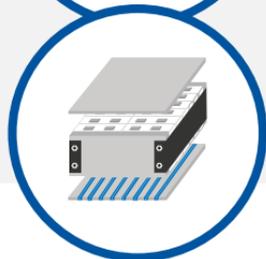
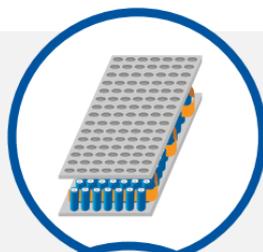
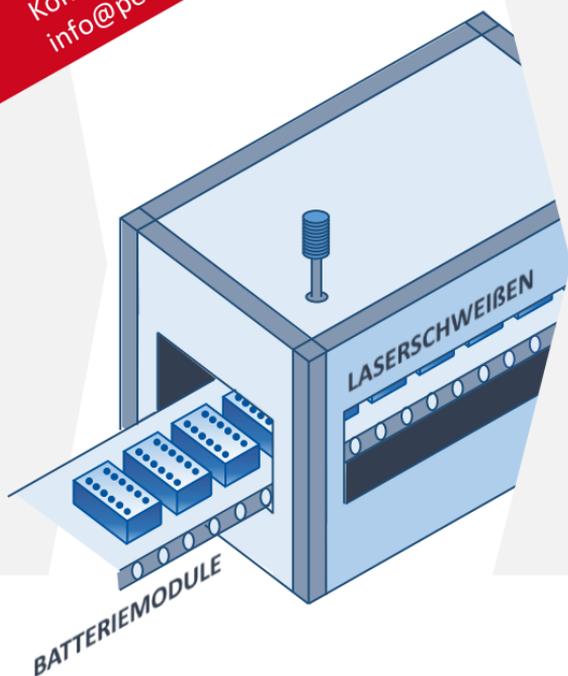


Auch als kostenlose
Broschüre erhältlich
Kontaktieren Sie uns unter:
info@pem.rwth-aachen.de



MONTAGEPROZESS EINES BATTERIEMODULS UND -PACKS



RWTHAACHEN
UNIVERSITY



Batterieproduktion



Das PEM der RWTH Aachen ist seit vielen Jahren im Themenfeld der Batterieproduktion der Lithium-Ionen-Batterietechnologie tätig. Das Tätigkeitsfeld erstreckt sich sowohl über Automotive-, als auch über Stationäre-Anwendungen. Durch eine Vielzahl nationaler und internationaler Industrieprojekte in Unternehmen aller Wertschöpfungsstufen sowie zentralen Positionen in namhaften Forschungsprojekten bietet das PEM weitreichende Expertise.



PEM

Chair of Production Engineering of E-Mobility Components
Campus Boulevard 30
52074 Aachen

www.pem.rwth-aachen.de

Der Verband Deutscher Maschinen- und Anlagebau (VDMA) vertritt über 3200 Unternehmen des mittelständisch geprägten Maschinen- und Anlagenbau. Die Fachabteilung Batterieproduktion thematisiert die Produktionstechnik von Batterien. Mitgliedsunternehmen liefern Maschinen, Anlagen, Maschinenkomponenten, Werkzeuge und Dienstleistungen in der gesamten Prozesskette der Batterieherstellung: Von der Rohstoffaufbereitung, Elektrodenproduktion und Zellausbringung bis hin zur Modul- und Packfertigung.



VDMA

Battery Production
Lyoner Straße 18
60528 Frankfurt am Main

www.vdma.org

Autoren

PEM der RWTH Aachen



**Dr.-Ing. Dipl.-Wirt.-Ing.
Heiner Hans Heimes**
Oberingenieur
Leiter Elektromobilitätslabor
H.Heimes@pem.rwth-aachen.de



Prof. Dr.-Ing. Achim Kampker



Saskia Wessel, M.Sc.
Gruppenleiterin Battery Engineering
S.Wessel@pem.rwth-aachen.de



Mario Kehrer, M.Sc.
Battery Engineering
M.Kehrer@pem.rwth-aachen.de

VDMA



Dr. Sarah Michaelis
Batterieproduktion, Batteriefunktion
Sarah.Michaelis@vdma.org



Ehsan Rahimzei
Batterieproduktion, Batteriefunktion
Ehsan.Rahimzei@vdma.org



Haben Sie Fragen?

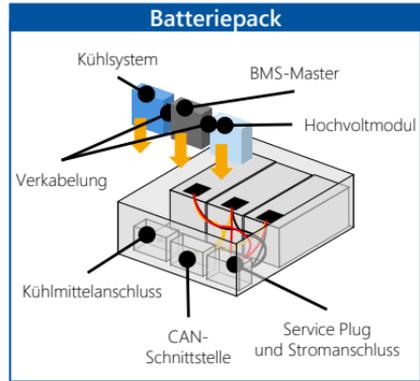
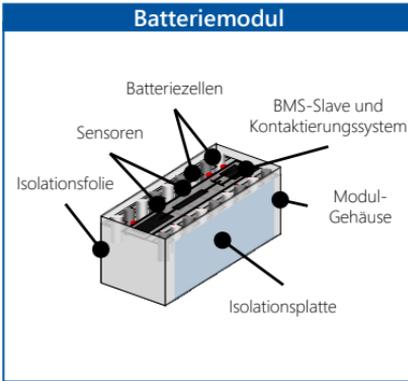
Sprechen Sie uns an!



Frankfurt am Main, Oktober 2018
PEM der RWTH Aachen und VDMA Eigendruck,
3. Auflage
ISBN: 978-3-947920-02-0

Übersicht

eines Batteriemoduls und eines Batteriepacks



Modulfertigung

Packfertigung

Diese Broschüre zeigt aufbauend auf der Broschüre „Der Produktionsprozess einer Lithium-Ionen-Zelle“ die Weiterverarbeitung der Zelle zu Batteriemodulen und schließlich zu einem Batteriepack schematisch auf.

Die einzelnen Zellen werden in einem Modul seriell oder parallel verschaltet. Mehrere Module sowie weitere elektrische, mechanische und thermische Komponenten werden zu einem Pack assembliert.

Das Pack ist je nach den geforderten Leistungsdaten unterschiedlich verschaltet und dimensioniert. Durch die Vielzahl unterschiedlicher Produkt- und Prozessvarianten sind übergreifende Angaben zu den Prozessparametern nicht möglich und können ggf. in gemeinsamer Diskussion mit dem Lehrstuhl PEM oder dem VDMA näher spezifiziert werden.

