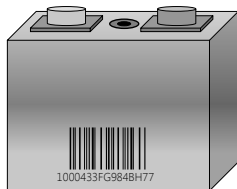
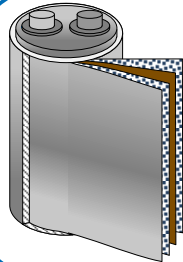
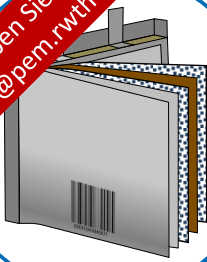


Auch als kostenlose
Faltbroschüre erhältlich
Schreiben Sie eine Mail an:
info@pem.rwth-aachen.de



PRODUKTIONSPROZESS EINER LITHIUM-IONEN- BATTERIEZELLE



Chair of Production
Engineering of
E-Mobility
Components

RWTHAACHEN
UNIVERSITY



Batterieproduktion

Der Bereich Batterieproduktion des PEM ist seit vielen Jahren in verschiedensten Industriethemen der Lithium-Ionen-Batterieproduktion tätig. Das Tätigkeitsfeld erstreckt sich sowohl über Automotive- als auch über Stationäre-Anwendungen. Durch eine Vielzahl nationaler und internationaler Industrieprojekte in Unternehmen aller Wertschöpfungsstufen sowie zentralen Positionen in namhaften Forschungsprojekten bietet das PEM weitreichende Expertise.



PEM

Chair of Production Engineering of E-Mobility Components
Steinbachstraße 19
52056 Aachen

www.pem.rwth-aachen.de

Der Verband Deutscher Maschinen- und Anlagenbau (VDMA) vertritt über 3.100 Unternehmen des mittelständisch geprägten Maschinen- und Anlagenbaus. Der Industriekreis Batterieproduktion ist eine fachzweigübergreifende Aktivität unter dem Dach des VDMA Forums E-MOTIVE, bei dem Anwender, Hersteller, Maschinenbauer und Forscher zusammenarbeiten, um Innovationen entlang der Prozesskette der Batterieproduktion voranzutreiben.



VDMA

Batterieproduktion im Forum E – MOTIVE
Lyoner Straße 18
60528 Frankfurt am Main

www.vdma.org

Ihre Ansprechpartner:



Prof. Dr.-Ing. Achim Kampker



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

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



Dr.-Ing. Christoph Deutskens M.Eng.

Geschäftsführender Oberingenieur
C.Deutskens@pem.rwth-aachen.de



Dipl.-Wirt.-Ing. Mathias Ordnung

Gruppenleiter Batterieproduktion
M.Ordnung@pem.rwth-aachen.de

Ihre Ansprechpartner:



Dr. Eric Maiser

Batterieproduktion, Productronic (Elektronikproduktion), Photovoltaik-Produktionsmittel
Eric.Maiser@vdma.org



Dr. Sarah Michaelis

Batterieproduktion, Batteriefunktion
Sarah.Michaelis@vdma.org

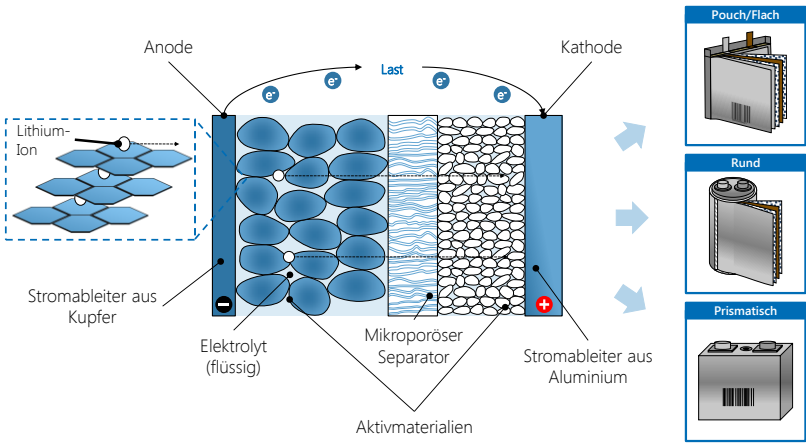


Haben Sie Fragen?



Sprechen Sie uns an!

Funktionsprinzip der Lithium-Ionen-Batteriezelle



Elektrodenfertigung

Zellassemblierung

Formation & Aging

- Die Herstellung der Lithium-Ionen-Batteriezelle umfasst die drei Hauptprozessschritte Elektrodenfertigung, Zellassemblierung sowie Formation und Aging.
- Die Elektrodenherstellung sowie Formation und Aging sind weitestgehend unabhängig von dem Zelltyp durchzuführen, während innerhalb der Zellassemblierung zwischen Flach- und Rundzelle sowie der prismatischen Zelle zu unterscheiden ist.
- Unabhängig vom Zelltyp besteht die kleinste Einheit jeder Lithium-Ionen-Zelle aus zwei Elektroden und einem Separator, der die Elektroden voneinander trennt. Dazwischen befindet sich das ionenleitfähige Elektrolyt.

Technologieentwicklungen der Lithium-Ionen-Batteriezelle

Produktinnovation (Auszug)

- **Permutationen**
 - Nickel-Mangan-Cobalt
 - Lithium-Kobalt-Phosphat
- **Trägermaterialien und Elektrolyte**
 - Streckgitter
 - Solid-State Batterie
- **Vierte Generation**
 - Großformatige Zellen
 - Lithium-Schwefel

Prozessinnovation (Auszug)

- **Herstellung der Elektroden**
 - Extrudieren
 - Lasertrocknen
- **Zellmontage**
 - Mini-Environments
 - Laminieren des Separators
- **Formation und Aging (F. u. A.)**
 - Integrierte Warenträgerkonzepte
 - Entfall/Verkürzung F. u. A.

