

Auch als kostenlose
Broschüre erhältlich
Kontaktieren Sie uns per E-Mail an
info@pem.rwth-aachen.de

PRODUKTIONSPROZESS EINER LITHIUM-IONEN- BATTERIEZELLE



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

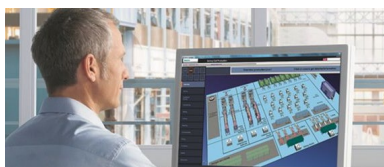
Production Engineering of E-Mobility
Components of RWTH Aachen University
Bohr 12
52072 Aachen

www.pem.rwth-aachen.de



Batterieproduktion

Der VDMA vertritt mehr als 3.500 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.



VDMA

Batterieproduktion
Lyoner Straße 18
60528 Frankfurt am Main

<https://vdma.org/batterieproduktionsmittel>

Autor*innen

PEM der RWTH Aachen



**Dr.-Ing. Dipl.-Wirt.-Ing.
Heiner Hans Heimes**

Geschäftsführender
Oberingenieur
H.Heimes@pem.rwth-aachen.de



Prof. Dr.-Ing. Achim Kampker

Lehrstuhlinhaber
A.Kampker@pem.rwth-aachen.de



Sarah Wennemar, M. Sc. M. Sc.

Gruppenleiterin Battery Production
Technology
S.Wennemar@pem.rwth-aachen.de



Lorenz Plocher, M. Sc. M. Sc.

Battery Production Technology
L.Plocher@pem.rwth-aachen.de



Gerrit Bockey, M. Sc.

Battery Production Technology
G.Bockey@pem.rwth-aachen.de

VDMA



Dr. Sarah Michaelis

Leitung VDMA Batterieproduktion
Sarah.Michaelis@vdma.org



Jörg Schütrumpf

Projektleitung VDMA Batterieproduktion
Joerg.Schuetrumpf@vdma.org



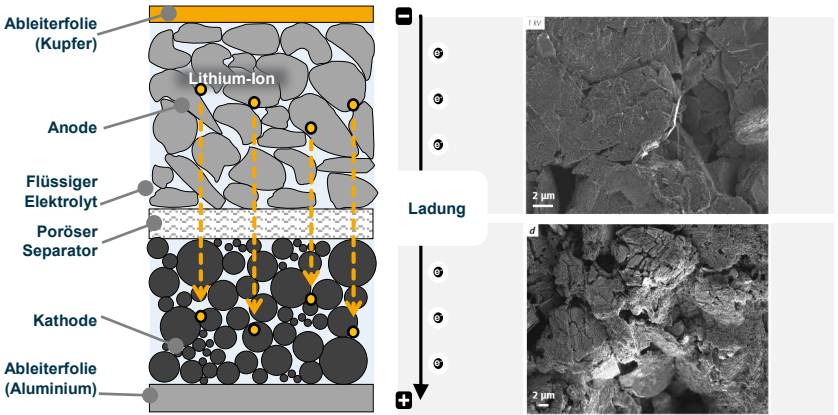
Haben Sie Fragen?

Sprechen Sie uns an!



Frankfurt am Main, Januar 2023
Eigendruck PEM der RWTH Aachen & VDMA,
4. Auflage
ISBN: 978-3-947920-26-6

Funktionsprinzip einer Lithium-Ionen-Batteriezelle



Elektrodenfertigung

Zellassemblierung

Zellfinalisierung

- Die Herstellung der Lithium-Ionen-Batteriezelle umfasst die drei Hauptprozessschritte Elektrodenfertigung, Zellassemblierung und Zellfinalisierung.
- Die Elektrodenfertigung und die Zellfinalisierung lassen sich weitestgehend unabhängig vom Zelltypen durchführen, während innerhalb der Zellassemblierung zwischen Pouch- und Rundzelle sowie prismatischer Zelle zu unterscheiden ist.
- Unabhängig vom Zelltypen, besteht die kleinste Einheit jeder Lithium-Ionen-Zelle aus zwei Elektroden und dem Separator, der die Elektroden voneinander trennt. Dazwischen befindet sich der ionenleitfähige Elektrolyt.

Technologieentwicklung einer Lithium-Ionen-Batteriezelle

Produktinnovation (Auszug)

- **Permutationen**
 - High-Nickel-Batterien
 - Silizium-Graphit-Anoden (Si/C)
- **Inaktive Komponenten**
 - Mehrlagige Separatormaterialien
 - Dünnere und leichtere Gehäuse
- **Vierte Technologie-Generation**
 - Großformatige Zellen
 - Metallische Lithium-Anoden

Prozessinnovation (Auszug)

- **Elektrodenfertigung**
 - Trockenbeschichtung
 - Lasertrocknen
- **Zellassemblierung**
 - Laserslitting und -schneiden
 - Innovatives Stapelverfahren
- **Zellfinalisierung**
 - Intelligente Formierprotokolle
 - Frühzeitige Qualitätserkennung

- Bereits heute bekannte Technologieentwicklungen werden die Material- und Fertigungskosten der Lithium-Ionen-Batteriezelle senken und die Leistungseigenschaften weiter steigern.

Dosieren & Mischen

Elektrodenfertigung



Anodenrezeptur*

Aktivmaterial: Graphit (95 Gew.-%)

Leitruß: nanomikroskopischer Kohlenstoff, bspw. Carbon Black® (1 Gew.-%)

Lösungsmittel: Entionisiertes Wasser

Binder: CMC (2 Gew.-%)

Additiv: SBR (2 Gew.-%)

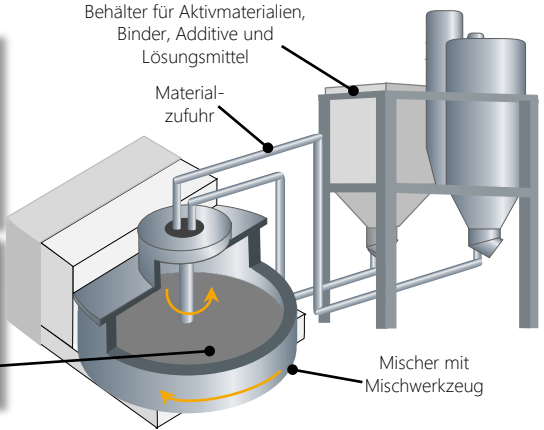
Kathodenrezeptur*

Aktivmaterial: Li(NiMnCo)₂ (95 Gew.-%)

Leitruß: nanomikroskopischer Kohlenstoff, bspw. Carbon Black® (1 Gew.-%)

Lösungsmittel: N-Methyl-2-pyrrolidon (NMP)

Binder: PVDF (4 Gew.-%)



Zellassemblierung

Zellfinalisierung

Produktionsablauf

- Aktivmaterial und Additive werden dosiert dem Mischbehälter zugeführt.
- Es erfolgt ein Trockenmischen zum Aufbrechen heterogener Phasen. [Distributives Mischen]
- Danach wird teilweise oder vollständig das Lösungsmittel zugeführt.
- Es erfolgt das Homogenisieren und Deagglomerieren des Gemisches. [Dispersives Mischen]
- Sofern nicht als Additiv hinzugefügt, erfolgt optional die Hinzufügung und Einarbeitung einer Binderlösung.
- Durch die Applizierung von Vakuum wird die vormals gebundene und eingearbeitete Luft dem Gemisch entzogen.
- Das so erzeugte Endprodukt wird „Slurry“ genannt.
- Der Energieeintrag erfolgt jeweils durch ein rotierendes Werkzeug oder mehrere rotierende Werkzeuge.

