

---

## Abschlussbericht

### Verbundprojekt Fab4LIB

„Erforschung von Maßnahmen zur Steigerung der Material- und Prozesseffizienz in der Lithium-Ionen-Batteriezellproduktion über die gesamte Wertschöpfungskette“

### Teilprojekt Manz AG:

„F&E von zylindrischen Zellen und Pouch-Zellen zur wirtschaftlichen Batteriezellfertigung bei geringen und mittleren Stückzahlen und hoher Variantenvielfalt“

---

Zuwendungsempfänger:  
**Manz AG**  
**Steigäckerstr. 5**  
**72768 Reutlingen**

Förderkennzeichen:  
**03XP0142N**



Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt beim Autor

## Inhaltsverzeichnis

1	Kurze Darstellung.....	1
1.1	<b>Aufgabenstellung</b> .....	1
1.2	<b>Voraussetzungen, unter denen das Vorhaben durchgeführt wurde</b> .....	3
1.3	<b>Planung und Ablauf</b> .....	3
1.4	<b>Wissenschaftlicher und technischer Stand, an den angeknüpft wurde</b> .....	6
1.5	<b>Zusammenarbeit mit anderen Stellen</b> .....	7
2	Eingehende Darstellung .....	8
2.1	<b>Verwendung der Zuwendung und des erzielten Ergebnisses im Einzelnen, mit Gegenüberstellung der vorgegebenen Ziele</b> .....	8
2.2	<b>Positionen des zahlenmäßigen Nachweises</b> .....	32
2.3	<b>Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit</b> .....	32
2.4	<b>Voraussichtlicher Nutzen, insbesondere Verwertbarkeit des Ergebnisses</b> .....	33
2.5	<b>Entwicklungsfortschritt</b> .....	33

## 1 Kurze Darstellung

### 1.1 Aufgabenstellung

Das übergeordnete Ziel des Vorhabens Fab4LiB bestand darin, innovative Maßnahmen und Prozesse zu entwickeln, um eine konkurrenzfähige Fertigung von Lithium-Ionen-Zellen über die gesamte Wertschöpfungskette zu ermöglichen. Hierdurch sollte es auch neugegründeten Unternehmen ermöglicht werden, nach der Planungsphase unmittelbar mit dem Aufbau einer Zellproduktion zu beginnen. Insbesondere die Versorgungssicherheit kleiner und mittelständischer industrieller Unternehmen und der Automobilindustrie mit wettbewerbsfähigen Batteriezellen stand dabei im Vordergrund. Es sollten u. a. die nachstehenden Teilziele erreicht werden:

- Entwicklung eines standardisierten und innovativen Fabriklayouts
- Untersuchung der Einsetzbarkeit von Prozessinnovationen zur Senkung der Investitions- und Betriebskosten
- Entwicklung eines flexiblen Scale-UP Konzeptes
- Erforschung eines nachhaltigen und innovativen Zelldesigns und -chemie
- Berücksichtigung von Recyclingaspekten bei der Zellentwicklung
- Entwicklung und Simulation der Fertigungsprozesse
- Innovatives Qualitätsmanagement unter Industrie 4.0 Gesichtspunkten
- Entwicklung und Integration einer innovativen Variantenfertigung für zukünftige Zell-Geometrien und –Chemien

Für die neuen innovativen Zelldesigns hat Manz eine effiziente und wettbewerbsfähige Fertigungstechnologie für die Massenproduktion zur Herstellung der Zellen erforscht. Ziel war es eine Produktionsmethode zu entwickeln, die die Zellen flexibel mit hoher Taktzahl wirtschaftlich und ressourcenschonend herstellen kann. Dies ist Voraussetzung für eine anschließende wettbewerbsfähige Produktion in Deutschland. Die Aufgabenstellung in diesem Projekt war es Technologien für Pouch-Zellen, zylindrische Zellen und Zellen mit einer hohen Variantenvielfalt zu entwickeln.

Die Manz AG war mit ihrem Teilprojekt „F&E von zylindrischen Zellen und Pouch-Zellen zur wirtschaftlichen Batteriezellfertigung bei geringen und mittleren Stückzahlen und hoher Variantenvielfalt“ maßgeblich an dem Erfolg des Projektes beteiligt. Im Rahmen dieses Teilvorhabens wurden in einer engen Zusammenarbeit mit den Verbundpartner und dem assoziierten Partner folgende wissenschaftliche und technische Arbeitsziele adressiert:

- **Forschung und Entwicklung modifizierter Fertigungsprozesse für die Pouch-Zellfertigung/-assemblierung und deren Evaluierung** zur Steigerung der Wettbewerbsfähigkeit durch größere Zellformate, höhere Produktionsgeschwindigkeit, Qualität und Materialflussoptimierungen, um einen Beitrag zu einer flexiblen Batterieproduktion in Deutschland zu leisten
- **Forschung und Entwicklung von Produktionsprozessen für das Wickeln von 18650/21700-Zellen und deren Evaluierung** zur Steigerung der Wettbewerbsfähigkeit durch höhere Produktionsgeschwindigkeit, Qualität und Materialflussoptimierungen, um einen Beitrag zu einer flexiblen Batterieproduktion in Deutschland zu leisten
- **Konzeptionierung einer kompetitiven Variantenfertigung in Klein- und Mittelseriengröße** zur Auslegung, Skalierung und Projektierung einer variantenreichen Fertigung von Batteriezellen in Deutschland

Die wissenschaftlichen und technischen Arbeitsziele dieses Teilvorhabens ließen sich in die folgenden drei Kategorien Pouch-Zellfertigung/-assemblierung, 18650/21700-Wickler und Konzeptionierung einer kompetitiven Variantenfertigung unterteilen. Die jeweiligen wissenschaftlichen und technischen Arbeitsziele lauteten wie folgt:

1. Pouch-Zellfertigung/-assemblierung  
Ziel war eine Formaterweiterung zur Fertigung von hochqualitativen Pouch-Zellen, die die technischen Anforderungen an heutige und zukünftige Anforderungen an Lithium-Ionen-Zellen, insbesondere durch die E-Mobilität getrieben, erfüllen können sowie höhere Produktionsgeschwindigkeiten, Qualität und Materialflussoptimierungen, um die wirtschaftlichen Anforderungen zu erfüllen, die bereits heutzutage von den Automobilherstellern und Automobilzulieferern gestellt werden und auch zukünftig weiter steigen werden.
2. 18650/21700-Wickler  
Ziel war die Erforschung, die Entwicklung und der anschließende Aufbau eines demonstratorischen 18650/21700-Wicklers mit einer Ausbringung von bis zu 25 Zellen pro Minute, um die Wirtschaftlichkeit bei der Herstellung von 18650/21700-Zellen weiter zu verbessern. Die Manz AG wird damit als einziger Hersteller außerhalb des asiatischen Raums Maschinen und Anlagen für die Herstellung von diesen Rundzellen auf dem freien Markt anbieten.
3. Konzeptionierung einer kompetitiven Variantenfertigung in Klein- und Mittelserien  
Für eine kompetitive Variantenfertigung sollten Konzepte und Prozesse entwickelt werden, die trotz einer hohen Automatisierung eine wirtschaftliche

Batteriezellfertigung am Standort Deutschland ermöglichen. Neben Konzepten die flexible „Formatteile“ einsetzen und einen geringeren Aufwand für deren Austausch vorsehen und damit schlussendlich zu verkürzten Rüstzeiten führen, sollen die Prozessdesigns des Elektrodenschneidens und der Elektrolytbefüllung so weiterentwickelt werden, dass diese robuster bei der Variantenfertigung sind.

## 1.2 Voraussetzungen, unter denen das Vorhaben durchgeführt wurde

Im Bereich der Produktionslinien und -anlagen bestanden für das Vorhaben nach internen Recherchen keine Schutzrechte. Auch bezüglich einer späteren kommerziellen Verwertung gab es keine Einschränkung durch Schutzrechte Dritter. Eigene Schutzrechte in Zusammenhang mit dem vorgeschlagenen Vorhaben bestanden und bestehen auch weiterhin nicht.

## 1.3 Planung und Ablauf des Vorhabens

Insgesamt war das Projekt in elf Arbeitspakete eingeteilt und auf einen Zeitraum von 18 Monaten angesetzt. Wegen Verzögerungen, die in den Zwischenberichten erläutert wurden, wurde der 31.03.2020 als neuer Endtermin festgelegt. Somit umfasste das Projekt eine Laufzeit von insgesamt 27 Monaten. Die Arbeitspakete lassen sich wie in der folgenden Tabelle darstellen:

Tabelle 1: Übersicht Arbeitspakete

<b>AP1</b> Entwicklung eines standardisierten Fabriklayouts	<b>AP2</b> Entwicklung des Pouch-Zelldesigns	<b>AP3</b> Entwicklung des Pouch-Zellenproduktionsprozesses
<b>AP4</b> Entwicklung des Rundzellen-Designs	<b>AP5</b> Entwicklung des Rundzellen-Produktionsprozesses	<b>AP6</b> Auswahl und Skalierung der Materialien und Komponenten
<b>AP7</b> Entwicklung innovativer Beschichtungsverfahren	<b>AP8</b> Prozesssimulation und Industrie 4.0 in der Batterieproduktion	<b>AP9</b> Recycling und Materialmanagement
<b>AP10</b> <u>Formiersysteme Gen 2</u>		
<b>AP11</b> <u>Konzeptionierung und Teildemonstration einer kompetitiven Variantenfertigung</u>		

Im Rahmen dieses Teilvorhabens wurden Demonstratoren von wettbewerbskritischen Fertigungsschritten der Pouch-Zellfertigung und zum Wickeln von zylindrischen 18650/21700-Zellen erforscht, entwickelt und aufgebaut werden. Zusätzlich wurden die kritischen Prozesse, Elektrodenschneiden und Befüllung von Zellen, in einer Produktion mit hoher Variantenvielfalt konzeptioniert, entwickelt und verifiziert werden. In der folgenden Tabelle 2 sind die Aktivitäten und Arbeitsinhalte sowie die Ziele zusammenfassend dargestellt.

Tabelle 2: Arbeitsschwerpunkte und Ziele

Thema	Ziele
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Zellspezifikationen für Pouch-Zellen und deren Evaluierung und Bewertung</li> <li>• Identifikation von wettbewerbs sensitiven Produktionsprozessen für Pouch-Zellen und Ableiten von Optimierungspotentialen und Erschließung von diesen</li> <li>• Zellspezifikationen für Rundzellen und deren Evaluierung und Bewertung</li> <li>• Identifikation von wettbewerbs sensitiven Produktionsprozessen für Rundzellen und Ableiten von Optimierungspotential und Erschließung von diesen</li> <li>• Forschung und Entwicklung zur Flexibilisierung einer Batteriefertigung mit dem Ziel einer kompetitiven Variantenfertigung</li> </ul>	<p>Verbesserung der Produktionsprozesse für Pouch-Zellen</p> <p>Verbesserung der Produktionsprozesse für Rundzellen</p> <p>Verbesserung der Wirtschaftlichkeit von Produktionsprozessen für kleine und mittlere Stückzahlen</p>

Diese Aufgaben des Teilvorhabens gliederten sich in das Gesamtvorhaben Fab4LIB ein und wurden in den Arbeitspaketen 2, 3, 4, 5 und 11 adressiert. Hierzu ist in Tabelle 3 eine Übersicht mit den Arbeitspaketen, der Intensität und der zeitlichen Abfolge sowie den personellen Ressourcen der Manz AG beschrieben und zusammenfassend dargestellt.

Tabelle 3: Arbeitspakete und deren Inhalte im Forschungsvorhaben

Arbeitspaket	Beschreibung
2	<b>Pouch Zellendesign</b>
2.1	Anforderungsdefinition
2.2	Definition der Pouchzelle
2.3	Testmethoden
2.4	Recycling
2.5	Kostenbewertung
3	<b>Pouch Produktionsprozess</b>
3.1	Definition der Elektrodenfertigung
3.2	Definition der Zellenassemblierung
3.3	Infrastruktur
3.4	Evaluation
4	<b>Rundzellen Design</b>
4.1	Anforderungsdefinition
4.2	Definition der Rundzelle
4.3	Testmethoden
4.4	Recycling
4.5	Kostenbewertung
5	<b>Rundzellen Produktionsprozess</b>
5.1	Definition der Elektrodenfertigung
5.2	Definition des Produktionsprozesses
5.3	Infrastruktur
5.4	Evaluation
11	<b>Konzeptionierung einer kompetitiven Variantenfertigung</b>
11.1	Neuentwicklung eines Konzeptes
11.2	Entwicklung und Demonstration einer Laserschneidanlage
11.3	Entwicklung und Demonstration einer Vakuum-Elektrolytbefüllanlage
11.4	Konzeptüberarbeitungszyklus

## **Meilenstein- und Zeitplan sowie Abbruchkriterien**

Als Startzeitpunkt für das Vorhaben wurde der 1.1.2018 festgelegt. Das Projekt sollte innerhalb von 18 Monaten abgeschlossen werden, wobei wesentliche Meilensteine am 5.10.2018 und am 31.12.2018 zu erreichen waren. Bis zu diesen Meilensteinen sollten die Produkte inklusive ihrer Materialien und Komponenten definiert sein (Meilenstein 1) und die getroffenen Annahmen innovativer Prozesse und Materialien validiert sein (Meilenstein 2). Daran schloss sich ein Optimierungsprozess an (vgl. Abbildung 12 der GVB).

## **Abbruchkriterien**

Das Projekt gliederte sich in zwei Phasen. In Phase 1 wurden für alle Arbeitspakete verschiedene Lösungen evaluiert, bewertet und die jeweiligen Konzepte erarbeitet. Ziel war es, basierend auf diesen Konzepten, in Phase 2 in die Detailausarbeitung und Validierung der Forschungsergebnisse zu gehen.

Ein Abbruchkriterium lag vor, wenn nicht alle Arbeitspakete die geforderten Konzepte vorgelegt und in einem gemeinsamen Meeting vorgestellt wurden. Als Gesamtkoordinator achtete TerraE auf das fokussierte Arbeiten und das Erreichen der Ergebnisse für Phase 1. Es oblag TerraE dem Projektträger in einem Bericht, den erfolgreichen Abschluss von Phase 1 mitzuteilen, um die Fortführung des Projektes zu garantieren.

## **Teilergebnisse für Phase 1**

### **AP2: Pouch Zellendesign**

- Spezifikationen für die Zellen verschiedener Nutzer evaluiert
- Vorauswahl des Zelldesigns abgeschlossen

### **AP3: Pouch Produktionsprozess**

- Nutzung der Ergebnisse von AP2
- Vorauswahl des Produktionsprozesses abgeschlossen

### **AP4: Rundzellen Zellendesign**

- Spezifikationen für die Zellen verschiedener Nutzer evaluiert
- Vorauswahl des Zelldesigns abgeschlossen

### **AP5: Rundzellen Produktionsprozess**

- Nutzung der Ergebnisse von AP4
- Vorauswahl des Produktionsprozesses abgeschlossen

### **AP11: Kompetitive Variantenfertigung**

- Evaluierung verschiedener Variantenfertigungsmöglichkeiten

- Vorauswahl für Sampling von kompetitiver Variantenfertigung für Pouch- und ggf. Rundzellen abgeschlossen

Zusammenfassend ergaben sich für Manz die in der folgenden Tabelle 4 dargestellten Meilensteine in diesem Teilvorhaben.