Technologieentwicklung

der Batteriemodule und Batteriepacks

Produktinnovation (Auszug)

- **Mechanische Integration**
 - Vereinfach. Modulgehäuse
 - Kunststoff Packgehäuse
- **Elektrische Integration**
 - Verlagerung des BMS
 - Kontaktierungssystem

Prozessinnovation (Auszug)

- **Modulmontage**
 - Entfall Zellverklebung
 - Entfall Modulmontage
- **Packmontage**
 - Montage Niedervoltbereich
 - Fügevorgang Packcover

- Bereits heute bekannte Technologieentwicklungen werden die mechanische und elektrische Integration der Gehäuse und Systeme verbessern.
- Die Erforschung der Produkt- und Prozessinnovationen verfolgt primär im Hinblick auf Kostensenkungen und Vereinfachungen in der Montage.

Übersicht

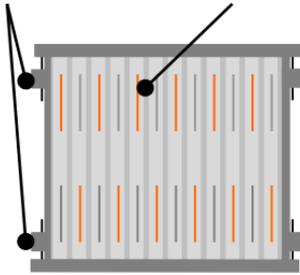
Vergleich der Batteriemodule



Batteriemodul aus Pouchzellen

Federver-
spannung

Zelle



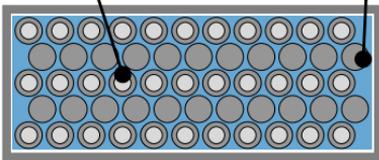
- Grundsätzlich ist zu beachten, dass die Pouchzellen während dem Lade- bzw. Entladezyklus atmen.
- Jede Pouchzelle wird in einen Rahmen eingelegt.
- Aufgrund des Atmens der Zellen werden die Rahmen beweglich mittels Federn verspannt.
- Die Kühlung in einem Pouchmodul ist optional und kann entweder konvektiv oder mit einem flüssigen Kühlmittel erfolgen.
- Pouchzellen lassen sich beispielweise über U-Profile in seriell verschalten.



Batteriemodul aus Rundzellen

Zelle

Zellhalter



- In der Architektur eines Rundzellenmoduls werden die Zellen über Zellhalter fixiert.
- Die Zwischenräume der Zellen können für die Kühlung mit einem Kühlsystem oder einer Direktkühlung genutzt werden.
- Durch das Metallgehäuse kann das Atmen der Zelle unterbunden werden.
- Auf Modulebene können die Zellen sowohl seriell als auch parallel verschaltet werden.
- Die Zellen werden über eine Metallplatte auf beiden Seiten kontaktiert.



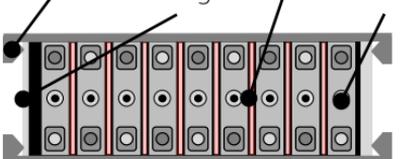
Batteriemodul aus prismatischen Zellen

Verspannung

Verklebung

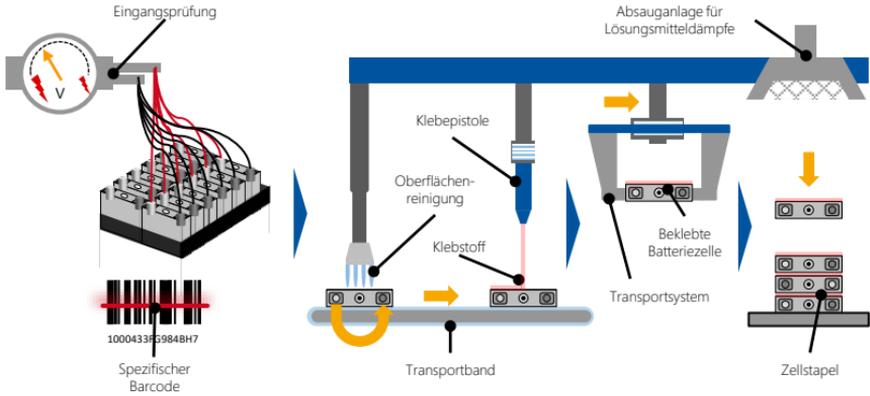
Bandage

Zelle



- Prismatische Zellen lassen sich ohne verbleibende Zwischenräume verbauen.
- Die einzelnen Zellen werden miteinander verklebt.
- Der Klebstoff bzw. die Klebefolie dient sowohl der elektrischen als auch der thermischen Isolation im Havariefall.
- Verspannt werden die Zellen mit einer Bandage und/oder dem Gehäuse aus Kunststoff oder Metall.

Vormontage Modulfertigung



Packfertigung

- Wareneingang am Beispiel von prismatischen Zellen: Scannen der Produktlabel und ggf. sortieren entsprechend der Leistungsdaten.
- Wareneingangsprüfung zum Aussortieren von fehlerhaften Zellen (elektrochemische Impedanzanalyse, Spannungsmessung, Kapazitätsanalyse etc.).
- Je nach Anlieferzustand Reinigen und/oder Aktivieren der Oberflächen.
- Fügen der Zellen (z.B. durch Flüssig- oder Festklebstoffe).
- Das Fügemedium muss elektrisch isolierend wirken, um einen internen Kurzschluss zu verhindern. Gängig sind Klebstoffe auf Polyurethanbasis mit elastomeren Eigenschaften nach dem Aushärten.
- Es erfolgt ein definiertes Stapeln der Zellen.
- Je nach Fügemedium Absaugung von Lösungsmitteldämpfen.

Prozessparameter & -anforderungen

- Genaue Positionierung und sichere Fixierung der Zellen zueinander notwendig
- Leistung, Ladezeit und Lebensdauer abhängig von der schwächsten Zelle
- Geschwindigkeit des Prozesses stark vom Grad der Automatisierung abhängig
- Lieferqualität des Lieferanten entscheidet über Prüfumfänge

Technologiealternativen [Auszug]

- Klebepistole für den Klebstoffauftrag
- Auftrag von doppelseitigen Klebestreifen

Qualitätseinflüsse [Auszug]

- Positionsgenaueres Zellhandling
- Klebe- und Anpressverfahren

Qualitätsmerkmale [Auszug]

