

# Batterieüberwachung

für Sicherheit, Lebensdauer, Reichweite und Ladegeschwindigkeit

Jürgen Vollmer, Günter Müller,  
Karl-Ragmar Riemschneider, Matthias Schneider

Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg

FUELLING THE CLIMATE 2012 - Klimaschutz & Elektromobilität

Handelskammer Hamburg 16. Mai 2012



Hochschule für Angewandte  
Wissenschaften Hamburg  
*Hamburg University of Applied Sciences*



Interreg IVB North Sea project

e-mobility **NSR**  
[www.e-mobility-nsr.eu](http://www.e-mobility-nsr.eu)

The Interreg IVB  
North Sea Region  
Programme



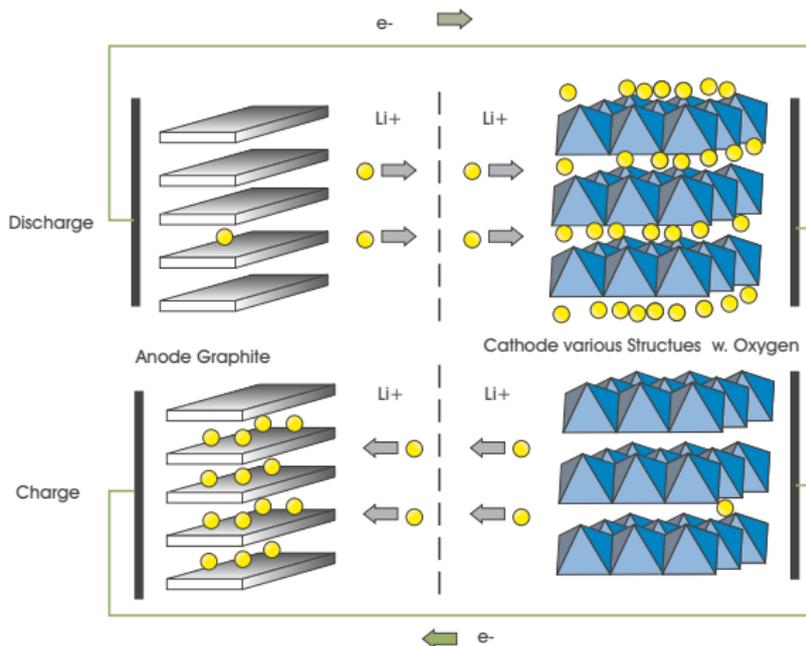
This project is part-financed by the EU



Handelskammer  
Hamburg

- 1 Herausforderung: Leistung + Sicherheit + Lebensdauer
- 2 Ziele der Batterieüberwachung
- 3 Drahtlose Batterie-Zellenüberwachung
- 4 Sensoren und System für die Batterieüberwachung
- 5 Funktions- und Kommunikations-Strukturen
- 6 Zusammenfassung und Ausblick

# Funktionsprinzip der Lithium-Batterien - Interkalation

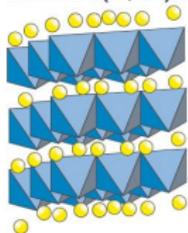


Li-Ionen werden freigegeben und wieder eingebunden durch die Nano-Strukturen des Anoden- und Kathodenmaterials

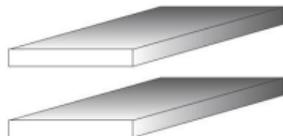


# Verschiedene Kathodenmaterialien

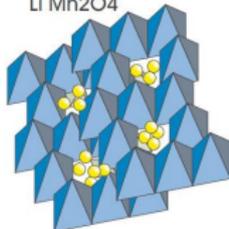
Cobalt / Nickel  
 $\text{Li CoO}_2$   $\text{Li}(\text{Ni}, \text{CO})\text{O}_2$



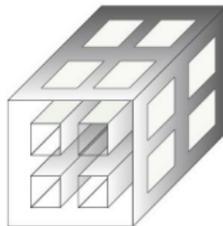
Layers



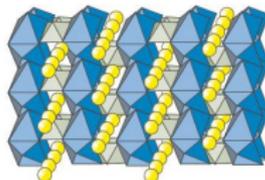
Manganase  
 $\text{Li Mn}_2\text{O}_4$



Spinell



IronPhosphate  
 $\text{LiFePO}_4$



Olivin



Die Kathoden binden die Li-Ionen in Strukturen mit deutlich verschiedenen Kristallaufbauten.

Anoden sind gegenwärtig Graphit und zukünftig auch Titanat-Strukturen, geforscht wird an Silizium-Anoden.

# Batterie-Technologie der E-Mobile

## Examples of current Li-Ion battery chemistry

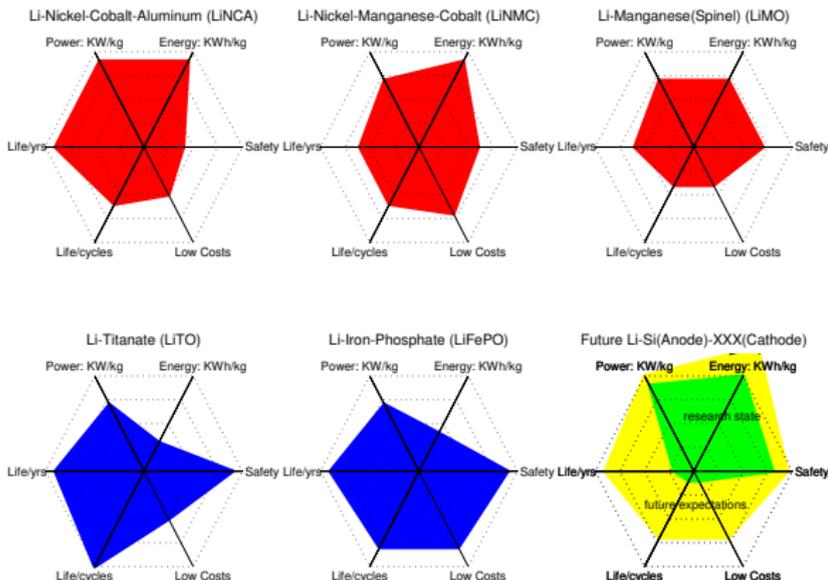
Developer	Chemistry	Vehicle	MY
EnerDel	Lithium manganese titanate	Think	2009
A123	Doped lithium nanophosphate	Volt-EV Vue-PHEV Think	2010 2009 2009
Compact (LG) NEC	Manganese spinel	Volt-EV Nissan-EV	2010 2010
Panasonic JCI-Saft	Lithium nickel cobalt aluminium oxide	Toyota-PHEV S400-HEV Vue-PHEV	2010 2009 2009
Hitachi	Lithium cobalt oxide	GM-HEV	2010
Available Cells	Lithium manganese oxide	Tesla-EV	2008
Altair Nanotechnologies	Lithium titanate spinel	Phoenix Electric	2008

Duleep G., van Essen H., Kampman B., Grünig M. Assessment of electric vehicle and battery technology, ICF Report, Delft 2011

Batterietechnologie der Elektromobilität ist noch nicht entschieden.

