

Prozessteckbriefe für die
Assemblierung und Finalisierung
von Prismatischen Zellen, Pouch
Zellen und Zylindrischen Zellen

Fraunhofer FFB; Dr. Oliver Krätzig, Sebastian Kühn, Leonhard
Dworog
24.05.2024

FFB PrismCell Medium
200 x 100 x 26,5 mm

Fraunhofer FFB

Prismatische Zellen

„Sortiertes Aufwickeln der einzelnen Elektroden- sowie Separatorfolie“

Übersicht

Anodenfolie
Kathodenfolie
Separatorfolie

Wickelprozess

Jelly-Roll

Fertigungskette

Prozessbeschreibung

Elektrodenfertigung:

Herstellung der Elektrodenfolien für Kathode und Anode sowie Aufwickeln zu einzelnen Rollen.

Wickeln:

Bereitstellung der Tochtercoils

Wickelprozess

Bereitstellung der Tochtercoils im Anschluss der Elektrodenfertigung.

Aufwickeln der Elektrodenbahnen und zwei Separatorbahnen um einen Wickeldorn zur Jelly-Roll. Bahnpositionen werden durch einen Klebestreifen fixiert.

Kontaktieren:

Verpressen der Ränder der Jelly-Roll sowie Verschweißung der Ränder mit dem Zellterminal für die späteren Zellanschlüsse.

Ziele und Motivation

Beim Wickeln werden die Elektrodenbahnen mit zwei Separatorbahnen um einen Wickeldorn gewickelt. Die Bahnreihenfolge ist dabei Anode, Separator, Kathode, Separator.

Herausforderungen

- Wickelgenauigkeit:** Die Genauigkeit bei der Positionierung und Ausrichtung der Elektroden- und Separatorbahnen ist ein entscheidendes Qualitätskriterium und sollte im Rahmen der Toleranzen erfolgen.
- Beschädigungsfreiheit:** Während des Wickelprozesses und des Handlings ist auf die Unversehrtheit der Elektrodenoberflächen und Elektrodenkanten zu achten. Verletzungen der Oberfläche sorgen für einen negativen Einfluss auf die Funktionalität.
- Elektrostatische Aufladung:** Sollte es zur elektrostatischen Aufladung kommen, hat das negative Folgen für die Qualität. So könnte es durch elektrische Schläge zu Gasentladung, lokaler Erwärmung, Beschichtungsfehlern u.v.a.m. führen.
- Handhabung der Sheets:** Die Greiftechnik, sowie die Überprüfung der Anzahl der einzelnen Sheets stellt eine große prozesseitige Herausforderung dar.
- Steigerung des Maschinendurchsatzes:** Erhöhte Maschinendurchsätze führen zu einer steigenden Produktionskapazität. Gegenwärtig führt die Anforderung nach hoher Präzision zu einem Zielkonflikt.
- Erhöhung des Wickeldurchmessers:** Ein erhöhter Durchmesser trägt zur Bereitstellung größerer Jelly-Rolls bei. Durch größere Jelly-Rolls kann die Kapazität und die geometrischen Abmaße der Zelle beeinflusst werden.

Energieaufwand und Kosten*

Prozessparameter & -ausprägungen

Qualitäts-spezifische Parameter	Übliche Wertekorridore	Messmethoden zur Kontrolle
Bahnkantenstreuung		Vorregelung über SPS
Elektrostat. Aufladung	Keine oder über Erdung abgeführt	
Wickelpräzision		Hochauflösende optische Verfahren
Wickelgeometrie (Länge, Durchmesser, Rundheit)		Optische Bildprüfung
Partikelkontamination	Partikel > 20 µm	Optische Bildprüfung

Parameter der Prozessführung	Übliche Wertekorridore	Rückkopplung Qualitätsparameter
Maschinendurchsatz	Bis zu 6 Zellen/Minute	
Wickelgeschwindigkeit		
Bahnspannung		
Anzahl der Wickelungen	Üblich sind ca. 120	Über optische oder gravimetrische Kontrollen

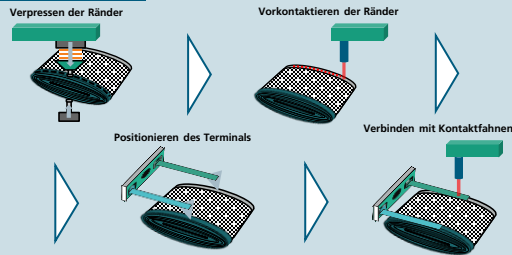
Anforderungen an die Betriebsumgebung	Ausprägungen	Implikationen für den Prozess
	mind. ISO 7	Reinraum
	-40°C bis -50°C	Trockenraum
Temperatur	22°C ± 2°C	
Relative Luftfeuchtigkeit	< 1%	

F&E Wissensträger

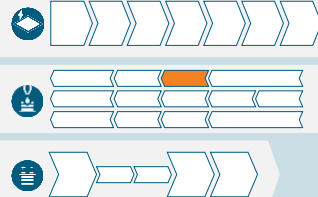
Der Wickelprozess wird für die Produktion von prismatischen Zellen eingesetzt. Allerdings erfolgt inzwischen ein Großteil der Produktion mit den Schritten Vereinzeln und Stapeln statt Wickeln (vgl. Vereinzeln und Stapeln bei der Pouch Zelle).

„Verbindung von Zellanschluss und Jelly-Roll“

Übersicht



Fertigungskette



Prozessbeschreibung

Wickeln:

Kompaktes Aufwickeln der Elektrodenbahnen getrennt durch die Separatorfolie sowie deren Fixierung zur Herstellung der Jelly-Roll.

Kontaktieren:

Verpressen der Ränder	Vorkontaktiere der Ränder	Positionierung des Terminals	Verbinden mit Kontaktfahnen
Ränder der Jelly-Roll werden durch eine Pressvorrichtung zusammengepresst.	Ränder werden mit einem Laser durch Schweißen in Kontakt gebracht.	Kontaktfahnen des Batteriterminals werden in optimale Position über den Elektrodenrändern gebracht.	Kontaktfahnen werden über einen Laser mit den Rändern verschweißt.

Verpacken:

Jelly-Roll wird in ein Isolationsfolie gehüllt und in einem prismatischen Metallgehäuse eingebracht, welches durch einen Laser versiegelt wird.

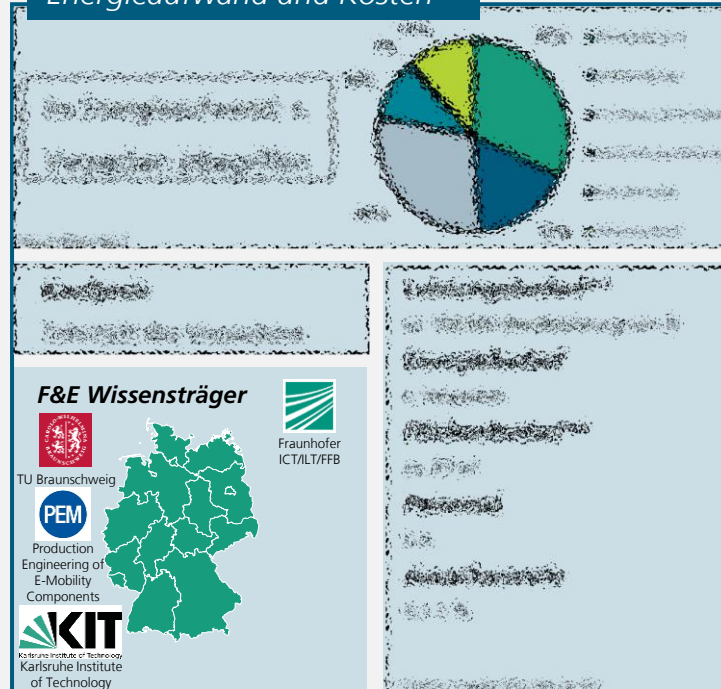
Ziele und Motivation

Durch Laser- oder Ultraschallschweißen werden die vorfixierten Ränder an definierten Punkten verschweißt. Über Kontaktfahnen erfolgt die Anbindung der Ränder (Anode bzw. Kathode) an das Batteriterminal.

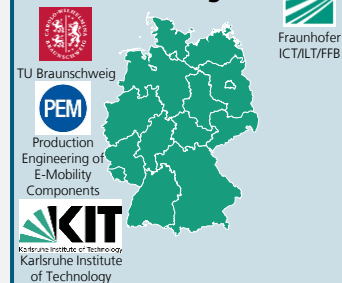
Herausforderungen

- Materialkompatibilität:** An den Fugestellen muss auf die Verträglichkeit der zu verbindenden Werkstoffe geachtet werden, um den langfristigen Zusammenhalt gewährleisten zu können.
- Laserschweißen:** Eine flexible Strahlführung und -formung ist eine Prozessanforderung. Gleichzeitig sollte auf eine geringe mechanische und thermische Belastung bei den Schweißvorgängen geachtet werden.
- Ultraschallschweißen:** Beim Ultraschallschweißen muss auf ein abgestimmtes Parameterset (Frequenz, Amplitude, Druck, Zeit) geachtet werden. Dabei sollte die thermische und mechanische Belastung so gering wie möglich ausfallen.
- Kontaminationsfreiheit:** Während der Laserschweißprozesse muss auf die Unversehrtheit sowie die Reinheit der Elektroden sheets geachtet werden, um mögliche negative Auswirkungen auf die Funktion zu vermeiden. Eine mögliche Lösung bilden Reinigungssysteme, welche auf den Schweißprozess folgen.

Energieaufwand und Kosten*



F&E Wissensträger



Prozessparameter & -ausprägungen

Qualitätsspezifische Parameter



Qualitätsparameter des Prozessproduktes	Übliche Wertekorridore	Messmethoden zur Kontrolle
Schweißnahtqualität		Laserüberwachung
Elektr. Widerstand/Leitfähigkeit		Elektrisches Messverfahren
Mech. Stabilität/Verformung		
Partikelkontamination (Schweißen)		Optische Bildprüfung
Geringe therm. Belastung (Schweißen)		IR-Thermometer, Pyrometer (nach dem Prozess)

Prozessspezifische Parameter



Parameter der Prozessführung	Übliche Wertekorridore	Rückkopplung Qualitätsparameter
Anpressdruck der Ränder		
Ultraschallschweißparameter (Frequenz)		
Laserschweißparameter (Energie, Strahlführung)		

Betriebsumgebung

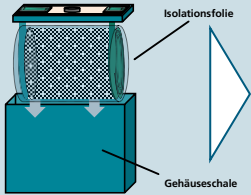


Anforderungen an die Betriebsumgebung	Ausprägungen	Implikationen für den Prozess
	mind. ISO 7	Reinraum
	-40°C bis -50°C	Trockenraum
Temperatur	22°C ± 2°C	
Relative Luftfeuchtigkeit	< 1%	

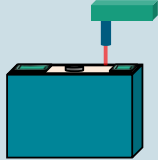
„Geschützte und versiegelte Unterbringung der kontaktierten Jelly-Roll in Batteriegehäuse“

Übersicht

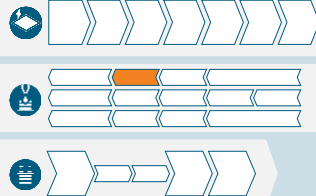
Positionieren und Verpacken



Versiegeln



Fertigungskette



Prozessbeschreibung

Kontaktieren:

Verpressen der Ränder der Jelly-Roll sowie Verschweißung der Ränder mit dem Zellterminal für die späteren Zellanschlüsse.