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

Mischen

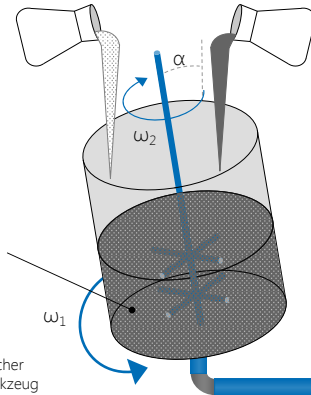
Elektrodenfertigung

Anodenrezeptur*

- **Aktivmaterial:** Graphit (90 Gew.-%)
- **Leitruß:** nanomikroskopischer Kohlenstoff, z.B. Super P® (5 Gew.-%)
- **Lösungsmittel:** Wasser-basiert
- **Binder:** CMC (3 Gew.-%)
- **Additive:** SBR (2 Gew.-%)

Kathodenrezeptur*

- **Aktivmaterialien:** LiCoO_2 (90 Gew.-%)
- **Leitruß:** nanomikroskopischer Kohlenstoff, z.B. Super P® (5 Gew.-%)
- **Lösungsmittel:** Wasser-basiert
- **Binder:** CMC (3 Gew.-%)
- **Additive:** SBR (2 Gew.-%)



ω_1 : Rotationsgeschwindigkeit Mischer
 ω_2 : Rotationsgeschwindigkeit Werkzeug
 *Beispielrezeptur

Zellassemblierung Formation & Aging

- Durch Energieeintrag werden mindestens zwei voneinander getrennte Ausgangsstoffe über ein rotierendes Werkzeug zu einem Slurry verbunden.
- Die Herstellung des Slurrys erfordert neben den Aktivmaterialien auch Leitadditive, Lösungs- sowie Bindemittel.
- Es bestehen drei Prozessführungen, die sich hinsichtlich der zeitlichen Reihenfolge von Mischen (Trockenmischung) und Dispergieren (Nassmischung) unterscheiden.
- Die Wahl der Misch- und Dispergierreihenfolge ist auf das zu fertigende Elektrodendesign abzustimmen.
- Der Weitertransport zum Prozessschritt „Beschichten“ erfolgt durch Rohrleitungen oder in atmosphärisch abgedichteten Speichern.

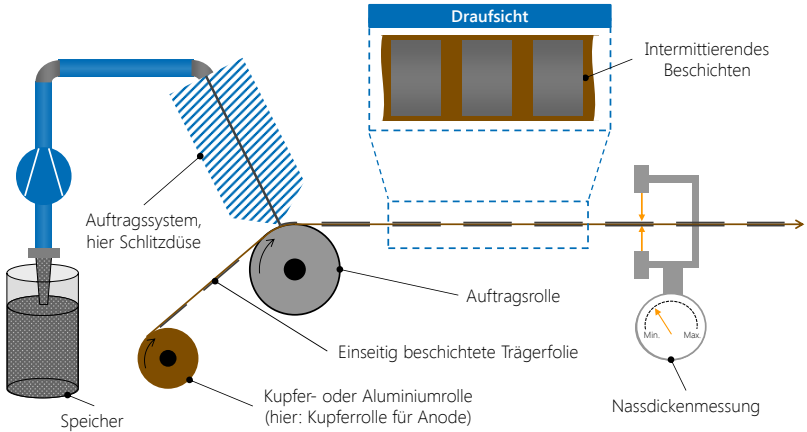
<p>Prozessparameter & -anforderungen</p> <ul style="list-style-type: none"> • ω_1: 150 U/min; ω_2: 1.200 U/min • α: 0°-10° • Mischdauer: 2 h bis 6 h • Temperierung: 20°C bis 40°C • Atmosphäre: Schutzgas, Vakuum • Standzeit des Slurrys vor Deagglomeration: bis zu 2 h • Unterschiedliche Mischer für Anode und Kathode zur Vermeidung von Partikelverschleppung 	<p>Qualitätsmerkmale [Auszug]</p> <ul style="list-style-type: none"> • Homogenität • Vermeiden von Agglomeratbildung • Reinheit • Vermeiden von Gaseinschlüssen • Viskosität
	<p>Schlüsseltechnologien [Auszug]</p> <ul style="list-style-type: none"> • Misch- und Dispergierreihenfolge • Gestalt der Misch- und Rührwerkzeuge

Fertigungskosten:* • Invest für Maschinen und Anlagen: 4,1 – 6,2 Mio. €
 (Auszug)

*Studie des PEM der RWTH Aachen: 10.000.000 Flachzellen/a, Zellkapazität: 60 Ah, 2,2 GWh/a

Beschichten

Elektrodenfertigung



Zellassemblierung

Formation & Aging

- Die Trägerfolie wird mit dem Slurry über ein Auftragswerkzeug (z.B.: Schlitzdüse, Rakel, Rasterwalze) beschichtet.
- Die Folie wird in Beschichtungsrichtung entweder kontinuierlich oder intermittierend beschichtet.
- Die Foliendicken (Anode - Kupferfolie und Kathode – Aluminiumfolie) schwanken je nach Zelldesign zwischen 10 μm und 25 μm .
- Aluminiumfolie (gewalzt) und Kupferfolie (gewalzt oder elektrolytisch hergestellt) sind Zukaufkomponenten des Zellherstellers.
- Die Trägerfolien werden auf einer Breite von bis zu 900 mm in einem Rolle-zu-Rolle-Prozess beschichtet.
- Die Beschichtung von Folienober- und Folienunterseite erfolgt in Abhängigkeit der Anlage entweder sequenziell oder simultan.