Gegenwärtig sind sehr verschiedene Materialkombinationen und Batteriesysteme am Markt.

# Vor- und Nachteile der Batterietechnologien



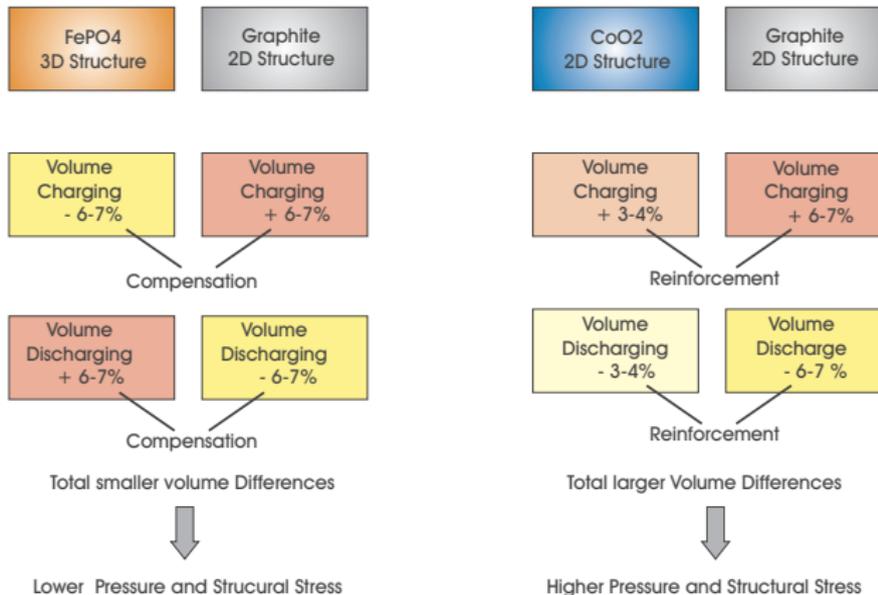
simplified features (thermal safety w.o. external thermal system monitoring), modified / extended orig. source: Boston Consulting Group

Multikriterielle Betrachtung von der Eigenschaften: Unterschiede bei Energiedichte, Kosten, Sicherheit und Lebensdauer.

Rot: Technologie mit hoher Energiedichte, aber Sicherheits- u. Lebensdauerprobleme - primär Mobilgeräte Blau:

Vermutete Favoriten für die Elektromobilität. Gelb/Grün: Gegenwärtig in der Forschung

# Beispiel für Alterungseffekte im Ladezyklus

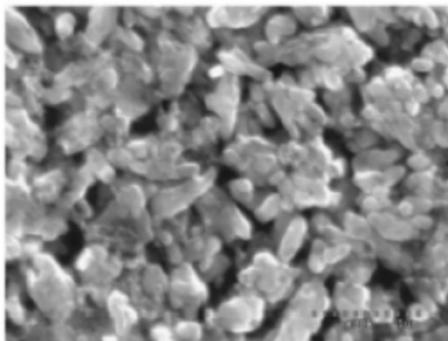


similar: [www.mpoweruk.com](http://www.mpoweruk.com)

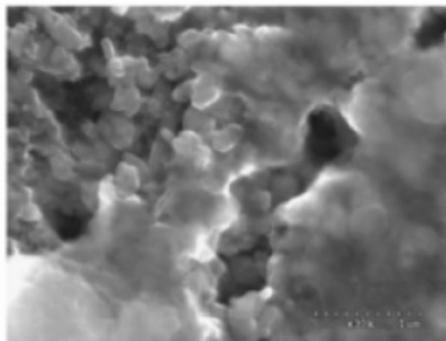
Volumenarbeit im Zyklus durch Ioneneinlagerung bei Eisenphosphat ungefähr kompensierend, bei Cobaltsystemen verstärkend. Je mehr Volumenarbeit desto mehr Stress auf die Nanostrukturen.

# Oberfläche gealterter Kathoden nimmt ab

Frische Kathode



Gealterte Kathode



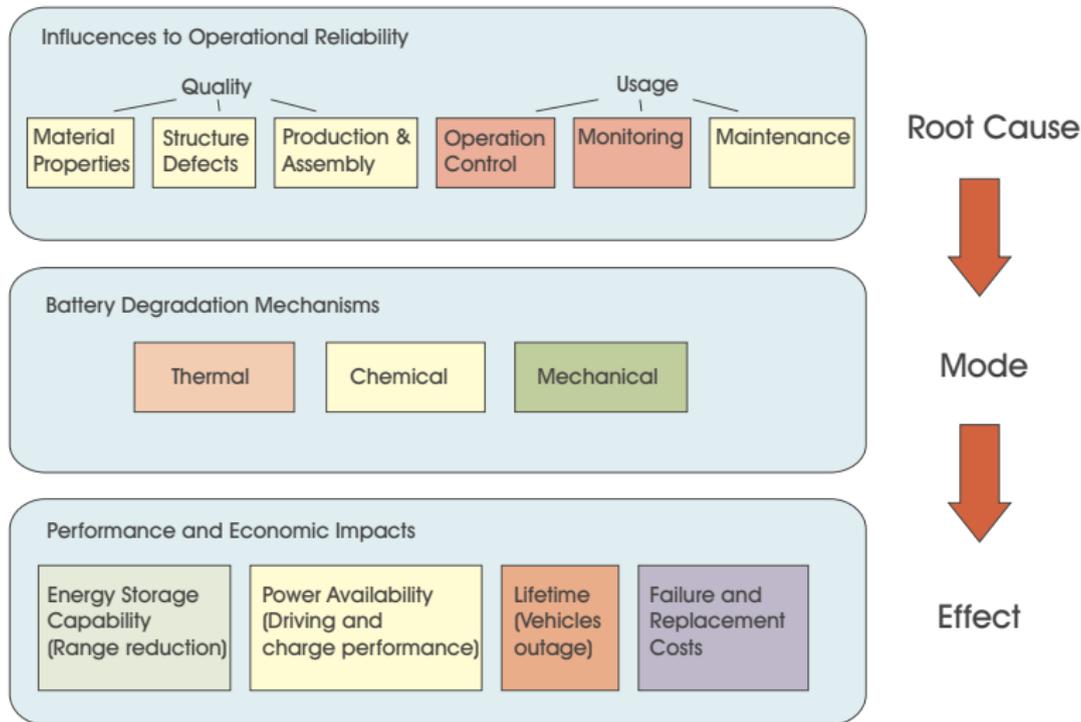
MARIE KERLAU, ROBERT KOSTECKI: Interfacial Impedance Study of Li-Ion Composite Cathodes during Aging at Elevated Temperatures. In: *Journal of The Electrochemical Society*, Vol. 153 (2006), Nr. 9, S. 1644 - 1648

Elektronen-Mikroskopische Aufnahme von Eisenphosphat zeigt die Verpressung der Strukturen und die Oberflächenabnahme.

