



Technische
Universität
Braunschweig

Institut für Füge- und
Schweißtechnik

ifs

BLB BATTERY
LABFACTORY
BRAUNSCHWEIG
EINE EINRICHTUNG IM **NFF**



Produktion von Lithium-Ionen-Batterien – vom Aktivmaterial zum Batteriesystem und zurück

Batteriemodul- und -systemfertigung

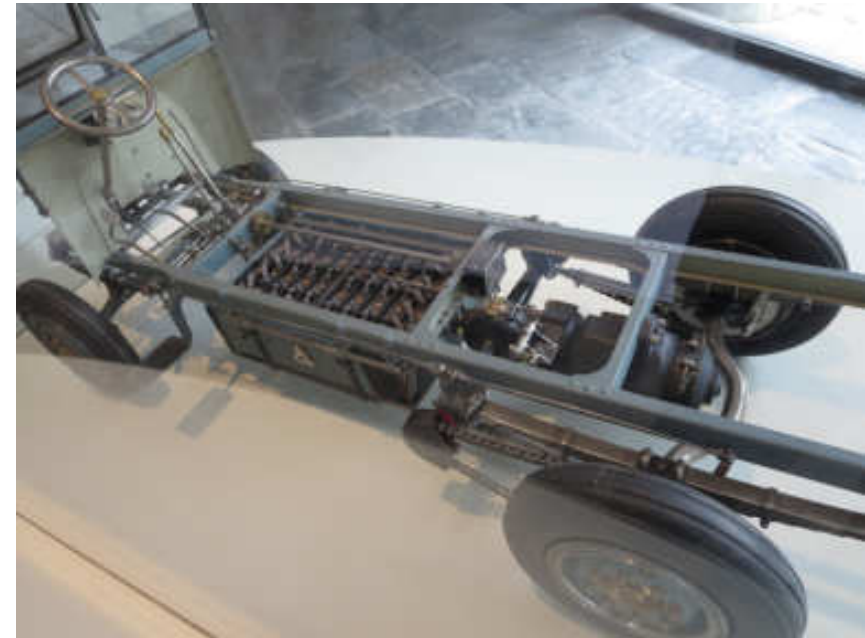
RAK/FASI-Vortragsreihe „Arbeitssicherheit in der Praxis“: Elektromobilität und Arbeitsschutz, Braunschweig, 15.03.2017

Dipl.-Ing. **Mario Wagner**, Institut für Füge- und Schweißtechnik (ifs)
der TU Braunschweig und Battery LabFactory Braunschweig (BLB)

Elektromobilität mit langer Historie

Fahrwerk eines Hansa-Lloyd Elektro-Lasters (Modell 5:1)
der Hansa-Lloyd-Werke AG, Bremen, 1926

- Blei-Säure-Akkus
- max. 20 km/h
- Reichweite 60 km mit 1 bis 2 t Nutzlast



Lithium-Ionentechnologie in den Medien

„... it's a Tesla ...“

- Batterie des Tesla Model S wurde durch ein hochgeschleudertes Metallteil beschädigt
- Keine Explosion
- Durch die Hitze platzen einzelne Zellen, Funken sprühen, Zellen werden in die Luft geschleudert, ähnlich Feuerwerkskörpern
- Kettenreaktion von Zelle zu Zelle in Minutendimensionen

- Bei Bränden konnte das Fahrzeug jeweils kontrolliert gestoppt werden und der Fahrer sicher aussteigen

- Explosionsgefahr bei Benzin höher:
 - 50 L Treibstoff: 450 kWh (Energiedichte 11.800 Wh/kg)
 - Tesla Akku: 100 kWh (Energiedichte 100 – 300 Wh/kg)

[kWh-Angaben aus Chip, 2017 (01), S. 15: „Akkus: Brandgefährlich?“]

Lithium-Ionentechnologie in den Medien

"Es brennt bei Opel" und **"Feuer in der Bude"**,
titelten die Zeitungen.

[<http://www.spiegel.de/>: „Der langsame Tod des Opel Ampera“, 22.07.2014]

Was war passiert?

„Die US-Verkehrssicherheitsbehörde NHTSA hatte den Volt einem Crashtest unterzogen. Der Wagen wurde von der Seite gerammt und erhielt mit fünf Sternen sogar die Bestnote. Nachdem das demolierte Auto drei Wochen in der Ecke gestanden hatte, brach aber plötzlich Feuer aus. Wie sich bei der Untersuchung herausstellte, war das Kühlsystem der Lithium-Ionen-Batterie leckgeschlagen und der Akku hatte sich überhitzt.“

[<http://www.auto-motor-und-sport.de/> (dpa): „Feuerproblematik Opel Ampera – Elektroauto wird überarbeitet“, 09.01.2012]

Beschädigte Batterien sollten umgehend entsorgt werden



Komplexe Zellmontage

Montagevorgänge

- Oft komplex und mit hoher Fertigungstiefe (viele Arbeitsschritte)