Tabelle 4: Meilensteinplan für das Teilvorhaben der Manz AG

Meilenstein-Nr.	Ergebnis
1	Die Spezifikationen der zylindrischen Zelle sind erfolgreich definiert und die Vorauswahl der Produktionsprozesse abgeschlossen worden.
2	Die Spezifikationen der Pouch-Zelle sind erfolgreich definiert und die Vorauswahl der Produktionsprozesse abgeschlossen worden.
3	Die Definition der Anforderungen/Spezifikation zur Verbesserung der Wirtschaftlichkeit von kleinen und mittleren Serien ist abgeschlossen.

#### 1.4 Wissenschaftlicher und technischer Stand, an den angeknüpft wurde

Bisher existierten für eine LIB-Produktion eine Vielzahl von Komponenten, die in einer Produktion aneinandergereiht wurden. Diese arbeiteten jedoch meist nicht effizient. Es lag keine genaue Abstimmung der Leistungsdaten vor. An vielen Stellen wurden wichtige Prinzipien der „Lean Production“ verletzt. Dadurch entstanden schwer optimierbare Prozesse und ein reduzierter Output, die die Produktion teuer machten und über vermehrten Ausschuss die Umwelt belasteten. Auch die Steuerung der Maschinen war nicht ausreichend vernetzt. Eine solche Fertigung ist gegen die Konkurrenz speziell aus Fernost nicht wettbewerbsfähig.

Der dazugehörige Stand der Wissenschaft und Technik wurde größtenteils in der Gesamtvorhabenbeschreibung Fab4LIB dargestellt. Der spezifische Stand der Wissenschaft und Technik hinsichtlich der Maschinen- und Anlagentechnologie, der im Rahmen dieses Teilvorhabens adressiert werden sollte, sowie die bisherigen Arbeiten und die Differenzierung zu dem aktuellen Portfolio der Manz AG werden im Folgenden beschrieben.

Der Markt von Maschinen- und Anlagentechnik für das Pouch Backend wurde nahezu ausschließlich von asiatischen Unternehmen bedient. Hierzu zählen u. a. die Unternehmen Sovema, Mtec und YingHe. Daneben gibt es aber noch eine Vielzahl von chinesischen Unternehmen, die ausschließlich den Low-cost-Markt bedienen und eine entsprechend geringe Qualität liefern. Diese Maschinen und Anlagen benötigen eine Vielzahl von manuellen Tätigkeiten, die aufgrund von wirtschaftlichen Gesichtspunkten und sicherheitstechnischen Aspekten nicht für den Einsatz in Deutschland geeignet. Die 18650/21700-Wickler werden ebenfalls von asiatischen Herstellern, wie z. B. Sovema, Wuxi

Lead, YingHe, M-Plus, Nagano oder Kaido, aber auch Panasonic, hergestellt. Weitere europäische oder deutsche Unternehmen, die diese Anlagen auf dem freien Markt anbieten und damit zugänglich für Automobilhersteller machen, gab und gibt es nicht. Da die asiatischen Lösungen sogar bei hohen Stückzahlen eine hohe Anzahl an manuellen Schritten beinhalten, fallen diese bei einer Variantenfertigung noch höher aus. Ein hoher Automatisierungsgrad und damit die Möglichkeit einer kompetitiven Variantenfertigung in Deutschland existierte nicht.

### 1.5 Zusammenarbeit mit anderen Stellen

Zur Zielerreichung waren in diesem Projekt mehrere Partner involviert. Die TerraE Holding GmbH hat hierbei die Projektkoordination übernommen. Die TerraE Holding GmbH ist ein Unternehmen, das den Aufbau und Betrieb einer Groß-Serienproduktion von Lithium Ionen Zellen in Deutschland plant. Der Betrieb der Produktion ist nach dem „Foundry“-Prinzip geplant. Dies bedeutet, dass die Kunden von TerraE ihre Zellen mit eigener IP auf Produktionsanlagen und mit Personal von TerraE fertigen lassen. Die verwendete Technologie basierte auf den verfügbaren innovativsten Lösungen unter Einbeziehung des deutschen Maschinen- und Anlagenbaus. Die zukünftige Wettbewerbsfähigkeit von Elektrochemien wurde durch die Einbeziehung deutscher Forschungsinstitute und Materialhersteller gewährleistet. Ziel war es, bis 2028 eine Produktionskapazität von 34 GWh an mindesten zwei Standorten aufzubauen, und damit Kunden der Segmente Industrie und Automobil mit Rund- und Pouch/prismatischen Zellen zu bedienen.

Die folgende Abbildung 1 zeigt die Konsortialpartner in dem Projekt. Zusätzlich haben die assoziierten Partner bei der Erreichung der Ziele beigetragen.



Abbildung 1: Übersicht Projektpartner Fab4LiB

Die Arbeitsteilung der Verbundpartner ist in den AP-Beschreibungen sowie in der Gesamtvorhabenbeschreibung detailliert dargestellt. Zusammenarbeit mit Dritten wurde nicht geplant.

## 2 Eingehende Darstellung

### 2.1 Verwendung der Zuwendung und des erzielten Ergebnisses im Einzelnen, mit Gegenüberstellung der vorgegebenen Ziele

Die Ergebnisse im Rahmen dieses Teilvorhabens konnten wegen der Neuheit von Einzelprozessen und insbesondere der späteren Verknüpfung und der damit einhergehenden hohen technischen und finanziellen Risiken nur dank der Zuwendung des BMBFs erzielt werden. Diese Ergebnisse hinsichtlich der zuvor definierten Ziele beziehen sich auf die Pouch-Zellfertigung, die Entwicklung eines Wicklers für zylindrische Hardcase-Zellen (18650/21700) und Entwicklungen für wettbewerbsfähige Variantenfertigung für Klein- und Mittelserien durch hohe Flexibilität. In den folgenden Ausführungen werden die Aktivitäten der Manz AG in den relevanten Arbeitspaketen beschrieben.

#### Pouch-Zellfertigung

Ziel der Arbeiten im Rahmen der Pouch-Zellfertigung waren die Zellspezifikationen hinsichtlich geometrischer und chemischer Auslegung der Pouch-Zellen und die anschließende Definition der Produktionsprozesse, die die Anforderungen an die technische Eigenschaften der Pouch-Zellen erfüllen. Um die Anforderungen an die Zellen zu erfassen und um die Zellspezifikationen zu definieren, wurden mit den Forschungsinstituten (Meet, ZSW) und den Zellherstellern (CCI, Leclanché, TerraE) des Konsortiums exemplarische Zellen ausgewählt und hinsichtlich der folgenden Kriterien beschrieben:

- X
- X
- X
  - X
- X
  - X
  - X
- X
  - X
  - X
  - X
- X
  - X
  - X
- X

- x
- x
  - x
  - x

Basierend auf den gesammelten Anforderungen an die Pouch-Zellen wurden elektrische, mechanische und chemische Eigenschaften definiert. Um die geometrischen Anforderungen und deren Einfluss auf die Fertigungsprozesse und –kosten handhaben zu können, wurden die Informationen in Cluster zusammengefasst. Die folgende Abbildung 2 zeigt die Clusterbildung der Geometrien der Pouch-Zellen. Die Fab4LIB-Zelle wurde unter den Aspekten Marktvolumen, Anwendungsbereiche und technische Herausforderung ausgewählt. Die Zellen des Clusters 1 sind besonders für Spezialanwendungen (z. B. Medizintechnik) oder extrem hohe Stückzahlen (z. B. 3C-Zellen) relevant, während Cluster 3 ausschließlich den Automobil-Sektor adressiert.

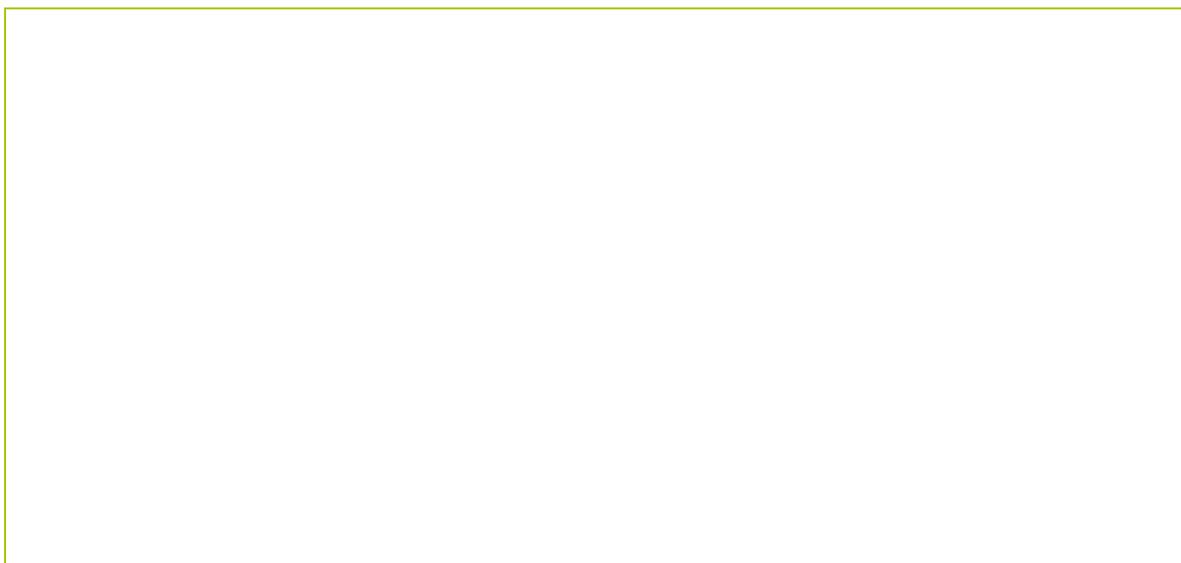


Abbildung 2: Clusterbildung der Pouchzellen mit Fab4LIB-Zelle

Nachdem die Anforderungen an das Produkt festgelegt und die Geometrie der Fab4LIB-Zelle definiert worden war, wurden diese Informationen zur Definition der Materialien für die Pouchzellen (eine balanced Zelle und eine High Energy-Zelle) und die Festlegung des geometrischen und chemischen Designs der Zellen verwendet. Die folgende Tabelle 5 zeigt die Definition der Materialien für die Pouch-Zellen und die Geometrie der jeweiligen Komponenten, die im Rahmen des Projekts Fab4LIB entwickelt und erforscht wurden (gelbe Zelle definiert; grüne Zellen berechnet).

Tabelle 5: Definition der Materialien für die Pouch-Zellen und deren Geometrien

Cathode	Balanced	High Energy
Anode		
Separator		
Cell		

Nach der Festlegung der Pouch-Zelle, die im Rahmen dieses Projekts adressiert werden sollte, wurde eine Analyse der möglichen Produktionsprozesse durchgeführt. Die Analyse erfolgte vor dem Hintergrund von Ressourcen- und Kosteneffizienz, damit mit den ausgewählten Produktionsprozessen eine wirtschaftliche Fertigung der Pouch-Zellen möglich

war. Die analysierten Technologien/Prozesse umfassten das Notching, die Zellassemblierung und das Tab-Schweißen. Das Packaging, Deep Drawing sowie das Filling und Degassing waren nicht Teil der Analyse, da keine alternativen Technologien vorhanden waren. Die ausgewählten Technologien wurden primär hinsichtlich ihrer technologischen und wirtschaftlichen Prozessgrenzen (Qualität, Kosten, Flexibilität) analysiert und die wechselseitigen Einflüsse der Technologien (z. B. Toleranzketten) betrachtet.

Die folgende Abbildung 3 zeigt eine Analyse der möglichen Technologien zum Notching (Laser-Notching und mechanisches Notching) und eine Bewertung dieser Technologien hinsichtlich Qualität, Kosten, Flexibilität und einen Kommentar.

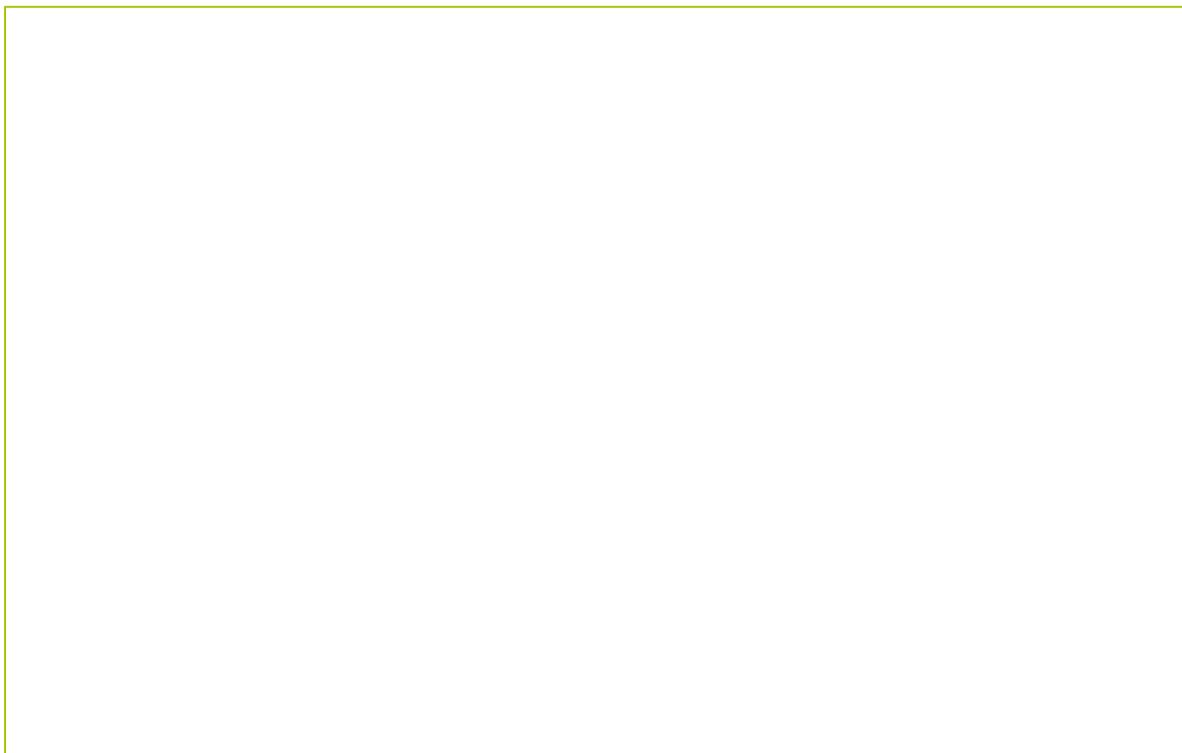


Abbildung 3: Bewertung der Notching-Technologien

Basierend auf dieser Bewertung der Notching-Technologien wurde im Rahmen des Projekts Fab4LIB das Laser-Notching als Technologie ausgewählt und im weiteren Projektfortschritt erforscht und entwickelt.

