



# Wechsel der Batterietechnologie bei Eisenbahnfahrzeugen der SBB

Kurzpräsentation @ [sbb-battery-redesign.cvengineering.ch](https://sbb-battery-redesign.cvengineering.ch)

- ▶ Christian Vögtli    Entwicklungsingenieur Batteriesystem    BFH-CSEM Energy Storage Research Centre ESReC    [christian.voegtli@bfh.ch](mailto:christian.voegtli@bfh.ch)
- ▶ Ueli Kramer        Projektleiter Energiemanagement                    SBB Personenverkehr – Operating – Flottentechnik    [ueli.kramer@sbb.ch](mailto:ueli.kramer@sbb.ch)

# Inhalt

- ▶ Ausgangslage, Projektziele und Status Quo
- ▶ Zellentechnologie  $\text{LiFeYPO}_4$
- ▶ Das Batterie Management System (BMS)
- ▶ Blick in die Werkstatt
- ▶ Projektverlauf und Ausblick

# Ausgangslage, Projektziele und Status Quo

- Ausgangslage
- Projektziele und Nutzen in Zahlen
- Systemvergleich und Aufbau
- Typisches Lastprofil



# Ausgangslage

## ▶ Einige Fakten

- ▶ Über 2000 t Bleibatterien, davon ca. 1400 t 36 V Batterien
- ▶ Einbau in Stahltrog (je 18 V)
- ▶ Geringe bis keine thermische Isolation
- ▶ Kein Monitoring bzw. keine Zustands-Überwachung (SoC / SoH)



## ▶ Aufgabe der Batterie

- ▶ Bordnetzversorgung bei regulären Unterbrüchen
  - ▶ Speisung von Beleuchtung und Lüftung beim Umspannen im Bahnhof
  - ▶ Bei «Schutzstrecken»
- ▶ Bordnetzversorgung in Notsituationen
  - ▶ Bei längerem Stromunterbruch (bis zu 3h)
  - ▶ Speisungsunterstützung bei aktivierter Magnetschienenbremse (Notbremse)



# Projektziele und Nutzen in Zahlen

- Gewichtsreduktion von ~200 kg/Batteriestrang (>65% Reduktion)
  - Einsparung von 26'000 Btkm im FV, 16'000 Btkm im RV



- Platzeinsparung um 50%



- Längere Lebensdauer durch Zelltechnologie und BMS

- Verschleissabhängige Einsatzdauer durch Diagnosesystem



- **Insgesamt günstiger als aktuelle Lösung:**  
Reduzierter Energieverbrauch und tiefere Lebenszykluskosten

Fahrzeug-Flotte	Energieverbrauch	Reduzierte LCC
IC 2000	237 MWh/a	209.5 kCHF/a
EC	111 MWh/a	100.8 kCHF/a
FLIRT	96 MWh/a	122.5 kCHF/a
HVZ-D (Versuchszug)	7 MWh/a	8 kCHF/a

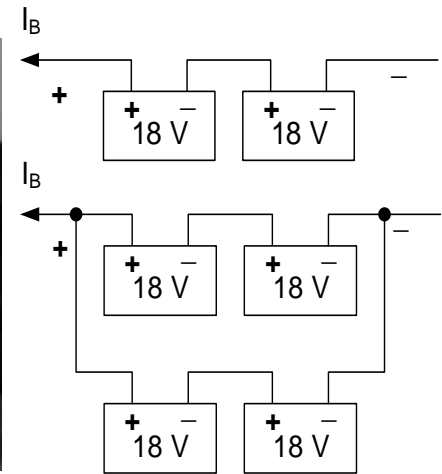
(konservativ: Gewicht 110 kg, Beschaffung 4'500.- , 12 Jahre Lebensdauer)

# Systemvergleich und Aufbau

- ▶ Vergleich Status Quo und künftiges Batteriesystem

Eigenschaft	Altes System (Blei-Gel)	Neues System (LiFeYPO <sub>4</sub> )
Gewicht	336 kg (2 Tröge)	110 kg (1 Trog)
Spez. Energie bei 20°C	23 Wh/kg ; 66 Wh/l	105 Wh/kg; 170 Wh/l
Einsatzdauer	5 - 8 Jahre	14 - 20 Jahre
Kosten	Ca. 2'500 CHF	3'600 CHF – 4'500 CHF

- ▶ Gegenwärtiger Systemaufbau

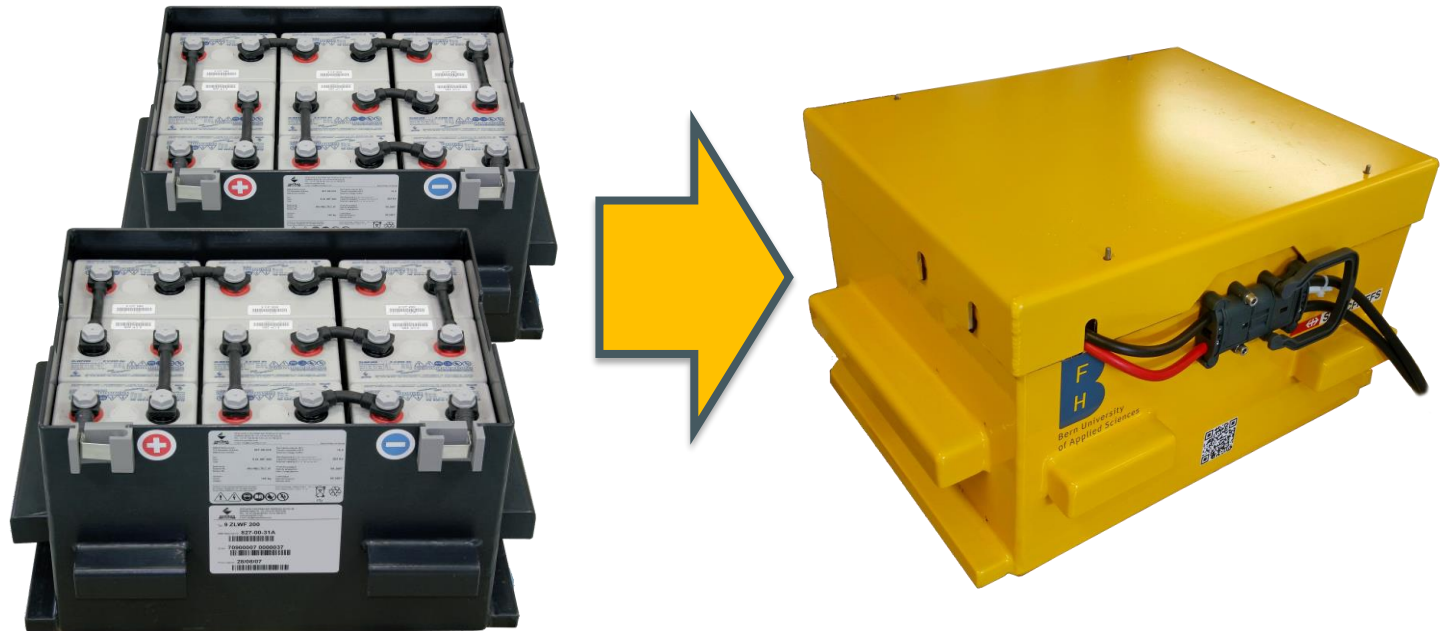


- ▶ 18 Blei-Zellen mit 200 Ah je Batteriestrang (36 V Nennspannung)

# Systemvergleich und Aufbau

- ▶ Vergleich Status Quo und künftiges Batteriesystem

Eigenschaft	Altes System (Blei-Gel)	Neues System (LiFeYPO <sub>4</sub> )
Gewicht	336 kg (2 Tröge)	110 kg (1 Trog)
Spez. Energie bei 20°C	23 Wh/kg ; 66 Wh/l	105 Wh/kg; 170 Wh/l
Einsatzdauer	5 - 8 Jahre	14 - 20 Jahre
Kosten	Ca. 2'500 CHF	3'600 CHF – 4'500 CHF



