

## Schlussbericht

---

Zuwendungsempfänger: P3 Automotive GmbH

Förderkennzeichen: 03ETE023X

---

### **Entwicklung einer „Kompetitiven Variantenfertigung für Lithium Akkumulatoren mit Dienstleistungscharakter zur Lithium-Ionen-Zellentwicklung und für die Produktion von Klein- und Mittelserien für Nischenmärkte“**

---

Laufzeit des Vorhabens: 01.09.2019 – 31.12.2021

---

Berichtszeitraum: 01.09.2019 – 31.12.2021

---

Gefördert vom



Bundesministerium  
für Wirtschaft  
und Energie

Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt beim Autor.

## Inhaltsverzeichnis

1	Projektmotivation .....	4
2	Projektziel.....	4
3	Lösungsweg .....	4
4	Verwertung der Projektergebnisse und Ablauf des Projekts.....	5
4.1	Ziele der Arbeitspakete .....	5
4.2	Arbeitspaket 1.1 – Anlagenkonzeptionierung .....	5
4.2.1	Manufacturing Execution System – MES .....	5
4.2.2	Datawarehousing .....	7
4.3	Arbeitspaket 3.1 – Anforderungsanalyse .....	9
4.4	Arbeitspaket 3.3 – Wirtschaftlichkeitskonzept .....	10
5	Arbeitspaket 1.1 – Anlagenkonzeptionierung.....	11
5.1	Manufacturing Execution System – MES.....	11
5.1.1	Beitrag des Ergebnisses zu den förderpolitischen Zielen, auch zwecks Evaluierung von Förderprogrammen/-schwerpunkten .....	11
5.1.2	Wissenschaftlich-technische Ergebnisse des Vorhabens im Vergleich zu den ursprünglichen Zielen, erreichte Nebenergebnisse und gesammelte wesentliche Erfahrungen.....	12
5.1.3	Fortschreibung des Verwertungsplans .....	14
5.1.3.6	<i>Präsentationsmöglichkeiten für mögliche Nutzer - z.B. Anwenderkonferenzen</i>	
	15	
5.2	Data Warehousing .....	15
5.2.1	Beitrag des Ergebnisses zu den förderpolitischen Zielen, auch zwecks Evaluierung von Förderprogrammen/-schwerpunkten .....	15
5.2.2	Wissenschaftlich-technische Ergebnisse des Vorhabens im Vergleich zu den ursprünglichen Zielen, erreichte Nebenergebnisse und gesammelte wesentliche Erfahrungen.....	15
5.2.3	Fortschreibung des Verwertungsplans .....	21
6	Arbeitspaket 3.1 - Anforderungsanalyse.....	24
6.1	Ergebnisse der Anforderungsanalyse .....	24
6.2	Zusammenfassung der Anforderungsanalyse .....	26
7	Arbeitspaket 3.3 - Wirtschaftlichkeitskonzept.....	28

7.1	Beitrag des Ergebnisses zu den förderpolitischen Zielen, auch zwecks Evaluierung von Förderprogrammen / -schwerpunkten .....	28
7.2	Wissenschaftlich-technische Ergebnisse des Vorhabens im Vergleich zu den ursprünglichen Zielen, erreichte Nebenergebnisse und gesammelte wesentliche Erfahrungen .....	29
7.3	Fortschreibung des Verwertungsplans.....	30
7.3.1	Erfindungen/Schutzrechtsanmeldungen und erteilte Schutzrechte, die vom Zuwendungsempfänger oder von am Vorhaben Beteiligten gemacht oder in Anspruch genommen wurden, sowie deren standortbezogene Verwertung (Lizenzen u.a.) und erkennbare weitere Verwertungsmöglichkeiten.....	30
7.3.2	Wirtschaftliche Erfolgsaussichten nach Auftragende (mit Zeithorizont) - z.B. auch funktionale/wirtschaftliche Vorteile gegenüber Konkurrenzlösungen, Nutzen für verschiedene Anwendergruppen/ -industrien am Standort Deutschland, Umsetzungs- und Transferstrategien.....	30
7.3.3	Wissenschaftliche und/oder technische Erfolgsaussichten nach Auftragende (mit Zeithorizont) - u.a. wie die geplanten Ergebnisse in anderer Weise (z.B. für weitere öffentliche Aufgaben, Datenbanken, Netzwerke, Transferstellen etc.) genutzt werden können. Dabei ist auch eine etwaige Zusammenarbeit mit anderen Einrichtungen, Firmen, Netzwerken, Forschungsstellen u.a. einzubeziehen.....	31
7.3.4	Wissenschaftliche und wirtschaftliche Anschlussfähigkeit für eine mögliche notwendige nächste Phase bzw. die nächsten innovatorischen Schritte.....	31
7.3.5	Arbeiten, die zu keiner Lösung geführt haben.....	31
7.3.6	Präsentationsmöglichkeiten für mögliche Nutzer - z.B. Anwenderkonferenzen	
	32	
8	Einhaltung der Ausgaben-/Kosten- und Zeitplanung.....	33

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Schematische Darstellung Datenmanagement .....	6
Abbildung 2: Schematische Darstellung Datenmanagement .....	6
Abbildung 3: Gegenüberstellung MES vs. Datawarehouse.....	8
Abbildung 3: Schematisches Darstellung Schnittstellendefinition .....	9
Abbildung 5: Priorisierung ausgewählter Merkmale und Anforderungen an das MES .....	12
Abbildung 6: Strukturübersicht der Anforderungen an MES/CAQ. ....	13
Abbildung 7: Auszug aus den relevanten Parametern entlang der Produktionskette. ....	13
Abbildung 8: Beispielhafte Struktur einer AWS-basierten Data-Warehouse-Architektur für die Analyse des gesamten Datenbestandes .....	16
Abbildung 9: Arbeitspaketübersicht .....	18
Abbildung 10: Datamodellierungskonzept.....	19
Abbildung 11: Datawarehousing Pipeline .....	19
Abbildung 12: ETL Prozess.....	20
Abbildung 13: Machine Learning mit Amazon SageMaker .....	20
Abbildung 14: Zusammenfassung der Ergebnisse .....	21
Abbildung 15: Live Data Extraction .....	22
Abbildung 16: Data Simulation / Augmentation .....	23
Abbildung 17: Zusammenfassung der Ergebnisse der Anforderungsanalyse Teil 1 .....	25
Abbildung 18: Zusammenfassung der Ergebnisse der Anforderungsanalyse Teil 2 .....	26
Abbildung 19: P3 Assessment zur Markt-Zellabhängigkeit.....	26
Abbildung 20: Bewertung & Auswahl Shortlist .....	27
Abbildung 21: Beispiel einer Zellkostenermittlung mit Profitmarge am Beispiel von zwei unterschiedlichen Zellformaten. ....	28
Abbildung 22: Beispielansicht des Dashboards zur Visualisierung der Materialkosten .....	32

## 1 Projektmotivation

Mit zunehmender Elektrifizierung verschiedenster Anwendungen sowohl im End- als auch im Industiekundenumfeld steigt die Nachfrage nach Batteriezellen. Die für diese Anwendungen etablierte Technologie für die Speicherung und den Betrieb von energie-autonomen Anwendungen ist die Lithium-Ionen Zelltechnologie. Im Gegensatz zu klassischen Batterietechnologien wie Blei-Säure oder Nickel-Metall-Hydrid gibt es bei der Lithium-Ionen Technologie deutlich mehr Stellschrauben, mit denen die Eigenschaften der Zellen parametrieren können.

In diesem Rahmen wurden aktuelle, kurz- und mittelfristigen Entwicklungsbedarfe ermittelt und relevante Zelltypen festgelegt, die auf den KomVar Anlagen im Rahmen des Projektes exemplarisch produziert werden können. Faktoren wie Zellchemie, Kapazität, Zellformat, Anschlussfahnen (Tabs) und Materialien wie Separator und Elektrolyt haben bei der Identifizierung eine Rolle gespielt.

## 2 Projektziel

Ziel des Projektes ist es eine überwiegend automatisierte Variantenfertigung zu entwickeln, aufzubauen und zu demonstrieren. Dabei soll das Ergebnis erzielt werden, die Kosten und den Zeitrahmen für eine vollständige Zellproduktentwicklung vom Einsatz neuer Technologie bis zur Serienreife signifikant zu reduzieren. Das Resultat kann einen erheblichen Beitrag dazu leisten, die Hürden für die Etablierung von Großserienfertigungen in Deutschland und Europa zu senken und die Technologieführerschaft bei der Lithium-Ionen-Zellentwicklung zu erringen.

## 3 Lösungsweg

Als Plattform für die Entwicklung des KomVar Konzeptes soll eine bereits bestehende, unflexible Fertigungsanlage für Großserienfertigung der Firma MANZ AG (Sitz in Reutlingen) dienen, die im Rahmen des Projektes neu entwickelt und umkonstruiert werden wird. Über Ermittlung der aktuellen, kurz- und mittelfristigen Entwicklungsbedarfe für Anlagen sollen

Zelltypen festgelegt werden, die bei der Entwicklung der KomVar Anlagen im Rahmen des Projektes exemplarisch adressiert werden sollen. Hierbei spielen Faktoren wie Zellchemie, Kapazität, Zellformat, Tabdesign und Materialien wie Separator und Elektrolyt eine Rolle. Die zu entwickelnde Anlage soll in diesen Bereichen flexibel agieren können aber dennoch über ein hohes Maß an Automation verfügen, um ein sehr hohes Qualitätsniveau umzusetzen. In Testserien soll das Konzept nicht nur auf seine technische Umsetzbarkeit hin überprüft, sondern auch die Kompetitivität anhand einer parallel zu den technischen Arbeiten laufenden Wirtschaftlichkeitsprüfung gezeigt werden. Die Kosten für Zellanpassungen und Zellentwicklung dürfen dabei nicht eine für Kunden akzeptable Höhe übersteigen.

