



Auch als kostenlose  
Broschüre erhältlich

Kontaktieren Sie uns:  
[info@pem.rwth-aachen.de](mailto:info@pem.rwth-aachen.de)

# PRODUKTIONSPROZESS EINES BATTERIEMODULS UND BATTERIEPACKS



**RWTHAACHEN**  
UNIVERSITY



Batterieproduktion



Der Lehrstuhl „Production Engineering of E-Mobility Components“ (PEM) der RWTH Aachen forscht seit vielen Jahren zur Lithium-Ionen-Batterieproduktion. Das Themenfeld erstreckt sich dabei vom Automotive-Bereich bis hin zu stationären Anwendungen. Durch die Teilnahme an zahlreichen nationalen und internationalen Industrieprojekten in Unternehmen sämtlicher Wertschöpfungsstufen sowie dank Schlüsselpositionen in renommierten Forschungsprojekten bietet PEM weitreichende Expertise.



**PEM**  
Production Engineering of E-Mobility  
Components der RWTH Aachen  
Bohr 12  
52072 Aachen

[www.pem.rwth-aachen.de](http://www.pem.rwth-aachen.de)

Der VDMA vertritt mehr als 3.700 deutsche und europäische Unternehmen des Maschinen- und Anlagenbaus. Die Fachabteilung Batterieproduktion fungiert als Ansprechpartner für alle Fragen rund um den Batterie-Maschinen- und Anlagenbau. Sie recherchiert Technologie und Marktinformationen, veranstaltet Kunden-Events und Roadshows, bietet Plattformen für den Austausch innerhalb der Branche und steht im ständigen Dialog mit Forschung und Wissenschaft.



Quelle Siemens

**VDMA**  
Batterieproduktion  
Lyoner Straße 18  
60528 Frankfurt am Main

<https://vdma.org/batterieproduktionsmittel>

## Autor\*innen

### PEM der RWTH Aachen



**Prof. Dr.-Ing. Dipl.-Wirt.-Ing. Heiner Hans Heimes**  
Mitglied der Institutsleitung  
[h.heimes@pem.rwth-aachen.de](mailto:h.heimes@pem.rwth-aachen.de)



**Benjamin Dorn, M.Sc.**  
Oberingenieur  
Battery & Electric Drive Production  
[b.dorn@pem.rwth-aachen.de](mailto:b.dorn@pem.rwth-aachen.de)



**Daniel Neb, M.Sc.**  
Gruppenleiter  
Battery Production Management  
[d.neb@pem.rwth-aachen.de](mailto:d.neb@pem.rwth-aachen.de)



**Henning Clever, M. Sc.**  
Wissenschaftlicher Mitarbeiter  
Battery Production Management  
[h.clever@pem.rwth-aachen.de](mailto:h.clever@pem.rwth-aachen.de)



**Artur Scheibe, M. Sc.**  
Wissenschaftlicher Mitarbeiter  
Battery Production Technology  
[a.scheibe@pem.rwth-aachen.de](mailto:a.scheibe@pem.rwth-aachen.de)

### VDMA



**Dr. Sarah Michaelis**  
Leiterin  
VDMA Batterieproduktion  
[Sarah.Michaelis@vdma.org](mailto:Sarah.Michaelis@vdma.org)



**Jörg Schütrumpf**  
Projektleiter  
VDMA Batterieproduktion  
[Joerg.Schuetrumpf@vdma.org](mailto:Joerg.Schuetrumpf@vdma.org)



**Haben Sie Fragen?**

**Sprechen Sie uns an!**

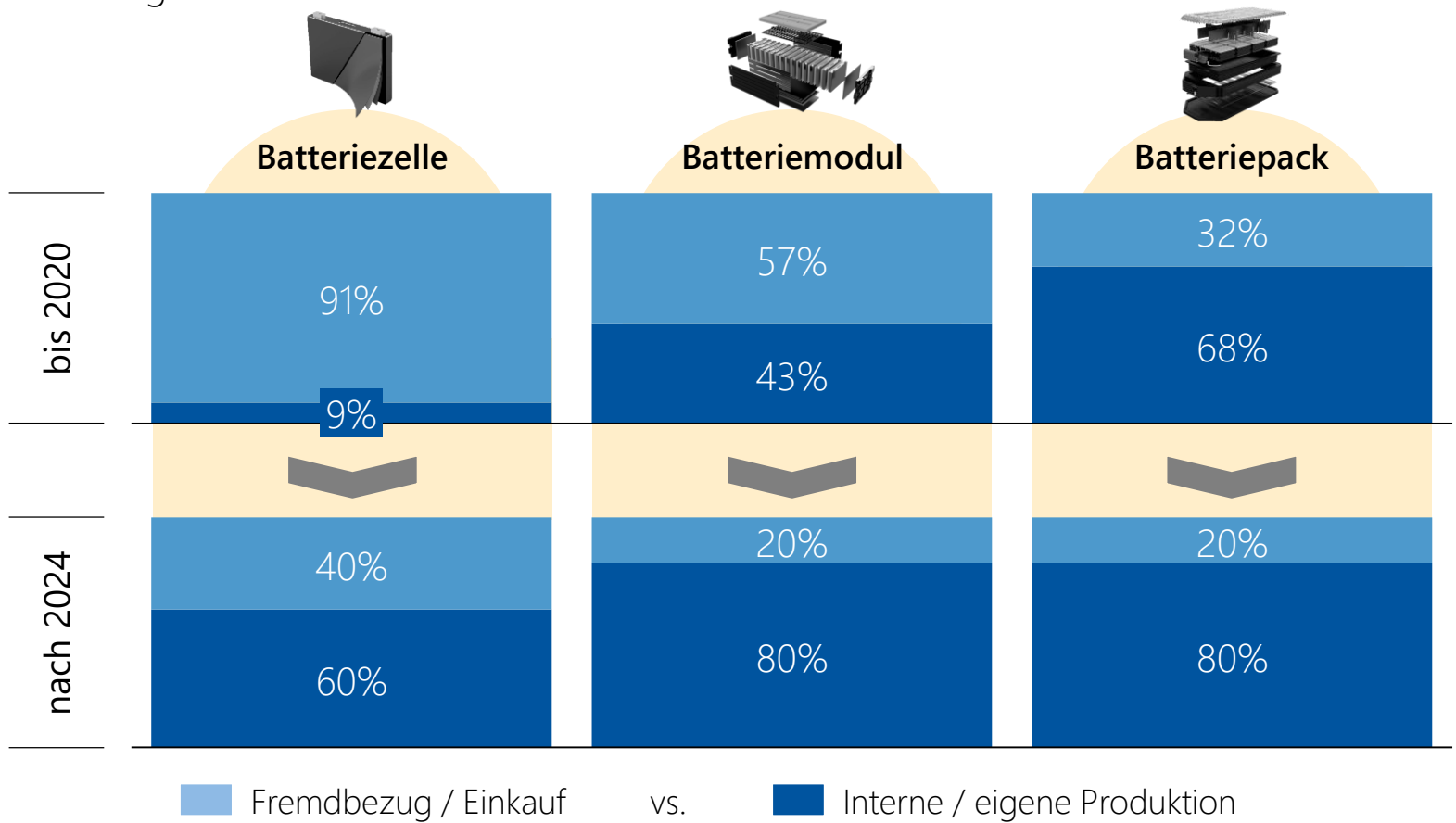


Frankfurt am Main, August 2023  
PEM der RWTH Aachen & VDMA,  
Eigendruck, 4. Auflage  
ISBN: 978-3-947920-44-0

# Motivation

## Produktion von Batteriemodulen und Batteriepacks

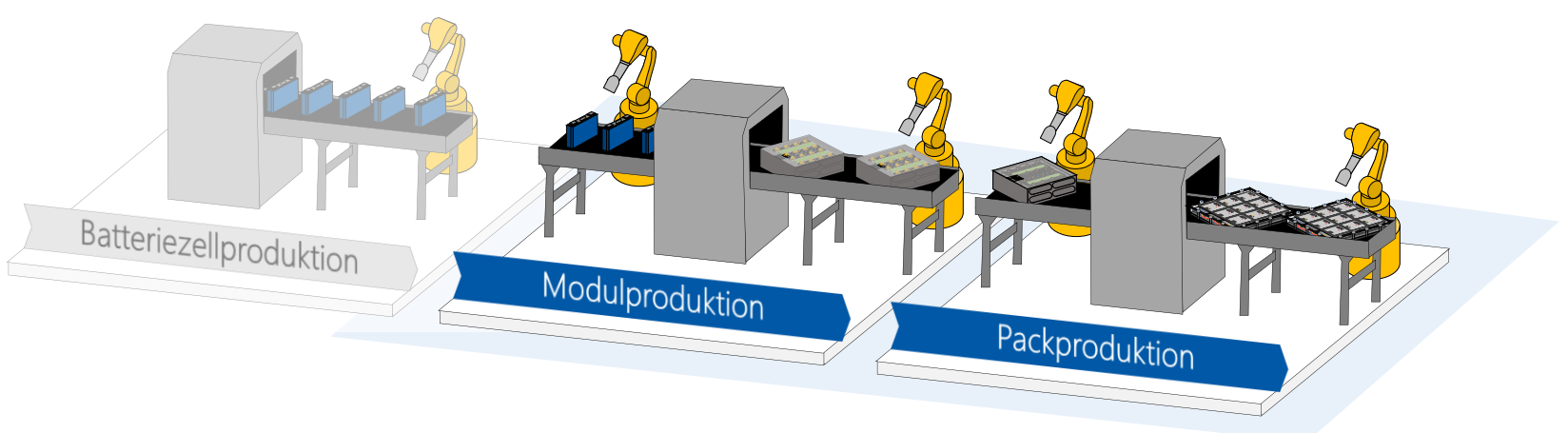
- Mit ihrer Fähigkeit, große Energiemengen effizient zu speichern und bei Bedarf wieder zur Verfügung zu stellen, spielen Batteriesysteme in Form von Batteriemodulen und Batteriepacks eine Schlüsselrolle in der Energieversorgung der Zukunft.
- Dies hängt nicht nur mit der steigenden Nachfrage nach Elektrofahrzeugen und stationären Energiespeichern zusammen, sondern auch mit der Notwendigkeit, die Energiewende voranzutreiben und die Abhängigkeit von fossilen Brennstoffen zu verringern.



- Die Entwicklung und Produktion von Batteriespeichersystemen ist somit ein vielversprechender und zukunftsorientierter Industriezweig mit erheblichem wirtschaftlichen Potenzial.

# Wertschöpfungskette der Batterie

## Produktionskette von der Zelle bis zum Batteriepack



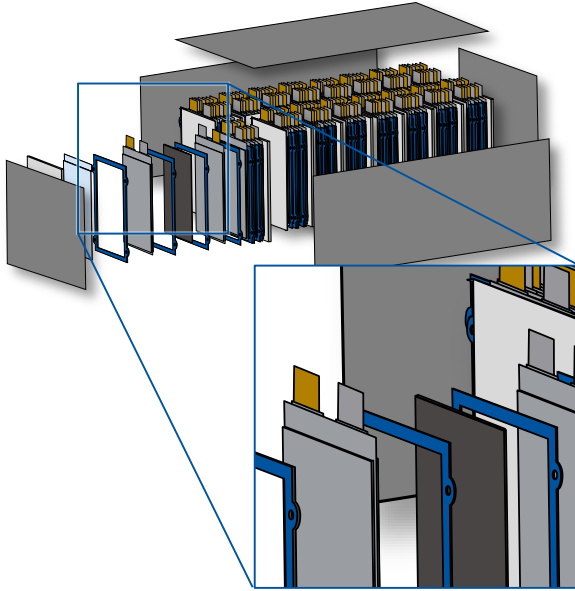
- Basierend auf der Broschüre "Produktionsprozess von Lithium-Ionen-Batteriezellen" wird in dieser Broschüre die Prozesskette zur Herstellung von Batteriemodulen und Batteriepacks vorgestellt.
- In einem Modul werden die einzelnen Zellen in Reihe oder parallel geschaltet. Die Module und weitere Komponente werden zu einem Pack zusammengesetzt.

# Grundlagen Batteriemodul

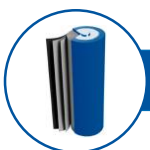
## Vergleich verschiedener Modulkonfigurationen



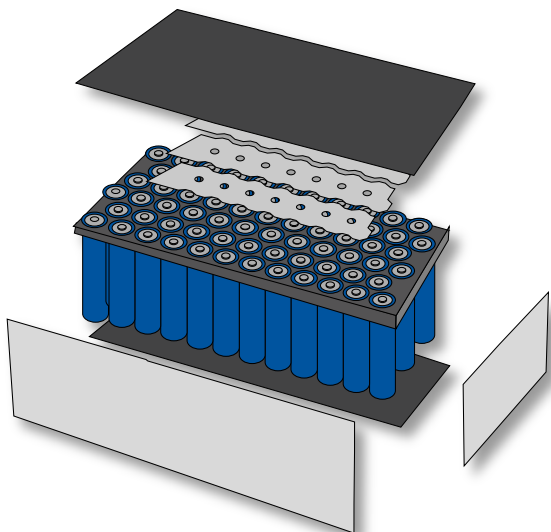
### Batteriemodul aus Pouchzellen



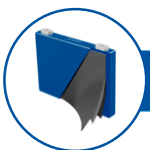
- Batteriemodule aus Pouchzellen sind so konzipiert, dass die Zellen aufeinander gestapelt und dann miteinander verschaltet werden.
- Aufgrund ihrer flexiblen Pouchhülle haben sie eine hohe Designflexibilität. Die einzelnen Pouchzellen werden mitunter in einen Rahmen eingesetzt.
- Zwischen die Zellen können Füllstoffe zum Volumenausgleich oder aktive und passive Kühlelemente eingebracht werden.
- Der Zellstapel wird auf unterschiedliche Weise verspannt und in das Modulgehäuse eingesetzt.
- Die Volumenausdehnung ("Atmung") der Zellen während der Lade- oder Entladezyklen muss bei der Modulkonstruktion berücksichtigt werden.



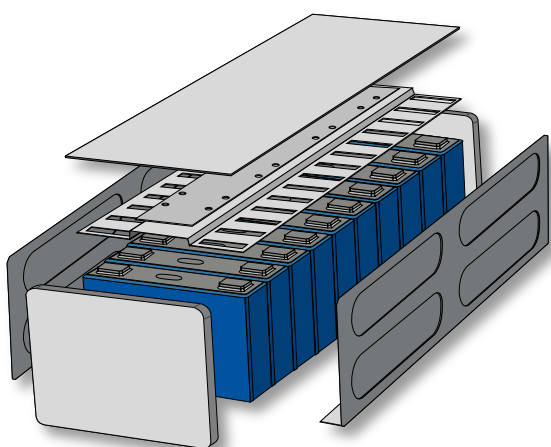
### Batteriemodul aus zylindrischen Zellen



- Bei einem Modul mit Rundzellen sind die Zellen über Zellhalter im Modulgehäuse befestigt.
- Die Rundzellen werden auf der Ober- und Unterseite von Sammelschienen (Metallplatten) kontaktiert und verschaltet.
- Formatbedingt gibt es Freiräume zwischen den Rundzellen. Ein wellenförmiges Kühlsystem wird verwendet, um die Oberfläche für die Wärmeableitung zu maximieren.
- Das robuste Metallgehäuse reduziert die Zellatmung und erhöht die strukturelle Integrität.
- Die Standardisierung von Rundzellen sowie ihre niedrigen Preise durch große Produktionsmengen sind der Grund für ihren weit verbreiteten Einsatz in Batteriemodulen.



### Batteriemodul aus prismatischen Zellen



- Die prismatischen Zellen lassen sich ohne Zwischenräume aufeinander stapeln.
- Die Zellen werden mit Hilfe von Klebstoffen miteinander verklebt. Zusätzlich können Polster oder Füllmaterialien zwischen die Zellen eingebracht werden.
- Die Füllmaterialien zwischen den Zellen können mehrere Funktionen erfüllen, z.B. thermische Isolation im Störfall, Vibrationsschutz, Ausgleich von Unebenheiten und Volumenänderungen.
- Durch das robuste Gehäuse besitzen sie eine hohe mechanische Integrität und gute Handhabung.
- Wie bei Pouchzellen wird der Zellstapel verspannt, kontaktiert und in das Modulgehäuse eingesetzt.

# Grundlagen Batteriepack

Integration und zukünftige Trends auf Systemebene

## Klassische Batteriearchitekturen

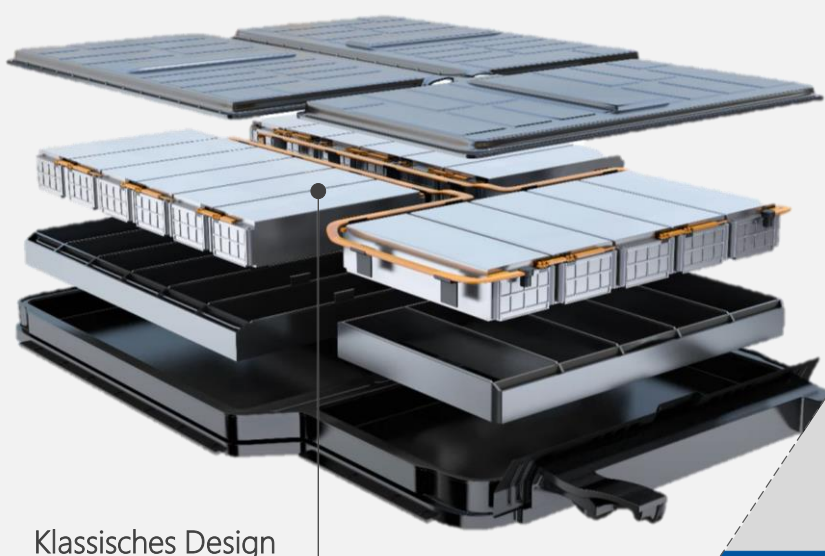
### Cell-to-Module-to-Pack:

- Für das xEV-Segment hat sich die klassische Systemarchitektur aus Zelle, Modul und Pack weitgehend etabliert. Aktuelle Batteriesysteme bieten noch erhebliches Potenzial zur Steigerung der Energiedichte auf der Pack-Ebene.
- Aktuelle technologische Entwicklungen setzen gezielt bei der Integration von Batteriezellen an, um das Gesamtsystem hinsichtlich Energiedichte, Sicherheit und Lebensdauer weiter zu optimieren.
- Die daraus resultierenden Produkt- und Prozessinnovationen verfolgen zudem die Ziele reduzierter Produktionskosten und effizienter Montageprozesse.