# Zellentechnologie $\text{LiFeYPO}_4$ für das Funktionsmuster

- Zellentechnologie im Vergleich
- Sicherheit
- Arbeitsbereich der Zellen





# Zellentechnologie im Vergleich

Schlüsseleigenschaften des Typs	ZLWF200	WB-LYP160AHA
Technologie	Blei-Säure (VRLA)	LiFeYPO <sub>4</sub> (LFYP)
Spezifische Energie *	23 Wh/kg	105 Wh/kg
Energiedichte (vol.) *	66 Wh/l	170 Wh/l
Lebensdauer bei gegebenem Profil	5 - 7 Jahre	~14 - 20 Jahre
Zellen-Kosten (ohne BMS...)	350 CHF/kWh	295 CHF/kWh

\* bei 20°C, 3h-Entladung, Neuzustand

▶ **Ladefähig bei -20°C**

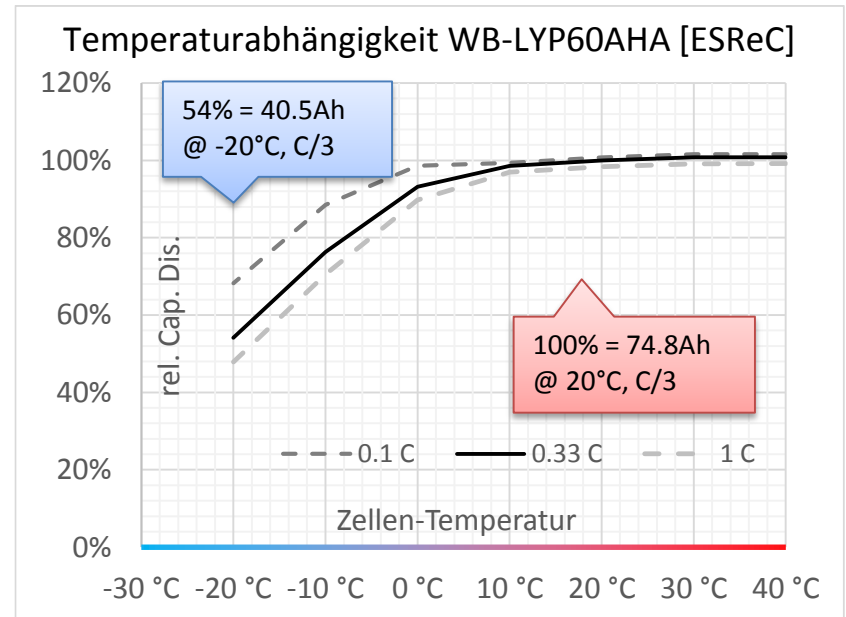
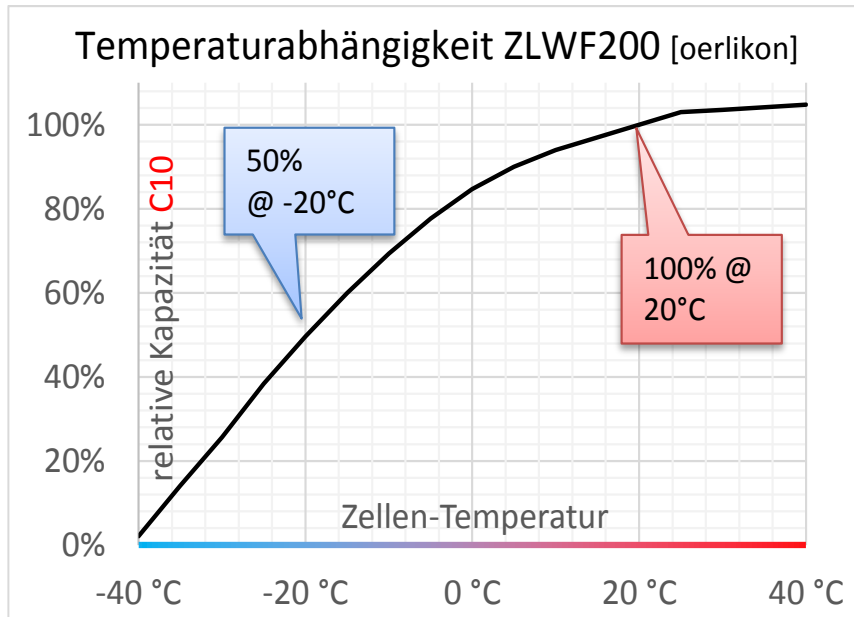
▶ Hohe Sicherheit, thermisch stabil (ggü. Lithium-Polymer-Zellen)

▶ Systemauslegung bezieht sich auf **-20°C**: 14 Wh/kg vs. 71 Wh/kg



vgl. Spez. Energie von LiNiCoAlO<sub>2</sub> -Zelle (NCA): bis zu 250Wh/kg

# Zellentechnologie LiFeYPO<sub>4</sub> - Charakteristik



Spez. Energie @ -20°C, 10h-Entladung:

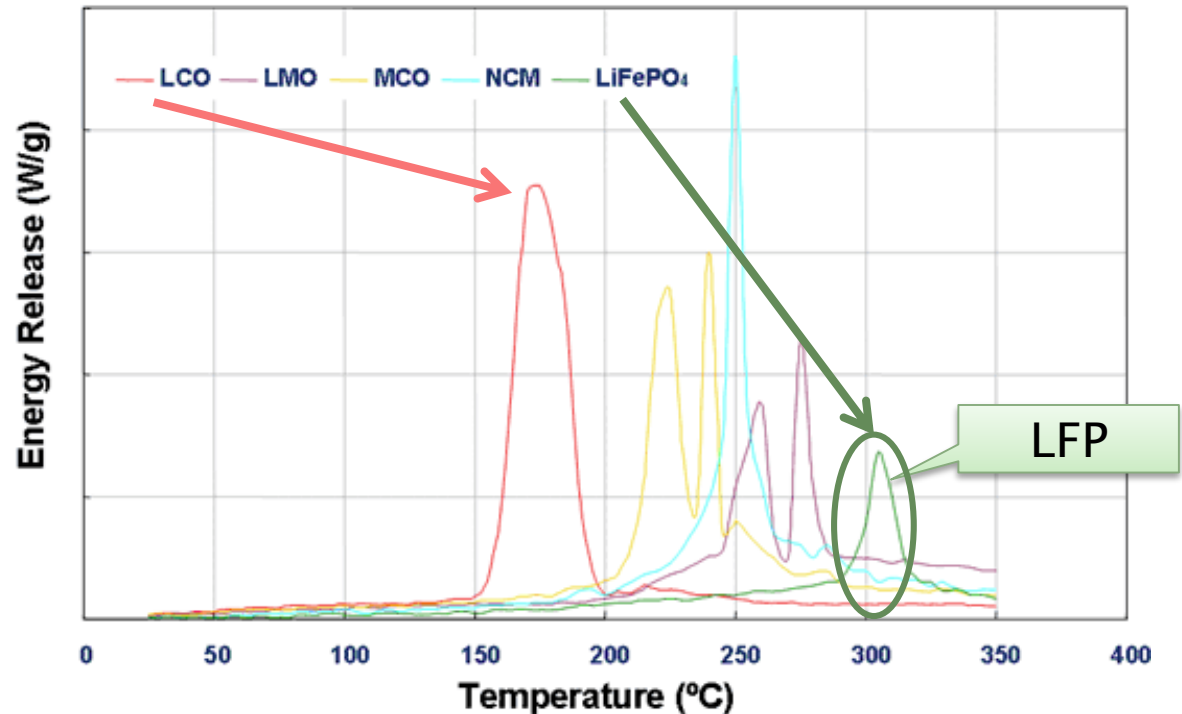
Blei: 14 Wh/kg (ZLWF200)