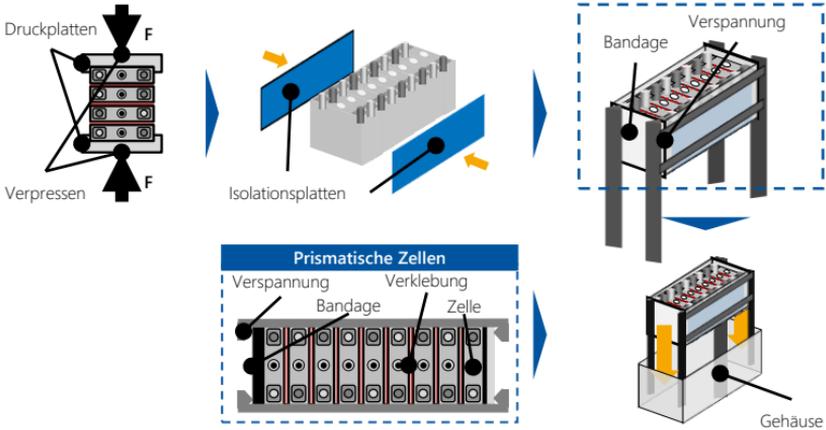
- Positionsgenaueres Handling der Zellen
- Angepasster Anpressdruck bei Transport und Einsetzen, um ein Auslaufen des Elektrolyten zu verhindern

Fertigungskosten* [Auszug]

Invest für Maschinen und Anlagen: 4,0-5,0 Mio. €

Isolierung und Verspannung

Modulfertigung



Packfertigung

- Gestapelte Zellen werden verpresst, um eine definierte Stapelgeometrie zu erzeugen und das Ausdehnen und Zusammenziehen der Zellen (engl. swelling) bei Be- und Entladung zu minimieren.
- Die Verpressung wird durch eine Spannvorrichtung, eine Bandagierung oder durch den Modulkörper selbst fixiert.
- Zum Wärmeabtransport und der elektrischen Isolation werden Kunststoffplatten bzw. -folien verwendet, welche neben dem Stromfluss einen Wärmetransport unterbinden. Diese sollen eine Kettenreaktion im Havariefall einer Zelle unterbrechen.
- Exaktes Positionieren der Komponenten am Modul und anschließendes Verkleben und/oder Verschrauben sowie Einbringen ins Gehäuse.
- Für Pouchzellen ist anstelle des Verklebens das Einbringen in einzelne Rahmen (Schubladensysteme) und anschließendes Verspannen möglich.

Prozessparameter & -anforderungen

- Maximale Verpresskräfte in N und N/cm² (je nach Zelltyp und Spezifikationen)
- Gleichmäßiger Anpressdruck zwischen Isolationsplatte und Modul in N/cm²
- schnelle Prozessdurchführung und Aushärtezeiten bei Vergussmassen
- Anzugmomente der Verbindungselemente, Verspannungen

Technologiealternativen [Auszug]

- Automatische Greifer für das Stapeln der Zellen
- Manuell befüllte Zellmagazine für die Zufuhr der Zellen zur Modulmontage

Qualitätseinflüsse [Auszug]

- Genaue Handlingstechnologie
- Präzisionspressen

Qualitätsmerkmale [Auszug]

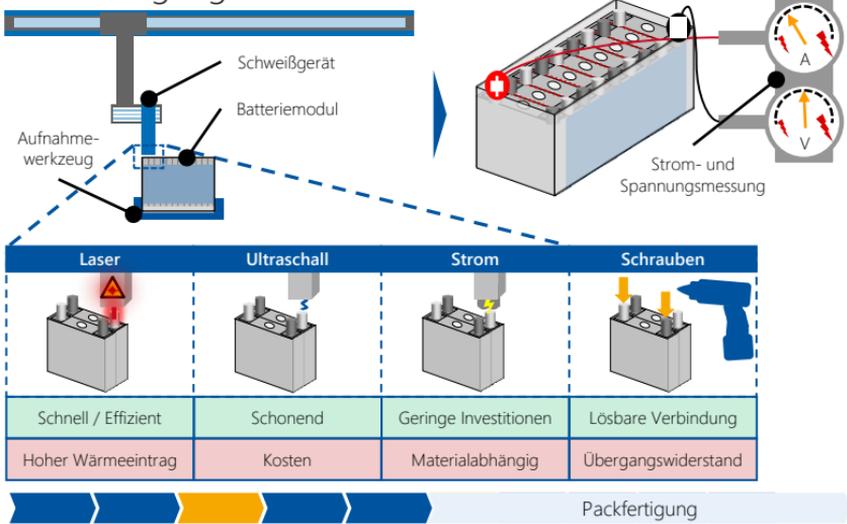
- Präzise Positioniermaßnahmen
- Optimale Wärmeabfuhr
- Berücksichtigung der Toleranzketten von Zellen und Modulkomponenten

Fertigungskosten* [Auszug]

Invest für Maschinen und Anlagen: 1,0-1,5 Mio. €

Elektrische Kontaktierung

Modulfertigung



- Verschaltung der Zellen durch elektrisches Verbinden der Kontaktfahnen/Ableiter. Je nach Modulspannung werden die Zellen zu einem oder mehreren parallelen Strängen kontaktiert.
- Kontaktieren z.B. mittels Ultraschall- (geringer Wärmeeintrag), Laserschweißen (hohe Präzision) oder Schraubverbindungen (elektrische Verluste durch Kontaktwiderstände).
- Überprüfen der Fügestellen auf Funktionalität der Leitfähigkeit durch Widerstandsmessungen.
- Bei einem hohen Automatisierungsgrad ist die Überprüfung der Schweißnähte schon während des Schweißvorganges durch eine optische Kontrolle möglich.

Prozessparameter & -anforderungen

- Nahtstellen müssen staub- und fettfrei sein sowie für das Laserschweißen geringe Reflexionen aufweisen
- Ultraschallschweißen: Frequenz: 20-40 kHz, Amplitude: 10-50 μm , Druck: 1-10 MPa
- Laserschweißen: 1000-4000 W
- Geringer Wärmeeintrag in die Zelle

Technologiealternativen [Auszug]

- Laserschweißen
- Ultraschallschweißen
- Verschrauben

Qualitätseinflüsse [Auszug]

- Fügetechnologie / Schweißtechnologie
- Überwachungs- und Prüftechnologie
- Positioniergenauigkeit der Spannvorricht.

