

# **Drahtlose Sensoren für Batterie-Zellen**

**- ein Diskussionsbeitrag aus Sicht einer Anwendung -**

Tobias Krannich, Stephan Plaschke,  
Karl-Ragmar Riemschneider, Jürgen Vollmer

HAW Hamburg  
Fakultät Technik und Informatik  
Department Informations- und Elektrotechnik

15. August 2009

# Markt - Große vielzellige Batterien

- Nahziel - Industrie-Anwendung: **Gabelstapler-Traktionsbatterien**
  - ▶ 1000-4000 Euro, 5-50 kWh, 200 - 1500 kg, 12-40 Zellen in Reihe
  - ▶ Ziel: Wirtschaftlichkeit, betriebliche Verfügbarkeit der Batterie
  - ▶ Herausforderung: Batteriemodellierung, Systemintegration
  
- Fernziel - Massenanwendung: **Automobilbatterien**
  - ▶ 20-40 Euro, ca. 0.5 kWh, 15 kg, 6 Zellen in Reihe
  - ▶ Ziel: Prognosefunktion für sicherheitsrelevante elektrische Funktion (wie elektrische Bremsen)
  - ▶ Herausforderungen: **Kosten = 1 Euro je Sensor**, Systemintegration, Messregime, Massenprodukt, Produktqualifikation ...

# Markt - Große vielzellige Batterien

- Nahziel - Industrie-Anwendung: **Gabelstapler-Traktionsbatterien**
  - ▶ 1000-4000 Euro, 5-50 kWh, 200 - 1500 kg, 12-40 Zellen in Reihe
  - ▶ Ziel: Wirtschaftlichkeit, betriebliche Verfügbarkeit der Batterie
  - ▶ Herausforderung: Batteriemodellierung, Systemintegration
  
- Fernziel - Massenanwendung: **Automobilbatterien**
  - ▶ 20-40 Euro, ca. 0.5 kWh, 15 kg, 6 Zellen in Reihe
  - ▶ Ziel: Prognosefunktion für sicherheitsrelevante elektrische Funktion (wie elektrische Bremsen)
  - ▶ Herausforderungen: **Kosten = 1 Euro je Sensor**, Systemintegration, Messregime, Massenprodukt, Produktqualifikation ...

# Markt - Große vielzellige Batterien

- Nahziel - Industrie-Anwendung: **Gabelstapler-Traktionsbatterien**
  - ▶ 1000-4000 Euro, 5-50 kWh, 200 - 1500 kg, 12-40 Zellen in Reihe
  - ▶ Ziel: Wirtschaftlichkeit, betriebliche Verfügbarkeit der Batterie
  - ▶ Herausforderung: Batteriemodellierung, Systemintegration
  
- Fernziel - Massenanwendung: **Automobilbatterien**
  - ▶ 20-40 Euro, ca. 0.5 kWh, 15 kg, 6 Zellen in Reihe
  - ▶ Ziel: Prognosefunktion für sicherheitsrelevante elektrische Funktion (wie elektrische Bremsen)
  - ▶ Herausforderungen: **Kosten = 1 Euro je Sensor**, Systemintegration, Messregime, Massenprodukt, Produktqualifikation ...

# Warum jede Batteriezelle einzeln überwachen ?

- Die Reihenschaltung der Zellen bedeutet:

$$I_{Bat} = I_{Zellen} \text{ aber } U_{Bat} = \sum U_{Zellen}$$

- State of Health (SOH) = Lebensdauerzustand
- State of Charge (SOC) = Ladezustand
- Alterung der Batterie:  $SOH_{Zelle_1} \neq SOH_{Zelle_2} \neq \dots SOH_{Zelle_n}$
- Daher wird:  $SOC_{Zelle_1} \neq SOC_{Zelle_2} \neq \dots SOC_{Zelle_n}$
- Das ist messbar durch:  $U_{Zelle_1} \neq U_{Zelle_2} \neq \dots U_{Zelle_n}$

Nur wenn ungleiche Zellspannungen erfassbar sind, dann werden Überladungen und Tiefentladungen einzelner Zellen erkannt !

**Schädigungen/Frühausfälle sind vermeidbar**

**Prognose wird wesentlich verbessert**

# Warum jede Batteriezelle einzeln überwachen ?

- Die Reihenschaltung der Zellen bedeutet:

$$I_{Bat} = I_{Zellen} \text{ aber } U_{Bat} = \sum U_{Zellen}$$

- State of Health (SOH) = Lebensdauerzustand
- State of Charge (SOC) = Ladezustand
- Alterung der Batterie:  $SOH_{Zelle_1} \neq SOH_{Zelle_2} \neq \dots SOH_{Zelle_n}$
- Daher wird:  $SOC_{Zelle_1} \neq SOC_{Zelle_2} \neq \dots SOC_{Zelle_n}$
- Das ist messbar durch:  $U_{Zelle_1} \neq U_{Zelle_2} \neq \dots U_{Zelle_n}$

Nur wenn ungleiche Zellspannungen erfassbar sind, dann werden Überladungen und Tiefentladungen einzelner Zellen erkannt !

Schädigungen/Frühausfälle sind vermeidbar

Prognose wird wesentlich verbessert

# Warum jede Batteriezelle einzeln überwachen ?

- Die Reihenschaltung der Zellen bedeutet:

$$I_{Bat} = I_{Zellen} \text{ aber } U_{Bat} = \sum U_{Zellen}$$

- State of Health (SOH) = Lebensdauerzustand
- State of Charge (SOC) = Ladezustand
- Alterung der Batterie:  $SOH_{Zelle_1} \neq SOH_{Zelle_2} \neq \dots SOH_{Zelle_n}$
- Daher wird:  $SOC_{Zelle_1} \neq SOC_{Zelle_2} \neq \dots SOC_{Zelle_n}$
- Das ist messbar durch:  $U_{Zelle_1} \neq U_{Zelle_2} \neq \dots U_{Zelle_n}$

Nur wenn ungleiche Zellspannungen erfassbar sind, dann werden Überladungen und Tiefentladungen einzelner Zellen erkannt !

Schädigungen/Frühausfälle sind vermeidbar

Prognose wird wesentlich verbessert

# Warum jede Batteriezelle einzeln überwachen ?

- Die Reihenschaltung der Zellen bedeutet:

$$I_{Bat} = I_{Zellen} \text{ aber } U_{Bat} = \sum U_{Zellen}$$

- State of Health (SOH) = Lebensdauerzustand
- State of Charge (SOC) = Ladezustand
- Alterung der Batterie:  $SOH_{Zelle_1} \neq SOH_{Zelle_2} \neq \dots SOH_{Zelle_n}$
- Daher wird:  $SOC_{Zelle_1} \neq SOC_{Zelle_2} \neq \dots SOC_{Zelle_n}$
- Das ist messbar durch:  $U_{Zelle_1} \neq U_{Zelle_2} \neq \dots U_{Zelle_n}$

Nur wenn ungleiche Zellspannungen erfassbar sind, dann werden Überladungen und Tiefentladungen einzelner Zellen erkannt !