Prozessparameter & -anforderungen

- Mischdauer: 20 Min. - 6 Std.
- Temperierung: 20 - 40 °C
- Atmosphäre (im Mischer): Schutzgas oder Vakuum
- Atmosphäre (Aufstellort): Reinraum oder keine Anforderung
- Unterschiedliche Mischer für Elektroden zur Vermeidung von Kreuzkontamination

Qualitätsparameter [Auszug]

- Homogenität des Slurrys
- Agglomeratgröße
- Blasenfreiheit
- Reinheit (Fremdkörpergehalt)
- Viskosität

Aktuelle Technologiealternativen

- Kontinuierliches Mischen durch einen Doppelschneckenextruder
- Intensivmischen
- Inline-Dispergieren

Innovationsansätze/Trends

- keine

Fertigungskosten** [Auszug]

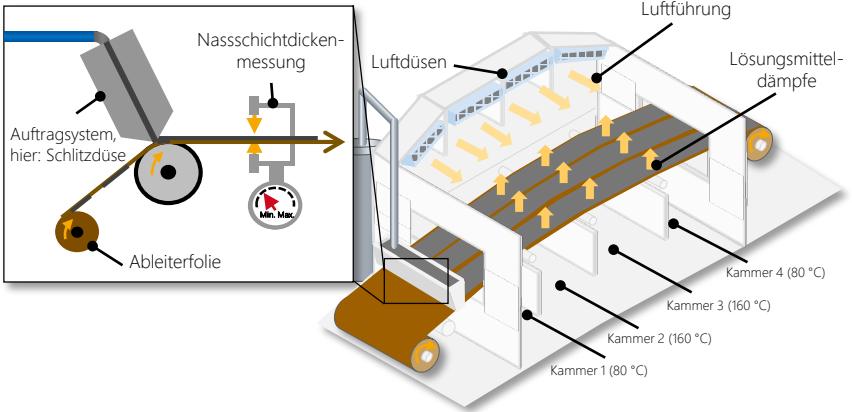
Invest für Maschinen und Anlagen: 32 - 40 Mio. € (Mischen)

* Beispielfähige Elektrodenrezepturen

** Studie des Lehrstuhls PEM der RWTH Aachen: 10 GWh/a, ca. 30.000.000 Pouchzellen/a, Zellkapazität: 80 Ah

Beschichten und Trocknen

Elektrodenfertigung



Zellassemblierung

Zellfinalisierung

Produktionsablauf

- Die Trägerfolie wird mit dem Slurry über ein Auftragswerkzeug (z. B. Schlitzdüse, Rakel, Rasterwalze) beschichtet.
- Eine kontinuierliche oder intermittierende Beschichtung der Folie ist möglich.
- Die Beschichtung von Folienober- und Folienunterseite kann gleichzeitig oder nacheinander wie bspw. beim Tandem-Coating-Prozess erfolgen.
- Nach der Beschichtung durchläuft die Trägerfolie einen Trocknungskanal.
- Der Transport der Folie wird entweder durch Rollen- oder Schwebbahnsysteme realisiert.
- Durch Wärmezufuhr wird der Beschichtung das Lösungsmittel entzogen.
- Zur Realisierung eines individuellen Temperaturprofils ist der Kanal in Temperaturzonen unterteilt.
- Sofern giftiges Lösungsmittel verwendet wurde, wird dieses zurückgewonnen und aufbereitet oder verwertet.
- Nach dem Trocknerdurchlauf werden die Folien auf Raumtemperatur heruntergekühlt und aufgewickelt.

Prozessparameter & -anforderungen

- Trocknungsgeschwindigkeit: 35 - 80 m/Min.
- Trocknungsstrecke: bis zu 100 m
- Temperaturprofil in den Trocknerzonen: 50 - 160 °C
- Lösemittelrückgewinnung
- Geeignete Folienvorspannung zur Vermeidung von Folienrissen wichtig

Qualitätsmerkmale

Beschichtung

- Schichtdickengenauigkeit/Homogenität
- Oberflächenqualität (Lunker, Partikel)

Trocknung

- Adhäsion zwischen Beschichtung und Substrat
- Restfeuchte
- Oberflächenbeschaffenheit (Risse etc.)

Aktuelle Technologiealternativen

- Mehrschichtiges simultanes Auftragen
- Additive Fertigungsverfahren

Innovationsansätze/Trends

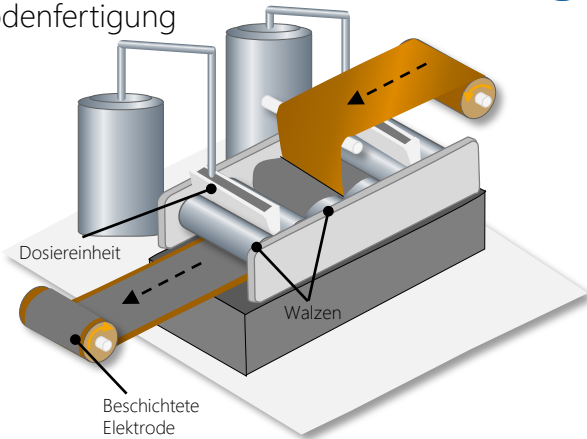
- Infrarottrocknung: Die Konvektionstrockner können durch Infrarotheizung ergänzt und dadurch effizienter gestaltet werden.
- Lasertrocknung: Durch den Einsatz eines Lasers können die Trocknerlänge verkürzt und Energiekosten gespart werden.

Fertigungskosten* [Auszug]

Invest für Maschinen und Anlagen: 30 - 57 Mio. €
(Beschichten und Trocknen)

Trockenbeschichten

Elektrodenfertigung

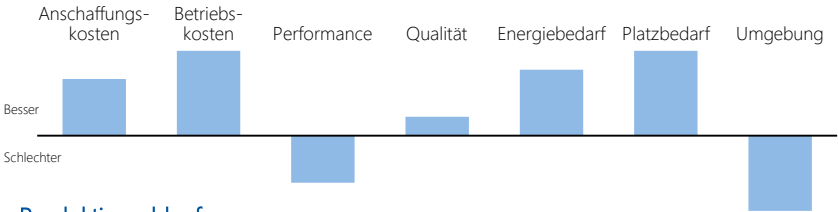


Kompatibilität mit aktueller Prozesskette

— Beeinflusster Prozessschritt



Qualitative Bewertung gegenüber dem konventionellen Prozess



Produktionsablauf

- Das Trockenbeschichten ist eine Zusammenfassung einer Vielzahl einzelner, jeweils trockener Beschichtungsarten. Der Verzicht auf Lösemittel bildet einen signifikanten Unterschied zum herkömmlichen Mischprozess.
- Direktes Kalandrieren und die freistehende Elektrodenfertigung sind die derzeit vielversprechendsten Technologien und weisen das höchste Potenzial einer zeitnahen Umsetzung in der Industrie auf.
- Das Aktivmaterial wird in einem Mischprozess homogenisiert und vorkonditioniert.
- Das Aktivmaterial wird in Form eines Pulvers oder Granulats einem Walzenpaar zugeführt.
- Die Walzen rotieren gegenläufig mit wahlweiser differenzieller Umfangsgeschwindigkeit.
- Auf der schneller rotierenden Walze bildet sich ein Trockenfilm, bestehend aus dem Aktivmaterial.
- Abhängig vom Anlagentypen, kann zunächst ein Trockenfilm erzeugt und anschließend auf das Substrat aufgetragen oder direkt auf das Substrat kalandriert werden.
- Vor dem Auftragen des Trockenfilms wird dieser in der Regel auf die gewünschte Breite zugeschnitten.