Qualitätsmerkmale [Auszug]

- Großer Fügebereich, um elektrischen Widerstand zu minimieren
- Sauberkeit der Fügestellen
- Geringe thermische Belastung

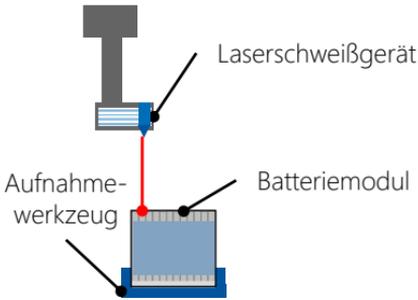
Fertigungskosten* [Auszug]

Invest für Maschinen und Anlagen: 10,5-11,0 Mio. €

Vergleich der Schweißverfahren

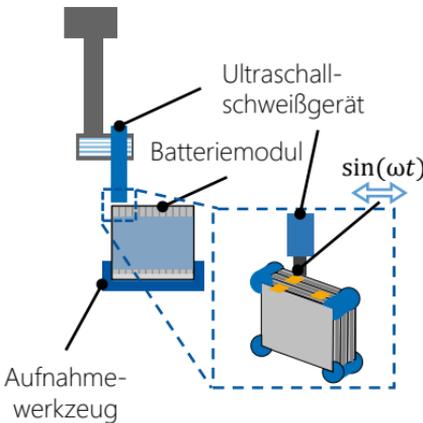
Modulfertigung

Laserschweißen



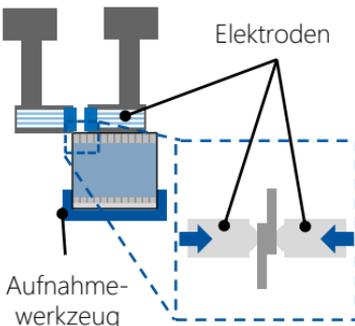
- Eine Laseroptik oder ein Diodenlaser erhitzen den Ableiter und das Kontaktierungsblech bis diese verschmolzen sind.
- Durch die schnelle Energiezufuhr dauert dieser Prozess weniger als eine Sekunde.
- Der Raumbedarf eines Lasersystems ist gering.
- Das Laserschweißen bietet eine hohe Flexibilität für eine nachträgliche Prozessanpassung, da es sich um ein kontaktloses Verfahren handelt.

Ultraschallschweißen



- Durch Grenzflächenreibung und Schallabsorption wird die nötige Schmelzwärme erzeugt.
- Beim anschließenden Erkalten entsteht eine homogene Verbindung.
- Vorteilhaft beim Verschweißen gleicher Materialien.
- Die sehr hohe Fügepräzision und die Zugänglichkeit der Kontaktflächen für die wenig flexible Sonotrode mit Gegenhalter stellen hier den limitierenden Faktor dar.

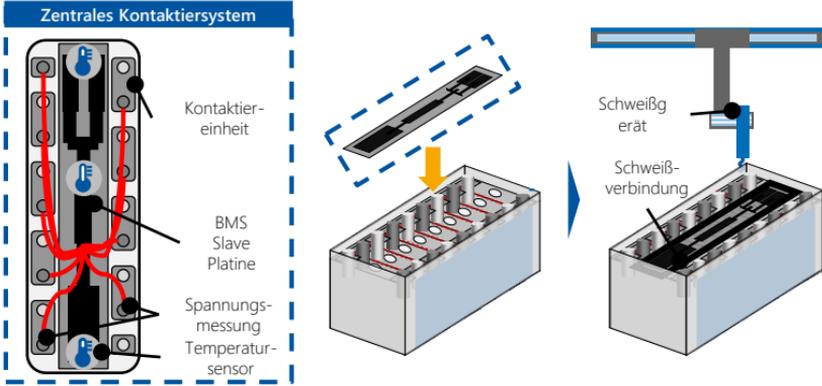
Widerstandsschweißen



- Beim Widerstandsschweißen wird die Schweißwärme durch einen elektrischen Widerstand erzeugt.
- Für den Schweißprozess sind zwei gegenüberliegende Schweißelektroden notwendig.
- Die Eignung der Werkstoffe ist abhängig von der Wärmeleitfähigkeit und dem Schmelzpunkt.

Montage Slave-Platine

Modulfertigung



Packfertigung

- Positionieren der Slave-Platine des Batteriemanagementsystems (BMS) oder einer ganzheitlichen Kontaktiereinheit zur Verarbeitung der Daten und Steuerung der Sensoren.
- Fügen der Platine an das Modul durch Schweißverfahren und/oder Verschraubungen.
- Montieren der Spannungsmessleitungen mittels Schraub- oder Schweißverbindungen sowie Aufkleben der Temperatursensoren.
- Verbinden der Sensorik mit der Platine über Steckverbindungen.
- Funktionstest durch Signalüberprüfung und stichprobenhaftes Prüfen der Schweißnähte durch Röntgen- oder Ultraschallmessung.

Prozessparameter & -anforderungen

- Beschädigungsfreies Fügen von Platine und Sensoren
- Anlieferungszustände mit definierten Oberflächenspannungen
- Präziser Einbau und Handling der hochempfindlichen Sensoren
- Geringer Wärmeeintrag (Brandgefahr)

Technologiealternativen [Auszug]

- Laserschweißen
- Verschrauben
- Steckverbindung

Qualitätseinflüsse [Auszug]

- Präzision der Schweißtechnik
- Gewählte Montagetechnologie
- Genaue Positionierung

Qualitätsmerkmale [Auszug]

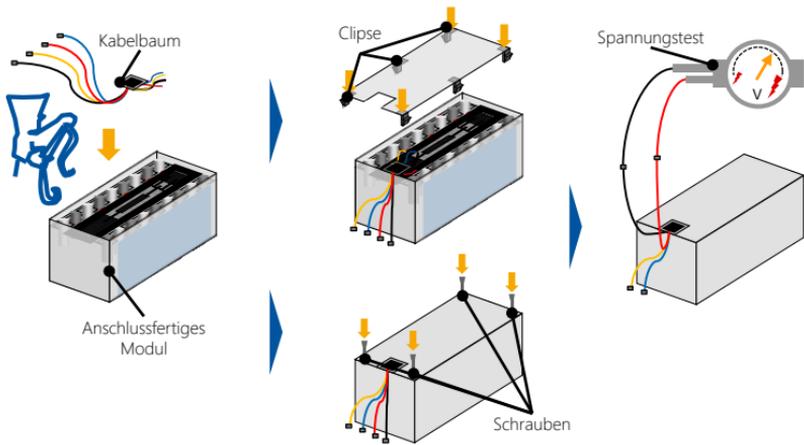
- Genaue Positionierung von Sensoren und Platine (Gefahr von Kurzschlüssen)
- Güte der Fügeverbindungen
- Hochempfindlichkeit von Zelle & Sensoren

Fertigungskosten* [Auszug]

Invest für Maschinen und Anlagen: 0,6-0,8 Mio. €

Montage der Schlussplatte

Modulfertigung



Packfertigung

- Anbringen und Fixieren von Kabeln (Spannungs- & COM-Kabel).
- Verkabeln der Steuerung und ggf. des Kühlsystems für das spätere Anschließen an den BMS-Master.
- Montieren der Schlussplatte, Fixieren mit Schrauben oder Clipsen.
- Testen des Moduls u.a. auf:
 - Äußere Unregelmäßigkeiten (optische Toleranzen)
 - Funktionalität der Kommunikation und Sensoren (Softwaretest)
 - Zellspannung, Zelldifferenz (Balancing)
 - State of Charge (SOC) des Moduls
 - HV-Festigkeit (Widerstandsmessung)
 - Ggf. Dichtheit des Kühlkreislaufs und des Moduls (z.B. Testgas-Leckageprüfung, Überdruckprüfung, Vakuumprüfung)
- Schutzkappen, Label anbringen und Vorbereitung Transport.