Prozessparameter & -anforderungen

- Nassschichtdicke: bis zu 500 μm
- Beschichtungsdicke: 200 μm – 250 μm
- Beschichtungsgeschwindigkeit: 80 m/min – 120 m/min
- Beschichtungsbreite: bis zu 900 mm
- Diverse Auftragswerkzeuge einsetzbar
- Schichtdickengenauigkeit (in und quer zur Beschichtungsrichtung: +/- 2 μm)

Qualitätsmerkmale [Auszug]

- Schichtdickengenauigkeit
- Oberflächenqualität (Lunker, Partikel)
- Reinheit
- Vermeiden von Gaseinschlüssen

Schlüsseltechnologien [Auszug]

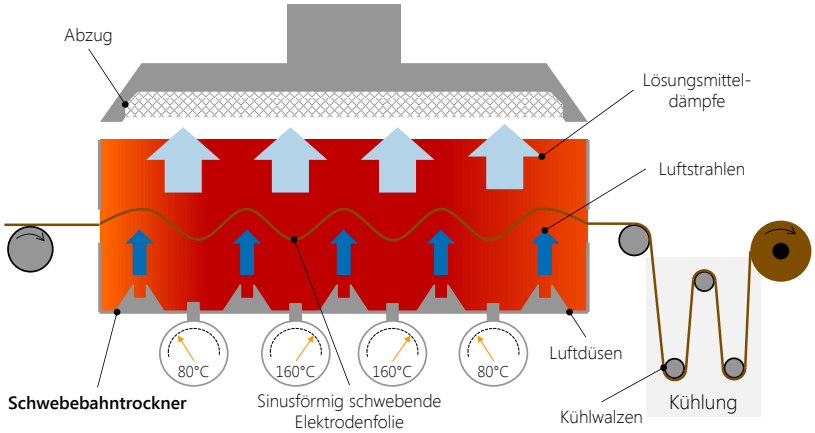
- Qualitätsüberwachung
- Anpassung des Auftragswerkzeugs an unterschiedliche Slurries

Fertigungskosten:*
(Auszug)

- Invest für Maschinen und Anlagen: 24-35 Mio. € (Beschichtung & Trocknung)

Trocknen

Elektrodenfertigung



Zellassemblierung

Formation & Aging

- Nach der Beschichtung wird die Aluminium- oder Kupferfolie direkt in den Trockner geführt.
- Bei einer simultanen, doppelseitigen Beschichtung ist ein Schwebebahntrockner zu verwenden.
- Das Lösungsmittel wird dem Substrat durch Wärmezufuhr entzogen und zurückgewonnen oder der thermischen Verwertung zugeführt.
- Die Trocknerlänge ist entscheidend für die realisierbare Durchlaufgeschwindigkeit.
- Der Trockner ist zur Realisierung eines individuellen Temperaturprofils in unterschiedliche Temperaturzonen unterteilt.
- Nach dem Trocknerdurchlauf ist eine Kühlung der Folien auf Raumtemperatur vorzusehen.

Prozessparameter & -anforderungen

- Trocknungsgeschwindigkeit: 80 m/min – 120 m/min
- Trocknungstrecke: bis zu 100 m
- Temperaturprofil in den Trocknerzonen: 80°C – 160°C
- Lösemittelrückgewinnung (Gefahrstoffe); Thermische Nachverbrennung
- Geeignete Folienvorspannung zur Vermeidung von Folienrissen wichtig

Qualitätsmerkmale [Auszug]

- Temperaturprofil
- Folienvorspannung (mechanische Belastung)

Schlüsseltechnologien [Auszug]

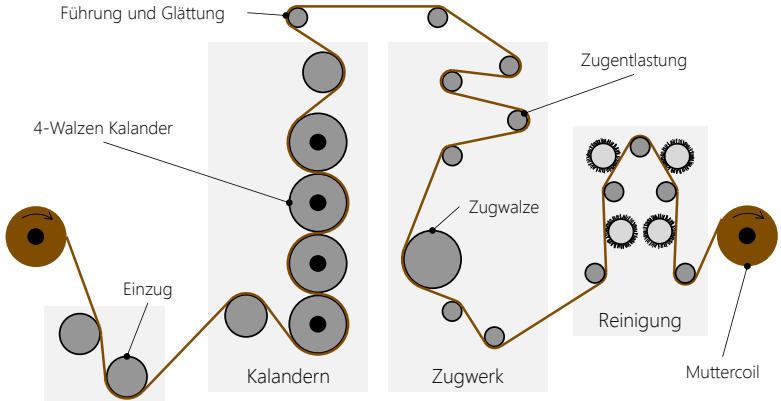
- Bestimmung Prozessparameter in Abhängigkeit des Elektrodendesigns
- Wahl der Folienvorspannung

Fertigungskosten:*
(Auszug)

• Invest für Maschinen und Anlagen: 24-35 Mio. € (Beschichtung & Trocknung)

Kalandern

Elektrodenfertigung



Beispielhafte schematische Darstellung

Zellassemblierung

Formation & Aging

- Bei dem Kalandern wird die beidseitig beschichtete Kupfer- bzw. Aluminiumfolie durch ein oder mehrere rotierende Walzenpaare verdichtet.
- Die Verdichtung der Folie erfolgt durch die Ober- und Unterwalze.
- Das Walzenpaar erzeugt einen genau zu definierenden Liniendruck.
- Der Liniendruck definiert die Porosität des beschichteten Substrats.
- Ein zu hoch eingestellter Liniendruck erzeugt einen Quetschvorgang und beschädigt das Substratmaterial.
- Die Sauberkeit des Walzenpaars ist für die Vermeidung des Eindringens von Fremdpartikeln in das Substratmaterial entscheidend.