Schädigungen/Frühausfälle sind vermeidbar

Prognose wird wesentlich verbessert

# Warum jede Batteriezelle einzeln überwachen ?

- Die Reihenschaltung der Zellen bedeutet:

$$I_{Bat} = I_{Zellen} \text{ aber } U_{Bat} = \sum U_{Zellen}$$

- State of Health (SOH) = Lebensdauerzustand
- State of Charge (SOC) = Ladezustand
- Alterung der Batterie:  $SOH_{Zelle_1} \neq SOH_{Zelle_2} \neq \dots SOH_{Zelle_n}$
- Daher wird:  $SOC_{Zelle_1} \neq SOC_{Zelle_2} \neq \dots SOC_{Zelle_n}$
- Das ist messbar durch:  $U_{Zelle_1} \neq U_{Zelle_2} \neq \dots U_{Zelle_n}$

Nur wenn ungleiche Zellspannungen erfassbar sind, dann werden Überladungen und Tiefentladungen einzelner Zellen erkannt !

Schädigungen/Frühausfälle sind vermeidbar

Prognose wird wesentlich verbessert

# Warum jede Batteriezelle einzeln überwachen ?

- Die Reihenschaltung der Zellen bedeutet:

$$I_{Bat} = I_{Zellen} \text{ aber } U_{Bat} = \sum U_{Zellen}$$

- State of Health (SOH) = Lebensdauerzustand
- State of Charge (SOC) = Ladezustand
- Alterung der Batterie:  $SOH_{Zelle_1} \neq SOH_{Zelle_2} \neq \dots SOH_{Zelle_n}$
- Daher wird:  $SOC_{Zelle_1} \neq SOC_{Zelle_2} \neq \dots SOC_{Zelle_n}$
- Das ist messbar durch:  $U_{Zelle_1} \neq U_{Zelle_2} \neq \dots U_{Zelle_n}$

Nur wenn ungleiche Zellspannungen erfassbar sind, dann werden Überladungen und Tiefentladungen einzelner Zellen erkannt !

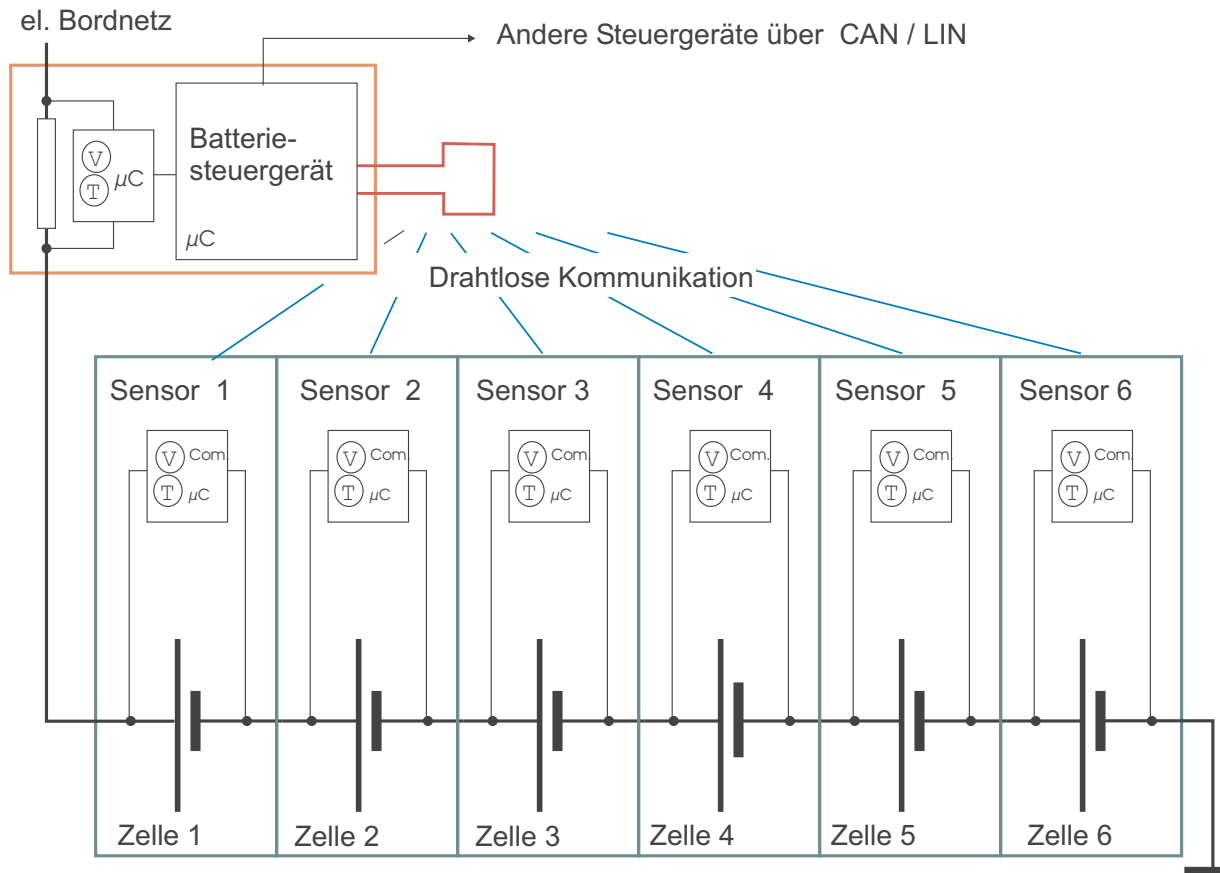
**Schädigungen/Frühausfälle sind vermeidbar**

**Prognose wird wesentlich verbessert**

# Warum Batteriezellen drahtlos überwachen ?

	Zugang zu den Messwerten	
	verdrahtet	drahtlos
aufwändige Messkabel u. Stecker	☹️☹️	😊
kompatible Konstruktion	☹️	😊
Robustheit	☹️	😊😊
Potentialtrennung	☹️	😊
säurefeste Werkstoffe/Kapselung	☹️	☹️
Synchronisation zur Bordnetzfunktion	😊	? ?
Effektoreinbindung (Zellenbalance)	😊	😊
Kosten	☹️	😊