## 4 Verwertung der Projektergebnisse und Ablauf des Projekts

Nach erfolgreicher Entwicklung des KomVar Anlagenkonzeptes (Anlagengeneration 0)- und der Bestätigung der grundsätzlichen Wirtschaftlichkeit des KomVar Ansatzes hat der Projektpartner Customcells Tübingen GmbH in den Aufbau neuer Anlagen bzw. in ein Anlagenupdate, gemäß der KomVar Projektergebnisse (Generation 1) investiert und mit diesen Anlagen am Standort in Tübingen ein neues Geschäftsfeld etabliert.

### 4.1 Ziele der Arbeitspakete

Die folgenden Arbeitspakete wurden im Zuge der Projektskizze zu Beginn des Projektes bestimmt und von P3 erfolgreich bearbeitet.

### 4.2 Arbeitspaket 1.1 – Anlagenkonzeptionierung

#### 4.2.1 Manufacturing Execution System – MES

Das Ziel des AP1 war die Anlagenkonzeptionierung und Maschinenauslegung.

Unter diesem Aspekt wurden sind auch die Themen KI (Künstliche Intelligenz) und ein Data Analytics Konzept Bestandteil. Vor allem für die Umsetzung der Pilotanwendungen und der Infrastruktur wurde bereits am Anfang des Projekts sehr stark auf die Bereitstellung von Daten in der Konzeptionierung Wert gelegt.

Vorhabenbezeichnung: KOMVAR - Entwicklung einer „Kompetitiven Variantenfertigung für Lithium Akkumulatoren mit Dienstleistungscharakter zur Lithium-Ionen-Zellentwicklung und für die Produktion von Klein- und Mittelserien für Nischenmärkte“

Eine einhundertprozentige Rückverfolgbarkeit, die Fähigkeit für erweiterte Analysen und die Skalierbarkeit des Datenmanagementsystem wurden als Prämissen bei der Konzeptionierung definiert. In Abbildung 1 und Abbildung 2 sind schematische Konzeptüberblicke über die Verknüpfung von Firmen-, Produktion- und Maschinenlevel sowie von CCT, Zulieferer und Kunden schematisch dargestellt. Der zentrale Punkt des MES/CAQ (Computer Aided Quality) System in den Abbildungen verdeutlicht die Bedeutung dieser Systeme, sowie einer anschließende Datenverwaltung, im Rahmen einer Anlagenkonzeptionierung sind.

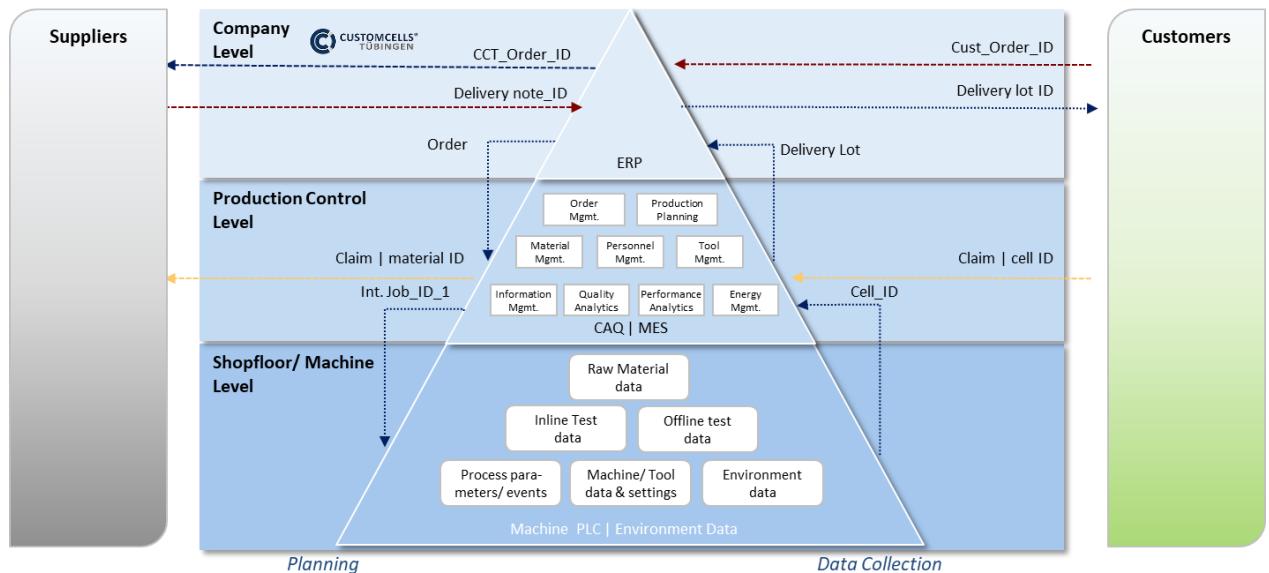


Abbildung 1: Schematische Darstellung Datenmanagement

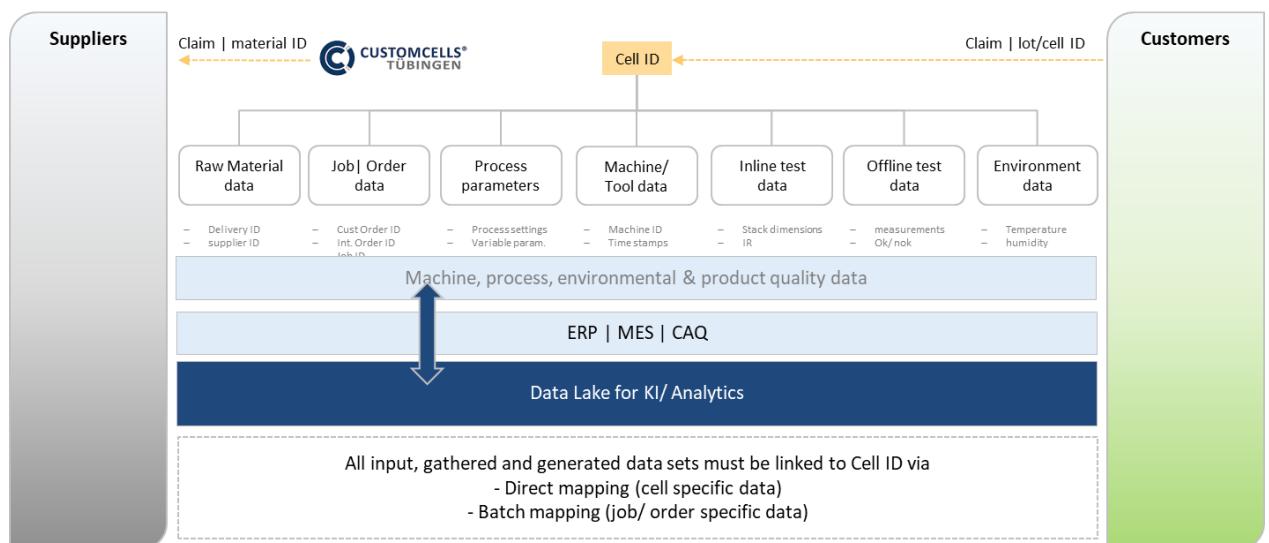


Abbildung 2: Schematische Darstellung Datenmanagement

#### 4.2.2 Datawarehousing

Dieses Arbeitspaket wurde durch die Konstellation angestoßen, dass der Produktionslinie von Customcells eine Software-Infrastruktur fehlte, die eine datengesteuerte Fertigung ermöglicht. Dieser Ansatz erlaubt es, produktionsbezogene Fakten und einen genauen Datensatz von Produktions-KPIs zu extrahieren, um die strategische Entscheidungsfindung zu unterstützen, anstatt auf Vermutungen zurückzugreifen. Die datengesteuerte Fertigung verbessert die Transparenz für ein tieferes Verständnis der Leistung der Batterieproduktionslinie und kann zu einer erheblichen Senkung der Betriebskosten führen, indem Verschwendungen minimiert, Ausfälle und Stillstände prognostiziert und die Produktionsprozesse rationalisiert werden. Darüber hinaus ermöglicht die Erfassung von Produktionsdaten eine direkte Zuordnung der Kosten zu den Faktoren, die sie verursachen. Die so erreichte größere Kostentransparenz verbessert die Überwachung und das Kostenmanagement. Die historischen Daten können einige effizienzbezogene Muster, sowie das Verhalten von KPIs vor einem Ausfall aufdecken und durch nachfolgende Gegenmaßnahmen die Wirtschaftlichkeit der Produktion nachhaltig steigern.

Die Entwicklung einer Datawarehousing-Infrastruktur dient zur Reduktion der oben beschriebenen Verluste. Im Zusammenhang mit dem Datenmanagement unterscheiden sich Manufacturing Execution Systems (MES) und Datawarehouse. Der Unterschied sowie die Gemeinsamkeiten sind in Abbildung 3 dargestellt. Das MES ist ein Computeranwendungssystem, welches alle relevanten Echtzeitinformationen entlang eines Fertigungsprozesses integriert. Der Schwerpunkt des MES-Systems liegt auf der Verwaltung der täglichen Abläufe in der Zellenproduktion, operative Planung, Organisation und Kontrolle des Produktionsflusses und der Qualitätsarbeit. Dabei werden die Daten in „quasi-Echtzeit“ mit Standard-Analysefunktionen verarbeitet. Der Vorteil dieser Vorgehensweise ist der geringere Aufwand in der Verwaltung der Datenhistorie. Zur Sammlung von Echtzeit-Daten über eine Produktionslinie ist somit die Verwendung eines MES unerlässlich.