Technological Readiness Level

6 – 7 Demonstration des Systemprototypen in der Betriebsumgebung

Vorteile

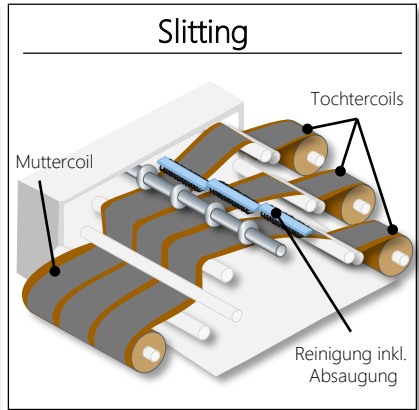
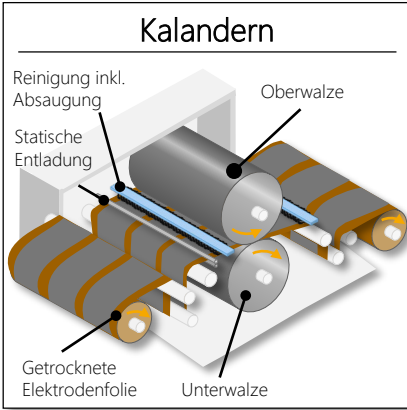
- Verzicht auf Lösungsmittel
- Reduzierung der Anlagen- und Energiekosten
- Reduzierung des Platzbedarfs

Herausforderungen

- Steigerung der Bahngeschwindigkeit
- Adhäsion der Schichten
- Einstellen der Porosität

Kalandern & Slitting

Elektrodenfertigung



Zellassemblierung

Zellfinalisierung

Produktionsablauf

- Beim Kalandern wird die beidseitig beschichtete Kupfer- bzw. Aluminiumfolie durch ein rotierendes Walzenpaar verdichtet.
- Vorher wird die Elektrodenfolie statisch entladen und durch Bürsten oder Luftströme gereinigt.
- Die Verdichtung des Materials erfolgt durch die Ober- und Unterwalze.
- Das Walzenpaar erzeugt einen genau zu definierenden Liniendruck.
- Nach dem Kalandern wird die Elektrodenfolie erneut gereinigt und wieder aufgerollt (Rolle-zu-Rolle-Prozess).
- Die kalandrierten Muttercoils werden meist durch einen manuellen Transportprozess der Slitting-Anlage zugeführt.
- Das Slitting ist ein Trennvorgang, bei dem ein breites Elektrodenband (Muttercoil) in mehrere kleinere Elektrodenbänder (Tochtercoils) unterteilt wird.
- In der Regel werden hierzu rollierende Messer verwendet.
- Die Tochtercoils werden nach dem Slitting gereinigt und wieder aufgerollt (Rolle-zu-Rolle-Prozess).

Prozessparameter & -anforderungen

- Einhaltung eines konstanten Liniendrucks von bis zu 2.500 N/mm
- Kalandergeschwindigkeit: 60 - 100 m/Min.
- Vorheizstrecken und Walzentemperatur optional möglich (ca. 50 - 250 °C)
- Schnittgeschwindigkeit (mechanisch): 80 - 150 m/Min.
- Absaugung für die Randstreifen

Qualitätsparameter [Auszug]

- Kalandern**
 - Definierte Porosität und Dicke
 - Adhäsion des Materials auf der Folie
 - Oberflächenreinheit
- Slitting**
 - Gratfreies und positionsgenau schneiden
 - Absaugung von Stäuben
 - Schnittbreitentoleranz: $\pm 150 \mu\text{m}$ - $\pm 250 \mu\text{m}$

Aktuelle Technologiealternativen

- keine

Innovationsansätze/Trends

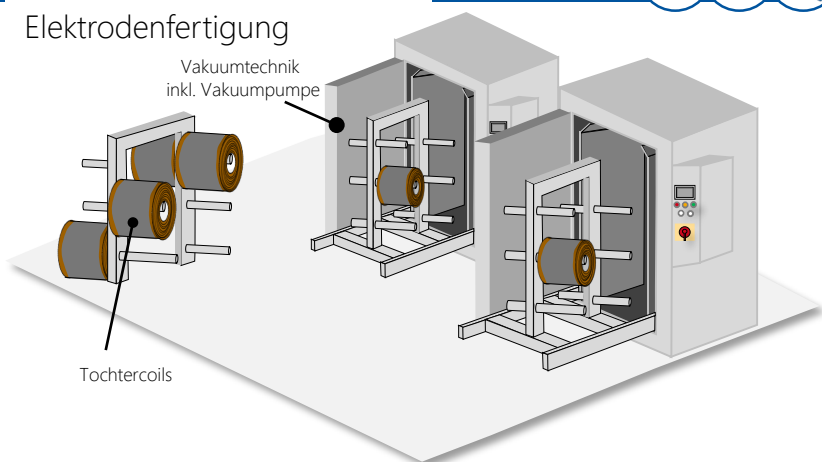
- Integration von Slittern in vorgelagerte Prozessschritte
- Laserslitzen

Fertigungskosten* [Auszug]

Invest für Maschinen und Anlagen: 6 - 17 Mio. €
(Kalandern)

Vakuumtrocknen

Elektrodenfertigung



Tochtercoils

Zellassemblierung

Zellfinalisierung

Produktionsablauf

- Die beschichteten Tochtercoils werden auf einen Spezialwarenträger geschoben.
- Im Anschluss findet eine Lagerung der Coils im Vakuumofen statt.
- Die Trocknungszeit beträgt ca. acht bis 48 Stunden. Während des Trocknungsprozesses werden den Coils Restfeuchte und Lösungsmittel entzogen.
- Die Senkung der Restfeuchte wird durch Verdampfen bei niedrigen Temperaturen infolge eines geringen Totaldrucks realisiert.
- Nach Abschluss des Vakuumtrocknens werden die Coils direkt in den Trockenraum überführt oder unter Vakuum trocken verpackt. Die Vakuumöfen werden für die Tochtercoils häufig als Schleuse in den Trockenraum verwendet.
- Zusätzlich besteht die Möglichkeit, die Vakuumöfen mit Inertgas zu betreiben, um Korrosionsvorgänge zu verhindern.

Prozessparameter & -anforderungen

- Arbeitsdruck: $0,07 \text{ mbar} < p < 1.000 \text{ mbar}$
- Trocknungsdauer: 8 - 48 h/Charge
- Trocknungstemperatur: 60 - 150 °C
- Optional: Inertgaszuführung gegen Kupferkorrosion

Qualitätsparameter [Auszug]

- Konstante Wärmezufuhr und stabiles Vakuum
- Restfeuchtegehalt (keine Restfeuchte erwünscht)
- Oberflächenbeschaffenheit (Rissbildung etc.)

Aktuelle Technologiealternativen

- Kontinuierliche Trockner: Tochtercoils werden im auf- oder abgewickelten Zustand durch eine Trocknungsanlage transportiert.
- Infrarottrockner: Ergänzung durch eine Infrarotheizung

Innovationsansätze/Trends

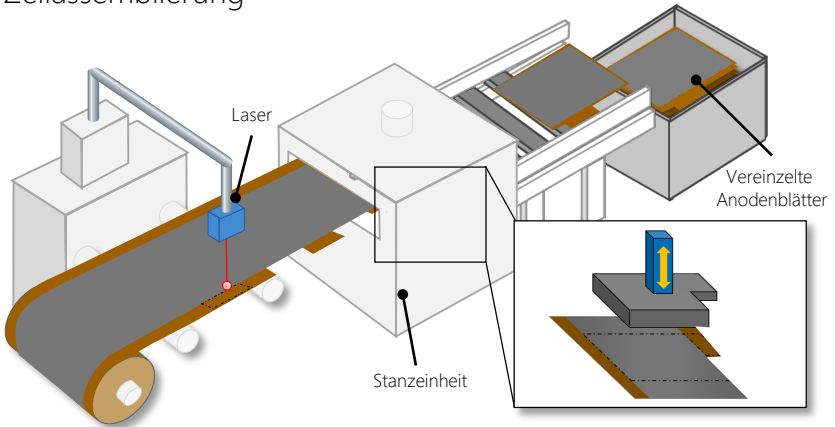
- Cell baking: Verschiebung des Vakuumtrocknungsprozesses direkt vor die Elektrolytbefüllung zur Reduktion der Trockenraumgröße und zur Prozessoptimierung

Fertigungskosten* [Auszug]

Invest für Maschinen und Anlagen: 3 - 8 Mio. €
(Vakuumtrocknung)

Vereinzeln

Zellassemblierung



Elektrodenfertigung

Zellfinalisierung

Produktionsablauf

- Als „Vereinzeln“ wird das Heraustrennen von Elektrodenblättern aus einem kontinuierlichen Elektrodenband bezeichnet.
- Vor der eigentlichen Vereinzelnung kann ein sogenannter Notching-Prozess zum Einsatz kommen.
- Beim Notching wird das getrocknete Elektrodenband abgewickelt und die Kontur der Elektroden im bahnförmigen Zustand vorgeformt.
- Nach dem Notching kann entweder aufgerollt oder das Elektrodenband direkt dem Vereinzeln zugeführt werden.
- Sowohl das Notching als auch das Vereinzeln kann mittels Laser- oder Scherschnitt erfolgen.
- Die vereinzelteten Elektrodenblätter werden magaziniert und zum nächsten Prozessschritt transportiert.
- Im Fall der Einzelblattstapelung wird auch die Separatorfolie vereinzelt.