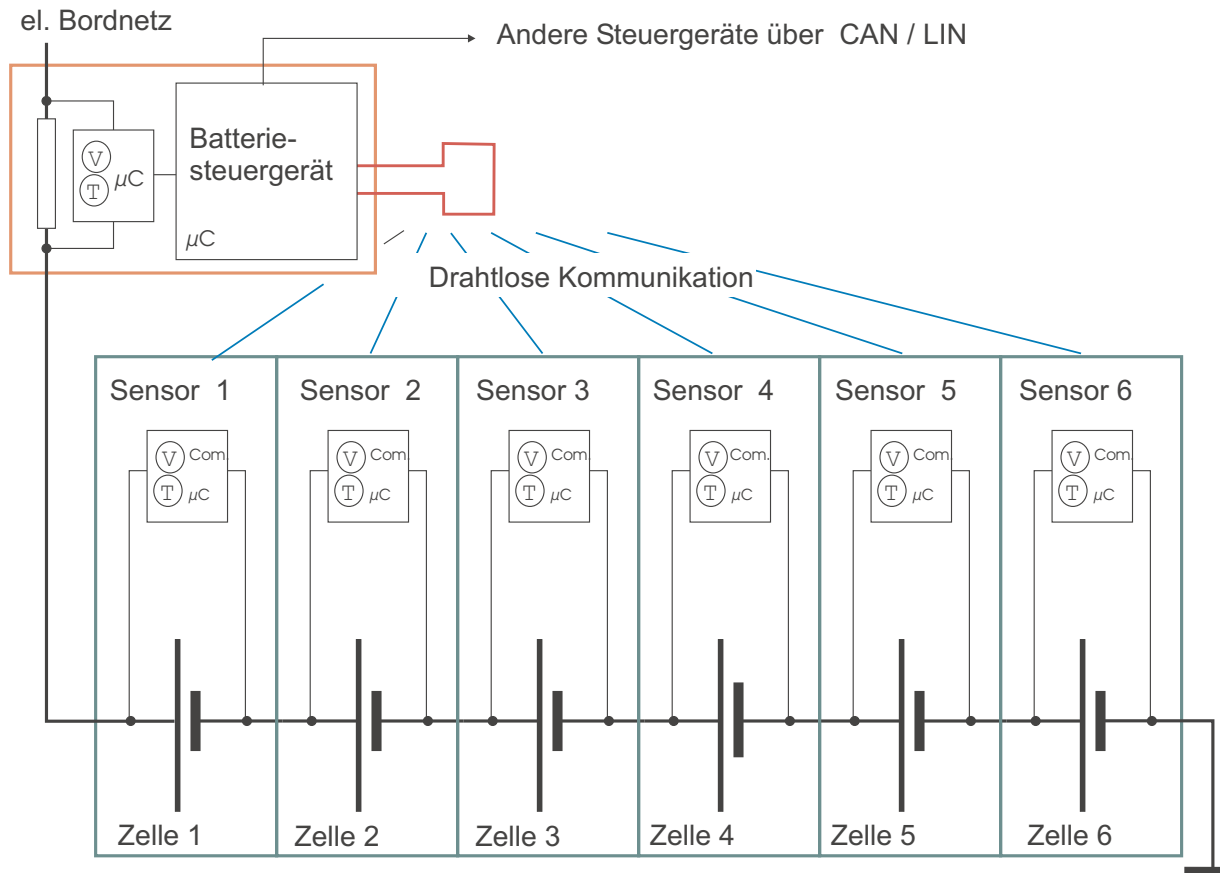
# Sensornetz



Kombination dezentraler und zentraler Sensoren in Sternstruktur

- **Spannungs- und Temperaturmessung** dezentral in jeder Zelle
- zentrale **Strommessung** verbunden mit Batteriesteuergerät

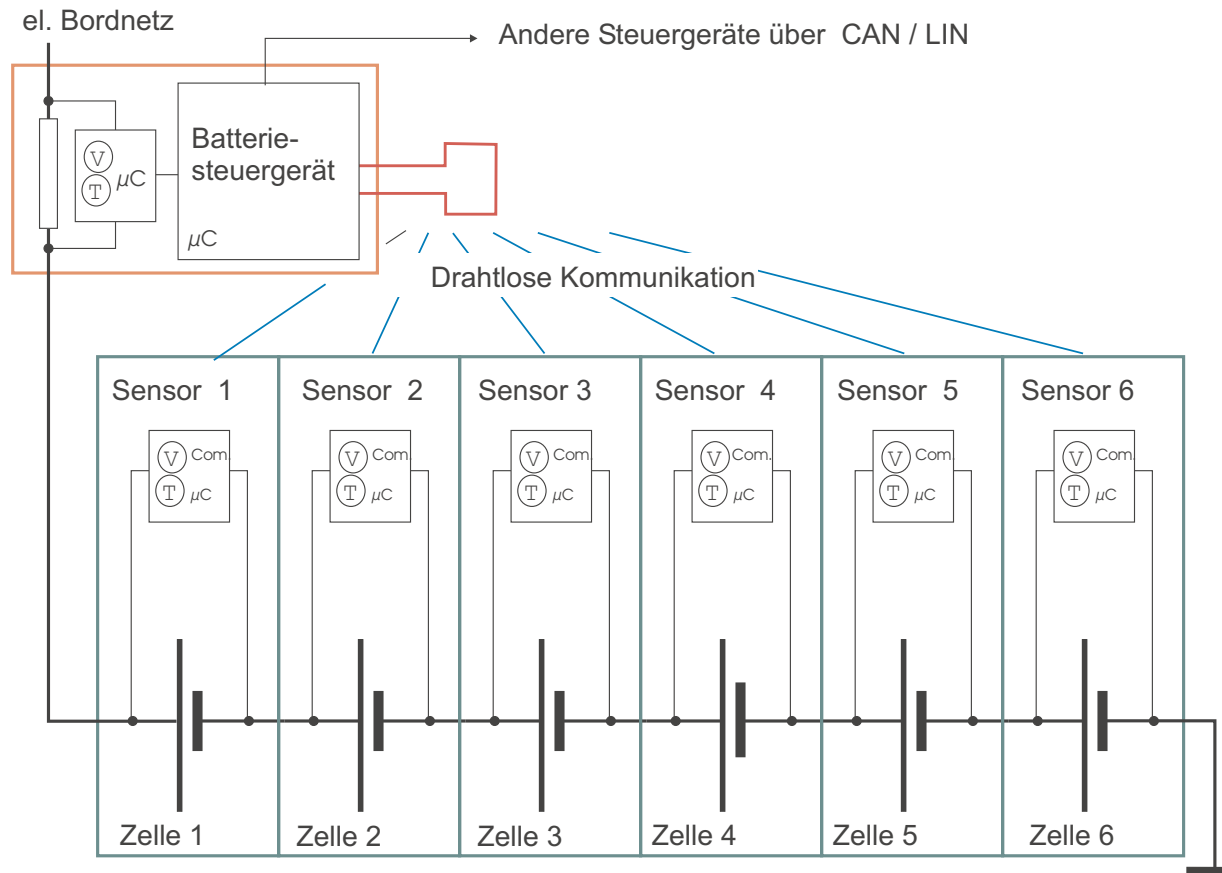
# Sensornetz



Kombination dezentraler und zentraler Sensoren in Sternstruktur

- **Spannungs- und Temperaturmessung** dezentral in jeder Zelle
- zentrale **Strommessung** verbunden mit Batteriesteuergerät

