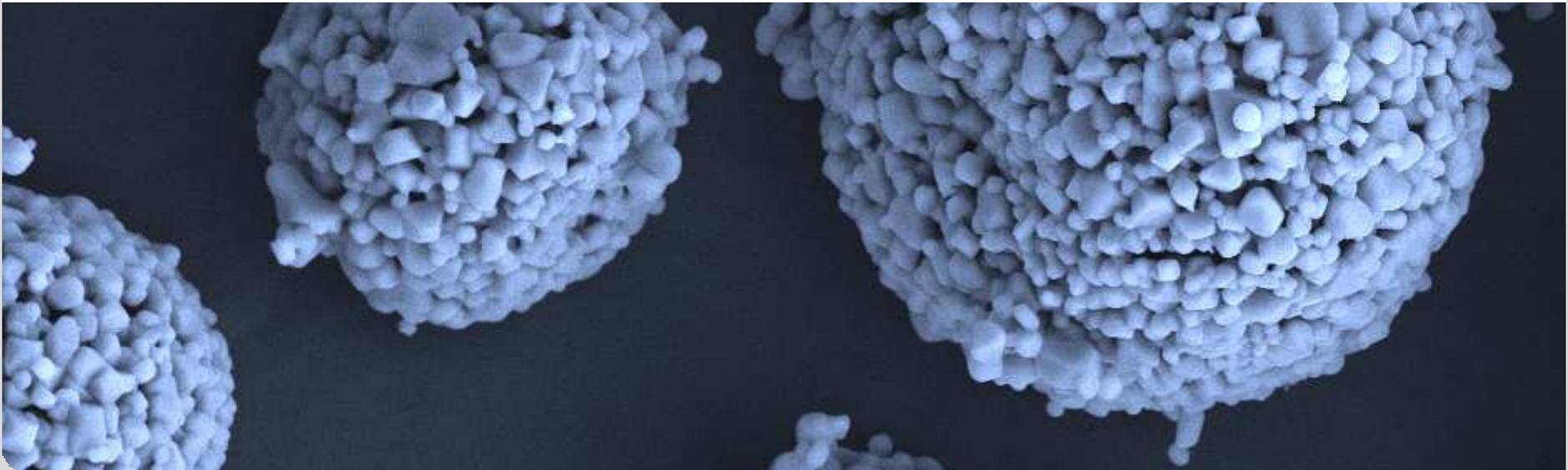


# Vernetzte Forschung zur Elektrochemischen Energiespeicherung am KIT

Michael Harms

HELMHOLTZ-PROGRAMM NANOMIKRO: WISSENSCHAFT, TECHNOLOGIE, SYSTEME



# Forschung zur elektrochemischen Energiespeicherung: Der Weg des KIT



## Strategie und Organisation

- Wie wurde am KIT das neue Forschungsgebiet Energiespeicherung gestartet?
  - Voraussetzungen, Strukturen, Vorgehen
  
- Wie haben wir uns mit Partnern vernetzt?
  - Drittmittelprojekte, Industriekooperationen
  
- Wie ist die zukünftige Ausrichtung?
  - Pläne und Ziele

## Forschung

- Gibt es spezielle Forschungsansätze am KIT?
  - Materialien, Zellen, Batterien,...

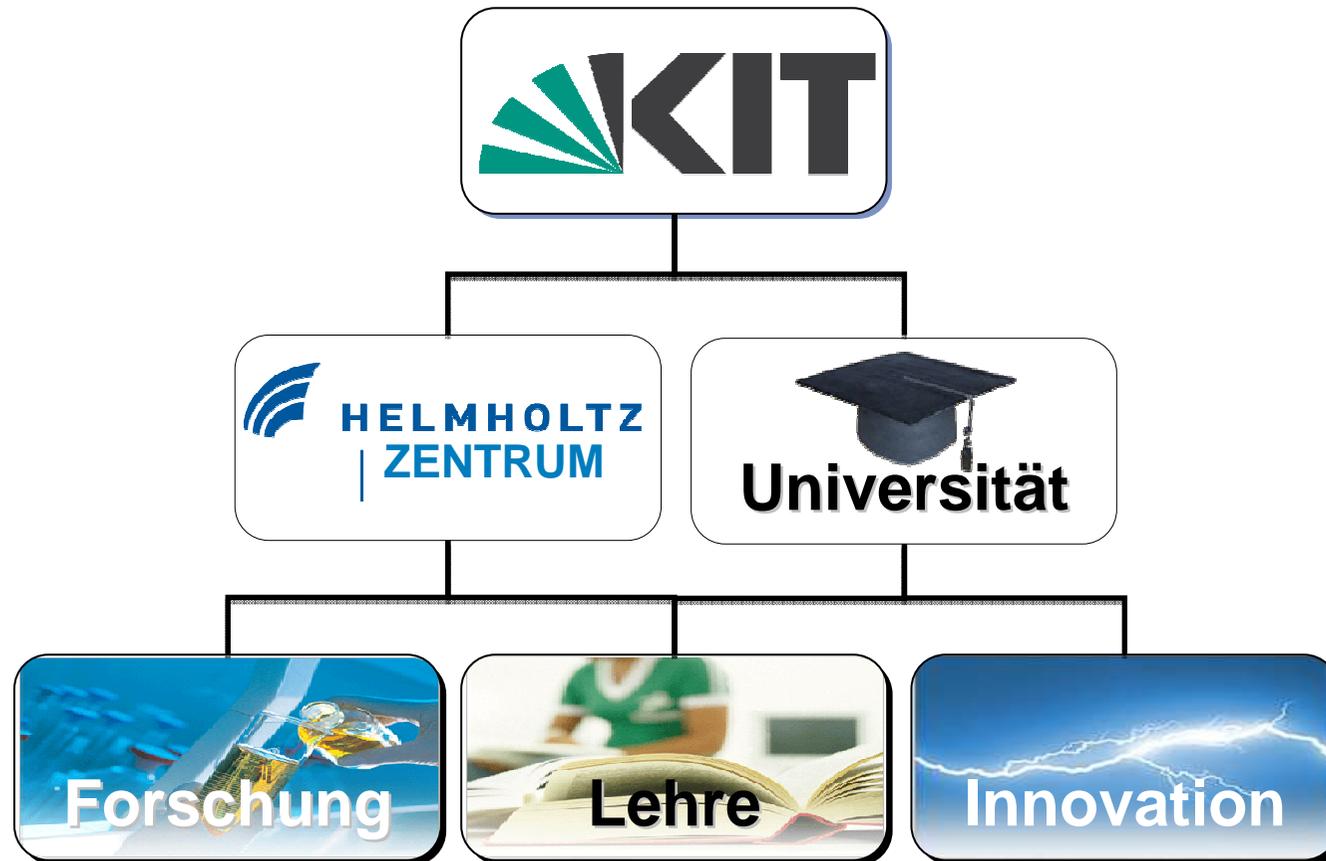
# Karlsruher Institut für Technologie - Der Zusammenschluss von Universität und Forschungszentrum Karlsruhe (seit 2009)