Verpacken:

Positionieren und Verpacken

Einbringung der durch eine Isolationsfolie geschützten Jelly-Roll in ein prismatisches Metallgehäuse, wobei der verbundene Terminal den „Deckel“ bildet.

Versiegeln

Anschließende Versiegelung der metallischen Verpackung mittels Schweißroboter.

Elektrolytbefüllung:

Metallisches Gehäuse wird durch ein Ventil im Terminal der Zelle mit einem Elektrolyt befüllt, wobei das Ventil anschließend versiegelt wird.

Ziele und Motivation

Durch die Verpackung in Isolationsfolie soll die Jelly-Roll mit der Wicklung vor Kontakteinflüssen mit dem Gehäuse geschützt werden. Das Gehäuse wiederum schützt vor Umwelteinflüssen.

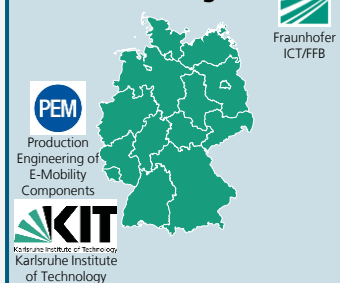
Herausforderungen

- Materialkompatibilität:** An den Fugstellen muss auf die Verträglichkeit der zu verbindenden Werkstoffe geachtet werden, um den langfristigen Zusammenhalt gewährleisten zu können.
- Laserschweißen:** Eine flexible Strahlführung und -formung ist eine Prozessanforderung. Gleichzeitig sollte auf eine geringe mechanische und thermische Belastung bei den Schweißvorgängen geachtet werden.
- Ultraschallschweißen:** Beim Ultraschallschweißen muss auf ein abgestimmtes Parameterset (Frequenz, Amplitude, Druck, Zeit) geachtet werden. Dabei sollte die thermische und mechanische Belastung so gering wie möglich ausfallen.
- Festigkeit und Dichtigkeit der Siegelnaht:** Faustformel: „1 mm Siegelnahtbreite entspricht ungefähr einem Jahr kalendrischer Lebensdauer.“
- Kontaminationsfreiheit:** Während der Laserschweißprozesse muss auf die Unversehrtheit sowie die Reinheit der Elektrodensheets geachtet werden, um mögliche negative Auswirkungen auf die Funktion zu vermeiden. Eine mögliche Lösung bilden Reinigungssysteme, welche auf den Schweißprozess folgen.

Energieaufwand und Kosten*



F&E Wissensträger



Prozessparameter & -ausprägungen

Qualitätsspezifische Parameter



Qualitätsparameter des Prozessproduktes	Übliche Wertekorridore	Messmethoden zur Kontrolle
Dichtigkeit		Schnüffeltest, Karl-Fischer Titration
Positioniergenauigkeit		Optische Bildprüfung
Reinheit (Gehäuse)		
Schweißnahtgüte		Beschädigende und Beschädigungsfreie Prüfung

Prozessspezifische Parameter



Parameter der Prozessführung	Übliche Wertekorridore	Rückkopplung Qualitätsparameter
Frequenz Ultraschallschweißen	15 kHz bis 40 kHz	
Laserschweißen (Energie/Strahlführung)		

Betriebsumgebung

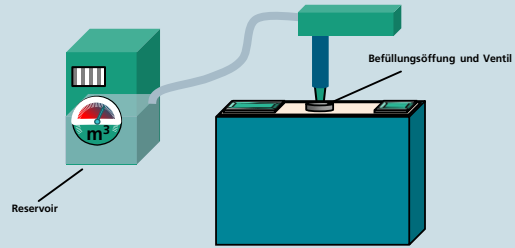


Anforderungen an die Betriebsumgebung	Ausprägungen	Implikationen für den Prozess
	mind. ISO 7	Reinraum
	-40°C bis -50°C	Trockenraum
Temperatur	22°C ± 2°C	
Relative Luftfeuchtigkeit	< 1%	

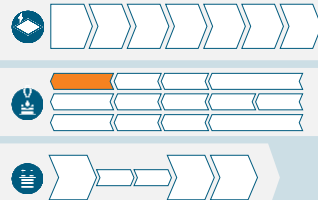
Prozesssteckbrief (Prismatische Zelle) – Elektrolytbefüllung

„Befüllung des Zellgehäuses mit Elektrolytflüssigkeit“

Übersicht



Fertigungskette



Prozessbeschreibung

Verpacken:

Jelly-Roll wird in ein Isolationsfolie gehüllt und in einem prismatischen Metallgehäuse eingebracht, welches durch einen Laser versiegelt wird.

Elektrolytbefüllung:

Befüllen

Versiegeln

Über ein Ventil am Terminal wird das Zellgehäuse mittels einer hochgenauen Dosierlanze unter Vakuum mit Elektrolyt befüllt.

Anschließend folgt die Versiegelung des Ventils mittels verschweißtem Dorneinsatz.

Zellfinalisierung:

Formierung einzelner Zellen in Warenträgern zu einer Gesamtzelle, sowie anschließende Qualitätsprüfung und Testing.

Ziele und Motivation

Der Elektrolyt hat in der Batteriezelle die Aufgabe den Ionenfluss sicherzustellen. Dazu muss Kontakt zu den Elektrodenoberflächen bestehen und der Separator muss durchdringbar sein.

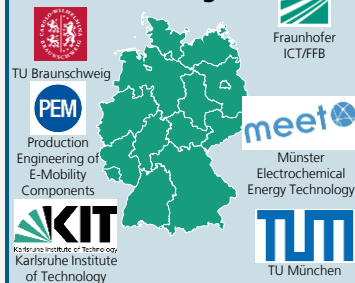
Herausforderungen

- **Dosiergenauigkeit:** Die Dosiergenauigkeit ist ein kritischer Prozessparameter und hat Einfluss auf die Qualität der Batteriezelle und die homogene Verteilung von Elektrolyt. Durch die Dosiergenauigkeit können Verunreinigungen und inaktive Bereiche zum Teil vermieden werden.
- **Positioniergenauigkeit der Dosierlanze:** Die genaue Positionierung der Lanze hat einen maßgeblichen Einfluss auf mögliche Elektrolytverunreinigungen der Verpackung während des Befüllprozesses.
- **Erhöhte Sicherheitsmaßnahmen:** Während der Befüllung mit Elektrolyt steigt die Brandgefahr, sodass eine Löschanlage notwendig ist.
- **Reaktion von Elektrolyt mit Feuchtigkeit:** Kommt es zu einer Reaktion zwischen Elektrolyt und Wasser kann die Leitfähigkeit, Kapazität und Energiedichte beeinträchtigt werden. Diese kann durch die Zuführung von Inertgasen verringert werden.

Energieaufwand und Kosten*



F&E Wissensträger



Prozessparameter & -ausprägungen

Qualitätsspezifische Parameter



Qualitätsparameter des Prozessproduktes	Übliche Wertekorridore	Messmethoden zur Kontrolle
Dosierung	≤ 1% oder ≤ ± 0,12g	Dosierpumpe
Verteilungsgenauigkeit		
Dichtigkeit der Zelle		Schnüffeltest, Karl-Fischer Titration
Elektrolytmenge		Differenzmessung; Volumenstrom; Kalorimetrische Messung
Elektrolyttemperatur		PTC- und NTC-Thermometer

Prozessspezifische Parameter



Parameter der Prozessführung	Übliche Wertekorridore	Rückkopplung Qualitätsparameter
Befülldruck	ca. 0,01 mbar	
Homogenität der Befüllung		
Elektrolytmenge		

Betriebsumgebung



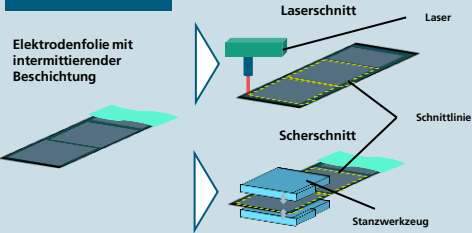
Anforderungen an die Betriebsumgebung	Ausprägungen	Implikationen für den Prozess
	mind. ISO 7	Reinraum
	-50°C bis -70°C	Trockenraum
Temperatur	22°C ± 2°C	
Relative Luftfeuchtigkeit	<< 1%	



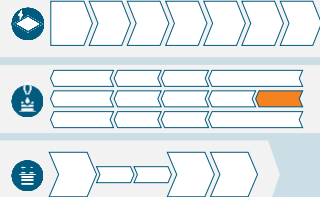
Pouchzellen

„Ausschneiden einzelner Elektroden sheets aus der jeweiligen Folienrolle“

Übersicht



Fertigungskette



Prozessbeschreibung

Elektrodenfertigung:

Herstellung der Elektrodenfolien für Kathode und Anode sowie Aufwickeln zu einzelnen Rollen.

Vereinzeln:

Abwickeln des Tochtercoils (und Notching-Prozess)

Zuführung des Elektrodenbands durch Abwickeln des Tochtercoils. Beim Notching-Prozess (optional) wird die Kontur der Elektroden im bahnförmigen Zustand vorgeformt.

Laser- oder Scherschnitt

Heraustrrennen der einzelnen Elektroden sheets mittels Laserschnitt oder Stanzwerkzeug. Es wird ein Teil des unbeschichteten Randbereichs mitgeschnitten, der später zum Anschweißen der Kontaktfahnen dient.

Bereitstellung beschichteter Elektrodenfolie

Direkte Bereitstellung der Elektrodenfolie für den folgenden Stapelprozess oder Speicherung in einem Magazin oder Lager.

Stapeln:

Abwechselnde Stapelanordnung von Anoden- und Kathodensheets getrennt durch Separatorfolie realisiert durch Z-Folding.