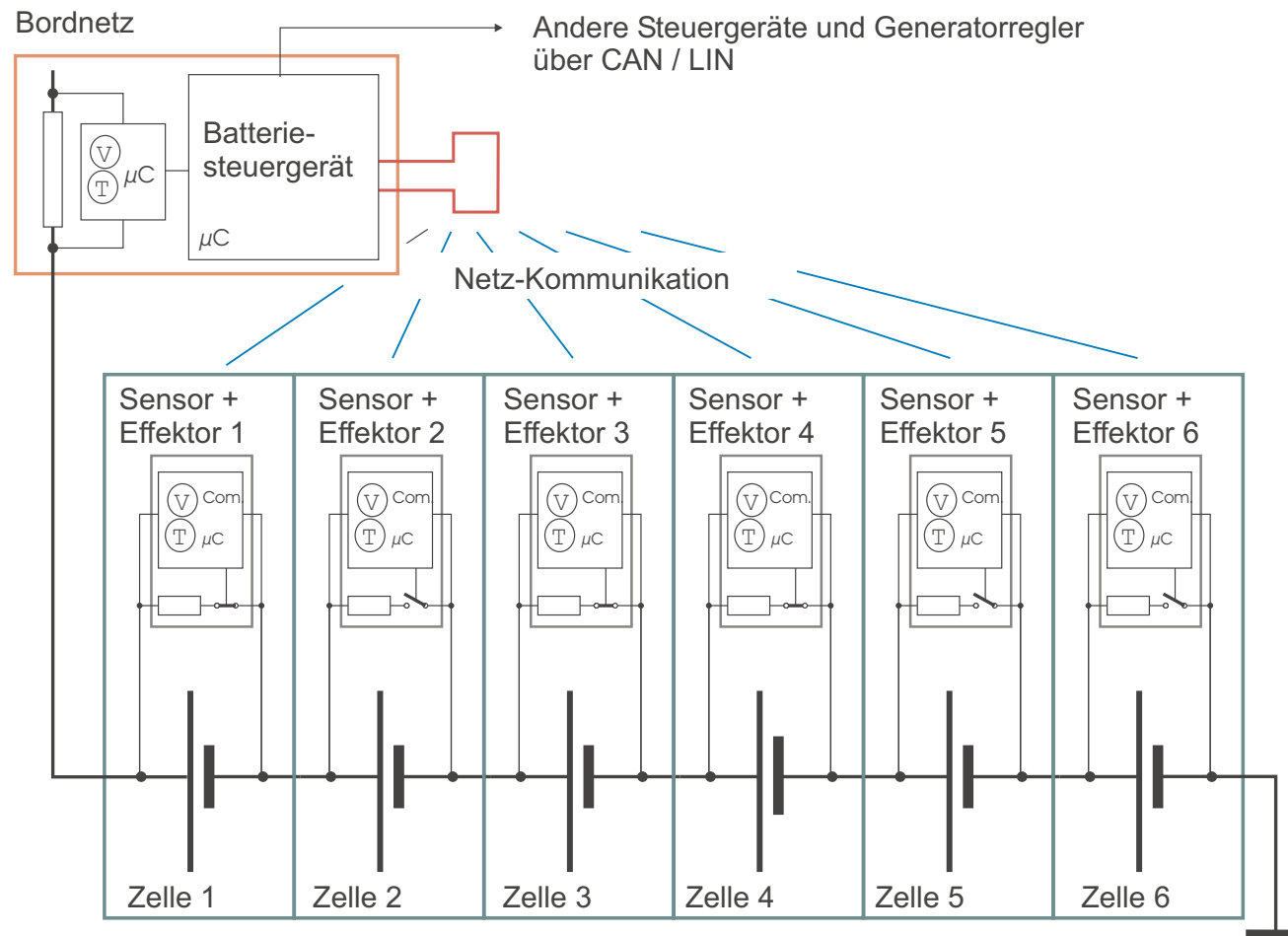
# Sensornetz



Kombination dezentraler und zentraler Sensoren in Sternstruktur

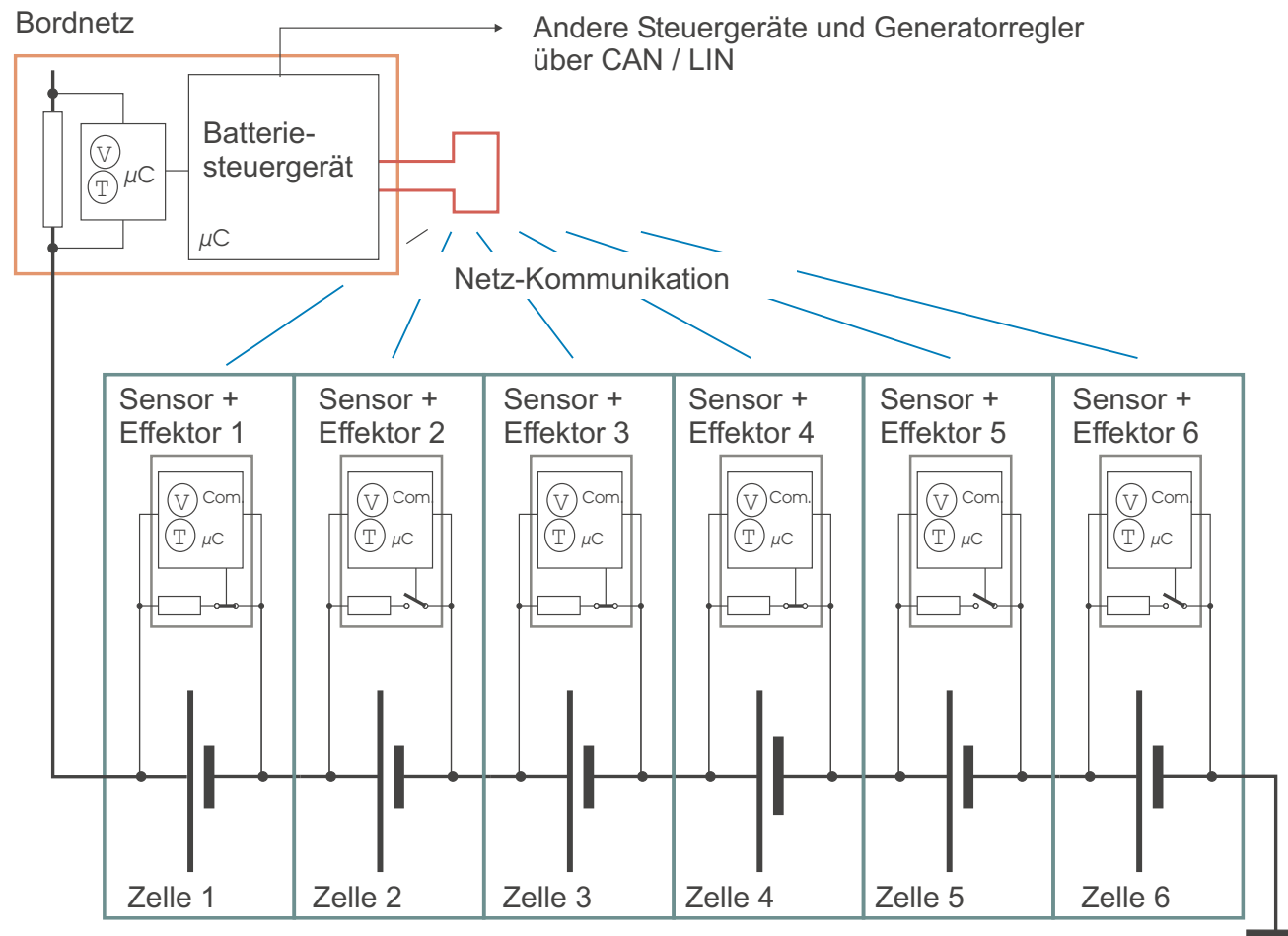
- **Spannungs- und Temperaturmessung** dezentral in jeder Zelle
- zentrale **Strommessung** verbunden mit Batteriesteuergerät