*Klassische Batteriearchitekturen weisen ein großes Verbesserungspotenzial in Bezug auf Energiedichte, Sicherheit, Langlebigkeit und Produktionskosten auf.*

## Stand der Technik

Quelle: Helmholtz Institut Ulm Geladen podcast (Cell-to-Pack vs. Cell-to-Chassis) 2022



Klassisches Design



Cell-to-Pack Design

Quelle: Henkel Adhesive Technologies (Henkel Solutions for EV Battery Systems) 2022

## Nächste Generation

Cell-to-Pack ← → Module-to-Chassis ← → Cell-to-Chassis

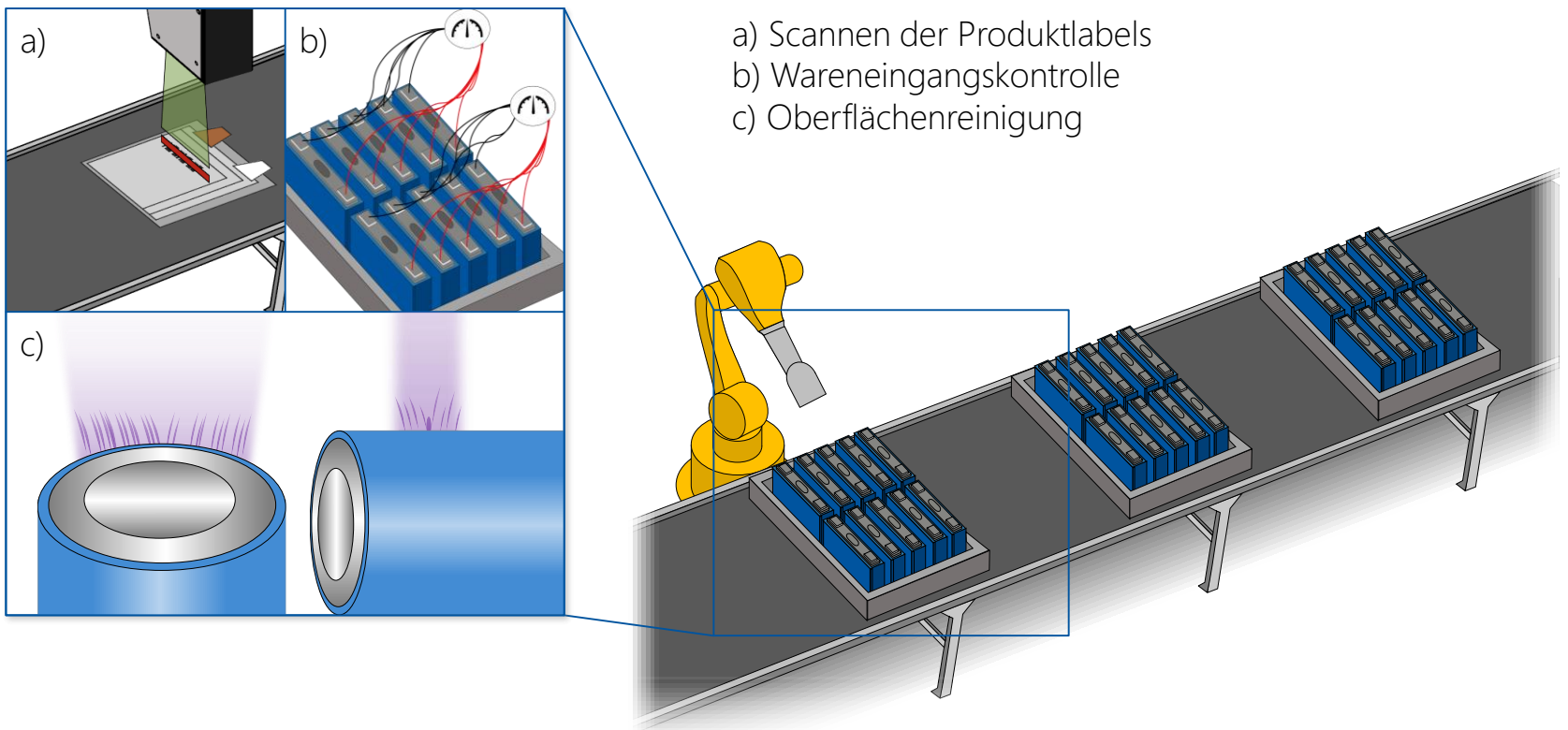
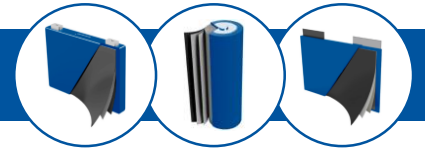
- Zellen werden direkt in das Batteriepack integriert und die Modulebene wird übersprungen.
- Reduktion der benötigten Komponenten und der Gesamtkosten.
- Erhöhung der volumetrischen Energiedichte auf Pack-Ebene.
- Alternativ lassen sich Module auch als Standardebene nutzen und direkt in das Chassis integrieren.
- Zellen werden direkt in das Chassis integriert, und nur die nötigsten Zwischenelemente verbleiben. Die Pack-Ebene wird übersprungen.
- Das Batteriekonzept ist vollständig auf das Fahrzeug abgestimmt.
- Dadurch sind in diesem Design die größten Energiedichten umsetzbar.
- Diese Systemarchitektur stellt aber die größte Komplexität dar.

## Zukünftige Batteriearchitekturen

*Zukünftige Batteriearchitekturen setzen zunehmend auf integrative Designstrategien, um Komponenten zu reduzieren und die Energiedichte zu erhöhen.*

# Begin-of-line Prüfung

## Modulproduktion



Packproduktion

### Produktionsablauf

- Automatisierte Entnahme der angelieferten Batteriezelle aus dem Transportbehälter und Ablage auf einem Fördersystem (z.B. Band-/Rollenbahn).
- Scannen der Produktlabel und Sortieren nach Leistungsdaten (z.B. Zellentyp, Teilenummer (DMC), elektrische und ggf. mechanische Klassifizierung).
- Wareneingangskontrolle zum Aussortieren fehlerhafter / nicht konformer Zellen (z.B. durch optische Inspektion wie Kameras oder Lasertriangulation, elektrochemische Impedanzanalyse, Spannungsmessung, Kapazitätsanalyse und weitere Messungen).
- Sortierung der Zellen nach ihren Leistungsdaten, um sicherzustellen, dass alle Module gleichmäßig balanciert sind (z.B. Kompensation von variierender Zellkapazität).
- Je nach Anlieferungszustand erfolgt die Reinigung (z.B. Laserreinigung, Plasmabehandlung, CO<sub>2</sub>-Schneestrahlsreinigung) und Aktivierung der Oberflächen als Vorbereitung für das Aufbringen des Klebers oder der Isolationsfolie.

### Prozessparameter & Anforderungen

- Sichere und präzise Handhabung der Zellen mit End-of-Arm-Tooling
- Prüfung der Zellen auf Leerlaufspannung (OCV), Kapazität, Innenwiderstand, Isolationswiderstand, elektrochemische Impedanz, etc.
- Der Prüfumfang wird durch die Lieferqualität der Zellen bestimmt

### Qualitätsparameter

- Scannen von Zellen zur vollständigen Rückverfolgbarkeit über die gesamte Produktion mittels RFID und Kameras
- Zuverlässige Erkennung von fehlerhaften oder nicht konformen Zellen
- Technische Sauberkeit: staub- und schmierstofffreie Oberfläche der Zellen

### Aktuelle Technologiealternativen

- Herstellerspezifische Prüfabläufe und Prüfzeiten
- Transport über Warenträger mit integrierter Messtechnik

### Innovationsansätze / Trends

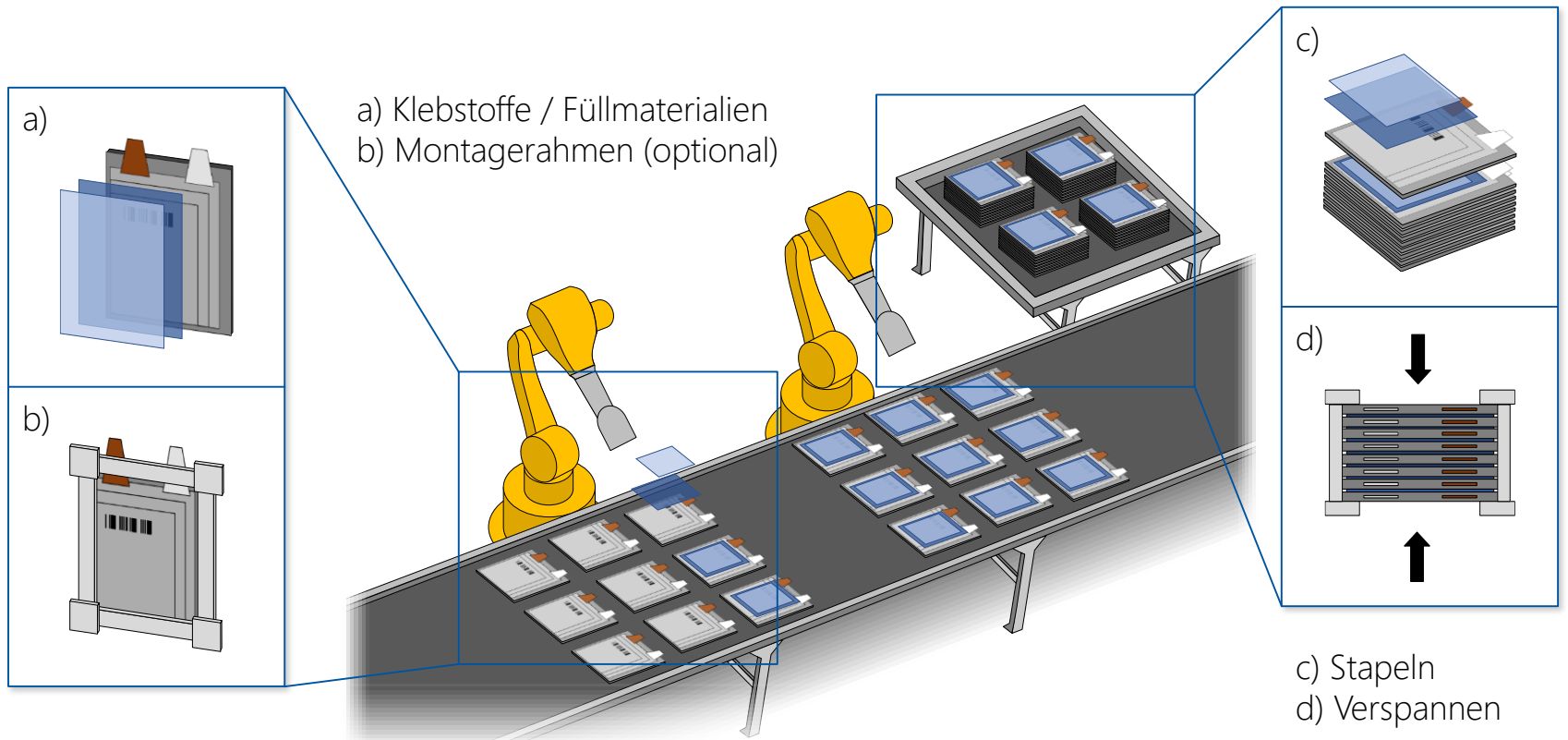
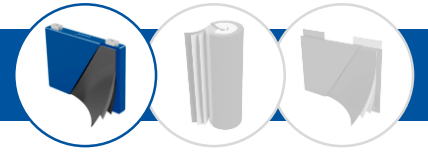
- Mehrkanalige Prüfungen zur Verkürzung der Prüfdauer
- KI-Anwendungen zur Erkennung von Fehlermustern
- Inline-Qualitätssicherung

Fertigungskosten\* [Auszug]

Investition für Maschinen & Anlagen: 1,2 – 1,5 Mio. €

# Stapeln der Zellen

## Modulproduktion



Packproduktion

### Produktionsablauf

- Vorbiegen und Zuschneiden der Zelltabs je nach Position der Zelle im Stapel.
- Aufbringen von Klebstoffen und Füllmaterial (z.B. Material für thermische Isolation) auf die gereinigte Zellenoberfläche.
- *Optional:* Einsetzen der Pouch-Zellen in ein Halte-/Rahmenelement, das die Zellen in einen definierten Abstand zueinander bringt, die Volumenausdehnung bei der Atmung minimiert und das flexible Zellgehäuse vor Beschädigungen schützt.
- Anschließend werden die Zellen gestapelt (cell-to-stack). Stapeltische sorgen für eine definierte Stapelgeometrie, z.B. durch Zentrierdorne.
- *Optional:* Während des Stapelvorgangs werden zusätzliche Zwischenlagen eingelegt.
- Abschließend wird der Zellstapel gespannt, um eine definierte Flächenpressung zu erhalten und die zyklische Volumenausdehnung („Atmen“) im Betrieb zu mindern.

### Prozessparameter & Anforderungen

- Anpressdruck des Greifsystems oder des End-of-Arm-Werkzeugs
- Dosierung und Auftragsgenauigkeit des Klebstoffs
- Maximale Druckkräfte beim Spannvorgang
- Kurze Prozesszeiten durch die Reaktivität des Klebstoffs

### Qualitätsparameter

- Beschädigungsfreie Handhabung
- Positionsgenauigkeit der Klebefolie und/oder der Zwischenlagen
- Gleichmäßige Druckverteilung nach dem Spannvorgang
- Stapelhöhe und -geometrie gemäß der vorgegebenen Spezifikationen

### Aktuelle Technologiealternativen

- Dosiersystem oder doppelseitige Folie für den Klebstoffauftrag
- Zusätzliche Rahmen-/Haltersysteme zur Aufnahme einzelner oder mehrerer Pouchzellen

### Innovationsansätze / Trends

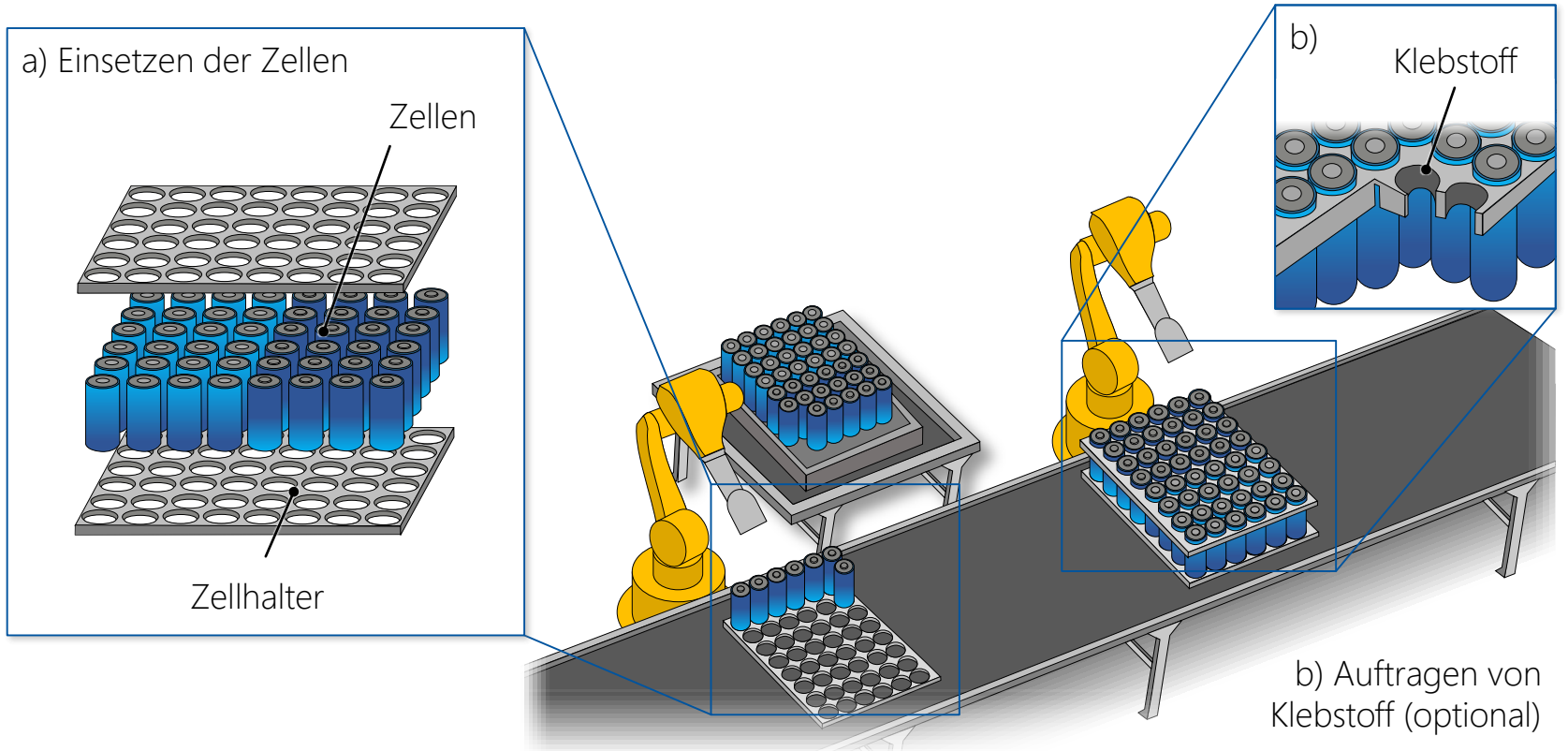
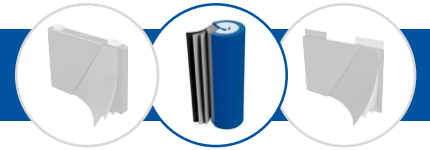
- Höherer Automatisierungsgrad in der Montage und Qualitätskontrolle
- Nachhaltige Fügetechniken für eine einfache Demontage und Recycling

Fertigungskosten\* [Auszug]

Investition für Maschinen & Anlagen: 2,8 – 3,5 Mio. €

# Stecken der Zellen

## Modulproduktion



### Packproduktion

## Produktionsablauf

- Einsetzen der Rundzellen in die vorgesehenen Aussparungen des unteren Zellhalters.
- Berücksichtigung der Polarität bzw. Ausrichtung der Rundzelle beim Einsetzen, um die anschließende elektrische Verschaltung zu gewährleisten.
- *Optional:* Fixierung über oberen Zellhalter.
- *Optional:* Auftragen von Klebstoff im Kontaktbereich zwischen Zelle und Zellträger zur zusätzlichen Befestigung.
- *Optional:* Verwendung von aushärtenden Schäumen oder anderen Materialien als funktioneller Füllstoff in den Zellzwischenräumen.
- Gewährleistung einer ausreichenden Aushärtezeit je nach verwendetem Klebstoff oder Füllmaterial.