Gehäusedurchführung der Anschlüsse

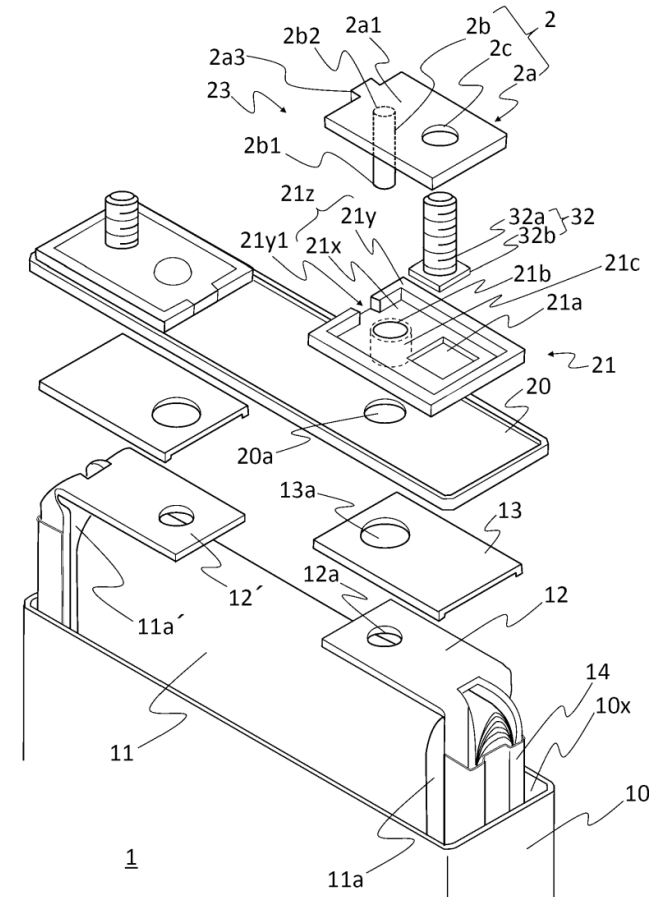
- Elektrisch isoliert
- Gasdicht
- Erschütterungs- und vibrationstolerant

Sensormontage erforderlich
(Spannung, Thermosensor etc.)

Montage **zusätzlicher Bauteile**
(z. B. Sicherheitskomponenten)

- PTC Device (zur Strombegrenzung)
- Current Interrupt Device (CID)
- Überdruckventil / Berstscheibe

Zellkonzept (ohne Darstellung der Sicherungseinrichtungen)



[Patent WO2013031761A1]



Technische
Universität
Braunschweig

15.03.2017 | Batterie-Modul und -System | Dipl.-Ing. Mario Wagner |
Institut für Füge- und Schweißtechnik | TU Braunschweig | Folie 5

Institut für Füge- und
Schweißtechnik



BLB BATTERY
LABFACTORY
BRAUNSCHWEIG
EINE EINRICHTUNG IM NFF

Sicherheitsmaßnahmen auf Zell- und Systemebene

Sicherheitsmaßnahmen auf Zellebene:

- Alternative Elektrodenmaterialien
- Flammhemmende Elektrolyt-Additive
- Shutdown-Separatoren
- Shutdown-Additive
- Redox-Shuttle
- Sicherheitsventile (Berstscheiben)
- PTC Widerstände
- CID (Current Interrupt Device) unterbricht dauerhaft den Strompfad bei erhöhtem Druck
- Schmelzsicherung (bei zu hohem Strom)

Sicherheitsmaßnahmen auf Systemebene

- Mechanische Lösungen
- BMS (Batterie-Management-System)

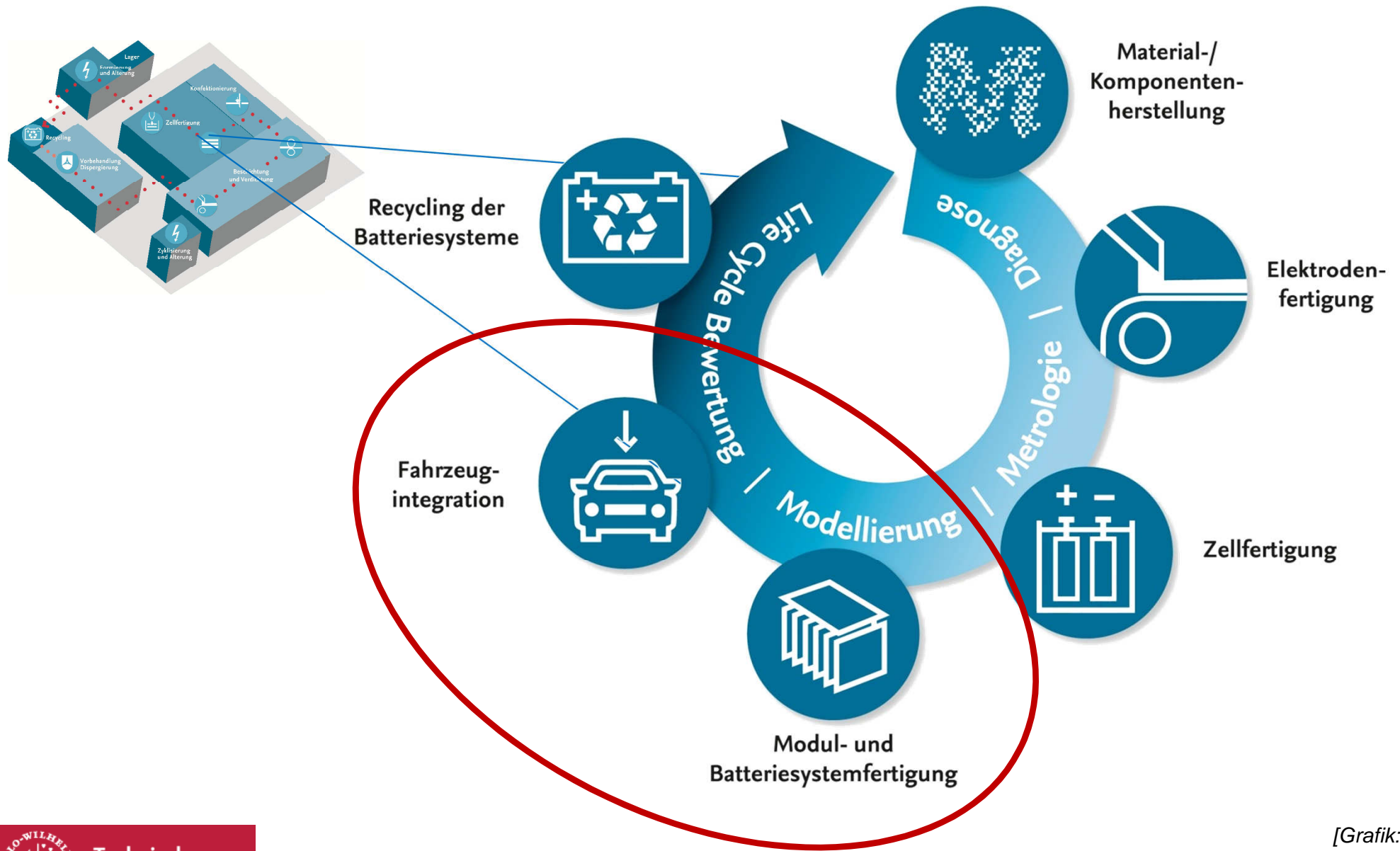
[nach „Kompendium: Li-Ionen-Batterien“, VDE, 2015]