Die folgende Abbildung 4 zeigt eine Analyse der möglichen Technologien zur Zellassemblierung (n-Cell-Stacking, Flat-Folding, Stack-Winding, Z-Falten und Single-Sheet-Stacking) und eine Bewertung dieser Technologien hinsichtlich Qualität, Kosten, Flexibilität und einen Kommentar.

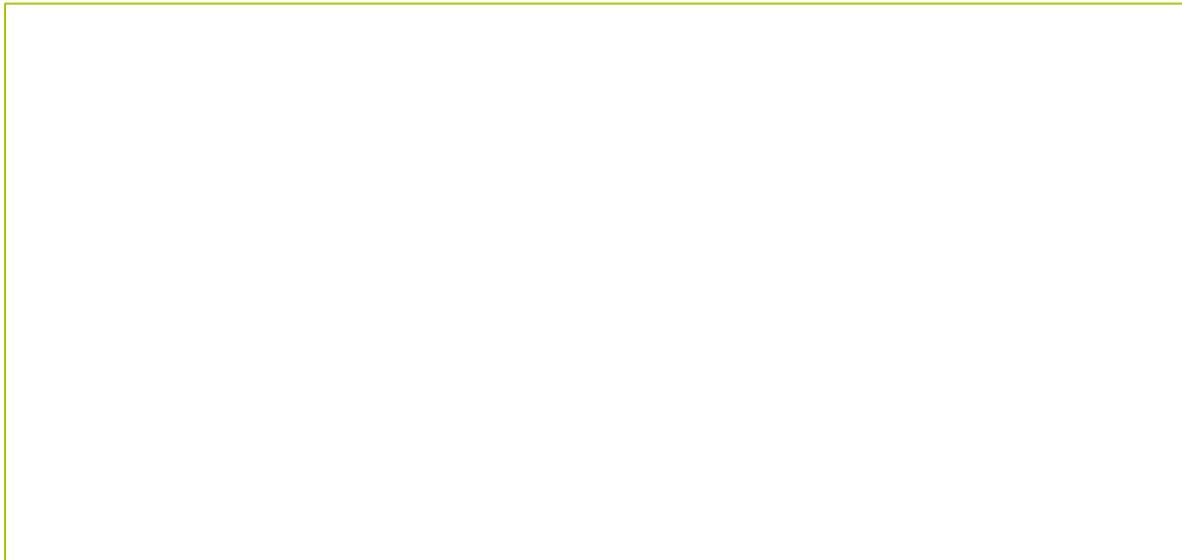


Abbildung 4: Bewertung der Zellassemblierungstechnologien

Basierend auf dieser Bewertung der Zellassemblierungsverfahren wurde im Rahmen des Projekts Fab4LIB das n-Cell-Stacking als Technologie ausgewählt und im weiteren Projektfortschritt erforscht und entwickelt.

Die folgende Abbildung 5 zeigt eine Analyse der möglichen Technologien zum Tab-Schweißen (Laserschweißen, Ultraschallschweißen und Widerstandsschweißen) und eine Bewertung dieser Technologien hinsichtlich Qualität, Kosten, Flexibilität und einen Kommentar.

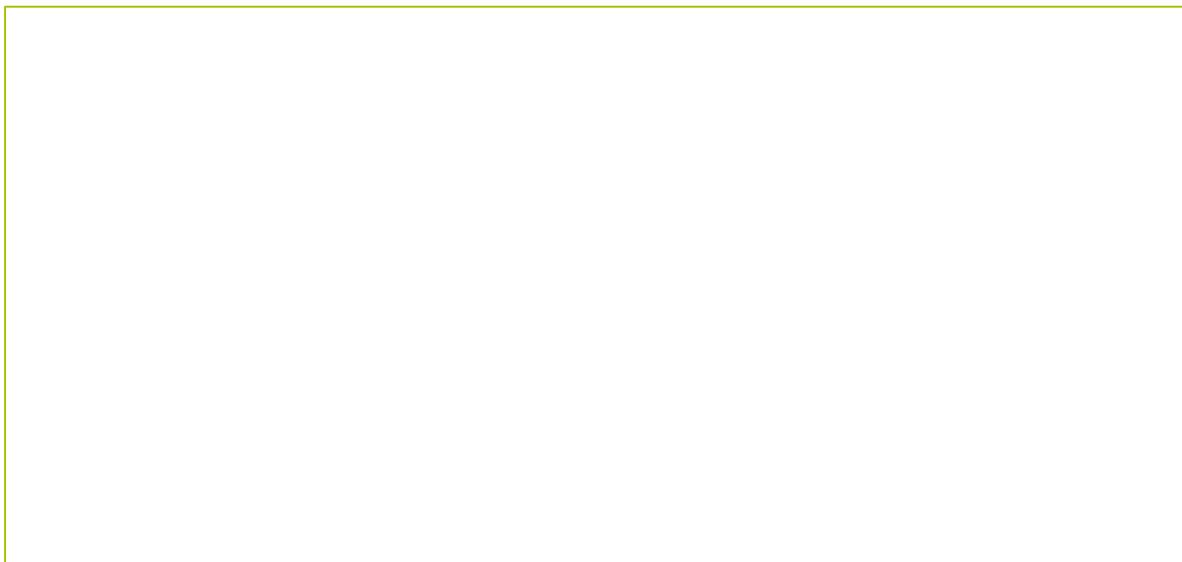


Abbildung 5: Bewertung der Tab-Schweißverfahren

Basierend auf dieser Bewertung der Tab-Schweißverfahren wurde im Rahmen des Projekts Fab4LIB das Laserschweißen als Technologie ausgewählt und im weiteren Projektfortschritt erforscht und entwickelt.

Die folgende Abbildung 6 zeigt die analysierten Produktionsprozesse. Die markierten Prozesse wurden basierend auf der Technologieanalyse ausgewählt und entsprechen der Fertigungsroute, die im Rahmen dieses Teilvorhabens für die zuvor definierte Fab4LIB-Zelle erforscht und entwickelt wird.

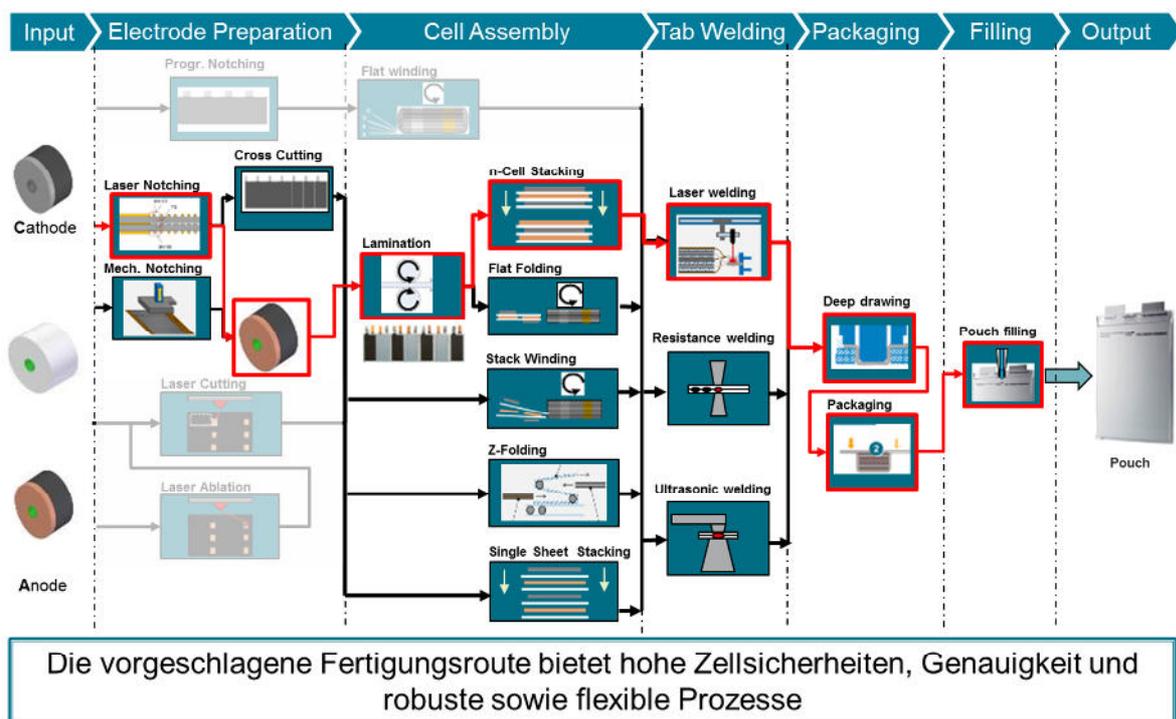


Abbildung 6: Abgeleitete Produktionsprozesse zur Herstellung der Fab4LIB-Zelle

Basierend auf diesen Produktionsprozessen wurden im nächsten Schritt Forschungs- und Entwicklungsbedarfe abgeleitet, die erfüllt werden mussten, um die Prozessgrenzen zu erweitern und die Produktion der Fab4LIB-Zelle zu ermöglichen.

Vor dem Hintergrund des Projektverlaufs, nachdem die Fa. TerraE keine Produktion von Pouch-Zellen mit einem Format von ca. xxx x xxx mm<sup>2</sup> mehr plante, wurden die Verwertungsmöglichkeiten geprüft und dementsprechend die Maschinenrelevanz evaluiert. Darauf basierend wurden die Spezifikationen der Produktionsmaschinen angepasst und die Entwicklungsziele angepasst werden.

Zur Unterstützung der laufenden Arbeiten der anderen Projektpartner wurde jedoch unabhängig davon mit den notwendigen Daten zur Infrastruktur gearbeitet. Die folgende Tabelle zeigt eine Übersicht der eingesetzten Maschinentypen, deren Abmessungen und Masse sowie die jeweils benötigte Anzahl der Maschinen je Maschinentyp.

Tabelle 6: Definition der Maschinentypen, deren Abmessungen und Masse sowie die benötigte Anzahl



Abschließend wurde im weiteren Projektverlauf an der Bestimmung der notwendigen Anschluss- und Verbrauchsdaten gearbeitet. Dies erfolgte unabhängig von der weiteren Forschung und Entwicklung der Maschinen für die Pouch-Zellen, um den Projektpartnern die für ihre Arbeiten notwendigen Daten und Informationen zur Verfügung stellen zu können.

### **Zylindrische Hardcase-Zelle (18650/21700)**

Ziel der Arbeiten zu der zylindrische Hardcase-Zelle (18650/21700) war die Forschung und Entwicklung von Produktionsprozessen für die Elektrodenfertigung und das Wickeln von 18650/21700-Zellen und deren Evaluierung. Die Produkthanforderungen der zylindrischen Rundzelle sollten, analog zum Vorgehen bei der Pouch-Zelle, zur Definition der Anforderungen an die Produktionsprozesse dienen. Jedoch lagen hinsichtlich der industriell geforderten Spezifikationen nicht ausreichend Informationen vor, sodass stattdessen reale auf dem Markt verfügbare 18650/21700-Zellen geöffnet und untersucht wurden.

Die folgende Abbildung 7 zeigt schematisch eine abgewickelte Jelly-Roll einer zylindrischen 18650/21700-Zelle. In der Abbildung sind die Abmessungen gekennzeichnet, die bei den untersuchten Zellen gemessen und dokumentiert worden sind.

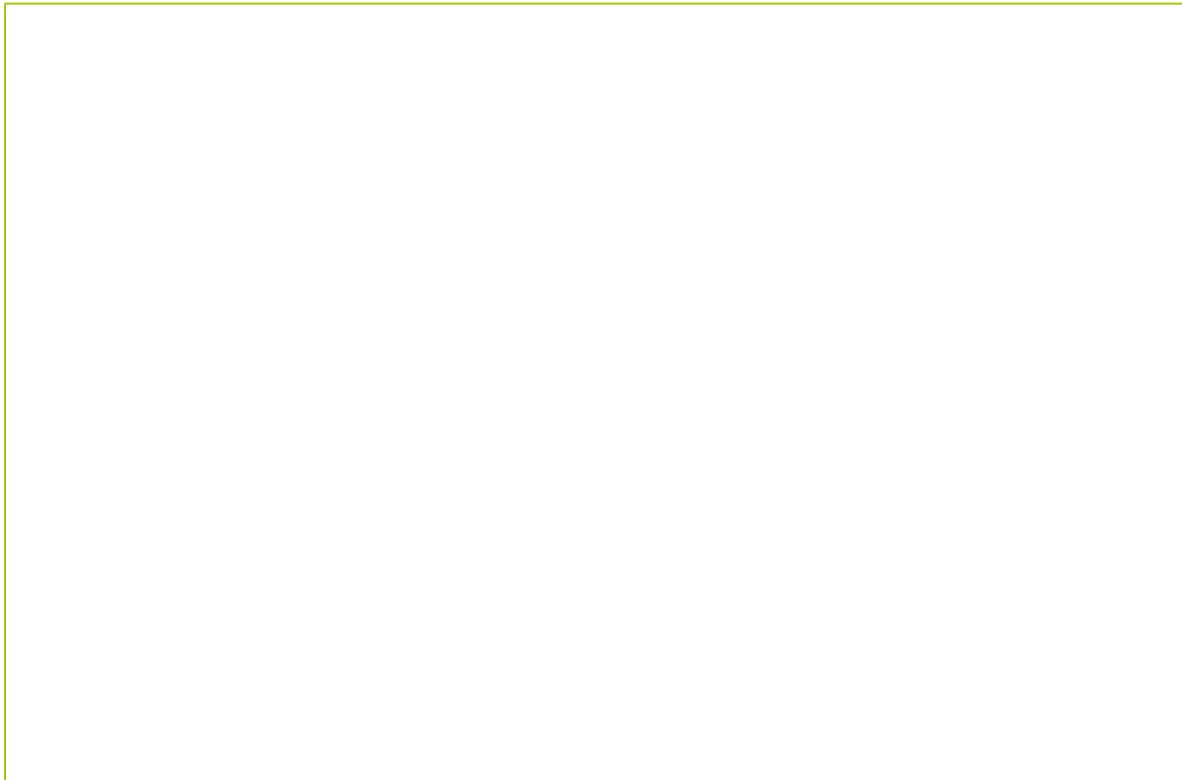


Abbildung 7: Schematisch abgewickelte Jelly-Roll einer zylindrischen 18650/21700-Zelle

Die Ergebnisse der Messungen geben eine grobe Orientierung für die Dimensionen innerhalb der Zelle. Jedoch war es nicht möglich Anforderungen hinsichtlich der Fertigungstoleranzen aus den exemplarischen Zellöffnung zu erhalten. Daher wurden die Toleranzen für die Zellfertigung anhand von Erfahrungswerten und unter wirtschaftlichen/technischen Randbedingungen definiert. Basierend auf diesen wurde ein Konzept eines 18650/21700-Wicklers erarbeitet. Die

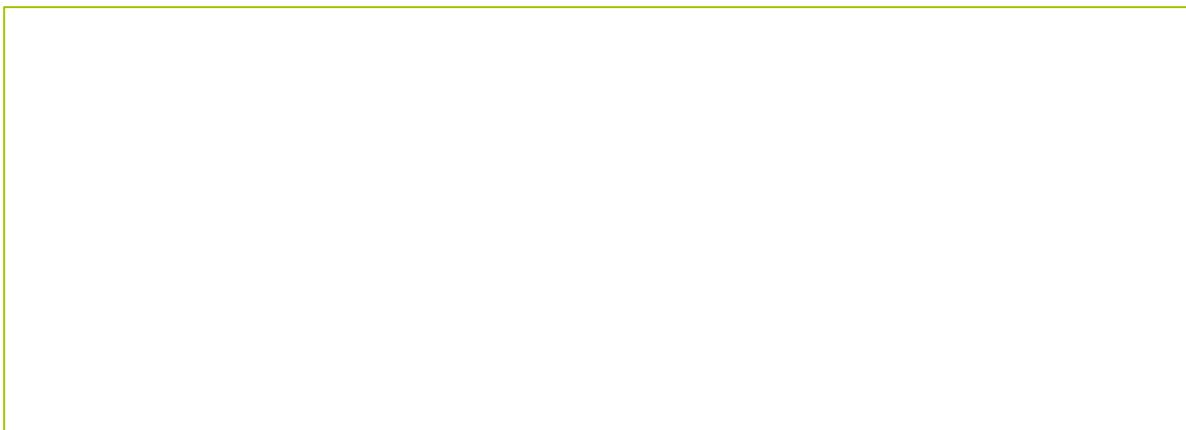


Abbildung 8 zeigt schematisch den modularen Aufbau des 18650/21700-Wicklers, der im Rahmen des Projekts erforscht und entwickelt wurde.