### Prozessparameter & Anforderungen

- Positioniergenauigkeit und präzise Ausrichtung der Batteriezellen
- Dosierung und Auftragsgenauigkeit des Klebstoffs
- Prozessauslegung im Hinblick auf Aushärtezeiten (z.B. des Klebstoffs)

### Qualitätsparameter

- Einhaltung der vorgegebenen Geometrietoleranzen
- Korrekte Ausrichtung und Polarität beim Einsetzen der Zellen
- Gleichmäßige Verteilung des Klebstoffs und des Füllmaterials
- Zuverlässige Fixierung der Zellen

### Aktuelle Technologiealternativen

- Alternative Befestigungsmethoden wie Klemmen, Heißverstemmen, Verschrauben, Verspannen

### Innovationsansätze / Trends

- Höherer Automatisierungsgrad in der Montage und Qualitätskontrolle
- Nachhaltige Fügetechniken für eine einfache Demontage und Recycling

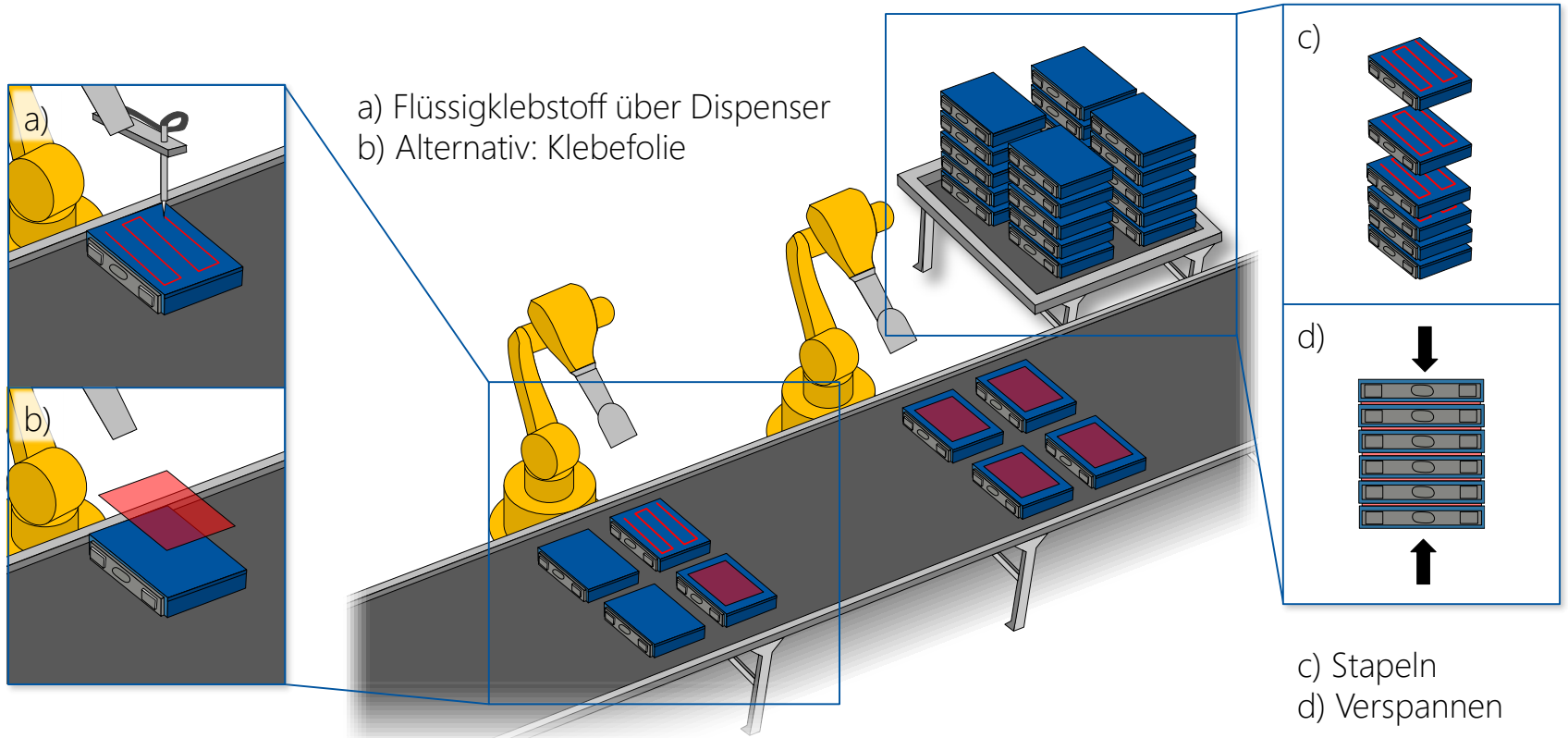
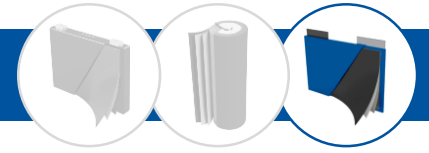
Fertigungskosten\* [Auszug]

Investition für Maschinen & Anlagen: 2,8 – 3,5 Mio. €



# Stapeln der Zellen

## Modulproduktion



Packproduktion

### Produktionsablauf

- Fügen der Zellen durch flüssige oder feste Klebstoffe. Der Klebstoff wird mittels eines vollautomatischen Dosiersystems oder eines Klebefilms auf die Zelloberfläche aufgetragen.
- Gängige Klebstoffe auf Polyurethanbasis haben eine elektrisch isolierende Wirkung und bieten nach dem Aushärten elastomere Eigenschaften.
- Je nach Klebstoff müssen Lösungsmitteldämpfe abgeführt werden.
- Anschließend werden die Zellen gestapelt (cell-to-stack). Stapeltische sorgen für eine definierte Stapelgeometrie, z.B. durch Zentrierdorne.
- *Optional:* Während des Stapelvorgangs werden zusätzliche Zwischenlagen eingelegt.
- Abschließend wird der Zellstapel gespannt, um eine definierte Flächenpressung zu erhalten und die zyklische Volumenausdehnung („Atmen“) im Betrieb zu mindern.

#### Prozessparameter & Anforderungen

- Anpressdruck des Greifsystems oder des End-of-Arm-Werkzeugs
- Dosierung und Auftragsgenauigkeit des Klebstoffs
- Maximale Druckkräfte beim Spannvorgang
- Kurze Prozesszeiten durch die Reaktivität des Klebstoffs

#### Qualitätsparameter

- Beschädigungsfreie Handhabung
- Positionsgenauigkeit der Klebefolie und/oder der Zwischenlagen
- Gleichmäßige Druckverteilung nach dem Spannvorgang
- Stapelhöhe und -geometrie gemäß der vorgegebenen Spezifikationen

#### Aktuelle Technologiealternativen

- Dosiersystem oder doppelseitige Folie für den Klebstoffauftrag

#### Innovationsansätze / Trends

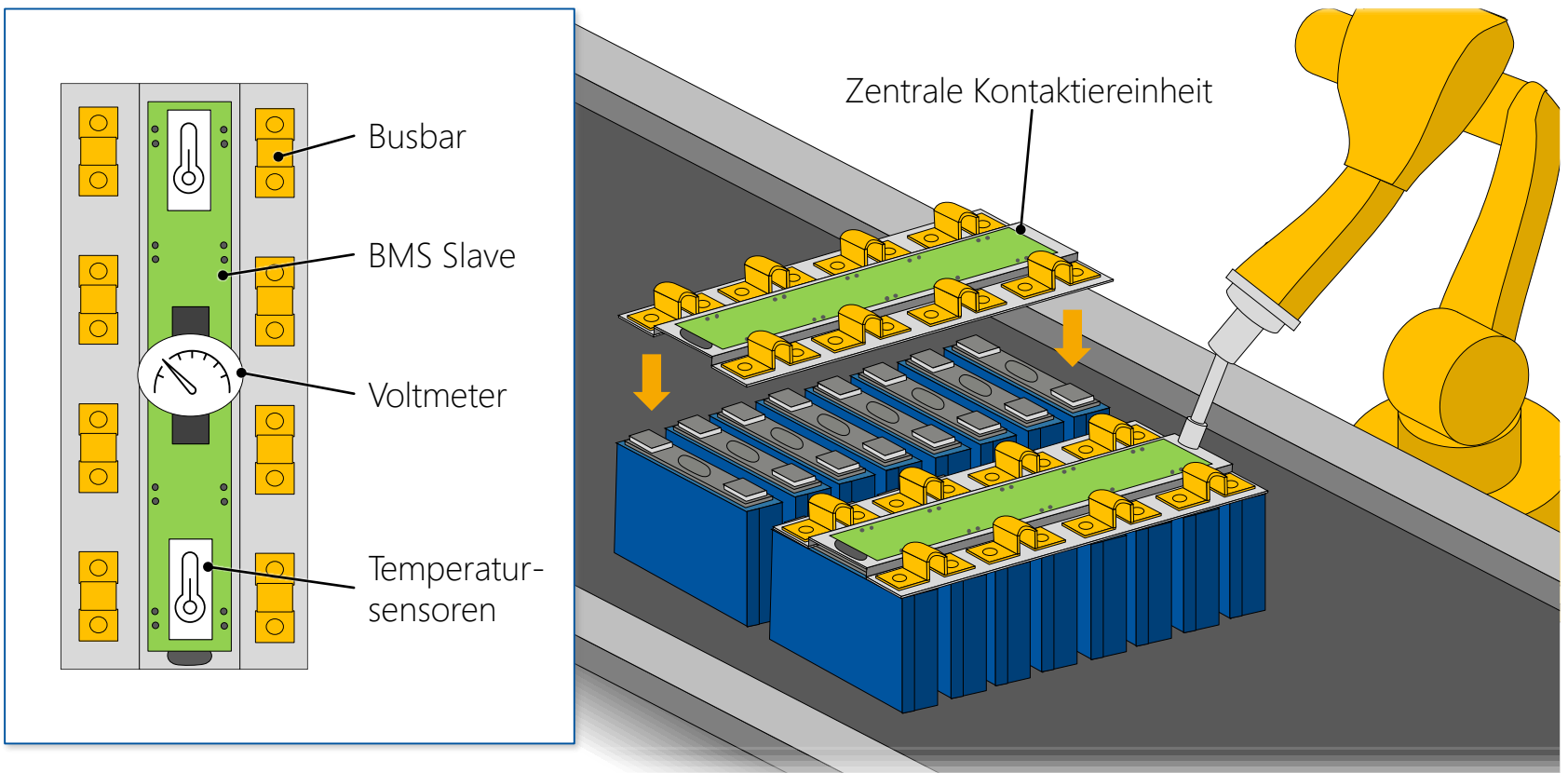
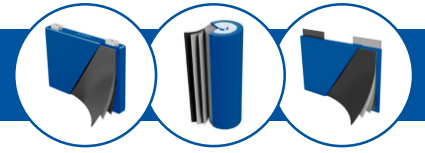
- Höherer Automatisierungsgrad in der Montage und Qualitätskontrolle
- Nachhaltige Fügetechniken für eine einfache Demontage und Recycling

Fertigungskosten\* [Auszug]

Investition für Maschinen & Anlagen: 2,8 – 3,5 Mio. €

# Montage des BMS

## Modulproduktion



Packproduktion

### Produktionsablauf

- Positionierung der Platine des Batteriemanagementsystems (BMS) oder einer zentralen Kontaktiereinheit, die für die Verarbeitung der Daten und die Überwachung der Sensoren zuständig ist.
- Einsetzen der BMS-Platine oder der Kontaktiereinheit und anschließende Verbindung mit dem Modul durch Schweißverfahren und/oder Schraubverbindungen.
- Befestigung der Spannungsmessleitungen und der Temperatursensoren durch Klemmverschlüsse oder Schraubverbindungen.
- Anschluss der Sensoren an die Platine durch Steckverbindungen.
- Funktionsprüfung durch Signalkontrolle und Stichprobenprüfung (z.B. optische Kontrolle der Kontaktstellen) der BMS-Platine.

### Prozessparameter & Anforderungen

- Beschädigungsfreie Handhabung der Platine und der verwendeten Sensoren
- Geringer Wärmeeintrag beim Fügeprozess (Schweißen)

### Qualitätsparameter

- Positioniergenauigkeit von Sensoren und Leiterplatten (PCB)
- Qualität der Verbindungen
- Messgenauigkeit der Sensoren
- Robuste Signalverarbeitung
- Zuverlässige Abschirmung gegen äußere Einflüsse

### Aktuelle Technologiealternativen

- Laserschweißen
- Verschraubung
- Steckbare Verbindung
- Flexible Printed Circuits (FPC)

### Innovationsansätze / Trends

- BMS-Slave-Platinen mit zusätzlichen Funktionen und Sensoren für Spannungsdiagnose, Ladezustandserkennung, Balancing, etc.
- Drahtlose BMS-Konzepte

Fertigungskosten\* [Auszug]

Investition für Maschinen & Anlagen: 0,6 – 0,8 Mio. €

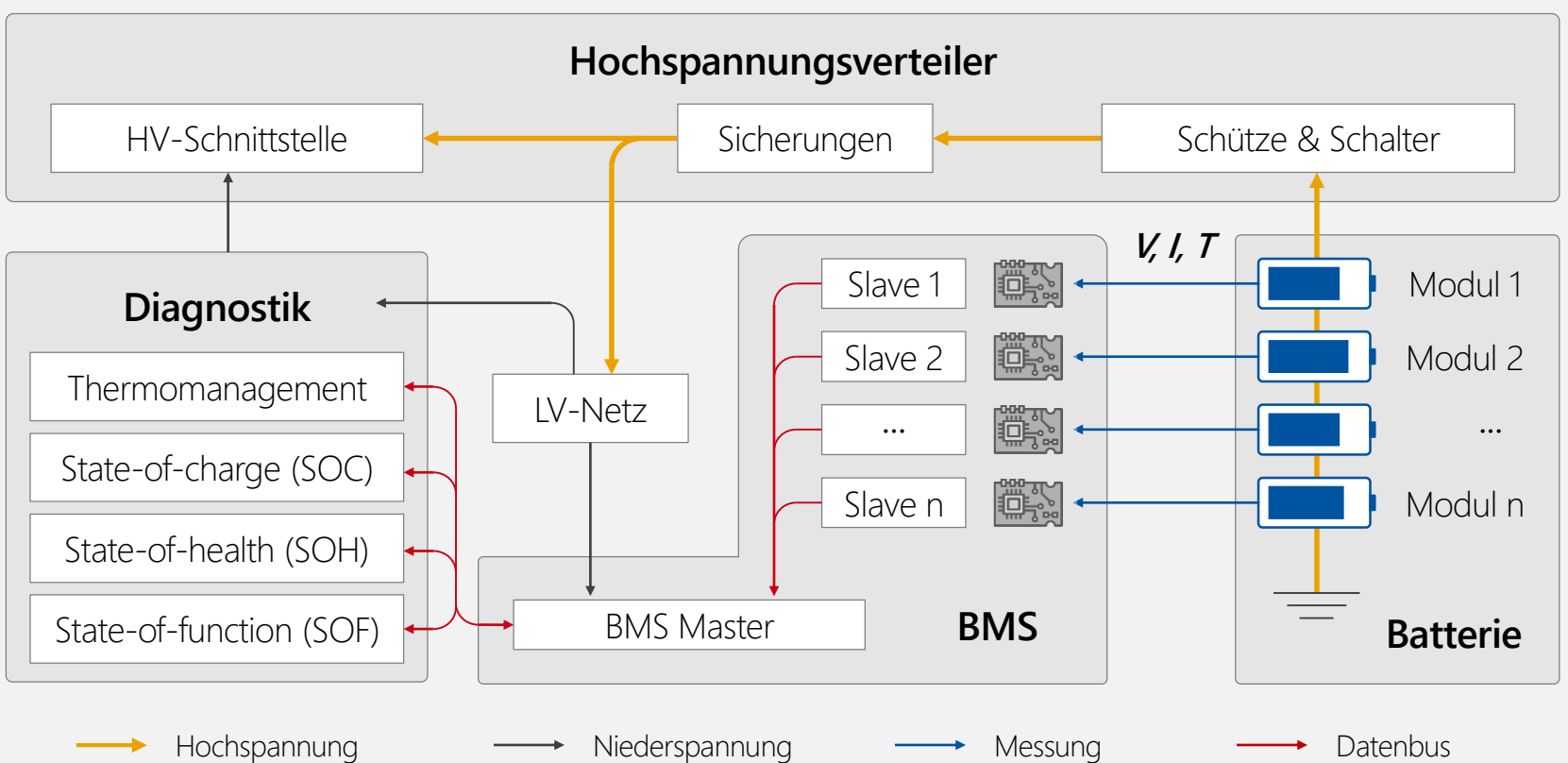
# Batteriemanagementsystem

Optimierung von Effizienz, Sicherheit und Reichweite

## Funktion des Batteriemanagementsystems (BMS)

- Das Batteriemanagementsystem (BMS) dient als Kontrolleinheit für die Zellen im Batteriesystem. Es überwacht und steuert die zentralen Funktionen der Batterie.
- Das BMS überwacht den Ladezustand (SOC), den Gesundheitszustand (SOH) und den Funktionszustand (SOF) und optimiert die Zellauslastung und -effizienz.
- Zusätzlich zu den mechanischen Sicherheitsmechanismen kann das BMS auch Schäden erkennen und z.B. bei einem Aufprall Hochspannungsverbindungen lösen.
- Es besteht in der Regel aus einem BMS-Master und mehreren Slave-Platinen.