Elektrodenwickel

Wertschöpfungskreislauf in der BLB

Von der Zelle über das Modul ins Fahrzeugsystem



[Grafik: BLB]



Technische
Universität
Braunschweig

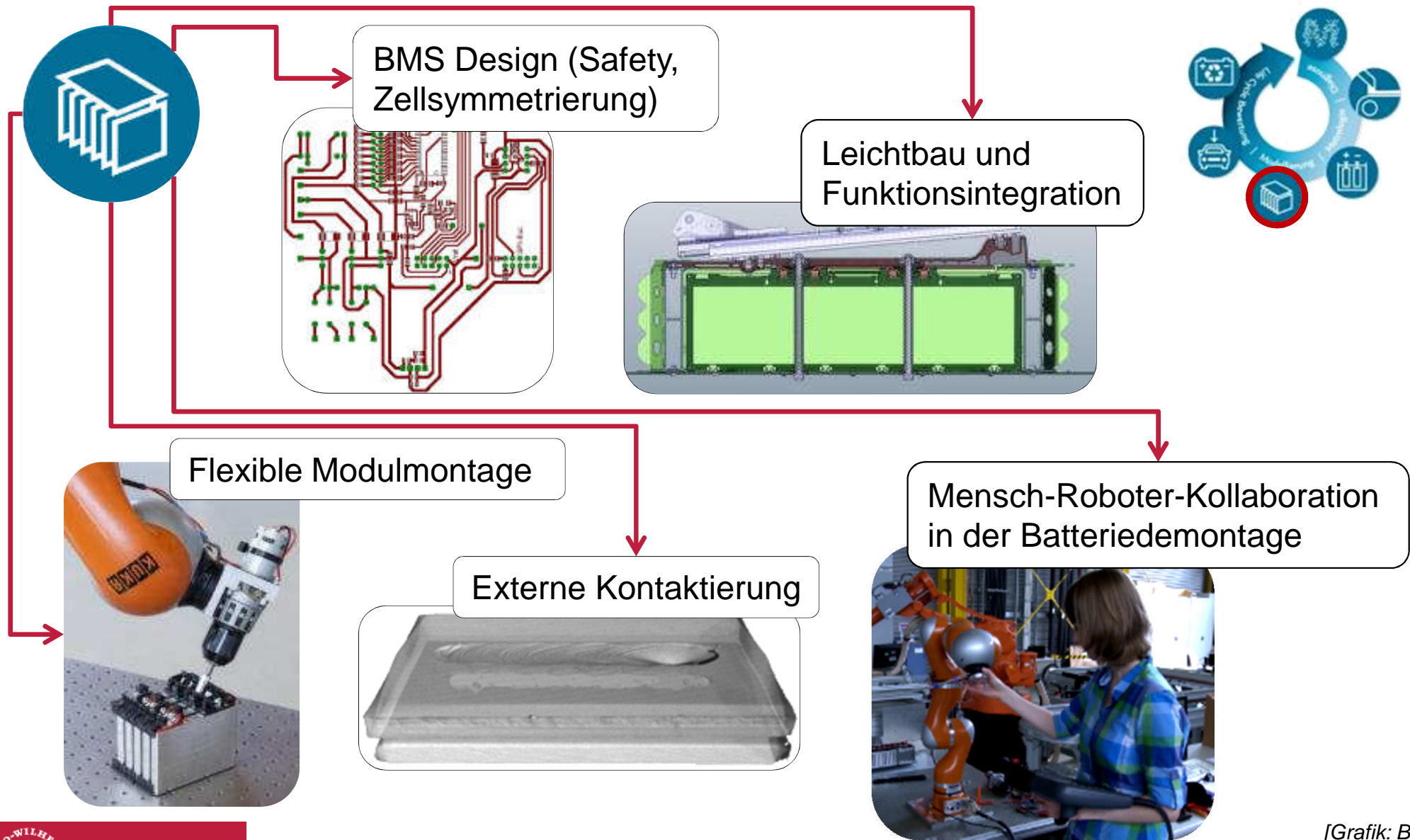
15.03.2017 | Batterie-Modul und -System | Dipl.-Ing. Mario Wagner |
Institut für Füge- und Schweißtechnik | TU Braunschweig | Folie 7