Prozessparameter & -anforderungen

- Vereinzelnungszeit Stanzen: ca. 0,2 Sek./Sheet
- Stanzwerkzeug: Sehr gute Schnittkantenqualität (in Abhängigkeit von der Verschleißfestigkeit)

Qualitätsparameter [Auszug]

- Schnittkantengeometrie (bspw. Minimierung der Gratbildung bei Scherschnitt und Fehlervermeidung durch geeignete Rundungen an Tab-Übergängen)
- Minimierung der thermischen und mechanischen Einflüsse beim Trennvorgang
- Minimierung der Wärmeeinflusszone und Absaugung des Materials
- Toleranzanforderungen: $\pm 200 \mu\text{m}$

Aktuelle Technologiealternativen

- Laserschnitt: Anstelle des konventionellen Stanzwerkzeugs können die Elektroden auch mit einem Laser (aus-) geschnitten werden.

Innovationsansätze/Trends

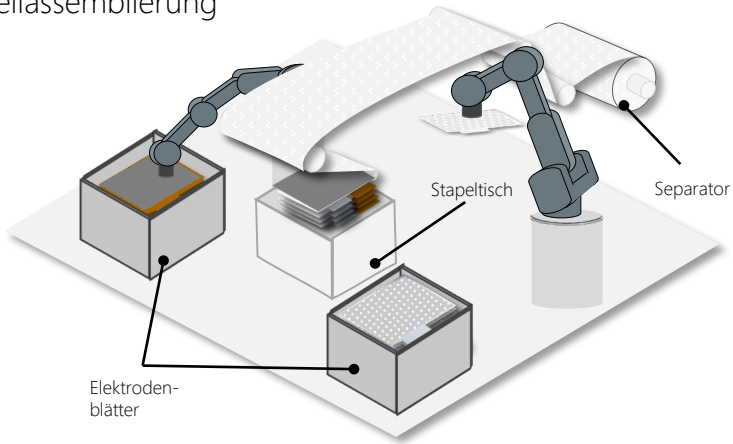
- Erhöhung der Werkzeugnutzungszeiten (bspw. durch Beschichtung)
- Erhöhung der Schnitt-/Stanzgeschwindigkeit

Fertigungskosten* [Auszug]

Invest für Maschinen und Anlagen: 20 - 30 Mio. €
(Vereinzeln)

Stapeln

Zellassemblierung



Elektrodenfertigung

Zellfinalisierung

Produktionsablauf

- Beim Stapeln wird aus einer alternierenden Anordnung von Anode, Separator, Kathode, Separator etc. ein Zellstapel gebildet.
- Ein Zellstapel kann aus bis zu 120 Einzellagen bestehen.
- Zur Herstellung des Zellstapels können unterschiedliche Stapeltechnologien zum Einsatz kommen. Viele Stapeltechnologien sind herstellerspezifisch angepasst und patentiert.
- Die Elektrodenblätter werden in der Regel durch Vakuumgreifer transportiert und positioniert.
- Eine häufige in der Industrie verwendete Variante des Stapelns ist das sogenannte Z-Folding.
- Beim Z-Folding werden Anode und Kathode von beiden Seiten in den bahnförmigen Separator eingelegt. Dabei verleiht die Z-förmige Anordnung des Separators dem Prozess seinen Namen.
- Nach dem Stapeln wird der Zellstapel mit Separator umwickelt, der Separator abgeschnitten und mit einem Klebestreifen fixiert.

Prozessparameter & -anforderungen

- Stapelgeschwindigkeit: < 1 Sek./Blatt bei Z-Folding und Einzelblattstapeln
- Stapelgenauigkeit: < 200 - 300 μm

Qualitätsparameter [Auszug]

- Positioniergenauigkeit der Elektrodenblätter
- Mechanische Separatorvorspannung
- Beschädigungsfreie Handhabung der Elektrodenblätter

Aktuelle Technologiealternativen

- Einzelblattstapeln
- Laminationsverfahren: Elektroden werden mit Separator laminiert.
- Pocket Stacking: Einbringung der Kathodenblätter in eine Separatortasche und anschließende Stapelung mit Anode

Innovationsansätze/Trends

- Erhöhung der Stapelgeschwindigkeit (Blätter/Sekunde) bei Steigerung der Stapelgenauigkeit
- Entwicklung neuer Stapeltechnologien zur Reduzierung der Taktzeiten
- Handhabung großformatiger Elektroden

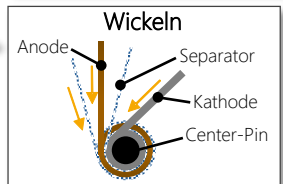
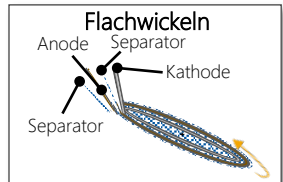
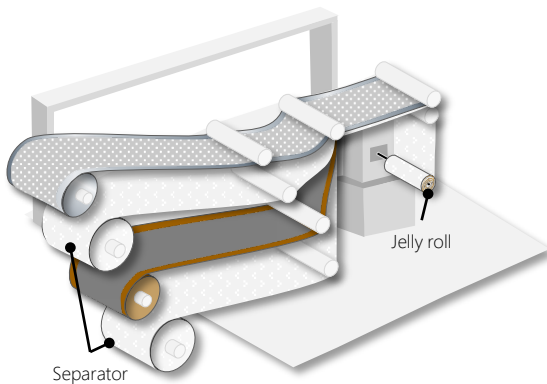
Fertigungskosten* [Auszug]

Invest für Maschinen und Anlagen: 25 - 35 Mio. €
(Stapeln)

Wickeln & Tab-Schweißen



Zellassemblierung



Elektrodenfertigung

Zellfinalisierung

Produktionsablauf

- Das Wickeln kommt bei der Herstellung von Rundzellen zum Einsatz. (Vereinzelt werden in prismatischen Zellen noch Flachwickel verwendet. Mittlerweile wird das Stapeln hier jedoch häufiger eingesetzt.)
- Bei der Herstellung des Wickels für eine Rundzelle werden dem Prozess die Elektrodenbahnen und zwei Separatorbahnen zugeführt.
- Vor dem Wickeln wird ein Ableiter-Tab an die Anode geschweißt.
- Die Wicklung erfolgt um einen Center-Pin (Rundzelle) oder Wickeldorn (prismatische Zelle). Dabei ist die Bahnreihenfolge analog zum Stapelprozess.
- Anschließend wird der Wickel durch einen Klebestreifen fixiert.
- Der Rund- oder Flachwickel wird meist als „Jelly roll“ bezeichnet.
- Der Center-Pin kann entweder entfernt werden oder im Zellwickel verbleiben.

Prozessparameter & -anforderungen

- Maschinendurchsatz: bis zu 30 Zellen/Min. (Rundzelle)
- Integration des Ableiterschweißvorgangs in der Wickelmaschine für Rundzellen
- Maschinendurchsatz bis zu sechs Zellen/Min. (prismatische Zelle)

Qualitätsparameter [Auszug]

- Exakte Positionierung und Ausrichtung der Elektroden- und Separatorbahnen
- Bahnspannung der Elektroden- und Separatorbahnen
- Vermeidung elektrostatischer Aufladung

Aktuelle Technologiealternativen

- keine

Innovationsansätze/Trends

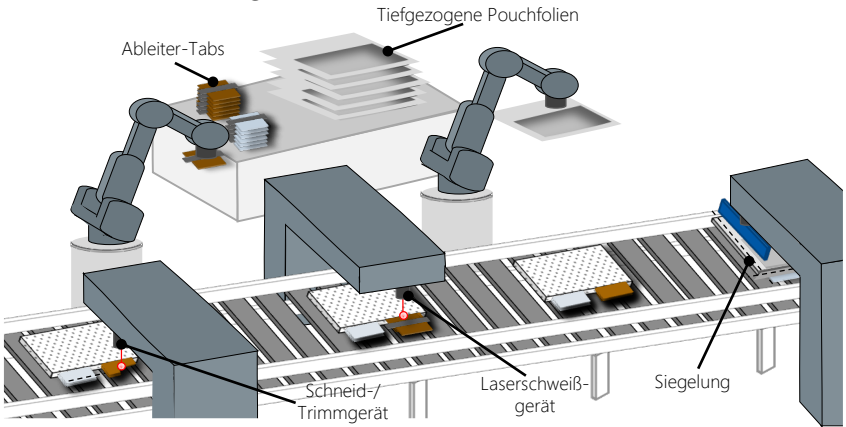
- Steigerung des Maschinendurchsatzes
- Vergrößerung des Wickeldurchmessers
- Funktionsintegration des Center-Pins (bspw. als Wärmeableitung)