Eine  
Einrichtung

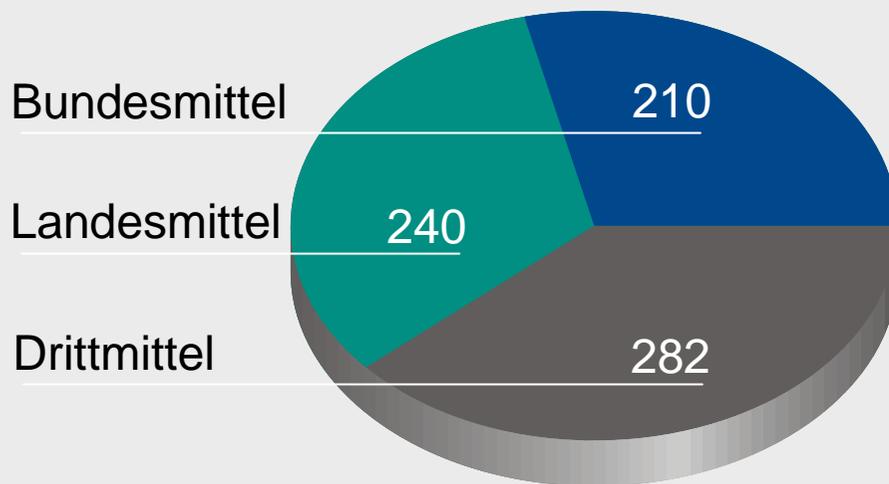
Zwei  
Missionen

Drei Aufgaben



# Zahlen und Fakten

Einnahmen in Mio. €: 732



Beschäftigte gesamt 8.980

Lehre und Forschung 5.518

Infrastruktur und Dienstleistung 3.462

Professoren 373

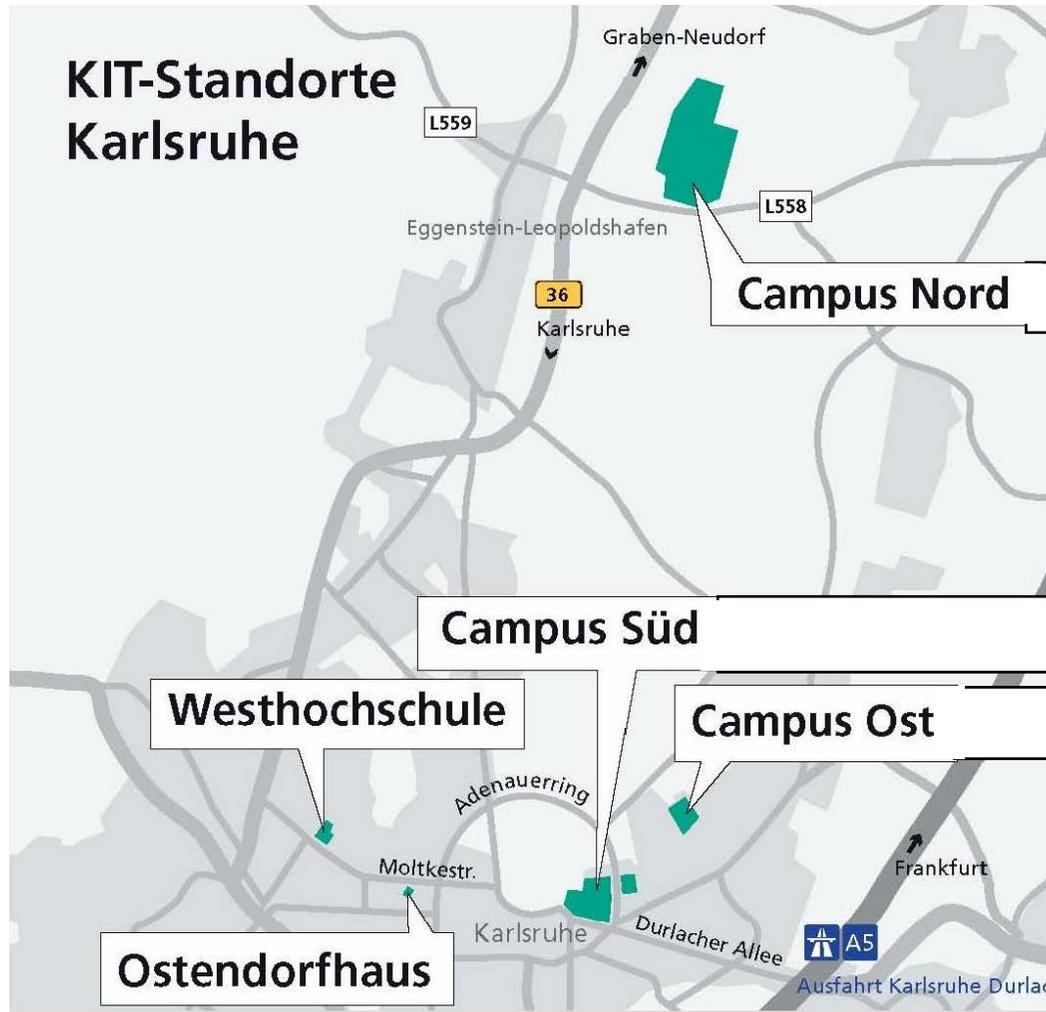
Ausländische Wissenschaftler 719

Auszubildende 537

Studierende (WS 2011/2012) ca. **22.500**

Stand 2010

# KIT-Standorte



**Campus Nord**      Großforschungsbereich

**Campus Süd**      Universitätsteil

**Westhochschule**      **Campus Ost**      Neuer Campus

u. a. zukünftiger Standort  
für Elektromobilitätsforschung

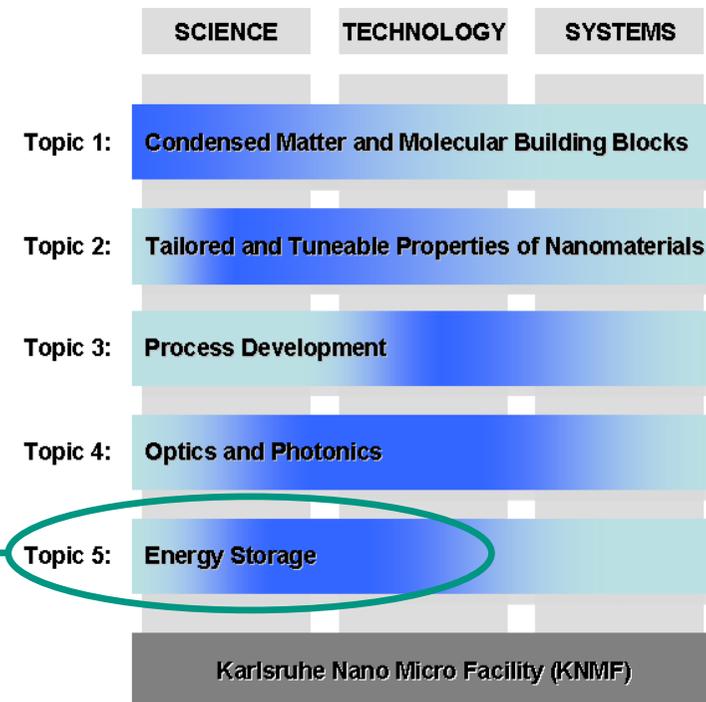
Zusätzliche KIT-Außenstellen  
in Ulm, Garmisch-Partenkirchen