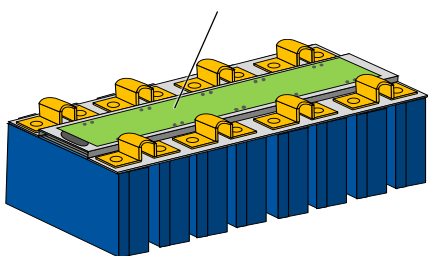
*Das BMS fungiert als "Hirn" des Batteriepacks und steuert die Batteriezellen und -module aktiv. Es verhindert Systemausfälle und maximiert die Effizienz.*



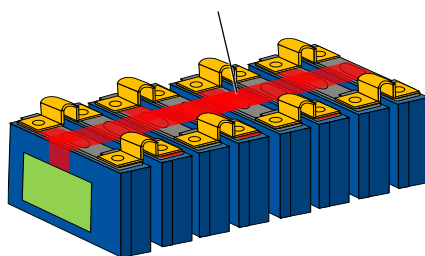
## Zukünftige Integration des BMS

- Klassische Ausführungen des BMS-Slave umfassen die Verbindung der Batteriezellen mit einer zentralen Platine über separate Kabelverbindungen oder Flexible Printed Circuits.
- Es ist ein Trend zu dezentralen BMS-Lösungen mit integrierten Platinen erkennbar, die eine individuelle Überwachung jeder Zelle und eine kompaktere Bauweise ermöglichen.
- Darüber hinaus ist das BMS zunehmend mit dem Fahrzeugsystem vernetzt, um eine nahtlose Integration und ein effizientes Energiemanagement zu gewährleisten.

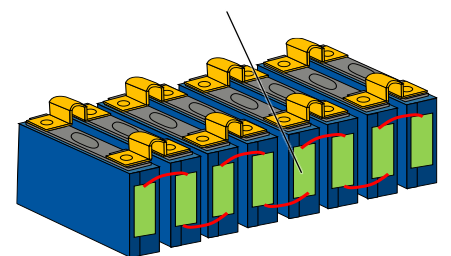
Zentrale Kontaktiereinheit



Flexible Printed Circuit



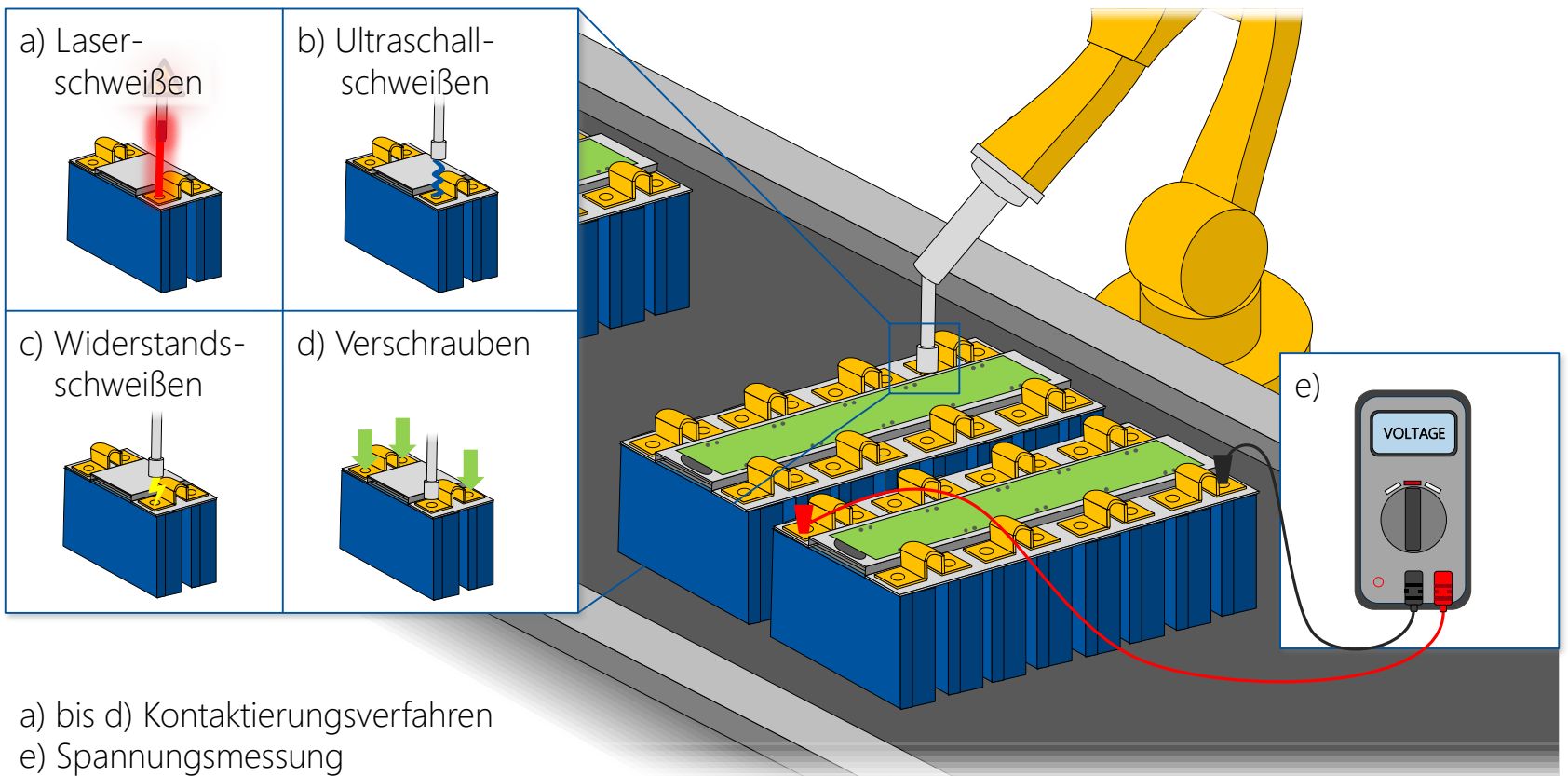
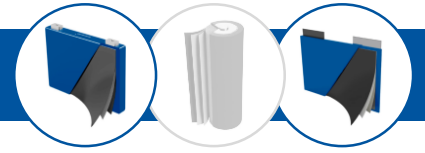
Dezentraler BMS-Slave



*Zukünftige Batteriemanagementsysteme setzen auf Modularität, Skalierbarkeit, intelligente Datenanalyse und Vernetzung mit dem Gesamtfahrzeug.*

# Kontaktieren der Tabs

## Modulproduktion



a) bis d) Kontaktierungsverfahren  
e) Spannungsmessung

Packproduktion

### Produktionsablauf

- Oberflächenreinigung um kritische Partikel mit Sicherheitsrisiko zu entfernen.
- Positionierung der Stromschienen zur elektrischen Kontaktierung und Verschaltung der Batteriezellen. Ausrichten der Zelleiter (z.B. Tab-Bending) als Vorbereitung für den Kontaktierungsprozess.
- Reihen- oder Parallelschaltung der Batteriezellen durch stromführende Verbindung der Ableiter. Die endgültige Verschaltung in Reihen- und Parallelstränge richtet sich nach der spezifizierten Modulspannung und -kapazität.
- Die Kontaktierung kann durch Schraubverbindungen, Ultraschall-, Laser- oder Widerstandsschweißen erfolgen.
- Die Verbindungs- bzw. Anschlussstellen werden geprüft (z.B. durch Widerstandsmessungen). Mit einem hohen Automatisierungsgrad ist es möglich, die Schweißnähte während des Schweißprozesses durch eine optische Kontrolle zu überprüfen.

#### Prozessparameter & Anforderungen

- Nähte müssen staub- und schmutzfrei sein und für das Laserschweißen geringe Reflektionen aufweisen
- Ultraschallschweißen: 20 – 40 kHz Frequenz, 10 – 50  $\mu\text{m}$  Amplitude, and 1 – 10 MPa Druck
- Laserschweißen: 1000 – 4000 W Leistung
- Geringer Wärmeeintrag in die Zelle

#### Qualitätsparameter

- Präzise Positionierung der Stromschienen und Kontaktfahnen für optimale Fügeergebnisse
- Schweißnaht- und Fügequalität
- Hohe elektrische Leitfähigkeit in allen Verbindungen

#### Aktuelle Technologiealternativen

- Laserschweißen ist aufgrund der Flexibilität und Materialverträglichkeit weit verbreitet.
- Ultraschallschweißen bietet eine deutlich geringere Wärmebelastung

#### Innovationsansätze / Trends

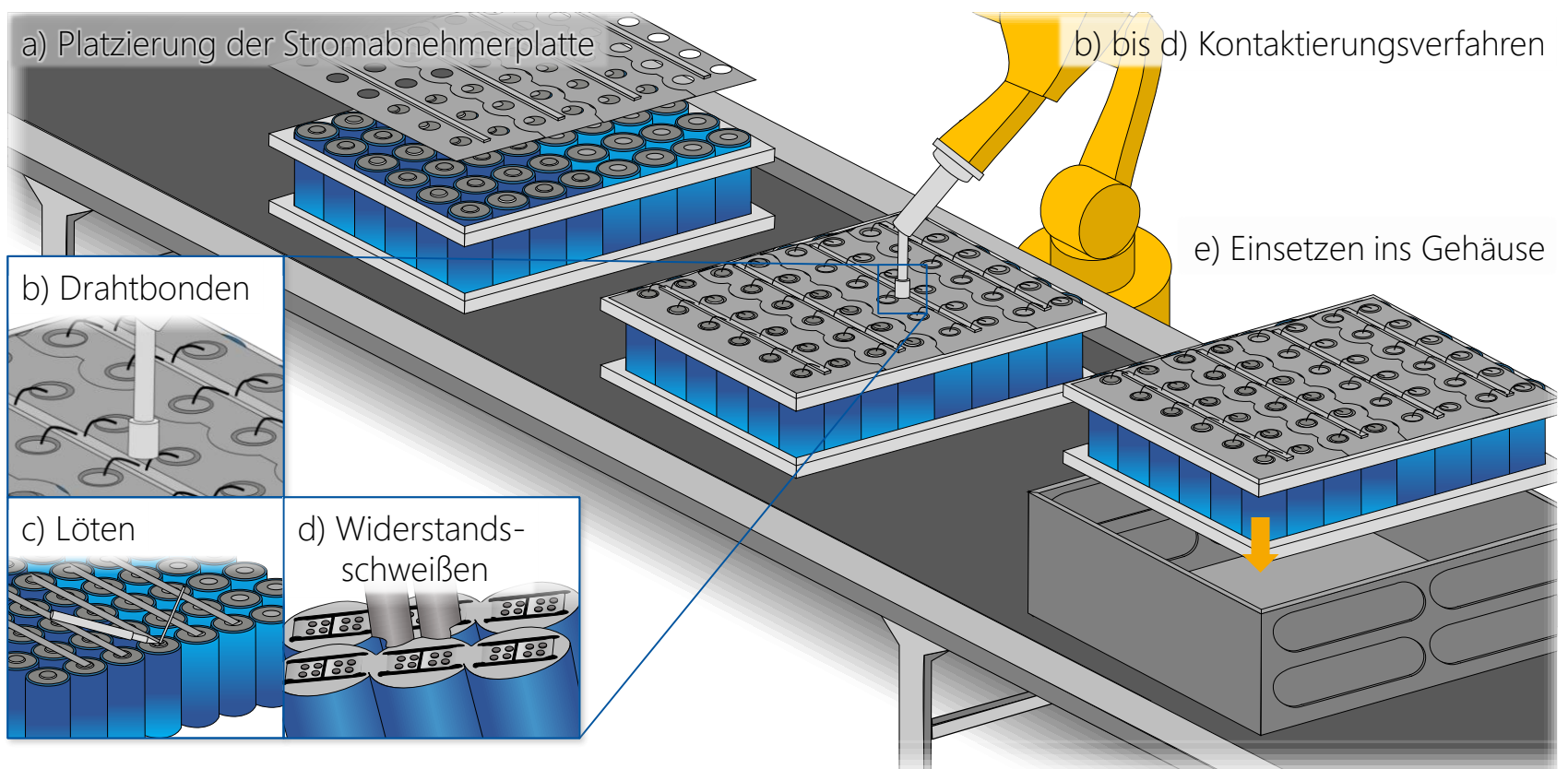
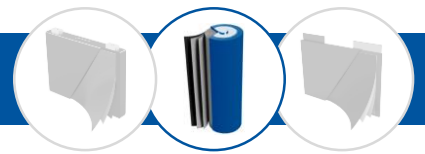
- Echtzeit-Analysen zur Fehlererkennung und -vermeidung

Fertigungskosten\* [Auszug]

Investition für Maschinen & Anlagen: 6,5 – 11,0 Mio. €

# Kontaktieren der Tabs

## Modulproduktion



Packproduktion

### Produktionsablauf

- Oberflächenreinigung um kritische Partikel mit Sicherheitsrisiko zu entfernen.
- Ausrichtung, Positionierung und Fixierung der Stromabnehmerplatten oder Stromschienen auf der Ober- und Unterseite der Rundzellen. Die Stromschiene wird durch Kleben, Verschrauben oder alternative Fügeverfahren wie Heißverstemmen fest mit dem Zellträger verbunden, um eine optimale Verbindung zu gewährleisten.
- Die Zelltabs werden mit den Stromabnehmerplatten elektrisch kontaktiert. Die Kontaktierung erfolgt z. B. durch Drahtbonden über Aluminiumdrähte (mit einem Durchmesser von 200 – 300 µm) oder Widerstandspunktschweißen.
- Vorbereitung des Modulgehäuses durch Einbringen von Leitmaterial zur Wärmeleitung und elektrischen Isolierung (z.B. Polyester, Folien oder Fluide).
- Einsetzen des elektrisch kontaktierten Zellverbundes in das Modulgehäuse.

#### Prozessparameter & Anforderungen

- Positioniergenauigkeit der Stromabnehmerplatten
- Positioniergenauigkeit des Zellverbundes im Modulgehäuse
- Werkstoffgerechte Parameter für Drahtbonds (Spannung, Strom, etc.)

#### Qualitätsparameter

- Schweißnaht- und Fügequalität
- Elektrische Leitfähigkeit und mechanische Stabilität der Kontaktierung
- Wärmeleitung und elektrische Isolierung der Leitmaterialien
- Einhaltung der Toleranzen bei hoher Fertigungsqualität

#### Aktuelle Technologiealternativen

- Alternative Kontaktierungsmethoden wie Laserschweißen, Widerstandspunktschweißen, Löten oder Drahtbonds

#### Innovationsansätze / Trends

- Echtzeit-Analysen zur Fehlererkennung und -vermeidung

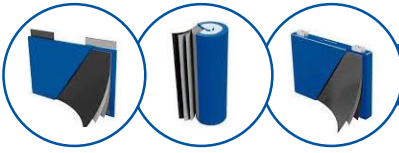
Fertigungskosten\* [Auszug]

Investition für Maschinen & Anlagen: 6,5 – 11,0 Mio. €

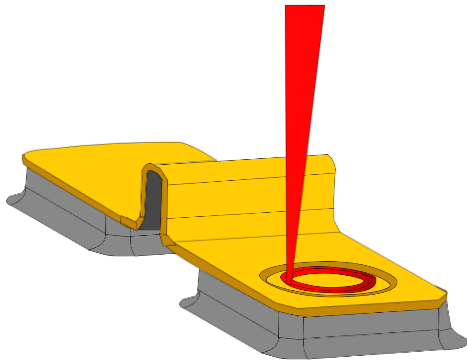
\* Studie PEM der RWTH Aachen: Kapazität des Batteriepacks: 150 Ah, Spannung: 400 V, Produktionskapazität: 4 GWh/a

# Vergleich von Schweißverfahren

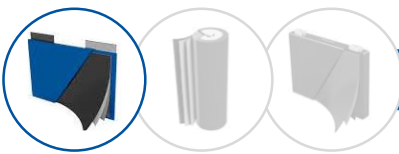
## Modulproduktion



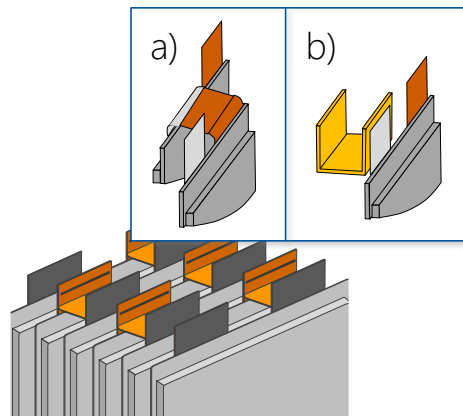
### Laserschweißen



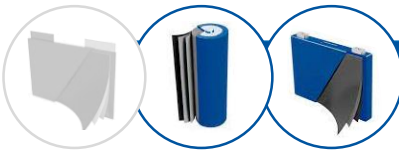
- Ein Laser erwärmt den Ableiter und das Kontaktblech bis zum Aufschmelzen, was durch die schnelle Energiezufuhr zu kurzen Prozesszeiten führt.
- Der Platzbedarf für ein Lasersystem ist gering.
- Um die Emission von Schweißpartikeln gering zu halten, ist eine Abstimmung des Schweißprozesses notwendig.
- Das Schweißen von stark reflektierenden Oberflächen ist problematisch, da sie Energie nicht optimal absorbieren, was zu ungleichmäßiger Wärmeverteilung und lokaler Überhitzung führt.