Prozessparameter & -anforderungen

- Handhabungs- und Sicherheitsvorschriften bei der Kontrolle durch Mitarbeiter
- Einbau der biegeschlaffen Kabelsätze
- Sicherstellung der Transportsicherheit (Kabel, Anschlüsse, Schutzkappen etc.)

Technologiealternativen [Auszug]

- Schraubroboter mit Magazin
- Clipsen des Moduldeckels mittels Steckverbinder

Qualitätseinflüsse [Auszug]

- Montagetechnologie in Abhängigkeit des Modulkonzepts
- Mess- und Prüftechnologie

Qualitätsmerkmale [Auszug]

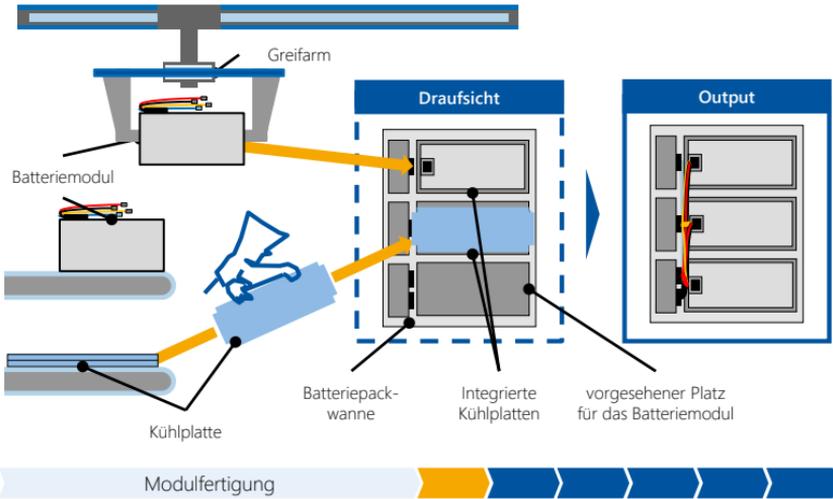
- Äußere Unversehrtheit und technische Sauberkeit
- zugelassene Nacharbeitsumfänge
- Transportfähigkeit (Kabel, Anschlüsse)

Fertigungskosten* [Auszug]

Invest für Maschinen und Anlagen: 0,2-0,4 Mio. €

Einsatz der Zellmodule

Packfertigung



- Montieren der Kühlplatten im Boden der Batteriepackwanne für Kühlung der Module im Betrieb (ggf. auch Winter-Heizfunktion).
- Einbringen der Batteriemodule ins Packgehäuse durch entsprechende Greifer an eine freie Stelle im Boden des Packs.
- Wiederholen der Schritte bis alle Module (hier schematisch drei Module pro Pack) eingesetzt sind.
- Aufbau und Verschaltungen von Batteriepacks variieren stark zwischen Anwendungsfällen und Anbietern (z.B. 4S3P, 6S3P, 12S1P usw. / S=Seriiell, P=Parallel).
- Häufig werden zwei serielle Modulstränge parallel verschaltet.
- Vollelektrische Fahrzeuge besitzen Hochenergiezellen. Hybrid-Fahrzeuge besitzen Hochleistungszellen.

Prozessparameter & -anforderungen

- Schutzausrüstung sowie Schulung zur Hochvolt-Sicherheit notwendig
- Anschlüsse von Modulen müssen sicher positioniert sein und dürfen den Montageprozess nicht behindern
- Handling der teils sehr großflächigen Küherelemente durch Mitarbeiter (Arbeitsschutz)

Technologiealternativen [Auszug]

- Voll automatisierte Greifermontage
- Halbautomatisches Einsetzen der Module mit Manipulatoren

Qualitätseinflüsse [Auszug]

- Flexible Montagetechnologie für unterschiedliche Speichergeometrien

Qualitätsmerkmale [Auszug]

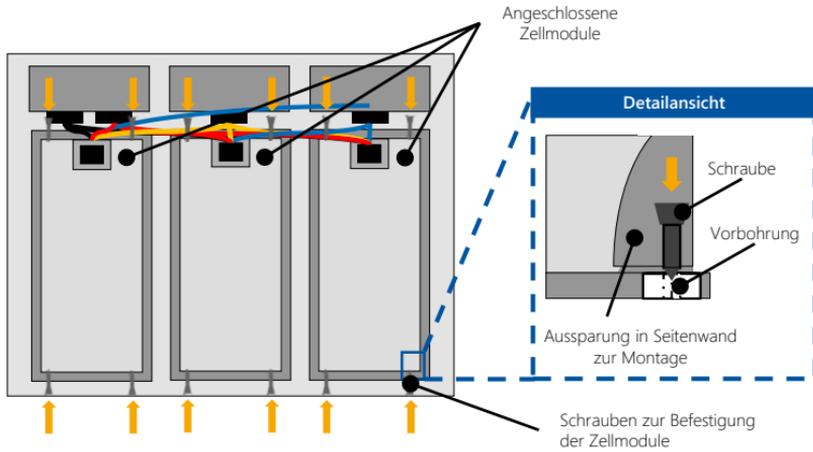
- Kurzschlussgefahr im Handling der Module
- Beschädigungsfreier Transport durch angepassten Anpressdruck
- Handling großflächiger Gehäuse und Kühler

Fertigungskosten* [Auszug]

Invest für Maschinen und Anlagen: ca. 1,0 Mio. €

Befestigung der Zellmodule

Packfertigung



Modulfertigung

- Fixieren der Batteriemodule z.B. mittels Schraubverbindungen an dafür vorgesehenen Stellen im Batteriepackgehäuse.
- Die zusätzliche Verschraubung kann die Steifigkeit erhöhen und sichert zusätzlich gegen Vibrationen im Betrieb.
- Sicherstellen der korrekten Position und der beschädigungsfreien Montage durch geeignete Systeme (z.B. Kamera, Montagehilfen, Zentrierpins etc.).
- Typische Schraubengrößen je nach Aufbau M6-M12.
- Verdrehsicherung beim Anziehen der Schrauben muss sichergestellt werden.