Prozessparameter & -anforderungen

- Einhaltung eines konstanten Liniendrucks von ca. 1.500 N/mm
- Kalandergeschwindigkeit: 80 m/min – 150 m/min
- Walzendurchmesser: bis zu 800 mm (variabel je nach Liniendruck)
- Porosität wird von 50% (nach dem Trocknen) durch das Kalandern auf 40% bis 30% reduziert
- Vorheizstrecken und Walzenerwärmung optional möglich

Qualitätsmerkmale [Auszug]

- Definierte Porosität
- Glättergebnis
- Struktur der Oberfläche
- Oberflächen und Rundlaufgenauigkeit der Walzen als Qualitätsfaktor

Schlüsseltechnologien [Auszug]

- Wahl des Umschlingungswinkels
- Bestimmung des max. Liniendrucks
- Walzenmaterial und Durchmesser

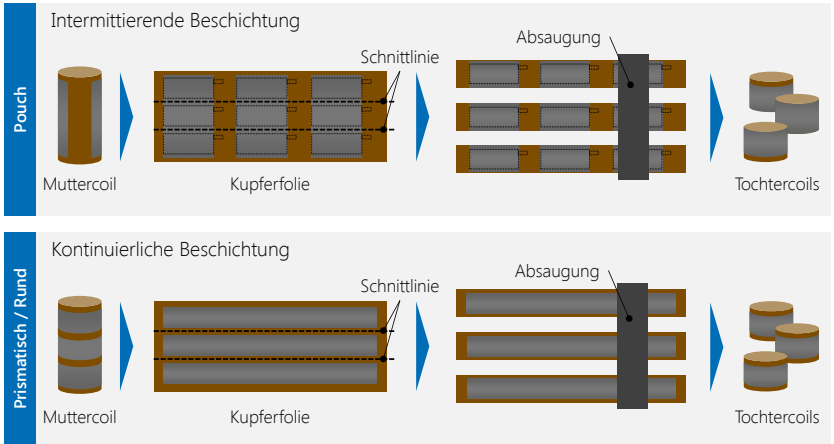
Fertigungskosten:*
(Auszug)

• Invest für Maschinen und Anlagen: 9,1 – 13,7 Mio. €

*Studie des PEM der RWTH Aachen: 10.000.000 Flachzellen/a, Zellkapazität: 60 Ah, 2,2 GW/a

Slitten

Elektrodenfertigung



Zellassemblierung

Formation & Aging

- Das Slitting ist ein Trennvorgang, bei dem ein breites Elektrodenband (Muttercoil) in mehrere, kleinere Elektrodenbänder (Tochtercoils) unterteilt wird.
- Das Slitting kann thermisch (Laserschnitt) oder mechanisch (Messerschnitt mit rollierendem Messer) durchgeführt werden.
- Das Reinigen der Elektrodenbänder erfolgt durch eine Absaugung und/oder eine Bürste.
- Die Schnittgüte der Elektrodenränder sowie die Sauberkeit der Folienbahn stellen zentrale Qualitätskriterien dar.
- Die Schnittbreite der Tochtercoils kann je nach Zelldesign variieren und beträgt in vielen Anwendungsfällen zwischen 100 mm und 300 mm.

Prozessparameter & -anforderungen

- Schnittgeschwindigkeit: 80 m/min – 150 m/min
- Prozess wahlweise mit Messerschnitt oder Laserschnitt

Qualitätsmerkmale [Auszug]

- Kantengeometrie (Schneidgrat)
- Thermische (Temperatureinflusszone) und mechanische Belastung
- Verunreinigung durch Partikel beim Schneidvorgang

Schlüsseltechnologien [Auszug]

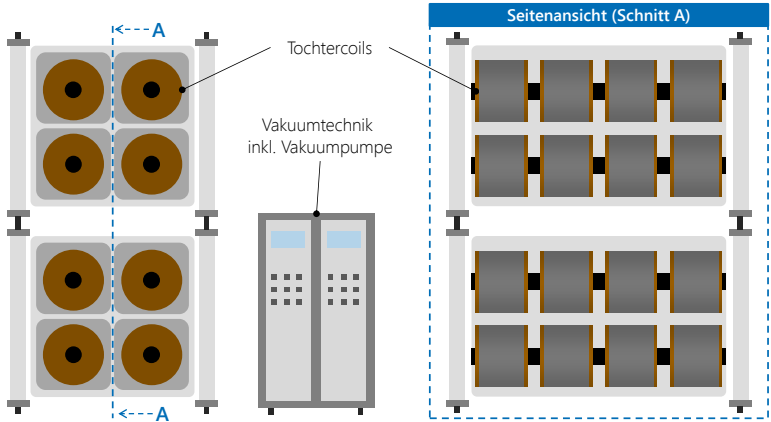
- Beschichtung der Schneidmesser
- Prozessparameter in Abhängigkeit von der Beschichtungsstärke

Fertigungskosten:*
(Auszug)

- Invest für Maschinen und Anlagen: 15,1 – 22,7 Mio. €

Vakuumtrocknen

Elektrodenfertigung



Zellassemblierung

Formation & Aging

- Die beschichteten Coils werden auf einen Spezialwarenräger aufgelegt.
- Im Anschluss findet eine Lagerung der Coils im Vakuumofen statt.
- Die Trocknungszeit beträgt ca. 24 - 48 h, wobei Feuchte und Lösungsmittel aus den Coils entzogen werden.
- Die Senkung der Restfeuchte geschieht durch Verdampfen bei niedrigen Temperaturen in Folge eines niedrigen Totaldrucks.
- Nach Abschluss des Vakuumtrocknens werden die Coils direkt in den Trockenraum überführt.