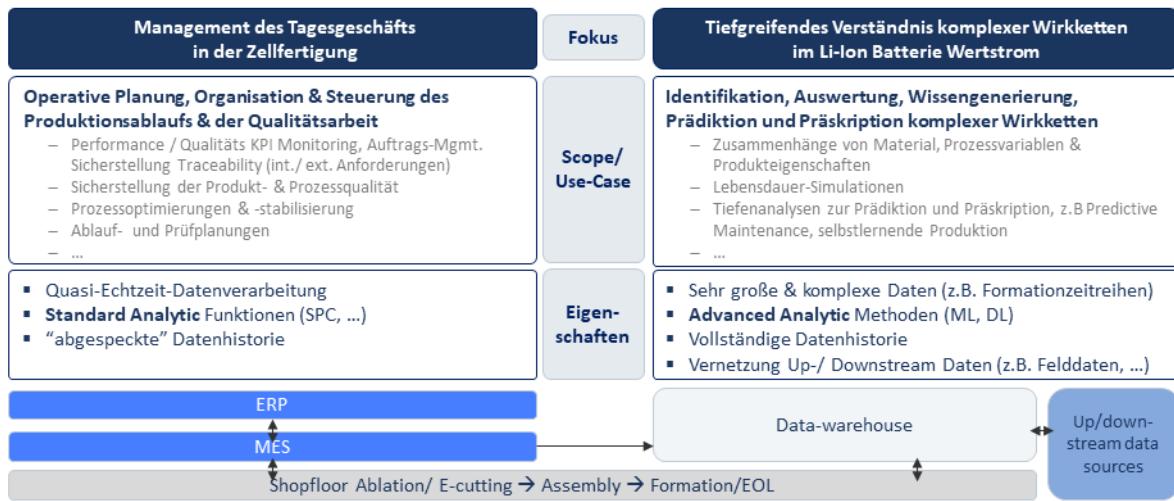


Abbildung 3: Gegenüberstellung MES vs. Datawarehouse

Demgegenüber erhält ein Datawarehouse die Echtzeitdaten als Input und speichert sie für spätere Deep-Analytics- und KI-Anwendungen. Abbildung 4 zeigt das Konzept der Datenverwaltung in der Produktionsumgebung. Die Datawarehouse-Infrastruktur sollte so konzipiert sein, dass sie Input aus verschiedenen Quellen erhalten kann, falls das MES nicht verfügbar oder nicht mit allen Quellen verbunden ist. Beispiele hierfür sind externen Datenbanken, die keine Echtzeitdaten liefern. Das Production Data Warehouse bietet eine sichere, verarbeitete und strukturierte Speicherung von Daten. Die regelbasierte Datenvalidierung verhindert "Garbage in – Garbage out"-Szenarien (fehlerhafte oder unsinnige Input-Daten erzeugen ebenso unsinnige Outputs). Sichere Transaktionen verhindern eine fehlerhafte Datenspeicherung, während eine umfangreiche und detaillierte Protokollierung eine einfache Überprüfung und Fehlerbehebung ermöglicht. Noch bevor die Daten gespeichert werden können, werden sie in Formate umgewandelt, die ohne Änderung für künftige Anwendungen verwendet werden können (z. B. Aggregation, Umwandlung von zeit- in positionsbasierte Daten, Segmentierung von Daten usw.). Die einheitliche Datenstruktur ermöglicht einen wesentlich schnelleren Datenzugriff unabhängig von der Zielanwendung und ohne Beeinträchtigung der Datenintegrität durch z.B. menschliches Versagen, Widersprüche in der Formatierung, Erhebungsfehle etc... Das Speichervolumen wird ohne Datenverlust reduziert.

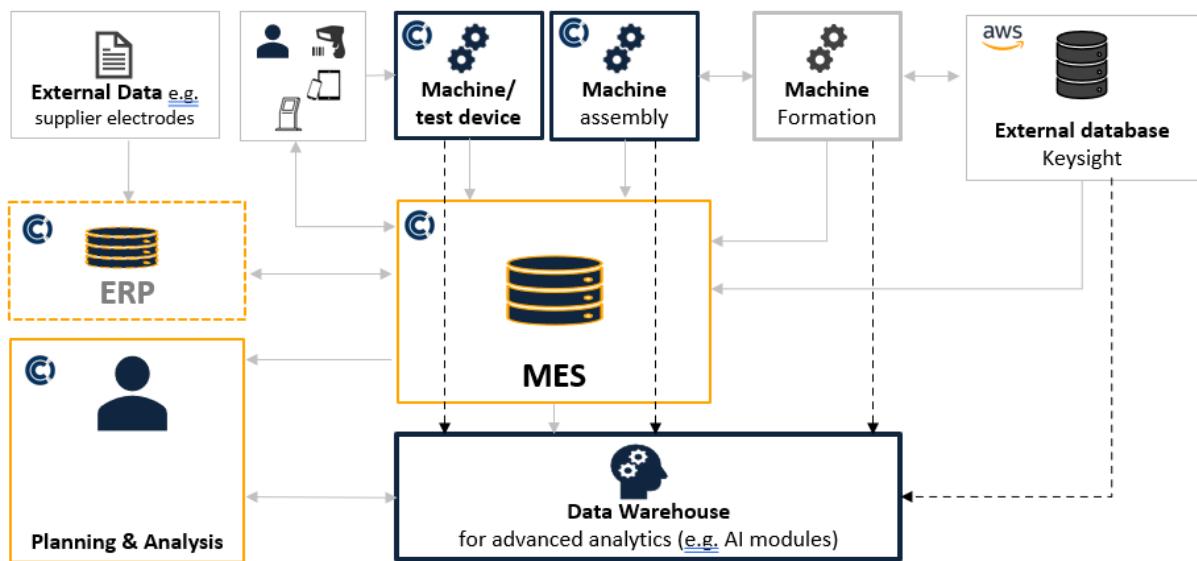


Abbildung 4: Schematisches Darstellung Schnittstellendefinition

#### 4.3 Arbeitspaket 3.1 – Anforderungsanalyse

Eine ausführliche Anforderungsanalyse sollte durchgeführt werden, um die aktuellen, aber auch kurz- und mittelfristigen Bedarfe an verschiedenen Lithium-Ionen Zellen zu ermitteln. Dabei stehen die Bedarfe für Zellentwicklungen und Nischenmarktzellen im Vordergrund. Entscheidend ist zu erfahren, welcher Kundenkreis in welchen Zellpreiskorridor zu verorten ist; sowohl bezüglich Entwicklungs-Zellserien als auch für Nischenmarktapplikationen. Hier gibt es bereits jetzt große Unterschiede in den Erwartungen, die von kostengünstigeren Angeboten aus Fernost verstärkt werden, obwohl diese Angebote nur potenzielle Großserienabnehmer adressieren. Ein klares Bild zu entwickeln, stellte eine Grundvoraussetzung für das Projekt dar. Es wurden Gespräche mit Bestands- und potenziellen Kunden geführt werden, in denen das KomVar Konzept gezielt vorgestellt und analysiert wurde. Dabei wurde durch Experteninterviews ausgelotet, welcher Leistungs-, Flexibilitäts- und Zielpreiskorridor für Klein- und Mittelserienfertigungen zu definieren ist. Bei diesem Prozess unterstützten auch die assoziierten Partner. Darüber hinaus erfolgte die Entwicklung einer IT basierten, intelligenten Projektplanungs- und Logistiksteuerungsumgebung (Wirtschaftlichkeitskonzept) mit deren Hilfe alle Prozesse und die wesentlichen Kostenfaktoren abgebildet werden können. Über diese Entwicklung können

die Zellkosten auch für zukünftige Designs und Technologien schnell und präzise bestimmt werden.

#### 4.4 Arbeitspaket 3.3 – Wirtschaftlichkeitskonzept

Im Zuge der Arbeiten aller anderen Arbeits- und Unterarbeitspakte wurden Daten für das Wirtschaftlichkeitskonzept gesammelt. Dabei handelt es sich um die folgenden Parameter:

- Anlageninvestitionen
- Materialeinsätze
- Ausschuss
- Durchlaufzeiten
- Taktzeiten
- Wechselzeiten
- Wechselkosten
- Kosten für geistiges Eigentum
- Personalaufwand/Automatisierungsgrad
- Medien
- Infrastruktur
- Energiekosten

Aus diesen Daten ergibt sich ein Zellpreis, der hinsichtlich A- und B-Musterserien sowie hinsichtlich Nischenzellen in Kleinserie oder Serien für Entwicklungsarbeiten differenzieren wird. Die Ergebnisse des Tools wurden an das AP 1 zurückgespiegelt. Die Anlagen wurden in einer Iterationsstufe dahingehend optimiert, die kritischen Einflussfaktoren zu reduzieren, die den Zellpreis und die Produktionsflexibilität bestimmen. Die Änderungen wurden wieder anhand von Daten aus den Testläufen verifiziert und das Wirtschaftlichkeitskonzept entsprechend angepasst. Auch ein Ausblick auf weitere Formate, Chemien und u.U. andere Zelltechnologien wurde gegeben, um somit den Preis für die Anlagen der Generation 1 zu ermitteln.

## 5 Arbeitspaket 1.1 – Anlagenkonzeptionierung

Zur Schaffung einer nachhaltigen und wirtschaftlichen Anlagenkonzeptionierung, wurde im Laufe des Projektes ein MES-System seitens P3 Automotive GmbH verwendet und eine nachfolgende Datawarehouse Lösung erarbeitet. Die Vorteile eines MES mit inkludierten CAQ Elementen und eines nachfolgenden Datawarehouse Systems zur Analyse der gewonnenen Daten können zur Effizienz- und Qualitätssteigerung verwendet werden. Die somit vermiedenen Verschwendungen und Effizienzsteigerungen tragen direkt zum Projekterfolg und zur Steigerung der Wirtschaftlichkeit der Gesamtunternehmung bei. Die verwendeten Ergebnisse geben Aussagen außerdem Aussagen über die Anforderungen, die für ein später implementiertes MES benötigt werden.

