coater für die Elektrodenfertigung.



## KOOPERATIONSMODELLE

Innovation und Entwicklung sind Bausteine für eine erfolgsversprechende Unternehmenszukunft. Um Wettbewerbsvorteile zu generieren, bietet Fraunhofer maßgeschneiderte Kooperationsmöglichkeiten für die bestmögliche Form der Zusammenarbeit für klein- und mittelständische Unternehmen. Damit können Entwicklungskompetenzen vom Kunden kurzfristig und bedarfsorientiert abgerufen und genutzt werden.

### Einzelaufträge

Der klassische Fall einer Kooperation ist der Einzelauftrag. Das Unternehmen sieht einen Forschungs- oder Entwicklungsbedarf. Das Fraunhofer IKTS entwickelt entsprechend der Anforderungen des Unternehmens eine termin- und qualitätsgerechte Lösung.

### Verbundprojekte

Manche Problemstellungen sind so komplex, dass mehrere Partner die Lösung entwickeln müssen. Dann steht das gesamte Umfeld der Fraunhofer-Institute zur Verfügung. Auch externe Partner können hinzugezogen werden.

### Strategische Partnerschaften und Innovationscluster

Aus Vorlaufforschung, die zunächst unabhängig von Aufträgen erfolgt, ergeben sich häufig lang andauernde Partnerschaften mit Unternehmen auf regionaler und internationaler Ebene.

### Ausgründungen

Fraunhofer-Mitarbeiter machen sich oft mit einer Neuentwicklung selbstständig, an der sich die Fraunhofer-Gesellschaft beteiligen kann. Im Einzelfall sind sogar strategische Beteili-

gungen und Joint Ventures möglich. Auch die Auftraggeber einer neuen Entwicklung können Teilhaber des Spin-off-Unternehmens werden.

### Lizenzierungsmodelle

Lizenzen räumen Dritten ein Nutzungsrecht an gewerblichen Schutzrechten unter definierten Bedingungen ein. Damit können Innovationen genutzt werden, wenn die eigene Weiterentwicklung zu hohe Kosten verursachen würde, die Kapazitäten zur Markteinführung nicht ausreichend oder die Innovation nicht in das bestehende Leistungsprogramm passen würde. Das Fraunhofer IKTS bietet flexible Lizenzmodelle an, die zum unternehmensweiten Einsatz, zur Optimierung des eigenen Angebots oder der Vermarktung an Endkunden genutzt werden können.

# KURZPORTRÄT DES FRAUNHOFER IKTS

Das Fraunhofer-Institut für Keramische Technologien und Systeme IKTS betreibt anwendungsorientierte Forschung für Hochleistungskeramik. Die drei Instituts-teile in Dresden und Hermsdorf (Thüringen) formen gemeinsam das größte Keramikforschungsinstitut Europas.

Als Forschungs- und Technologiedienstleister entwickelt das Fraunhofer IKTS moderne keramische Hochleistungswerkstoffe, industrierelevante Herstellungsverfahren sowie prototypische Bauteile und Systeme in vollständigen Fertigungs-linien bis in den Pilotmaßstab. Darüber hinaus umfasst das Forschungsportfolio die Kompetenzen Werkstoffdiagnose und -prüfung. Die Prüfverfahren aus den Bereichen Akustik, Elektromagnetik, Optik, Mikroskopie und Strahltechnik tragen maßgeblich zur Qualitätssicherung von Produkten und Anlagen bei.

Das Fraunhofer IKTS arbeitet in acht marktorientierten Geschäftsfeldern, um keramische Technologien und Komponenten sowie zerstörungsfreie Prüfverfahren für neue Branchen, Produktideen und Märkte jenseits der klassischen Einsatzgebiete zu demonstrieren und zu qualifizieren. Dazu gehören keramische Werkstoffe und Verfahren, Maschinenbau und Fahrzeugtechnik, Elektronik und Mikro-systeme, Energie, Umwelt- und Verfahrenstechnik, Bio- und Medizintechnik, Optik sowie die Material- und Prozessanalyse.



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

## KONTAKT

Industrielösungen  
**Lithium-Ionen-Batterien**

Dr. Mareike Wolter  
**Fraunhofer-Institut für  
Keramische Technologien  
und Systeme IKTS**

Winterbergstraße 28  
01277 Dresden  
Telefon +49 351 2553-7971  
[mareike.wolter@  
ikts.fraunhofer.de](mailto:mareike.wolter@ikts.fraunhofer.de)