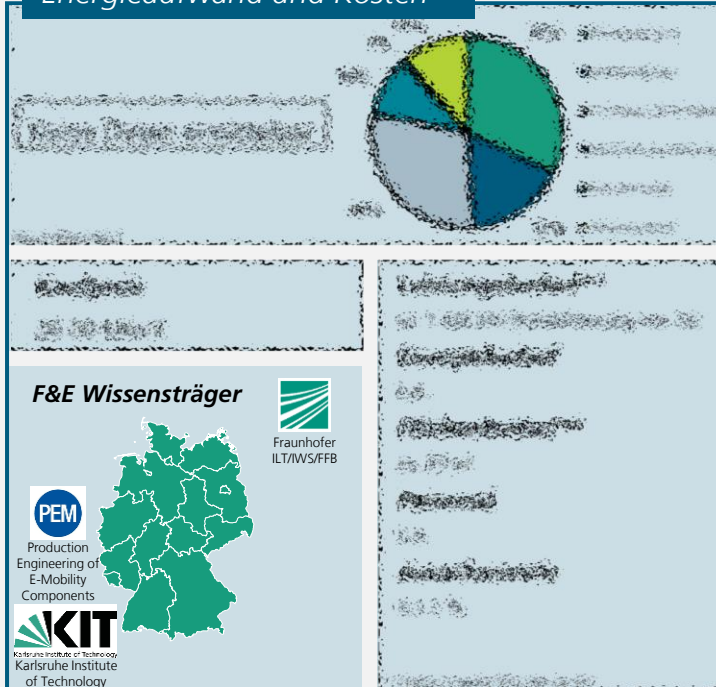
Ziele und Motivation

Das Vereinzeln beschreibt das Schneiden oder Stanzen der Elektroden sheets. Dies ist eine vorbereitende Tätigkeit und von dem Stapeln der Elektroden sheets einzuordnen.

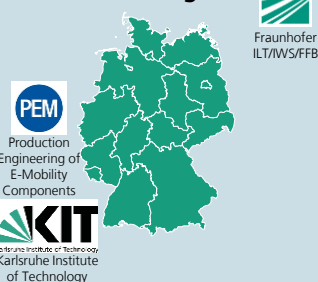
Herausforderungen

- **Schnittkante:** Verschmierung des Aktivmaterials über die Schnittkanten ist möglich. Beim Scherschnitt kann es zu Gratbildung kommen und die Schnittqualität hängt von dem Verschleißzustand des Stanzwerkzeugs ab.
- **Belastung der Elektroden sheets:** Die thermische und mechanische Belastung beim Trennvorgang sollte möglichst minimiert werden. Für den Laserschnitt sollte zudem die Wärmeinflusszone berücksichtigt werden, sowie der zusätzliche Aufwand zur Absaugung der Stäube.
- **Verunreinigung der Oberfläche:** Bei Verschmutzungen oder Verunreinigungen der Oberfläche kommt es zu Kapazitätsverlust und der Gefahr von Kurzschlüssen. Daher ist eine entsprechende Reinigungsanordnung/-anlage vorzusehen.
- **Zeit:** Zum einen sollte die Werkzeugnutzungszeit des Stanzwerkzeugs erhöht werden, zum anderen die Schnitt-/Stanzgeschwindigkeit. Ein limitierender Faktor ist der Greif- und Handlingvorgang.
- **Saubere Schnitt-Grate/gerade Schnitte:** Ungerade oder eingerissene Elektrodenränder müssen in jeden Fall verhindert werden, um eine erfolgreiche Zell-Assemblierung zu ermöglichen und potentielle Kurzschlüsse zu verhindern.
- **Kontaminationsfreiheit:** Während des Vereinzlungsprozesses muss auf die Unversehrtheit sowie die Reinheit der Elektroden sheets geachtet werden, um mögliche negative Auswirkungen auf die Funktion zu vermeiden. Eine mögliche Lösung bilden Reinigungssysteme, welche auf die Vereinzlung folgen.

Energieaufwand und Kosten*



F&E Wissensträger



Prozessparameter & -ausprägungen

Qualitätsspezifische Parameter



Qualitätsparameter des Prozessproduktes	Übliche Wertekorridore	Messmethoden zur Kontrolle
Beschichtung der Werkzeuge	Max. 10.000 Hübe	Sichtprüfung; Anzahl Hübe Stanzwerkzeug
Schnittkantengeometrie, Gratqualität		Hochauflösende Matrixkamera; Mikroskopie
Thermische / mechanische Belastung		Querschleif
Toleranzanforderungen	± 200 µm	

Prozessspezifische Parameter



Parameter der Prozessführung	Übliche Wertekorridore	Rückkopplung Qualitätsparameter
Vereinzlungszeit (Stanzen)	Ca. 0,2 s/Sheet	
Toleranzforderung (Breite, Länge)	Ca. ± 200 µm	
Verschleißfestigkeit der Schnittkanten		
Laserschneidzeit	1200 mm/s	

Betriebsumgebung

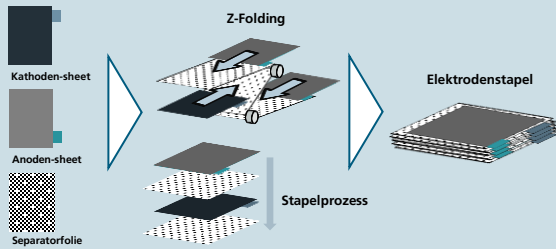


Anforderungen an die Betriebsumgebung	Ausprägungen	Implikationen für den Prozess
	Mind. ISO 7	Reinraum
	-25°C bis -35°C	Trockenraum
Temperatur	22°C ± 2°C	
Relative Luftfeuchtigkeit	< 1%	

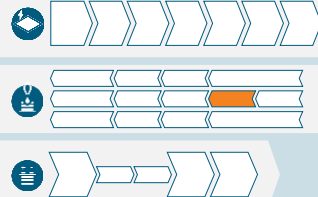
Prozesssteckbrief (Pouch-Zelle) – Stapeln

„Alternierende Anordnung von Anoden- und Kathodensheets zu einem Sheetstapel“

Übersicht



Fertigungskette

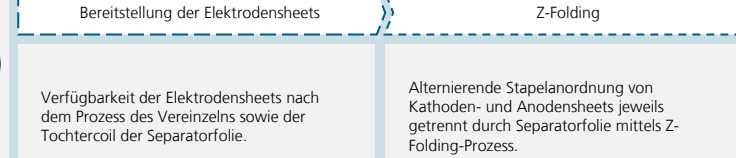


Prozessbeschreibung

Vereinzeln:

Heraustrennen von Anoden- und Kathodensheets aus den jeweiligen Tochtercoils mittels Stanzen oder Laserschneiden.

Stapeln:



Kontaktieren:

Die Ableiter aller Anoden- sowie aller Kathodensheets werden jeweils zusammengepresst und anschließend mittels Laser kontaktiert.

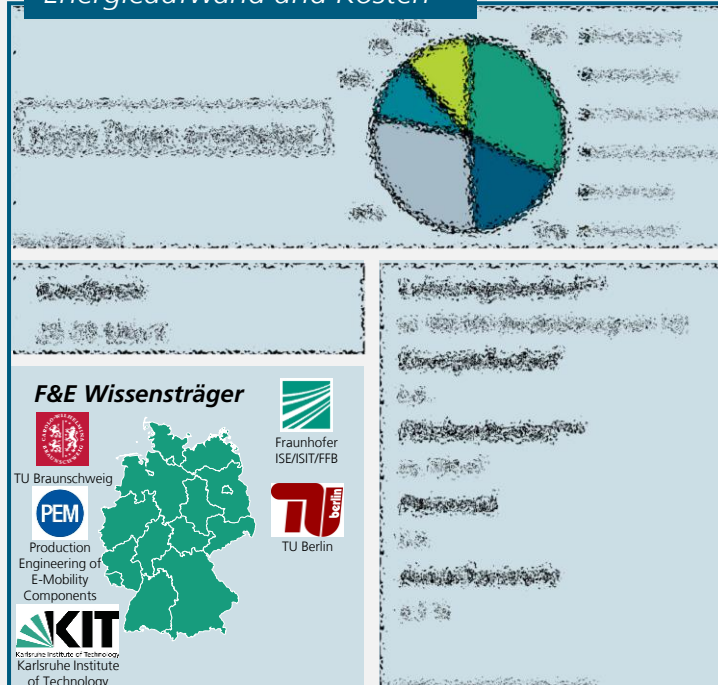
Ziele und Motivation

Beim Stapeln entsteht ein Zellstapel aus bis zu 120 Einzellagen, die in alternierender Anordnung von Anode, Separator, Kathode, Separator, usw. aufgebaut ist. Das Handling der Elektroden erfolgt meist durch Vakuumbreifer, während die Separatorfolie als Sheet oder bahnförmig in Z-förmiger Anordnung zugeführt wird.

Herausforderungen

- **Stapelgeschwindigkeit:** Eine erhöhte Stapelgeschwindigkeit führt zu einer schnelleren Prozessführung. Allerdings muss die Stapelgenauigkeit gleichbleibend oder besser sein.
- **Großformatige Elektroden:** Je größer Elektroden werden desto komplexer ist das Handling, welches ein limitierender Faktor für die geometrischen Abmessungen der Zelle ist.
- **Kontakt- und Reibungskräfte:** Bei potentieller Erhöhung der Stapelgeschwindigkeit müssen steigende Kontakt- und Reibungskräfte auf die Sheets berücksichtigt werden.
- **Stapeltechnologie:** Beim Einzelstapelprozess wird eine Pick and Place Aufgabe durchgeführt, dabei sind hohe Anforderung an die Genauigkeit der Positionierung der Sheets gestellt. Es werden geringere Prozessgeschwindigkeiten bei einer geringeren Komplexität erwartet. Im Vergleich ist das Z-Folding komplexer, bietet aber höhere Prozessgeschwindigkeiten. Die Separatorfolie kann im Schadensfall durch Überhitzen bedingt durch das Layout nicht zwischen den Sheets schrumpfen. Während des Prozesses muss beim Z-Folding die Separatorspannung genau eingestellt werden.
- **Beschädigungsfreies Handling:** Während der Verarbeitung müssen die Sheets unversehrt bleiben damit die Funktionalität und Sicherheit der Zelle gegeben ist.