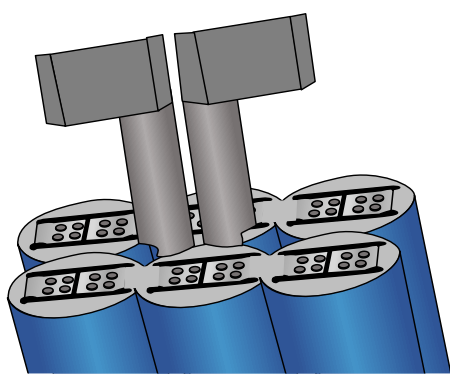
### Ultraschallschweißen



- Schwingungen durch Ultraschall erzeugen Reibung zwischen den Materialien, bis die notwendige Schmelzwärme erreicht ist. Nach dem Abkühlen und Erstarren entsteht eine homogene Verbindung.
- Die Zellen werden (a) direkt miteinander verbunden (cell-to-cell) oder (b) über Stromschienen (cell-to-busbar).
- Bei diesem Verfahren entstehen ein niedriger elektrischer Widerstand und eine hohe Verbindungsfestigkeit.
- Die Zugänglichkeit der Kontaktflächen und der hohe Platzbedarf der Sonotrode begrenzen den Prozess.



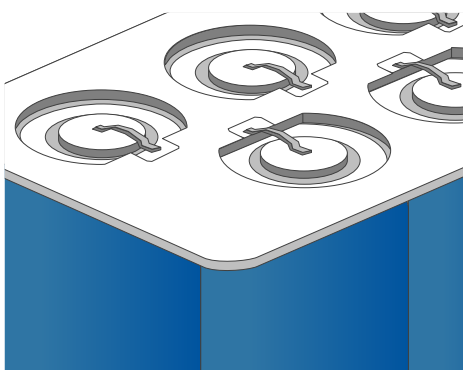
### Widerstandsschweißen



- Beim Widerstandsschweißen wird eine Spannung zwischen der Vorrichtung und der Fügestelle angelegt.
- Der elektrische Widerstand bewirkt eine lokale Materialerwärmung und führt so zu deren Verschmelzung.
- Widerstandsschweißen ermöglicht einen hohen Automatisierungsgrad und kurze Prozesszeiten.
- Das Fügeverfahren ist problematisch bei ungleichen und hochleitenden Materialien.



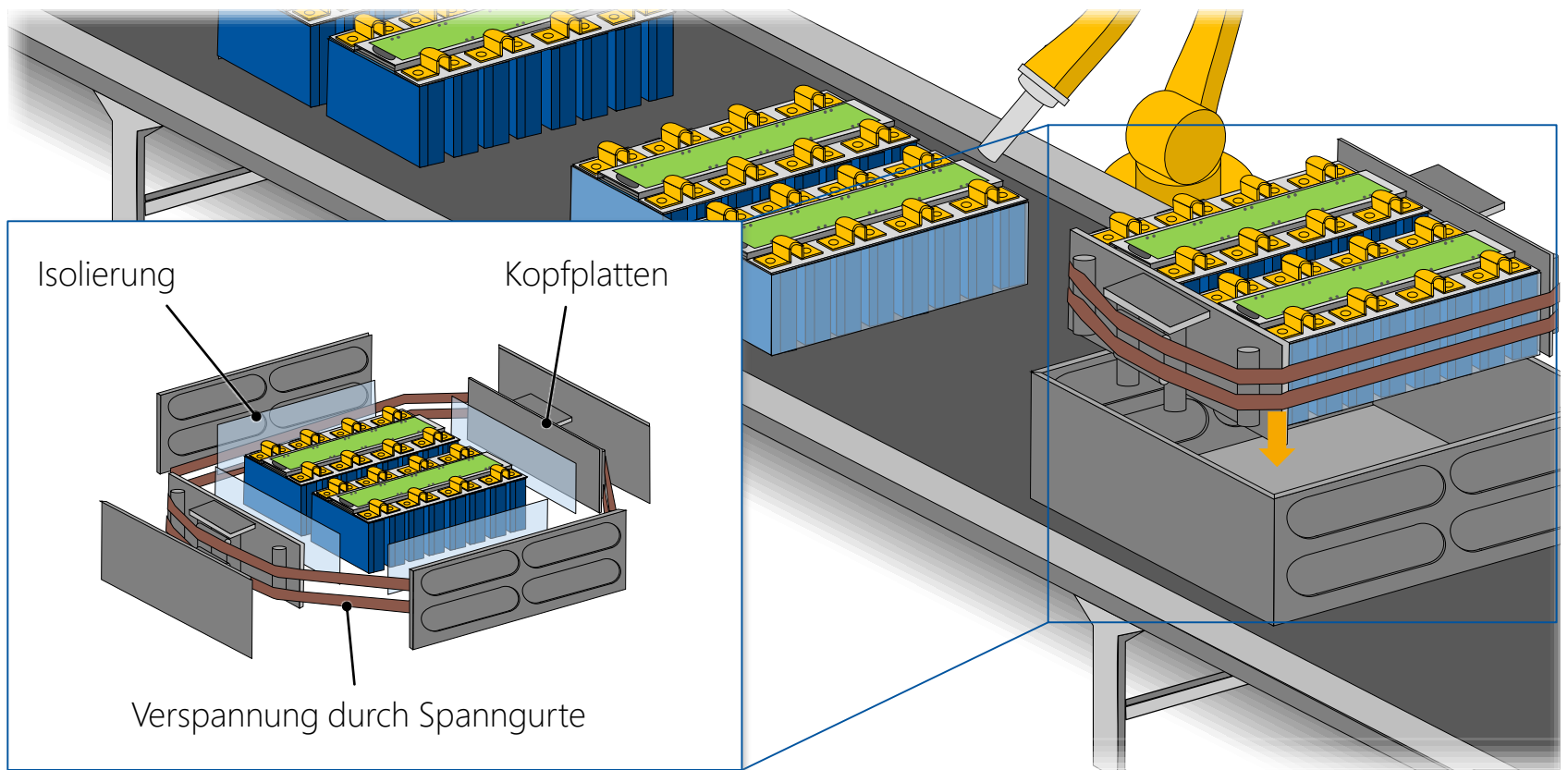
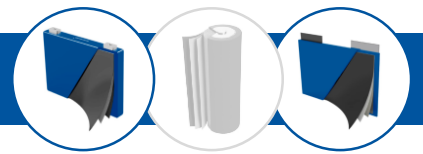
### Drahtbonden



- Die Zelltabs sind über dünne Bonddrähte mit der Stromabnehmerplatte verbunden.
- Der elektrische Kontakt wird durch die kombinierte Wirkung von Hitze, Druck und Ultraschall hergestellt.
- Die Bonddrähte wirken als zellspezifische Sicherungen.
- Ausgleich von Ausrichtungsfehlern und Höhenversatz der Zellen durch die Steckverbindungen möglich.
- Die Haftfestigkeit der Bonddrähte ist vergleichsweise gering.

# Verspannen der Zellen

## Modulproduktion



Packproduktion

### Produktionsablauf

- Die gestapelten Zellen werden durch eine Klemmvorrichtung, durch Spanngurte oder durch das Modulgehäuse selbst fixiert. Alternativ kann die Verspannung auch schon vor der Kontaktierung der Zellen erfolgen.
- Isolationsplatten, -folien oder Fluide werden zur Wärmeableitung und elektrischen Isolierung verwendet. Im Falle eines Unfalls dienen sie dazu, eine Kettenreaktion der Zellen so weit wie möglich zu verhindern oder idealerweise zu unterbrechen.
- Positionierung und genaues Einsetzen in das Modul und anschließende Fixierung des Zellverbunds mit dem Gehäuse.
- *Optional:* Beschichtungen oder thermische Schutzpolster werden verwendet, um die Ausbreitungszeit eines Brandes zu minimieren. Darüber hinaus werden Füllstoffe oder Wärmeleitmaterialien verwendet, um den Wärmefluss zum Kühlsystem herzustellen und die Wärmeabgabe an die Umgebung zu verbessern.

### Prozessparameter & Anforderungen

- Positionierung und zuverlässige Fixierung des Zellverbundes im Modulgehäuse
- Einhaltung vorgegebener Anzugsdrehmomente und Spannkraften

### Qualitätsparameter

- Positioniergenauigkeit im Gehäuse
- Zuverlässige elektrische Isolation und Wärmeableitung im Modul
- Gleichmäßiger Anpressdruck durch ausgewählte Zellverspannung

### Aktuelle Technologiealternativen

- Alternative Verspannungsmethoden wie Verspannung durch Spanngurte, Gewindestangen, Verschraubung oder geschweißte Klammern

### Innovationsansätze / Trends

- Höherer Automatisierungsgrad in der Montage und Qualitätskontrolle
- Nachhaltige Fügetechniken für eine einfache Demontage und Recycling

Fertigungskosten\* [Auszug]

Investition für Maschinen & Anlagen: 1,0 – 1,5 Mio. €

# Batteriesicherheit

## Zusätzliche Sicherheitskomponenten im Batteriedesign

### Mechanische Belastung und Fixierung der Zellen

- Durch das Ausdehnen und Zusammenziehen der Zellen entsteht eine oszillierende Druckbelastung, die während der Lebensdauer kontinuierlich zunimmt.
- Der anliegende Druck hat einen großen Einfluss auf das Alterungsverhalten der Zellen. Ein niedriger Druck (ca. 0,3 bar - 0,5 bar) ist für eine lange Lebensdauer vorteilhaft.
- Während des Betriebs dürfen Vibrationen, Stöße oder mechanische Belastungen die Leistung der Batterie nicht beeinträchtigen. Die Zellen sind verspannt, um Schäden an den Zellen zu vermeiden und eine gleichmäßige Druckverteilung zu gewährleisten.

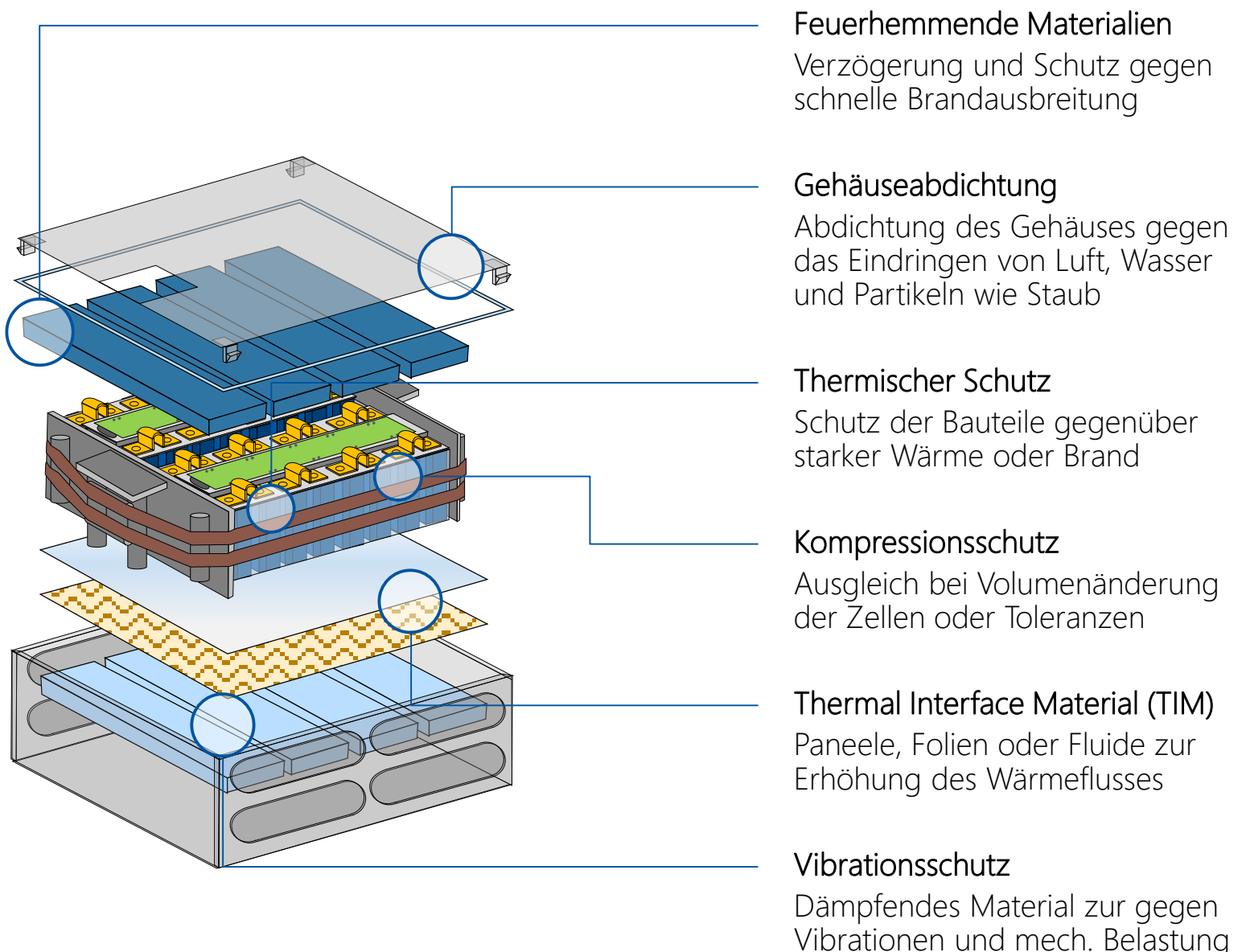
### Thermische Belastung und Brandschutz

- Im Betrieb kommt es zu einer starken Wärmeentwicklung in den Zellen, insbesondere bei hohen Entlade- und Ladevorgängen.
- Die Wärmeabfuhr muss so effizient wie möglich erfolgen, um die Temperatur innerhalb des Moduls zu regulieren. Hierfür werden thermische Leitmaterialien (TIM) verwendet.
- Die Wärme- oder Brandausbreitung muss verhindert werden, um eine Überhitzung der Zelle und damit eine starke exotherme Reaktion („Thermal Runaway“) zu vermeiden.

### Isolierung und elektromagnetische Verträglichkeit

- Die elektrischen Komponenten im Batteriemodul können durch elektromagnetische Störungen beeinträchtigt werden. Um Kurzschlüsse oder unerwünschte elektrische Verbindungen zu vermeiden, werden die Komponenten elektrisch isoliert.
- Für den Schutz vor Kurzschlüssen und elektromagnetischen Störungen können Isolier- und Abschirmungsmaterialien verwendet werden.

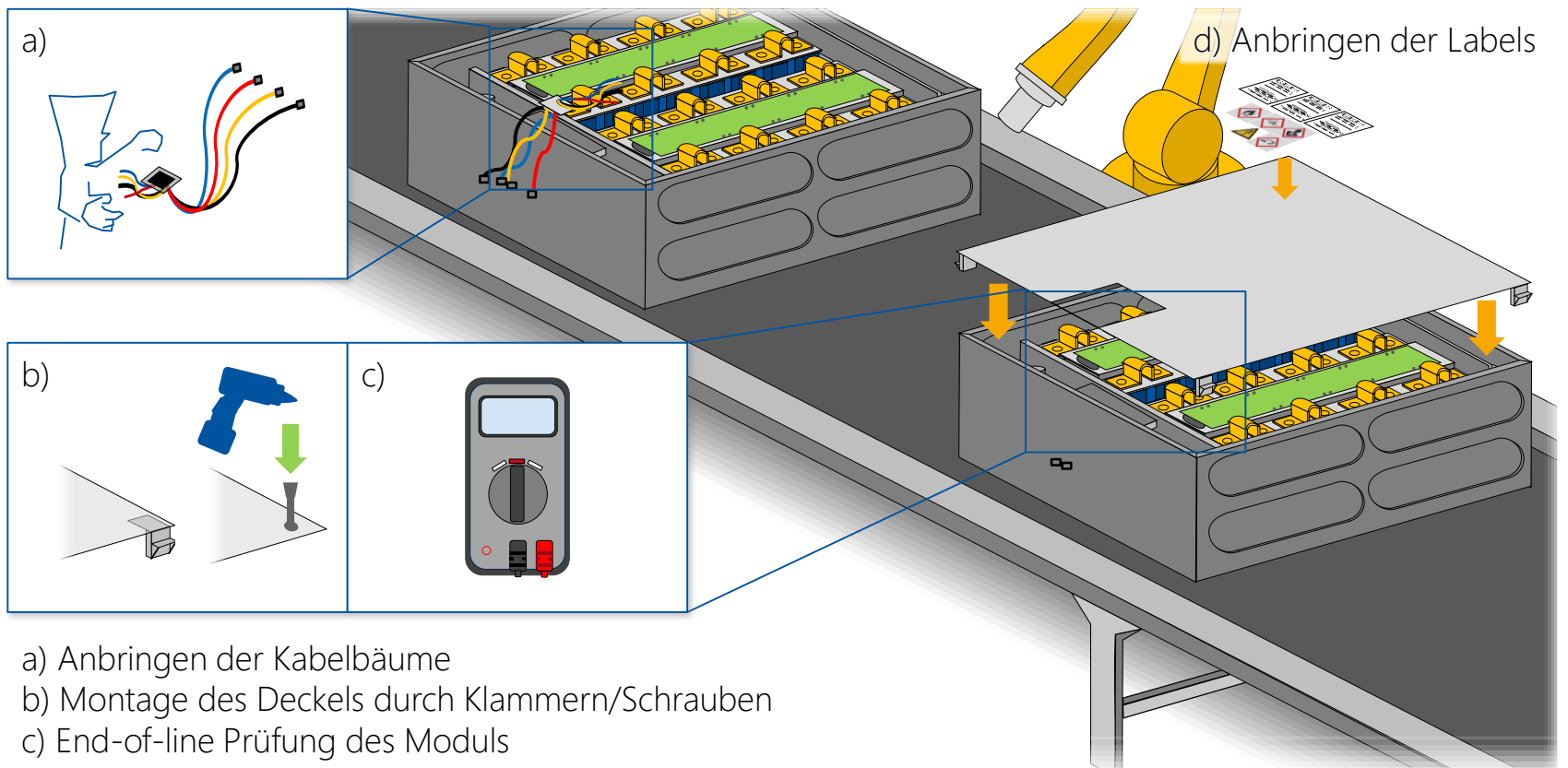
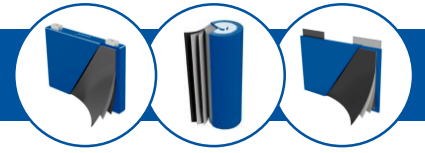
*Zusätzliche Sicherheitskomponenten werden in das Modul oder Pack integriert, um den Schutz vor äußeren Einflüssen im Betrieb zu gewährleisten und die thermische, mechanische und elektrische Leistung zu optimieren.*





# Endmontage Modul

## Modulproduktion



- a) Anbringen der Kabelbäume  
 b) Montage des Deckels durch Klammern/Schrauben  
 c) End-of-line Prüfung des Moduls  
 d) Anbringen der Labels

Packproduktion

### Produktionsablauf

- Anbringen der Kabelbäume und Stecker (z.B. Strom- und COM-Kabel).
- Vorbereitung der Anschlüsse für die Steuerung und Schnittstellenkommunikation.
- Verschließen und Abdichten des Modulgehäuses durch eine Abdeckplatte.
- Anforderungsspezifische End-of-Line-Prüfung des Moduls, u.a. hinsichtlich:
  - Maßhaltigkeit und äußere Abweichungen (optische Toleranzen)
  - Funktionsfähigkeit von Kommunikation und Sensoren (Softwaretest)
  - Abdichtung und Dichtigkeit des Moduls (technische Sauberkeit)
- Anbringen von Schutzabdeckungen, Produktlabels und Warnhinweisen.
- Verpackung und Vorbereitung für Transport, Lagerung oder Weiterverarbeitung im Rahmen der Packproduktion.