LFYP: 71 Wh/kg (WB-LYP60AHA)

(gemessen im Neuzustand)

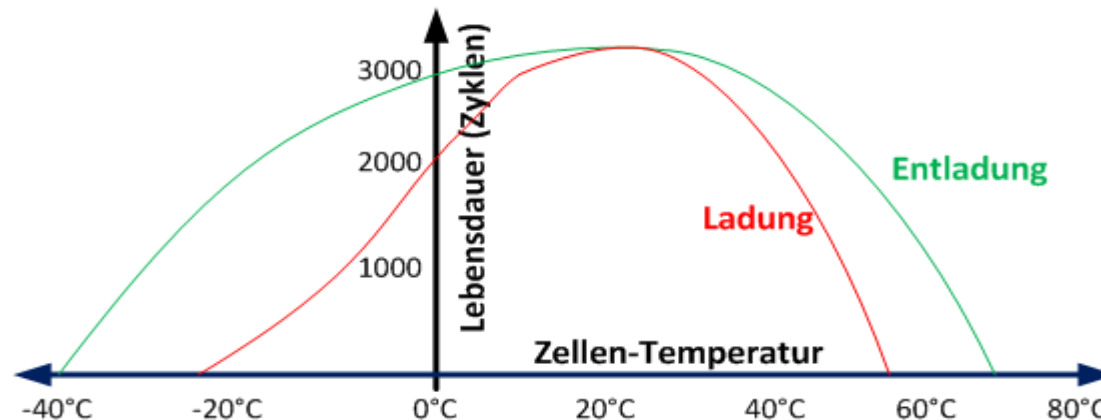
# Zellentechnologie $\text{LiFePO}_4$ - Sicherheit

- ▶ LFP: Reaktion der Kathoden-Stoffe (nicht Li-haltig) erst bei  $300^\circ\text{C}$
- ▶ Energiefreisetzung zudem viel weniger heftig.
- ▶ Bei der Reaktion werden im Gegensatz zu z.B.  $\text{LiCoO}_2$  keine reaktionsbegünstigenden Sauerstoffmoleküle freigesetzt.



# Arbeitsbereich der Zellen

- ▶ Bei sehr tiefen und sehr hohen Betriebstemperaturen sinkt die Lebensdauer schneller
  - ▶ «Menschliche» Komfortzone 20 – 30°C für LFP.



- ▶ Moderate Ströme sind erstrebenswert
  - ▶ Strombelastung nur so hoch wie nötig (betrifft vor allem Ladung)
- ▶ Spannungsfenster innerhalb der Spezifikation klein halten
  - ▶ Nicht zu hohe oder zu tiefe Spannung
  - ▶ Lade-Schlussspannung nur so hoch wie nötig

# Das Batterie Management System (BMS)

- Was macht ein Battery Management System?
- BMS Design Ansatz
- Modulares Systemdesign
- Einblick: Aufbau Batteriesystem

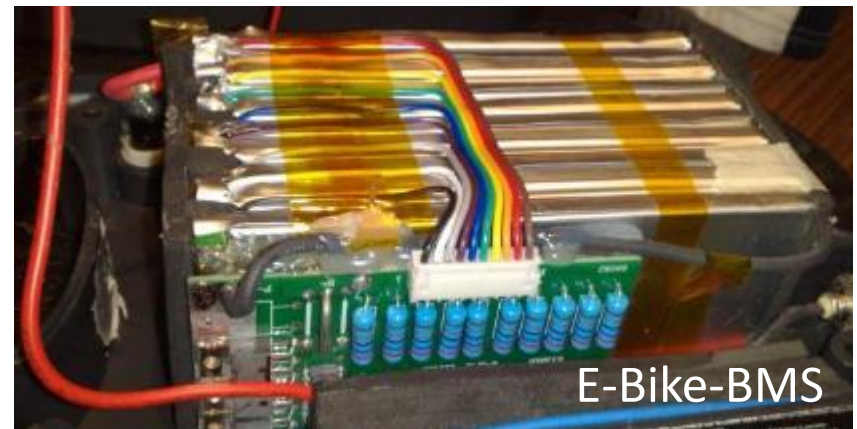


# Was macht ein Batterie Management System?

- ▶ **Überwacht die Spannungen jeder einzelnen Zelle im System und gleicht sie aus (Balancing)**
- ▶ **Misst den Verbraucher- oder Ladestrom**
- ▶ **Überwacht die Temperatur der Zellen und anderer Bauteile**
- ▶ **Alarmiert oder reagiert im Fehlerfall zum Schutz des Systems oder zum Schutz von Personen**
  
- ▶ Berechnet laufend Ladezustand (state-of-charge, SoC)
- ▶ Überwacht Fitnesszustand (state-of-health, SoH)
- ▶ ...weitere Zusatz-Funktionen...