Institut für Füge- und
Schweißtechnik



BLB BATTERY
LABFACTORY
BRAUNSCHWEIG
EINE EINRICHTUNG IM **NFF**

Modul- und Systemproduktion in der BLB



[Grafik: BLB]



Technische
Universität
Braunschweig

15.03.2017 | Batterie-Modul und -System | Dipl.-Ing. Mario Wagner |
Institut für Füge- und Schweißtechnik | TU Braunschweig | Folie 8

Institut für Füge- und
Schweißtechnik

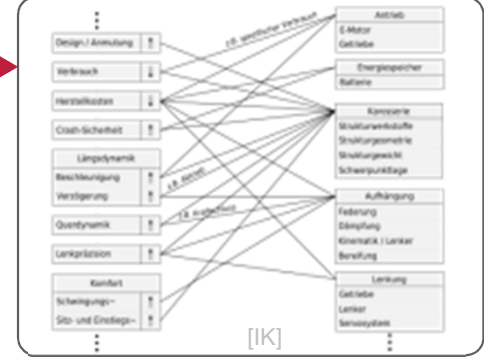


BLB BATTERY
LABFACTORY
BRAUNSCHWEIG
EINE EINRICHTUNG IM **NFF**

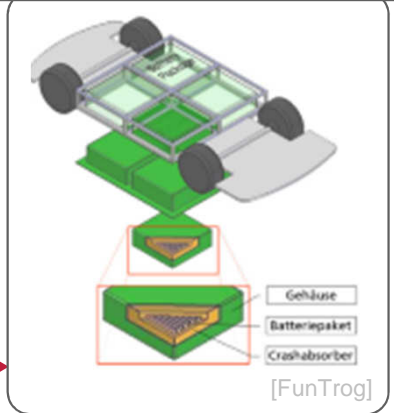
Fahrzeugintegration in der BLB



Anforderungs- und Variantenmanagement



Funktionsintegration

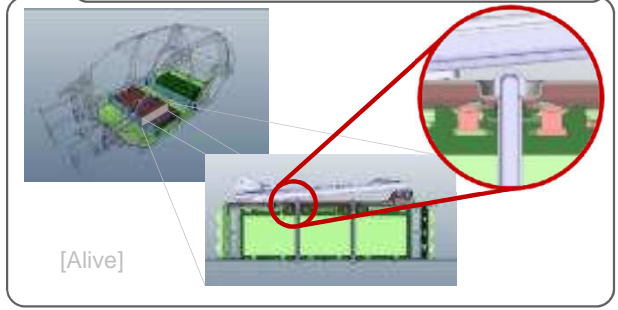


Bauraumausnutzung
Purpose vs. Conversion Design



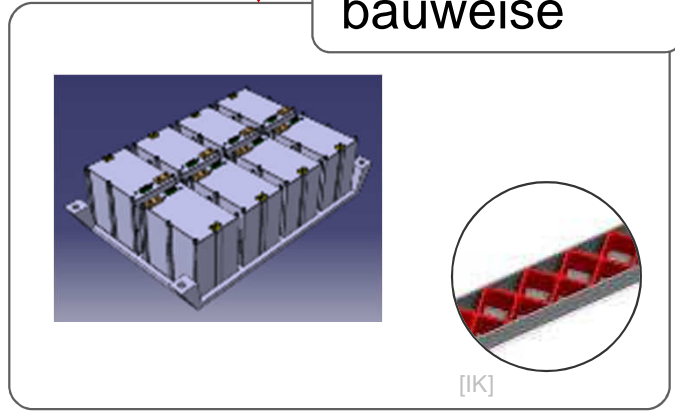
Rapid Prototyping und Additive Manufacturing

Schnellkontaktierung



[Grafik: BLB]

Multimaterialbauweise



Sicherheitsthemen treten entlang des gesamten Produktlebenszyklus eines Elektromobils auf

Sicherheit muss für sämtliche Lebenszyklusbereiche bewertet und sichergestellt werden:

- Entwicklung (Risikobewertung der Gefahrenquellen)
- Montage
- Ladevorgänge (Interaktion mit Infrastruktur)
- Fahrbetrieb
- Reparatur, Wartung, Service
- Crash, Rettung, Bergung
- Entsorgung und Recycling