### 5.1 Manufacturing Execution System – MES

#### 5.1.1 Beitrag des Ergebnisses zu den förderpolitischen Zielen, auch zwecks Evaluierung von Förderprogrammen/-schwerpunkten

Im Rahmen des Vorhabens wurde ein Anlagenkonzept einschließlich der Einbindung eines Manufacturing Execution Systems (MES), kombiniert mit Aspekten einer Computer-Aided Quality assurance (CAQ) Lösung erarbeitet. Parallel wurde eine Marktrecherche der verfügbaren Systeme und ein Abgleich mit den Prioritäten der Kleinserienproduktion von Batteriezellen durchgeführt. Ein Schwerpunkt waren hierbei neben den Möglichkeiten zur Sicherstellung und Kontrolle der Produktqualität auch die Schaffung einer langfristigen Datengrundlage zur Durchführung von Verbesserungen, z.B. Rekonstruktion der Zusammenhänge von Ausbeuten und Lebensdauern von Batteriezellen in der Bewährung im Feld in Bezug auf die ursprünglichen Produktionsparameter.

Die Erkenntnisse bildeten die Grundlage für die konkrete Lieferantenauswahl zur Implementierung der MES/CAQ-Lösung.

5.1.2 Wissenschaftlich-technische Ergebnisse des Vorhabens im Vergleich zu den ursprünglichen Zielen, erreichte Nebenergebnisse und gesammelte wesentliche Erfahrungen

Im Rahmen des Vorhabens wurden generelle Anforderungen für Anlagen und damit integrierte MES- und CAQ-Lösungen für die Kleinserienproduktion im Allgemeinen, sowie die für Produkt- und Prozessqualität- in der Batteriezell-Produktion im Speziellen relevanten Anforderungen wie in Abbildung 5 dargestellt, herausgearbeitet.

#	Functional cluster	Function	Prio 1	Prio 2	Prio 3
			"mandatory"	"2nd step"	"may-be"
1	Production Planning & Control	1.1 Order management	x		
		1.2 Traceability of components per each cell	x		
		1.3 Process locking	x		
		1.4 Fine planning / fine control			x
		1.5 Ressource management			x
		1.6 Human ressources			x
2	Quality Planning & Assurance	2.1 Process planning/ Control plan	x		
		2.2 Test process planning	x		
		2.3 Production and process acceptance	x		
		2.4 Batch / Intermediate / Final inspection	x		
		2.5 Statistic process control	x		
		2.6 Goods leaving inspection	x		
		2.7 Quality management information system	x		
		2.8 Incoming goods inspection	x		
		2.9 Project management/ APQP		x	
		2.10 FMEA/ risk management		x	
		2.11 Gauge management & MSA		x	
		2.12 Complaint and warranty management		x	
		2.13 Response management			x
		2.14 Workflow management			x
		2.15 Audit management			x
3	Machine & Operational Data Acquisition	3.1 Machine data acquisition	x		
		3.2 Production data acquisition	x		
		3.3 Production monitoring/ Production control station	x		
4	Management Processes	4.1 Qualification management			x
		4.2 Preventive maintenance			x
		4.3 Performance analysis	x		
		4.4 Accounting/ Change log history		x	

Abbildung 5: Priorisierung ausgewählter Merkmale und Anforderungen an das MES.

Die relevanten Anforderungen wurden in einem Lastenheft gebündelt, dessen Struktur in Abbildung 6 abgebildet ist. Die Ausschreibungen wurden ebenfalls begleitet.

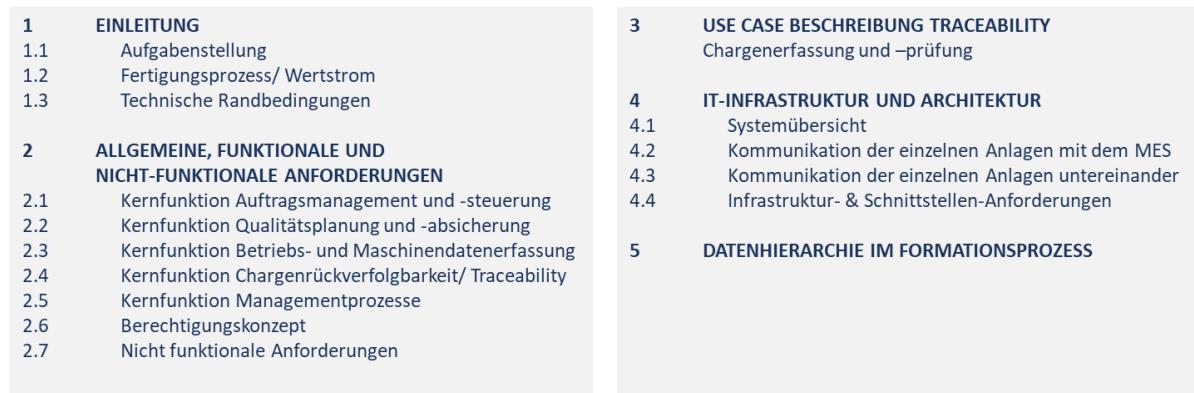


Abbildung 6: Strukturübersicht der Anforderungen an MES/CAQ.

Wie in Abbildung 7 dargestellt, wurden für das Datenmanagement frühzeitig die relevantesten Parameter zur Messung, Prüfung und Optimierung von Prozess- und Produktqualität entlang der Produktionskette erfasst. Kernanforderung war hierbei die Sicherstellung einer vollständigen Nachverfolgbarkeit für Batteriezellen über den gesamten Produktionsprozess und bis in die Verwendung im Feld. Hieraus wurde ein Katalog aus ca. 350 Parametern entlang der Prozesskette (ohne Formation) generiert.

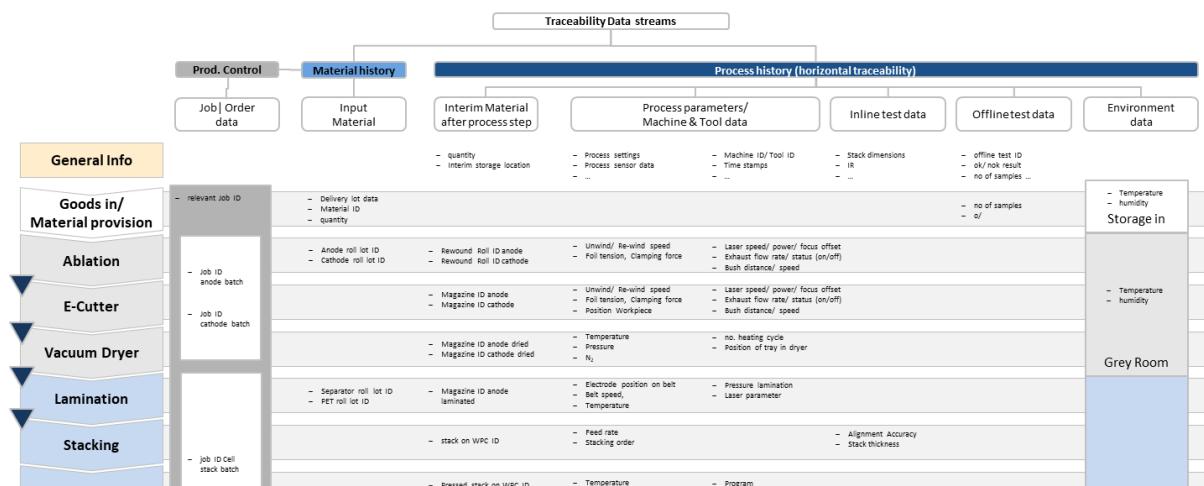


Abbildung 7: Auszug aus den relevanten Parametern entlang der Produktionskette.

Konkrete Ergebnisse sind:

- Gesamtübersicht von Datenquellen in der Zellproduktion-/Maschinenpark
- Parameterliste der wichtigsten Stellhebel für die Zellqualität und Maschinenzuverlässigkeit (ca. 350 Parameter)
- Marktüberblick und Vorauswahl der Lieferanten für MES & CAQ-Lösungen (Long-/Shortlist)

- Funktionale und nicht-funktionale Anforderungen an die erforderliche MES & CAQ-Lösungen
- Architektur für die Einbindung in bestehende IT-Infrastruktur und flexible Möglichkeit zur Einbindung von KI-Modulen

### 5.1.3 Fortschreibung des Verwertungsplans

- 5.1.3.1 *Erfindungen/Schutzrechtsanmeldungen und erteilte Schutzrechte, die vom Zuwendungsempfänger oder von am Vorhaben Beteiligten gemacht oder in Anspruch genommen wurden, sowie deren standortbezogene Verwertung (Lizenzen u.a.) und erkennbare weitere Verwertungsmöglichkeiten*

Im Rahmen des Vorhabens wurden keine Schutzrechte angemeldet oder in Anspruch genommen.

- 5.1.3.2 *Wirtschaftliche Erfolgsaussichten nach Auftragende (mit Zeithorizont) - z.B. auch funktionale/wirtschaftliche Vorteile gegenüber Konkurrenzlösungen, Nutzen für verschiedene Anwendergruppen/-industrien am Standort Deutschland, Umsetzungs- und Transferstrategien*

Im Rahmen des Vorhabens wurden generelle Anforderungen für integrierte MES- und CAQ-Lösungen für die Kleinserienproduktion im Allgemeinen, sowie die für Produkt- und Prozessqualität- in der Batteriezell-Produktion im Speziellen relevanten Parameter herausgearbeitet und in ein ganzheitliches Anforderungskonzept überführt. Diese Erkenntnisse können im Rahmen der Batteriezell-Produktion auf andere Vorhaben verallgemeinert und nutzbar gemacht werden. Anpassungen müssen für eventuelle Unterschiede in Produktionsprozess (z.B. Elektrodenbeschichtung oder Sensoren Ausstattung der Maschinen getroffen werden.