Energieaufwand und Kosten*



Prozessparameter & -ausprägungen

Qualitätsspezifische Parameter

Qualitätsparameter des Prozessproduktes	Übliche Wertekorridore	Messmethoden zur Kontrolle
Separatorvorspannung		
Positioniergenauigkeit der Elektroden sheets	± 0,3 mm	Optische Bildprüfverfahren durch Laser
Elektrosta. Aufladung	Keine oder über Erdung abgeführt	
Beschädigungsfreie Sheetoberflächen	Kein Abknicken oder Verformen	Optische Bildprüfung
Anzahl Sheets	Bis zu 120	Gravimetrische Kontrolle

Prozessspezifische Parameter

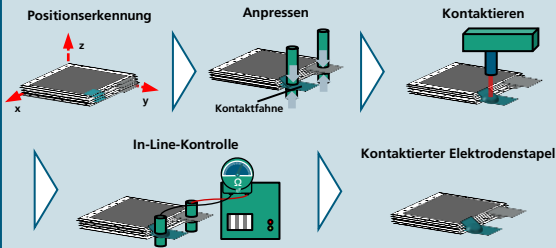
Parameter der Prozessführung	Übliche Wertekorridore	Rückkopplung Qualitätsparameter
Stapelgenauigkeit	± 200 µm bis 300 µm	
Taktzeit Z-Folding	0,5-1 s/Sheet	
Stapelgenauigkeit	< 200-300 µm	
Anpressdruck		
Greifkraft		

Betriebsumgebung

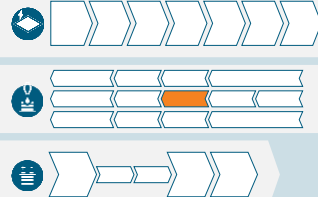
Anforderungen an die Betriebsumgebung	Ausprägungen	Implikationen für den Prozess
	Mind. ISO 7	Reinraum
	-40°C bis -50°C	Trockenraum
Temperatur	22°C ± 2°C	
Relative Luftfeuchtigkeit	< 1%	

„Kontaktierung der Ableiter jeweils für Anoden- und Kathodensheets im Stapel“

Übersicht



Fertigungskette

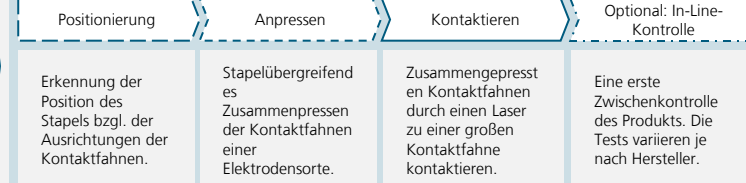


Prozessbeschreibung

Stapeln:

Abwechselnde Stapelanordnung von Anoden- und Kathodensheets getrennt durch Separatorfolie realisiert durch Z-Folding.

Kontaktieren:



Verpacken:

Unterbringung der kontaktierten Elektrodenstapel in tiefgezogener Pouchfolie.

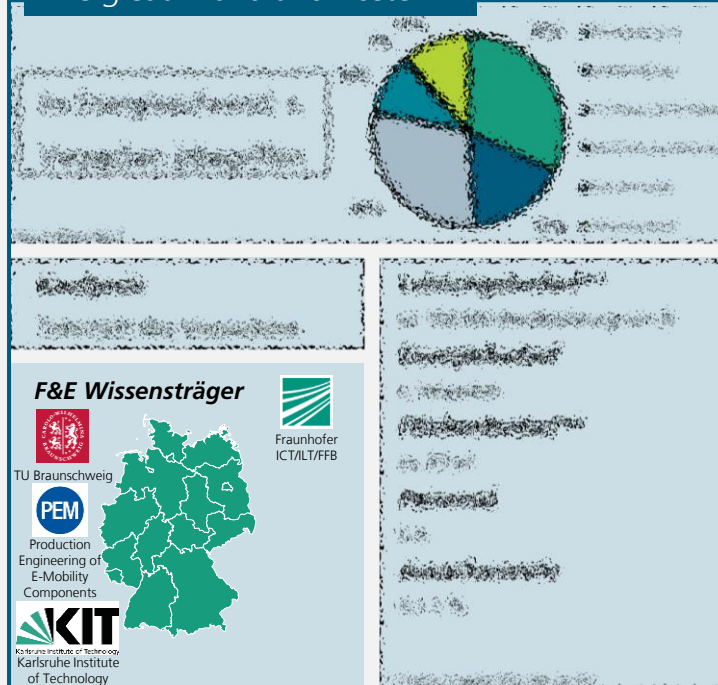
Ziele und Motivation

Mittels eines Schweißprozesses erfolgt die Verbindung der Anoden- und Kathodenableiter mit den Zellfähnchen des Zellstapels. Durch diesen Prozessschritt wird die Möglichkeit zur Stromführung geschaffen.

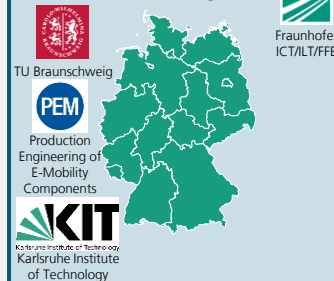
Herausforderungen

- **Materialkompatibilität:** An den Fügestellen muss auf die Verträglichkeit der zu verbindenden Werkstoffe geachtet werden, um den langfristigen Zusammenhalt gewährleisten zu können.
- **Belastung während der Schweißprozesse:** Die thermische und mechanische Belastung der Fügestellen sollte so gering wie möglich ausfallen, um eventuellen Materialfehlern oder Verbindungsfehlern vorzubeugen.
- **Kontaminationsfreiheit:** Während der Laserschweißprozesse muss auf die Unversehrtheit sowie die Reinheit der Elektroden sheets geachtet werden, um mögliche negative Auswirkungen auf die Funktion zu vermeiden. Eine mögliche Lösung bilden Reinigungssysteme, welche auf den Schweißprozess folgen.

Energieaufwand und Kosten*



F&E Wissensträger



Prozessparameter & -ausprägungen

Qualitätsspezifische Parameter

Qualitätsparameter des Prozessproduktes	Übliche Wertekorridore	Messmethoden zur Kontrolle
Schweißnahtqualität		Laserüberwachung
Elektr. Widerstand/Leitfähigkeit		Elektrisches Messverfahren
Partikelkontamination (Schweißen)	Partikel >20 µm	
Geringe therm. Belastung (Schweißen)		IR-Thermometer, Pyrometer (nach dem Prozess)

Prozessspezifische Parameter

Parameter der Prozessführung	Übliche Wertekorridore	Rückkopplung Qualitätsparameter
Ultraschallschweißparameter (Frequenz)		
Laserstrahlschweißparameter (Energie, Strahlführung)		

Betriebsumgebung

Anforderungen an die Betriebsumgebung	Ausprägungen	Implikationen für den Prozess
	Mind. ISO 7	Reinraum
	-40°C bis -50°C	Trockenraum
Temperatur	22°C ± 2°C	
Relative Luftfeuchtigkeit	< 1%	

Prozesssteckbrief (Pouch-Zelle) – Verpacken

„Unterbringung des Elektrodenstapels in Pouchfolie“

Übersicht

Tiefziehen der Halbform: Tiefgezogene Pouchfolie, Stempel, Tiefgez. Pouchfolie, Gastasche, Elektrodenstapel.

Verpacken: Positionierung des Stapels in der tiefgezogenen Folie.

Versiegeln: Laser, Unversiegelte Seite zur Elektrolytbefüllung.

Fertigungskette

Prozessbeschreibung

Kontaktieren: Die Ableiter aller Anoden- sowie aller Kathodensheets werden jeweils zusammengepresst und anschließend mittels Laser kontaktiert.

Verpacken:

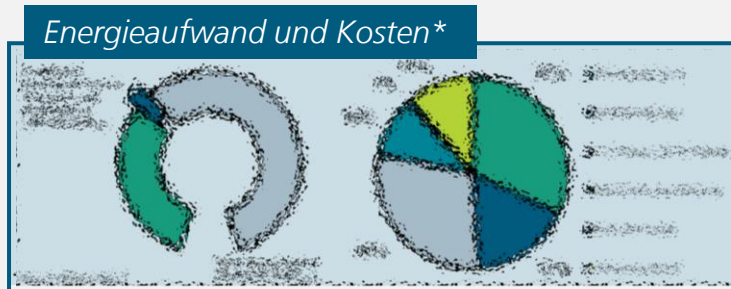
Tiefziehen der Halbform	Verpacken	Versiegeln
Pouchfolie wird mittels Stempel tiefgezogen, um Platz für die Unterbringung des Stapels zu schaffen.	Positionierung des Stapels in der tiefgezogenen Folie.	Zelle wird auf drei Seiten mittels Impuls-/Kontaktsiegeln gasdicht verschlossen.

Elektrolytbefüllung: Befüllung der Zelle mit Elektrolyt über unversiegelte Seite mittels Dosierlanze, sowie anschließender Versiegelung unter Vakuum.

Ziele und Motivation

Der zuvor hergestellte Zellstapel wird in tiefgezogener Pouchfolie an drei Seiten gasdicht versiegelt. Eine Seite bleibt zur folgenden Elektrolytbefüllung unversiegelt. Die Ableiter meist auf der gegenüberliegenden Seite aus der Folie raus.

- ### Herausforderungen
- Materialkompatibilität:** An den Fügstellen muss auf die Verträglichkeit der zu verbindenden Werkstoffe geachtet werden, um den langfristigen Zusammenhalt gewährleisten zu können.
 - Laserschweißen:** Eine flexible Strahlführung und -formung ist eine Prozessanforderung. Gleichzeitig sollte auf eine geringe mechanische und thermische Belastung bei den Schweißvorgängen geachtet werden.
 - Ultraschallschweißen:** Beim Ultraschallschweißen muss auf ein abgestimmtes Parameterset (Frequenz, Amplitude, Druck, Zeit) geachtet werden. Dabei sollte die thermische und mechanische Belastung so gering wie möglich ausfallen.
 - Erhöhung der Tiefziehtiefe:** Durch eine erhöhte Tiefziehtiefe können dickere Zellstapel verpackt werden.
 - Dichtigkeit:** Die Zelle sollte ohne Leckage verpackt werden. Undichtigkeiten führen zu einer Beeinträchtigung der Funktionalität der Pouchzelle. Mögliche Ursachen sind Prozessfehler, Verunreinigungen, etc..