Hierzu ISO 26262 „**Funktionale Sicherheit in der Fahrzeugelektrik**“ beachten

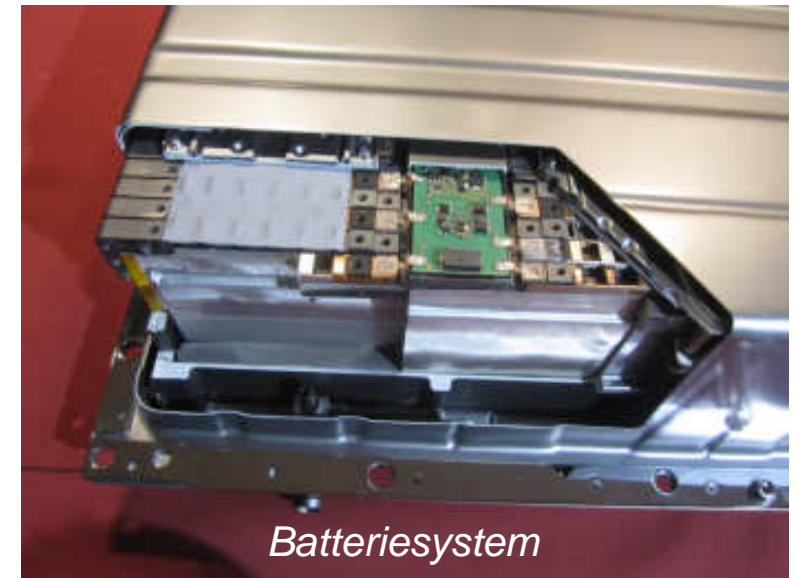
Konzeption

- Systembeschreibung und Baugruppendefinition
- Produktsicherheit und Funktionssicherheit
- Gefährdungsanalyse und Risikobewertung
- Funktionales Sicherheitskonzept

Entwicklung auf Systemebene

- Technisches Sicherheitskonzept
- Hardware-Software Interface

Integration, Verifikation und Validierung



Grundsätzliche Anforderungen an das Batteriesystem

Crashsicherheit

- Crashsichere Unterbringung der Batterie in einem korrosionsbeständigen Gehäuse mit feuerhemmenden Eigenschaften (z. B. Schaum)
- Ventile zum Abblasen der Reaktionsgase im Fehlerfall
- Kontrollierte Entladereaktion im Fehlerfall

Betriebssicherheit

- Zellüberwachung
- Selbstständiges Ausschalten der Batterie bevor sicherheitskritische Grenzwerte überschritten werden
- Thermomanagement
- Überladeschutz, Tiefentladeschutz, Zellausgleich

Servicesicherheit

- Unverwechselbare Kennzeichnung der HV-Komponenten (Don't Touch Orange)
- Berührungsschutz durch Isolierung und Spezialstecker
- Aufteilen der Batterie in Module, die mit Sicherheitseinrichtungen verbunden sind



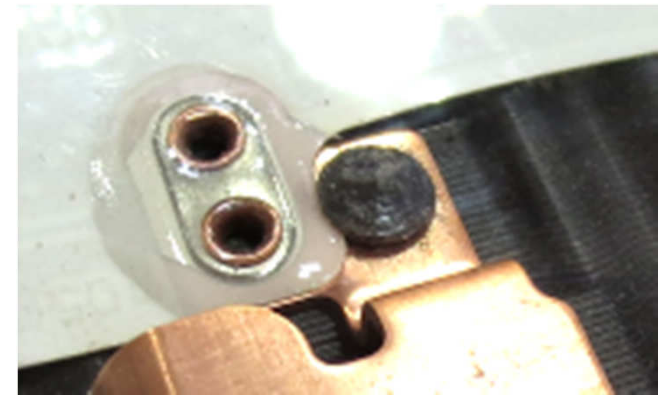
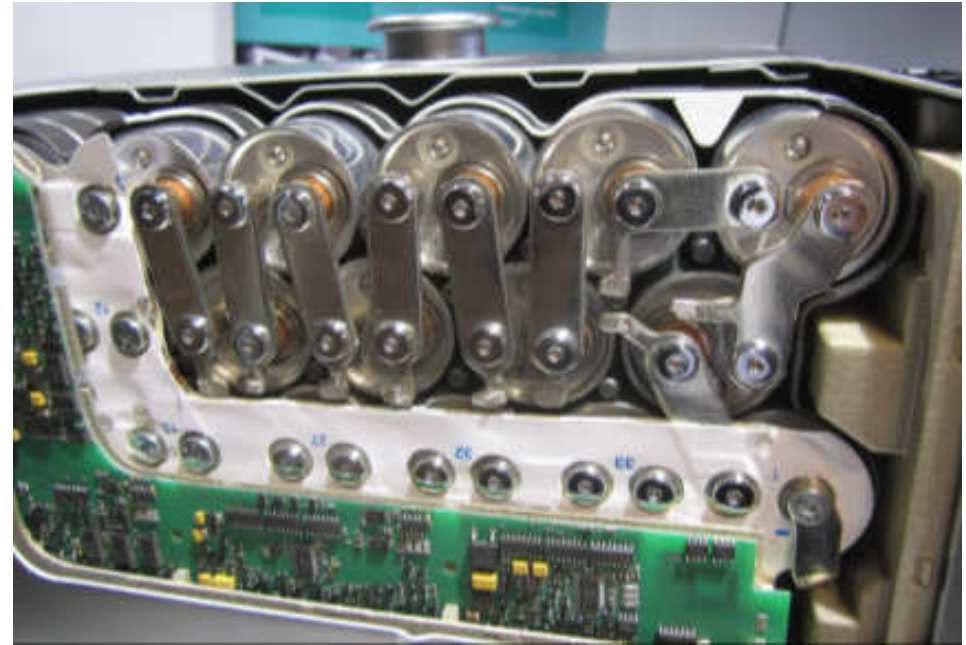
Orangene Kennzeichnung von Hochvoltbereichen

Herausforderungen an die Systemintegration

Herausforderungen an die Systemintegration

- Zellen
- Elektromechanische Komponenten
- Elektronik
- Software
- Kühlung
- Gehäuse
- Sicherheit

Der Teufel steckt im Detail.