Notebook-BMS



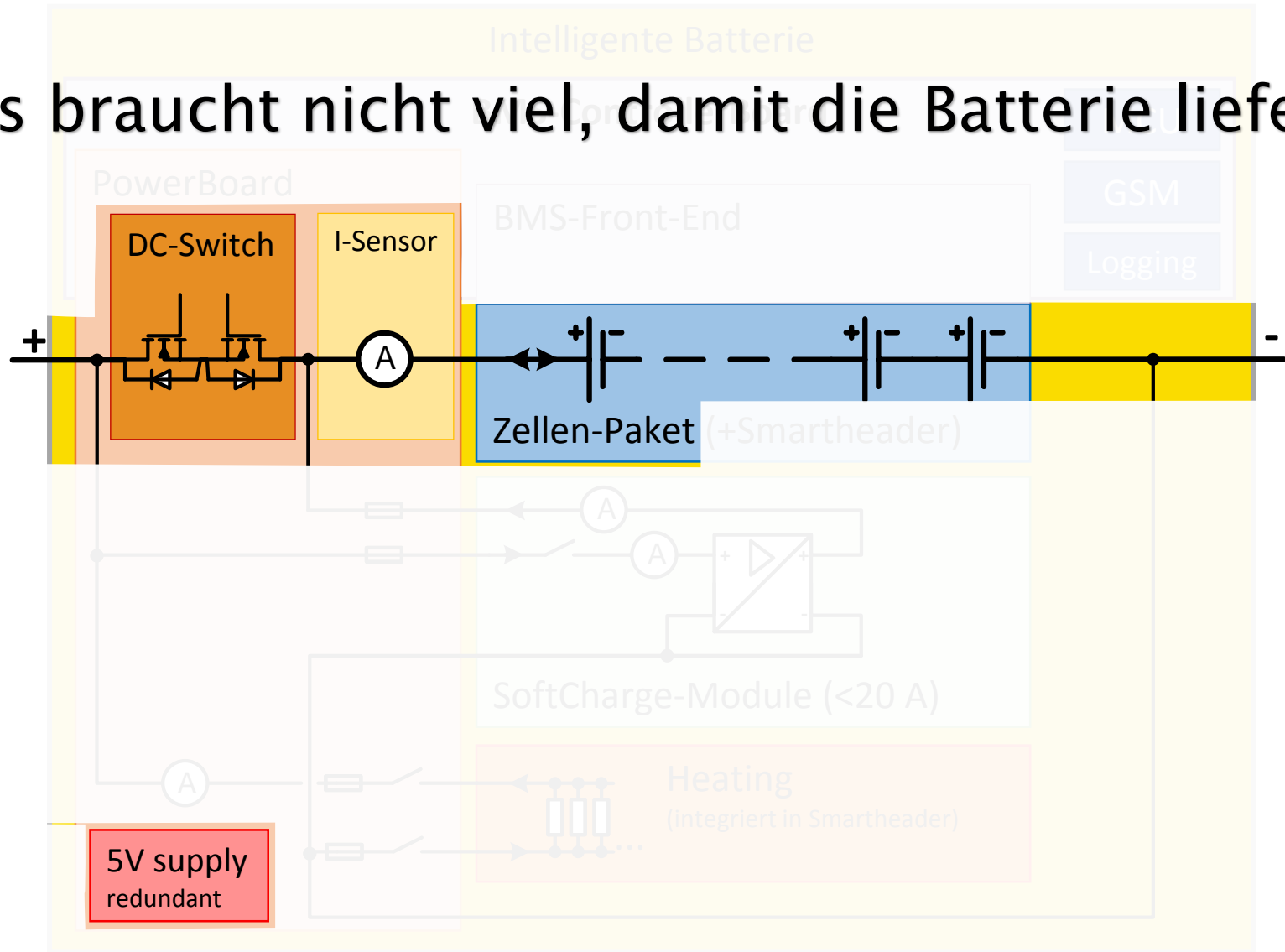
E-Bike-BMS

# BMS Design Ansatz

- ▶ ***Grundsatz: Batterie muss im Zweifelsfall Energie liefern***
- ▶ Eigenständige Intelligenz zur Maximierung der Lebensdauer
  - ▶ Abkopplung ab Bordnetz für Spannungsabsenkung nach Ladung
  - ▶ DC-DC-Wandler für Langsam-Ladung ab Bordnetz
  - ▶ Zellenheizung via Batteriepole
- ▶ Vollständige Überwachung und Aufzeichnung interner Parameter
- ▶ Hohe Fail-Safe Funktionalität aller Module durch robuste Logikschaltungen (HW-Ebene)  
(Eigenständigkeit der Module bei Ausfall interner Kommunikation oder Software)
- ▶ Aktuelle Prozessor-Technologie mit Real-Time-Betriebssystem (RTOS)

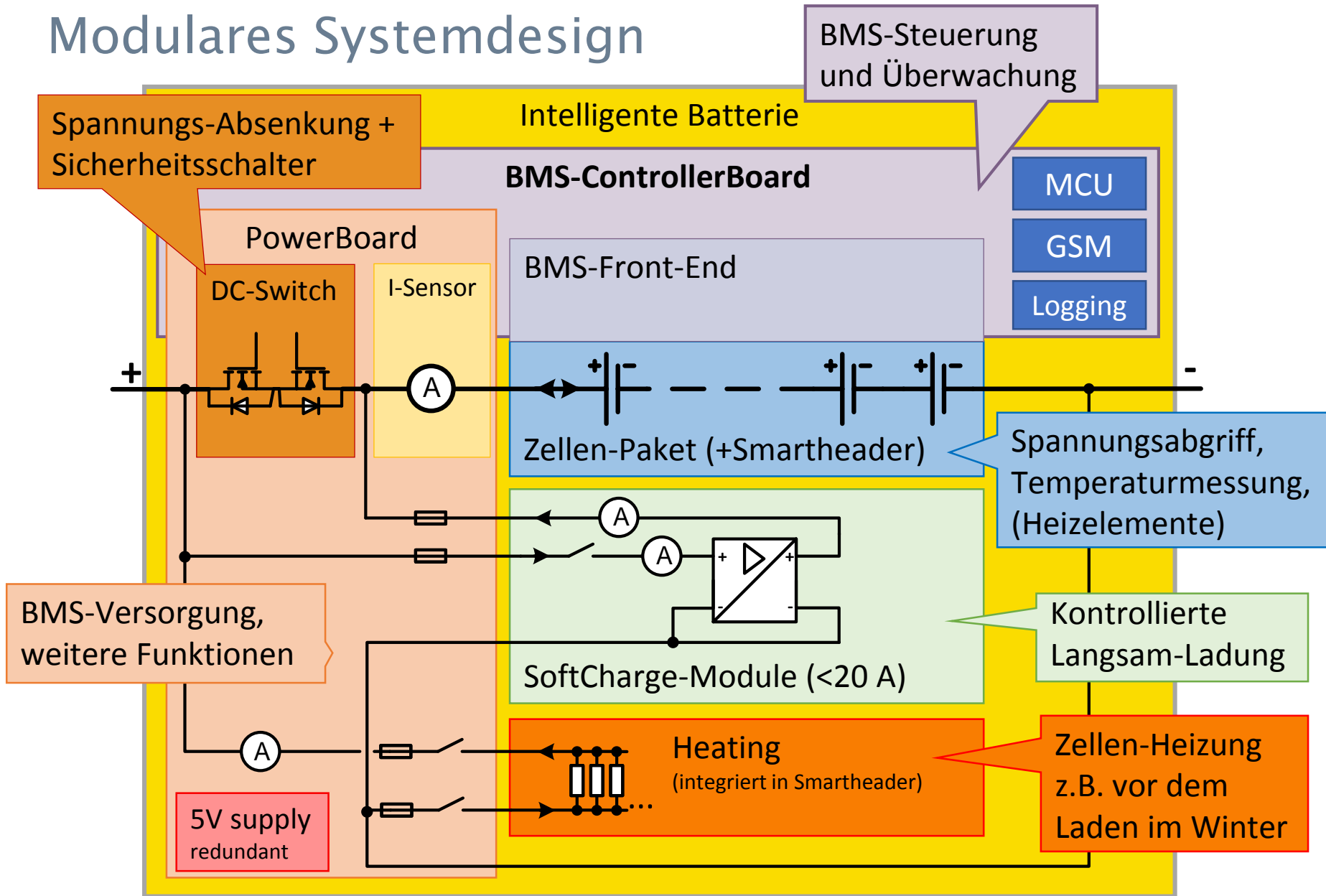
# Modulares Systemdesign

Es braucht nicht viel, damit die Batterie liefert!