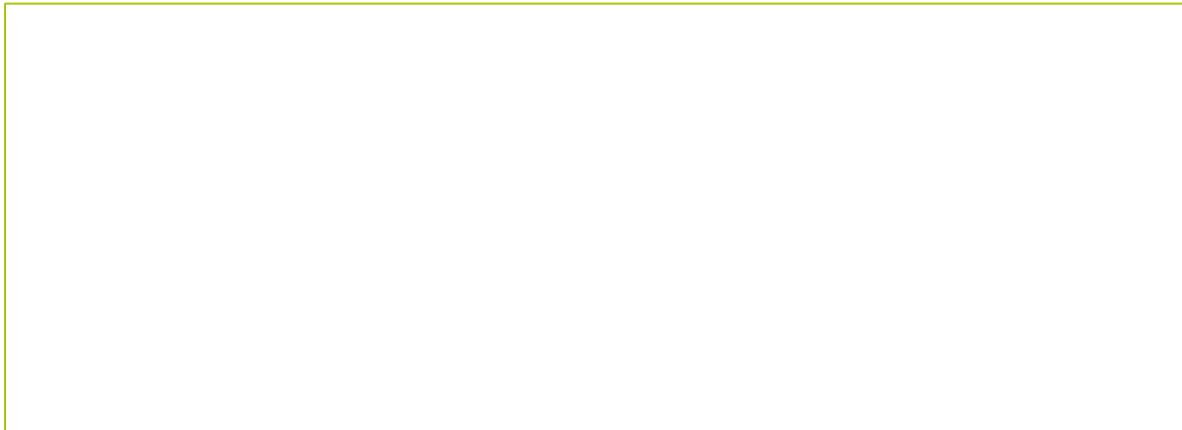


Abbildung 8: Schematischer Aufbau des 18650/21700-Wicklers

Das erste Modul des modularen Aufbaus sieht je zwei Rollen der Kathode und der Anode vor, die mit einer Autosplice-Einheit aneinander gesplitt werden können, sodass parallel zur Produktion gerüstet werden kann und eine Produktion mit hoher Uptime möglich ist. Das zweite Modul verfügt über zwei Ultraschallschweißeinheiten zum Anbringen der Tabs an die Kathode und über zwei Widerstandsschweißeinheiten zum Anbringen der Tabs an die Anode. Durch diese Konfiguration ist es möglich ein oder zwei Tabs je Elektrode aufzubringen. Bei Bedarf kann dieses Modul ein zweites Mal in dem Wickler vorgesehen werden, sodass auch bis zu vier Tabs je Elektrode aufgebracht werden können. Das dritte Modul ist die Abwicklung der Separatoren, die ebenfalls mit Autosplice-Einheiten versehen sind. Das vierte und letzte Modul ist die eigentlich Schneid- und Wickeleinheit. Diese schneidet die Elektoden auf eine definierte Länge und führt diese an definierten Positionen zwischen die beiden Separatoren zu, um diese anschließend zu einer Jelly-Roll zu wickeln.

Das Konzept ist für höhere Produktionsgeschwindigkeiten von mehr als xx Zellen pro Minute bei Elektrodenlängen von bis zu xxx mm und für mehr als xx Zellen pro Minute bei Elektrodenlängen von bis zu xxxx mm ausgelegt. Daneben sind Schwerpunkte des Konzepts die Prozess- und Maschinenentwicklungen vor dem Hintergrund von Ressourcen- und Kosteneffizienz. Im weiteren Verlauf des Projekts Fab4LIB wurde das Konzept weiter detailliert und konstruktiv ausgearbeitet.

Basierend auf diesen Informationen über den Aufbau heutiger Zellgenerationen sowie den technisch sinnvollen Genauigkeiten wurde die Geometrie der Jelly Roll und ihrer Komponenten abgeleitet und definiert. Gegenüber der ursprünglichen Planung mit annähernd beliebig vielen Tabs hat die Analyse der heutigen Zelldesigns gezeigt, dass üblicherweise max. zwei – häufig aber auch nur ein Tab – auf der Elektrode vorgesehen sind. Die folgende Abbildung zeigt die Positionierung der Tabs für die Kathode.



Abbildung 9: Positionierung der Tabs für die Kathode

Die folgenden Abbildungen zeigen die Positionierung der Tabs für die Anode sowie angestrebten Dimensionen und Toleranzen der Jelly Roll.

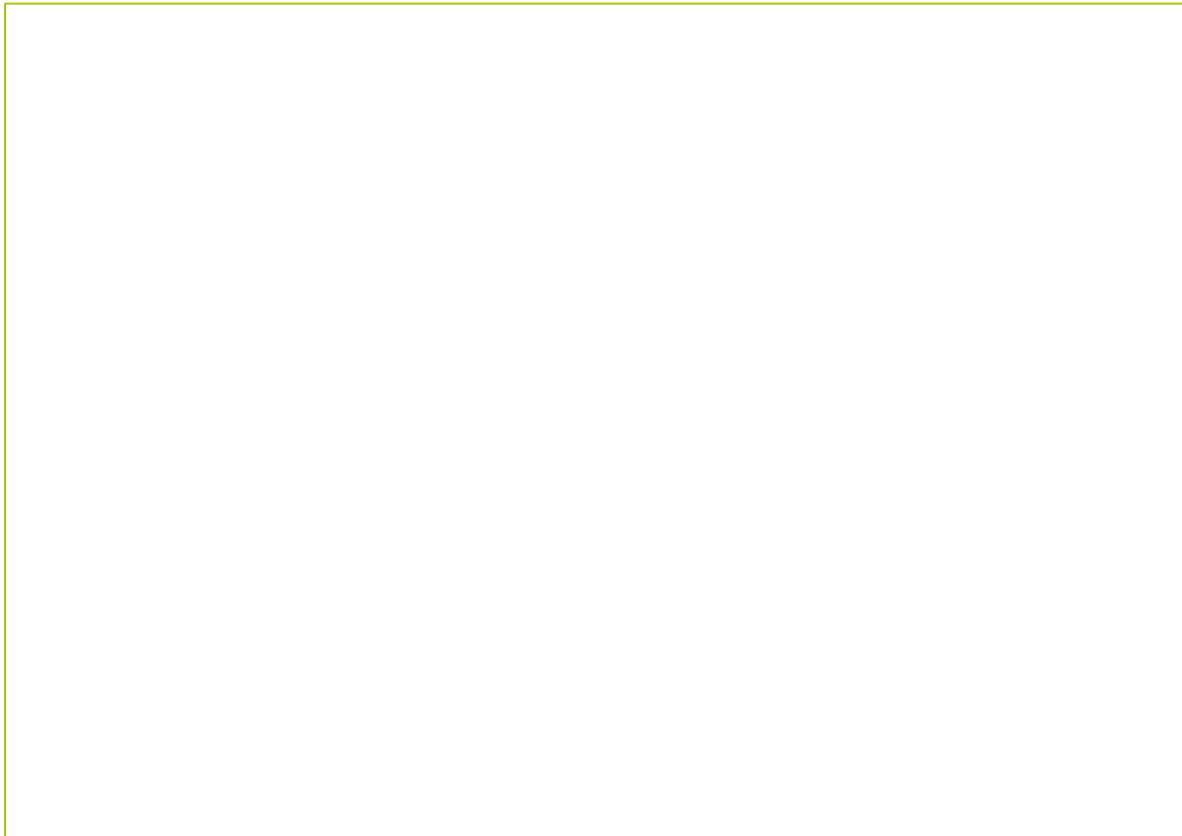


Abbildung 10: Positionierung der Tabs für die Anode

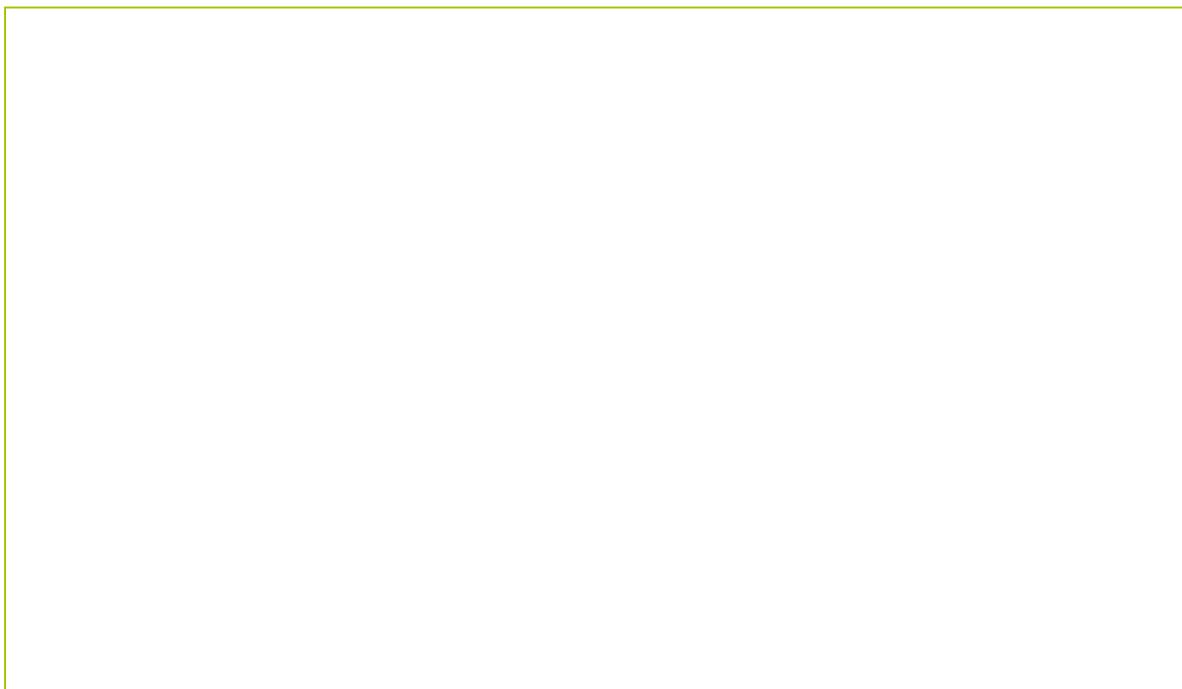


Abbildung 11: Dimensionen und Toleranzen der Jelly Roll

Des Weiteren wurden auf Basis der technischen Machbarkeit des Wickelprozesses und des Materialeinsatzes die Positionierungen der Elektroden relativ zueinander und zu den Separatoren festgelegt. Diese Abmessungen und die dazugehörigen Toleranzen sind in der folgenden Abbildung dargestellt.

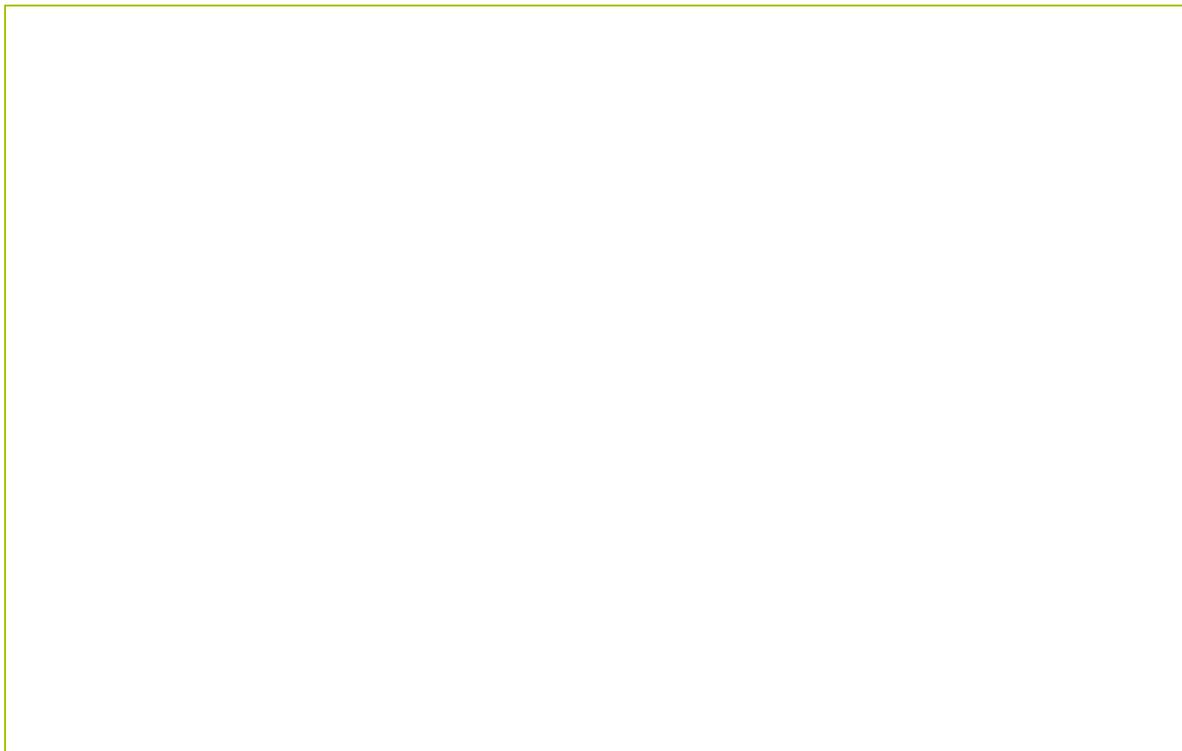


Abbildung 12: Positionierung der Elektroden und Separatoren in Relation zueinander

Das entwickelte Konzept wurde detailliert und konstruktiv ausgearbeitet. Das finale Design wird im Frühjahr 2019 angestrebt. Anschließend werden die Teile gefertigt. Die folgende Abbildung zeigt eine Übersicht zum Aufbau des 18650/21700-Wicklers.