Von der Zelle zum Batteriesystem

- Basiseinheit **Batterie-Zelle** (Pouch-Zelle, Hardcase-Zelle (rund, prismatisch))
- **Module** aus Zellen aufgebaut, teilweise mit Zellkontrollsystem
- **Batteriesystem** aus Modulen, Sensorik, Interfaces und Kühleinrichtungen

Zusammenwirken des Batteriesystems mit dem BMS

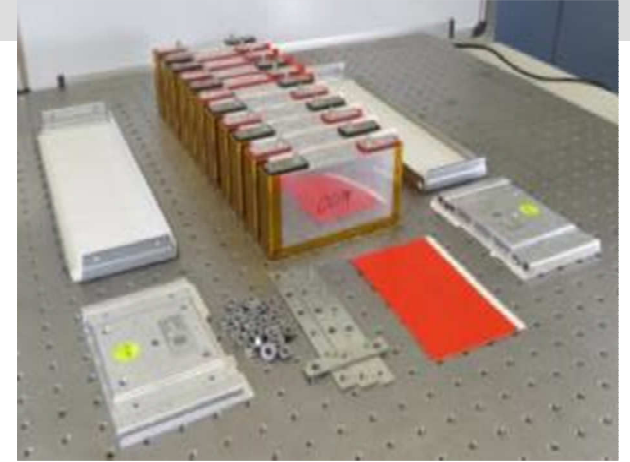
- Temperatur
- Spannung
- Stromstärke
- Kontrollsystem
- Kühltemperatur

Funktionen des BMS

- Einzelzellmanagement
- Temperaturmanagement
- Batteriebetriebsalgorithmus
- Zustandsüberwachung
- SOC-Management
- Fehlermanagement für alle Bereiche



Montage von Batteriemodulen (didaktisch)



Systemintegration der Batterie in das Elektrofahrzeug

Komponenten des Hochspannungssystems (HV ... High Voltage)

- Ladestecker
- Ladesystem mit HV-Leitungen zum Batteriesystem
- Traktionsbatterie (im Unterboden, in der Mittelkonsole oder im Heckbereich)
- Hochspannungs-Traktionsleitungen (von der Batterie zur Leistungselektronik)
- Leistungselektronik (Wechselrichter, Gleichstromwandler DC/DC)
- HV-Phasenleitungen zur Elektromaschine und den HV-Verbrauchern
- Elektromaschine (E-Motor)
- HV-Verbraucher, wie Klimatisierung etc.

Hochvoltverkabelung

HV-Verkabelung:

Spezielle Leitungen in **orangener Signalfarbe**:

- Auslegung für Spannungen bis typ. 600 V (teilweise auch darüber)
- Eignung zur Übertragung hoher Stromstärken (bis zu 50 mm²)
- Tolerierung kurzzeitiger Stromspitzen
- Hohe Flexibilität der Leitung
- Eignung für enge Biegeradien

Zum großen Teil neu entwickelte bzw. kundenspezifische Produkte



Beispiel für eine Systemintegration mit Hochvoltkomponenten



Methoden der Zellkühlung

Prinzipielle Methoden der Zellkühlung:

- Luftkühlung
- Bodenkühlung
- Seitenkühlung (passiv)
- Seitenkühlung (aktiv)
- Ableiterkühlung
- Immersionskühlung
(nichtleitendes Öl etc.)

Herausforderungen

- Gute thermische Kopplung mit der Batteriezelle
- Ausreichende Isolation (auch im Fehlerfall)
- Gleichmäßige Entwärmung der Zellen

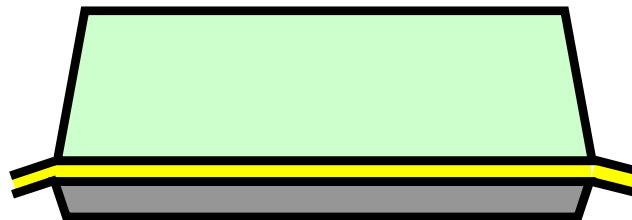


Batteriesystem mit Kühlvorrichtung

Der Batterietrog

Batteriegehäuse (Trog)

- Dichtheit
- Druckausgleich
- Klimatisierung (rel. Luftfeuchte, Temperatur)
- Isolation
- Crashesicherheit
- Leichtbau
- Reparaturfreundlichkeit (häufig Klebungen, z. B. mit PU)
- Elektrischer Anschluss



Batteriesystemdemonstrator der VW AG

Einschätzung der NPE zur Normsituation in der Elektromobilität

Nationale Plattform Elektromobilität (NPE), 2014

Die Deutsche Normungs-Roadmap Elektromobilität – Version 3.0

Folgende Themenbereich wurden besonders adressiert:

- Elektrische Sicherheit
- Crash
- Funktionale Sicherheit
- Komponenten
- Batterie
- Besondere Nutzungsszenarien
- Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV)
- Blitz- und Überspannungsschutz
- Hochvoltbordnetz

Viele Normthemen sind noch offen oder wenig detailliert.