# Option: Effektor am Sensor zur Ladungsbalancierung



Durch einen **schaltbaren Parallelstrompfad** über jeder Zelle kann die Ladung der Zellen teilweise /über längere Zeit **angeglichen** werden (Praktische Untersuchung geplant).

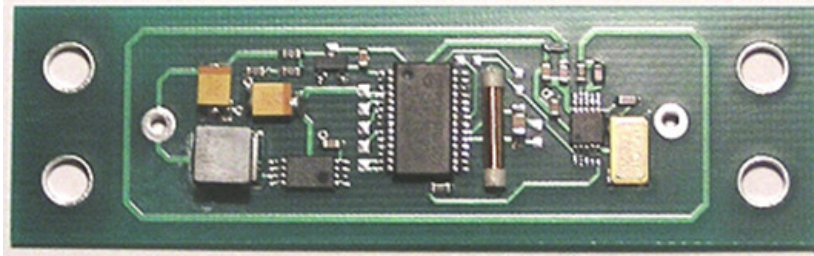
# Option: Effektor am Sensor zur Ladungsbalancierung



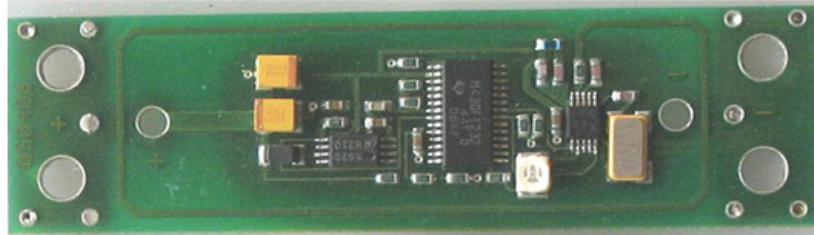
Durch einen **schaltbaren Parallelstrompfad** über jeder Zelle kann die Ladung der Zellen teilweise /über längere Zeit **angeglichen** werden (Praktische Untersuchung geplant).



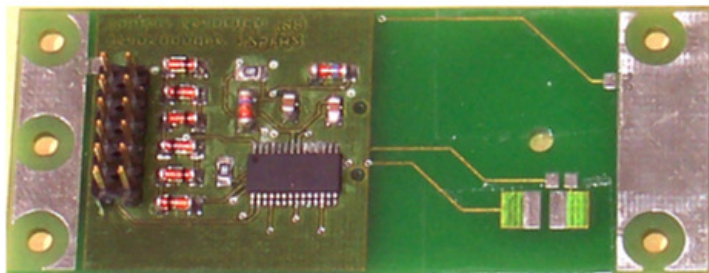
# Sensorvarianten aus Arbeiten an der HAW Hamburg



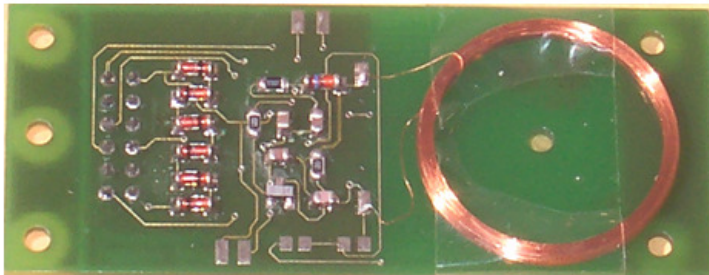
- 1 Uplink = UHF (433 MHz OOK-AM)  
Downlink = LF (125kHz Wakeup)



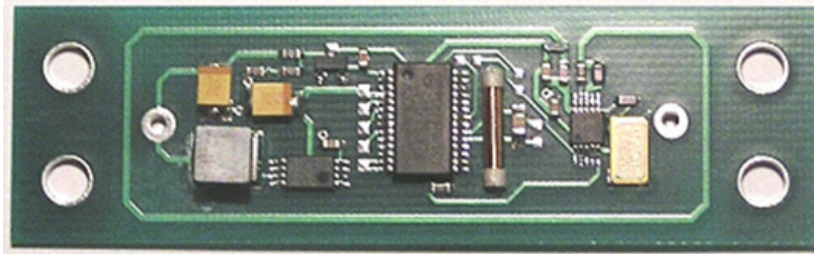
- 2 Uplink = UHF (433 MHz OOK-AM)  
Downlink ohne  
1. Versuchserie für Gabelstapler



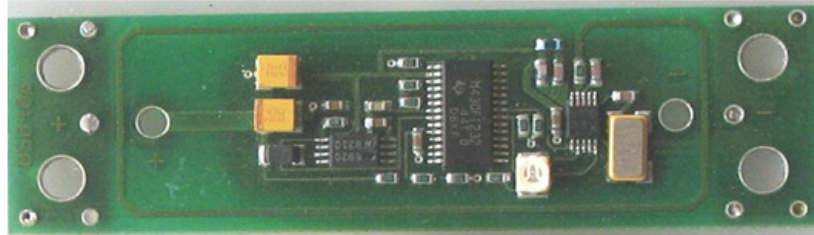
- 3 Uplink = LF (125 kHz Last-Mod. AM)  
Downlink = LF (125 kHz AM)