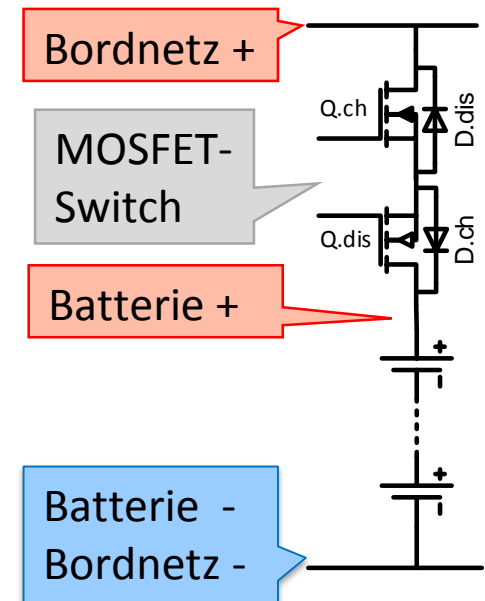


# Modulares Systemdesign



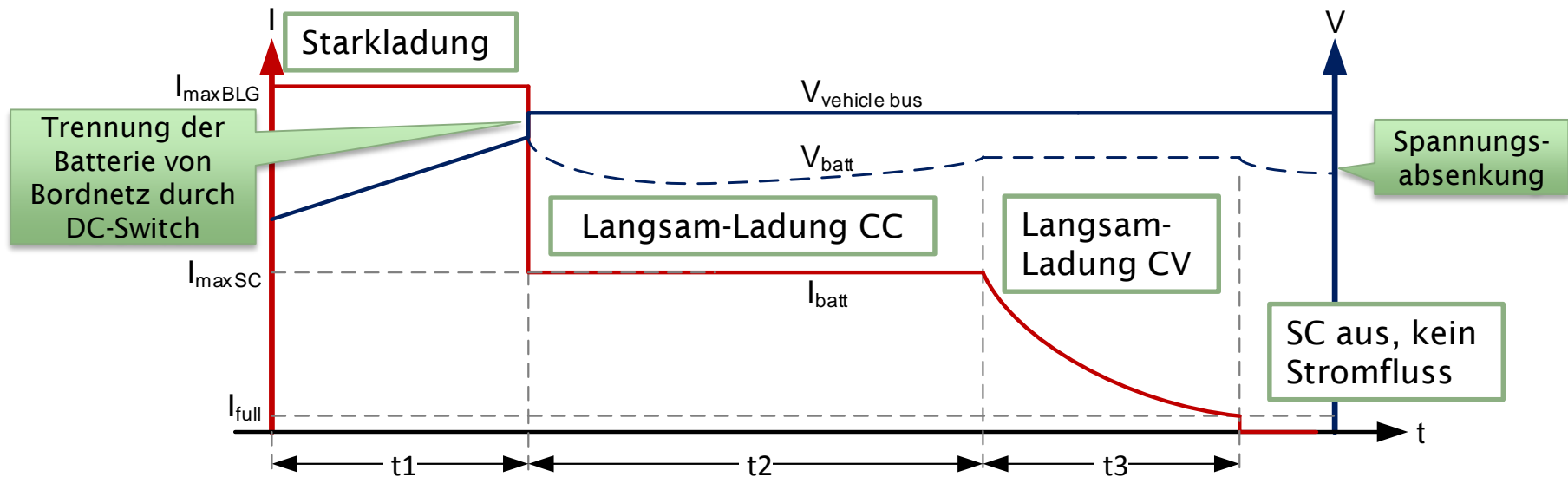
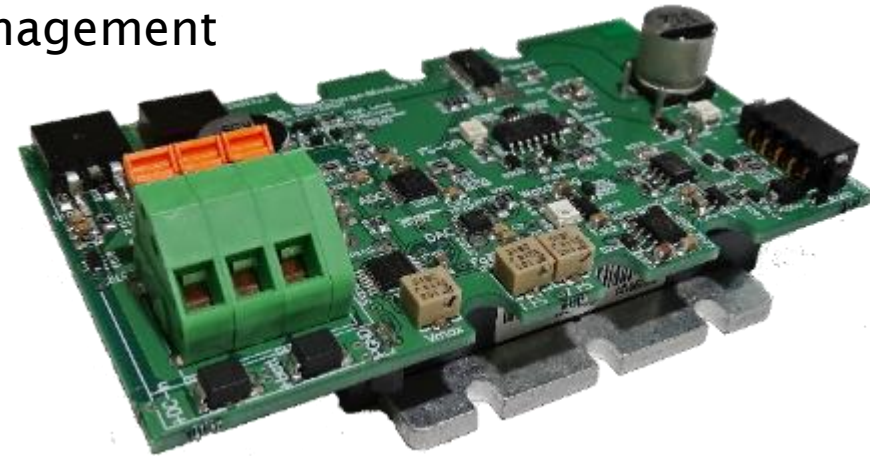
# Modul «PowerBoard» mit DC-Switch

- ▶ Energieversorgung des BMS und der Peripherie
- ▶ Strommessung
- ▶ Ansteuerung der Zellenheizung (2 Kanäle)
- ▶ DC-Switch (Lebensdauer erweiternd + Sicherheit)
  - ▶ Ladungsunterbrechung/  
Spannungsabsenkung nach Vollladung
  - ▶ Umschalten auf Batterie-internes  
Lademanagement (SoftCharge)
  - ▶ Lastabwurf bei andauerndem Überstrom/  
Übertemperatur der Zellen
  - ▶ Lastabwurf bei drohender Tiefentladung



# Modul «SoftCharge-Module»

- ▶ Batterieinternes, schonendes Lademanagement z.B. bei Kälte und SoC > 70%
- ▶ Ladestrom bis 20A regelbar
- ▶ Hoher Ladewirkungsgrad der Batterie (+ Wirkungsgrad DC-DC-Wandler 96%)



# Modul «Controllerboard» mit TI-LaunchPad

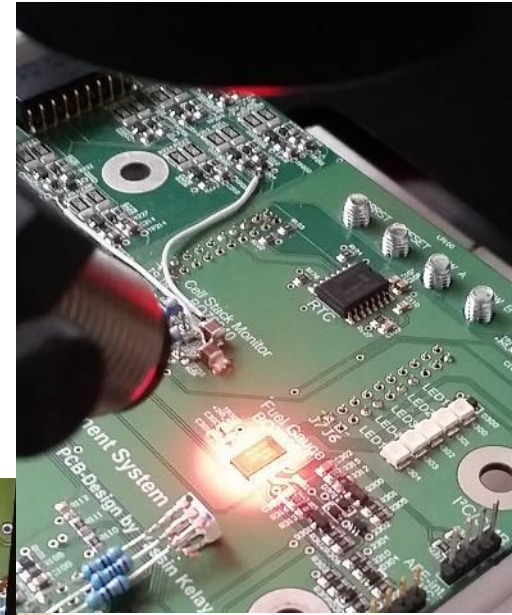
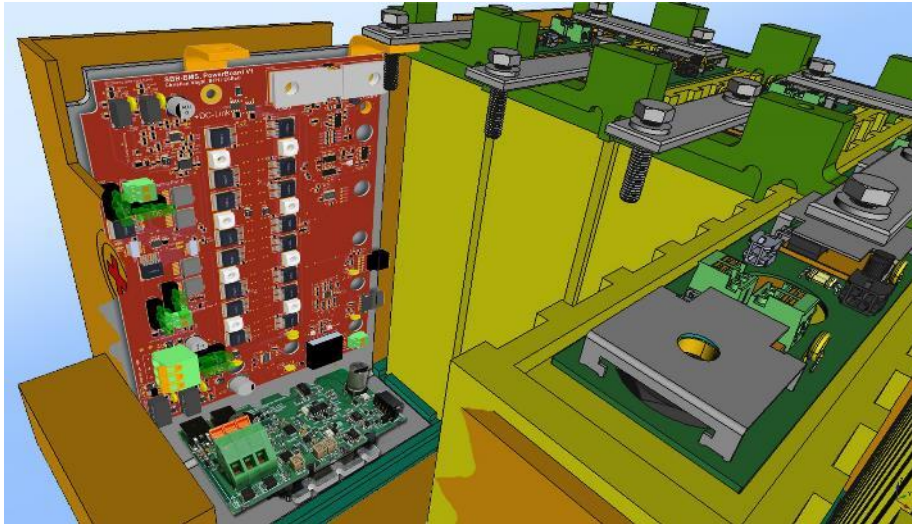
- ▶ Steuert und überwacht alle Module über Bus-Kommunikation
- ▶ Überwacht alle Zellspannungen und gleicht diese aus (Balancing)
- ▶ Berechnet Alterung und lässt Diagnosen zu
- ▶ Basierend auf einem Sicherheitsprozessor und Real Time-Betriebssystem (RTOS)
- ▶ In Prototyping-Phase wird ein TI-LaunchPad eingesetzt und FreeRTOS verwendet