Am umfassendsten sind Ladesysteme genormt.

Einschätzung der NPE zur Normsituation in der Elektromobilität (ausgewählte Beispiele)

Elektrische Sicherheit

- Elektrische Betriebssicherheit und Schutz von Personen (ISO 6469)
- Leitungen für Straßenfahrzeuge in den Spannungsklassen 60 V und 600 V (ISO 6722 und ISO 14572)
- ISO 17409 Sicherheitsanforderungen an das Fahrzeug beim Anschluss an eine Ladestation
- DC-Spannungspegel oberhalb von 400/600 V derzeit nicht genormt

Crash

- Norm zu Anforderungen an das Fahrzeug nach einem Unfall in Erarbeitung
- Wissenschaftliche Untersuchungen erforderlich, wie die Batteriesysteme nach einem schweren Unfall in einen sicheren Zustand versetzt werden kann – anschließend Normungsbedarf
- Rettungsdatenblätter normen: relevante Komponenten (HV-Leitungen, Steuergeräte, Batterien etc.) berücksichtigen
- Rettungsleitfäden wegen steigender Komplexität der im Rettungsfall zu beachtenden Anforderungen nach einheitlichem Aufbau erforderlich

Einschätzung der NPE zur Normsituation in der Elektromobilität (ausgewählte Beispiele)

Funktionale Sicherheit

- Durch ISO 26262 abgedeckt (Hardware- und Softwaresystem)
- Brandgefahr von Lithium-Ionen-Batterien
- Einhaltung spezifischer Richtlinien notwendig – Normbedarf
- IEC 61508: prozessorientierte Leitnorm, anwendungsbereichsspezifische Ableitungen, z. B. ISO 26262

Komponenten

- Anforderungen an die Qualität und Leistungsfähigkeit, die Klassifizierung und ggf. Schnittstellen
- Existierende Normen anpassen und erweitern, z. B. ISO 16750 „Road vehicles – Environmental conditions and testing for electrical and electronic equipment“

Einschätzung der NPE zur Normsituation in der Elektromobilität (ausgewählte Beispiele)

Batterie

- Derzeit nur Lithium-Ionen-Batterien betrachtet (Relevanz anderer erst in zehn Jahren)
- Normung der äußeren Geometrie der Batterie nicht angestrebt – würde die Designfreiheiten stark einschränken
- Standardisierung der Abmessungen von Batteriezellen für den automobilen Einsatz sowie der Lage der Anschlüsse unterstützt jedoch eine effektive Systementwicklung (ISO/PAS 16898 „Electrically propelled road vehicles – Dimensions and designation of secondary lithium-ion cells“, DIN SPEC 91252 „Elektrische Straßenfahrzeuge – Batteriesysteme – Abmessungen für Lithium-Ionen-Zellen“)
- Bei Sicherheit von Batteriesystemen sind einheitliche Standards mit hoher Priorität anzustreben
- ISO 12405 zur Prüfungen für die Systeme
- Prüfung der Zellen Normenreihe IEC 62660
- Norm zur Restlebensdauer existiert nicht – Forschungsgegenstand

Einschätzung der NPE zur Normsituation in der Elektromobilität (ausgewählte Beispiele)

Besondere Nutzungsszenarien

- Pannenhilfe bei leerer Batterie

Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV)

- Moderne, leistungsstarke Ladeverfahren können zu Netzurückwirkungen und Stabilitätsproblemen führen, die normativ zu erfassen sind (IEC 61851-21-1, IEC 61851-21-2, DIN EN 61000-6-2 „EMV – Störfestigkeit Industriebereich“, DIN EN 61000-6-3 „EMV – Störaussendung für Wohnbereich, Geschäfts- und Gewerbebereiche sowie Kleinbetriebe“)

Blitz- und Überspannungsschutz

- Gesamtsystem „Fahrzeug – Ladestation – Versorgungsnetz“

Hochvolt Bordnetz

- Bordnetz der Spannungsklasse B:
> 30 V – 1.000 V (AC) bzw. > 60 V – 1.500 V (DC) (ISO 6469-3)

Normen und Tests zur Sicherheit

UN 38.3 „Prüfungen zur Transportfähigkeit von Lithium-Ionen-Batterien“

DIN EN 62660 „Testverfahren und Sicherheitsanforderungen für Lithium-Ionen-Batterien, die für den Einsatz in Elektrofahrzeugen gedacht sind“

1. Höhensimulation („Altitude Simulation“)
2. Thermischer Test (Temperaturwechsel)
3. Vibrationstest
4. Stoßtest („Shock“)
5. Externer Kurzschluss
6. Aufprall / Schlagwirkung („Impact“)
7. Überladung („Overcharge“)
8. Erzwungene Entladung



Normen und Tests zur Sicherheit

DIN EN 62660 „Testverfahren und Sicherheitsanforderungen für Lithium-Ionen-Batterien, die für den Einsatz in Elektrofahrzeugen gedacht sind“ (*fortgesetzt*)