Prozessparameter & -anforderungen

- Präzises und beschädigungsfreies Fixieren der Module an den Boden
- Fixierung mittels Kleben, Stecken oder Verschrauben der Komponenten
- Anbindung an Kühlerstrukturen
- Anzugsmomente der Schrauben entsprechend der Modulgröße sowie des Schraubentyps

Technologiealternativen [Auszug]

- Keine Alternativen in der Großserienproduktion vorhanden

Qualitätseinflüsse [Auszug]

- Integration unterstützender Montagehilfen (bspw. Fügekonus im Packkörper)
- Automatisierung einer flexiblen Produktionslinie

Qualitätsmerkmale [Auszug]

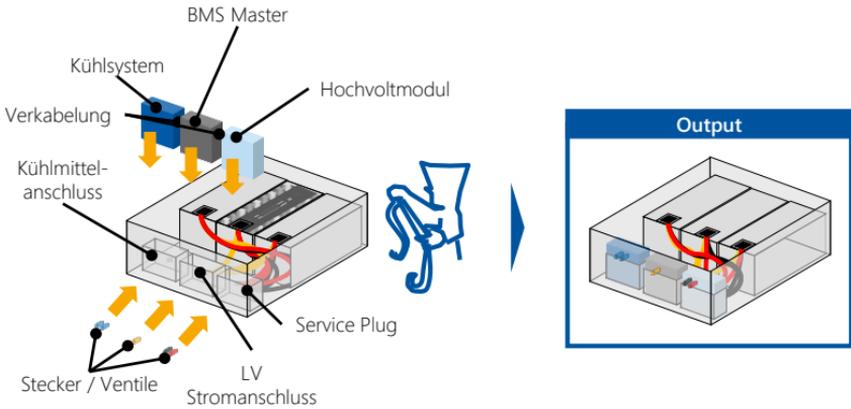
- Garantierter fester Sitz der Module
- Auslegung des Gesamtsystems auf mögliche Toleranzschwankungen
- Berührflächen zur Wärmeabführung

Fertigungskosten* [Auszug]

Invest für Maschinen und Anlagen: 0,9-1,2 Mio. €

Elektrische & thermische Integration

Packfertigung



Modulfertigung

- Positionieren des Kühlsystems in der dafür vorgesehenen Halterung und Verbinden mit Kühlelementen im Packgehäuse.
- Aufsetzen und Verschrauben des Hochvoltmoduls bestehend aus Relais, Sicherungen, Vorlade- & Strommesssystem, Isolationsüberwachung usw.
- HV- und LV-Kabelbaum mit Modulen und Peripheriegeräten verbinden.
- Montieren und Verkabeln des Batteriemanagementsystems (BMS Master) zur Steuerung von Kühlsystem, Module Slave-Platinen und Hochvoltmodul.
- Montage durch speziell ausgebildete Mitarbeiter bei einer Anschlussspannung über 60 V (Arbeiten unter Spannung, Sensibilisierung für Batterierisiko – Elektrofachkraft).
- Anschlüsse, Ventile und Stecker am Außengehäuse zur Vorbereitung der Fahrzeugintegration verbinden/anschießen.

Prozessparameter & -anforderungen

- Meist sind Kühlsystem, Batteriemanagementsystem, Hochvoltmodul vormontierte Zukaufteile
- Montage der biegeschlaffen Kabel kann nur durch einen geschulten Mitarbeiter erfolgen und nur schwer automatisiert werden

Technologiealternativen [Auszug]

- Busbarsysteme für gleichzeitiges Kontaktieren und Fixieren der Module

Qualitätseinflüsse [Auszug]

- Montagetechnologie und -unterstützung
- Poka-Yoke Auslegung zum Schutz vor Falschverbau

Qualitätsmerkmale [Auszug]

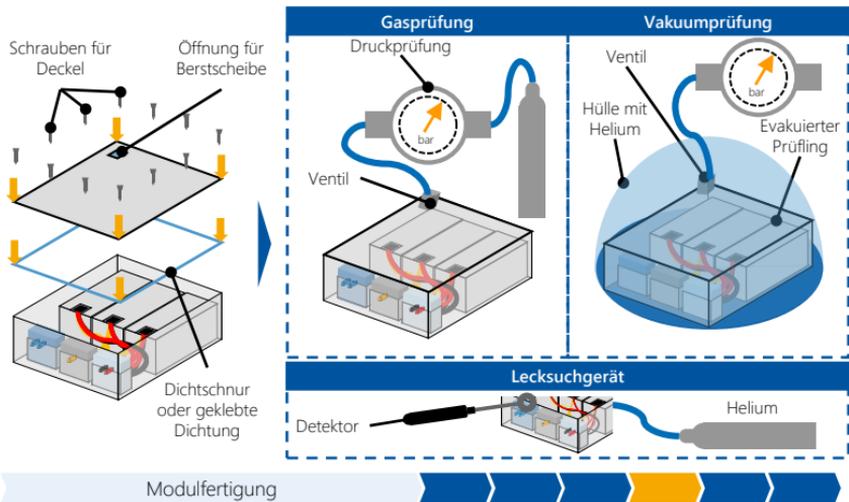
- Korrekte Positionierung und Verkabelung der Peripheriegeräte
- Zugänglichkeit der Anschlussstellen
- Hochvoltsicherheit (> 60 V) für Mitarbeiter

Fertigungskosten* [Auszug]

Invest für Maschinen und Anlagen: 0,9-1,0 Mio. €

Verschließen & Dichttheitstest

Packfertigung



- Anbringen bzw. Auftragen der Dichtungen (z.B. Gummichtung, aufgespritzte oder geklebte Dichtungen) am Gehäuse- oder Deckelrand.
- Aufsetzen des Gehäuseoberteils bzw. Deckels und Verbinden (z.B. durch Verschrauben) mit Batteriepackgehäuse.
- Überprüfen des Gehäuses auf Dichtheit über Öffnung der Berstscheibe oder ein Dichtprüfgerät.
- Ggf. Überprüfung der Dichtheit des Kühlkreislaufes durch geeignetes Gas (z.B. Helium) oder Lecksuchgeräte.
- Montieren einer Berstscheibe im Batteriepackgehäuse zur Drucksicherung des Batteriepacks und Sicherheit während des Betriebes.