Um das angestrebte Ziel einer hohen Wickelgeschwindigkeit und einer hohen Produktivität gewährleisten zu können, sind Schneideinheiten entwickelt worden, die während des Schneidens von Elektroden und Separatoren kein Stoppen des Bahnvorschubs erfordern, indem diese für den Schneidprozess mit den Bahnen mitgeführt werden und zeitparallel dazu schneiden. Des Weiteren werden die Bahnen auch während des Wechsels der Elektroden nicht gestoppt.

Um eine konstant hohe Qualität der Jelly Rolls sicherstellen zu können, wurden aufwändige Inline-Inspektionslösungen integriert werden, die die Tabposition, die Klebestreifen zum Schutz und die Produktdimensionen prüfen, und gegebenenfalls die defekten Produkte aus der Wertschöpfungskette aussortieren.

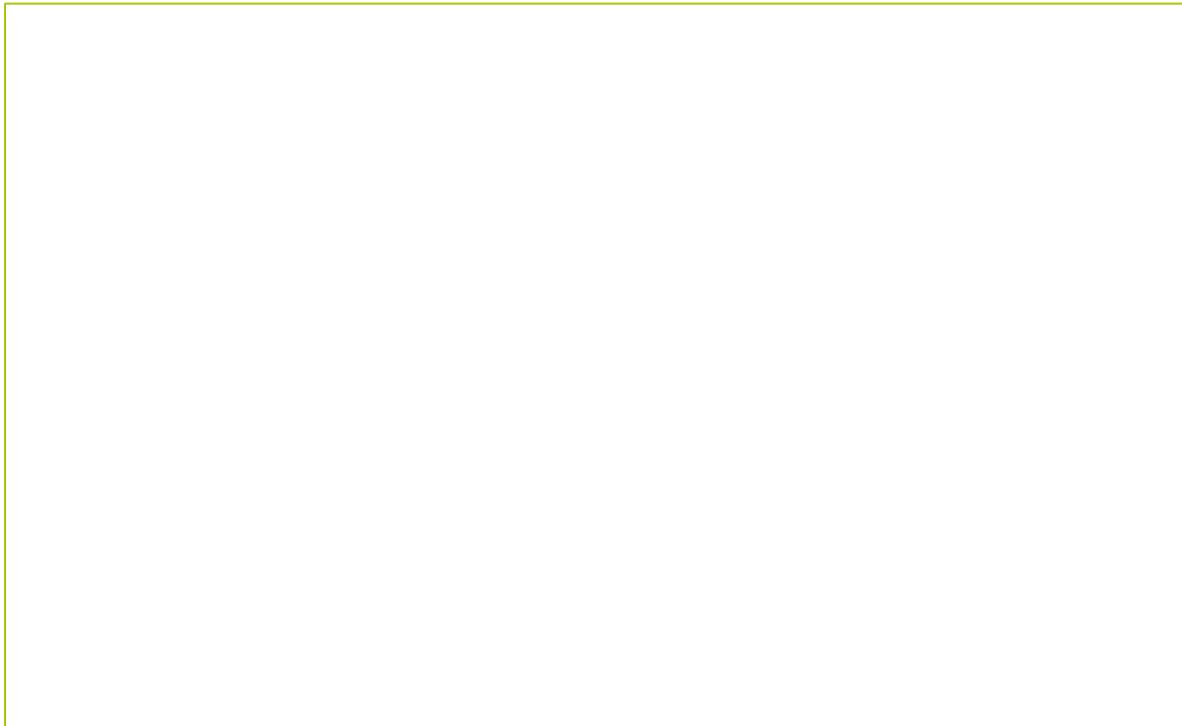
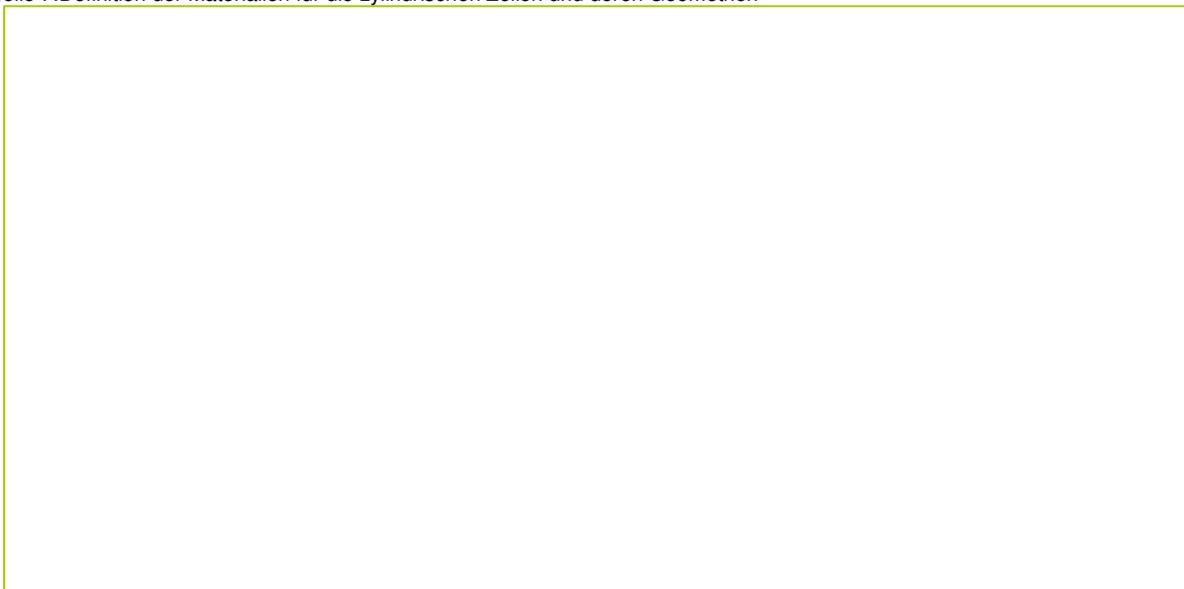


Abbildung 13: Übersicht des 18650/21700-Wicklers und der Komponenten

Basierend auf der bisher durchgeführten Konstruktion des 18650/21700-Wicklers konnten die Eingangsmaterialien spezifiziert werden. Diese sind in der folgenden Tabelle dargestellt.

Tabelle 7: Definition der Materialien für die zylindrischen Zellen und deren Geometrien



Die folgende Tabelle zeigt die notwendigen Informationen, damit der Platzbedarf sowie die Maschinenressourcen für die Batteriezellenfabrik ausgelegt werden können. Die Daten wurden von den Projektpartnern zur Auslegung des Fabriklayouts genutzt.

Tabelle 8: Maschinendaten zur Bestimmung des Platzbedarfs und der Maschinenanzahl



Nachdem das Konzept des 21700-Wicklers erarbeitet wurde, wurde die Konstruktion abgeschlossen. Die folgende Abbildung zeigt den modularen Aufbau des 21700-Wicklers mit seinen vier Modulen Abwickelmodul, Tabweldingmodul, Separatorabwickelmodul und Wickelmodul und gibt den angestrebten Durchsatz für unterschiedliche Elektrodenlängen und Technologien wieder.

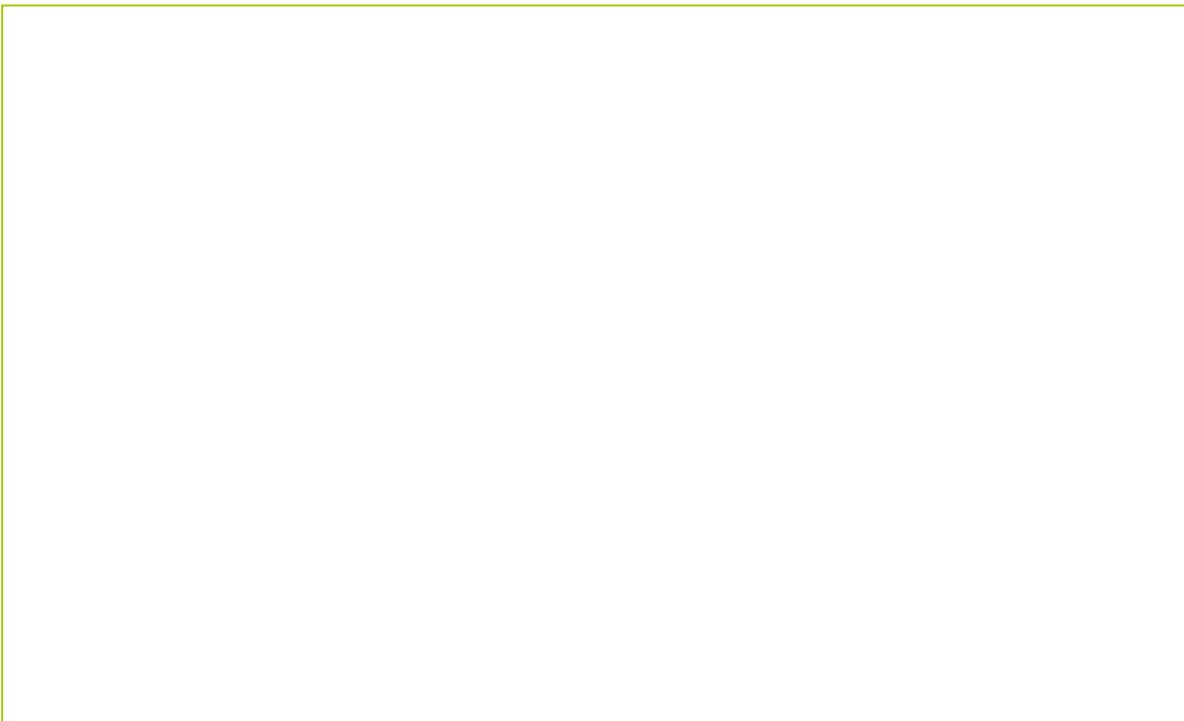


Abbildung 14: Modularer Aufbau des 21700-Wicklers und angestrebter Durchsatz

Die folgende Abbildung zeigt die Konstruktion des 21700-Wicklers sowie die angestrebten Unique Selling Points, wie z. B. hohe Produktivität und Gesamtanlageneffektivität (OEE) sowie umfangreiches Messequipment zur Verifizierung der Produktionsqualität.

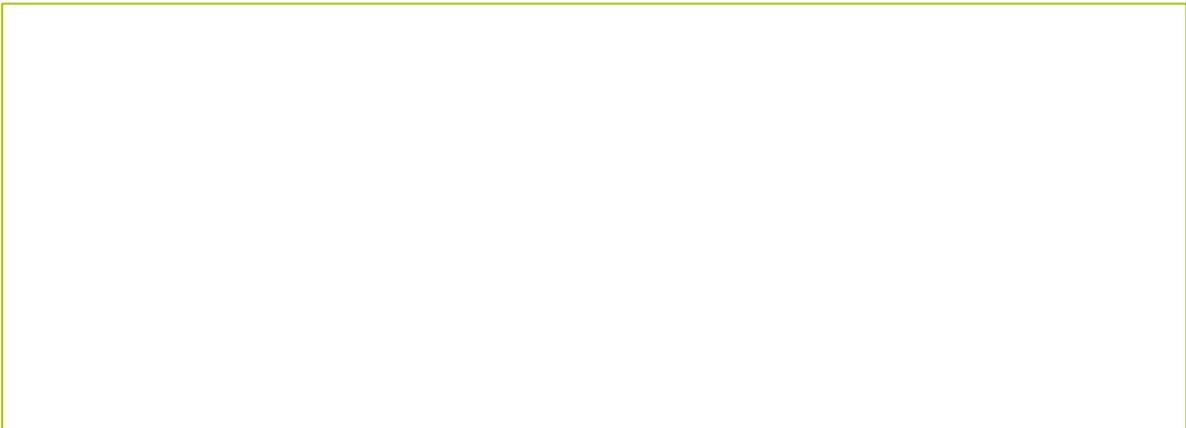


Abbildung 15:

Wegen des bereits weit fortgeschrittenen Projektverlaufs wurde nicht mehr mit der Beschaffung von Komponenten und der Fertigung der Bauteile begonnen.

### **Wettbewerbsfähige Variantenfertigung für Klein- und Mittelserien durch hohe Flexibilität**

Ziel der Arbeiten zu der wettbewerbsfähigen Variantenfertigung für Klein- und Mittelserien war die Forschung und Entwicklung von flexiblen Produktionsprozessen für die Elektrodenfertigung und das Befüllen von Pouch-Zellen und deren Evaluierung hinsichtlich Wirtschaftlichkeit bei einer variantenreichen Fertigung.

Zu Beginn der Arbeiten wurden die Ressourcen auf das Befüllen der Pouch-Zellen fokussiert. Hierzu wurden zuerst die Anforderungen an die Maschine festgelegt. Dies beinhaltete vor allem die geometrischen Abmessungen der Pouch-Zellen, die befüllt werden.