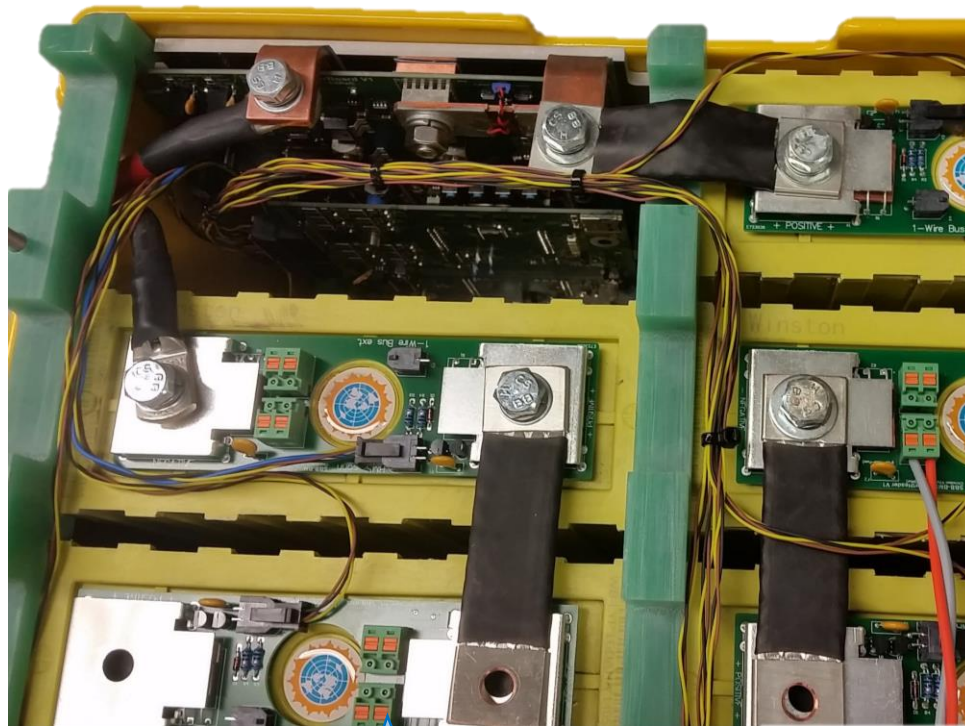
# Blick in die Werkstatt



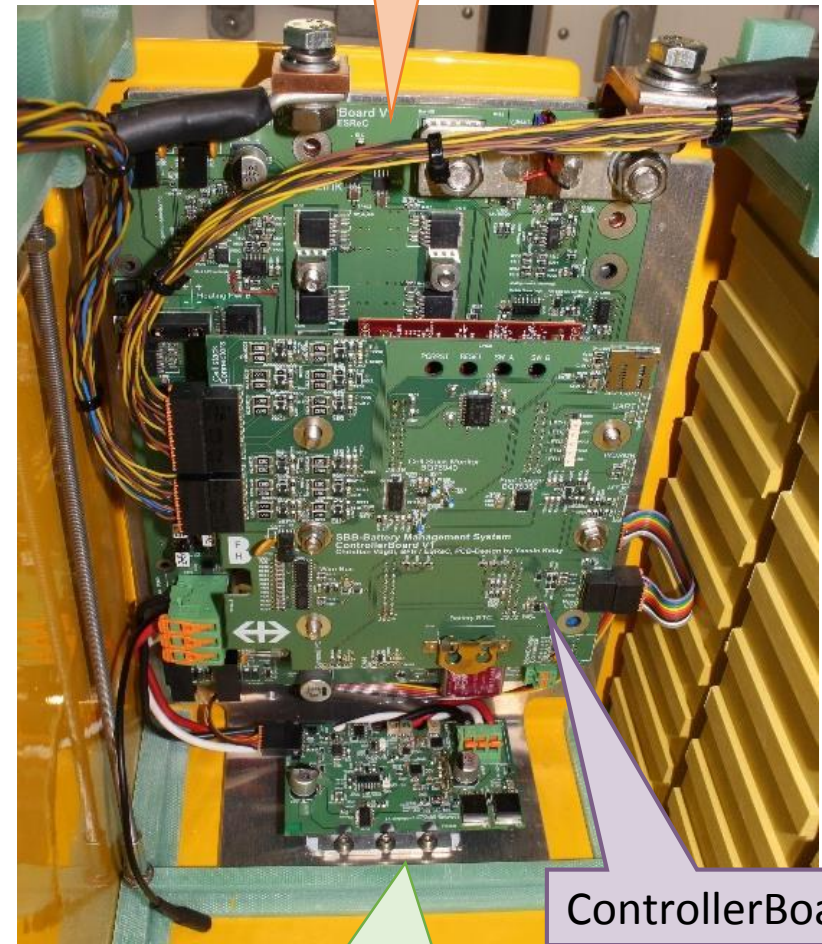
# Blick in die Werkstatt



# Blick in die Werkstatt



SmartHeader

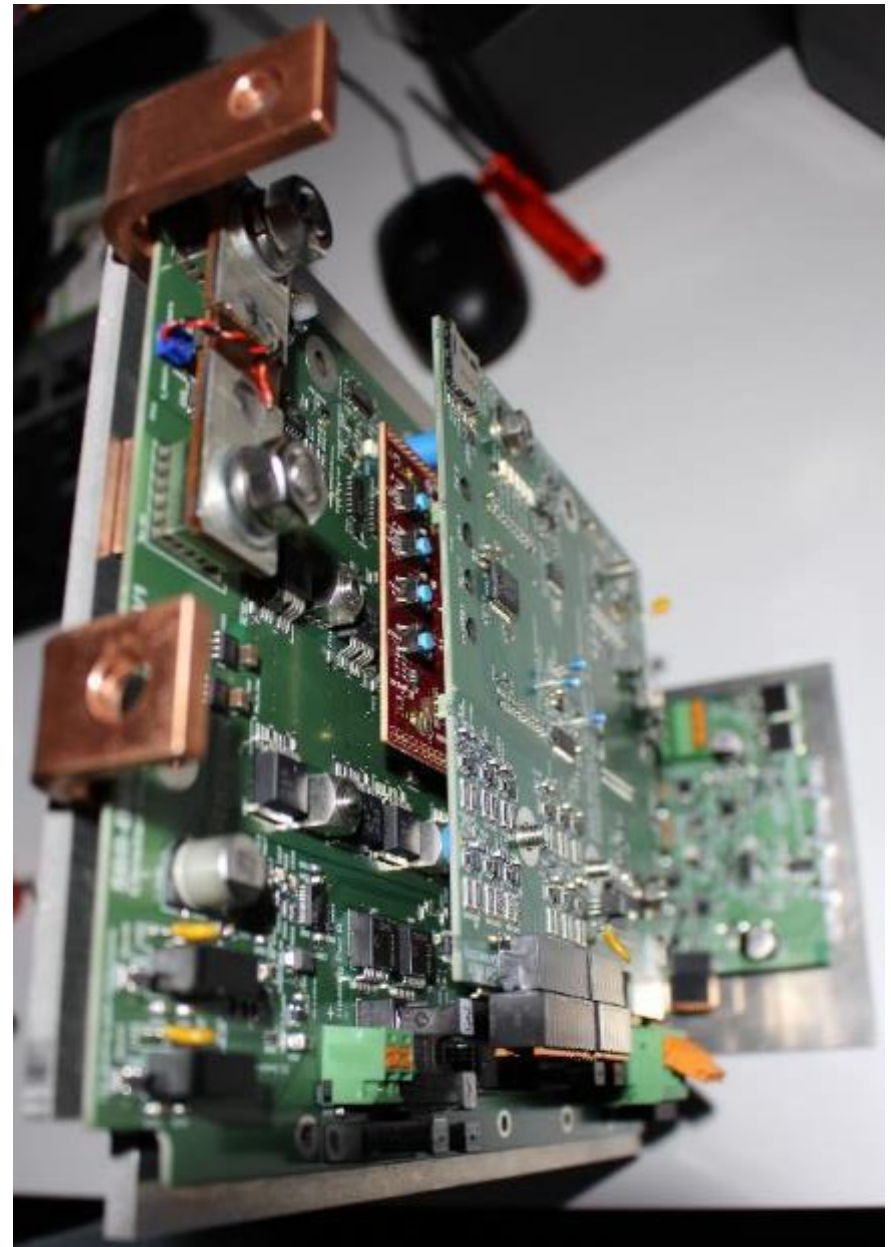


PowerBoard

ControllerBoard

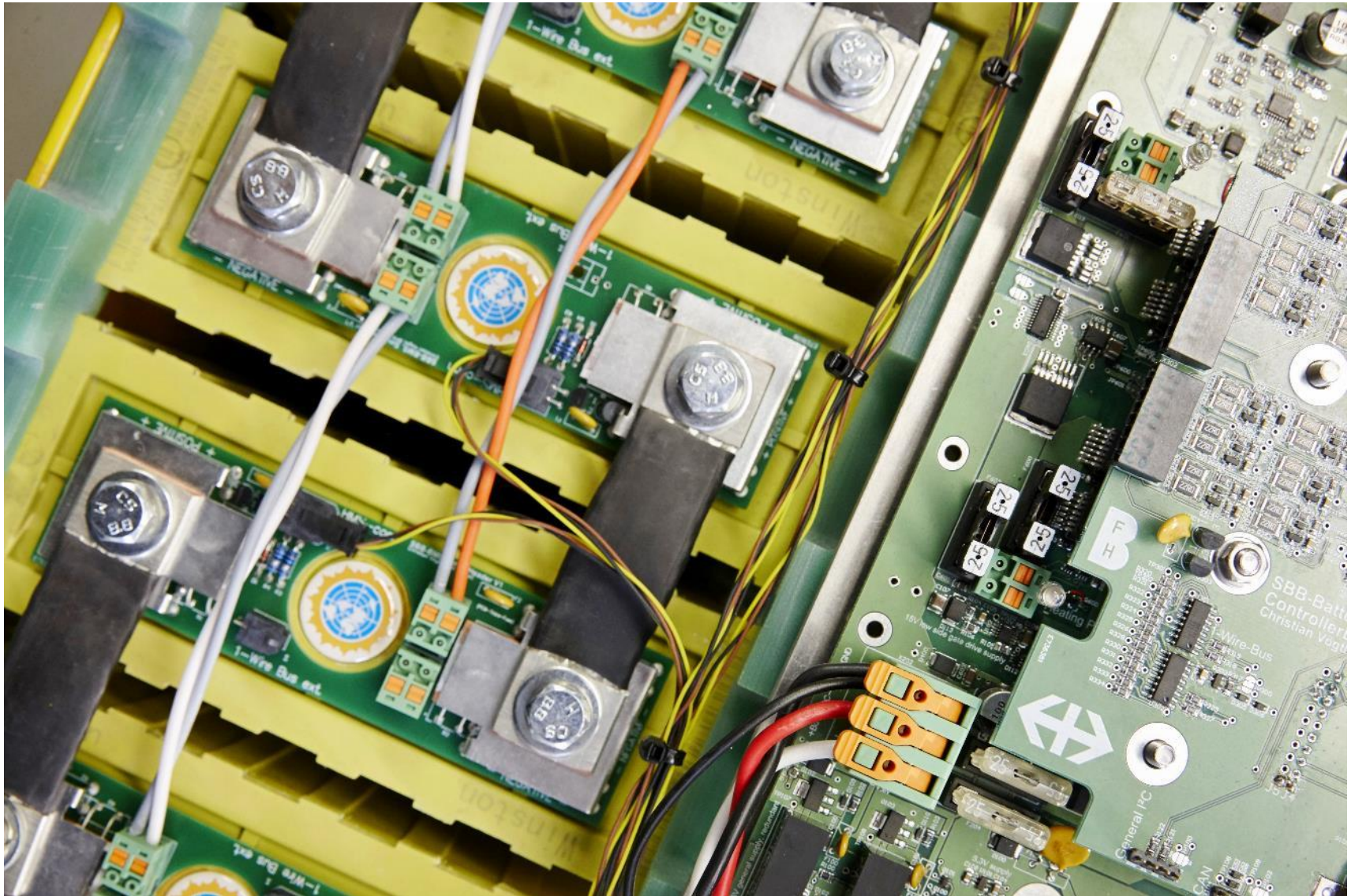
SoftCharge - Module

# Blick in die Werkstatt

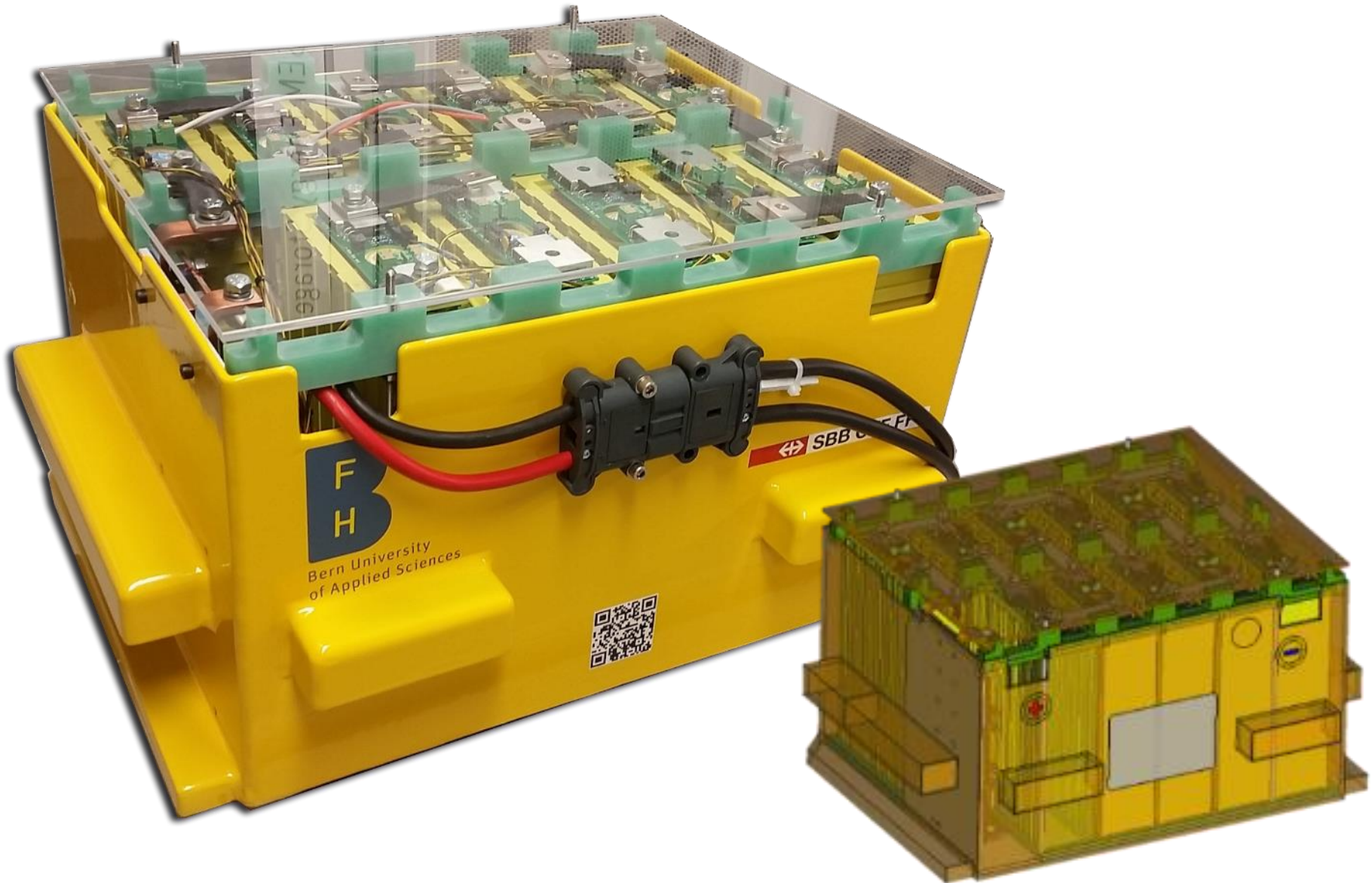




# Blick in die Werkstatt



# Blick in die Werkstatt



# Projektverlauf und Ausblick

- Bisheriger Projektverlauf und -Aufbau
- Projekt-Aussicht und weitere Schritte



# Stand und Ausblick - zusammengefasst

## Stand

- ▶ Berechnung Energieeinsparung
- ▶ Klären von Details mit Systemverantwortlichen
- ▶ Masterarbeit / Auftrag an BFH-ESReC für Analyse und Funktionsmuster
- ▶ Messungen an HVZ-D
- ▶ Messungen und Tests an verschiedenen Zellen sowie Bau des ersten Prototypen