# Elektrochem. Energiespeicherung: Der Start

- 11/2006 Orientierungsgespräch mit Industrievertretern
- 2007 Start der Forschungsarbeiten im **Helmholtz-Programm NANOMIKRO**
  - Strategisch ausgerichtet: programmorientierte Förderung in fünfjährigen Forschungsperioden mit internationaler Evaluierung
  - Personalbudget bei Instituten, FuE-Budget beim Programm
  - Überinstitutionelles Vorhaben, aber zentral von der Programmleitung koordiniert
  - Programm NANOMIKRO: langjährige Expertise in Nanotechnologie, Prozesstechniken, Materialforschung  
→ Vorhandene Kompetenzen  
Basis für neue Forschungsansätze

Derzeit mit Beiträgen aus den KIT-Instituten

- für Nanotechnologie INT
- für Angewandte Materialien  
Abt. IAM-AWP, -WBM, -WPT, -ESS
- für Datenverarbeitung und Elektronik IPE
- für Funktionelle Grenzflächen IFG



# Vollständige Prozesskette bis zur Zelle / Batterie

## Material

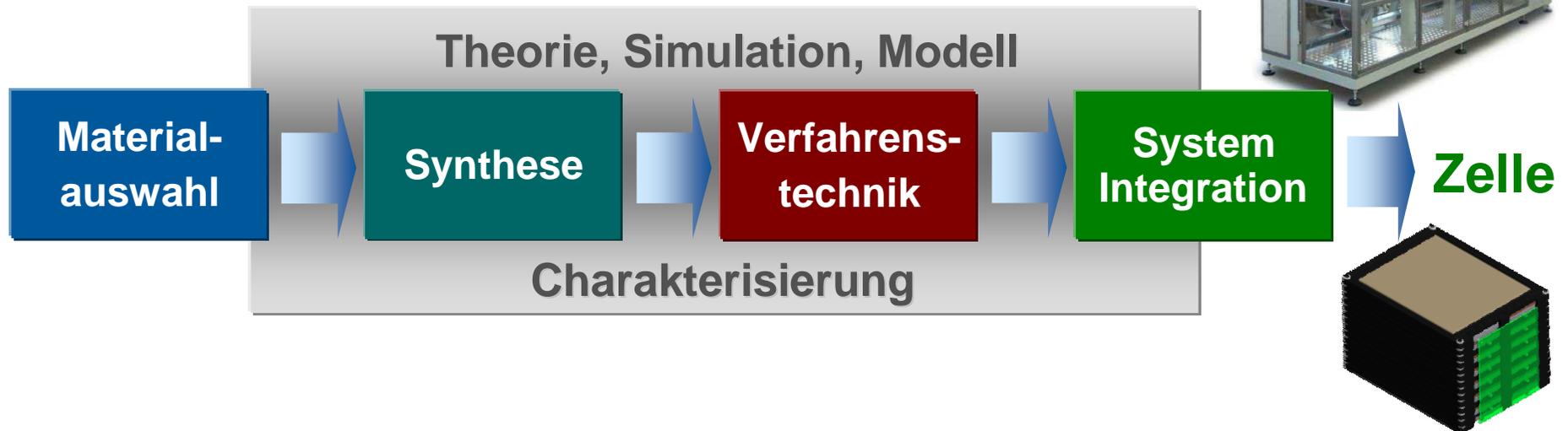
- Interkalationsmaterial
- Konversionsmaterial
- Elektrolyte

## Synthese

- Nass-Chemische Verfahren
- Sol-Gel/Hydrothermal
- Chemical Vapor Synthesis
- Mikrowellen-Plasma-Synthese
- Dünnfilm-Abscheidung

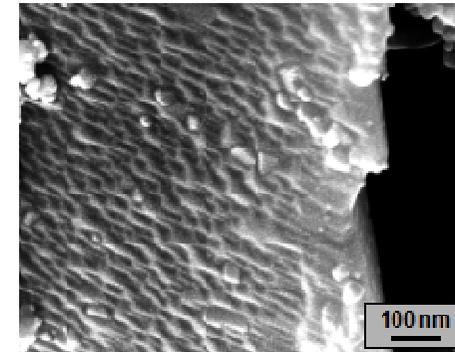
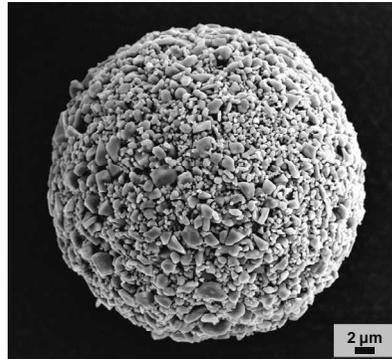
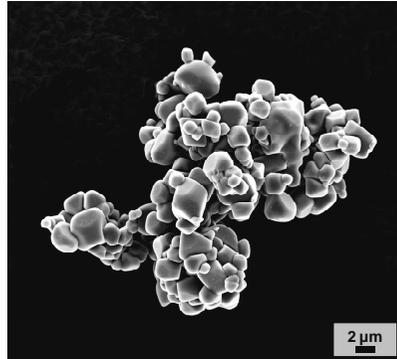
## Prozessierung

- Mahlen und Nanostrukturieren
- Mischen und Rühren
- Beschichten
- Strukturieren
- Zell-Montage



# Ausgewählte Forschungsansätze: Interkalationsverbindungen

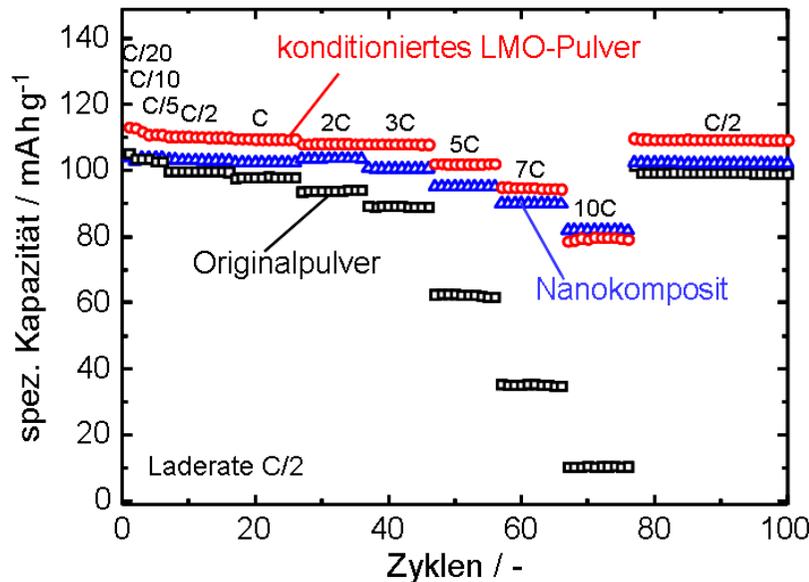
- Lithium-Manganoxid (LMO) mit ITO-Coating