Unterscheidung zwischen kleinen und großen Batteriesätzen
(Grenze: Gesamt-Lithiumgehalt von 500 g bzw. Nennenergie von 6.200 Wh)

Prüfungen bei:

- Druckabfall
- Temperaturwechsel
- Schwingung
- Schock
- Äußerer Kurzschluss
- Aufprallen/Quetschen

auf:

- Verrutschen
- Verformung
- Kurzschluss
- Übermäßige Erwärmung
- Austreten von Batterieflüssigkeit
- Entweichen von Gas
- Brand
- Bersten
- Explosion



Normen und Tests zur Sicherheit

VDA – Prüfspezifikationen

- Kontrollierter Stoß
- Penetration
- Falltest
- Eintauchen
- Überschlagssimulation
- Aufpralltest
- Thermische Stabilität
- Simuliertes Kraftstofffeuer
- Hochtemperaturlagerung
- Schnelle Ladung / Entladung
- Thermisches Zyklisieren
- Überladung / Überspannung
- Kurzschluss
- Tiefentladung / Verpolung
- Kurzschluss



Neue Herausforderungen für Rettungskräfte bei Unfällen

- Rettungskarten und -handbücher für die Rettungskräfte erforderlich
- Verfügbarkeit detaillierter Beschreibungen für die sichere Deaktivierung des HV-Systems

BMW i01
KombiLimousine
(ab 11/2015)

Legende					
					aktives Fußgängerschutz-System
					Hochvolt-Trennstelle (Schneidlösung)
					Sicherheitsventil
					Hochvolt-Kondensator

In dieser Übersicht ist die maximale Ausstattung des Fahrzeugs dargestellt

ID Nr.	Version Nr.	Version Datum	Seite
WBV-i01	1	11/2015	01

Wichtig: weiterführende Informationen siehe Rettungsleitfaden.
© 2016 BMW AG München, Deutschland

Hochvolt-System deaktivieren - im Frontbereich des Fahrzeugs

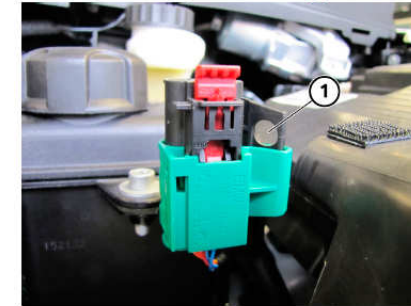
Frontklappe öffnen und Abdeckung (1) entfernen.



Stecker-Trennsicherung (1) entriegeln und nach oben ziehen.
Stecker (2) für Hochvolt-Trennstelle in Pfeilrichtung auseinanderziehen.



Das Hochvolt-System ist deaktiviert, wenn die Bohrung (1) durchgängig frei ist.
Um ein unbeabsichtigtes Aktivieren des Hochvolt-Systems zu vermeiden, kann durch die offene Bohrung (1) z. B. ein Vorhängeschloss montiert werden!
Hinweis: Die Steckverbindung kann nicht vollständig getrennt werden.



Hochvolt-System deaktivieren - im Heckbereich des Fahrzeugs

Sollte die Hochvolt-Trennstelle im Frontbereich nicht zugänglich sein, ist das Hochvolt-System über die zweite Hochvolt-Trennstelle (Schneidlösung) im Heckbereich zu deaktivieren.

Ladeanschlussklappe öffnen und Abdeckung (1) mit Schraubendreher ausheben.



Beispielseiten aus den Rettungsinformationen für einen BMW i01

[https://aos.bmwgroup.com/c/portal/ossDownload?url=rescue-information%2Fbmwi%2Fi3%2Fde_i01-%28ab-2015%29.pdf]

15.03.2017 | Batterie-Modul und -System | Dipl.-Ing. Mario Wagner |
Institut für Füge- und Schweißtechnik | TU Braunschweig | Folie 27

Vortrag

Produktion von Lithium-Ionen-Batterien – vom Aktivmaterial zum Batteriesystem und zurück

Batteriemodul- und -systemfertigung

RAK/FASI-Vortragsreihe „Arbeitssicherheit in der Praxis“:
Elektromobilität und Arbeitsschutz, Braunschweig, 15.03.2017

Dipl.-Ing. Mario Wagner

Technische Universität Braunschweig
Institut für Füge- und Schweißtechnik (ifs)
Institutsleiter Prof. Dr.-Ing. Klaus Dilger

Langer Kamp 8

38106 Braunschweig

Tel.: 0531 - 391 - 95591

Fax: 0531 - 391 - 95599

mario.wagner@tu-braunschweig.de

<http://www.ifs.tu-braunschweig.de/>

Das Institut ist Mitglied der Battery LabFactory Braunschweig (BLB), Langer Kamp 19,
38106 Braunschweig, <https://www.tu-braunschweig.de/blb/>



Technische
Universität
Braunschweig

15.03.2017 | Batterie-Modul und -System | Dipl.-Ing. Mario Wagner |
Institut für Füge- und Schweißtechnik | TU Braunschweig | Folie 28

Institut für Füge- und
Schweißtechnik



BLB BATTERY
LABFACTORY
BRAUNSCHWEIG
EINE EINRICHTUNG IM **NFF**