Prozessparameter & -anforderungen

- Arbeitsdruck: 0,07 mbar
- Trocknungsdauer: 24 - 48 h/Coil
- Trocknungstemperatur: 60°C - 130°C

Qualitätsmerkmale [Auszug]

- Konstante Wärmezufuhr und stabiles Vakuum erforderlich
- Längere Liegezeiten nur im Trockenraum möglich, sofortige Überführung notwendig
- Beschädigungsfreie Coil-Lagerung

Schlüsseltechnologien [Auszug]

- Vakuumtrocknung
- Trockenraumtechnologie zur Lagerung

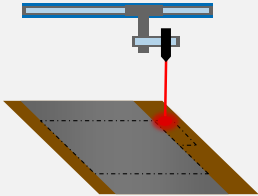
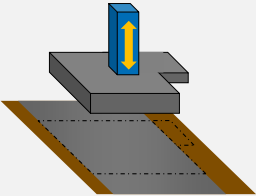
Fertigungskosten:*
(Auszug)

- Invest für Maschinen und Anlagen: 7,2 – 10,8 Mio. €

Vereinzeln

Zellassemblierung

Pouch

Laserschnitt	Scherschnitt (Stanzvorgang)
	
<ul style="list-style-type: none">✓ Nahezu unbegrenzte Flexibilität der Form der Schnittkanten✓ Hohe Schnittkantenqualität✗ Hoher Aufwand zur Absaugung der entstehenden Stäube	<ul style="list-style-type: none">✓ Geringerer Anlageninvest✓ Geringe Prozesszeit✗ Hoher Verschleiß des Werkzeugs

Elektrodenfertigung

Formation & Aging

- Das Vereinzeln ist für die Fertigung der Pouchzelle erforderlich und bezeichnet das Heraustrennen von Anoden-, Kathoden- und Separatorsheets aus der Rollenware (Tochtercoil).
- Das Tochtercoil wird abgewickelt und dem Vereinzelnungswerkzeug zugeführt.
- Der Trennvorgang kann mit einem Scherschnitt (Stanzwerkzeug) oder thermisch (Laserschnitt) durchgeführt werden.
- Die vereinzelteten (doppelseitig beschichteten) Sheets werden je nach Anlagenkonzept in einem Magazin gespeichert oder direkt in den nächsten Prozessschritt überführt.
- Der unbeschichtete Randbereich des Sheets dient in einem späteren Prozessschritt zum Anschweißen der Kontaktfahne.

Prozessparameter & -anforderungen

- Vereinzelnungszeit: Stanzwerkzeug bis zu 0,2 s/Sheet, Laserschnitt: bis zu 1.200 mm/s
- Zeitlich limitierender Faktor ist der Greif- und Handlingvorgang des vereinzelteten Sheets
- Stanzwerkzeug: Sehr gute Schnittkantenqualität (in Abhängigkeit der Verschleißfestigkeit)
- Laserschnitt: Gute und konstante Schnittkantenquali. bei hoher Flexibilität

Qualitätsmerkmale [Auszug]

- Schnittkantengeometrie (z.B. Verschmierung des Aktivmaterials über die Schnittkanten)
- Thermische und mechanische Belastung beim Trennvorgang
- Verunreinigung der Oberfläche

Schlüsseltechnologien [Auszug]

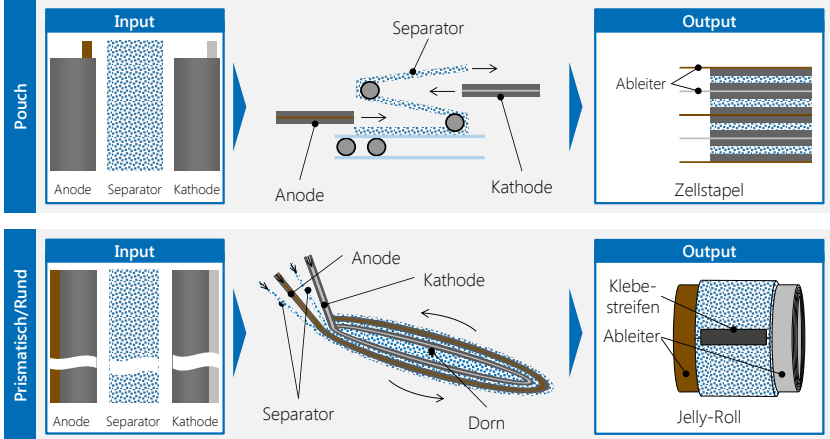
- Absaugung des verdampften Materials beim Laserschnitt
- Beschichtung der Werkzeuge

Fertigungskosten:*
(Auszug)

- Invest für Maschinen und Anlagen: 33,2 – 49,9 Mio. €

Stapeln & Wickeln

Zellassemblierung



Elektrodenfertigung

Formation & Aging

- Zur Fertigung einer Pouchzelle wird i.d.R. ein Stapelvorgang und bei der Rundzelle sowie der prismatischen Zelle ein Wickelvorgang durchgeführt.
- Beim Stapelvorgang werden die Elektroden sheets in einem wiederholenden Zyklus aus Anode, Separator, Kathode, Separator usw. gestapelt.
- Bei dem Wickeln wird aus einem Separatorband, einem Anodenband, einem Separatorband und einem Kathodenband eine Jelly-Roll erzeugt. Hierzu werden die Bänder übereinandergelegt und um einen Kern gewickelt.
- Die Anoden- und Kathodenbänder werden für den Wickelvorgang direkt aus den erzeugten Tochtercoils abgelängt.