Fertigungskosten* [Auszug]

Invest für Maschinen und Anlagen: 20 - 30 Mio. €
(Wickeln)

Verpacken

Zellassemblierung



Elektrodenfertigung

Zellfinalisierung

Produktionsablauf

- Die unbeschichteten Föhnchen des Zellstapels werden auf eine definierte Länge gekürzt.
- Die gekürzten Föhnchen des Zellstapels werden jeweils an einen Anoden- bzw. Kathodenableiter verschweißt. Die Kontaktierung erfolgt meist durch ein Ultraschallschweißverfahren.
- Die Pouchfolie (Aluminiumverbundfolie) wird abgerollt und tiefgezogen.
- Der Zellstapel wird in die tiefgezogene Pouchfolie positioniert, so dass die Ableiter über den Rand der Pouchfolie hinausragen.
- Der Zellstapel wird auch auf der Oberseite mit Pouchfolie bedeckt und an drei Seiten gasdicht versiegelt.
- Die dadurch entstehende Pouchtasche hat eine offene Seite, die im nächsten Schritt dazu dient, die Zelle mit Elektrolyt befüllen zu können.
- Die Seiten, an denen Ableiter aus der Pouchtasche ragen, werden in der Regel gesiegelt.

Prozessparameter & -anforderungen

- Materialkompatibilität an Fügestellen
- Abgestimmtes Parameterset zum Ultraschallschweißen: Frequenz, Amplitude, Druck, Zeit
- Flexible Strahlführung und -formung beim Laserschweißen
- Tiefziehtiefe der Pouchfolie bis max. 10 mm
- Siegeltemperatur und -druck

Qualitätsparameter [Auszug]

- Geringe mechanische und thermische Belastung bei den Schweißvorgängen
- Geringer Übergangswiderstand der Schweißstellen zur elektrischen Kontaktierung
- Festigkeit und Dichtigkeit der Siegelnaht
- Faustformel: „1 mm Siegelnahtbreite entspricht ungefähr einem Jahr kalendrischer Lebensdauer.“

Aktuelle Technologiealternativen

- Siegelung mittels Impuls-/Kontaktsiegeln
- Fügen der Ableiter an die Zellföhnchen mittels Laserschweißprozess
- Verwendung zweier Einzelfolien oder einer geklappten Pouchfolie (Bookfolding)

Innovationsansätze/Trends

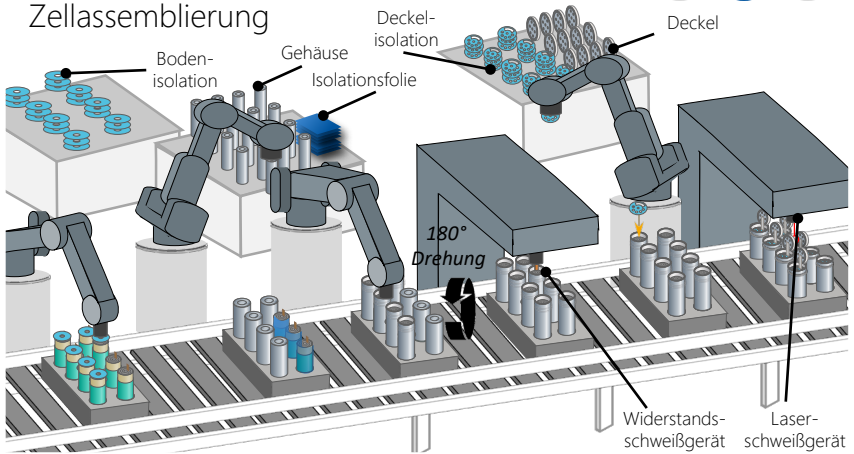
- Verringerung der mechanischen und thermischen Belastung
- Erhöhung der Tiefziehtiefe für dickere Zellstapel
- Positionierung der Ableiter gegenüberliegend statt auf einer Seite

Fertigungskosten* [Auszug]

Invest für Maschinen und Anlagen: 20 - 35 Mio. €
(Assemblieren Pouch)

Verpacken

Zellassemblierung



Elektrodenfertigung

Zellfinalisierung

Produktionsablauf

- Auf die Oberseite des Wicks (Seite des Anoden-Tabs) wird ein Isolatorring gelegt.
- Der Zellbecher wird über den Zellwickel gestülpt, so dass der Isolatorring nun auf dem Boden des Zellbechers liegt. Der Anoden-Tab wird mittels Widerstandsschweißen an den Boden des Zellbechers gefügt.
- Auf die Oberseite des Wicks (Seite des Kathoden-Tabs) wird ein weiterer Isolatorring platziert.
- Falls der Zellbecher eine konische Öffnung besitzt, kann der Öffnungswinkel durch Rundkneten (engl.: „Swaging“) auf 90 Grad verringert werden. Mittels Bördeln wird dem Gehäuse eine Wulst eingepreßt.
- Die Deckelbaugruppe wird an den Kathoden-Tab geschweißt.
- Nach der Elektrolytbefüllung wird die Deckelbaugruppe auf den gebördelten Zellbecher gecrimpt und die zylindrische Zelle somit verschlossen.

Prozessparameter & -anforderungen

- Materialkompatibilität an Fugstellen
- Abgestimmtes Parameterset zum Ultraschallschweißen: Frequenz, Amplitude, Druck, Zeit
- Flexible Strahlführung und -formung beim Laserschweißen

Qualitätsparameter [Auszug]

- Geringe mechanische und thermische Belastung bei den Schweißvorgängen
- Geringer Übergangswiderstand der Schweißstellen
- Dichtigkeit der Zelle
- Geringe Einflüsse durch Handling des Wicks (bspw. Vermeidung von Verschiebungen der Lagen durch Reibung beim Einführen in das Gehäuse)

Aktuelle Technologiealternativen

- Schweißen der Deckelbaugruppe mittels Ultraschall- oder Laserstrahlschweißen

Innovationsansätze/Trends

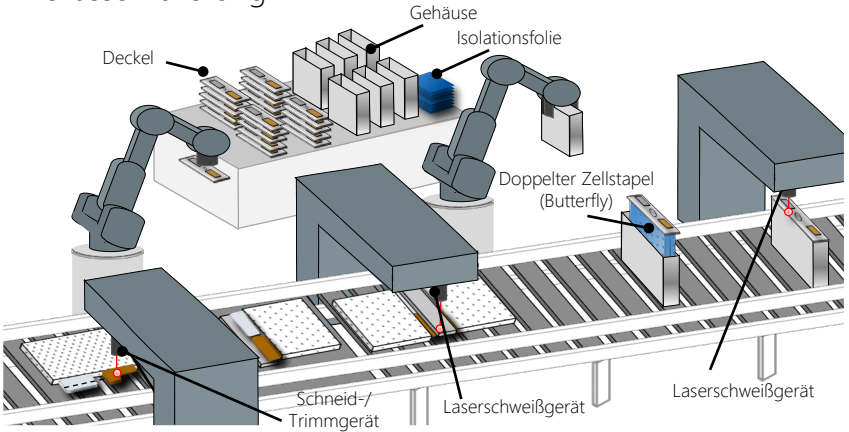
- Verringerung der mechanischen und thermischen Belastung bei Schweißvorgängen
- Vermeidung der Verwendung von Tabs (bspw. Tabless-Design von Tesla)

Fertigungskosten* [Auszug]

Invest für Maschinen und Anlagen: 35 - 45 Mio. €
(Assemblieren Zylindrisch)