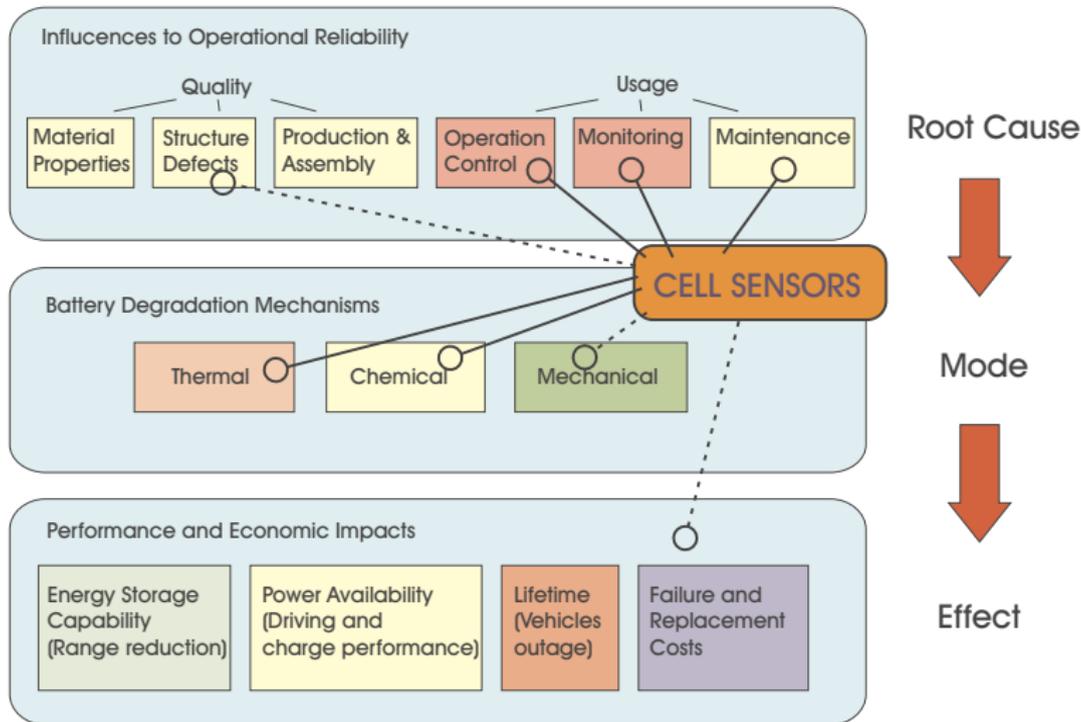
Produktionsfrisches (links) und gealtertes (rechts) Kathodenmaterial

Die Fähigkeit zur Ionenaufnahme oder -abgabe hängt von der verfügbaren Oberfläche ab.

# Einflusskette auf die Batteriekapazität



# Einflusskette auf die Batteriekapazität



# Batteriemangement für Fahrzeugbatterien



Starterbatterie mit Sensor-Prototypen auf den Zellen



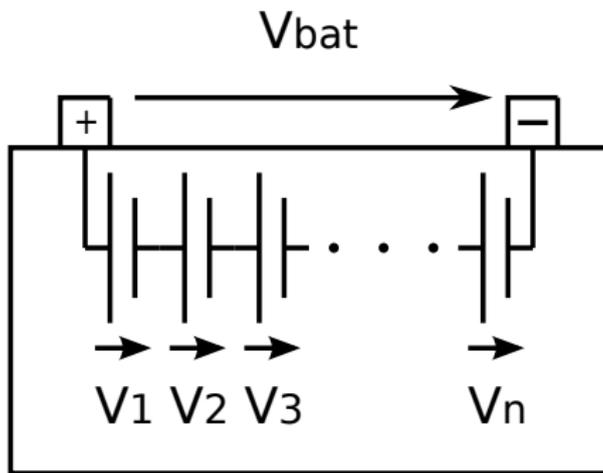
Gabelstaplerbatterie mit Versuchssensoren



E-Autobatterie mit Anschlüssen für Batterieüberwachung

- konventionelle Starter + Pufferbatterie ~50 €, 0.5-1kWh, 10-20kg  
**Aufgabe:** Ausfall-Frühwarnung, zukünftig sicherheitsrelevant
- Traktionsbatterie Gabelstapler ~1-4000 €, 7-40kWh, 300-2000kg  
**Aufgabe:** optimale wirtschaftliche Ausnutzung
- Batterien von Elektro-Autos: ~20000 € ~ 20 kWh, 200 kg  
**Aufgabe:** Sicherheit und garantierte Lebensdauer

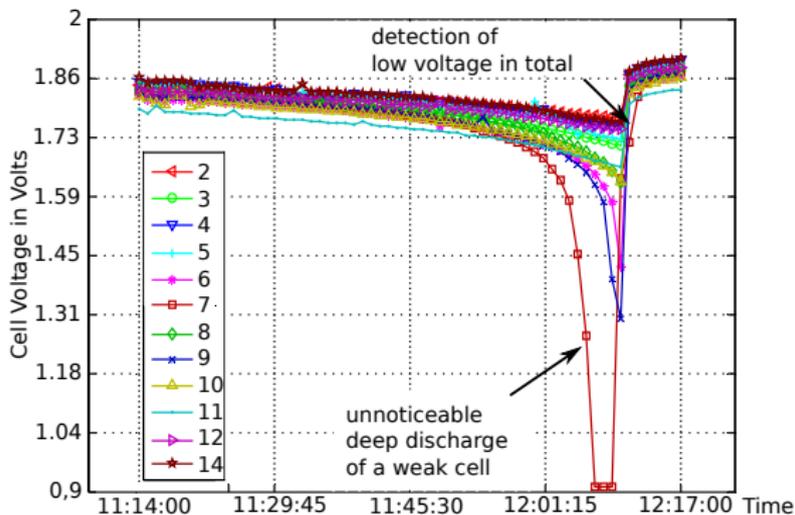
# Mehrzellige Fahrzeugbatterien



Batterien besitzen sechs bis mehrere hundert Zellen

- Zellen in Reihenschaltung:  $U_{ges} = \sum_{i=1}^n U_i$ ,  $I_{ges} = I_1 = \dots = I_n$
- Kapazität und Lebensdauer werden durch **JEDES** Glied der Kette bestimmt