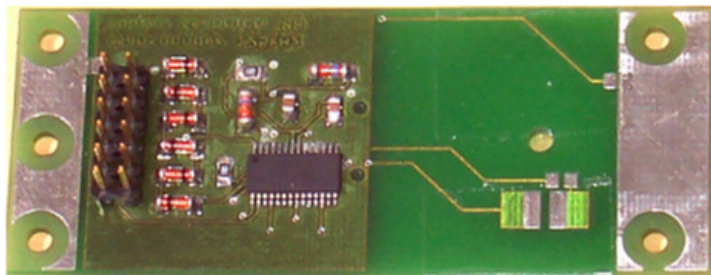
# Sensorvarianten aus Arbeiten an der HAW Hamburg



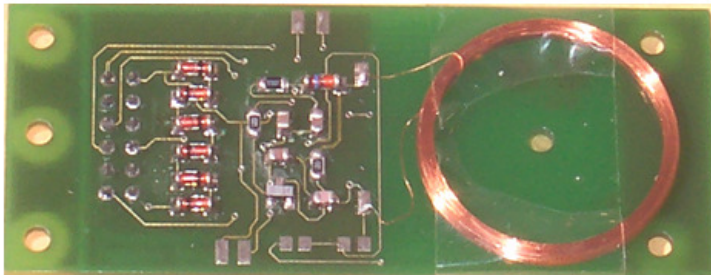
- 1 Uplink = UHF (433 MHz OOK-AM)  
Downlink = LF (125kHz Wakeup)



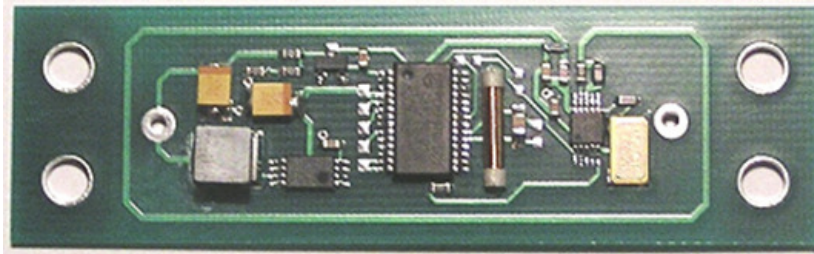
- 2 Uplink = UHF (433 MHz OOK-AM)  
Downlink ohne  
1. Versuchserie für Gabelstapler



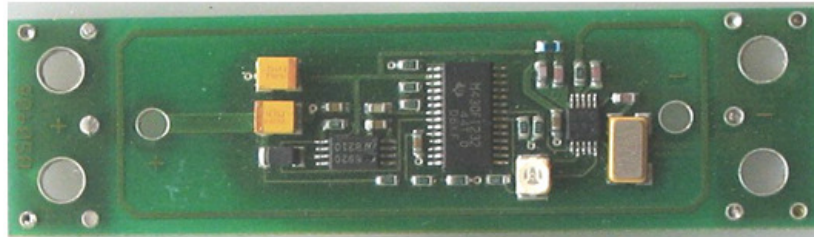
- 3 Uplink = LF (125 kHz Last-Mod. AM)  
Downlink = LF (125 kHz AM)



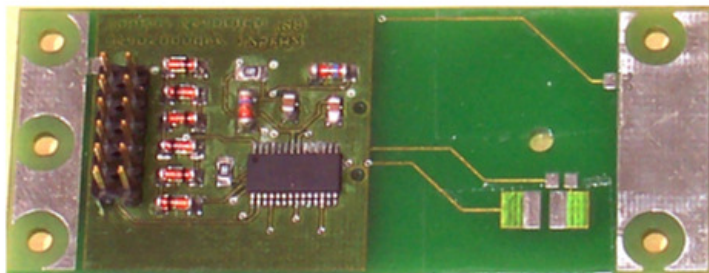
# Sensorvarianten aus Arbeiten an der HAW Hamburg



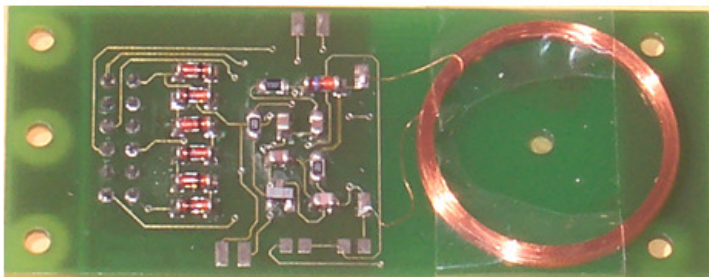
- 1 Uplink = UHF (433 MHz OOK-AM)  
Downlink = LF (125kHz Wakeup)



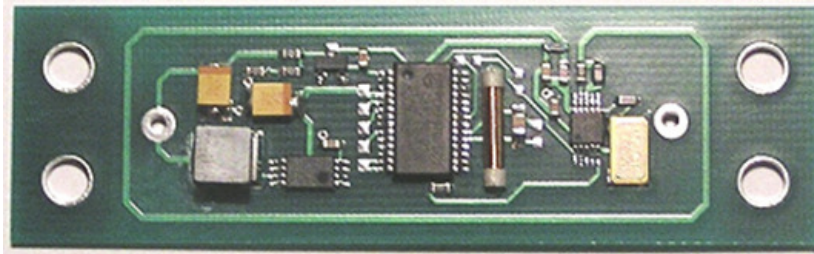
- 2 Uplink = UHF (433 MHz OOK-AM)  
Downlink ohne  
1. Versuchserie für Gabelstapler



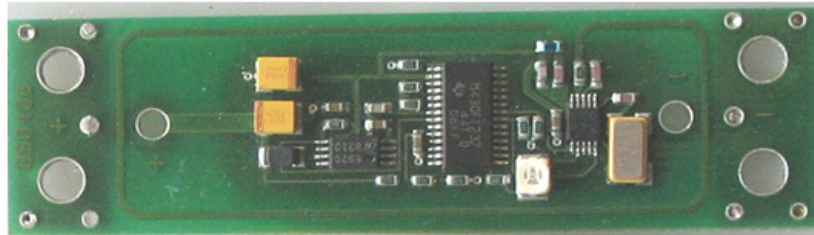
- 3 Uplink = LF (125 kHz Last-Mod. AM)  
Downlink = LF (125 kHz AM)