Originalpulver ( $\text{LiMn}_{2-x}\text{Al}_x\text{O}_4$ )

thermisch konditioniert

Nanokomposit:  
LMO mit ITO-Coating

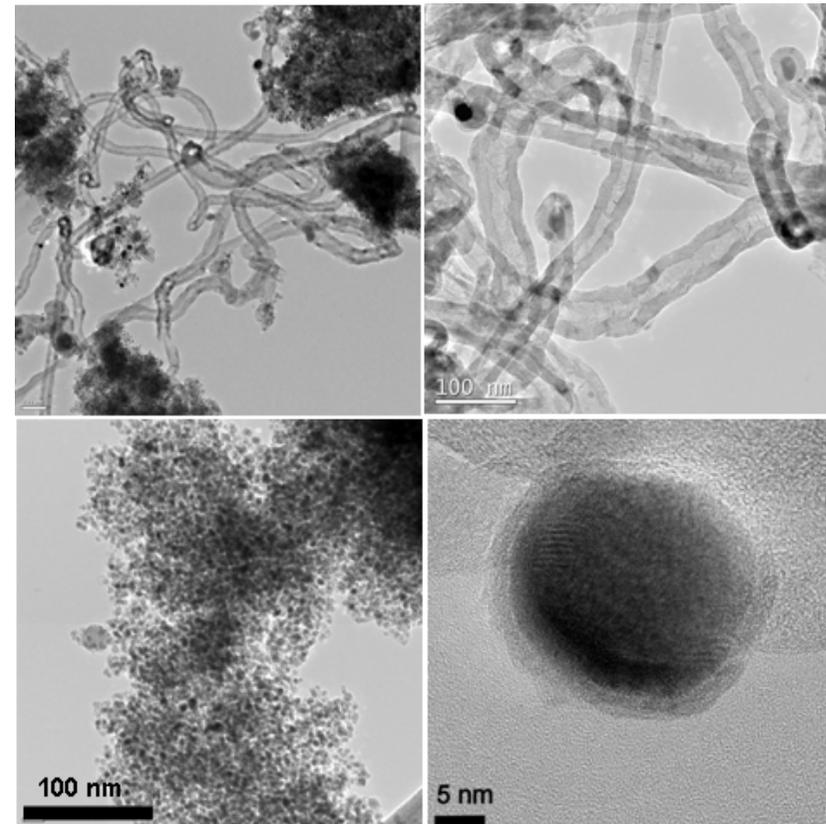
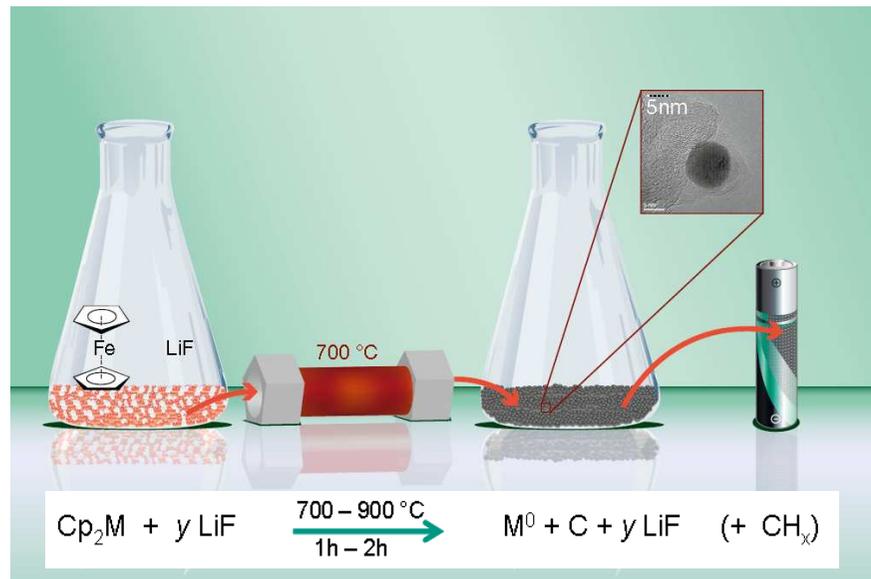


Spezifische  
Entladekapazität;  
LMO-Materialien  
im Vergleich

**Erhöhte LMO-Kapazität  
durch angepasstes Processing**

# Ausgewählte Forschungsansätze: Konversionsverbindungen

- Eisen/Lithiumfluorid/Kohlenstoff-Nanokomposite

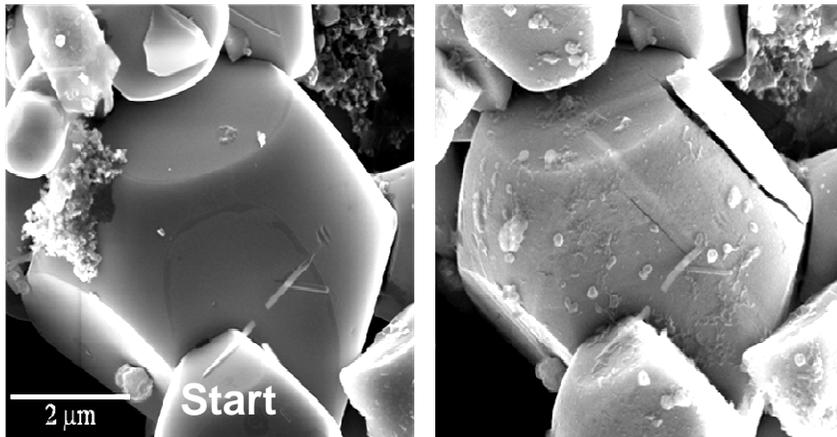


- Einfache, kostengünstige Synthese (Pyrolyse)
- Hohe theoretische Kapazität von 712 mAh/g  
Experimentell erreicht: 270 mAh/g

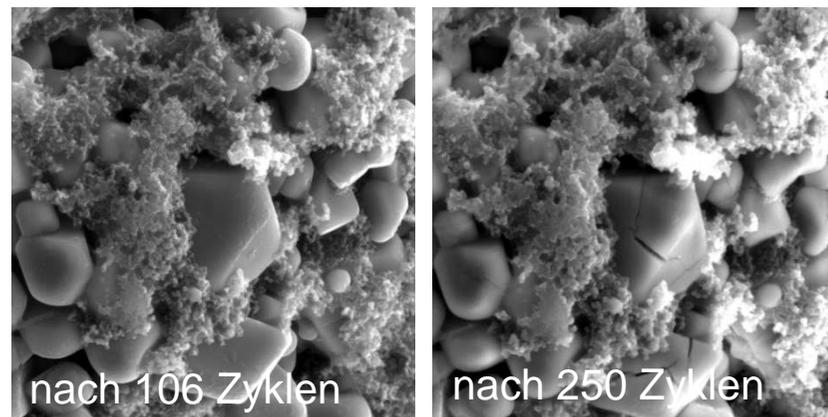
**Neuartiges Kathodenmaterial mit  
Potential für hohe Energiedichte**