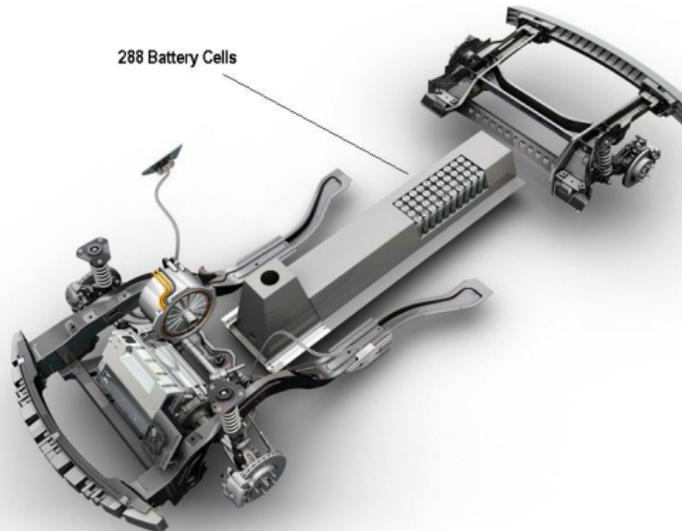
# Zellenunterschiede - vermindern die Lebensdauer



Beispiel unterschiedlicher Zellspannungsverlauf an einer Gabelstaplerbatterie [10]

- Schwächere Zellen werden wesentlich stärker belastet
- Schnellere Alterung schwacher Zellen
- Gesamtlebensdauer wird von der schwächsten Zelle bestimmt

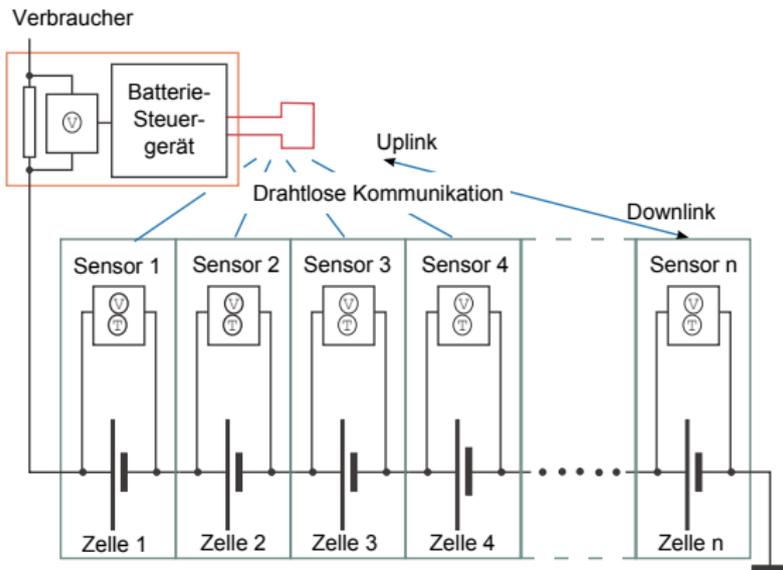
# Herausforderung - Mehrere hundert unterschiedliche Zellen überwachen ?



288 Batteriezellen im Chevrolet Volt / Opel Ampera

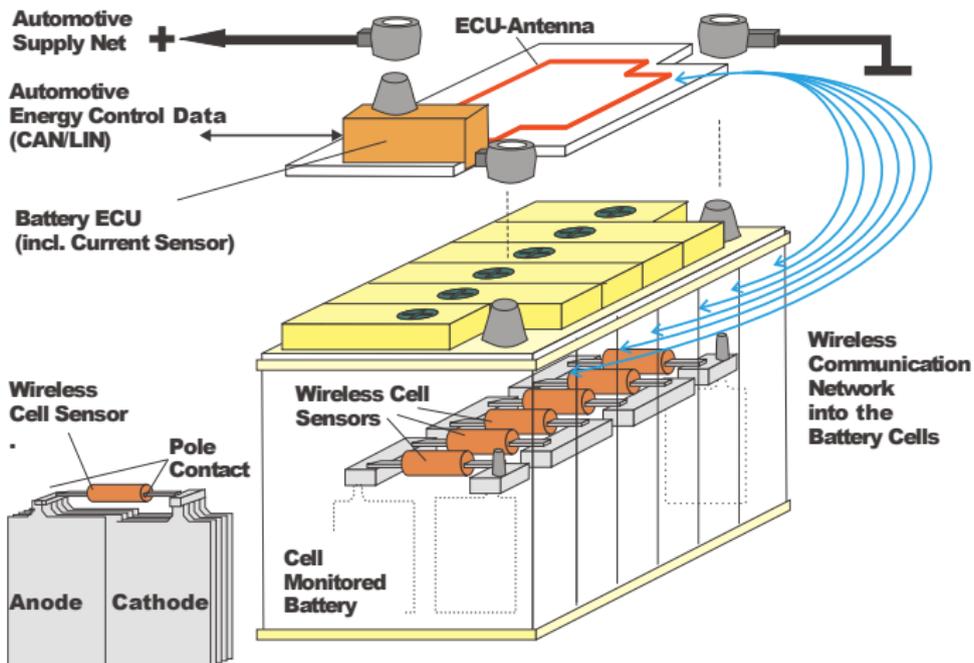
Source: General Motors

# Lösungsansatz - Drahtlose Zellenüberwachung



- Dezentrale Spannungs-/Temperaturmessung in jeder Zelle
- Drahtlose Messwert-Übertragung (Uplink)
- Batterie-Steuergerät: Zentrale Strommessung, Zustandsschätzung mit Sensordaten, Information des Fahrers

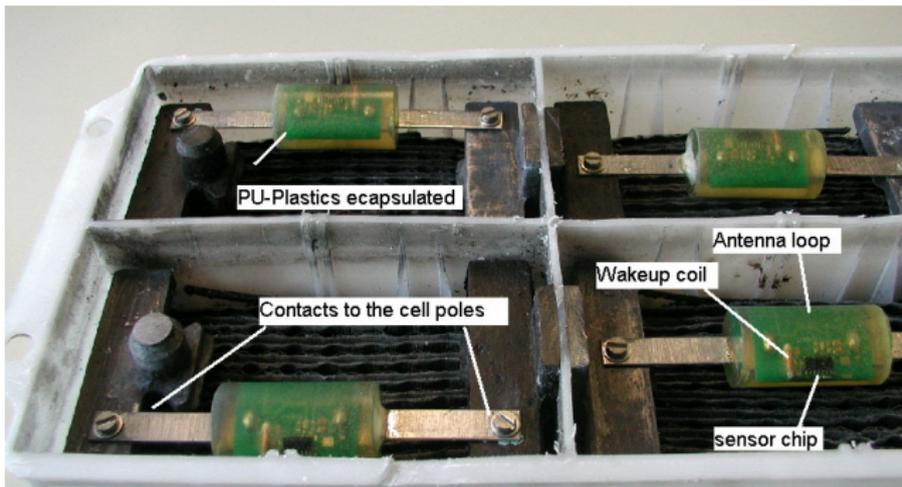
# Drahtlose Kommunikation - robust, kostengünstig und galvanisch getrennt