F&E Wissensträger

PEM: Production Engineering of E-Mobility Components

Fraunhofer ICT/FFB

KIT: Karlsruhe Institute of Technology

Prozessparameter & -ausprägungen

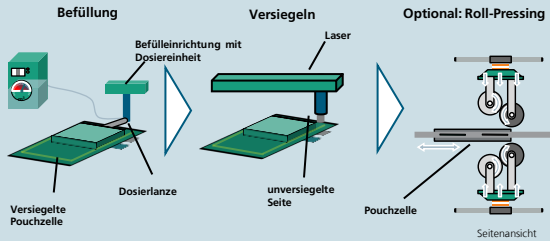
Qualitäts-spezifische Parameter	Übliche Wertekorridore	Messmethoden zur Kontrolle
Thermische Belastung		PTC- und NTC-Thermometer
Siegelnahtbreite		Optische Bildprüfung
Siegeltemperatur		PTC- und NTC-Prüfverfahren
Siegeldruck		Kraftmessung während Versiegelung

Parameter der Prozessführung	Übliche Wertekorridore	Rückkopplung Qualitätsparameter
Tiefziehen	Bis zu max. 10 mm	
Frequenz Ultraschallschweißen	15 kHz bis 40 kHz	
Verpackungsmaterial: Aluminiumverbundfolie		
Tiefziehstempelgeschwindigkeit	50-200 mm/s	

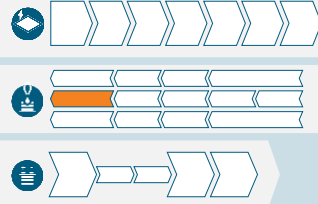
Anforderungen an die Betriebsumgebung	Ausprägungen	Implikationen für den Prozess
	Mind. ISO 7	Reinraum
	-40°C bis -50°C	Trockenraum
Temperatur	22°C ± 2°C	
Relative Luftfeuchtigkeit	< 1%	

„Befüllung des Zellgehäuses mit Elektrolytflüssigkeit“

Übersicht



Fertigungskette



Prozessbeschreibung

Verpacken:

Unterbringung der kontaktierten Elektrodenstapel in tiefgezogener Pouchfolie.

Elektrolytbefüllung:

Befüllung

Versiegelung

Unter Vakuum wird die Pouchzelle von der unversiegelten Seite mit einer Dosierlanze mit Elektrolyt befüllt.

Anschließend folgt die Versiegelung der Befüllseite mittels Laser.

Zellfinalisierung:

Formierung einzelner Zellen in Warenträgern zu einer Gesamtzelle, sowie anschließende Qualitätsprüfung und Testing.

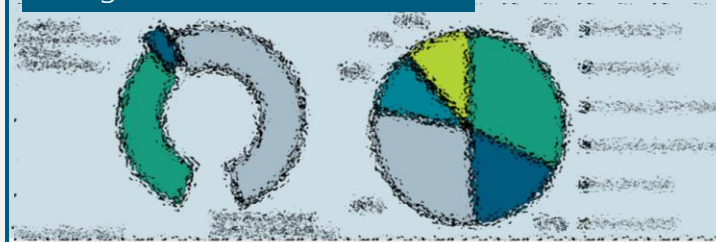
Ziele und Motivation

Der Elektrolyt hat in der Batteriezelle die Aufgabe den Ionenfluss sicherzustellen. Dazu muss Kontakt zu den Elektrodenoberflächen bestehen und der Separator muss durchdringbar sein.

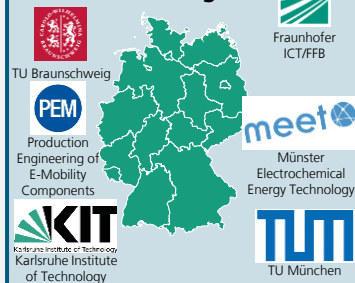
Herausforderungen

- **Dosiergenauigkeit:** Die Dosiergenauigkeit ist ein kritischer Prozessparameter und hat Einfluss auf die Qualität der Batteriezelle und die homogene Verteilung von Elektrolyt. Durch die Dosiergenauigkeit können Verunreinigungen und inaktive Bereiche zum Teil vermieden werden.
- **Positioniergenauigkeit der Dosierlanze:** Die genaue Positionierung der Lanze hat einen maßgeblichen Einfluss auf mögliche Elektrolytverunreinigungen der Verpackung während des Befüllprozesses.
- **Erhöhte Sicherheitsmaßnahmen:** Während der Befüllung mit Elektrolyt steigt die Brandgefahr, sodass eine Löschanlage notwendig ist.
- **Reaktion von Elektrolyt mit Feuchtigkeit:** Kommt es zu einer Reaktion zwischen Elektrolyt und Wasser kann die Leitfähigkeit, Kapazität und Energiedichte beeinträchtigt werden. Diese kann bereits durch die Zuführung von Inertgasen verringert werden.
- **Dichtigkeit:** Die Versiegelung bildet den finalen Schritt der Elektrolytbefüllung ab. Bei Undichtigkeiten kommt es zu einer Beeinträchtigung der Funktionalität der Pouchzelle. Mögliche Ursachen sind Prozessfehler, Verunreinigungen, etc..

Energieaufwand und Kosten*



F&E Wissensträger



Prozessparameter & -ausprägungen

Qualitätsspezifische Parameter



Qualitätsparameter des Prozessproduktes	Übliche Wertekorridore	Messmethoden zur Kontrolle
Dosierung		Dosierpumpe
Verteilungsgenauigkeit	≤ 1% oder ≤ ± 0,12g	
Dichtigkeit der Zelle		Schnüffeltest, Karl-Fischer Titration
Elektrolytmenge		Differenzmessung; Volumenstrom; Kalorimetrische Messung
Elektrolyttemperatur		PTC- und NTC-Thermometer

Prozessspezifische Parameter



Parameter der Prozessführung	Übliche Wertekorridore	Rückkopplung Qualitätsparameter
Geometrie der Dosierlanze		
Arbeitsdruck	ca. 150 mbar	
Homogenität der Befüllung		

Betriebsumgebung



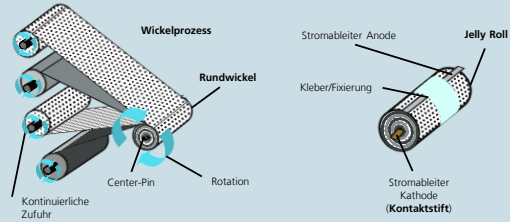
Anforderungen an die Betriebsumgebung	Ausprägungen	Implikationen für den Prozess
	Mind. ISO 7 -50°C bis -70°C	Reinraum Trockenraum
Temperatur	22°C ± 2°C	
Relative Luftfeuchtigkeit	<< 1%	



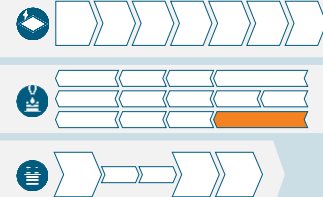
Zylindrische Zellen

„Sortiertes Aufwickeln der einzelnen Elektroden- sowie Separatorfolie“

Übersicht



Fertigungskette

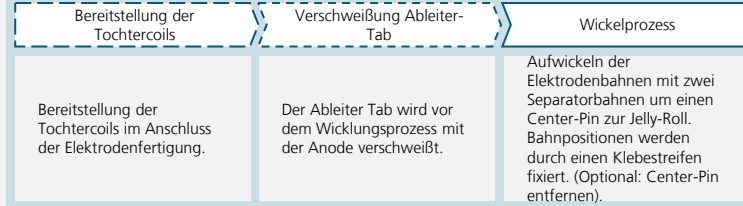


Prozessbeschreibung

Elektrodenfertigung:

Herstellung der Elektrodenfolien für Kathode und Anode sowie Aufwickeln zu einzelnen Rollen.

Wickeln:



Kontaktieren:

Jelly-Roll wird in ein Isolationsfolie gehüllt und in einem prismatischen Metallgehäuse eingebracht, welches durch einen Laser versiegelt wird.

Ziele und Motivation

Beim Wickeln werden die Elektrodenbahnen mit zwei Separatorbahnen um einen Center-Pin gewickelt. Die Bahnreihenfolge ist dabei Anode, Separator, Kathode, Separator.

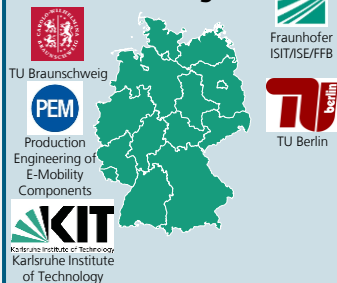
Herausforderungen

- Wickelgenauigkeit:** Die Genauigkeit bei der Positionierung und Ausrichtung der Elektroden- und Separatorbahnen ist ein entscheidendes Qualitätskriterium.
- Beschädigungsfreiheit:** Während des Wickelprozesses ist auf die Unversehrtheit der Elektrodenoberflächen und Elektrodenkanten zu achten.
- Elektrostatische Aufladung:** Sollte es zur elektrostatischen Aufladung kommen, hat das negative Folgen für die Qualität. So könnte es durch elektrische Schläge zu Gasentladung, lokaler Erwärmung, Beschichtungsfehlern u.v.a.m. führen.
- Handhabung der Sheets:** Die Greiftechnik, sowie die Überprüfung der Anzahl der einzelnen Sheets stellt eine große prozessseitige Herausforderung dar.
- Steigerung des Maschinendurchsatzes:**
- Erhöhung des Wickeldurchmessers:** Trägt zur Bereitstellung größerer Jelly-Rolls bei.
- Funktionsintegration:** Durch die Entnahmemöglichkeit des Center-Pins könnten Funktionen integriert werden. Ein Beispiel wäre Wärmeabfuhr.

Energieaufwand und Kosten*



F&E Wissensträger



Prozessparameter & -ausprägungen

Qualitätsspezifische Parameter



Qualitätsparameter des Prozessproduktes	Übliche Wertekorridore	Messmethoden zur Kontrolle
Wickelgeschwindigkeit		
Bahnspannung		
Elektrostat. Aufladung	Keine oder über Erdung abgeführt	
Wickelpräzision		Optische Messverfahren
Wickelgeometrie (Länge, Durchmesser, Rundheit)		Optische Messverfahren
Partikelkontamination	Partikel >20 µm	

Prozessspezifische Parameter



Parameter der Prozessführung	Übliche Wertekorridore	Rückkopplung Qualitätsparameter
Maschinendurchsatz	Bis zu 30 Zellen/Minute	
Reinigungseinheiten		
Anzahl der Wickelungen	Üblich sind ca. 120	Über optische oder gravimetrische Kontrollen

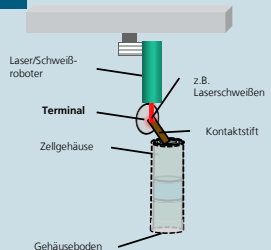
Betriebsumgebung



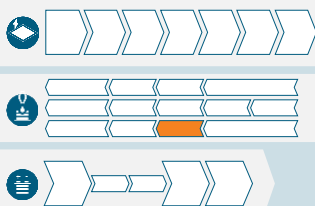
Anforderungen an die Betriebsumgebung	Ausprägungen	Implikationen für den Prozess
	mind. ISO 7	Reinraum
	-40°C bis -50°C	Trockenraum
Temperatur	22°C ± 2°C	
Relative Luftfeuchtigkeit	< 1%	

„Kontaktierung der Ableiter jeweils für Anoden- und Kathodensheets im Stapel“

Übersicht



Fertigungskette



Prozessbeschreibung

Wickeln:

Kompaktes Aufwickeln der Elektrodenbahnen getrennt durch die Separatorfolie sowie deren Fixierung zur Herstellung der Jelly-Roll.