- 5.1.3.3 *Wissenschaftliche und/oder technische Erfolgsaussichten nach Auftragende (mit Zeithorizont) - u.a. wie die geplanten Ergebnisse in anderer Weise (z.B. für weitere öffentliche Aufgaben, Datenbanken, Netzwerke, Transferstellen etc.) genutzt werden können. Dabei ist auch eine etwaige Zusammenarbeit mit anderen Einrichtungen, Firmen, Netzwerken, Forschungsstellen u.a. einzubeziehen*

-

5.1.3.4 *Wissenschaftliche und wirtschaftliche Anschlussfähigkeit für eine mögliche notwendige nächste Phase bzw. die nächsten innovatorischen Schritte*

5.1.3.5 *Arbeiten, die zu keiner Lösung geführt haben*

Im Rahmen dieses Arbeitspaketes wurden keine Arbeiten durchgeführt, die zu keinem Ergebnis geführt haben.

5.1.3.6 *Präsentationsmöglichkeiten für mögliche Nutzer - z.B. Anwenderkonferenzen*

## 5.2 Data Warehousing

5.2.1 Beitrag des Ergebnisses zu den förderpolitischen Zielen, auch zwecks Evaluierung von Förderprogrammen/-schwerpunkten

Die Relevanz des Data Warehousing im Rahmen dieses Projektes ist durchleuchtet worden. Das Konzept, die Analyse der Infrastruktur und des verfügbaren Inputs, die Datenpipeline und die ersten Umsetzungsschritte bilden die Grundlage für eine finale Data-Warehousing-Plattform.

5.2.2 Wissenschaftlich-technische Ergebnisse des Vorhabens im Vergleich zu den ursprünglichen Zielen, erreichte Nebenergebnisse und gesammelte wesentliche Erfahrungen

Die Ziele dieses Arbeitspakets wurden intern und mit den relevanten Stakeholdern abgestimmt. Daraus resultierend wurden zunächst die verfügbaren Datenquellen, Schnittstellentechnologien und Ziele der Produktion identifiziert und analysiert. Nachfolgend wurde eine beispielhafte Struktur einer AWS-basierten Data-Warehouse-Architektur für die Analyse der gesamten Datenbasis, z.B. im Hinblick auf Produktqualität, Prozessqualität und Maschinenzuverlässigkeit, erstellt (siehe Abbildung 8).

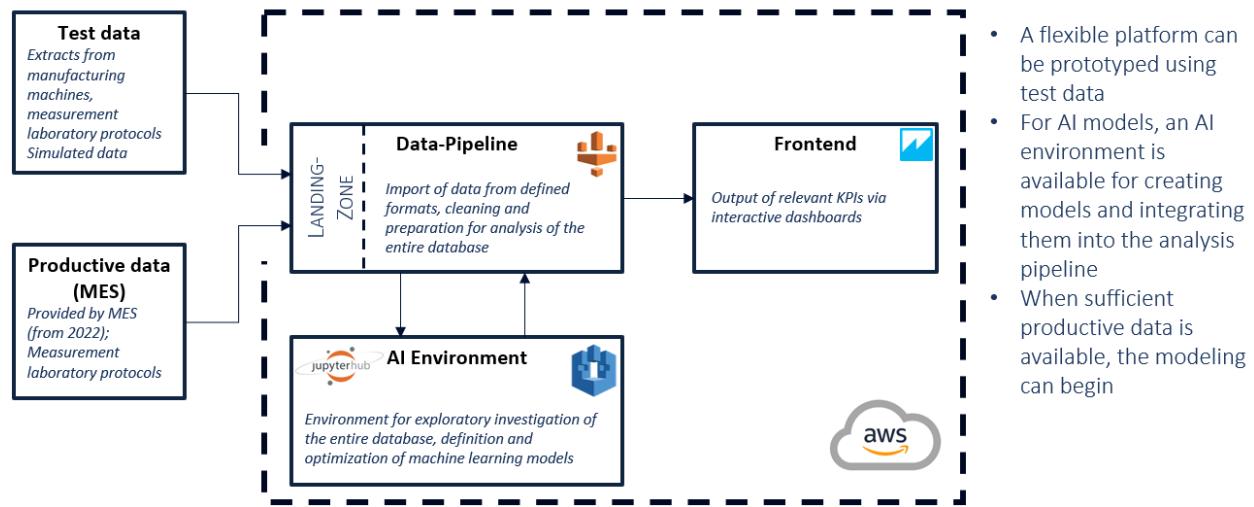


Abbildung 8: Beispielhafte Struktur einer AWS-basierten Data-Warehouse-Architektur für die Analyse des gesamten Datenbestandes

Für die Wahl für einer geeignete Plattform, waren die passendsten die zwei größten Cloud Computing-Plattformen Azure und Amazon Web Service (AWS). AWS bietet im Bereich IoT eine bessere Abdeckung, wurde 8 Jahre vor Azure auf den Markt gebracht und bietet daher mehr skalierbare Dienste, die ausgereifter sind als die von Azure. Dies spiegelt sich auch in der breiten Nutzung von AWS in der Fertigung wider. Darüber hinaus ist AWS ein zuverlässiger Anbieter von Cloud-Diensten, der einen sicheren Zugang und Speicherplatz mit unbegrenzter Serverkapazität und hochleistungsfähigen Verwaltungs- und Analysetools bietet. AWS bietet eine benutzerfreundliche Verwaltungskonsole für den Zugriff auf verschiedene Dienste. Außerdem wird AWS häufig im Zusammenhang mit der Verwaltung von Produktionsdaten eingesetzt.

Ein weiterer Grund für die Verwendung von AWS ist der in der Vergangenheit bereits erfolgte Aufbau von des Formationsservers mit Hilfe der Plattform. Da bei einer späteren Integration zwischen dem Formationsserver und dem Datawarehouse die Verwendung derselben Technologie Kosten- und Zeitersparnisse bewirken und der Bedarf an Know-how sowie zusätzlicher Personalschulungen in verschiedenen Plattformen zu verringern werden, ist die Verwendung von AWS auch hier vorteilhaft. Somit fiel die Wahl AWS als Datawarehouse-Plattform.

### **Verfügbarer Input:**

Der Input für das Warehouse sollte hauptsächlich aus dem MES bereitgestellt werden, da es mit den meisten der verfügbaren Maschinen verbunden ist und der Modellierungsrahmen spezifische Definitionen und Formate für Daten bereitstellt. Dadurch wird doppelte Arbeit bei der Auswahl von Datensätzen, Attributen und Beziehungen vermieden. Da zu diesem Zeitpunkt das MES noch nicht zur Verfügung stand, und die alternative der direkten Kommunikation des Warehouse mit den Maschinen den Projektumfang und die Ressourcen überstiegen hätte, wurden Testdaten benötigt, um den Datenmodellierungsrahmen einzurichten. Die Testdaten sollen direkt von den Maschinen während der Produktion gesammelt werden.

Eine Datenpipeline zur Modellierung und Speicherung der Daten könnte dann mit einer KI-Umgebung verbunden werden, um Modelle für maschinelles Lernen zu trainieren, und mit einem Front-End, um relevante KPIs in interaktiven Dashboards zu visualisieren.

Nach der Erstellung eines allgemeinen Konzepts wurden die Arbeitspakete, wie in Abbildung 9 dargestellt, aufgeteilt.

### **Konzeption**

Zu Beginn des Arbeitspakets wurde ein Konzept erarbeitet, in der die Anforderungen definiert und der „Tech Stack“ identifiziert wurde. Darauffolgend wurde die Datenpipeline, welche die Struktur des Datenflusses darstellt, entworfen.

Nach der Identifizierung und Definition wurden die Daten erhoben. Dabei wurde Live-Daten in der Produktionslinie der Customcells Tübingen gesammelt und darüber hinaus Daten simuliert und ein ganzheitlichen Datenstamm zu erhalten.

Die daraus gesammelten Daten wurden in eine Cloud gespeichert und nachfolgend modelliert, um die Integration von Daten aus mehreren Quellen zu ermöglichen und effizient eine relationale Datenquelle zu schaffen. Anschließend wurden andere Webservices, verwendet, um die Daten zu verarbeiten und zwischen verschiedenen AWS-Rechendiensten wie den BI- und den Machine-Learning-Plattformen zu übertragen.

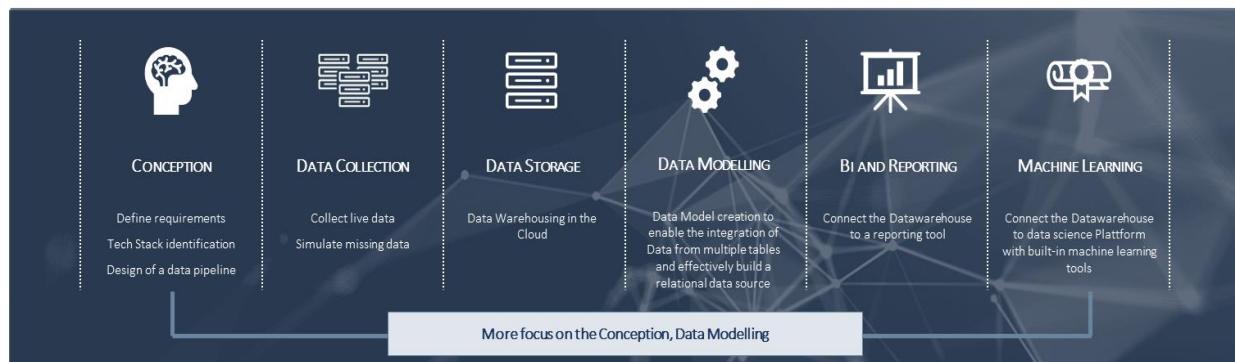


Abbildung 9: Arbeitspaketübersicht

Zur Detaillierung des in Abbildung 9 gezeigten Konzeptes, wurde das Konzept in Abbildung 10 genutzt. Dazu wurden Daten mit Hilfe der verfügbaren OPCUA-Schnittstelle extrahiert. Dabei konnte kein ganzheitliches Bild der Produktion geschaffen werden, da aufgrund der Inaktivität von OPCUA-Schnittstellen einiger Maschinen aus diesen keine Live-Daten extrahiert werden konnten und diese somit modelliert wurden. Die Wahl der Cloud fiel aufgrund der bereits verwendetes AWS Plattform auf die Amazon Web Services Cloud AWS S3-Buckets, durch welche die Daten gespeichert, extrahiert, bereinigt und in ein brauchbares Format transformiert wurden.