Prozessparameter & -anforderungen

- Stapelvorgang kann mit dem Einzelblattstapeln oder dem Z-Falten durchgeführt werden (Stapelgenauigkeit: +/- 0,1 mm)
- Z-Falten: Separator wird Z-förmig gefaltet und die Elektroden-Sheets seitlich eingelegt
- Einzelblattstapeln: Separator liegt für die Stapelbildung als Sheet vor
- Wickelvorgang ist mit ca. 60 U/min das schnellste Verfahren

Qualitätsmerkmale [Auszug]

- Positioniergenauigkeit der Anoden- und Kathodensheets
- Wickelgenauigkeit der Anoden- und Kathodenbänder
- Beschädigungsfreie Handhabung der Elektrodenoberfläche sowie der -kanten

Schlüsseltechnologien [Auszug]

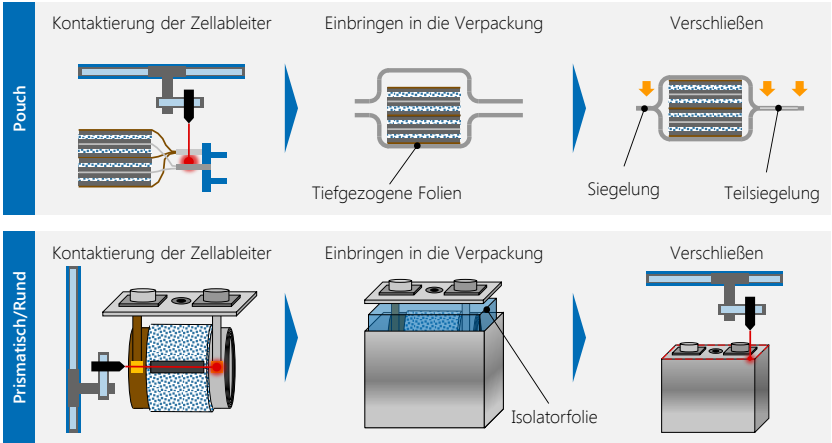
- Greiftechnik der Sheets
- Überprüfung der Anzahl der Sheets
- Vermeidung elektrostatischer Aufladung

Fertigungskosten:*
(Auszug)

• Invest für Maschinen und Anlagen: 39,1 – 58,6 Mio. €

Einbringen in die Verpackung

Zellassemblierung



Elektrodenfertigung

Formation & Aging

- Zunächst erfolgt die Kontakttierung der Ableiterfolien (Anode - Kupfer und Kathode - Aluminium) mit den Zelleitern (Pouchzelle) bzw. mit den Kontakterminals (Rundzelle und prismatische Zelle) durch einen Ultraschall- oder Laserschweißprozess.
- Bei dem Einbringen in die Verpackung wird der Elektrodenstapel der Flachzelle bzw. die Jelly-Roll von Rundzelle und prismatischer Zelle in das Verpackungsmaterial der Zelle eingebracht.
- Die Verpackungsmaterialien sind i.d.R. als Zukaufteile anzusehen.
- Die Pouchzelle wird über ein Impuls- oder Kontaktsiegeln verschlossen, während die Rundzelle und die prismatische Zelle i.d.R. über einen Laserschweißvorgang verschlossen werden.

Prozessparameter & -anforderungen

- Tiefziehen Pouchfolie: bis zu 11 mm
- Ultraschallschweißen mit ca. 20 kHz
- Verpackungsmaterial Pouchzelle: Aluminiumverbundfolie (Polyamid/Aluminium/Polypropylen)
- Teilsiegelung der Pouchzelle zur Gasentweichung in die Gastasche
- Dauerfestigkeit und Dichtigkeit der Verschlussnähte (Faustformel: „1 mm Siegelnahtbreite entspricht ungefähr einem Jahr kalendarischer Lebensdauer“)

Qualitätsmerkmale [Auszug]

- Geringer Übergangswiderstand sowie geringe mechanische und thermische Belastung beim Schweißvorgang
- Dichtigkeit der verschlossenen Zelle

Schlüsseltechnologien [Auszug]

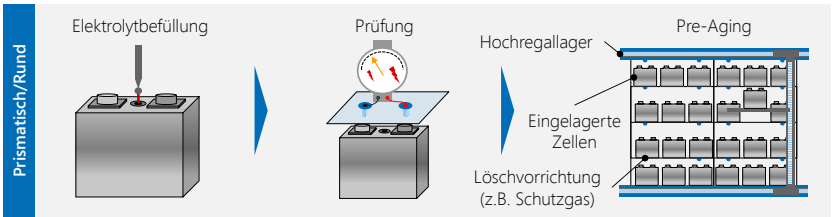
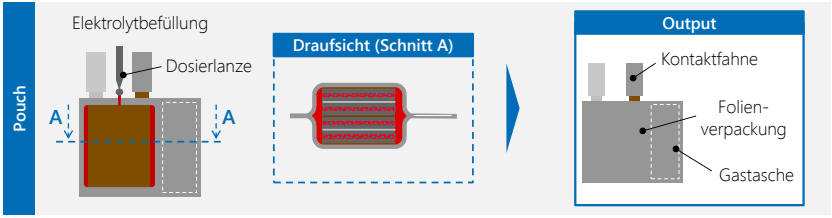
- Reduktion der thermischen Belastung beim Laserschweißvorgang
- Flexible Strahlführung und -formung