Verpacken

Zellassemblierung



Elektrodenfertigung

Zellfinalisierung

Produktionsablauf

- Die unbeschichteten Föhnchen des Zellstapels werden auf eine definierte Länge gekürzt.
- Die gekürzten Föhnchen des Zellstapels (bzw. die unbeschichteten Ränder des Flachwickels) werden jeweils an einen Anoden- bzw. Kathodenableiter verschweißt.
- Nachfolgend werden die Ableiter an die Deckelbaugruppe geschweißt.
- Die Kontaktierungen zwischen Zellstapel und Deckelbaugruppe werden meist mittels Ultraschallschweißung vorgenommen.
- Häufig wird der Zellstapel in einer Isolationsfolie eingeschlagen, um ihn vor Kontakteinflüssen mit dem Gehäuse zu schützen. Das Zellgehäuse kann weitere Isolationsbauteile beinhalten.
- Der Zellstapel wird in das Gehäuse eingeschoben, bis die Deckelbaugruppe auf dem Gehäuserand liegt. Gehäuse und Deckel werden mittels eines Laserschweißprozesses miteinander gefügt.
- In der Regel beinhaltet die Deckelbaugruppe eine Befüllöffnung, die nach dem Schweißen der Deckelbaugruppe die einzige Öffnung des Zellgehäuses bildet.

Prozessparameter & -anforderungen

- Materialkompatibilität an Fügestellen
- Abgestimmtes Parameterset zum Ultraschallschweißen: Frequenz, Amplitude, Druck, Zeit
- Flexible Strahlführung und -formung beim Laserschweißen
- Reinigung bei Schweißspritzern
- Laserschutz beim Laserschweißen

Qualitätsparameter [Auszug]

- Geringe mechanische und thermische Belastung bei den Schweißvorgängen
- Geringer Übergangswiderstand der Schweißstellen zur elektrischen Kontaktierung
- Dichtigkeit der Schweißnaht zwischen Gehäuse und Deckelbaugruppe

Aktuelle Technologiealternativen

- Für die Kontaktierung zwischen Zellstapel und Deckelbaugruppe kann Laserschweißen als Alternative zum Ultraschallschweißprozess eingesetzt werden.

Innovationsansätze/Trends

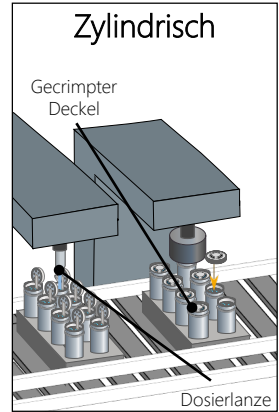
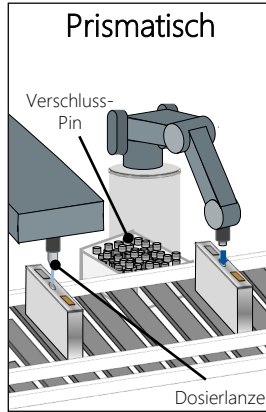
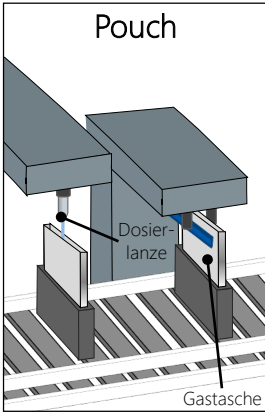
- Verringerung der mechanischen und thermischen Belastung bei Schweißvorgängen
- Verbinden mehrerer Zellstapel innerhalb eines Gehäuses

Fertigungskosten* [Auszug]

Invest für Maschinen und Anlagen: 45 - 60 Mio. €
(Assemblieren Prismatisch)

Elektrolytbefüllung

Zellassemblierung



Elektrodenfertigung

Zellfinalisierung

Produktionsablauf

- Die Elektrolytbefüllung erfolgt, nachdem der Elektrodenstapel bzw. der Elektrodenwickel in die Verpackung (Gehäuse oder Pouchfolie) eingebracht wurde.
- Eine Dosierlanze wird an der Öffnung der Verpackung positioniert. Die Präzision der Positionierung während der Befüllung bestimmt maßgeblich mögliche Elektrolytverunreinigungen an der Verpackung.
- Befüllung: Der Elektrolyt wird mittels der Dosierlanze in die Verpackung der Zelle eingelassen. Die Genauigkeit der Dosierung ist ein kritischer Prozessparameter.
- Benetzung: Die Zelle wird während und nach der Befüllung mit einem dynamischen (Unter-) Druckprofil beaufschlagt. Dadurch wird die Kapillarwirkung aktiviert, und die Hohlräume der porösen Zellbestandteile füllen sich mit Elektrolyt.
- Das (Teil-) Befüllen und Benetzen kann mehrere Male wiederholt werden, um eine optimale Elektrolytverteilung zu gewährleisten.
- Nach der Elektrolytbefüllung wird die Öffnung der Zellverpackung geschlossen.

Prozessparameter & -anforderungen

- Arbeitsdruck: ca. 150 mbar
- Besonders trockene/inerte Umgebung
- Verschärfte Sicherheitsmaßnahmen durch Elektrolyteinsatz
- Gravimetrische Messung der Elektrolytmenge
- Kontinuierliche oder zyklische Befüllung und Benetzung

Qualitätsparameter [Auszug]

- Präzision der Dosiergenauigkeit
- Positioniergenauigkeit der Dosierlanze
- Keine Elektrolytrückstände an der Verpackung
- Homogene Elektrolytverteilung in der Zelle

Aktuelle Technologiealternativen

- Verschiedene Dosierverfahren (z. B. Pumpentechnologien)
- Finales Schließen (Pouchzelle): Siegeln der vierten Seite
- Finales Schließen (prismatische Zelle): Laserschweißen der Befüllöffnung

Innovationsansätze/Trends

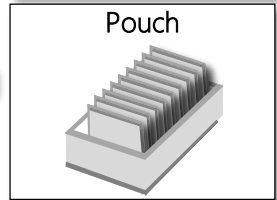
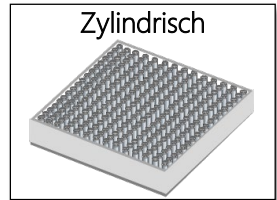
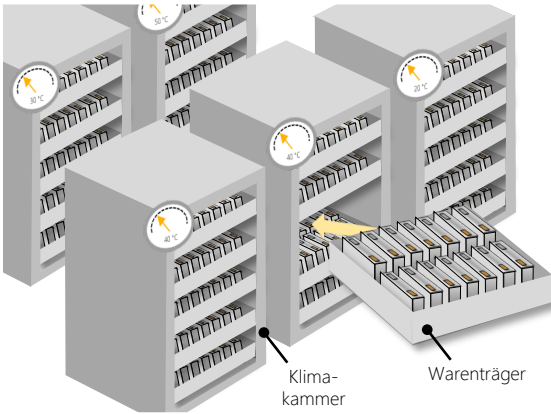
- Verringerung der Gefahr von Reaktionen des Elektrolyts mit Feuchtigkeit bspw. durch Inertgaszuführung, niedrigere Taupunkte oder niedrigere Drücke während des Prozesses

Fertigungskosten* [Auszug]

Invest für Maschinen und Anlagen: 35 - 45 Mio. €
(Elektrolytbefüllung)

Vorbehandlung

Zellfinalisierung



Elektrodenfertigung

Zellassemblierung

Produktionsablauf

- Nach der Elektrolytbefüllung können verschiedene Technologien zum Einsatz kommen, die das Ziel verfolgen, die Benetzung der Elektroden zu verbessern und inaktive Bereiche während der Formierung zu vermeiden. Zu diesen Technologien gehört der sogenannte Hochtemperatur-Soaking-Prozess.
- Dabei wird die Umgebung der Zellen in einem Regal- oder Kammerensystem auf eine Temperatur von 30 bis 50 °C erhöht.
- Durch die höhere Temperatur wird die Viskosität des Elektrolyten verringert.
- Dies führt zu einer Verbesserung des Kontakts des flüssigen Elektrolyten und des Zugangs des Elektrolyten zu den Mesoporen der Elektrode.
- Dadurch wird ein schnelleres Eindringen des Elektrolyten in die Poren der Elektrode und des Separators sichergestellt.