Kontaktieren:

Kontaktieren Anode	Vorbereiten Kathodenkontaktierung	Kontaktieren der Kathode
Platzierung des Isolatorrings auf Oberseite des Zellwickels. Überstülpen des Gehäuses, mit Isolatorring am Boden. Widerstandsschweißen sorgt für Befestigung des Anoden-Tabs am Boden.	180° Drehung des Zellbechers. Auf der Oberseite wird ein Isolatorring platziert. Bei konischer Öffnung des Gehäuses wird Rundkneten angewandt.	Einbringen einer Wulst in das Gehäuse durch Bördeln. Die Kathode wird mit Laserschweißen mit der Deckelbaugruppe verbunden.

Verpacken:

Jelly-Roll wird in ein Isolationsfolie gehüllt und in einem prismatischen Metallgehäuse eingebracht, welches durch einen Laser versiegelt wird.

Ziele und Motivation

Mittels eines Schweißprozesses erfolgt die Verbindung der Anoden- und Kathodenableiter mit den Zellfähnchen des Zellstapels. Durch diesen Prozessschritt wird die Möglichkeit zur Stromführung geschaffen.

Herausforderungen

- Materialkompatibilität:** An den Fügestellen muss auf die Verträglichkeit der zu verbindenden Werkstoffe geachtet werden, um den langfristigen Zusammenhalt gewährleisten zu können.
- Belastung während der Schweißprozesse:** Die thermische und mechanische Belastung der Fügestellen sollte so gering wie möglich ausfallen, um eventuellen Materialfehlern oder Verbindungsfehlern vorzubeugen.
- Kontaminationsfreiheit:** Während der Laserschweißprozesse muss auf die Unversehrtheit sowie die Reinheit der Elektroden sheets geachtet werden, um mögliche negative Auswirkungen auf die Funktion zu vermeiden. Eine mögliche Lösung bilden Reinigungssysteme, welche auf den Schweißprozess folgen.

Energieaufwand und Kosten*



F&E Wissensträger

TU Braunschweig

PEM Production Engineering of E-Mobility Components

Fraunhofer ICT/ALT/FFB

KIT Karlsruhe Institute of Technology

Prozessparameter & -ausprägungen

Qualitätsspezifische Parameter

Qualitätsparameter des Prozessproduktes	Übliche Wertekorridore	Messmethoden zur Kontrolle
Zugfestigkeit der Schweißverbindungen		Zugversuche
Elektrische Leitfähigkeit (Verbindung)		Widerstandsmessung
Partikelkontamination	Partikel >20 µm	

Prozessspezifische Parameter

Parameter der Prozessführung	Übliche Wertekorridore	Rückkopplung Qualitätsparameter
Schweißleistung, -temperatur, -zeit		
Position Schweißelektrode		

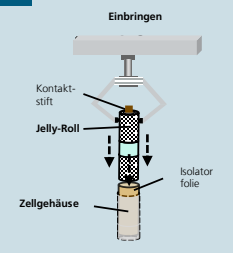
Betriebsumgebung

Anforderungen an die Betriebsumgebung	Ausprägungen	Implikationen für den Prozess
	mind. ISO 7	Reinraum
	-40°C bis -50°C	Trockenraum
Temperatur	22°C ± 2°C	
Relative Luftfeuchtigkeit	< 1%	

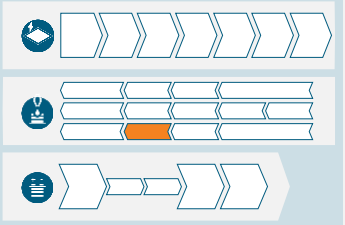
Bei der zylindrischen Zelle verschimmen die Prozessschritte Verpacken und Kontaktieren und finden alternierend statt.

„Verpacken der Rundzelle in Isolatorfolie und Zellgehäuse“

Übersicht



Fertigungskette



Prozessbeschreibung

Kontaktieren:
Kompaktes Aufwickeln der Elektrodenbahnen getrennt durch die Separatorfolie sowie deren Fixierung zur Herstellung der Jelly-Roll.

Verpacken:

Gehäuse und Zellwickel	Wulst einbringen	Deckel anbringen
Das Zellgehäuse wird über den Zellwickel in Isolatorfolie mit Isolatorring gestülpt und anschließend um 180° gedreht.	(Optional bei konischer Öffnung des Gehäuses: Öffnungswinkels anpassen mittels Rundkneten). Durch Bördeln wird eine Wulst in das Gehäuse zur Versiegelung der Zelle eingebracht.	Der Deckel wird zur Kontaktierung an den Kathoden-Tab geschweißt. Nach der Elektrolytbefüllung erfolgt die Versiegelung über die Wulst.

Elektrolytbefüllung:

Jelly-Roll wird in ein Isolationsfolie gehüllt und in einem prismatischen Metallgehäuse eingebracht, welches durch einen Laser versiegelt wird.

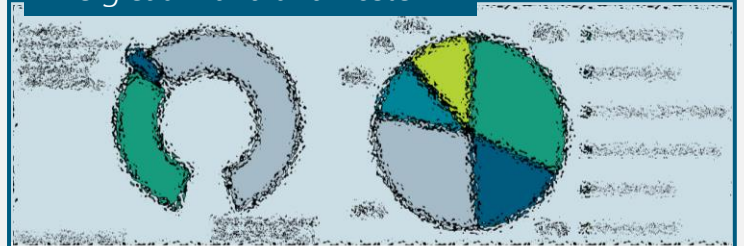
Ziele und Motivation

Durch die Verpackung in Isolationsfolie soll der Zellwickel vor Kontakteinflüssen mit dem Gehäuse geschützt werden. Das Gehäuse wiederum schützt vor Umwelteinflüssen.

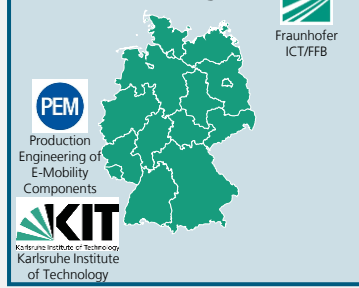
Herausforderungen

- Materialkompatibilität:** An den Fugstellen muss auf die Verträglichkeit der zu verbindenden Werkstoffe geachtet werden, um den langfristigen Zusammenhalt gewährleisten zu können.
- Laserschweißen:** Eine flexible Strahlführung und -formung ist eine Prozessanforderung. Gleichzeitig sollte auf eine geringe mechanische und thermische Belastung bei den Schweißvorgängen geachtet werden.
- Ultraschallschweißen:** Beim Ultraschallschweißen muss auf ein abgestimmtes Parameterset (Frequenz, Amplitude, Druck, Zeit) geachtet werden. Dabei sollte die thermische und mechanische Belastung so gering wie möglich ausfallen.
- Kontaminationsfreiheit:** Während der Laserschweißprozesse muss auf die Unversehrtheit sowie die Reinheit der Elektroden sheets geachtet werden, um mögliche negative Auswirkungen auf die Funktion zu vermeiden. Eine mögliche Lösung bilden Reinigungssysteme, welche auf den Schweißprozess folgen.

Energieaufwand und Kosten*



F&E Wissensträger



Prozessparameter & -ausprägungen

Qualitätsspezifische Parameter



Qualitätsparameter des Prozessproduktes	Übliche Wertekorridore	Messmethoden zur Kontrolle
Elektrischer Innenwiderstand		Elektrisches Messverfahren
Isolation zum Gehäuse		Spannungsmessung
Dichtigkeit der Zelle		Schnüffeltest
Handlung der Wickel		

Prozessspezifische Parameter



Parameter der Prozessführung	Übliche Wertekorridore	Rückkopplung Qualitätsparameter
Schweißparameter		
Flexible Handhabung des Laserstrahls		
Positionierung der Komponenten		

Betriebsumgebung

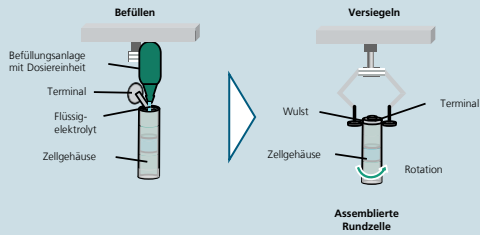


Anforderungen an die Betriebsumgebung	Ausprägungen	Implikationen für den Prozess
	mind. ISO 7	Reinraum
	-40°C bis -50°C	Trockenraum
Temperatur	22°C ± 2°C	
Relative Luftfeuchtigkeit	< 1%	

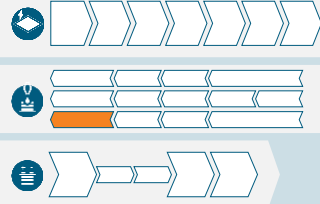
Bei der zylindrischen Zelle verschimmen die Prozessschritte Verpacken und Kontaktieren und finden alternierend statt.

„Befüllung des Zellgehäuses mit Elektrolytflüssigkeit“

Übersicht



Fertigungskette



Prozessbeschreibung

Verpacken:

Jelly-Roll wird in ein Isolationsfolie gehüllt und in einem prismatischen Metallgehäuse eingebracht, welches durch einen Laser versiegelt wird.

Elektrolytbefüllung:

Befüllung

Versiegelung

Die teilassemblierten Zellen werden mit Elektrolytlösung befüllt. Dabei wird Inertgas bzw. hochtrockene Atmosphäre zugeführt.

Anschließend wird die Deckelbaugruppe auf den gebördelten Zellbecher gecrimpt und die zylindrische Zelle somit verschlossen.

Zellfinalisierung:

Formierung einzelner Zellen in Warenträgern zu einer Gesamtzelle, sowie anschließende Qualitätsprüfung und Testing.

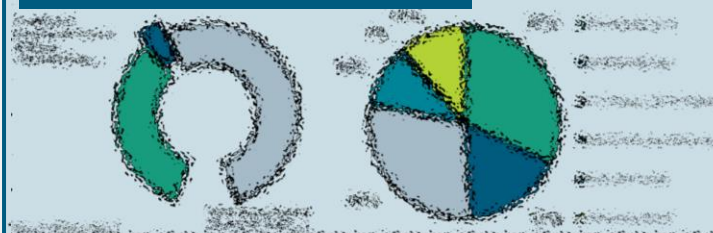
Ziele und Motivation

Der Elektrolyt hat in der Batteriezelle die Aufgabe den Ionenfluss sicherzustellen. Dazu muss Kontakt zu den Elektrodenoberflächen bestehen und der Separator muss durchdringbar sein.