Das Konzept in Abbildung 9 ist zu detaillieren und die Konzeptionsphase wird im folgenden Absatz erläutert. Abbildung 10 ist der vorherigen Abbildung ähnlich, da das Konzept praktisch festlegt, was erreicht werden soll.

Zunächst sollten Daten abgerufen werden. Mit Hilfe der verfügbaren OPCUA-Schnittstellen sollten so viele Daten wie möglich extrahiert werden. Die OPCUA-Schnittstellen auf einige-Maschinen sind nicht aktiv, daher können wir keine Live-Daten von diesen Maschinen erhalten. Die fehlenden Daten sollen jedoch simuliert werden. Der nächste Schritt ist Data Warehousing. Es wurde für die Amazon Web Services Cloud entschieden, genauer gesagt für die AWS S3-Buckets zum Speichern, Extrahieren, Bereinigen, Transformieren und Laden von Daten.

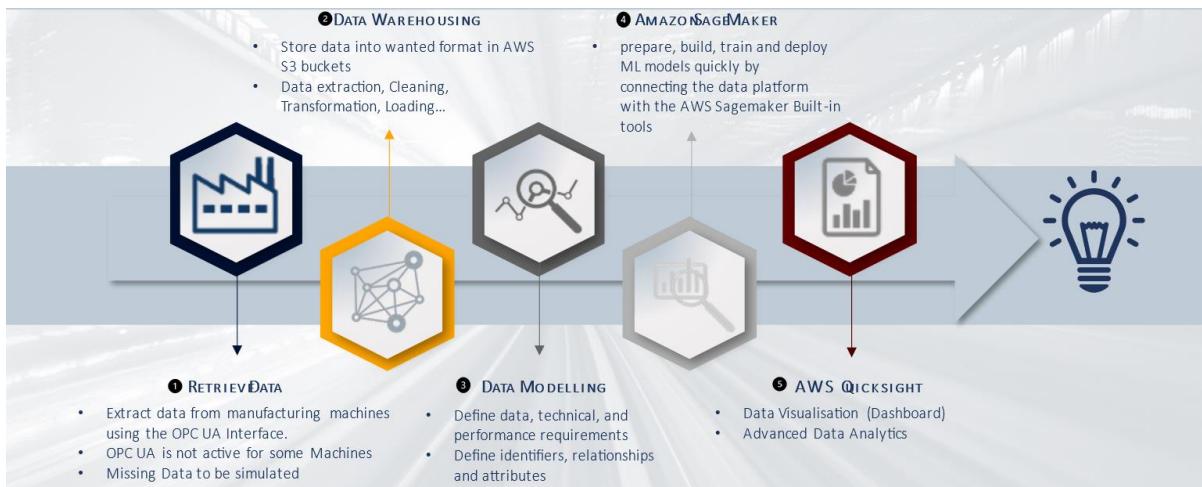


Abbildung 10: Datamodellierungskonzept

Sobald die Daten gespeichert sind, kann mit der Datamodellierung begonnen werden. Dabei sollten die Anforderungen an Daten und Leistung definiert werden. Als Beispiel werden Identifikatoren zur Rückverfolgung der Teile auf der Produktionslinie definiert. Mit Hilfe dieser Identifikatoren können Beziehungen zwischen den Attributen erstellt werden.

Als nächstes können die Buckets mit Amazon SageMaker für maschinelles Lernen und AWS Quicksight für Dashboards und Datenvisualisierung verbindet werden.

Die Datawarehousing-Pipeline wird in Abbildung 11 beschrieben. Die Daten werden in einem Amazon S3-Bucket gespeichert und an den Schritt "Extraktion, Transformation, Laden" (ETL) gesendet.

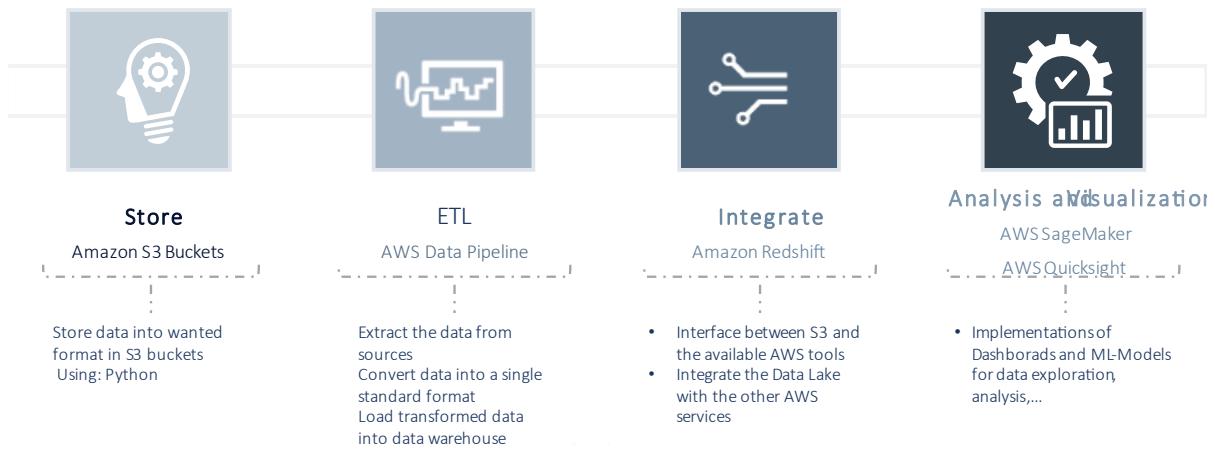


Abbildung 11: Datawarehousing Pipeline

Dieser Schritt wird ausführlich beschrieben in der Abbildung 12. Dabei werden die Daten bereinigt und in ein Standardformat umgewandelt. Der nächste Schritt ist die Integration

dieser Daten mit Amazon Redshift, einer Schnittstelle zwischen S3 und den verfügbaren AWS-Tools und -Diensten, in diesem Fall AWS SageMaker für Machine-Learning-Modelle und AWS Quicksight für die Erstellung von Berichten und Dashboard.

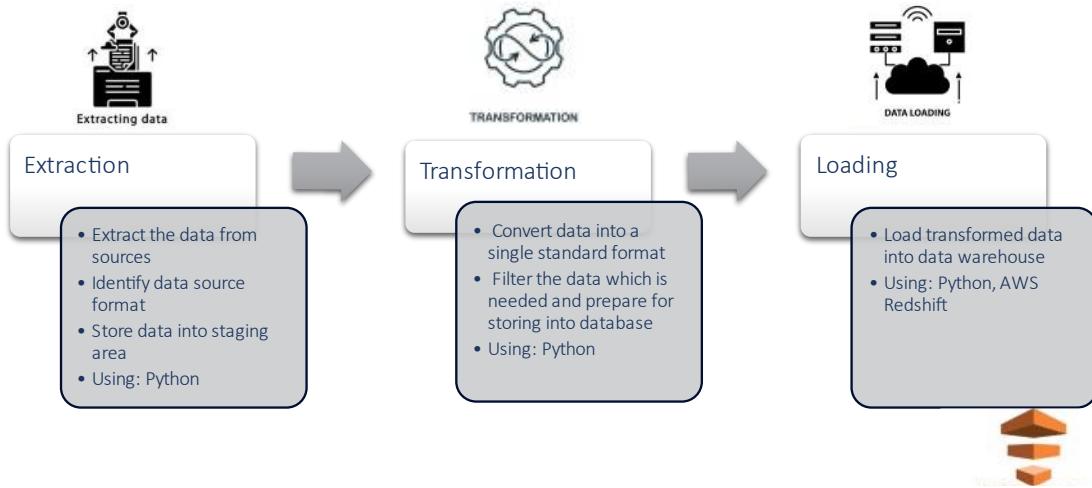


Abbildung 12: ETL Prozess

In Abbildung 13 wird ein Ansatz zur Verwendung von Amazon Sage Maker auf Produktionsdaten vorgeschlagen, um maschinelle Lernmodelle für Vorhersagen und Analysen zu erstellen. Die Daten werden für das jeweilige Deep-Learning-Modell: das heißt, die Trainingsdaten werden gelabelt oder die Daten werden in Trainings-, Test- und Validierungssätze aufgeteilt.