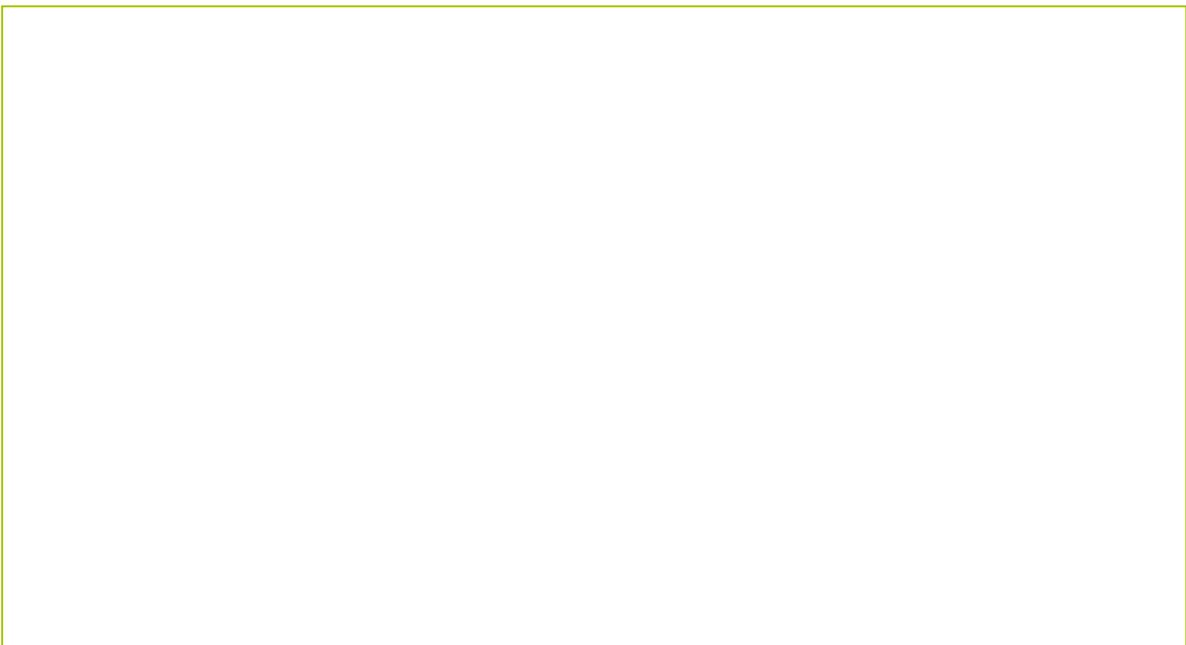


Abbildung 16 und die folgende Auflistung zeigen die Abmessungen, die für die Auslegung der Maschine berücksichtigt worden sind:

- X
- X
- X
- X
- X

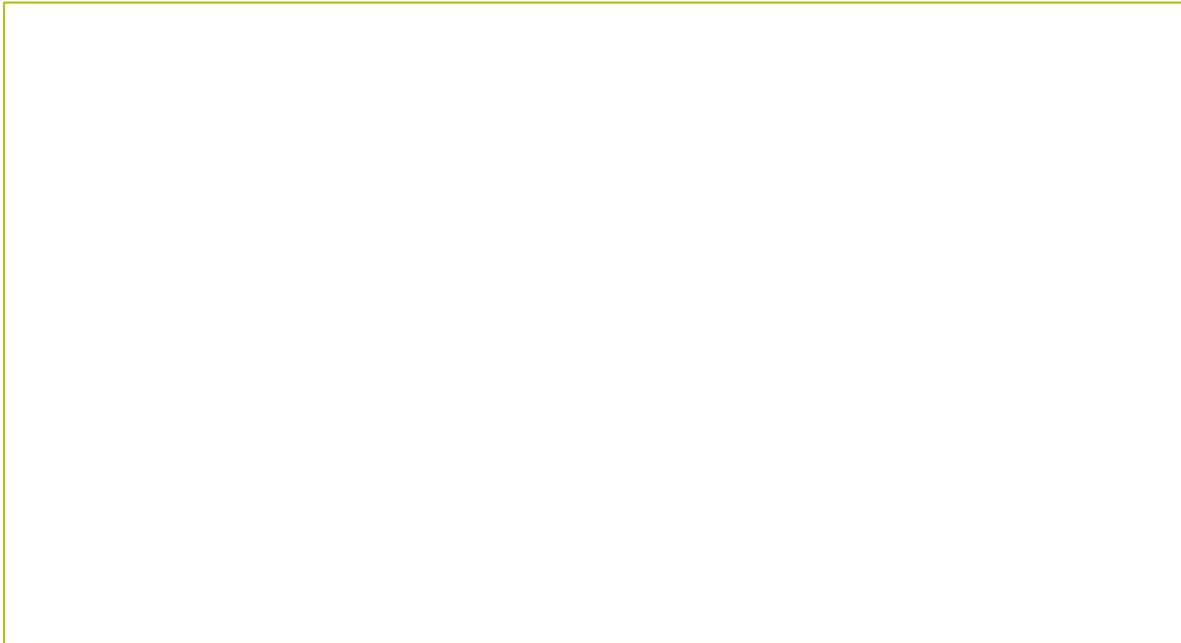


Abbildung 16: Dimensionen zur Auslegung der Maschine

Um die notwendige Flexibilität hinsichtlich Befüllvolumen und Elektrolyte gewährleisten zu können, wurde eine neue Befüllnadel konzipiert, die durch ein schnell regelbares Magnetventil und ein Massendurchflussmessgerät das Befüllvolumen sehr präzise eingestellt werden kann und durch ein geringes Totvolumen nur geringe Verluste beim Wechsel des Elektrolytes erfordert.

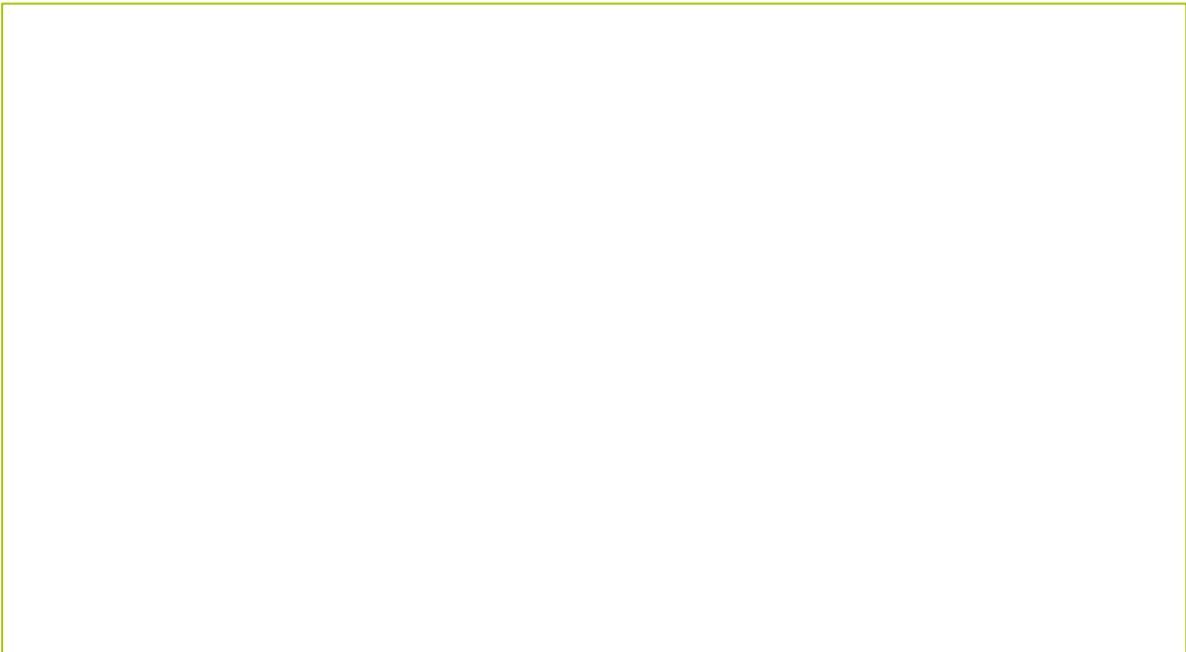


Abbildung 17 zeigt das Konzept der Befüllnadel.

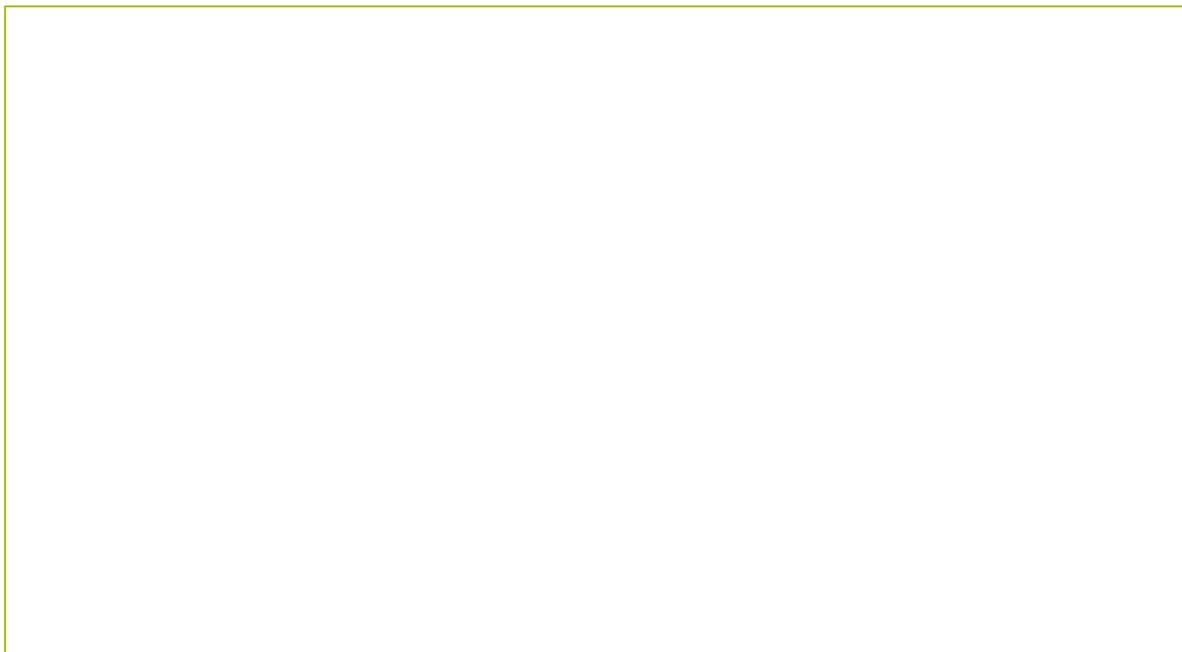


Abbildung 17: Konzept der Befüllnadel

Im nächsten Schritt wurde ein Werkstückträger konzeptioniert, der durch seine Flexibilität den Bereich der definierten Abmessungen vollständig abdeckt.

Im Folgenden wurden die Anforderungen an die Zellen weiter definiert und basierend darauf die Anforderungen an die Maschinen abgeleitet und die Konstruktion dieser begonnen. Die zuvor konzeptionierte und entwickelte neue Befüllnadel wurde integriert, sodass durch das schnell regelnde Magnetventil und das Massendurchflussmessgerät das Befüllvolumen sehr

präzise eingestellt werden kann. Daneben wurde vor dem Hintergrund einer Fabrikplanung die benötigte Anzahl der Maschinen in Abhängigkeit von der Produktionsgeschwindigkeit und die Platzbedarfe sowie die notwendigen Anschlüsse und deren Leistungen bestimmt. Die folgende Abbildung zeigt eine Abbildung aus dem CAD-System der Anlage zur Elektrolytbefüllung.

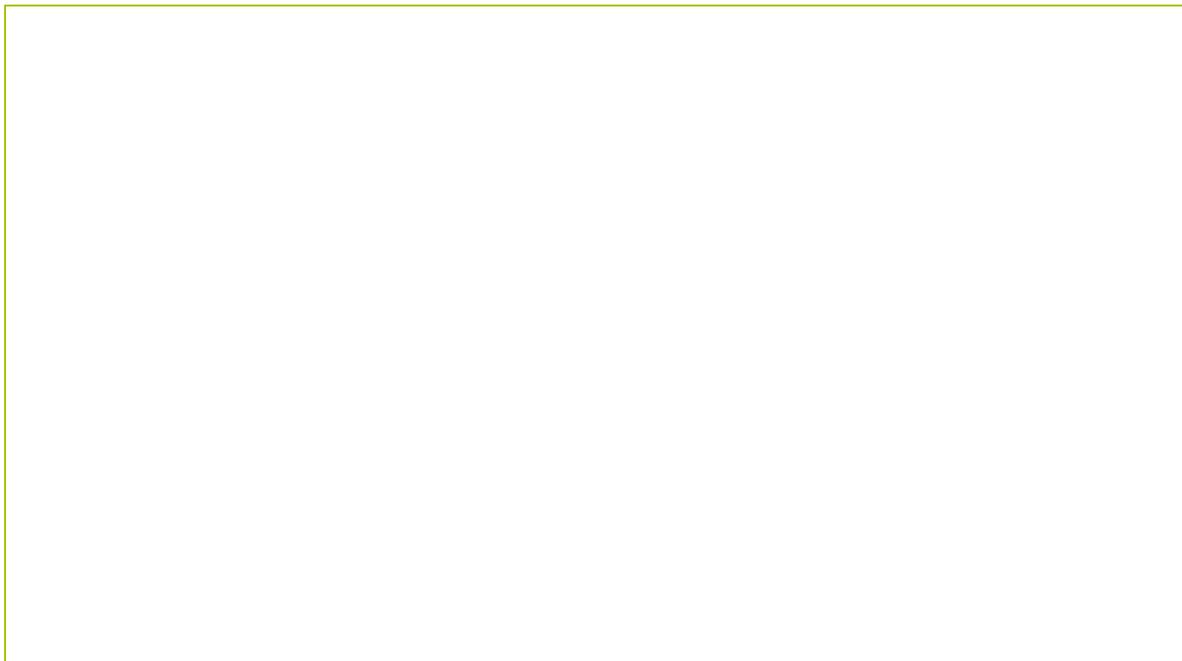


Abbildung 18: Dreidimensionale Abbildung der Anlage zur Elektrolytbefüllung

Es wurde dann mit dem Aufbau der Anlage zum Elektrolytbefüllen begonnen. Die Auslieferung erfolgte im Frühjahr 2019.

Die folgende Tabelle zeigt die Anschlussdaten und Verbrauchswerte der entwickelten Anlage zur Elektrolytbefüllung für Klein- und Mittelserien, die für den prozesssicheren Betrieb notwendig sind.

Tabelle 9: Anschlussdaten und Verbrauchswerte der Anlage zur Elektrolytbefüllung


Die auf Basis dieser Konstruktion gefertigte und aufgebaute Anlage zur Elektrolytbefüllung ist in der folgenden Abbildung zu sehen.