Prozessparameter & -anforderungen

- Homogene Temperaturbeaufschlagung in einem Temperaturbereich 30 - 50 °C
- Einwirkdauer

Qualitätsparameter [Auszug]

- Elektrolytverteilung innerhalb der Zelle

Aktuelle Technologiealternativen

- Roll Pressing [Pouch]
- Rütteltisch [prismatische/zylindrische Zellen]
- Pre-Charging [alle Formate]

Innovationsansätze/Trends

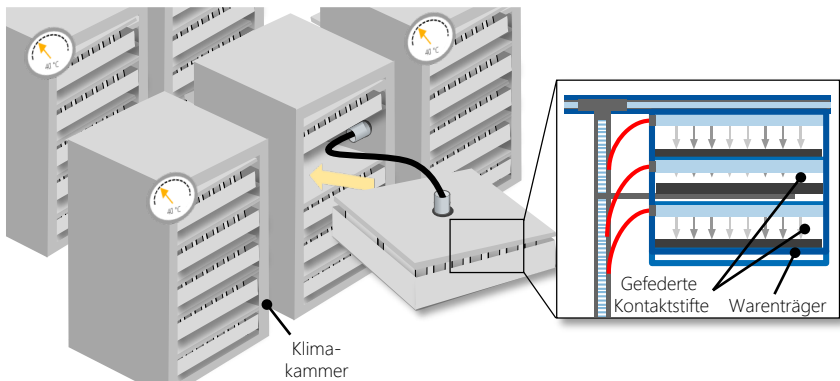
- Inline-Messtechnologie zur Benetzungsgradmessung

Fertigungskosten* [Auszug]

Invest für Maschinen und Anlagen: 10 - 20 Mio. €
(Hochtemperatur-Soaking)

Formierung

Zellfinalisierung



Elektrodenfertigung

Zellassemblierung

Produktionsablauf

- „Formierung“ bezeichnet die ersten Lade- und Entladevorgänge der Batteriezelle.
- Zur Formierung werden die Zellen in Spezialwarenträgern in Formationsregale geführt und durch Federkontaktstifte kontaktiert.
- Anschließend werden die Zellen nach genau definierten Strom- und Spannungsverläufen geladen bzw. entladen.
- Während der Formierung lagern sich Lithium-Ionen in die Kristallstruktur des Graphits auf der Anodenseite ein. Dabei wird das „Solid Electrolyte Interface“ (SEI) gebildet, die eine Grenzschicht zwischen dem Elektrolyten und der Elektrode darstellt.
- Die Parameter während der Formierung sind je nach Zellhersteller unterschiedlich und beeinflussen in hohem Maße die Zell-Performance. Sie sind vom Zellkonzept sowie von der Zellchemie abhängig und bilden das Kernwissen eines Zellherstellers.
- Pouchzellen werden meistens während der Formierung durch spezielle Warenträger mit Druck beaufschlagt.

Prozessparameter & -anforderungen

- Erster Ladevorgang: ca. 0,1 - 0,5 C
- Sukzessive Steigerung der C-Raten mit jedem Lade- und Entladezyklus
- Dauer Formierungsprozess: bis zu 15 Std.
- Geringe Übergangswiderstände an den Federkontaktstiften

Qualitätsparameter [Auszug]

- Ausbildung der SEI-Schicht
- Zeitliche Stabilität der SEI-Schicht
- Innenwiderstand der Zelle
- Kapazität der Zelle nach der Formierung

Aktuelle Technologiealternativen

- Es existieren unterschiedliche Prozeduren für die Formierung je nach Zellhersteller und Zellchemie.

Innovationsansätze/Trends

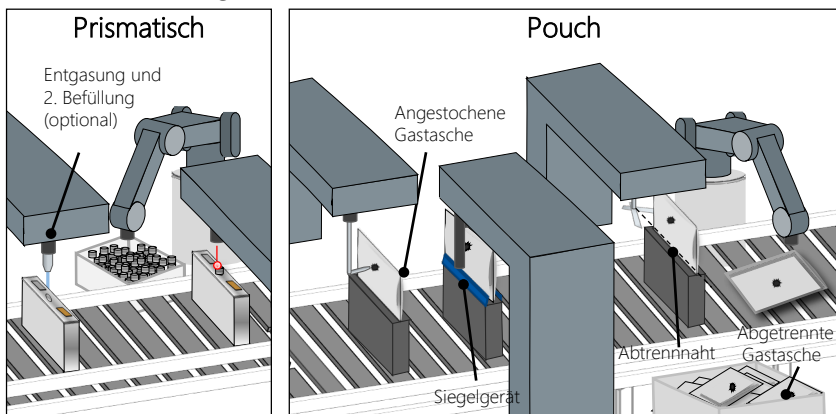
- Inline-Messtechnik zur frühzeitigen Qualitätsdetektion

Fertigungskosten* [Auszug]

Invest für Maschinen und Anlagen: 65 - 85 Mio. €
(Formierung)

Entgasen

Zellfinalisierung



Elektrodenfertigung

Zellassemblierung

Produktionsablauf

- Beim ersten Ladevorgang (insbesondere von größeren Zellen) kommt es zu Gasentwicklung.
- Bei der Pouchzelle werden diese Gase aus der Zelle in einen Totraum (auch „Gastasche“ genannt) gepresst. Beim Entgasen wird die Gastasche in einer Vakuumkammer angestochen, und die austretenden Gase werden abgesaugt. Anschließend wird der Bereich zwischen der Gastasche und der Zelle final und unter Vakuum versiegelt. Die Gastasche wird abgetrennt und als Sondermüll entsorgt. Ein abschließendes Falten und ggf. Verkleben der Siegelränder zur Reduzierung der Außenabmaße der Pouchzelle kann optional vorgenommen werden.
- Bei der prismatischen Zelle wird der temporäre Stopfen entfernt und die Zelle ebenfalls unter Vakuum-Beaufschlagung entgast. Ggf. kann in diesem Prozessschritt auch ein zweites Befüllen mit weiteren Additiven zur SEI-Stabilisierung erfolgen. Abschließend wird die Zelle final verschlossen.
- Die abgesaugten Gase müssen je nach Arbeitsschutz- und Umweltschutzregularien nachbehandelt werden (bspw. RTO), bevor sie dem Abluftsystem zugeführt werden.
- Vor allem bei kleineren Zellen mit geringerer Gasentwicklung und je nach Hersteller wird die Gastasche nach dem Entgasen nicht abgetrennt.

Prozessparameter & -anforderungen

- Pouchzellen: Falten und Kleben der Siegelnähte zur Erhöhung der volumetrischen Energiedichte
- Besonders trockene (oder sogar inerte) Umgebung notwendig
- Abdichten gegen Feuchtigkeit und Sauerstoff

Qualitätsparameter [Auszug]

- Restgas im Zellinneren
- Beschädigungsfreies Zellhandling (unterschiedliche Ausprägungen der Gasblasen)

Aktuelle Technologiealternativen

- Pressung der Zellen zur Entgasung
- Siegel- und Faltechnik

Innovationsansätze/Trends

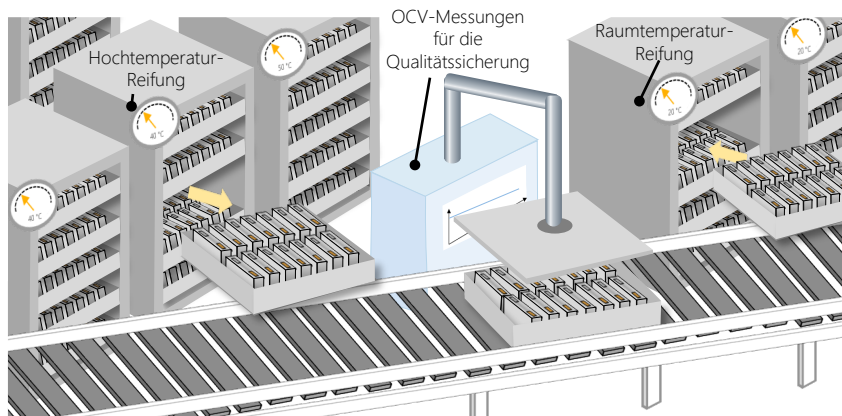
- Integration von Entgasungsschritten bei immer größer werdenden zylindrischen Formaten