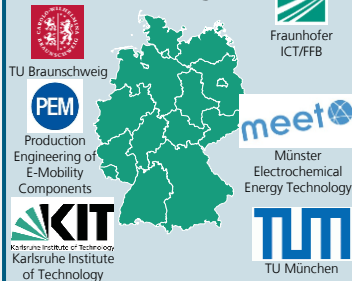
Herausforderungen

- **Dosiergenauigkeit:** Die Dosiergenauigkeit ist ein kritischer Prozessparameter und hat Einfluss auf die Qualität der Batteriezelle und die homogene Verteilung von Elektrolyt. Durch die Dosiergenauigkeit können Verunreinigungen und inaktive Bereiche zum Teil vermieden werden.
- **Positioniergenauigkeit der Dosierlanze:** Die genaue Positionierung der Lanze hat einen maßgeblichen Einfluss auf mögliche Elektrolytverunreinigungen der Verpackung während des Befüllprozesses.
- **Erhöhte Sicherheitsmaßnahmen:** Während der Befüllung mit Elektrolyt steigt die Brandgefahr, sodass eine Löschanlage notwendig ist.
- **Reaktion von Elektrolyt mit Feuchtigkeit:** Kommt es zu einer Reaktion zwischen Elektrolyt und Wasser kann die Leitfähigkeit, Kapazität und Energiedichte beeinträchtigt werden. Diese kann bereits durch die Zuführung von Inertgasen verringert werden.

Energieaufwand und Kosten*



F&E Wissensträger



Prozessparameter & -ausprägungen

Qualitäts-spezifische Parameter



Qualitätsparameter des Prozessproduktes	Übliche Wertekorridore	Messmethoden zur Kontrolle
Dosierung		Dosierpumpe
Verteilungsgenauigkeit	≤ 1% oder ≤ ± 0,12g	
Dichtigkeit der Zelle		Schnüffeltest, Karl-Fischer Titration
Elektrolytmenge		Differenzmessung; Volumenstrom; Kalorimetrische Messung
Elektrolyttemperatur		PTC- und NTC-Thermometer

Prozess-spezifische Parameter



Parameter der Prozessführung	Übliche Wertekorridore	Rückkopplung Qualitätsparameter
Geometrie der Dosierlanze		
Arbeitsdruck	Ca. 150 mbar	Drucksensork
Homogenität der Befüllung		

Betriebs-umgebung



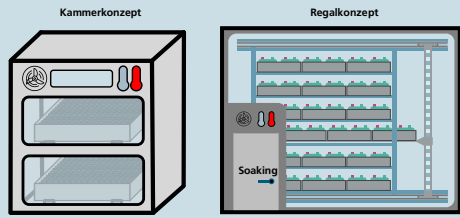
Anforderungen an die Betriebsumgebung	Ausprägungen	Implikationen für den Prozess
	Mind. ISO 7 -50°C bis -70°C	Reinraum Trockenraum
Temperatur	22°C ± 2°C	
Relative Luftfeuchtigkeit	< 1%	



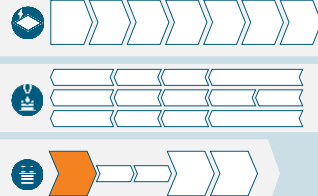
Zellfinalisierung

„Homogene Elektrolytverteilung“

Übersicht



Fertigungskette

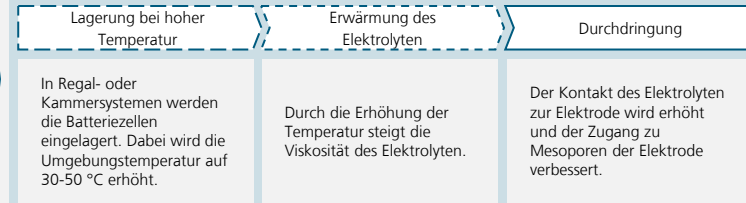


Prozessbeschreibung

Assemblierung:

Kombination der gefertigten Elektrodenfolie mit Separator-Folie zum finalen Zell-Stapel, gefolgt von der Zellverpackung und anschließender Elektrolytbefüllung.

Vorbehandlung:



Formierung:

Der erste Be- und Entladeprozess der neuen Zellen.

Ziele und Motivation

Die Vorbehandlung der Zelle soll die Benetzung der Elektroden fördern und zur Verhinderung inaktiver Bereiche beitragen.

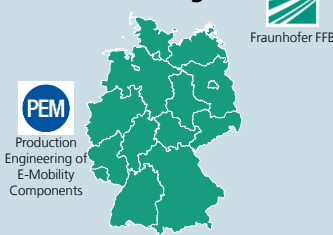
Herausforderungen

- **Messtechnik:** Eine passende Inline-Messtechnologie zur Benetzungsgradmessung in den Prozess zu etablieren.
- **Raumausnutzung:** Ein hoher Grad der Ausnutzung in den jeweiligen Regalen oder Kammern, bietet die Möglichkeit flächeneffizient zu arbeiten. Dabei müssen die Anbindungspunkte der Kontaktierung zugänglich bleiben und die Kühlsysteme müssen die Zellen weiterhin temperieren können.
- **Bewegung der Zellen:** Während des Handlings erfolgt ein hoher Aufwand zur Balancierung der einzelnen Zellen. Begründung hierfür ist die Bewegungsmöglichkeit der Zellen während des Prozesses.
- **Sicherheit:** Das Material und das Layout sollten einen ersten Schutz gegenüber Bränden und Explosionen darstellen. Gleichzeitig sollten entsprechende Brandschutz- und Löschsysteme vorgesehen werden.

Energieaufwand und Kosten*



F&E Wissensträger



Prozessparameter & -ausprägungen

Qualitätsspezifische Parameter



Qualitätsparameter des Prozessproduktes	Übliche Wertekorridore	Messmethoden zur Kontrolle
Homogene Elektrolytverteilung		

Prozessspezifische Parameter



Parameter der Prozessführung	Übliche Wertekorridore	Rückkopplung Qualitätsparameter
Temperaturbereich	30-50°C (homogen)	
Einwirkdauer	≤ 24 Std.	
Reduzierte Viskosität des Elektrolyten		

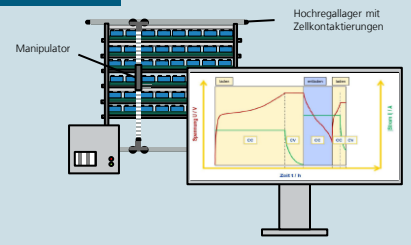
Betriebsumgebung



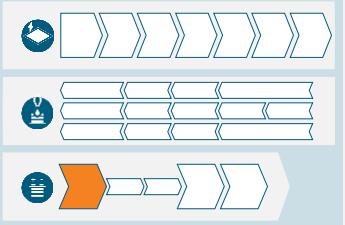
Anforderungen an die Betriebsumgebung	Ausprägungen	Implikationen für den Prozess

„Erstes Be- und Entladen der Zelle“

Übersicht



Fertigungskette



Prozessbeschreibung

Assemblierung:

Kombination der gefertigten Elektrodenfolie mit Separator-Folie zum finalen Zell-Stapel, gefolgt von der Zellverpackung und anschließender Elektrolytbefüllung.

Formierung:

Einbringung in Hochregal	Initialer Ladevorgang	Finalisierung des Formierprogramms
Zur Formation werden die Zellen liegend oder stehend in Spezialwarenrägern in Formationsregale geführt und durch Federkontaktstifte kontaktiert.	Erster Ladevorgang: ca. 0,1-0,5 C; State Of Charge (SOC) ca. 90 %.	Sukzessive Steigerung der C-Raten mit jedem Lade- und Entladezyklus.

Entgasung:

Durch das erste Be- und Entladen der Batteriezellen kommt es zu Gasentwicklung. Bei der Entgasung wird dieses Gas abgesaugt.

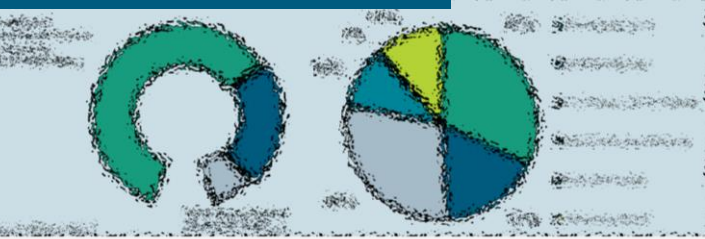
Ziele und Motivation

Die Formation bezeichnet die ersten Lade- und Entladevorgänge der Batteriezelle. Ziel der Formierung ist die Bildung einer homogen und gut ausgebildeten „Solid Elektrolyte Interphase“ (SEI) zwischen Elektroden und Elektrolyt.

Herausforderungen

- **Einheitlichkeit der Batteriezellen:** 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 Kern-Know-How eines Zellherstellers dar.
- **Interpretation der Daten:** Durch die Auswertung der spezifischen Parameter, wie etwa Widerstand, Impedanz und Kapazität über Zeit, können Rückschlüsse auf die Stabilität und Qualität der Produktionsprozesse gezogen werden.
- **Einstellung der Formierungsparameter:** Mittels genauer und konstanter Formierungsparameter kann die Zell-Performance beeinflusst werden. Durch die Bildung der SEI während der Formierung wird Qualität der Batteriezelle maßgeblich beeinflusst.

Energieaufwand und Kosten*



F&E Wissensträger

TU Braunschweig

PEM Production Engineering of E-Mobility Components

Fraunhofer ISE/FFB

Prozessparameter & -ausprägungen

Qualitätsspezifische Parameter



Qualitätsparameter des Prozessproduktes	Übliche Wertekorridore	Messmethoden zur Kontrolle
Ausbildung der SEI-Schicht		Mittels Formier- und Messequipment
Zeitliche Stabilität SEI-Schicht		
Innenwiderstand		Messung Spannungs- und Strommessgerät
Kapazität der Zelle		Impedanz Tracking
Zelltemperatur		PTC- und NTC-Thermometer

Prozessspezifische Parameter



Parameter der Prozessführung	Übliche Wertekorridore	Rückkopplung Qualitätsparameter
Erster Ladevorgang	ca. 0,1-0,5 C	
Formierungszeit	≤ 15 Std.	
Übergangswiderstand Federkontaktstifte		
Strom-Spannungsprofil		
Beschädigungsfreiheit		

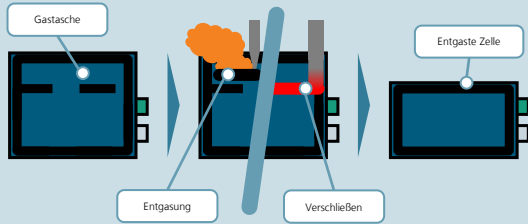
Betriebsumgebung



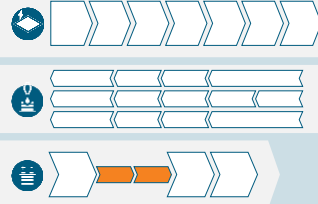
Anforderungen an die Betriebsumgebung	Ausprägungen	Implikationen für den Prozess
Umgebungstemperatur	20-60 °C	
Atmosphäre		Prozessführung ggf. unter Einsatz von Schutzgas oder reduziertem Sauerstoffgehalt
Relative Luftfeuchtigkeit	45% ± 15%	
Umgebungstemperatur	20-60 °C	

„Entfernen des Formierungsgases zur Verhinderung des Aufblähens“

Übersicht



Fertigungskette



Prozessbeschreibung

Formierung:

Der erste Be- und Entladeprozess der neuen Zellen.