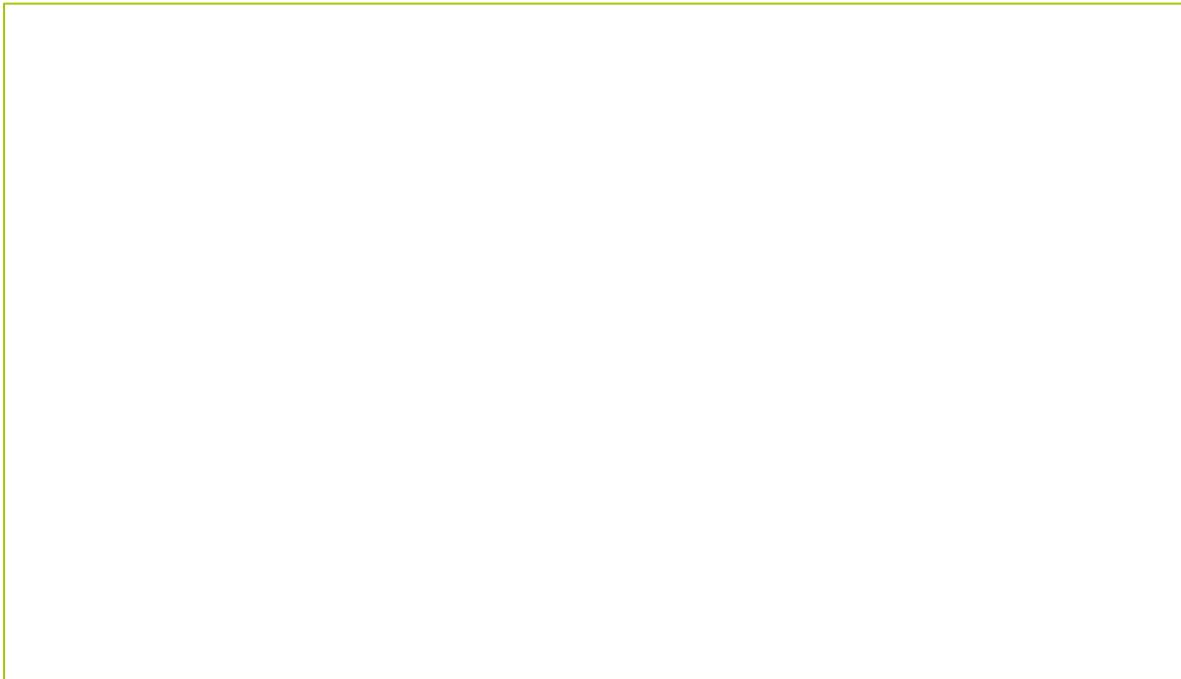


Abbildung 19: Anlage zur Elektrolytbefüllung

Des Weiteren wurden basierend auf den definierten Anforderungen an die Zelle, der genaue Prozessablauf festgelegt, die Software implementiert sowie Sicherheitsaspekte begutachtet. Im Mittelpunkt des definierten Ziels stand die Flexibilität der Anlage. Um diese zu gewährleisten, wurden drei wesentliche Leistungsmerkmale definiert, welche als essentiell angesehen wurden:

- Unabhängige Montageinseln zum Befüllen von Elektrolyt  
Aufgrund dieses Merkmals wird sichergestellt, dass eine Vielzahl von verschiedenen Zellformaten in dieser Anlage prozessiert werden können.
- Separate Mensch-Maschine-Schnittstellen bzw. Bedieneroberfläche  
Durch die Trennung der einzelnen Elemente können im Änderungsfall Komponenten einzeln ausgetauscht werden und somit die Kosten gering gehalten werden.
- Bildschirm, Bedientaster und Eingabegeräte zur Anlagenbedienung mit der grafischen Bedienoberfläche SCADA für die Steuerung  
Die flexibel Steuerung und das innovative Bediensystem sorgen dafür, dass eine schnelle Prozessparameteränderung durch das Bedienpersonal erfolgen kann und dadurch lange Wartezeiten zwischen Formatänderungen aufgrund von Softwareanpassungen vermieden werden.

#### Prozessablauf der Elektrolytbefüllanlage

Sowohl für die Konstruktion als auch für die Softwareimplementierung war ein vollständiger Prozessablauf von Nöten. Dieser wurde für das Befüllen einer Zelle vollständig erarbeitet und stellt sich wie folgt dar.

An der Montageinsel werden die noch an einer Stelle offenen Batteriezellen mit einer Elektrolytlösung befüllt. Bei den Pouch-Zellen wird anschließend die vierte, noch offene Seite der Zelle vorgesiegelt. Vor dem Befüllen wird die Zelle vom Bediener manuell gewogen. Dann wird die Zelle stehend in einen Werkstückträger gesetzt. Der Bediener positioniert den Werkstückträger in der Prozesskammer und schließt die Kammertür. Danach startet er den Befüllvorgang. Das Vakuumventil öffnet sich, die Prozesskammer wird evakuiert und das Vakuumventil anschließend wieder geschlossen. Das Stickstoffventil wird geöffnet, die evakuierte Kammer wird mit Stickstoff geflutet. Ist der voreingestellte Druck erreicht, wird das Stickstoffventil wieder geschlossen. Zum Befüllen der Pouch-Zelle werden zunächst mittels Vakuum die beiden unversiegelten Seiten der Pouch-Verpackung auseinandergezogen. Die dafür verwendete Vorrichtung ist in den Siegelbalken integriert. Die Siegelbalken fahren aus, die Zelle wird an den Enden der beiden Pouch-Folien geklemmt. Der Vakuumsauger saugt die Pouch-Folien an. Durch anschließendes Verfahren der Siegelbalken in Grundstellung werden die Folien auseinandergezogen. Durch Verfahren des Injektorzylinders in Arbeitsposition wird die Dosiernadel in die geöffnete Zelle eingeführt. Mittels Dosiereinrichtung wird eine voreingestellte Menge Elektrolyt in die Zelle eingebracht. Nach dem Befüllen verfährt der Injektorzylinder die Dosiernadel wieder in Grundposition. Der Stickstoff wird bis zu einem vordefinierten Kammerdruck abgepumpt. Das Ventil für den Vakuumsauger wird geschlossen, wodurch die beiden Folien der Pouch-Verpackung wieder plan aufeinanderliegen. Die Kammer wird erneut mit Stickstoff geflutet. Die Siegelbalken fahren in Arbeitsposition und versiegeln die noch offene Seite der Pouch-Verpackung. Die Siegelbalken fahren wieder zurück auf Grundposition. Die Prozesskammer wird mit Luft geflutet. Der Bediener öffnet die Kammertür und entnimmt den Werkstückträger mit der befüllten und vorversiegelten Batteriezelle. Die Batteriezelle können nun zum finalen Versiegeln sicher transportiert werden.

Abbildung 20: Seitenansicht, ISO-Ansicht

### Sicherheitsaspekte

Um die Sicherheit der Bediener sicherzustellen mussten im Verlauf der Konstruktion und Softwareentwicklung verschiedene Sicherheitsvorkehrungen implementiert werden. Als Basis hierfür wurden im ersten Schritt die Gefahrenbereiche identifiziert.

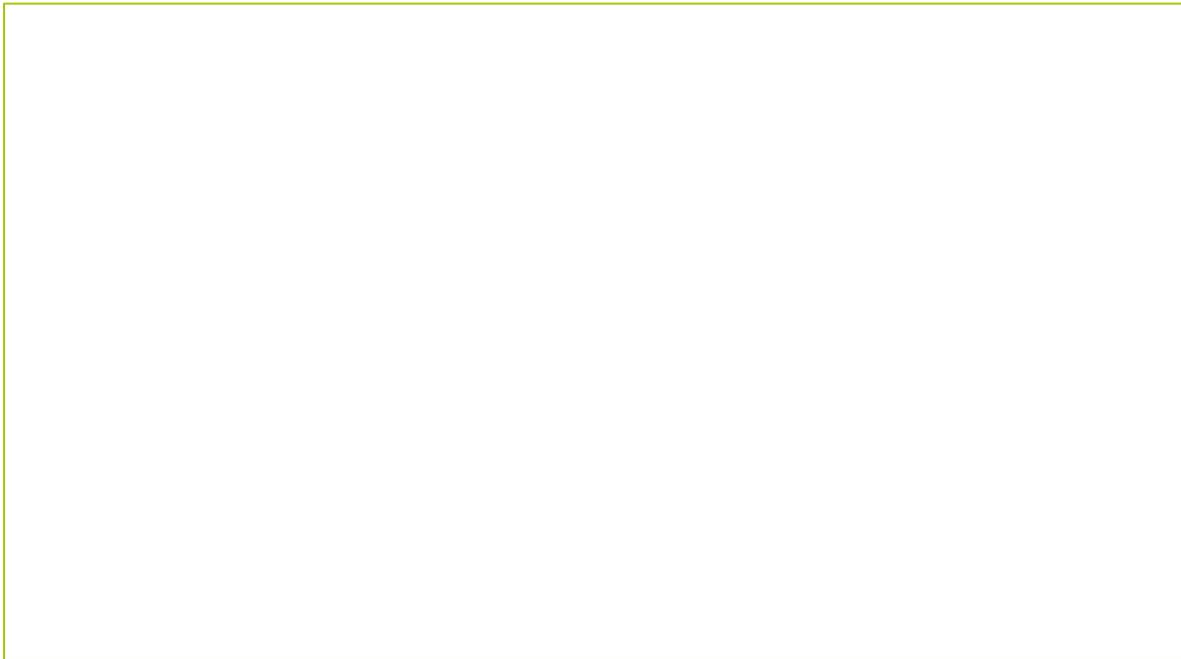


Abbildung 21: Gefahrenbereiche

Folgende Überwachungseinrichtungen wurden nach diesen Überlegungen angebracht:

- Drucksensor der Pneumatikeinheit
- Türüberwachung der Kammer
- Taste Motorstrom einschalten
- Taste Motorstrom ausschalten
- Taste Prozess starten

Das wichtigste Sicherheitselement der Anlage stellt die NOT-STOPP-Taste dar. Diese muss für den Bediener während des Prozess immer erreichbar sein, um bei der Erkennung einer potentiellen Gefahr möglichst schnell eingreifen zu können und so die Gefahr abzuwenden. Durch Drücken einer NOT-STOPP-Taste werden Bewegungen der Bewegungseinrichtungen sofort gestoppt. Die gesamte Anlage wird drucklos. An der Bedienoberfläche wird der Zustand gemeldet und die notwendige Schritte zur Behebung ausgegeben. Durch Drehen der Taste im Uhrzeigersinn wird die Taste entriegelt. Anschließend muss der NOT-STOPP quittiert werden.

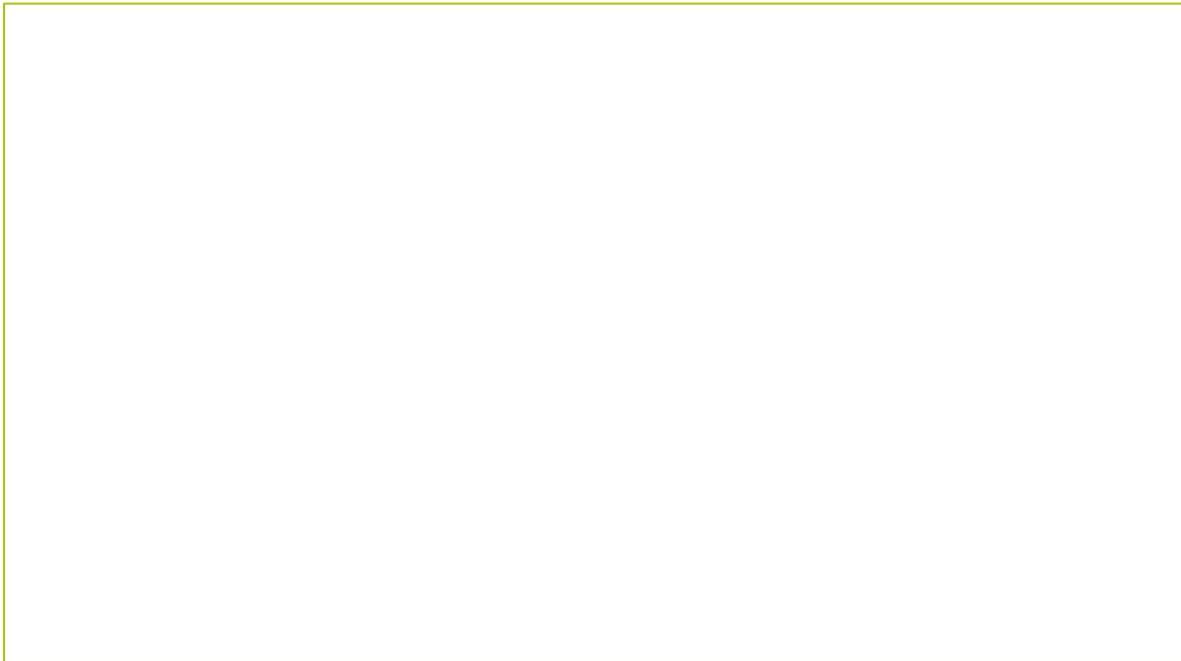


Abbildung 22: Frontansicht. Wirkungsbereiche des NOT-STOPP-Kreises

Ein zusätzlicher Sicherheitsaspekt ist die Einbindung von Nachrichten und Fehlern in den Prozess. Anweisungen und notwendige Maßnahmen werden wie folgt dem Bediener kommuniziert:

Nachrichten und Fehler sind selbsterklärend und können zusätzliche Bedienhinweise enthalten. Nachrichten werden lediglich angezeigt. Fehler unterbrechen den Ablauf der Maschine und müssen bestätigt werden. Warnungen sind Nachrichten, die zu Fehlern führen, wenn sie ignoriert werden. Im Fenster Fehler-Nachrichten Dialog sind Warnungen in einem eigenen Register aufgelistet. Bei Anweisungen, Fragen und Bedienereingaben ist die Handlung des Bedieners notwendig, damit der Ablauf fortgesetzt wird.

Hinweise werden lediglich angezeigt. Dabei kann eine anstehende Nachricht z. B. von einem Fehler überschrieben werden, noch bevor sie gelesen wurde. Damit Nachrichten für den Bediener auch später noch lesbar sind, werden im Fenster Fehler-Nachrichten Dialog bereits ausgegebene Nachrichten aufgelistet und können erneut angezeigt werden.

#### Bedienungsstruktur

Um eine flexible Nutzung der Anlage zur ermöglichen wurden im Zuge des Projekts in die Software verschiedene Betriebsarten miteinbezogen. Die Betriebsarten stellen sich wie in der folgenden Abbildung dar:



Abbildung 23: Betriebsarten und Maschinenstatus

Um eine effiziente Bedienung der Maschine gewährleisten zu können, wurde die Manz eigene Bedieneroberfläche ManzSCADA speziell für die Laboranlage zugeschnitten. Die Mensch-Maschine-Schnittstelle (engl. Human Machine Interface, kurz HMI) ist eine konfigurierbare Schnittstelle für das Bedienen und den Service. Sie wird benutzt für:

- Auftragsverwaltung
- Verwaltung von Rezeptdaten
- Programmverwaltung
- Schichtmanagement
- Bildverarbeitung
- Service

Auf der folgenden Abbildung sind die verschiedenen Ebenen sowie die Struktur des SCADA-Systems dargestellt.