# Ausgewählte Forschungsansätze: Charakterisierung der Materialdegradation

## ■ *Ex situ*-REM-Untersuchungen

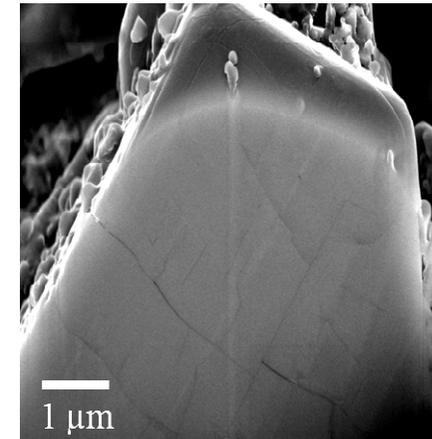


$\text{LiMn}_{1.95}\text{Al}_{0.05}\text{O}_4$ : nach 800 Zyklen bei 1C



$\text{LiMn}_2\text{O}_4$ -Agglomerate

FIB-Schnitt  
eines zyklisierten  
Partikels

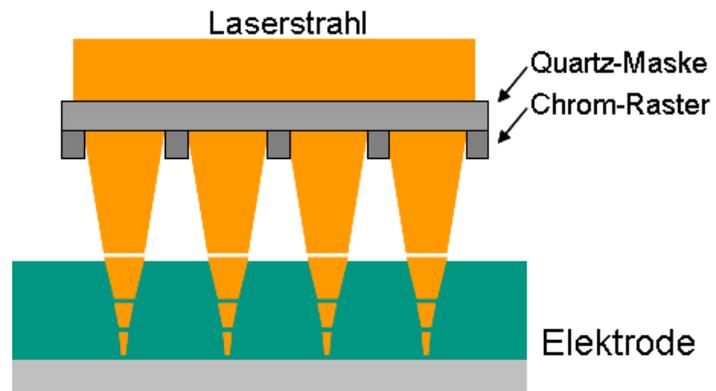


- Kapazitätsverlust nach 800 Zyklen: 16 %
- Brüche verlaufen innerhalb der Partikel
- Brüche wachsen im Laufe der Zyklierprozesse
- Scherprozesse führen zu Versetzungen

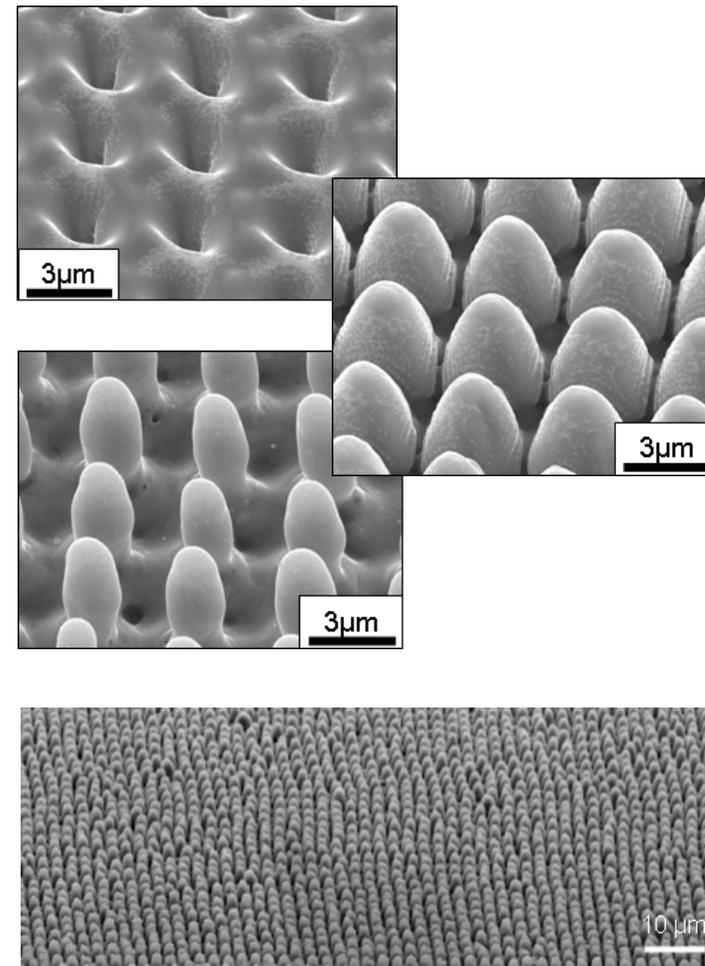
**Möglichkeit der Ermittlung  
idealer Partikelgrößen**

# Ausgewählte Forschungsansätze: Elektrodenstrukturierung

- Einsatz von Laserprozessstechnik



- Gezielte Einstellung der Topographie
- In Kombination mit Sputtertechnik (Dünnschichten) auch gecoatete Strukturen → Komposite
- Gute Zyklenstabilität
- Aufbau von Modellsystemen



**Erleichterte Li-Ionen-Diffusion**

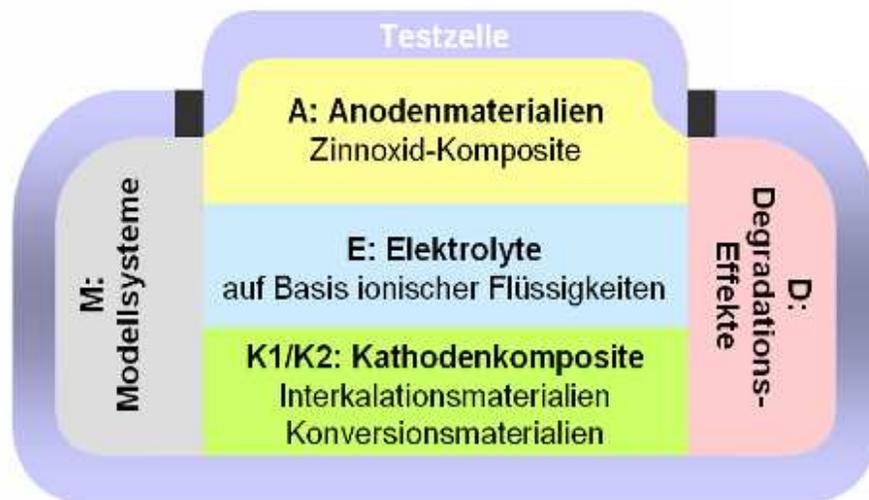
# Von Materialforschung zum (Zell-)System

- Materialentwicklung erfordert Charakterisierung auf Systemniveau  
Abstimmung der Zellkomponenten und Up-Scaling ( $\rightarrow \sim 50 \text{ mAh}, 75 \times 75 \times 0,5 \text{ mm}^3$ )
- Kapazitätsaufbau für Elektrodenbeschichtung und Zellbau (Pouchzellen)
- Investitionsförderung aus KoPa II-Mitteln  
(Batterieverbund Süd, 9 Partner, Koord. KIT, 07/2009 – 06/2011, Budget 25,2 Mio €)  
davon 7,8 Mio € für KIT, eingesetzt insbesondere für Großzellenherstellung und  
Charakterisierungsverfahren (*in* und *ex situ*-Verfahren; u.a. NMR, XRD, Raman, REM)