# Einkapselung für die Integration in die Zellen



Zellensensoren werden in die Zellen verbaut



# Zellensensoren

## Sensor-Hardware:

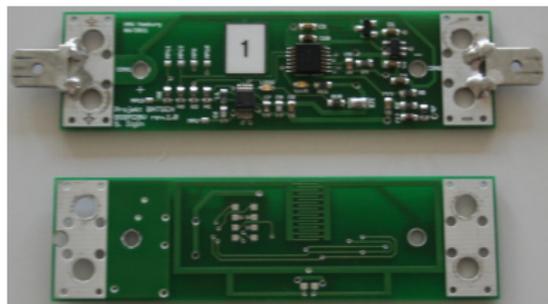
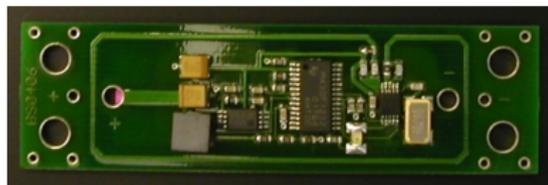
- Mikro-Controller für Messung Spannung u. Temperatur
- Sendechip im Frequenzband bei 433 MHz (ISM)

## Sensor-Software:

- Mess- und Kommunikationsverfahren

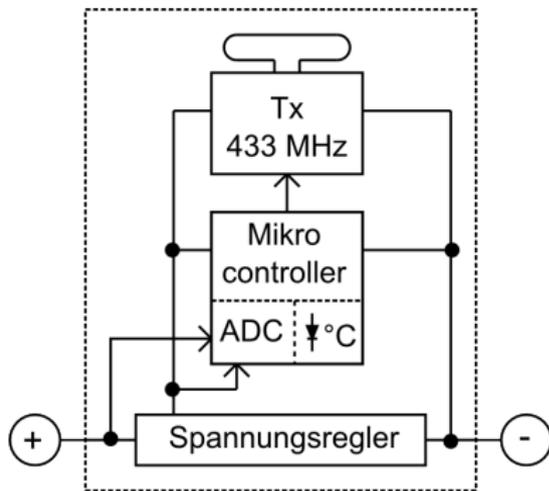
Sensorklasse	Klasse 1	Klasse 2	Klasse 3
Übertragung	nur Uplink	Uplink reduzierter Downlink	Uplink Downlink
Empfänger im Sensor	kein Empfänger	passive Schaltung	aktiver Empfänger
Messbetrieb und Kommunikation	Autonom	Teil-Autonom	Zentral kommandiert

# Sensoren der Klasse 1



Oben: Erste Version [11], [10], [3], [2]:

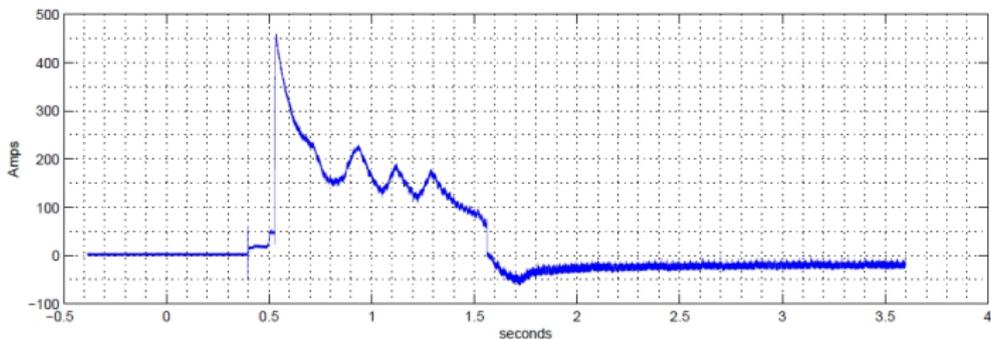
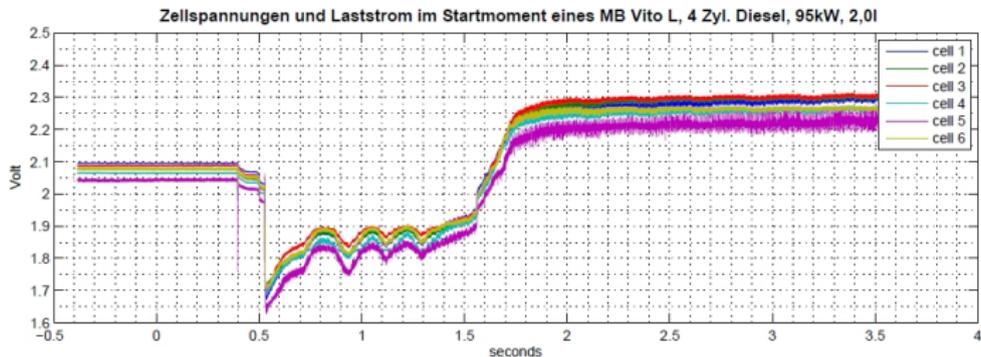
Unten: Aktuelle Version [4]



Blockschaltbild des Klasse 1 Sensors

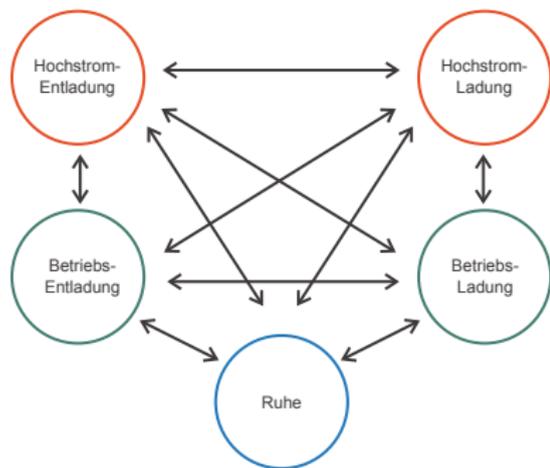
- Einfachste Sensorvariante mit Kostenziel: 1 € pro Sensor
- Keine Empfängerschaltung, quartzloser Transmitter
- Anwendung bei Starterbatterie