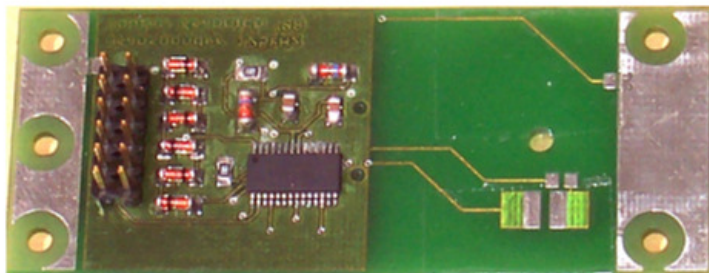
# Sensorvarianten aus Arbeiten an der HAW Hamburg



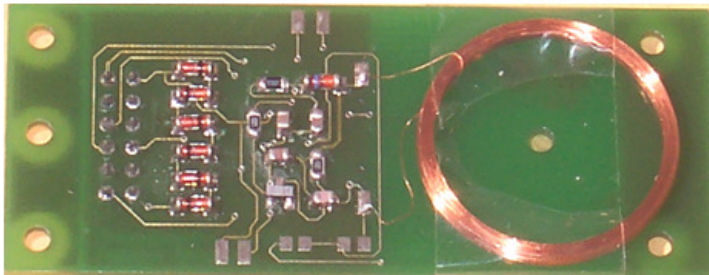
- 1 Uplink = UHF (433 MHz OOK-AM)  
Downlink = LF (125kHz Wakeup)



- 2 Uplink = UHF (433 MHz OOK-AM)  
Downlink ohne  
1. Versuchserie für Gabelstapler



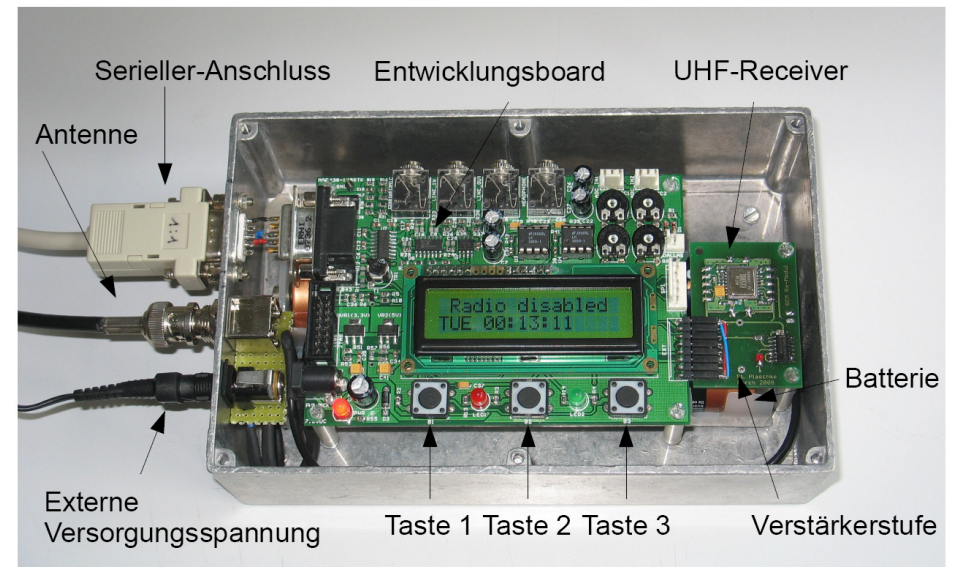
- 3 Uplink = LF (125 kHz Last-Mod. AM)  
Downlink = LF (125 kHz AM)



# Versuchssensoren Gabelstapler



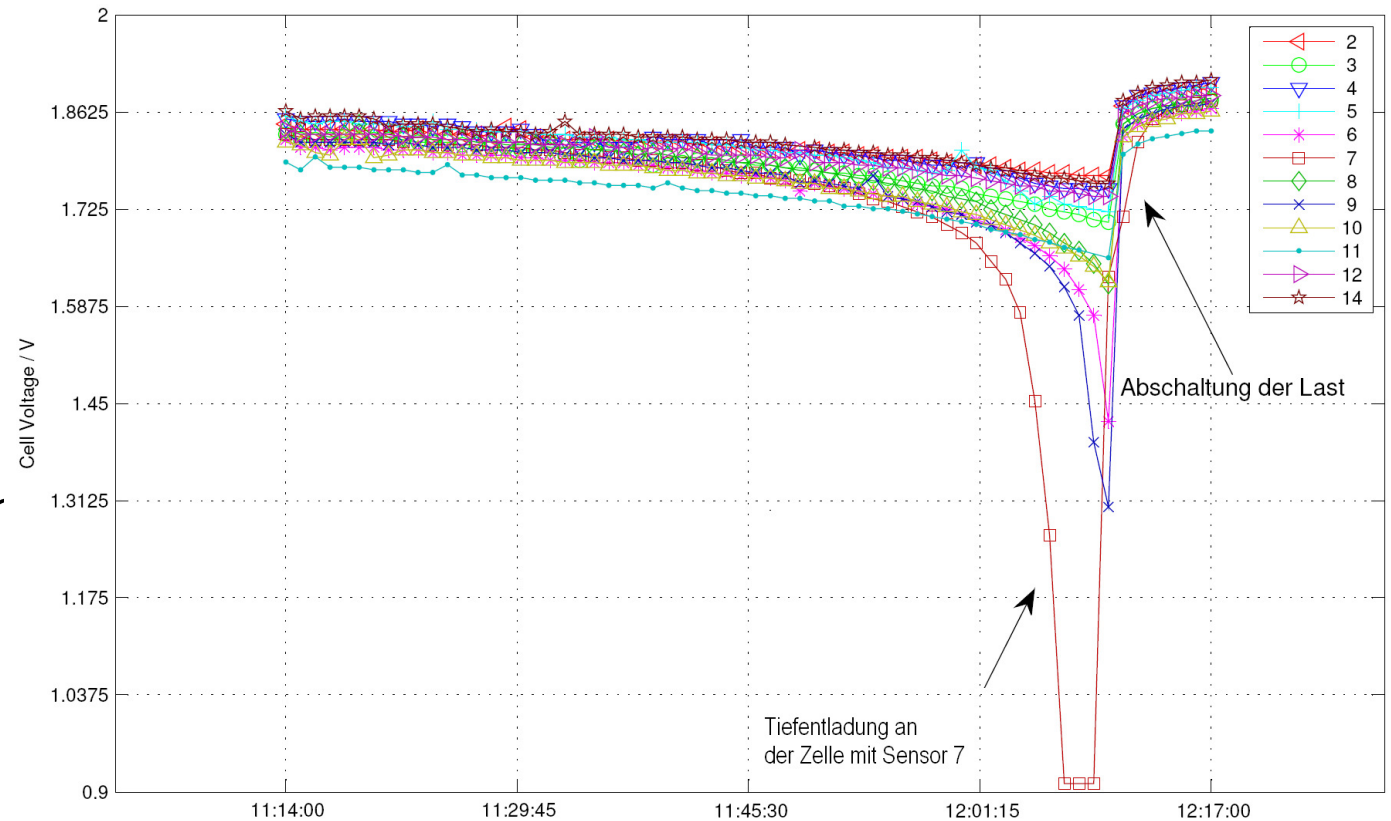
Sensoren auf dem Gabelstapler der HAW



Steuergerät / Datalogger (S. Plaschke)