# BMBF-Innovationsallianz LIB2015

- 12/2008 – 11/2013 BMBF-Nachwuchsgruppe von Dr. Sylvio Indris
- 07/2009 – 06/2012 BMBF-Projekt LIB-NANO  
Lithium-Ionen-Batteriezellen auf Basis von neuartigen Nanokomposit-Materialien  
Ziel: Erhöhung der Leistungs- bzw. Energiedichte und Lebensdauer auf Zellebene



# Industriekooperationen

## Daimler AG

- Projekthaus e-drive (seit Nov. 2008)
- Forschungsk Kooperation für Elektroantrieb
  - Leistungselektronik
  - Steuer- und Regelungstechnik
  - E-Maschine
  - Elektrische Energiespeicher (derzeit drei Projekte)
- Teilfinanzierung durch das Land Baden-Württemberg
- Daimler-Stiftungsprofessur „Hybridelektrische Fahrzeuge“

Projekthaus  
**e-drive**



## BASF SE

- Gemeinschaftslabor BELLA  
(Batteries and Electrochemistry Laboratory) am KIT
- Seit Januar 2011
- Direktoren: Dr. Andreas Fischer (BASF) und Prof. Jürgen Janek (KIT und Univ. Gießen)
- 10 Forscher (co-finanziert durch BASF SE und KIT)

**BELLA**  
Battery and Electrochemistry Laboratory



# Vernetzte Forschung in der Helmholtz-Gemeinschaft



Helmholtz-weite Allianzen unter KIT-Koordination

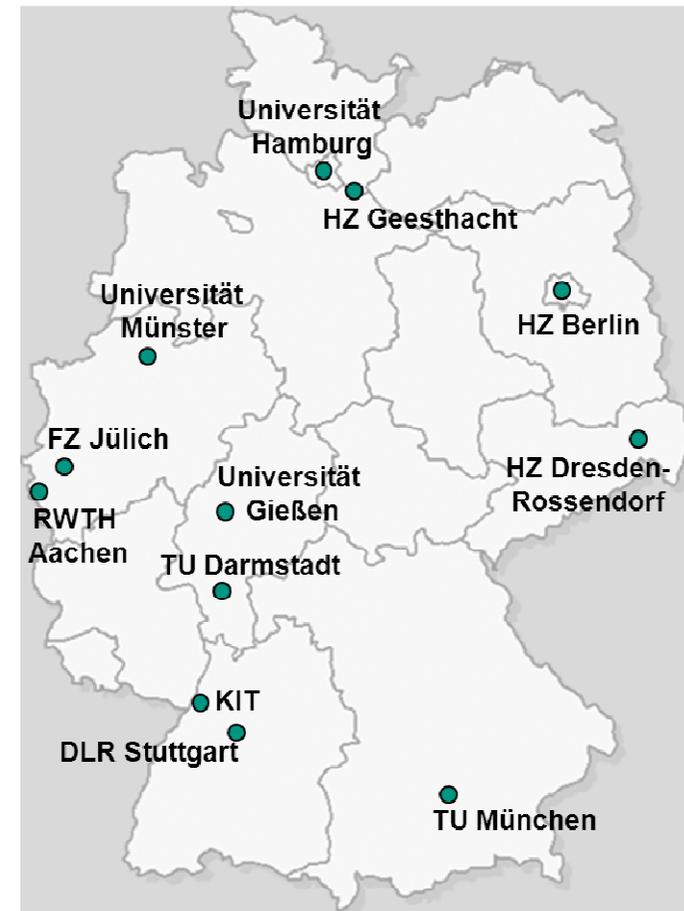
## Helmholtz-Initiative für mobile / stationäre Energiespeichersysteme

Teil Antrag Elektrochemische Speicher

- KIT, DLR, FZJ, HZB, FZDR, HZG
- 01/2011 – 12/2014

## Helmholtz-Portfolio Elektrochemische Speicher im System - Zuverlässigkeit und Integration

- KIT, DLR, FZJ, Universitäten
- 07/2011 – 12/2015



# Vernetzte Forschung in der Helmholtz-Gemeinschaft



## Helmholtz-weite Allianzen unter KIT-Koordination

Helmholtz-Initiative für mobile / stationäre Energiespeichersysteme

Teil Antrag Elektrochemische Speicher

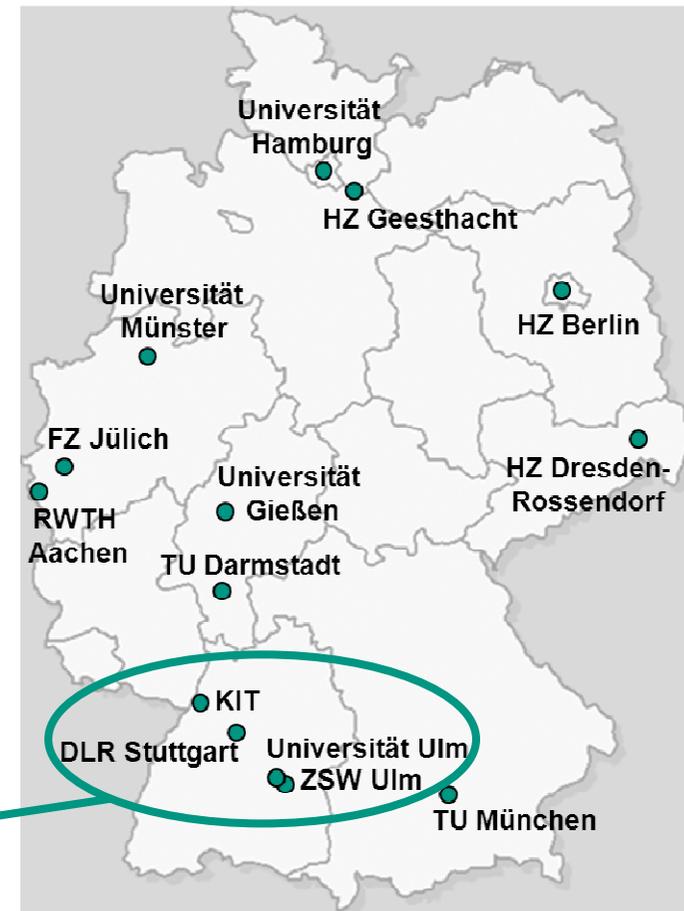
■ KIT, DLR, FZJ, HZB, FZDR, HZG

■ 01/2011 – 12/2014

Helmholtz-Portfolio Elektrochemische Speicher im System - Zuverlässigkeit und Integration

■ KIT, DLR, FZJ, Universitäten

■ 07/2011 – 12/2015



# Helmholtz-Institut Ulm für Elektrochemische Energiespeicherung (HIU)

- Gegründet im Jan. 2011 als Außenstelle des KIT zusammen mit der Universität Ulm auf deren Campus
- Weitere Partner: ZSW Ulm und DLR Stuttgart
- Drei neue Professuren, ca. 35 Forscherstellen, 13 Forschergruppen