# Schnelle Hochstromereignisse



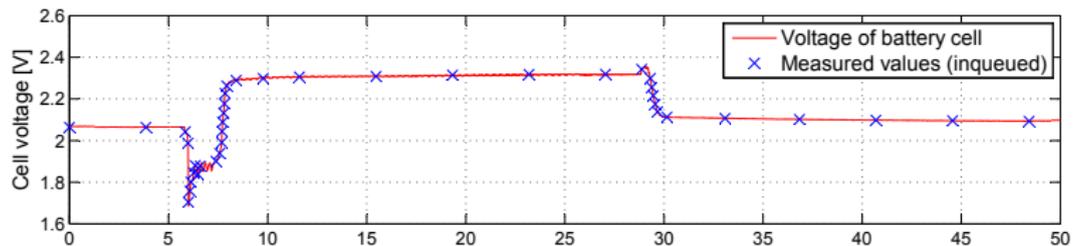
Hochstromereignis beim Motorstart Zellspannungen (oben) und Batteriestrom (unten)

# Betriebsarten erfordern eine dynamische Messrate

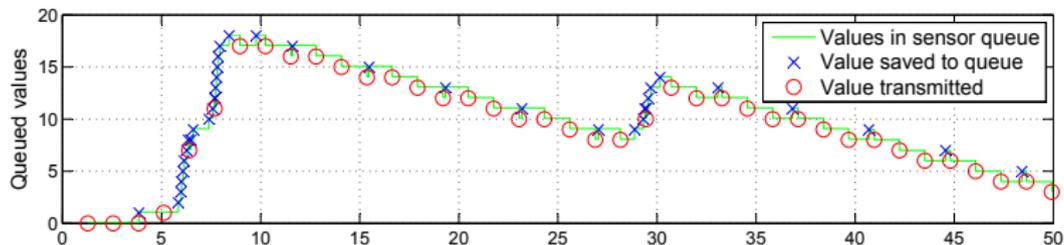
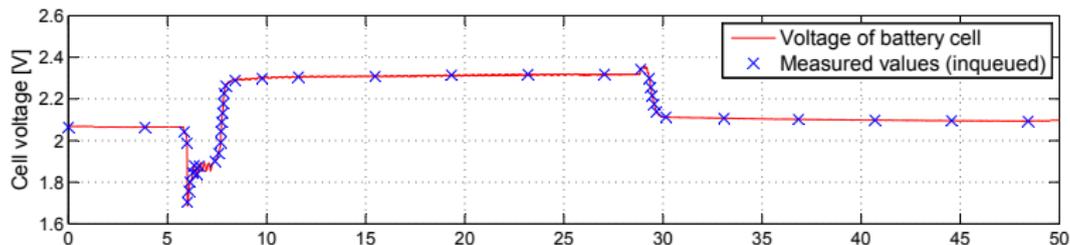


- Hohe Dynamik:  
Messrate  $>$  Senderate
- Niedrige Dynamik:  
Messrate  $<$  Senderate
- Ruhe:  
Messrate und Senderate niedrig

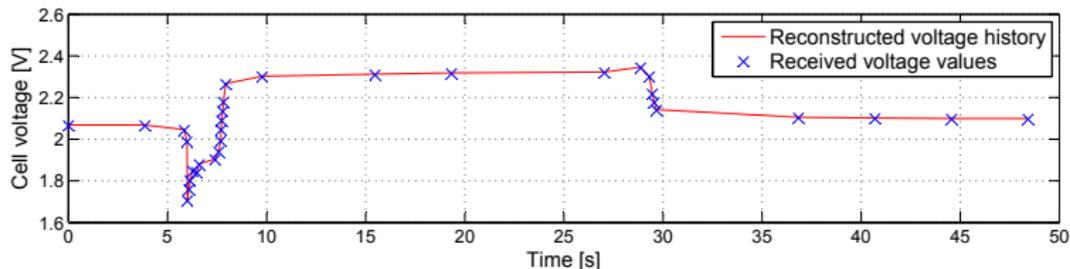
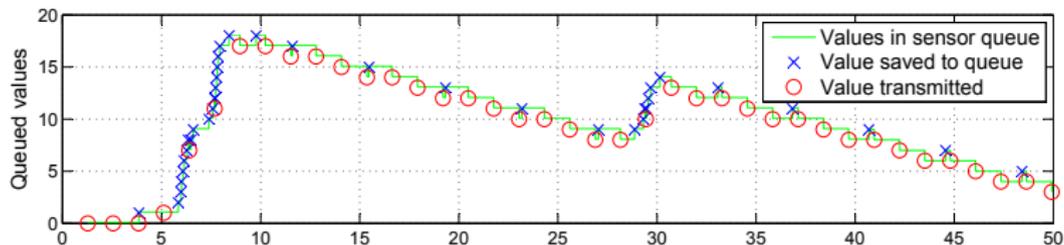
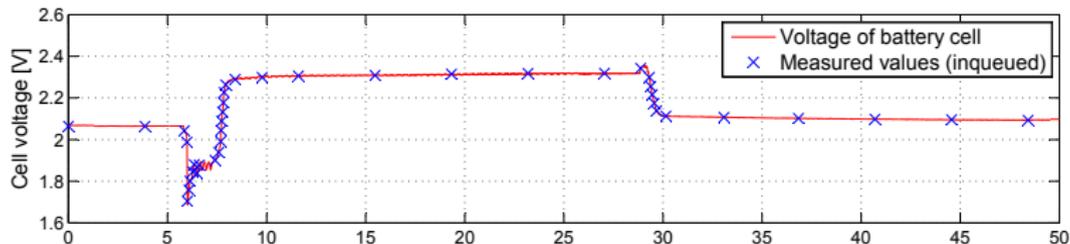
# Erfassung



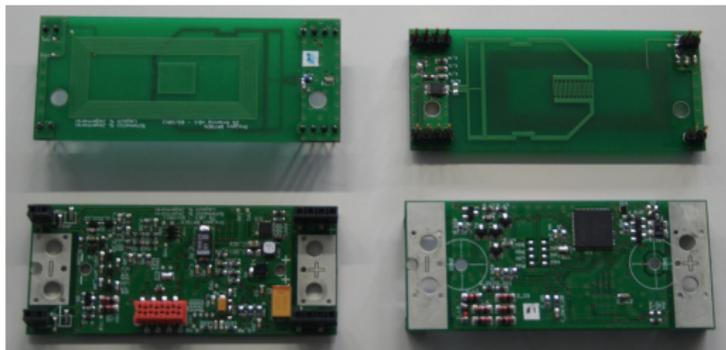
# Erfassung & Zwischenspeicherung



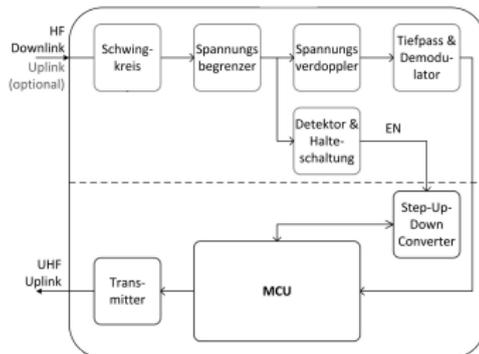
# Erfassung & Zwischenspeicherung & Rekonstruktion