## Ausblick

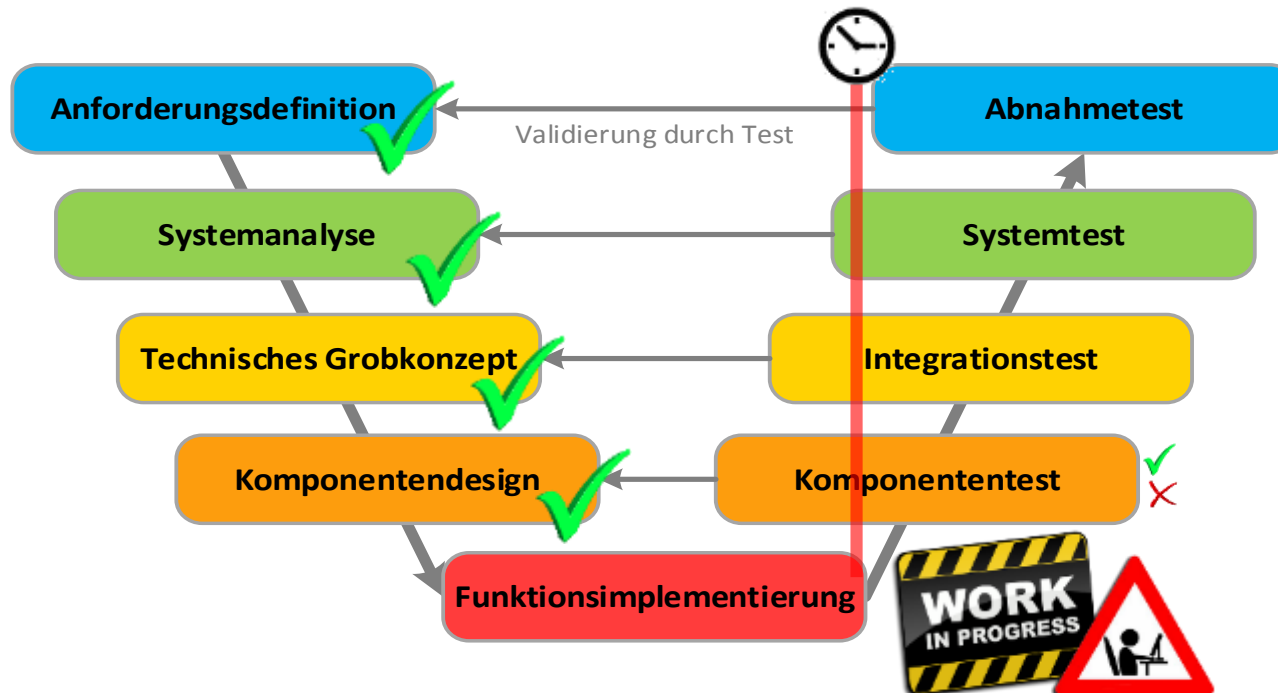
- ▶ Fertigstellen der Software für die intelligente Steuerung der Batterie
- ▶ Labortest des Prototypen
- ▶ Audit durch Experten
- ▶ Sensibilisierung und Vorbereitung auf die Einführung der neuen Technologie bei SBB
- ▶ Versuch / Erprobung auf HVZ-D
- ▶ Review / Optimierung

# Bisheriger Projektverlauf und -Aufbau

## Bisherige Arbeiten



## Projektfortschritt anhand V-Modell:



# Aussicht und weitere Schritte

## ► Bevorstehende Arbeiten

Komponenten und Systemtest nach V-Modell

Systemoptimierung  
Testlauf in Labor  
Sicherheitstests

Bau eines zweiten, optimierten Prototypen

Testlauf auf Schiene  
Begleiten der Testphase

Test-Zug:  
HVZ-D



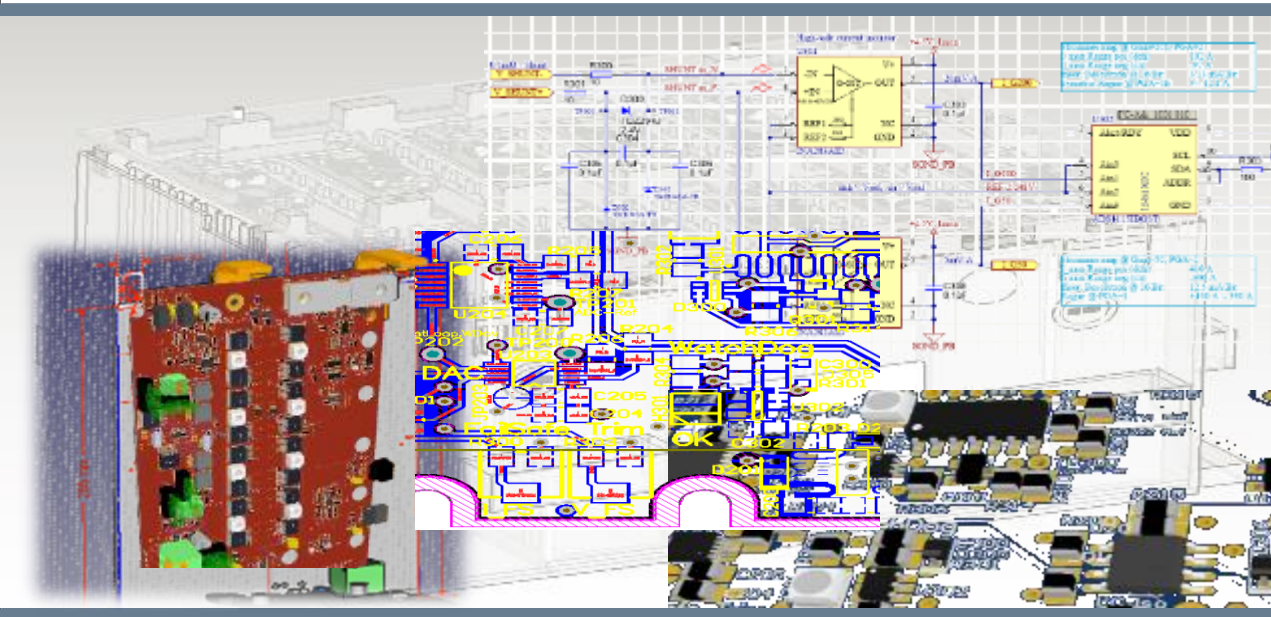
## ► Bei Einführung an einer ersten Flotte

Erneute Systemoptimierung

Finden eines Herstellers oder Ausschreibung

Fertigung von mehreren Batterien

Schrittweise Einführung der Technologie



Besten Dank für Ihre Interesse!

[sbb-battery-redesign.cvengineering.ch](http://sbb-battery-redesign.cvengineering.ch)

- ▶ Christian Vögtli    Entwicklungsingenieur Batteriesystem
- ▶ Ueli Kramer        Projektleiter Energiemanagement

BFH-CSEM Energy Storage Research Centre ESReC  
SBB Personenverkehr – Operating – Flottentechnik

[christian.voegtli@bfh.ch](mailto:christian.voegtli@bfh.ch)  
[ueli.kramer@sbb.ch](mailto:ueli.kramer@sbb.ch)