Prozessparameter & -anforderungen

- Staubdichtheit und Widerstandsfestigkeit
- Dichtung muss für Temperaturwechsel geeignet sein
- Während der Prüfung ist bei Überdruck ein Zerbersten des Gehäuses möglich
- Berstscheibe notwendig für Sicherheitsschutz bei Batteriebetrieb

Technologiealternativen [Auszug]

- Überprüfen der Komponenten, um die finale Dichtheit sicherzustellen
- Keine vollständige Alternative in der Großserienproduktion vorhanden

Qualitätseinflüsse [Auszug]

- Flexible Montagetechnologie
- Dichtheitsprüfung

Qualitätsmerkmale [Auszug]

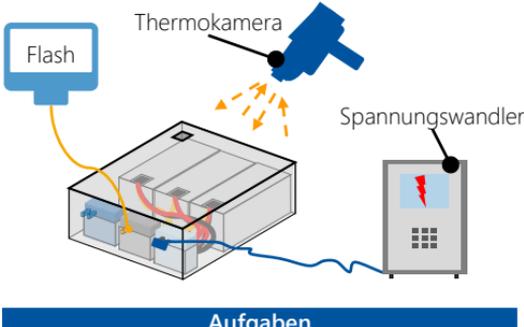
- Dichtheit des Pack trotz Belüftung gewährleisten
- Definition der erlaubten Nacharbeit
- Servicefähigkeit zur Öffnung des Gehäuses

Fertigungskosten* [Auszug]

Invest für Maschinen und Anlagen: 1,8-2,0 Mio. €

Laden & Flashen

Packfertigung



Aufgaben

- Ladezustand herstellen
- Funktionstest des Thermomanagements

Modulfertigung

- Anschließen des BMS an einen Computer und „Flashen“ mit der neuesten Software durch ein Systemanalyseprogramm.
- Überprüfen der korrekten Funktion aller Systeme über das Analyseprogramm.
- Herstellen des gewünschten, gleichmäßigen Ladezustands aller Zellen.
- Ggf. Überwachen der Schweißverbindungen und der Thermomanagementfunktionen im Betrieb mittels eines thermografischen Messsystems.

Prozessparameter & -anforderungen

- Installation der aktuellsten Software für Batteriemanagementsystem für entsprechende Fahrzeugvarianten (Variantenbildung über Softwarestände)
- Einhalten der Funktionstoleranzen
- Verhindern von möglicher Gasbildung oder Feuerentwicklung beim Ladevorgang durch Unterdruck und Einhausung

Technologiealternativen [Auszug]

- Keine Alternativen in der Großserienproduktion vorhanden

Qualitätseinflüsse [Auszug]

- Batteriemanagementsoftware
- Mess- und Prüftechnologie

Qualitätsmerkmale [Auszug]

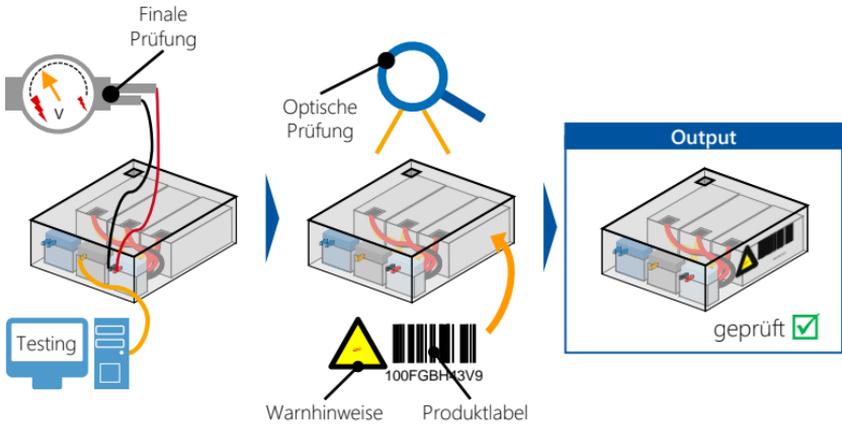
- Funktionsfähigkeit aller Komponenten
- Wärmentwicklung bei Ladevorgang
- Absicherung gegen Fehler aus vorherigen Fertigungsschritten

Fertigungskosten* [Auszug]

Invest für Maschinen und Anlagen: 3,8-4,0 Mio. €

End of Line

Packfertigung



Modulfertigung

- Anschließen der Testgeräte an die jeweiligen Kabelverbindungen bzw. Leitungen.
- Überprüfen der gesamten Elektronik durch Testsoftware und optische Prüfung durch einen Mitarbeiter.
- Prüfung der reibungslosen Funktion des BMS und deren Subkomponenten (Temperatursensoren, Slave Platine, etc.).
- Laden/Entladen der Batterie nach definiertem Leistungsprofil und Herstellung eines gewünschten Ladezustands (SOC) zur Lagerung oder Fahrzeugmontage.
- Aufkleben von Labeln und Warnhinweisen sowie Kennzeichen als „geprüft“ und Freigeben des Packs.
- Verpacken und Transportieren des Batteriepacks.

Prozessparameter & -anforderungen

- Finaler Prozess mit anschließender Ablage in Werkstückträgern
- Kriterienkatalog für umfassende Prüfung (keine einheitliche Vorschrift)
- Gute Schulung der Mitarbeiter notwendig
- Definierter Ablieferzustand in Abstimmung mit Fahrzeugmontage (Halter, Anschlüsse, Softwarestände etc.)

Technologiealternativen [Auszug]

- Vorgelagertes Balancing der Module im Wareneingang oder in Vorhaltepositionen innerhalb der Produktionslinie

Qualitätseinflüsse [Auszug]

- Wahl der Mess- und Prüftechnologie

Qualitätsmerkmale [Auszug]

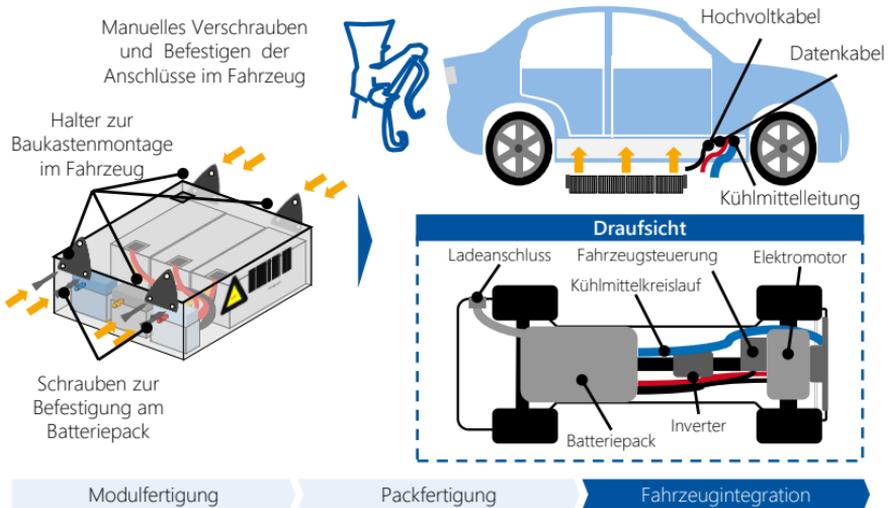
- Erfüllung aller Qualitätsmerkmale
- Definition von erlaubter Nacharbeit
- Gefahr durch Hochvolt (> 60 V) für Mitarbeiter