# Aufbau Sensor Klasse 2



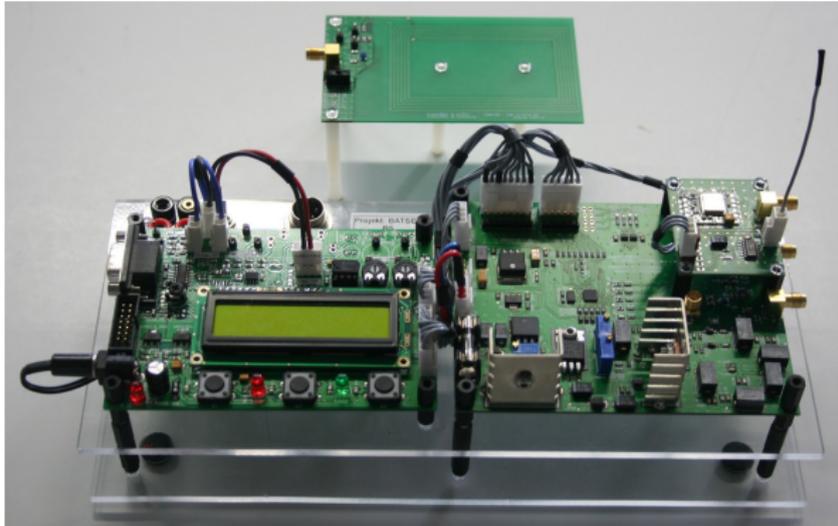
Klasse 2 Sensoren mit Antennen- und Sensorplatine [6]



Blockschaltbild Klasse 2 Sensoren [6]

- 'Hybrid' aus RFID-Chipkarte und UHF-Sender
- Passive Empfänger wie Chipkarte
- Quarzloser Senderchip für Uplink
- Wake-Up-Funktion und Synchronisierung der Messzeitpunkte

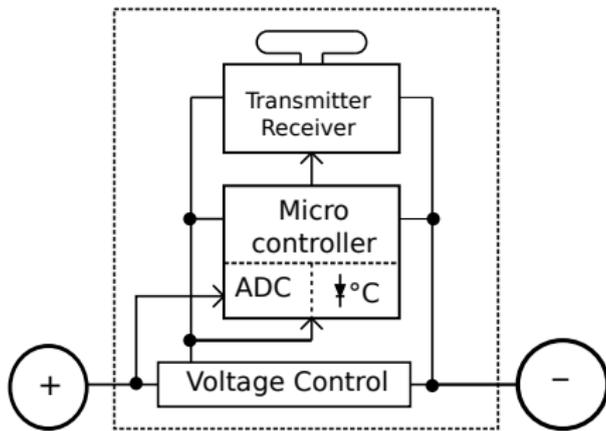
# Batteriesteuergerät Klasse 2



Batteriesteuergerät Klasse 2 [6]

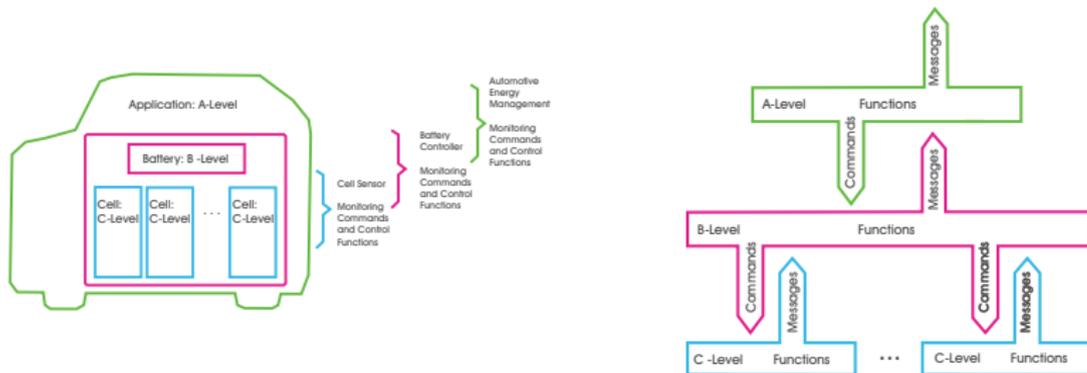
- Aufbau ähnlich RFID-Reader und Uplink-Receiver
- Gedruckte Spule als Antenne

## Vorgesehener Aufbau Sensor Klasse 3



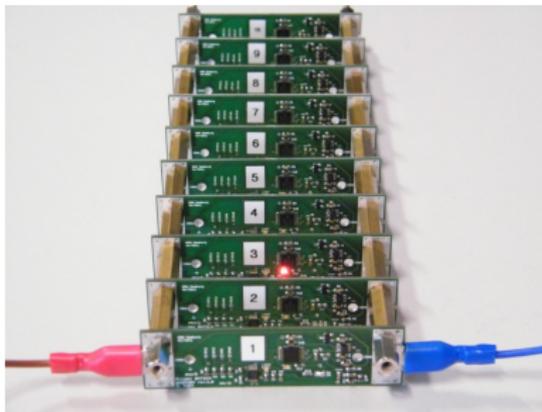
- Kommunikation ähnlich ZigBee oder Bluetooth
- Uplink und Downlink im selben Frequenzband
- Gezieltes Ansprechen der Sensoren
- Zentral gesteuerte Zellenbalancierung möglich
- Kostenbewertung noch unklar

# Battery Management and Control Language (BMCL)



- Gliederung der Funktions- und Kommunikationsstruktur in mehrere Schichten entsprechend den Systemkomponenten
- Steuersprache zur stufenweisen Abstraktion der Parameter und Batterie-Technologie im Überwachungssystem

# Kalibrierung und Versuchsmessungen



Parallelschaltung von Sensoren zur Kalibrierung [4]



Erprobung im Automobil-Bordnetz [11]