Fertigungskosten* [Auszug]

Invest für Maschinen und Anlagen: 10 - 15 Mio. €
(Entgasen)

Reifung

Zellfinalisierung



Elektrodenfertigung

Zellassemblierung

Produktionsablauf

- Die Reifung (engl.: „Aging“) ist einer der Schritte zur Bestimmung der Zellqualität und Teil des End-of-Line (EoL)-Tests.
- Dazu werden die Zellen in sogenannten Alterungsregalen und/oder -türmen gelagert.
- Es wird zwischen Hochtemperatur (HT)- und Raumtemperatur (RT)-Reifung unterschieden. Die Zellen durchlaufen dabei in der Regel zuerst eine HT-Reifung und anschließend eine RT-Reifung.
- Die Zelleigenschaften werden durch regelmäßige Messungen der Leerlaufspannung einen bestimmten Zeitraum lang (bis zu drei Wochen) überwacht.
- Keine signifikante Änderung der Zelleigenschaften im gesamten Zeitraum bedeutet, dass die Zelle in Ordnung ist und ausgeliefert werden kann.
- Die Dauer des Reifeprozesses ist stark vom jeweiligen Zellhersteller und von der verwendeten Zellchemie abhängig.
- Im Gegensatz zur Formierung werden die Pouchzellen in diesem Prozessschritt nicht mit Druck beaufschlagt.

Prozessparameter & -anforderungen

- Ladezustand der Zelle zu Beginn der Reifung: 30 - 80 % State of Charge (SOC)
- Reifedauer: bis zu 3 Wochen
- Raumtemperatur ca. 20 - 25 °C, Hochtemperatur ca. 30 - 50 °C

Qualitätsparameter [Auszug]

- Selbstentladerate (Erhöhte Verlustrate: > 5mV/Woche kann z. B. auf zellinterne Kurzschlüsse hindeuten)

Aktuelle Technologiealternativen

- Es existieren unterschiedliche Prozeduren für die Abfolge und Dauer von HT- und RT-Reifung je nach Zellhersteller und Zellchemie.

Innovationsansätze/Trends

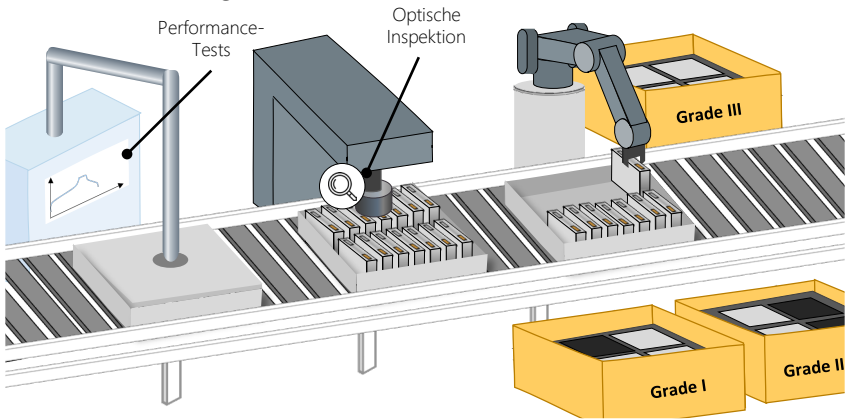
- Messtechnologie zur frühzeitigen Qualitätserkennung

Fertigungskosten* [Auszug]

Invest für Maschinen und Anlagen: 15 - 30 Mio. €
(Reifung)

EoL-Testing

Zellfinalisierung



Elektrodenfertigung

Zellassemblierung

Produktionsablauf

- Bevor die Zellen das Werk verlassen, werden sie in einem EoL-Prüfstand getestet.
- Die Zellen werden den Warenträgern in den Reiferegalen entnommen und der Prüfstation zugeführt.
- Je nach Hersteller werden anschließend verschiedene Tests durchgeführt z. B. Pulstests, Innenwiderstandsmessungen (DC), optische Inspektionen, OCV-Tests, Kapazitäts- und Dichtheitstests. Danach werden sie auf den Versand-Ladezustand entladen.
- Im Anschluss an die Prüfung werden die Zellen bei vielen Zellherstellern den Leistungsdaten entsprechend sortiert („Grading“).
- Wenn die Prüfungen abgeschlossen sind und alle Tests erfolgreich bestanden wurden, können die Zellen verpackt und versendet werden.
- Für den Transport werden die Zellen in der Regel mit einer Kunststoffabdeckung versehen und in einem Pappkarton gestapelt.

Prozessparameter & -anforderungen

- Zulässige Verlustrate: < 5 mV/Woche

Qualitätsparameter [Auszug]

- Geringe Selbstentladung
- Geringer Innenwiderstand
- Konstante Kapazität

Aktuelle Technologiealternativen

- Je nach Zellhersteller existieren unterschiedliche Testabfolgen und Testdauern.

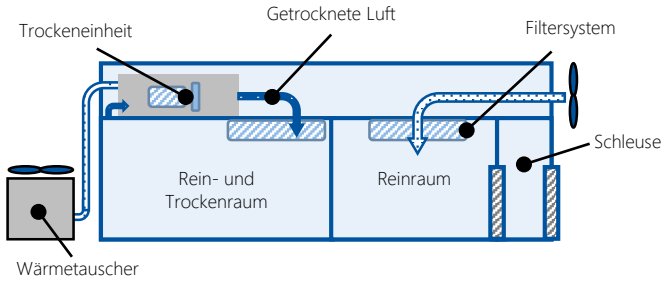
Innovationsansätze/Trends

- Reduktion bzw. Integration der EoL-Tests in vorgelagerte Prozessschritte

Fertigungskosten* [Auszug]

Invest für Maschinen und Anlagen: 5 - 15 Mio. €
(EoL-Test)

Produktionsumgebung



	Reinraum- klasse	Trockenraum (Taupunkt)	Temperatur	Anmerkungen
Mischen	ISO 7 - 8	Wasserbasierte Elektroden: Kontrollierte Prozessbedingungen Semi-dry (5 °C bis -5 °C) NMP-basierte Elektroden: Trocken (0 °C bis -30 °C) bis sehr trocken (-40 °C bis -60 °C)	22 ± 2 °C	Die Elektrodenfertigung findet unter Reinraumbedingungen statt, da Fremdpartikel in der Beschichtung im späteren Prozess nicht mehr durch Reinigungsmethoden (bspw. Absaugen) zu entfernen sind.
Beschichten				
Trocknen				
Kalandern				
Slitting				
Vakuum-trocknen		Gekapselter Prozess [Vakuum oder Inert]		
Vereinzeln	mind. ISO 7	Sehr trocken (-30°C bis -60°C)	22 ± 2 °C	Die Zellassemblierung muss unter trockenen Bedingungen vorgenommen werden, da Wasser innerhalb der Zelle zu starken Qualitätseinbußen (Lebensdauer) und zu einem Sicherheitsrisiko (Bildung von Flusssäure) führt.
Stapeln/ Wickeln				
Verpacken				
EL-Befüllung				
Soaking	/	/	20 °C bis 50 °C	Die Zellfinalisierung findet in normaler Umgebung statt. Da die Zelle bereits verschlossen ist und die Entgasung in einer Vakuumkammer stattfindet, bestehen geringere Anforderungen an die Partikelumgebung und an die Feuchtigkeit.
Formierung				
Entgasen	mind. ISO 7	Sehr trocken (-40°C bis -60°C)	22 ± 2 °C	
Reifung	/	/	20 °C bis 50 °C	
EoL-Testing			22 ± 2 °C	

Online-Branchenfürer

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



<https://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 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



Montageprozess eines Batteriemoduls und -packs

Die Veröffentlichung „Montageprozess eines Batteriemoduls und -packs“ bietet eine umfassende Prozessübersicht zur Fertigung von Batteriemodulen und -packs. Dabei werden auch die Auswirkungen von unterschiedlichen Designvarianten auf die Produktion erläutert.

3. Auflage
ISBN 978-3-947920-02-0

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.

3. 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

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