# Erste Ergebnisse (Beispiel Entladung)

- Gealterte Batterie
- Abfall der Zellenspannung sehr unterschiedlich
- schädigende Tiefentladung an einer Zelle wird erkannt
- Entladungsende zukünftig davor notwendig



Entladung mit Antriebsmotor unter Vollast  
über 1 : 15 h (S. Plaschke)

# Aspekte der Lösung

- Datenrate weit geringer als Zigbee/IEEE-802.15.4
  - statistische Messung/Erfassung, jedoch ist synchronisierte Messung auf sehr kurze Hochstromentladung geplant
  - kein Quarz für Sensorcontroller erforderlich (Kostenvorteil)
  - Chip-integrierte Zeitbasis (RC-Oszillator) im Uplink verwendet
  - Einmessung auf dessen Zeitfehler erfolgt jeweils im Steuergerät
  - Problem: ISM-Regularien für Standardverfahren erfordern zwingend einen Quarz (z.B. 433 MHz +/- 1MHz entspr. 0.5%)
  - Lösungsansatz: auch LF-Uplink mit 125KHz ähnl. RF-ID Transponder
  - ein Ultra-Low-Power-Controller (hier MSP430F1232) läßt auch den passiven Transponder-Betrieb zu (d.h. Versorgung über LF)
  - Zumindest für Wakeup/Synchronisierung ist LF-Downlink (ähnlich Transponder) vorgesehen
- Vorarbeiten (T. Krannich) dazu erfolgversprechend

# Aspekte der Lösung

- Datenrate weit geringer als Zigbee/IEEE-802.15.4
  - statistische Messung/Erfassung, jedoch ist synchronisierte Messung auf sehr kurze Hochstromentladung geplant
  - kein Quarz für Sensorcontroller erforderlich (Kostenvorteil)
  - Chip-integrierte Zeitbasis (RC-Oszillator) im Uplink verwendet
  - Einmessung auf dessen Zeitfehler erfolgt jeweils im Steuergerät
  - Problem: ISM-Regularien für Standardverfahren erfordern zwingend einen Quarz (z.B. 433 MHz +/- 1MHz entspr. 0.5%)
  - Lösungsansatz: auch LF-Uplink mit 125KHz ähnl. RF-ID Transponder
  - ein Ultra-Low-Power-Controller (hier MSP430F1232) läßt auch den passiven Transponder-Betrieb zu (d.h. Versorgung über LF)
  - Zumindest für Wakeup/Synchronisierung ist LF-Downlink (ähnlich Transponder) vorgesehen
- Vorarbeiten (T. Krannich) dazu erfolgversprechend

# Aspekte der Lösung

- Datenrate weit geringer als Zigbee/IEEE-802.15.4
  - statistische Messung/Erfassung, jedoch ist synchronisierte Messung auf sehr kurze Hochstromentladung geplant
  - kein Quarz für Sensorcontroller erforderlich (Kostenvorteil)
  - Chip-integrierte Zeitbasis (RC-Oszillator) im Uplink verwendet
  - Einmessung auf dessen Zeitfehler erfolgt jeweils im Steuergerät
  - Problem: ISM-Regularien für Standardverfahren erfordern zwingend einen Quarz (z.B. 433 MHz +/- 1MHz entspr. 0.5%)
  - Lösungsansatz: auch LF-Uplink mit 125KHz ähnl. RF-ID Transponder
  - ein Ultra-Low-Power-Controller (hier MSP430F1232) läßt auch den passiven Transponder-Betrieb zu (d.h. Versorgung über LF)
  - Zumindest für Wakeup/Synchronisierung ist LF-Downlink (ähnlich Transponder) vorgesehen
- Vorarbeiten (T. Krannich) dazu erfolgversprechend

# Aspekte der Lösung

- Datenrate weit geringer als Zigbee/IEEE-802.15.4
- statistische Messung/Erfassung, jedoch ist synchronisierte Messung auf sehr kurze Hochstromentladung geplant
- kein Quarz für Sensorcontroller erforderlich (Kostenvorteil)
- Chip-integrierte Zeitbasis (RC-Oszillator) im Uplink verwendet
- Einmessung auf dessen Zeitfehler erfolgt jeweils im Steuergerät
- Problem: ISM-Regularien für Standardverfahren erfordern zwingend einen Quarz (z.B. 433 MHz +/- 1MHz entspr. 0.5%)
- Lösungsansatz: auch LF-Uplink mit 125KHz ähnl. RF-ID Transponder
- ein Ultra-Low-Power-Controller (hier MSP430F1232) läßt auch den passiven Transponder-Betrieb zu (d.h. Versorgung über LF)
- Zumindest für Wakeup/Synchronisierung ist LF-Downlink (ähnlich Transponder) vorgesehen

Vorarbeiten (T. Krannich) dazu erfolgversprechend

# Bewertung und Ausblick

Bewertung:

- Zellensensoren liefern wertvolle Informationen
- die Sensoren sind in bestehende Batteriekonstruktionen integrierbar
- drahtlose Messwertübertragung ist vorteilhaft und stabil

Offene Punkte für weitere Arbeiten sind u.a.:

- Erfassung von schnellen Laständerungen durch variables Messregime
- Bordnetzsynchonisierung anstelle der bisherigen statistischen Werterfassung
- Nutzung des Sensor-Controllers, um autark Bewertungen und Messregime-Entscheidungen zu treffen
- Konstruktive Fragen (z.B. Umspritzung), Feldversuche

# Bewertung und Ausblick

Bewertung:

- Zellensensoren liefern wertvolle Informationen
- die Sensoren sind in bestehende Batteriekonstruktionen integrierbar
- drahtlose Messwertübertragung ist vorteilhaft und stabil

Offene Punkte für weitere Arbeiten sind u.a.:

- Erfassung von schnellen Laständerungen durch variables Messregime
- Bordnetzsynchonisierung anstelle der bisherigen statistischen Werterfassung
- Nutzung des Sensor-Controllers, um autark Bewertungen und Messregime-Entscheidungen zu treffen
- Konstruktive Fragen (z.B. Umspritzung), Feldversuche

**Vielen Dank für das Interesse**

Fragen und Hinweise sind willkommen

[karl-ragmar.riemschneider@haw-hamburg.de](mailto:karl-ragmar.riemschneider@haw-hamburg.de)