Das HIU vereint Kompetenzen:

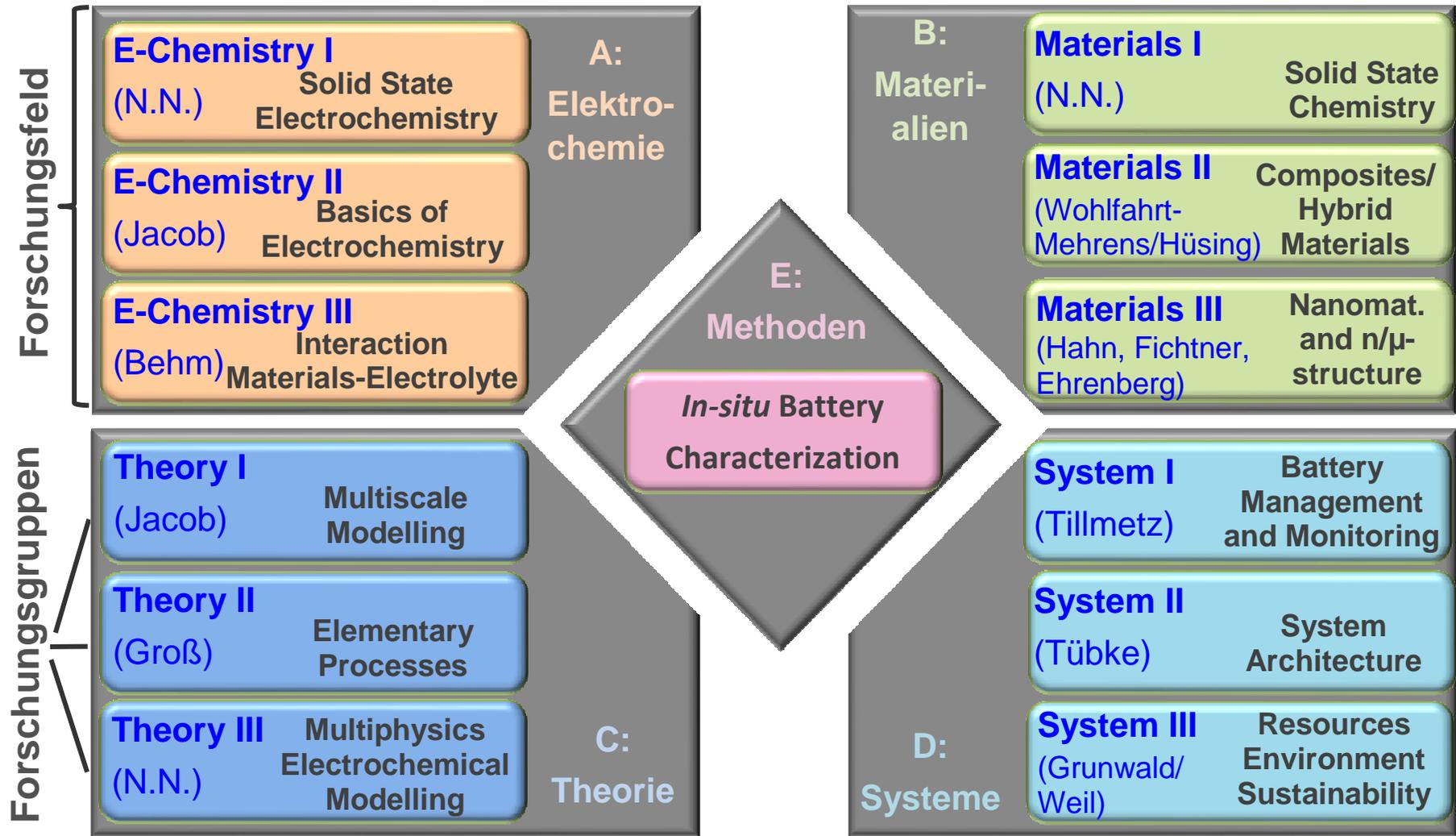
Materialforschung, Systemforschung,  
*in situ* Analysenmethoden

Elektrochemie,  
theoretische Modellierung

Angewandte Forschung am System,  
Materialforschung

Theoretische Modellierung chem.  
und physikalischer Prozesse

# Struktur des HIU



## Batterieforschung

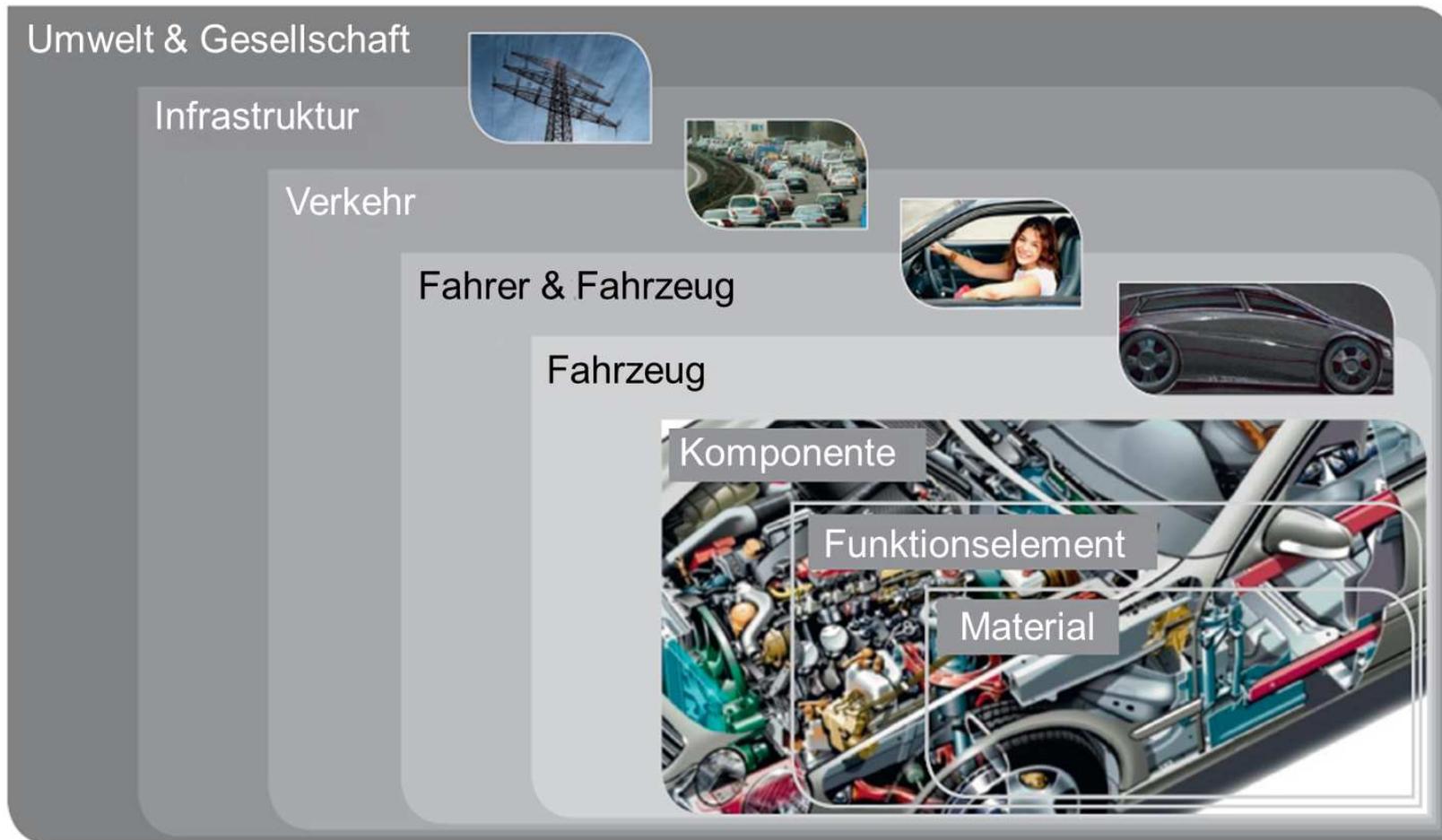
- Zellcharakterisierung (Impedanzspektroskopie) und Materialforschung für Lithium-Schwefel-Zellen