Abbildung 24: Übersicht graphische Bedienoberfläche (HMI)

Das Hauptfenster der für die Elektrolytbefüllanlage zugeschnittene Manz Software sieht wie in der folgenden Abbildung aus:

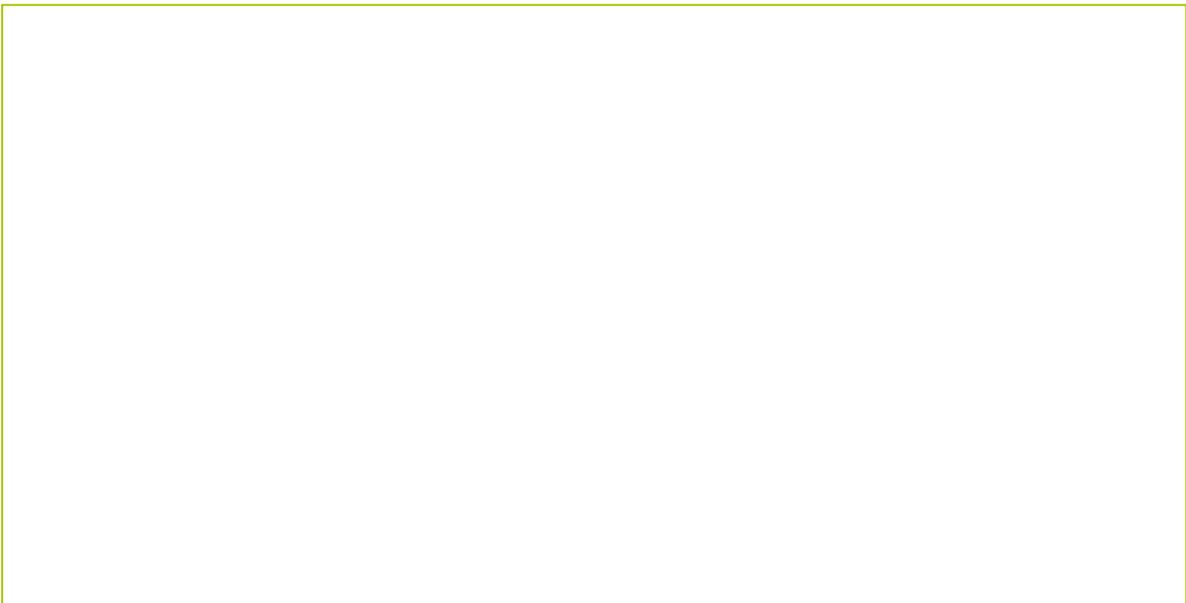


Abbildung 25: Hauptfenster

Generell sind vier verschiedene Ansichten möglich: Auftrag, Produktion, Maschinenübersicht und Rezepte. Ein Wechsel der Ansichten ist durch Wischen auf dem Monitor oder per Klick in

der Mitte der Fußzeile möglich. Die wichtigsten Ansichten zur Gewährleistung der Flexibilität und Sicherheit der Anlage sind die Ansichten „Rezepte“ (

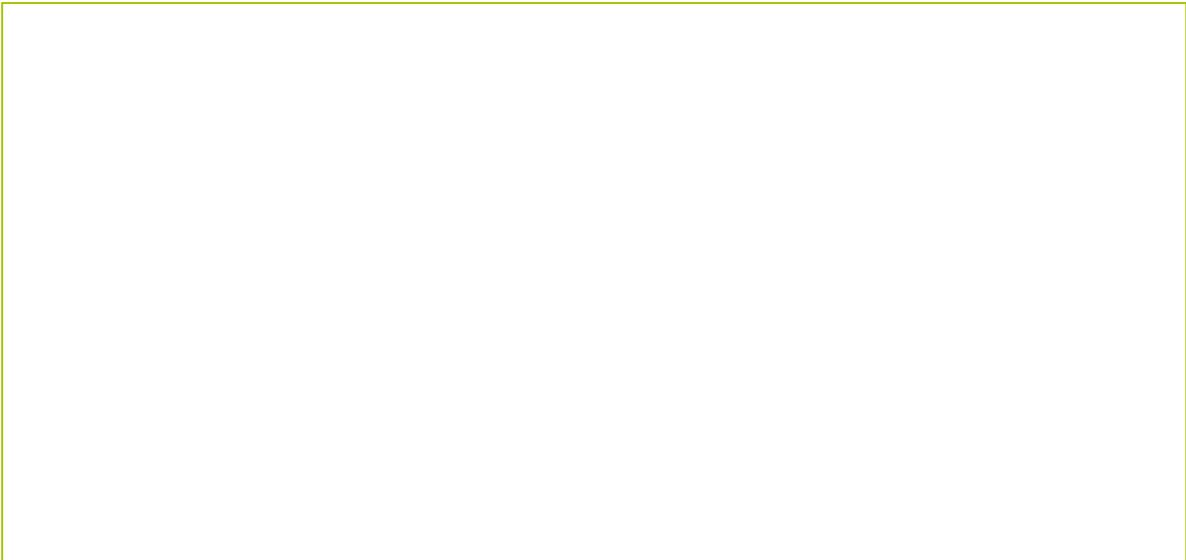


Abbildung 26) und „Produktion“ (

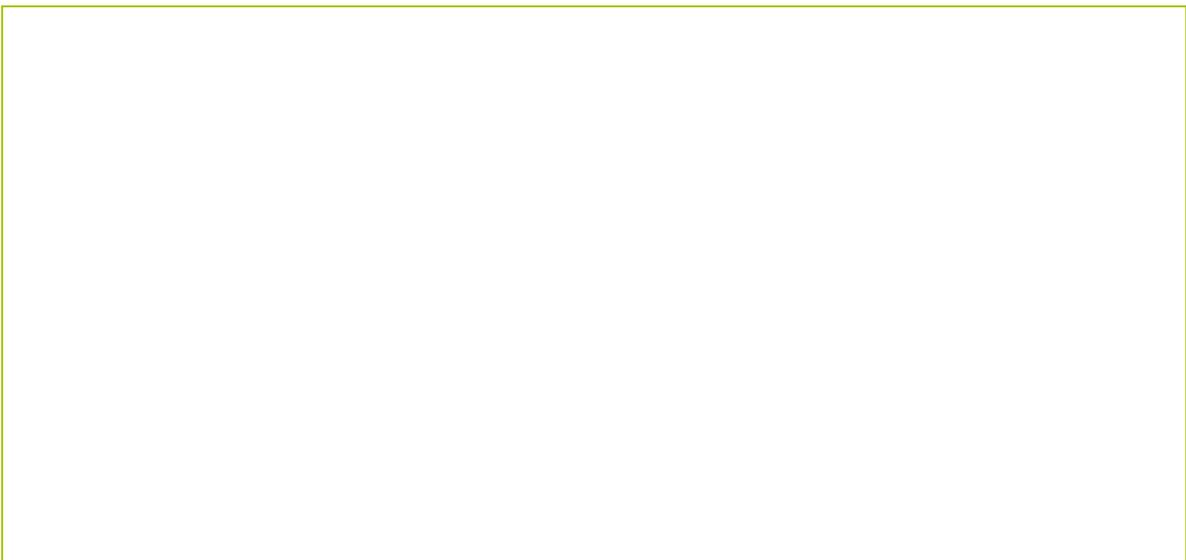


Abbildung 27). Eine flexible Steuerung der Prozessparameter erfolgt im Rezeptfenster. Das Fenster ermöglicht einen Wechsel zwischen Zellformaten ohne großen Eingriff in die Software.



Abbildung 26: Rezeptfenster

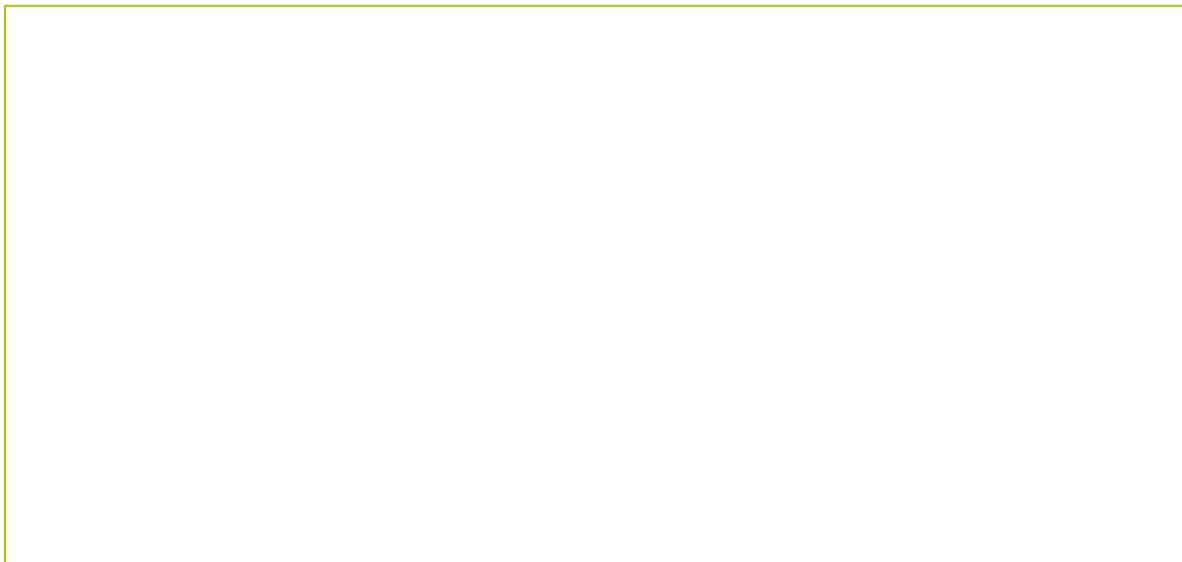


Abbildung 27: Produktionsfenster

Für die Sicherheit der Anlage ist das Produktionsfenster zuständig. Hier werden alle aktuellen Prozesswerte und Füllmengen angezeigt.

Die Ergebnisse wurden basierend auf den Prozessergebnissen des Projektpartners Custom Cells für die weitere Planung der Entwicklung berücksichtigt. Die folgende Abbildung zeigt die aufgebaute Laboranlage sowie ein gerendertes Bild dieser.

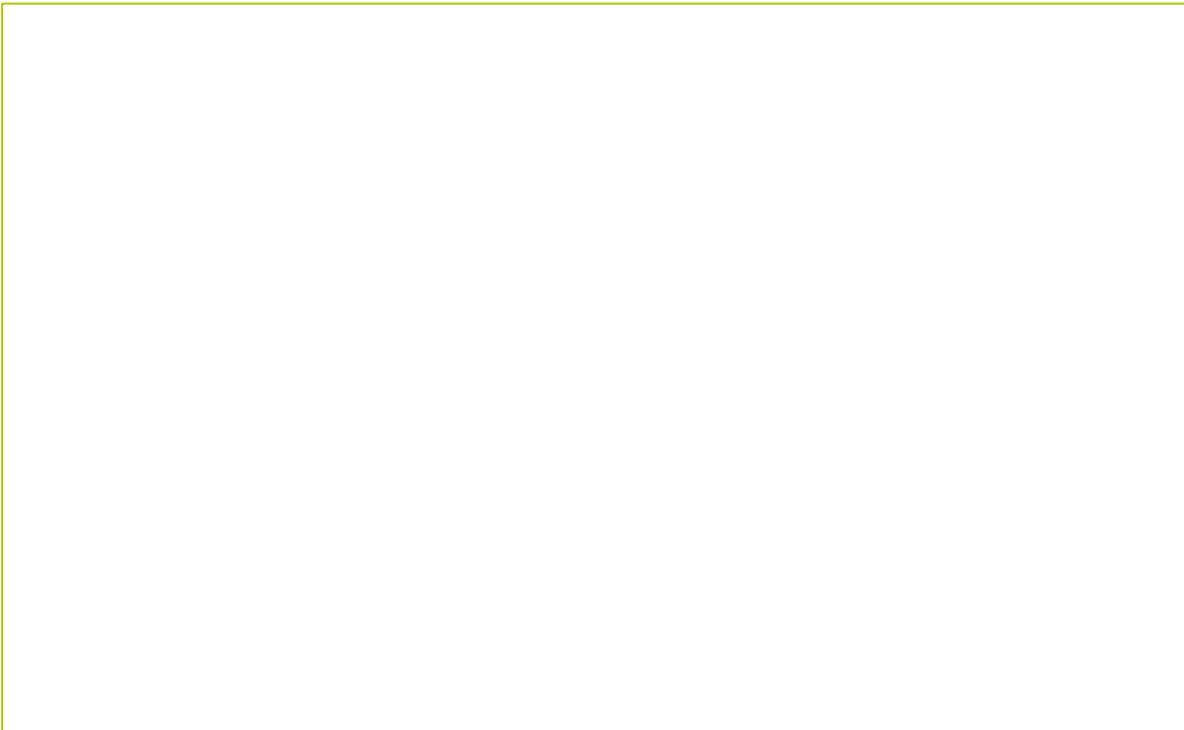


Abbildung 28: Aufgebaute Laboranlage zur Elektrolytbefüllung

Auf Basis der Prozessergebnisse wurden bereits Verbesserungsmaßnahmen abgeleitet und mit der Weiterentwicklung begonnen bzw. Folgeaktivitäten definiert. Hierzu zählen insbesondere der Betrieb der Laboranlage unter Trockenraumbedingungen und die Anpassung der Zellhalterung zur Erweiterung des möglichen Zellspektrums bei der Befüllung, z. B. für Rundzellen, oder Anpassung der Steuerung zur Verbesserung der Bedienbarkeit.

## **2.2 Positionen des zahlenmäßigen Nachweises**

Die verschiedenen Kostenarten sind im Detail im separaten Verwendungsnachweis detailliert und separiert nach den einzelnen Kostenarten zusammengestellt.

## **2.3 Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit**

Zur Zielerreichung der Aufgabenstellungen waren die durchgeführten Arbeiten und Aufwände in dem dargestellten Umfang notwendig. Mit der Dimensionierung des Fertigungsbereichs konnten für eine GigaFactory eine ressourcen- und umweltschonende Massenproduktion mit hoher Qualität und Stückzahl zu wettbewerbsfähigen Kosten ausgelegt werden. Des Weiteren wurden mit den Technologien zur Produktion von Pouch-Zellen und zylindrischen Zellen Hochgeschwindigkeitsprozesse für die Massenfertigung und mit der Variantenfertigung von flexiblen, für mehrere Baugrößen und Zellenformate ausgelegte Maschinen entwickelt. Weitere Optimierungen der Anlagen und die Weiterentwicklung der Prototypmaschinen zur

Nutzung in Massenproduktionen durch weitere F&E-Aktivitäten nach Projektende finden nach Projektende statt.

#### **2.4 Voraussichtlicher Nutzen, insbesondere Verwertbarkeit des Ergebnisses**

Die Entwicklungen erlauben es der Manz AG die Projektergebnisse in Zusammenarbeit mit Kunden zu nutzen. Diese sind zur Zeit jedoch noch nicht monetär verwertbar, erlauben es aber beispielsweise Samplings bzw. Demonstratorbauteile für Kunden mit den neuen Technologien herzustellen und so die technologischen Kompetenzen des Unternehmens darzustellen und des Weiteren langfristig Kundenprojekte zu gewinnen. Mittelfristig führen die Arbeiten im Rahmen des Projekts zu einer Erweiterung des Produktportfolios mit modularen Elementen. Hierzu zählen die Technologien zur Pouch-Zellen-Fertigung, zylindrische Zellen und die Variantenfertigung sowie allgemeine Verbesserungen der aktuellen Assemblierungslinien. Die konkreten Verwertungsabsichten der Manz AG sind in dem Erfolgskontrollbericht dargestellt.

#### **2.5 Entwicklungsfortschritt**

Während der Durchführung des Projekts sind der Manz AG keine Arbeiten auf dem Gebiet an anderen Stellen bekannt geworden.