#### Prozessparameter & Anforderungen

- Anweisungen für Handhabung und Sicherheit
- Gewährleistung der Transportsicherheit (Kabel, Anschlüsse, Stecker, etc.)
- Dichtes Verschließen des Gehäuses durch korrekte Anzugsdrehmomente
- Funktionsfähige Verbindung aller elektrischen Komponenten

#### Qualitätsparameter

- Abdichtung und Schutz gegen das Eindringen von Feuchtigkeit und Verschmutzung
- Klemmfreie und beschädigungsfreie Montage der Abdeckplatte (Unversehrtheit der Kontaktierung)
- Hochspannungsfestigkeit
- Zugfestigkeit des Moduls

#### Aktuelle Technologiealternativen

- Kleben oder Verschweißen der Endplatte statt Verschraubungen
- Einsatz von Prüfsystemen bei hohen Stückzahlen in der Produktion

#### Innovationsansätze / Trends

- Drahtlose BMS zur Einsparung und Reduzierung der Verkabelung
- Verbundwerkstoffe (Gehäuse und Abdeckplatte) für Leichtbau und erhöhte strukturelle Stabilität

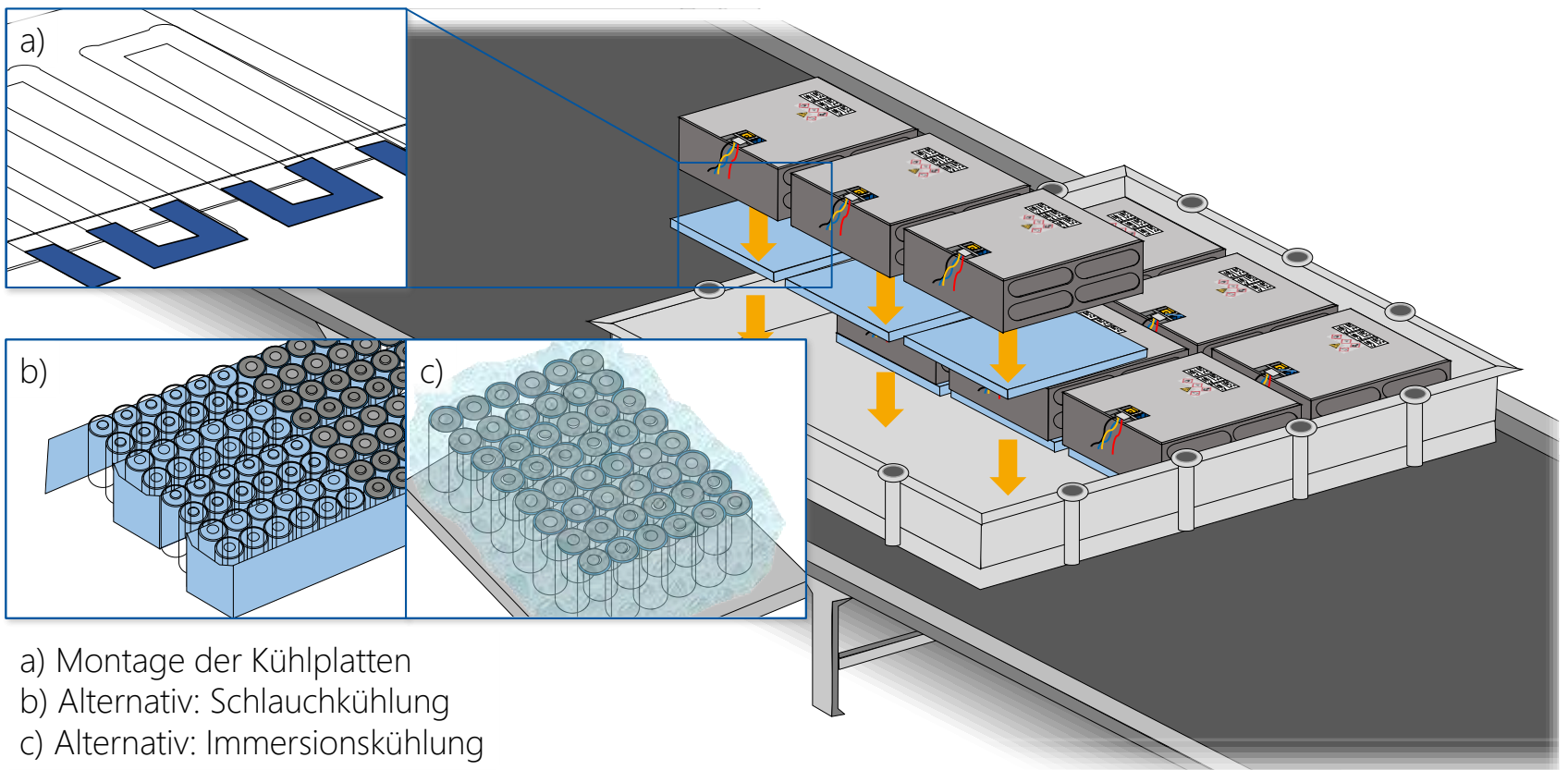
Fertigungskosten\* [Auszug]

Investition für Maschinen & Anlagen: 0,2 – 0,4 Mio. €

\* Studie PEM der RWTH Aachen: Kapazität des Batteriepacks: 150 Ah, Spannung: 400 V, Produktionskapazität: 4 GWh/a

# Montage der Module

## Packproduktion



- a) Montage der Kühlplatten
- b) Alternativ: Schlauchkühlung
- c) Alternativ: Immersionskühlung

### Modulproduktion

## Produktionsablauf

- Einbau eines zentralen oder dezentralen Kühlsystems in das Batteriepack zur Kühlung der Module im Betrieb (und ggf. Winterheizfunktion).
- Entsprechend der Struktur innerhalb der Module können elektrische Isolierungen, Brandschutz-, Füll- oder Wärmeleitmaterialien eingesetzt werden, um die Brandausbreitungszeit zu verkürzen oder die Wärmeabfuhr zu verbessern.
- Einsetzen der Module in das Gehäuse mit Hilfe geeigneter Greifer oder End-of-Arm Tooling (EOAT). Dieser Schritt wird wiederholt, bis alle Module eingesetzt sind.
- Aufbau und Verschaltung der Batteriepacks variieren je nach Anwendung und Hersteller stark (z.B. 4S3P, 6S3P, 12S1P etc. / S: Seriell, P: Parallel).
- Befestigung der Batteriemodule mittels Schraub- oder alternativ Klebeverbindungen. Anbringen von Sicherheitskomponenten (Crash-Strukturen, Sicherungen etc.).

### Prozessparameter & Anforderungen

- Korrekte Ausrichtung der Module
- Anzugsdrehmomente und korrekte Anzugsreihenfolge der Schraubverbindungen
- Funktionsfähiger Anschluss aller elektrischen Komponenten

### Qualitätsparameter

- Positioniergenauigkeit der Kühlung
- Korrekte Verkabelung
- Steifigkeit des Batteriepacks

### Aktuelle Technologiealternativen

- Kühlsysteme wie Flüssigkeitskühlung, Schlauchkühlung, Kühlplatten und Module mit integrierter Kühlung
- Verkleben statt Verschrauben

### Innovationsansätze / Trends

- Einsatz von Montagestrategien, die Recycling und Wiederverwendung erleichtern
- Alternative Gehäusematerialien zur Erhöhung der Designflexibilität

Fertigungskosten\* [Auszug]

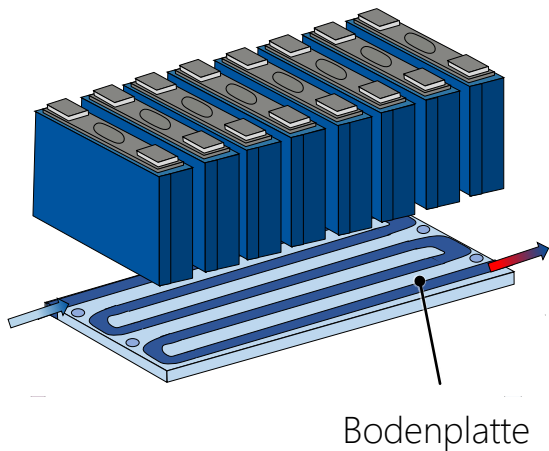
Investition für Maschinen & Anlagen: 1,8 – 2,2 Mio. €

\* Studie PEM der RWTH Aachen: Kapazität des Batteriepacks: 150 Ah, Spannung: 400 V, Produktionskapazität: 4 GWh/a

# Kühlsysteme

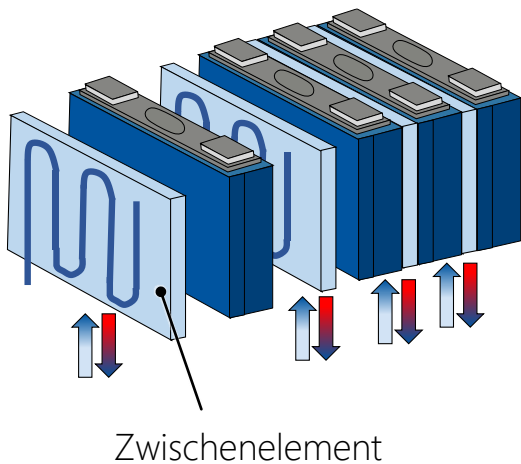
## Packproduktion

### Bodenplatte



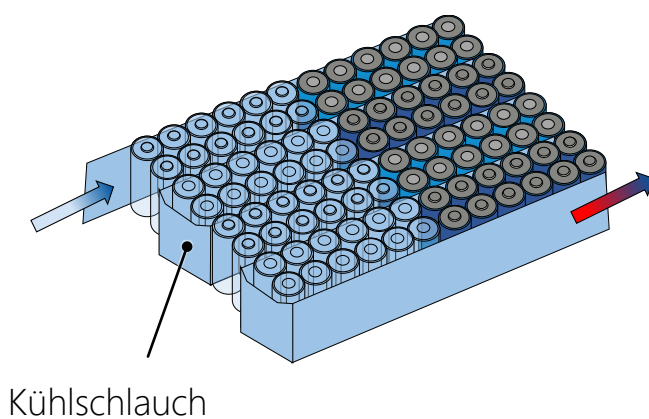
- Die Bodenplatte ist in den Boden des Batteriepacks integriert und kühlt die Zellen aktiv, wobei die Wärme über eine Kühlflüssigkeit am Boden abgeleitet wird.
- Die Bodenplatte ist entweder als eine zentrale Kühlung oder dezentrales Element ausgeführt.
- Durch die einseitige Wärmeabgabe bietet die Bodenplatte eine vergleichsweise ungleichmäßige und ineffektive Gesamtkühlleistung.

### Zwischenelemente



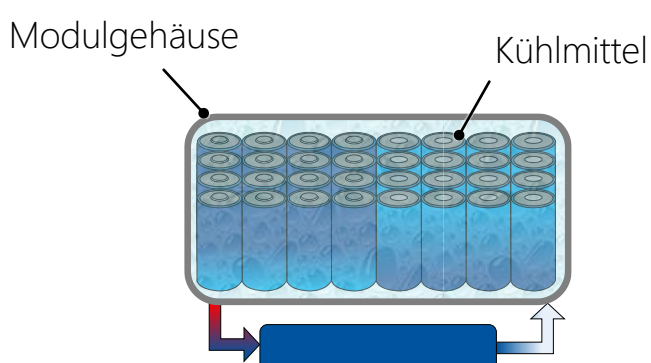
- Kühlplatten werden als Zwischenebene zwischen den Zellen verwendet.
- Bei diesem Design ist ein großer Teil der Zelloberfläche von Kühlelementen umgeben, was eine hohe Kühlleistung mit sich bringt.
- Im Vergleich zur Bodenplatte ist diese Struktur sehr komplex und erfordert einen aufwendigen Montageprozess.

### Schlauchkühlung



- Die Kühlflüssigkeit wird mit Schlauchführungen um die Zellen herumgeführt.
- Jedes Modul kann einen separaten Anschluss an das Kühlsystem haben.
- Schlauchkühlung bietet ein hohes Maß an Standardisierung im Moduldesign und eine hohe Kühlleistung.
- Die Montage eines Schlauchkühlsystems ist aufgrund des erforderlichen Aufbaus anspruchsvoll und komplex.

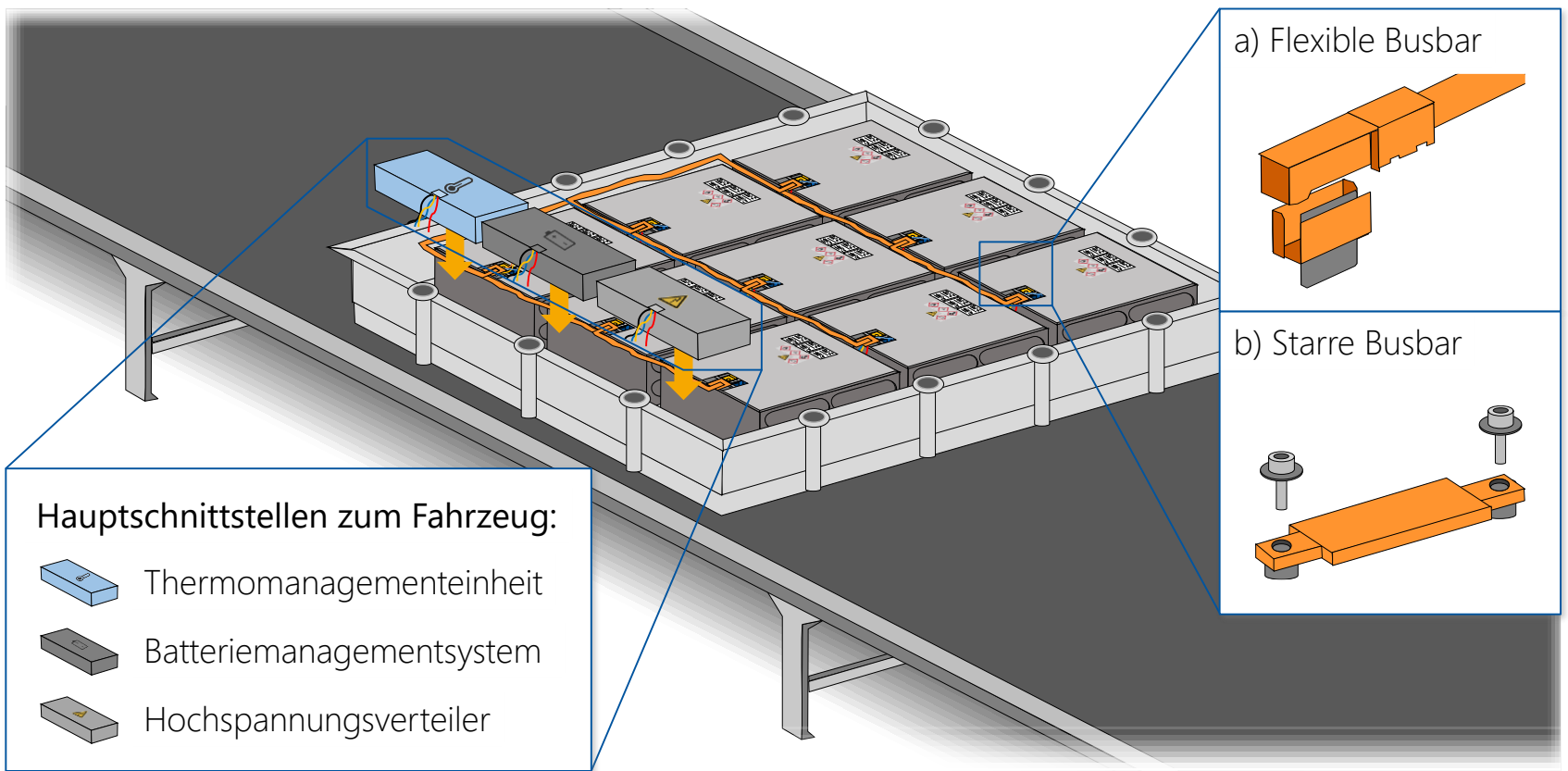
### Immersionenkühlung



- Das Modul wird mit einer nicht leitenden Flüssigkeit getränkt und somit gekühlt.
- Dieses Design bietet die höchste Kühlkapazität und maximale Flexibilität bei der Batteriekonstruktion.
- Hohe Anforderungen an die Dichtigkeit des Moduls und ein hoher Installationsaufwand sowie hohe Wartungskosten sind die Folge.