Entgasung:

Entgasung prismatische Zelle

Über das Ventil der prismatischen Zelle erfolgt die Entgasung unter Vakuum-Beaufschlagung. Die Zelle wird im Anschluss versiegelt. (Optional: Befüllen mit Additiven).

Entgasung Pouchzelle

Das entstehende Gas wird in einer Gastasche gesammelt. Die Gastasche wird im Vakuum angestochen und das Gas wird abgesaugt. Es folgt die Versiegelung der Zelle.

Abtrennen Gastasche

Nach dem Versiegeln wird die Gastasche abgetrennt und als Sondermüll entsorgt. Bei kleineren Taschen entfällt das Abtrennen. (Optional: Falten und Verkleben der Siegelränder).

Reifung:

Die Reifung stellt den ersten Teil der End-of-Line-Tests dar und dient der Qualitätskontrolle der produzierten Batteriezellen.

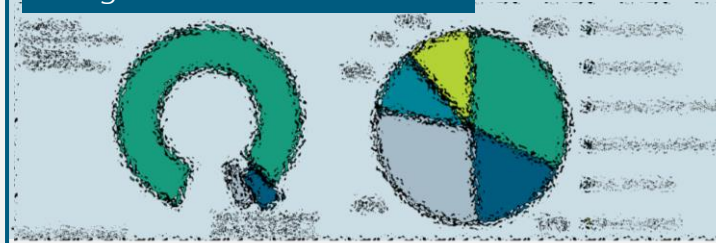
Ziele und Motivation

Ausgelöst durch den ersten Ladevorgang entstehen in prismatischen Zellen und Pouchzellen Gase. Die entstehenden Gase werden aus der Zelle evakuiert. Bei kleinen und zylindrischen Zellen entfällt dieser Prozessschritt.

Herausforderungen

- **Zylindrische Zellen:** Sollten die zylindrischen Zellen größer werden, müsste ebenfalls eine Entgasungsstrategie entwickelt werden, um dem Aufblähen der Batteriezellen entgegenzuwirken.
- **Arbeits- und Umweltschutz:** Gegebenenfalls müssen abgesaugte Gase nachbehandelt werden, bevor diese dem Abluftsystem zugeführt werden. Eine Möglichkeit bildet eine regenerative thermische Verbrennung.
- **Auslegung der Gastaschen:** Für einen sauberen Entgasungsprozess muss die Gastasche entsprechend der entstehenden Menge an Gas konstruiert werden. Bei unzureichendem Volumen kann es zu Explosionen oder Rissen kommen und somit zu Verunreinigungen der Anlage.

Energieaufwand und Kosten*



F&E Wissensträger



Production Engineering of E-Mobility Components



Prozessparameter & -ausprägungen

Qualitätsspezifische Parameter



Qualitätsparameter des Prozessproduktes	Übliche Wertekorridore	Messmethoden zur Kontrolle
Restgas im Zellinnern (druck)	< 50 mbar	Archimedes Methode
Beschädigungsfreiheit durch Gas		Optische Prüfverfahren
Reinheit der Siegelnaht	Partikel >20 µm	

Prozessspezifische Parameter



Parameter der Prozessführung	Übliche Wertekorridore	Rückkopplung Qualitätsparameter
Pouchzelle: Temperatur Siegelbalken	160-240 °C	
Pouchzelle: Druck Siegelbalken	0,2-0,9 N/mm ²	
Entgasung	≤ 0,5 Std.	

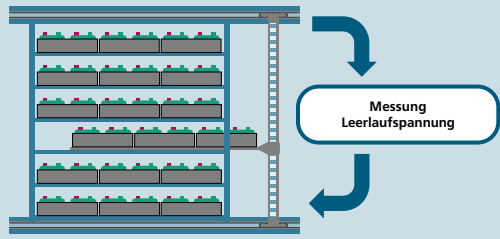
Betriebsumgebung



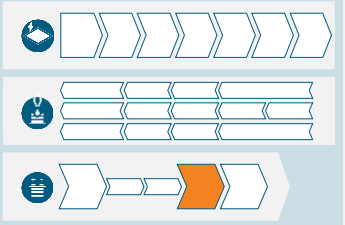
Anforderungen an die Betriebsumgebung	Ausprägungen	Implikationen für den Prozess
Temperatur	22°C ± 5 °C	
Relative Luftfeuchtigkeit	45% ± 15%	

„Bestimmung der Zellqualität“

Übersicht



Fertigungskette



Prozessbeschreibung

Entgasung :
Durch das erste Be- und Entladen der Batteriezellen kommt es zu Gasentwicklung. Bei der Entgasung wird dieses Gas abgesaugt.

Reifung:

Hochtemperatur-Reifung	Regelmäßige Messungen	Raumtemperatur-Reifung
Die Batteriezellen werden in Alterungsregalen bei hohen Temperaturen von 30-50 °C gelagert.	Die regelmäßige Bestimmung der Selbstentladerate durch die Messung der Leerlaufspannung (OCV) gibt Aufschluss ob die Zelle i.O. ist.	Die Batteriezellen werden in Alterungsregalen bei Raumtemperatur (20-25 °C) gelagert.

End-of-Line-Kontrolle:

Die End-of-Line-Kontrolle stellt den letzten Schritt der Fertigung dar und beschreibt die Qualitätskontrolle.

Ziele und Motivation

Als Reifung wird die stromlose Lagerung der Zelle bezeichnet. Dieser Schritt dient der Bestimmung der Zellqualität und ist Teil des End-of-Life-Kontrolle.

Herausforderungen

- Einheitlichkeit:** Der Reifungsprozess unterscheidet sich je nach Zellhersteller und Zellchemie in Bezug auf Abfolge der HT-/RT-Reifung und der Dauer.
- Dauer der Reifung:** Der hohe zeitliche Aufwand der Reifung sorgt für einen erhöhten Flächenbedarf und einen erhöhten logistischen Lageraufwand. In Zukunft soll der Reifungsprozess und die notwendige Messtechnologie zur Qualitätserkennung in mögliche frühere Prozessschritte integriert werden.

Energieaufwand und Kosten*



F&E Wissensträger

Prozessparameter & -ausprägungen

Qualitätsspezifische Parameter

Qualitätsparameter des Prozessproduktes	Übliche Wertekorridore	Messmethoden zur Kontrolle
Max. Spannungsverlust	ca. 5 mV pro Woche	OCV-Messung

Prozessspezifische Parameter

Parameter der Prozessführung	Übliche Wertekorridore	Rückkopplung Qualitätsparameter
Lagerzeitraum	≤ 3 Wochen	Labeling/Tracking
Raumtemperatur	20-25 °C	Messfühler
Hochtemperatur	30-50 °C	Messfühler
Ladezustand zu Beginn	30-80 % State of Charge	OCV-Messung
Genauigkeit OCV-Messung	+/- 2mV	

Betriebsumgebung

Anforderungen an die Betriebsumgebung	Ausprägungen	Implikationen für den Prozess
Temperatur	22°C ± 5 °C	
Relative Luftfeuchtigkeit	45% ± 15%	

„Finale Qualitätskontrolle“

Übersicht

Fertigungskette

Prozessbeschreibung

Reifung:
Die Reifung stellt den ersten Teil der End-of-Line-Tests dar und dient der Qualitätskontrolle der produzierten Batteriezellen.

End-of-Line (EoL)-Kontrolle:

Zuführung der Zellen	Durchführung der Kontrolle	Optional: Grading
Die Zellen werden aus den Alterungsregalen entnommen und den EoL-Kontrollen zugeführt.	Die EoL-Kontrolle beschreibt Tests, wie etwa Pulstest, Innenwiderstandsmessung, Leerlaufspannungsmessung, Kapazitäts- und Dichtheitstests und optische Inspektion. Im Anschluss werden die Zellen entladen.	Zellen ohne Makel werden entsprechend ihrer Leistungsdaten sortiert.

Verpackung und Versand:

Nach bestehen der EoL-Kontrolle erfolgt die Verpackung für den Transport. Die Zellen werden häufig durch Kunststoffabdeckungen geschützt und in einem Pappkarton gestapelt.

Ziele und Motivation

Die EoL-Kontrolle ist die finale Qualitätsüberwachung der Batteriezellfertigung. Dabei wird eine Reihe elektrischer, mechanischer und optischer Prüfungen durchgeführt. Die EoL-Kontrolle stellt sicher, dass die Funktionsfähigkeit und Sicherheit der Batteriezellen gewährleistet ist.

Energieaufwand und Kosten*

Prozessparameter & -ausprägungen

Qualitäts-spezifische Parameter	Übliche Wertekorridore	Messmethoden zur Kontrolle
Selbstentladung	< 10 mV	Messung aus Spannungsverlauf
Innenwiderstand	± 1 %	Berechnung aus Lade- und Entladekurve
Konstante Kapazität	± 2 %	Impedanz Tracking

Parameter der Prozessführung	Übliche Wertekorridore	Rückkopplung Qualitätsparameter
Zul. Verlustrate	< 5 mV pro Woche	

Anforderungen an die Betriebsumgebung	Ausprägungen	Implikationen für den Prozess
Temperatur	22°C ± 5 °C	
Relative Luftfeuchtigkeit	45% ± 15%	

Herausforderungen

- Verlagerung:** Die Auslagerung der EoL-Kontrolle in vorgelagerte Prozessschritte bietet das Potential die Durchlaufzeiten zu verkürzen.
- Einheitlichkeit:** Die EoL-Kontrolle beinhaltet je nach Hersteller unterschiedliche Tests und ist somit kein Standardverfahren.

F&E Wissensträger