Fertigungskosten:*
(Auszug)

• Invest für Maschinen und Anlagen: 37,3 – 56,0 Mio. €

Elektrolytbefüllen

Zellassemblierung



Elektrodenfertigung

Formation & Aging

- Die Elektrolytbefüllung erfolgt nachdem der Zellstapel bzw. die Jelly-Roll in die Verpackung eingebracht ist.
- Durch die Beaufschlagung der Zelle mit Argon und/oder Vakuum im Wechselbetrieb wird die Kapillarwirkung in der Zelle aktiviert.
- Die Evakuierung und Teil-Befüllung werden mehrfach wiederholt.
- Während der Elektrolytbefüllung ist zwischen den Teilprozessen „Befüllen“ und „Benetzen“ zu unterscheiden.
- Der Verschluss der Öffnungen erfolgt durch einen Siegelvorgang oder mittels Dorneinsatz mit verschweißter Verschlusskappe.
- Das Elektrolyt (z.B.: LiPF_6) ist als Zukaufstoff anzusehen.
- Bei der Rund- und prismatischen Zelle erfolgt im Nachgang ein Pre-Aging, zur Vermeidung von Deformationen durch Gasbildung.

Prozessparameter & -anforderungen

- Geometrie der Dosierlanze
- Arbeitsdruck: 0,01 mbar
- Gleichmäßig kontinuierliche oder zyklische Befüllung zur Gewährleistung einer homogenen Elektrolytverteilung
- Löschanlage notwendig aufgrund erhöhter Brandgefahr

Qualitätsmerkmale [Auszug]

- Dosier- und Verteilgenauigkeit des Elektrolyten in der Zelle
- Vermeidung von Kontamination der Siegelnähte mit Elektrolyt
- Vermeidung von Schaumbildung des Elektrolyten beim Befüllungsvorgang

Schlüsseltechnologien [Auszug]

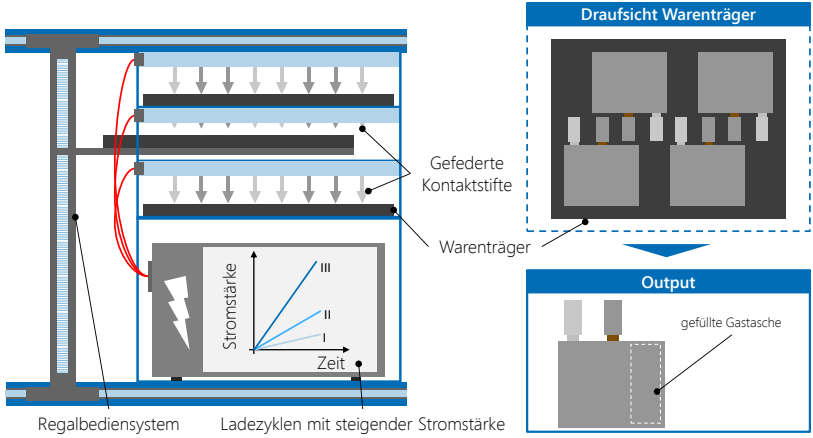
- Dosiervorgang (z.B. Dosierpumpe)
- Geometrie und Verschlussystem der Dosierlanze

Fertigungskosten:* • Invest für Maschinen und Anlagen: 53,6 – 80,5 Mio. €
(Auszug)

*Studie des PEM der RWTH Aachen: 10.000.000 Flachzellen/a, Zellkapazität: 60 Ah, 2,2 GWh/a

Formation

Formation & Aging



Elektrodenfertigung

Zellassemblierung

- Die Formation bezeichnet die ersten Lade- und Entladevorgänge der Batteriezelle.
- Zur Formation werden die Zellen in Spezialwarenträgern in Formationsregale geführt und durch Federkontaktstifte kontaktiert.
- Während der Formation (Ladevorgang) lagern sich Lithium-Ionen in den Graphitstrukturen der Anode ein. Hierbei wird die Solid Elektrolyte Interface (SEI), die eine Grenzschicht zwischen dem Elektrolyt und der Elektrode darstellt, gebildet.
- Die Parameter (Strom- und Spannungsverläufe) während der Formation sind je nach Zellhersteller unterschiedlich, beeinflussen in einem hohen Maße die Zellperformance, das Zellkonzept sowie die Zellchemie und stellen das Kernknow-How eines Zellherstellers dar.

Prozessparameter & -anforderungen

- Erster Ladevorgang: ca. 0,1 C; State Of Charge (SOC) ca. 90 %
- Sukzessive Steigerung der C-Raten mit jedem Lade- und Entladezyklus
- Dauer Formationsprozess: bis zu 24 h
- Prozess mit stehenden oder liegenden Zellen im Warenträger
- Vermeidung hoher Temperaturen an den Zelleableitern durch geringe Übergangswiderstände an den Federkontaktstiften

Qualitätsmerkmale [Auszug]

- Ausbildung der SEI Schicht
- Zeitliche Stabilität der SEI Schicht
- Beherrschung der Prozesstemperatur

Schlüsseltechnologien [Auszug]