# Montage interner Komponenten

## Packproduktion



Modulproduktion

## Produktionsablauf

- Positionierung der Thermomanagementeinheit in der dafür vorgesehenen Halterung und Anschluss an Kühlelemente im Packgehäuse.
- Positionierung und Befestigung des Hochspannungsverteilers (bestehend aus Relais, Sicherungen, Vorlade- und Strommesssystem, Isolationsüberwachung, etc.)
- Anschluss von Hochspannungs- (HV) und Niederspannungskabelbäumen (LV) an Module und Peripheriegeräte.
- Montage und Verkabelung des Batteriemanagementsystems (BMS-Master) zur Steuerung des Thermomanagements, der Slave-Platinen und des HV-Verteilers.
- Verbindung von Batteriemodulen durch flexible oder starre Stromschienen mit Befestigungselementen. Elektrische Isolierung mittels Thermal Interface Material.
- Installation von Anschlüssen, Ventilen und Steckern am Außengehäuse zur Vorbereitung der Fahrzeugintegration.

### Prozessparameter & Anforderungen

- Installation der flexiblen Kabel kann in der Regel nur von geschultem Personal durchgeführt werden
- Funktionsfähiger Anschluss aller elektrischen Komponenten

### Qualitätsparameter

- Positioniergenauigkeit der internen Komponenten, Verkabelung und Stromschienen
- Funktionsfähigkeit der Module und Peripheriegeräte
- Keine messbaren Kriechströme

### Aktuelle Technologiealternativen

- Automatisierte Montage
- Flexible Stromschienen (Busbars)

### Innovationsansätze / Trends

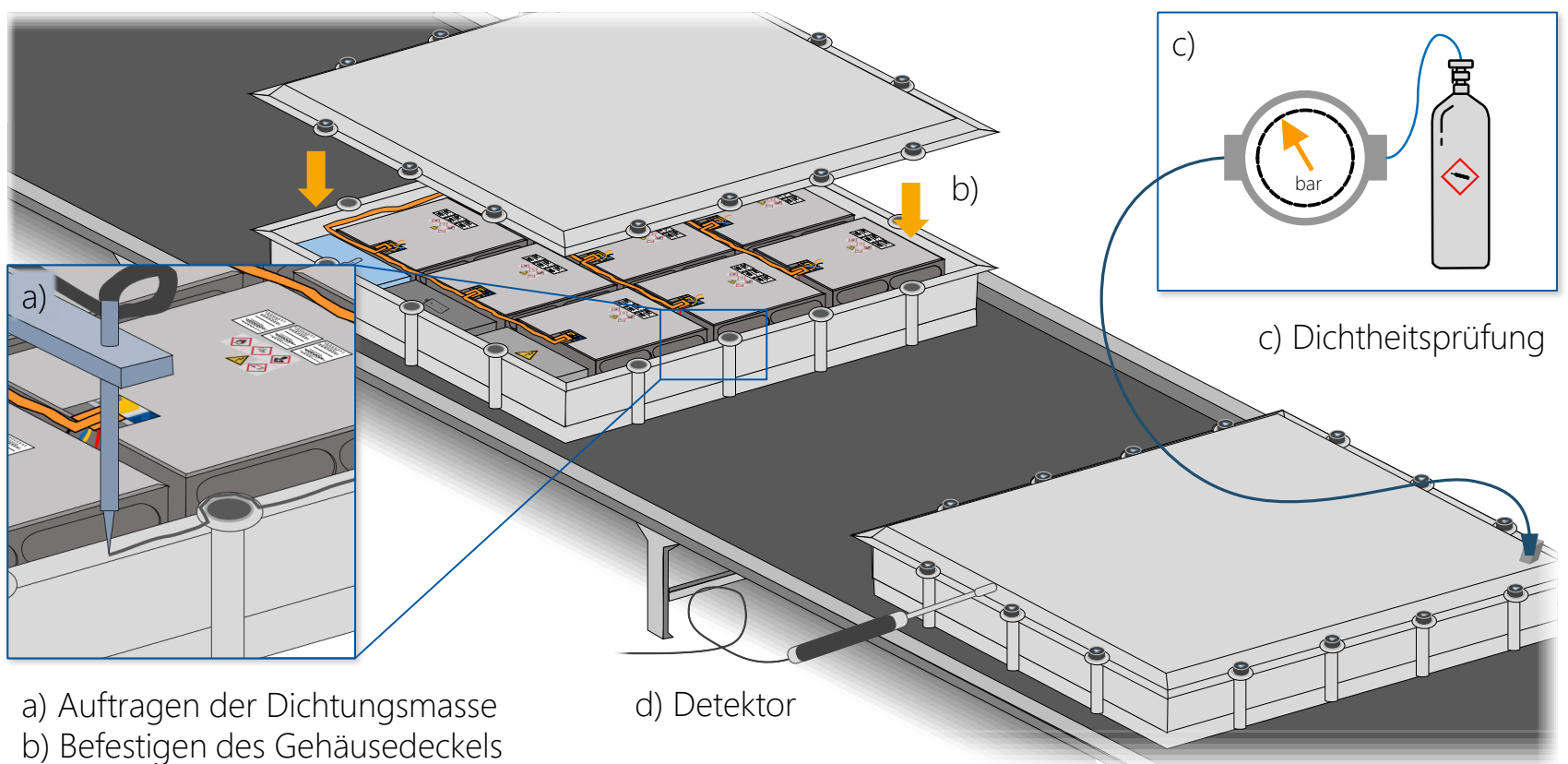
- Poka-Yoke zur Vermeidung von Montagefehlern
- Flexible Batteriekonzepte
- Design for Service (Wartung, etc.)

Fertigungskosten\* [Auszug]

Investition für Maschinen & Anlagen: 0,9 – 1,2 Mio. €

# Verschließen & Dichtheitsprüfung

## Packproduktion



Modulproduktion

## Produktionsablauf

- Dichtungen (z.B. Gummidichtungen, gespritzte oder geklebte Dichtungen) am Rand des Gehäuses oder Deckels befestigen oder aufbringen.
- Gehäuse- oder Deckeloberseite aufsetzen und mit dem Gehäuse des Batteriepacks verbinden (z.B. durch Verschrauben).
- Montage der Berstscheibe im Batteriegehäuse zur Druckabsicherung in der Batterie und zur Gewährleistung der Sicherheit während des Betriebs.
- Dichtheitsprüfung des Gehäuses durch Auslösen der Berstscheibe oder Prüfgerät. Bei hoher Empfindlichkeit gegenüber äußeren Einflüssen und strengen Druckgrenzwerten werden zusätzlich Detektoren (z.B. Schnüffelsonden) verwendet.
- Überprüfung der Dichtheit des Kühlkreislaufs mit Lecksuchgeräten oder geeignetem Prüfgas (z.B. Helium) bei Bedarf.

### Prozessparameter & Anforderungen

- Dichtung muss für die Belastung im Betrieb geeignet sein
- Berstscheibe als Sicherheitsventil
- Bei der Prüfung muss ein Bersten des Gehäuses bei Überdruck verhindert werden

### Qualitätsparameter

- Dosiergenauigkeit des Klebstoffs
- Qualität der Kleberaube
- Dichtheit des Batteriegehäuses
- Robustheit des Gehäusedeckels

### Aktuelle Technologiealternativen

- Differentialdruckprüfung
- Dichtheitsprüfung mit Tracer-Gasen
- Schnüffeltest zur Reduzierung äußerer Einflüsse

### Innovationsansätze / Trends

- Lösbare Verbindungen statt aushärtendem Klebstoff für einfache Demontage

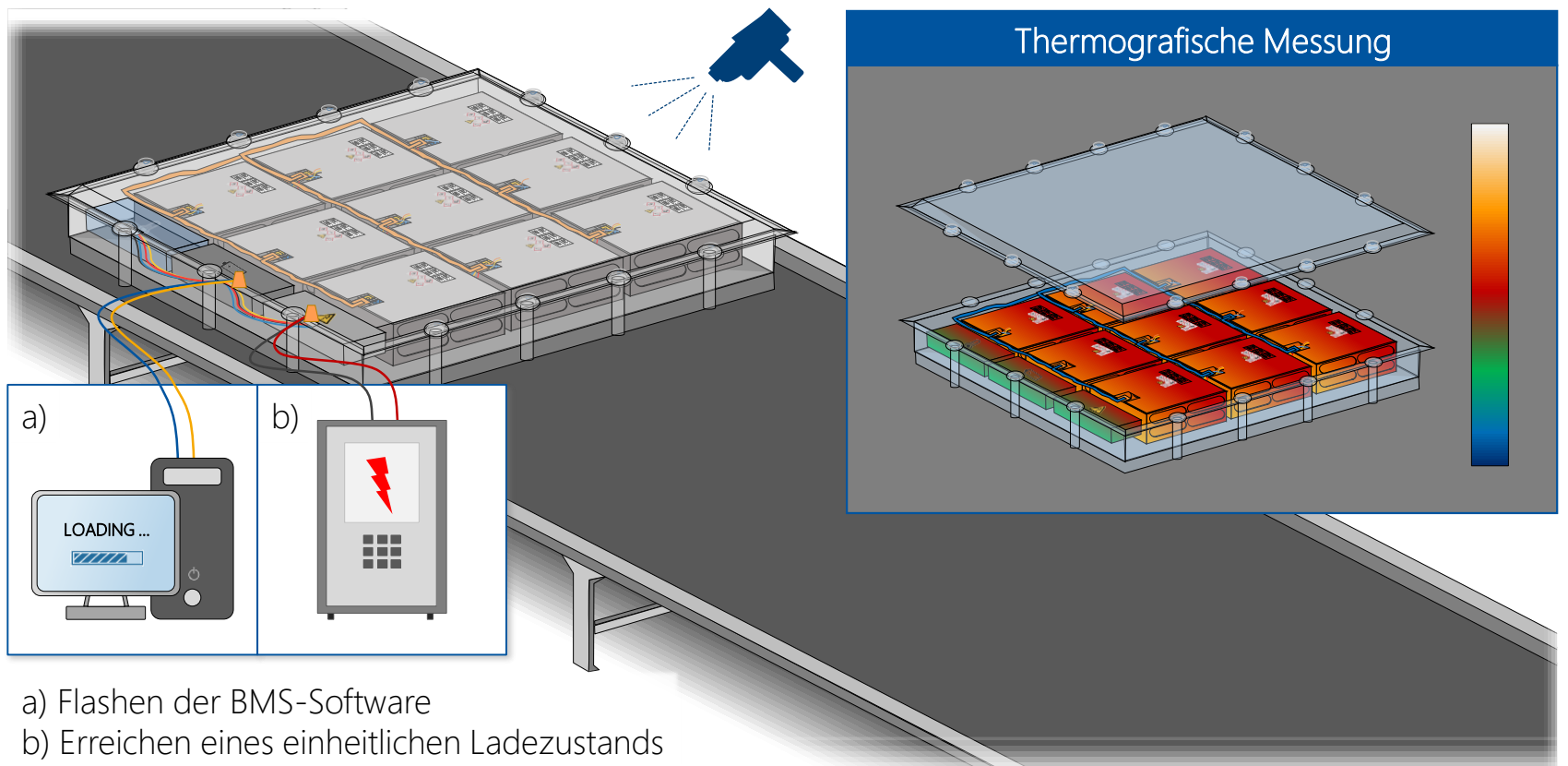
Fertigungskosten\* [Auszug]

Investition für Maschinen & Anlagen: 1,8 – 2,0 Mio. €

\* Studie PEM der RWTH Aachen: Kapazität des Batteriepacks: 150 Ah, Spannung: 400 V, Produktionskapazität: 4 GWh/a

# Laden & Flashen

## Packproduktion



- a) Flashen der BMS-Software  
b) Erreichen eines einheitlichen Ladezustands

### Modulproduktion

### Produktionsablauf

- Anschluss des BMS an einen Computer und "Flashen" des BMS mit der neuesten Software über ein Systemanalyseprogramm.
- Überprüfung des korrekten Betriebs aller Systeme durch das Analyseprogramm.
- Einstellung des gewünschten, einheitlichen Ladezustands aller Zellen.
- Überwachung der Schweißnähte und der Funktionen des Thermomanagements während des Betriebs durch ein thermografisches Messsystem bei Bedarf.

### Prozessparameter & Anforderungen

- Installation der neuesten Software für das Batteriemanagementsystem für die entsprechende Fahrzeugvariante
- Einhaltung der funktionalen Toleranzen
- Prävention von Gasbildung oder Brandentwicklung während des Ladevorgangs

### Qualitätsparameter

- Vollständige Funktionsfähigkeit aller Komponenten
- Effiziente Kühlleistung und gleichmäßige Temperaturverteilung
- Keine überhöhte Wärmeentwicklung während des Ladevorgangs

### Aktuelle Technologiealternativen

- *keine*

### Innovationsansätze / Trends

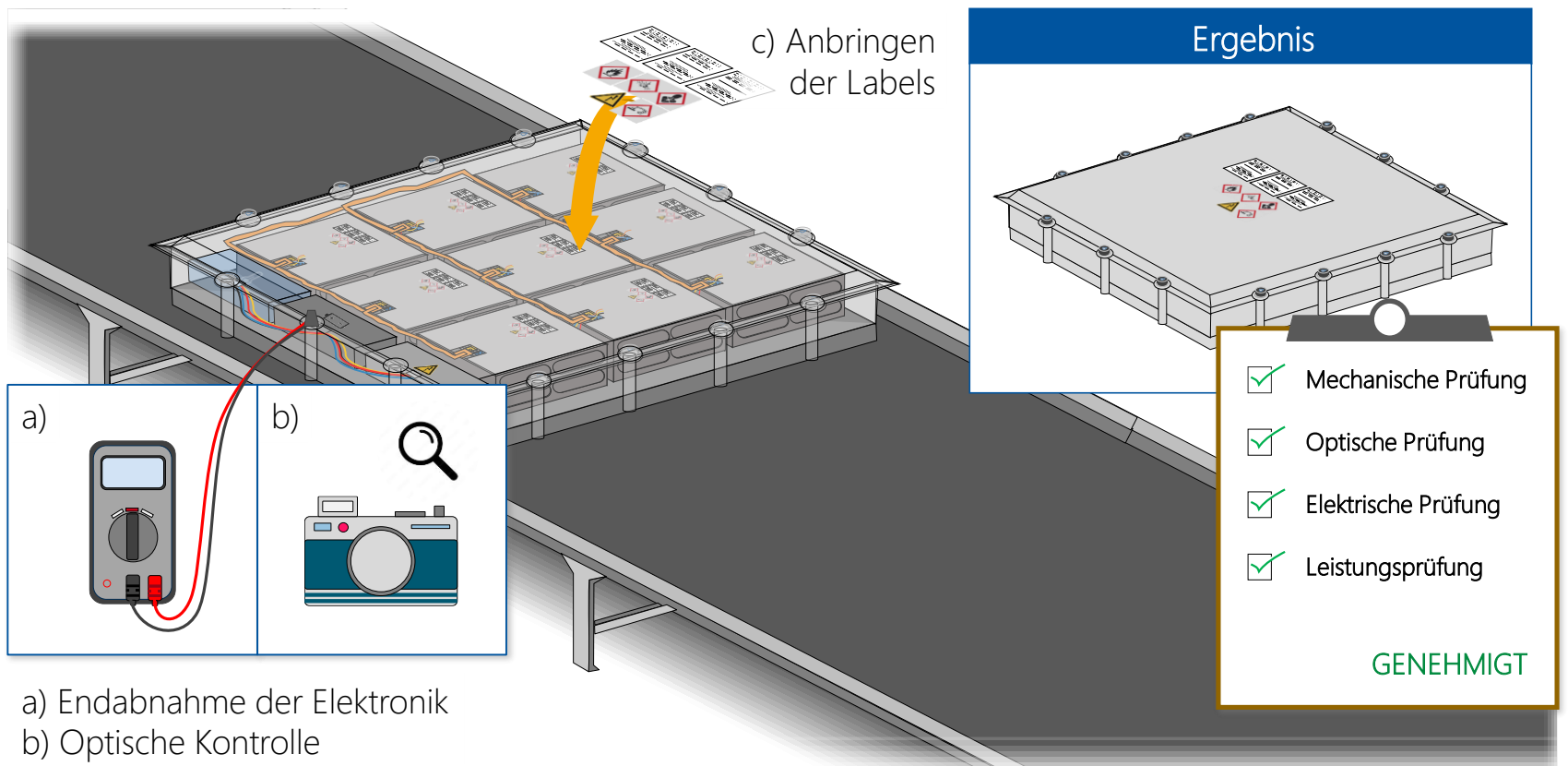
- *keine*

Fertigungskosten\* [Auszug]

Investition für Maschinen & Anlagen: 3,8 – 4,0 Mio. €

# End-of-line Prüfung

## Packproduktion



Modulproduktion

### Produktionsablauf

- Anschluss der Prüfgeräte an die Schnittstellen des Batteriepacks.
- Überprüfung der gesamten Elektronik durch Prüfsoftware und Sichtkontrolle durch eine Fachkraft.
- Überprüfung des ordnungsgemäßen Betriebs des BMS und seiner Teilkomponenten (Temperatursensoren, Slave-Platine, etc.).
- Laden und Entladen der Batterie nach definiertem Leistungsprofil und Herstellen des geforderten Ladezustandes (SOC) für die Lagerung oder Fahrzeugmontage.
- Anbringen von Produktlabels, Warnhinweisen und Kennzeichnung als "genehmigt" für die Freigabe des Packs.
- Verpackung und Transport des Batteriepacks.