- Fehler-Vermessung mit Temperaturschrank (-40 bis 85 °C)
- Kalibrierwerte in jeden Sensor einspeichern
- Kompensationsrechnung erfolgt im Sensorcontroller

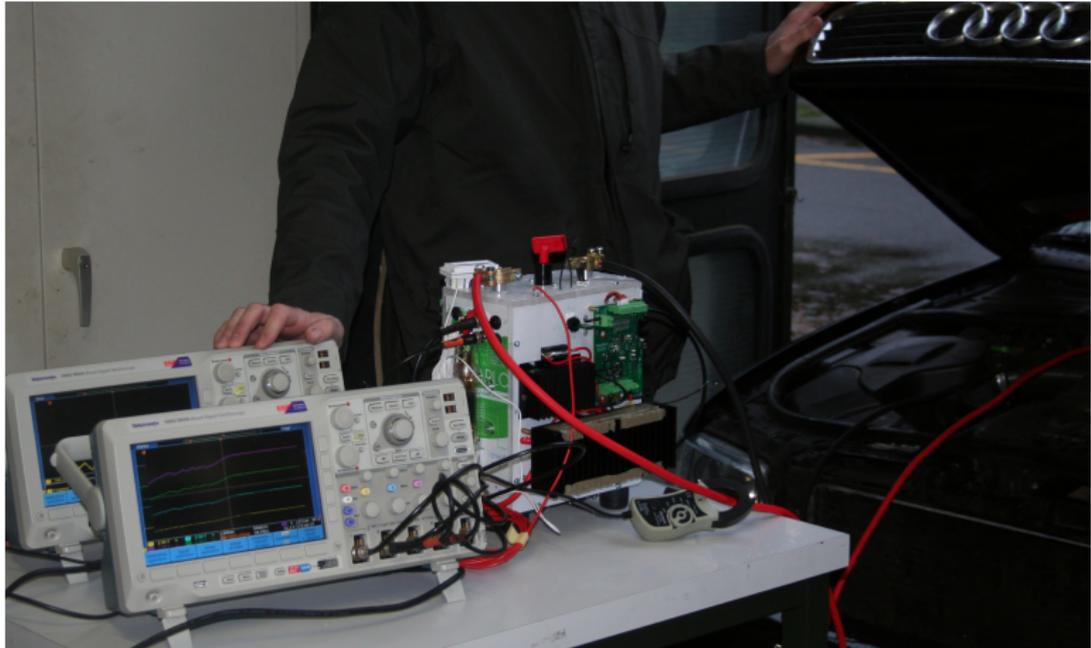
# Forschungsgruppe BATSEN an der HAW

- Klasse 1 System praktisch erprobt  
Erste Ergebnisse Gabelstapler und Starterbatterie
- Klasse 2 aufgebaut und im Labor getestet  
Erprobung 2 am Gabelstapler geplant
- Klasse 3 wird vorbereitet  
Erste Steuersprachen-Elemente (BMCL) implementiert

## Nächste Schritte:

- Drahtlose Sensoren für Lithium-Technologie anpassen  
Monitoring für langlebige Lithium-Gabelstaplerbatterien
- Aufbau des **Batterie-Test-Labors** der HAW  
Beitrag zum Graduiertenkolleg mit der Universität Hamburg

# Derzeit an der HAW Hamburg in Arbeit: Lithium-Eisenphosphat-Starterbatterie



Elektronisch überwachte Lithium-Eisenphosphat-Starterbatterie - Prototyp an der HAW Hamburg

# Herausforderungen

Batterien sind der einzig kritische "Flaschenhals" der Elektromobilität:

- Leistung steigern !
- Kosten senken !
- Lebensdauer und Sicherheit garantieren !
- ... unterstützt mit passenden Zellsensoren ...

# Abschlussarbeiten u. Referenzen Projekt BATSEN

- [1] Eger, Torsten; Diploma Thesis. HAW Hamburg 2008
- [2] A. Gisch, Industrial Internship Report, HAW Hamburg, 2011
- [3] Hoops A., Industrial Internship Report, HAW Hamburg 2010
- [4] Ilgin, S.; Bachelorthesis HAW Hamburg 2011
- [5] Ilgin, S., Jegenhorst, N, Kube, R., Püttjer, S., Riemschneider, K.-R., Schneider. M., Vollmer, J. Automotive Battery Monitoring by Wireless Cell Sensors. accepted IEEE International Instrumentation and Measurement Technology Conference I2MTC Graz 2012
- [6] Jegenhorst, N.; Masterthesis HAW Hamburg 2011
- [7] Krannich, T.; Diploma Thesis. HAW Hamburg 2008
- [8] Krannich T., Plaschke S., Riemschneider K.-R., Vollmer J.; Drahtlose Sensoren für Batterie-Zellen - ein Diskussionsbeitrag aus Sicht einer Anwendung; 8. GI/ITG KuVS Fachgespräch "'Drahtlose Sensornetze"' 2009
- [9] Kube, R.; Masterthesis, HAW Hamburg 2011
- [10] Plaschke, S.; Experimentalsystem für drahtlose Batteriesensorik; Diploma Thesis. 2008
- [11] Püttjer, S.; Diplom Thesis HAW Hamburg 2011
- [12] Riemschneider, K.-R., Schneider, M., Drahtlose Sensoren in den Zellen von Fahrzeug-Batterien., 21. International Scientific Conference Mittweida 2011

# Acknowledgements

The research project 'BATSEN' is financial sponsored from the German Federal Ministry of Education and Research BMBF.



**STILL**  
bertrandt

ELEKTRONIK  
**fey**

o.m.t  
**Coilcraft**



Bundesministerium  
für Bildung  
und Forschung

Supporting and sponsoring industrial partners:

- Volkswagen AG Wolfsburg (Automobiles)
- Bertrandt AG Wolfsburg (Automotive Engineering and Development Service)
- Still GmbH Hamburg (Forklifts)
- OMT/ECC GmbH Lübeck, Geesthacht (Battery Producer & Lithium Technology)
- Fey Electronic GmbH Seevetal (Battery Systems & Importer)
- Coilcraft Ltd. Cary US/Cumbernauld UK (Electronic Components)

Interreg IVB North Sea project

e-mobility NSR

[www.e-mobility-nsr.eu](http://www.e-mobility-nsr.eu)

The Interreg IVB  
North Sea Region  
Programme



This project is part-financed by the EU

Partially granted by the European Commission / Interreg NSR IV Project and the Forschungs- and Wissenschaftsstiftung Hamburg.



Vielen Dank für das Interesse !

Kontakt:

Juergen.Vollmer@haw-hamburg.de

Karl-Ragmar.Riemschneider@haw-hamburg.de

Guenter.Mueller@haw-hamburg.de

Matthias.Schneider@haw-hamburg.de