## Schwerpunkte in den Bereichen Systemintegration, Produktionsforschung und Fahrzeugsystemtechnik

- Institutsverbund **KIT-CART** (Center of Automotive Research and Technology)
- BMWi-Projekt Minimum Emission Region (**MeRegio**): Vernetzung und Kommunikation zwischen Energieerzeugungsanlagen und -nutzern
- Modellregion Karlsruhe-Stuttgart: **Schaufenster Elektromobilität**  
„Living LAB BW E-Mobil“: Einbettung der Elektromobilität in moderne Mobilitäts- und Verkehrskonzepte
- **Spitzencluster Elektromobilität Süd-West**: Fahrzeugtechnik, Energie- und Versorgungstechnik, Informations- und Kommunikationstechnologien und -dienstleistungen sowie Produktionstechnologie



# Bündelung aller KIT-Ansätze zur Energiespeicherung / Elektromobilität: Projekt Competence E



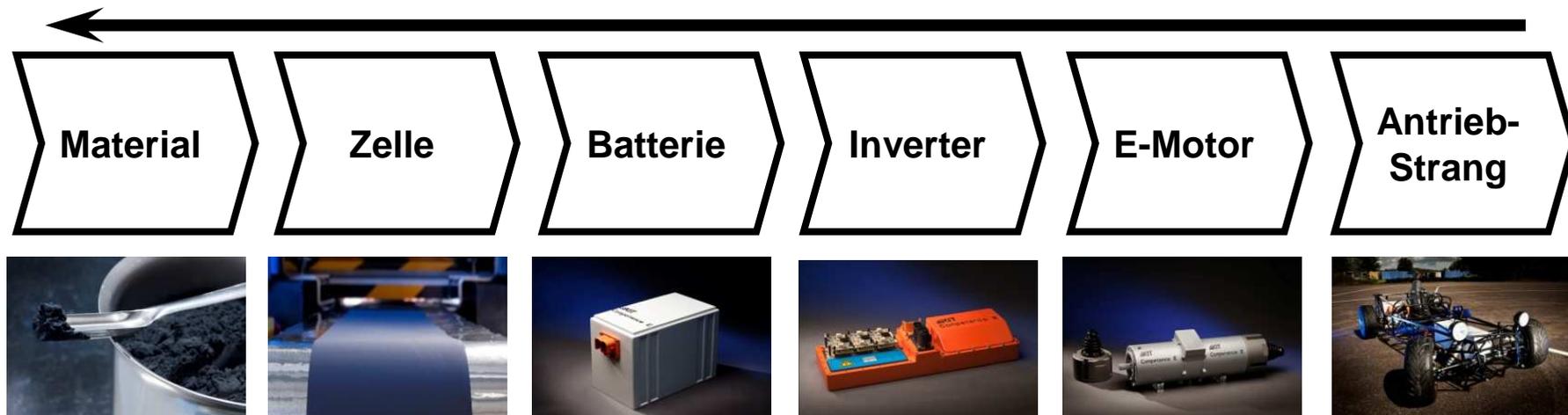
## Competence E: Zielsetzung

Errichtung und Betrieb einer offenen Technologieplattform für batterieelektrische Fahrzeugantriebssysteme und stationäre Energiespeichersysteme.

- **Industriell anwendbare kostengünstige** Lösungen für Batteriespeicher- und Antriebssysteme der **nächsten Generationen**
- Etablierung eines **systemischen Entwicklungskonzepts** in Bezug auf das **Produktdesign** und die **Produktionsverfahren**
  - Vollständige Integrationstiefe entlang der gesamten Wertschöpfungskette
  - Neue Zell- und Batterie-Designs mit neuen Fertigungsverfahren
  - Projektlaufzeit: 7 Jahre
  - Geplantes Volumen: 200 Mio €

# Systemkompetenz über die gesamte Wertschöpfungskette der Elektromobilität

Kosteneffektives Produktdesign und Produktionstechnologien



Hochenergie-Materialien  
Kompakte Zelldesigns  
Modulare Batteriedesigns  
Optimierte Fertigungsverfahren



**250 €/kWh bei 250 Wh/kg  
auf Batteriesystemlevel in 2018**

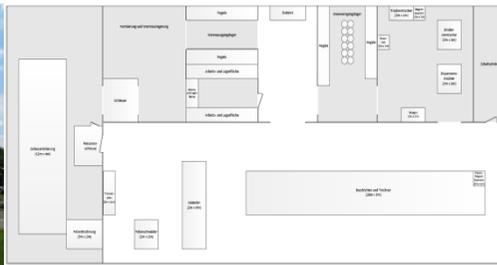
# Competence E: Infrastrukturplanung

Instandsetzung und Umnutzung einer vorhandenen Industriebauhalle auf dem Gelände des KIT Campus Nord bis 2. Quartal 2012

Errichtung eines System Engineering Center auf dem Gelände des KIT Campus Ost bis 2015

2011 2012 2013 2014 2015 2016 2017 2018

Phase I



Phase II (KIT)



© Kohlbecker | Architekten & Ingenieure

29

Phase III (Land BW, beantragt)

# Elektrochemische Energiespeicherung am KIT

## ■ Erfolgreicher Start

- Externe Beratung
- Basis: bestehende Kompetenzen
- Forscherinteresse
- Gezielte Ausweisung von Budgetmittel

## ■ Strategische Weiterentwicklung

- Zentrale Koordination
- Integration externer Kompetenz
- Zusätzliche Projekt-/Investitionsförderung über Drittmittel
- Partnerschaftliche Industriekooperationen
- Weitreichende Vernetzung mit Forschungseinrichtungen
- **Einbettung in KIT-Gesamtkonzept Elektromobilität / Stationäre Speicher**
- Forschungspolitische Positionierung: innerhalb der HGF, bundes-, europa-, weltweit