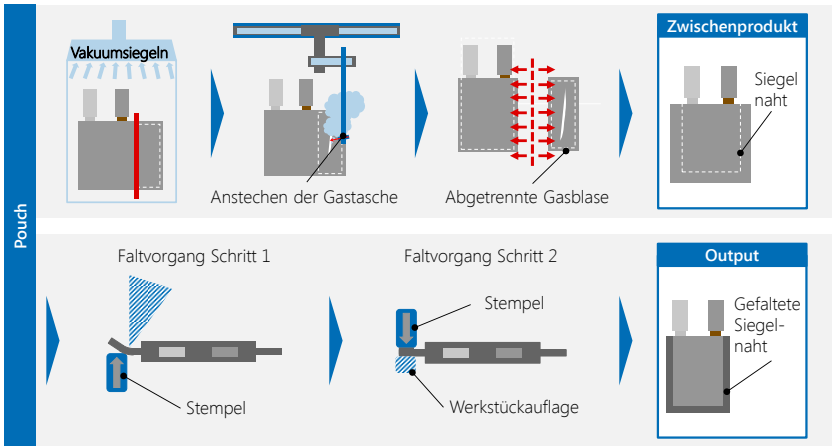
- Lage der Zellen
- Kontaktierungsart
- Energierückspeisung

Fertigungskosten:* • Invest für Maschinen und Anlagen: 61,2 – 91,9 Mio. €
(Auszug)

*Studie des PEM der RWTH Aachen: 10.000.000 Flachzellen/a, Zellkapazität: 60 Ah, 2,2 GWh/a

Entgasen, Verschließen und Falten

Formation & Aging



Elektrodenfertigung

Zellassemblierung

- Während des Formationsprozesses kommt es zur Gasbildung in der Zelle. Das Gas entweicht in einen Totraum (auch Gastasche genannt) und sammelt sich dort.
- Äußerer Druck presst das Gas aus der Zelle in die Gastasche, sodass der Bereich zwischen der Gastasche und der Zelle final gesiegelt werden kann.
- Anschließend wird die Gastasche abgetrennt und das austretende Gas abgesaugt.
- Abschließendes Falten und ggf. Verkleben der Siegelränder zur Reduzierung der Außenabmaße der Pouch-Zelle.
- Bei der Rund- und prismatischen Zelle erfolgt die Siegelung an dieser Stelle ohne vorherige Entgasung.

Prozessparameter & -anforderungen

- Falten und Kleben der Siegelnähte zur Reduzierung der volumetrischen Energiedichte
- Siegel und Vakuum erzeugen Formstabilität und pressen die Elektrodenschichten stärker zusammen
- Beschädigungsfreies Falten der Ränder
- Abdichten gegen Feuchtigkeit und Sauerstoff

Qualitätsmerkmale [Auszug]

- Restgas im Zellinneren
- Beschädigungsfreies Zellhandling (unterschiedliche Ausprägungen der Gasblasen)
- Absaugen der Gase unter Vakuum

Schlüsseltechnologien [Auszug]

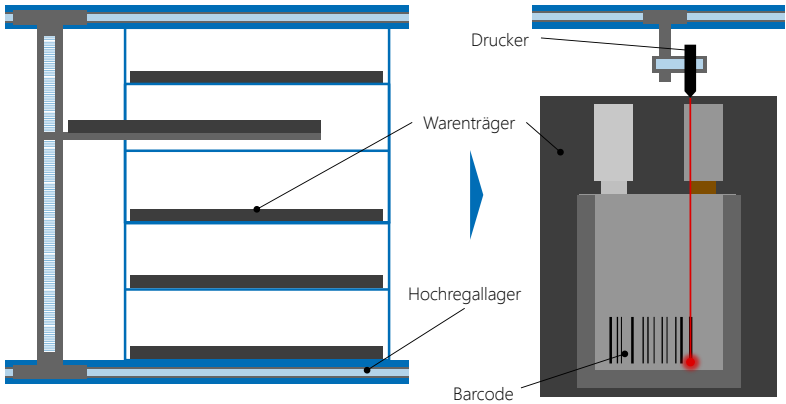
- Pressung der Zellen zur Entgasung
- Siegeltechnik

Fertigungskosten:*
(Auszug)

- Invest für Maschinen und Anlagen: 23,6 – 35,5 Mio. €

Aging

Formation & Aging



Elektrodenfertigung

Zellassemblierung

- Das Aging stellt den finalen Schritt der Zellfertigung dar und hat das Ziel, zellinterne Kurzschlüsse zu identifizieren.
- Überprüfung der Veränderung der Zelleigenschaften/ Zellperformance durch regelmäßige Messung der Leerlaufspannung der Zelle über einen Zeitraum von bis zu drei Wochen.
- Die Zellen lagern in Agingregalen und/oder -türmen.
- Die Zellen werden zur Messung der Leerlaufspannung in OCV-Messeinrichtungen übergeben.
- Keine signifikante Änderung der Zelleigenschaften bedeutet, dass die Zelle in Ordnung ist und hinsichtlich ihrer Qualität in unterschiedliche Güteklassen unterteilt werden kann.
- Vor dem Verpacken Kennzeichnen mit Bar- oder Data-Matrix-Code.

Prozessparameter & -anforderungen

- Ladezustand der Zelle zu Beginn der Formation: 50 % SOC
- Zulässige Verlustrate: < 5 mV pro Woche
- Erhöhte Verlustrate: > 5mV pro Woche deutet auf zellinterne Kurzschlüsse hin
- Agingdauer: ca. 3 Wochen
- Große Anzahl an erforderlichen Wareenträgern erzeugt hohe Kosten

Qualitätsmerkmale [Auszug]

- Zeitliche Stabilität der SEI Schicht
- Kapazität
- Innenwiderstand
- Selbstentladung

Schlüsseltechnologien [Auszug]

- Lage der Zellen
- Erhöhung der Packungsdichte der Zellwareenträger

Fertigungskosten:*
(Auszug)

- Invest für Maschinen und Anlagen: 41,1 – 61,6 Mio. €