#### Prozessparameter & Anforderungen

- Kriterienkatalog für umfassende Prüfungen und Funktionstests
- Definierter Auslieferungszustand für die Fahrzeugmontage
- Schulung der Mitarbeiter erforderlich

#### Qualitätsparameter

- Erfüllung aller Qualitätsprüfungen

#### Aktuelle Technologiealternativen

- Vorgelagerte Balancierung von Modulen im Wareneingang oder in Wartepositionen innerhalb der Produktionslinie

#### Innovationsansätze / Trends

- Datenbasiertes Lebenszyklusmanagement von Fahrzeugbatterien (z.B. Battery Passport)

Fertigungskosten\* [Auszug]

Investition für Maschinen & Anlagen: 3,0 – 3,2 Mio. €

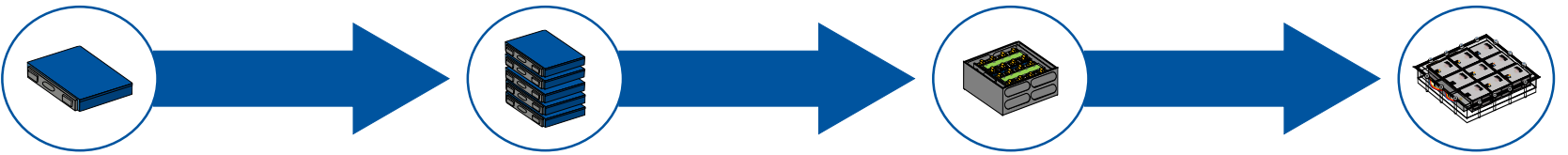
\* Studie PEM der RWTH Aachen: Kapazität des Batteriepacks: 150 Ah, Spannung: 400 V, Produktionskapazität: 4 GWh/a

# Linienkonfigurationen

für die Produktion von Batteriemodule und -packs

## Segmente der Produktionslinie

- Die Produktionslinie für Batteriemodule und -packs besteht aus drei Hauptabschnitten mit großen Unterschieden hinsichtlich Losgrößen, Taktzeit und Sicherheitsanforderungen.
- Aus der Sicht des Fabriklayouts kann die Montagelinie daher in Cell-to-Stack, Stack-to-Module und Module-to-Pack unterteilt werden.



### Cell-to-Stack:

- Die einzelnen Zellen werden zu einem Zellverbund verbunden.
- Der Bereich zeichnet sich durch hohe Stückzahlen und sehr kurze Taktzeiten aus.

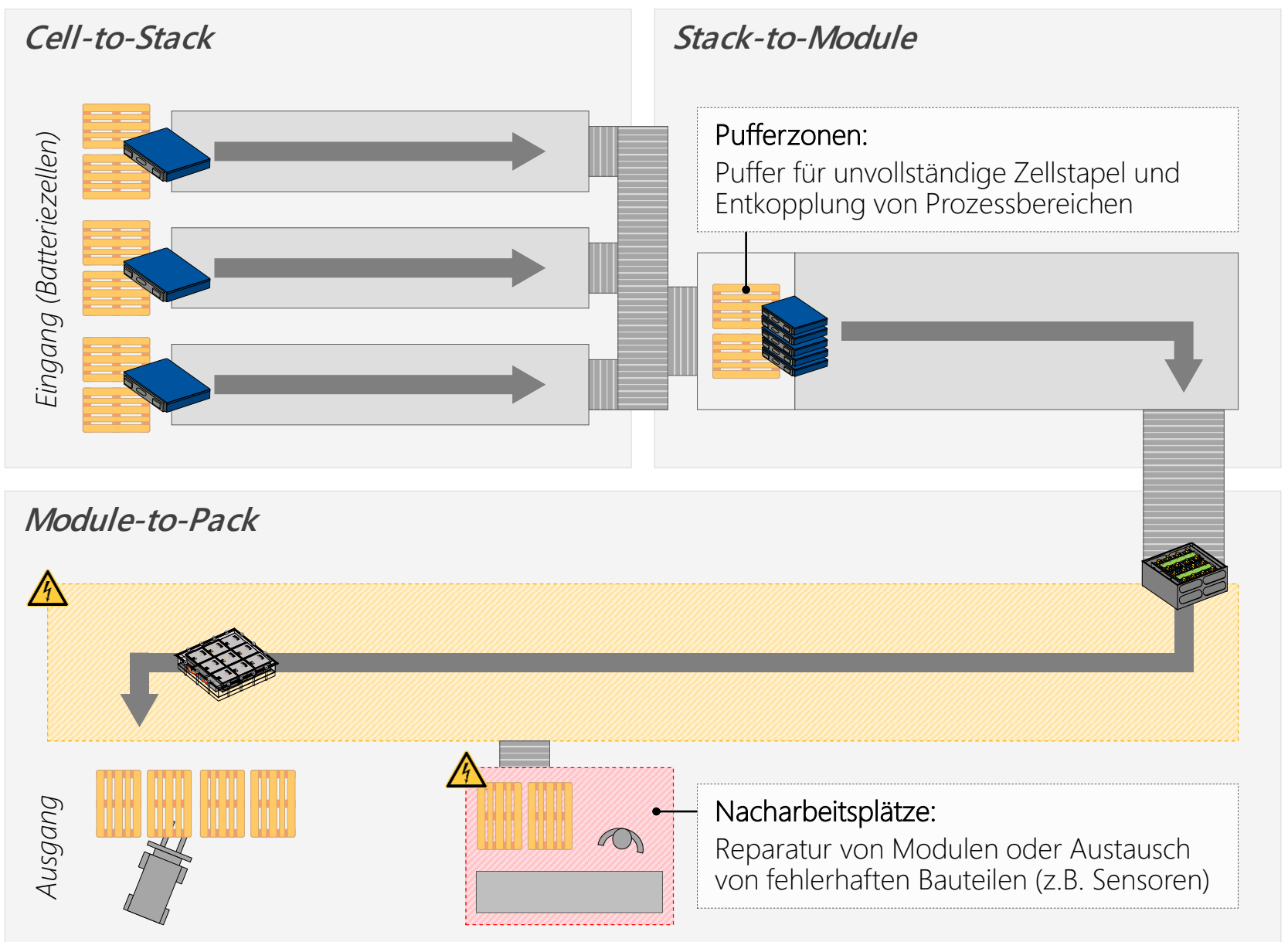
### Stack-to-Module:

- Die Stückzahl nimmt mit dem Einsetzen des Zellverbunds in das Modul stark ab.
- Der Hochspannungsbereich beginnt nach der Zellkontaktierung.

### Module-to-Pack:

- Beim Einsetzen der Module in das Pack hat die Produktion die endgültige Stückzahl.
- Umfangreiche Tests führen zu deutlich höheren Prozesszeiten.

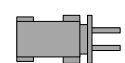
## Planung des Layouts



HV-Bereich



Nacharbeit (nur für geschultes Personal)



Logistik

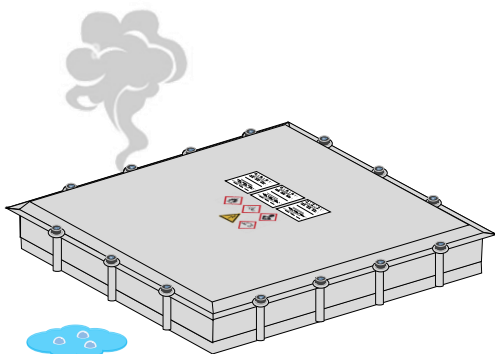
*Zukünftige Linienkonzepte sind hoch automatisiert und dennoch sehr flexibel. Integrierte Puffer- und Nacharbeitsstationen vermeiden möglichen Stillstand und entkoppeln den zeitintensiven und komplexen Montageprozess.*



# Überblick potentieller Gefahren

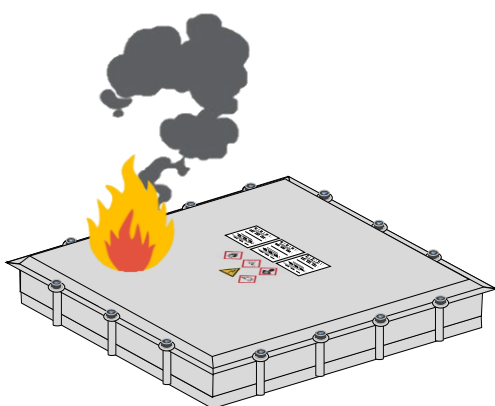
## Sicherheitsmaßnahmen in der Modul- und Packproduktion

### Chemische Gefahren



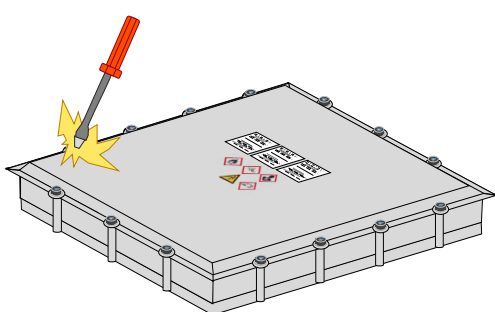
- Auslaufen des Elektrolyten aufgrund von Beschädigungen an der Batteriezelle. Die Elektrolytlösung besteht aus giftigen Lösungsmitteln.
- Betrieb außerhalb der Betriebsgrenzen führt zur Gasbildung der Zelle. Die entstehenden Gase sind hochgiftig.
- Bildung von Flusssäure bei Kontakt des Elektrolyten mit Feuchtigkeit (z.B. der Umgebung).

### Thermische und mechanische Gefahren



- Überhitzung der Zelle durch eine sich selbst verstärkende, exotherme Reaktion (Thermal Runaway).
- Brand- und Explosionsgefahr durch exponentiellen Anstieg von Druck und Temperatur.
- Erzeugung einer Kettenreaktion im Zusammenhang mit einem thermischen Durchgehen.

### Elektrische Gefahren



- Die Betriebsspannung kann einen lebensgefährdenden Bereich erreichen.
- Gefahr von internen und externen Kurzschlüssen.
- Muskelkrämpfe oder Herzkammerflimmern aufgrund von elektrischem Körperstrom.
- Gefahr von Verbrennungen durch Lichtbögen.

## Maßnahmen für eine sichere Produktion

*Die Produktion von Batteriemodulen und -packs ist mit einer Vielzahl von Sicherheitsrisiken verbunden, die besondere Maßnahmen des Schutzes erfordern.*

#### Technisch:

- Polkappen für Kontakte
- Lichtschranken in den Stationen
- Sicherheitsbehälter
- Brandschutz (Wände)
- Abzüge und Belüftung

#### Organisatorisch:

- Hinweise und Labels
- Maßnahmen gegen elektrischen Schlag
- Sicherheitsabstände
- Notfallmaßnahmen im Falle eines Störfalls

#### Persönlich:

- Schutzausrüstung
- HV-Werkzeuge
- HV-Schulung für zuständiges Personal
- Körperduschen
- Erste-Hilfe-Ausbildung

# Online-Branchenführer

Schlüssel zur Batterieproduktion

Sind Sie auf der Suche nach starken Lösungen für die Batterieproduktion? Möchten Sie eine Produktionslinie aufbauen oder halten Sie nach Prozessentwicklungspartnern Ausschau?

Die neue Übersicht der VDMA-Fachabteilung Batterieproduktion darüber, welche Unternehmen welche Technologien entlang der Prozesskette anbieten, hilft Ihnen, die richtigen Partner zu finden.

Online verfügbar



[www.vdma-branchenfuehrer.de/batterieproduktion](http://www.vdma-branchenfuehrer.de/batterieproduktion)

## Schlüssel zur Batterieproduktion

**Batteriemaschinenbau „Made in Europe“ -  
Starke Lösungen nicht nur für die Großserienfertigung**

Die Expertise unserer Mitglieder für Maschinen, Anlagen,  
Materialien, Komponenten und Dienstleistungen  
für die Batterieproduktion!

Finden Sie hier den richtigen Ansprechpartner >



Nehmen Sie direkten Kontakt zu den Batterie-Expert\*innen der Unternehmen auf. Durchsuchen Sie die Sparten innerhalb der Produktionskette nach Ihren Bedürfnissen und finden Sie die passenden Betriebe.

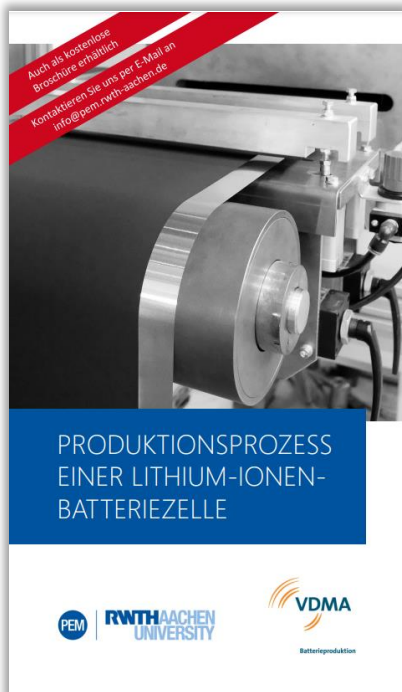
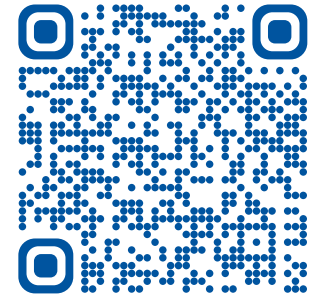
Über eine Merklistenfunktion können Sie anschließend die Kontaktanfrage absenden.

# Leitfaden

## zur Elektromobilität

Online verfügbar

In den Veröffentlichungen rund um die Batterie stellt der Lehrstuhl „Production Engineering of E-Mobility Components“ (PEM) der RWTH Aachen in Zusammenarbeit mit dem VDMA die Prozess- und Recycling-Ketten von der Zelle bis zum Batteriepack dar und geht auf die Herstellungsweisen der verschiedenen Komponenten ein.



### Produktionsprozess einer Lithium-Ionen-Batteriezelle

Die Veröffentlichung "Produktionsprozess einer Lithium-Ionen-Batteriezelle" bietet einen umfassenden Prozessüberblick über die Herstellung der Batteriezellenformate von der Elektrodenherstellung über die Zellausbauelementierung bis hin zur Zellfinalisierung. Außerdem werden aktuelle Trends und Innovationen erläutert.

4. Auflage  
ISBN 978-3-947920-27-3

Hrsg.  
PEM der RWTH Aachen & VDMA



### Produktionsprozess einer All-Solid-State-Batteriezelle

Die Veröffentlichung „Produktionsprozess einer All-Solid-State-Batteriezelle“ erläutert die Fertigungstechnologien und -ketten für die drei Elektrolytklassen der All-Solid-State-Batteriezelle. Darüber hinaus wird die eventuelle Übertragbarkeit von Kompetenzen aus der Produktion von Lithium-Ionen-Batteriezellen beleuchtet.

2. Auflage  
ISBN 978-3-947920-28-0

Hrsg.  
PEM der RWTH Aachen & VDMA



### Komponentenherstellung einer Lithium-Ionen-Batteriezelle

1. Auflage  
ISBN 978-3-947920-06-8

### Recycling von Lithium-Ionen-Batterien

1. Auflage  
ISBN 978-3-947920-11-2



# Leitfaden

## zur Elektromobilität

Online verfügbar



In der Beitragsreihe „Leitfaden für die E-Motorenproduktion und Brennstoffzellenproduktion“ stellt der Lehrstuhl „Production Engineering of E-Mobility Components“ (PEM) der RWTH Aachen weitere Komponenten für die Elektromobilität dar.

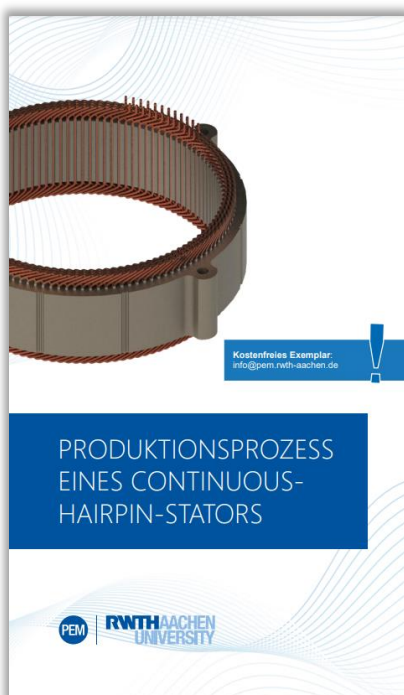


### Produktionsprozess eines Hairpin-Stators

Der Leitfaden „Produktionsprozess eines Hairpin-Stators“ thematisiert die Prozesse zur Fertigung von Hairpin-Statoren als vorherrschender Bauweise für automobiler Traktionsanwendungen, vom Richten des Drahts über die Hairpin-Herstellung, -Montage und -Verschaltung bis hin zum Imprägnieren und Testing.

2. Auflage  
ISBN 978-3-947920-19-8

Hrsg.  
PEM der RWTH Aachen



### Produktionsprozess eines Continuous-Hairpin-Stators

1. Auflage  
ISBN 978-3-947920-20-4

### Produktionsprozesse von Rotoren

1. Auflage  
ISBN 978-3-947920-22-8



### Produktion von Brennstoffzellensystemen

2. Auflage  
ISBN 978-3-947920-13-6

### Produktion von Brennstoffzellenkomponenten

2. Auflage  
ISBN 978-3-947920-15-0