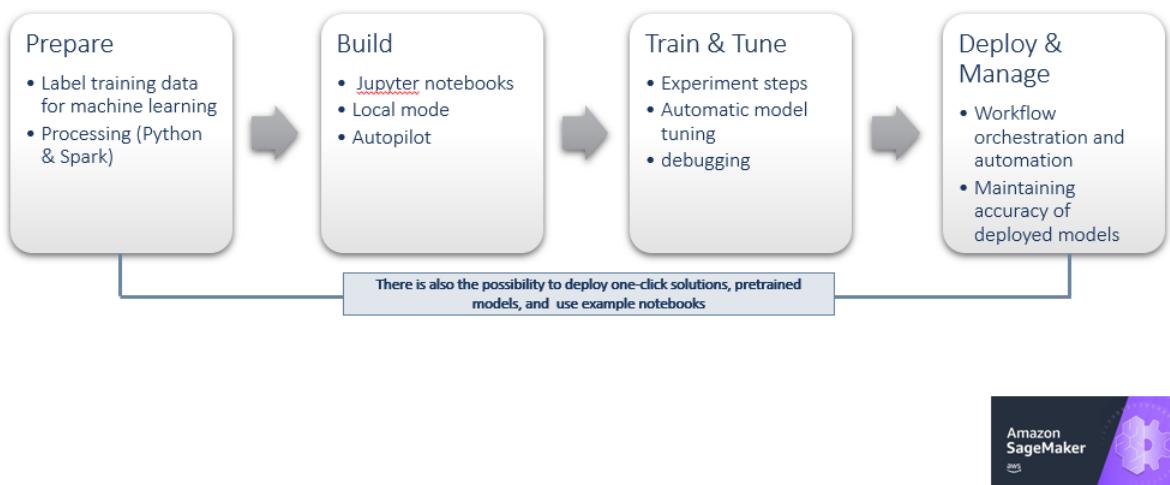


Abbildung 13: Machine Learning mit Amazon SageMaker

### 5.2.3 Fortschreibung des Verwertungsplans

#### 5.2.3.1 Erfindungen/Schutzrechtsanmeldungen und erteilte Schutzrechte, die vom Zuwendungsempfänger oder von am Vorhaben Beteiligten gemacht oder in Anspruch genommen wurden, sowie deren standortbezogene Verwertung (Lizenzen u.a.) und erkennbare weitere Verwertungsmöglichkeiten

Es wurden in Rahmen des Arbeitspaketes „Datawarehousing“ keine Erfindungen/Schutzrechtsanmeldungen angemeldet und keine Schutzrechte erteilt.

#### 5.2.3.2 Wirtschaftliche Erfolgsaussichten nach Auftragende (mit Zeithorizont) - z.B. auch funktionale/wirtschaftliche Vorteile gegenüber Konkurrenzlösungen, Nutzen für verschiedene Anwendergruppen/-industrien am Standort Deutschland, Umsetzungs- und Transferstrategien

Die Analyse historischer Daten und der Vergleich von Soll- und Ist-Ergebnissen kann Schwachstellen aufdecken, sodass geeignete Maßnahmen ergriffen werden können, um die Effizienz von Fertigungsprozessen nachhaltig zu steigern. Diese wertvollen Daten gehen jeden Tag verloren und sind an der Verbesserung der Produktqualität beteiligt. Um diese Effizienzsteigerungen zu erzielen und daraus resultierend die Wirtschaftlichkeit des Gesamtvorhabens zu steigern, ist die Nutzung einer Datawarehousing-Plattform unabdingbar.

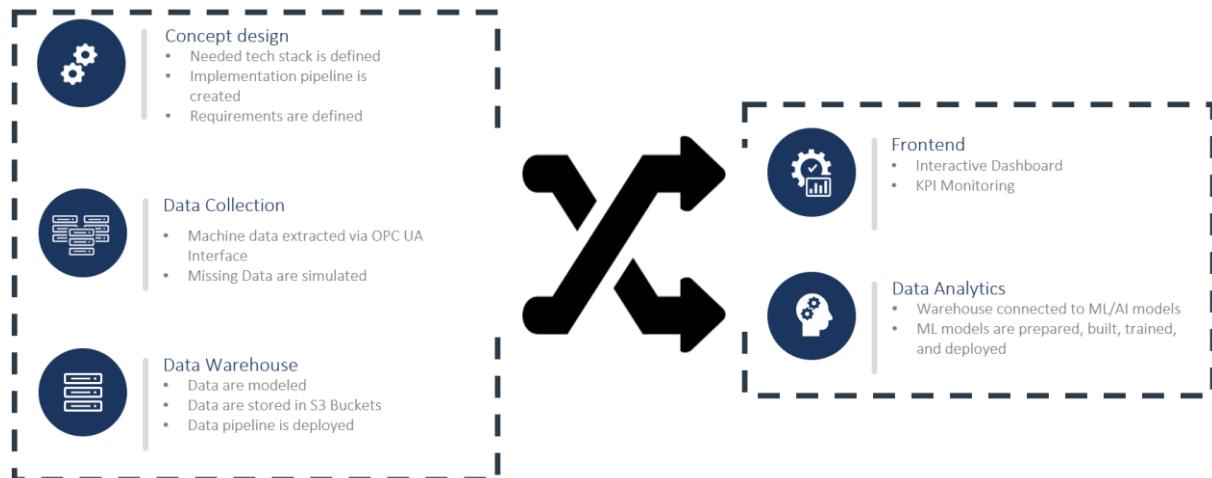


Abbildung 14: Zusammenfassung der Ergebnisse

5.2.3.3 *Wissenschaftliche und/oder technische Erfolgsaussichten nach Auftragende (mit Zeithorizont) - u.a. wie die geplanten Ergebnisse in anderer Weise (z.B. für weitere öffentliche Aufgaben, Datenbanken, Netzwerke, Transferstellen etc.) genutzt werden können. Dabei ist auch eine etwaige Zusammenarbeit mit anderen Einrichtungen, Firmen, Netzwerken, Forschungsstellen u.a. einzubeziehen*

Im Rahmen des Projektes wurde ein Konzept für ein Datawarehousing erstellt. Es wurde eine Analyse der Infrastruktur durchgeführt, um die dafür zu verwendende Technologien zu bestimmen. Dies ermöglichte es im Rahmen des Förderprojektes, die Produktionsdaten zu nutzen. Ausgehend von den verfügbaren Eingaben und der Infrastruktur wurde deutlich, dass mit Hilfe der OPCUA-Schnittstellen nicht genügend Daten extrahiert werden konnten. Die OPCUA-Schnittstellen einiger Maschinen unterstützen keinen Fernzugriff, sodass keine Live-Daten von diesen Maschinen extrahiert werden können. Die Lösung bestand darin, die Arbeitsmaschinen an einen Laptop anzuschließen und einen Batch zu extrahieren. Diese Daten wurden als Modell für die Datenerweiterung genutzt. Für die Maschinen, welche keine Zugängliche Schnittstelle aufwiesen, bestand die Lösung darin, die Parameterliste der Produktionsmaschinen zur Erstellung synthetischer Daten zu verwenden. Diese synthetische Datengenerierung wurde in Python implementiert und diente als funktionierende Alternative, um die laufenden Arbeiten fortzusetzen, falls keine Daten zur Verfügung stehen.



The image shows a Python script running in a terminal window, with a CSV file displayed to its right. The terminal shows the script's code, which uses the OPC UA library to connect to a server and extract data. The CSV file contains a table of data with columns for ID, Value, and created\_at.

ID	Value	created_at
3	FALSE	12:23:38.728865
4	FALSE	12:23:38.732027
5	FALSE	12:23:38.764182
6	10001	12:23:38.79804
8	35	12:23:38.846479
9	productio	12:23:38.861104
10	3,31E+09	12:23:38.799067
11	3456	12:23:38.8194067
12	TwicCAT	12:23:38.899982
13	TRUE	12:23:38.915106
14	TRUE	12:23:38.911153
15	TRUE	12:23:38.946788
16	TRUE	12:23:38.962412
17	FALSE	12:23:38.939665
18	TRUE	12:23:39.009389
19	FALSE	12:23:39.024913
20	FALSE	12:23:39.051496
21	FALSE	12:23:39.076197
22	0	12:23:39.082880
23	FALSE	12:23:39.141129
24	FALSE	12:23:39.131262
25	FALSE	12:23:39.162522
26	FALSE	12:23:39.217773
27	1	12:23:39.248953
28	FALSE	12:23:39.267959
	0	12:23:39.299199

Abbildung 15: Live Data Extraction



## 6 Arbeitspaket 3.1 - Anforderungsanalyse

### 6.1 Ergebnisse der Anforderungsanalyse

Aus der der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung vorgelagerten Anforderungsanalyse ging eine starke Dominanz des Automobil Marktes, mit 65% Anteil am Gesamtbedarf weltweit, hervor. Der Automobilmarkt wird von den CO2-Vorschriften bestimmt, was als Grundlage der erarbeiteten Ergebnisse dient. Im Jahr 2018 wurden ca. 200 GWh Lithium-Ionen-Batterien benötigt. Ebenfalls klar geht hier der Bedarf des Marktes für Unterhaltungselektronik mit 15% hervor. Unter den verbleibenden 20% versammeln sich stationäre und Nischenanwendungen.

Aus der Marktverteilung finden sich in einem weiteren Schritt Erkenntnisse zur Verwendung und Entwicklung der Zellchemie. Ebenfalls ausgehend vom Jahr 2018 wurden Nickel-Mangan-Cobalt (NMC/NCM), Lithium-Nickel-Cobalt-Aluminium-Akku (NCA), Lithium-Eisenphosphat (LFP) und Lithium-Cobaltdioxid (LCO) als wesentliche Kathodenmaterialien am Markt identifiziert. Die mit Abstand dominanteste Anode ist Graphit und wird in unterschiedlichen Ausprägungen verwendet. Die Automobilindustrie bedient sich für Traktionsbatterien hauptsächlich an der NMC- und NCA-Technologie auf der Kathodenseite, somit sind diese marktführend. Insbesondere in China spielt LFP für Traktionsbatterien eine Rolle und wird zudem häufig in Nischenanwendungen verwendet. Nickelreiche NMC-Materialien (z. B. NMC 622) spielen im Jahr 2018 noch keine wesentliche Rolle. LCO-basierte Zelltechnologien sind auf dem Markt der Unterhaltungselektronik dominant.

Die Nachfrage nach Li-Ionen-Batterien für die Automobilindustrie wird im Jahr 2025 die führende Rolle einnehmen und die Kosten- und Technologieentwicklung vorantreiben. Nickelreiche Zelltechnologien nehmen dann aufgrund höherer Kapazitäten und niedrigerer Kosten.