Fertigungskosten* [Auszug]

Invest für Maschinen und Anlagen: 3,0-3,2 Mio. €

Integration des Batteriepacks

Fahrzeugmontage



- Für den reibungslosen Betrieb der Ladesteuerung sind ein Hochvoltnetz und eine Hochleistungselektronik zur Motorsteuerung notwendig.
- Durch die Verwendung von Hochvolttechnik erhöhen sich die Anforderungen an die Sicherheit, insbesondere bei Crashes, zusätzlich.
- Da die Anschlüsse zur Anbindung an den Kabelbaum des Fahrzeugs biegeschlaff sind, ist der Prozess kaum automatisierbar und muss durch einen Mitarbeiter mit Montagehilfen erfolgen.
- Die mechanische Anbindung des Batteriepacks erfolgt z.B. durch Halter im Bodenmodul und entsprechende Verschraubungen (M10-M14).
- Halter werden eingesetzt, um gleiche Speicher in unterschiedlichen Fahrzeugderivaten zu montieren.

Prozessparameter & -anforderungen

- Produktionslinie muss an Bedürfnisse von Elektrofahrzeugen angepasst werden
- Hohes Gewicht der Batterie verlangt verändertes Design von Front-/Heckmodul. Purpose-Design vs. Conversion Design (Umbau von Verbrennungsfahrzeugen)
- Anpassung von Prüf- & Wartungstechniken (Bspw. an Netzspannungen um die 400 V)

Technologiealternativen [Auszug]

- Keine Alternativen in der Großserienproduktion vorhanden

Qualitätseinflüsse [Auszug]

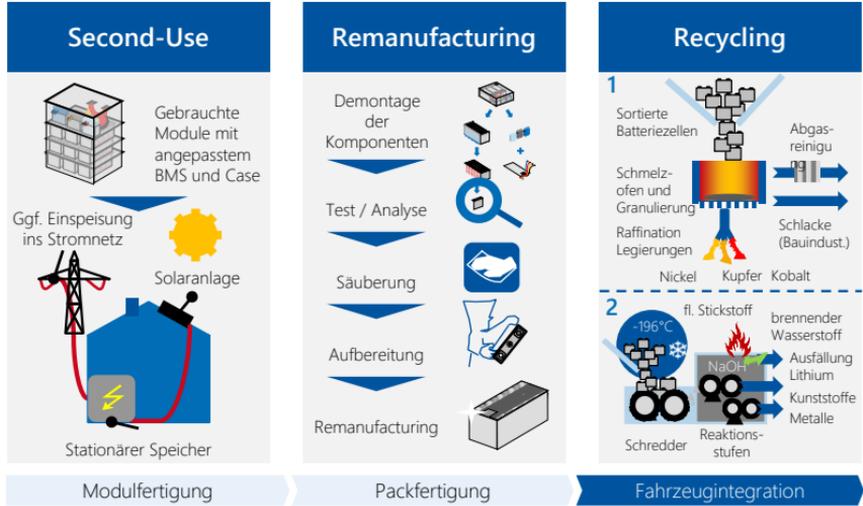
- Produktion von Elektrofahrzeugen auf alten Produktionsstraßen vs. Produktion auf speziell angepassten Produktionsstraßen

Qualitätsmerkmale [Auszug]

- Montageprozesse für Batterie und Kabel
- Zugänglichkeit der Kabel und Anschlüsse
- Servicefähigkeit der Komponenten (Demontage, Austauschbarkeit etc.)

Lebenszyklen der Batterie

Second-Use, Remanufacturing & Recycling



- Batterien sind nur bis ca. 80% ihrer Leistungsfähigkeit für Elektroautos wirtschaftlich einsetzbar (Abnutzung nicht linear und stark von Umgebung und Gebrauch abhängig).
- Entscheidung für Art der Weiterverwendung abhängig von Leistungsdaten

Second-Use:

- Weiterverwendung in anderen Bereichen (z.B. stationäre Energiespeicher für Solaranlagen) mit angepassten Steuergeräten.

Remanufacturing:

- Aufbereitung zur Weiterverwendung einzelner Komponenten.

Recycling der Zellen:

- Sortierung der Batterien nach Typ und Entfernung der Peripheriegeräte.
- Mechanisches Aufbereiten (Zerkleinerung unter Schutzgas) und/oder Pyrolyse (starkes Erhitzen) zur „Deaktivierung der Zellen“.
- Recycling mittels hydro- oder pyrometallurgischen Prozessen und Rückgewinnung der Rohmaterialien (insb. Nickel, Kobalt, Aluminium und Kupfer).
- Mindestrecyclingeffizienz: 50% der durchschnittlichen Batterieschrottmasse.

Potenziale [Auszug]

- Noch keine ausgeprägte Recycling-Infrastruktur etabliert
- Recycling kann Preisschwankungen und Abhängigkeiten für Rohmaterialien entgegenwirken
- Gleichzeitiges Recycling von Sekundär-Batterien aus Unterhaltungsindustrie
- Insbesondere das Recycling von Kobalt, Kupfer und Nickel erweist sich bereits als wirtschaftlich sinnvoll

I. Beispielprozess*

- Zellen werden in einem pyrometallurgischen Ofen eingeschmolzen
- Lithium, Aluminium, Elektrolyt, Separator und Graphit verbrennen & reichern sich in der Schlacke an oder verlassen Prozess mit Abgas
- Schlacke wird dem Baugewerbe bereitgestellt
- Beim Schmelzen entstandene Co,Ni,Cu,Fe-Legierung wird granuliert und hydrometallurgisch aufbereitet

II. Beispielprozess*

- Tieftemperaturzerlegung lithiumhaltiger Batterien
- Kühlung durch flüssigen Stickstoff auf ca. -196°C zum Mindern der Reaktionsfähigkeit
- Schreddern und Scheren der Batteriezellen
- Reaktion mit Natriumhydroxid (NaOH) und Verbrennung des freierwirdenden Wasserstoffs an der Oberfläche
- Lithium und Lithiumsalze werden gezielt in Lösung ausgefällt & entnommen

*Quelle: F. Treffer: Lithium-ion battery recycling in R. Korthauer (Hrsg.), Lithium-Ion Batteries: Basics and Applications, Springer-Verlag 2018