 1 – STATUS QUO	 2 – ZUKUNFTSPROJEKTION
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Seit 2018 ist der Automobilmarkt mit 200 GWh der Leitmarkt für Lithium-Ionen-Batterien.</li> <li>▪ NMC / Graphit-Zelltechnologien spielen aktuell die größte Rolle in automobilen Anwendungen.</li> <li>▪ Es gibt kein dominierendes Zellformat. Zylindrische Zellen sind überwiegend bei Tesla im Einsatz, während Pouch und prismatische Zellformate bei den verbleibenden OEMs sich in einem „war of concepts“ befinden.</li> <li>▪ Asiatische Hersteller dominieren den Weltmarkt für Li-Ionen-Batteriezellen.</li> <li>▪ Aktuell verfügt Europa über keine nennenswerten Produktionskapazitäten.</li> <li>▪ Den Nischenmärkten lässt sich kein festes Format zuordnen.</li> <li>▪ Formatauswahl erfolgt eher verfügbarkeitsgetrieben als anwendungsspezifisch.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Durch die steigende Nachfrage in der Automobilindustrie wird der Leadmarkt für Lithium-Ionen Batterien bis 2025 auf 1.200 GWh steigen.</li> <li>▪ Es gibt einen klaren Trend zu nickelreichen und kobaltreduzierten Technologien.</li> <li>▪ Die etablierten Zellhersteller aus Asien werden versuchen ihre Marktpositionen weiter auszubauen und haben bereits zusätzliche Standorte mit hohen Kapazitäten in Europa angekündigt. Die Produktion fokussiert sich hier auf die führenden Zellformate Pouch und Prismatisch</li> <li>▪ Marktchancen bieten sich auch für neue Player, wobei sich die Erfolgschance durch die Fähigkeit zur Industrialisierung zeigen wird. Nischenmärkte bieten sich für Lerneffekte an.</li> <li>▪ Neue massenmarktfähige Technologien sind frühestens ab 2025 zu erwarten.</li> </ul>

Abbildung 17: Zusammenfassung der Ergebnisse der Anforderungsanalyse Teil 1

Die relevanten Zellvarianten der Lithium-Ion-Batteriezelle vereinen sich in den Formaten Prismatisch, Pouch und Rundzelle, wobei keine der Formate eine klare Dominanz innehat. Während Pouch-Zellen zwar ein deutliches Wachstum bei Automobilanwendungen zeigen, bleiben Rundzellen stark im Markt und festigen ihren Anteil insbesondere aufgrund des Tesla-Volumens. Zudem werden sie weiterhin den Markt der Unterhaltungselektronik, bzw. den Consumer-Markt, beherrschen.

Als Konklusion der Marktanalyse lassen sich folgende Ergebnisse herausstellen. Der Lithium-Ionen-Batteriemarkt ist durch eine starke Präsenz der Automobilindustrie charakterisiert. Durch diese werden im Wesentlichen die Bedarfe, Zellchemien und -varianten diktiert, während andere Industrien von den Anforderungen und Spezifikationen der Automobilindustrie profitieren. Das Preisniveau entscheidet sich in den führenden Märkten, während Nischenmärkte die Chance haben, wenn auch in geringen Mengen, höhere Preise zu erzielen.

Basierend auf den Ergebnissen der Marktanalyse lassen sich für die Zelldefinition folgende Ausgangslage beschreiben: Im Bereich „Automotive“ verwendete Formate sind hauptsächlich Pouch- und prismatische Zellen. Durch die Entscheidung für einen Zell-Lieferanten bedingt sich automatisch die Festlegung auf ein Zellformat. Momentan werden weltweit Produktionskapazitäten in den Main-Stream Formaten Pouch und prismatisch aufgebaut. Während asiatische Hersteller den Weltmarkt für Li-Ionen-Batteriezellproduktion dominieren, verfügte Europa zum Zeitpunkt der Untersuchung über keine nennenswerten Produktionskapazitäten. Den Nischenmärkten lässt sich kein festes Format zuordnen, da die Formatauswahl verfügbarkeitsgetrieben und weniger anwendungsspezifisch erfolgt. Es

existieren Nischenmärkte, die mit Zellen aus der automobilen Anwendung beliefert werden können, diese haben im Projekt den Fokus gefunden.

3 - MARKTANFORDERUNGEN		4 - HANDELUNGSEMPFEHLUNG (INITIAL)	
<ul style="list-style-type: none"> <li>Es existieren Nischenmärkte, die mit Zellen aus der automobilen Anwendung beliefert werden können. Zahlreiche Nischenmärkte benötigen jedoch angepasste Zellsysteme.</li> <li>Die grundlegenden Zelltechnologien unterscheiden sich zum Leitmarkt jedoch nicht.</li> <li>Die Pouch Zelle hätte prinzipiell Potential, um andere Formate abzulösen</li> </ul> <p>Bedingungen:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Größenanforderungen bedienen</li> <li>Sicherheitseinrichtungen verstärken</li> <li>Robustheit erhöhen</li> </ul> <p>Potentiale der Pouch:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Kostengünstiger</li> <li>Fokus im Automotive Bereich erhöht Vielfältigkeit der Lieferanten</li> <li>Flexibler in der Entwicklung</li> <li>Anpassungsfähiger bei Raumnutzung bzw. Anwendung</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>Evaluierung der Möglichkeit, 18650- oder 21700-Zellformate durch ein Pouch-Zellformat zu ersetzen</li> <li>Festlegung eines kundenspezifischen Zellformats als Startzelle für die Produktion, um direkt in der Anwendung zu testen</li> <li>Abmessungs-unrelevant für Entwicklungs zelle (z.B. Bereich Automotive) welche skaliert werden kann.</li> <li>Der Automotive Bereich kann durch die Möglichkeit der Formattanforderungen im 12-Volt-Bereich ebenfalls bedient werden</li> <li>Aus der Markt- und Bedarfsanalyse ergeben sich zwei Zellvarianten: high energy und high power</li> </ul>	

Abbildung 18: Zusammenfassung der Ergebnisse der Anforderungsanalyse Teil 2

## 6.2 Zusammenfassung der Anforderungsanalyse

Im Rahmen der Anforderungsanalyse wurden relevante Märkte identifiziert und analysiert.

Neben dem Leitmarkt Automotive wurden auch viele Nischenmärkte im Hinblick auf spezifische Anforderungen analysiert (vgl. Abbildung 19)

NIEDERVOLT		Unterhaltungselektronik	Elektrowerkzeuge	E- Bikes	E- Scooter	E- Flurförderfahrzeuge	
Format	Niedervolt	3-36 V ~10-160 Wh	14-36 V ~70-1150 Wh	14-36 V ~240-500 Wh	36-51 V ~1,2-4 kWh	36-48 V ~0,6- 120 kWh	
Spezifische Anforderungen		<ul style="list-style-type: none"> <li>Funktionsintegration</li> <li>Packaging</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Funktionsintegration</li> <li>Packaging</li> <li>Tragbar</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Funktionsintegration</li> <li>Packaging</li> </ul> <p>Weitere Eigenschaften</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Nachrüstbarkeit</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Funktionsintegration</li> <li>Packaging</li> <li>Modulare Bauweise</li> <li>Tragbare Module</li> </ul> <p>Weitere Eigenschaften</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Passive Kühlung</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Crashschutz</li> <li>Wartung</li> </ul> <p>Weitere Eigenschaften</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Hohes Gewicht erwünscht</li> </ul>	
Spezifische Anforderungen		<ul style="list-style-type: none"> <li>Packaging</li> <li>Thermomanagement</li> </ul> <p>Weitere Eigenschaften</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Crashschutz durch Karosserie-Integration</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Crashschutz</li> <li>Modulare Bauweise</li> <li>Thermomanagement</li> </ul> <p>Weitere Eigenschaften</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Kleinere Batterieauslegung durch externe Energiezufuhr</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Dichtigkeit</li> <li>Packaging</li> <li>Entgasung</li> </ul> <p>Weitere Eigenschaften</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Berührerschutz</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Gewichtseinsparung</li> <li>Modulare Bauweise</li> <li>Sicherheit</li> </ul> <p>Weitere Eigenschaften</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Gewichtseinsparung durch Integration in vord. Strukturen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Funktionsintegration</li> <li>Packaging</li> <li>Schutz gegen Umwelteinflüsse</li> </ul> <p>Weitere Eigenschaften</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Kleinere Batterieauslegung durch externe Energiezufuhr</li> </ul>	
Format	Highvolt	E- Motorräder & -sport ~ 350 V 0,6 - 120 kWh	E- Nutz- & Spezialfahrzeuge ~ 400 -1000 V 130-730 kWh	E- Marine Anwendungen ~ 44-1000 V 2,6 -100 kWh	E- Aviation ~48-800 V -170 kWh	E- Zug 220 - 660 V 30 -528 kWh	Energiespeicherung 170 - 900 V 17 -1200 kWh
Spezifische Anforderungen		<ul style="list-style-type: none"> <li>Packaging</li> <li>Thermomanagement</li> </ul> <p>Weitere Eigenschaften</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Crashschutz durch Karosserie-Integration</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Crashschutz</li> <li>Modulare Bauweise</li> <li>Thermomanagement</li> </ul> <p>Weitere Eigenschaften</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Kleinere Batterieauslegung durch externe Energiezufuhr</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Dichtigkeit</li> <li>Packaging</li> <li>Entgasung</li> </ul> <p>Weitere Eigenschaften</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Berührerschutz</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Gewichtseinsparung</li> <li>Modulare Bauweise</li> <li>Sicherheit</li> </ul> <p>Weitere Eigenschaften</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Gewichtseinsparung durch Integration in vord. Strukturen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Funktionsintegration</li> <li>Packaging</li> <li>Schutz gegen Umwelteinflüsse</li> </ul> <p>Weitere Eigenschaften</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Kleinere Batterieauslegung durch externe Energiezufuhr</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Skalierbarkeit</li> <li>Wartung</li> </ul> <p>Weitere Eigenschaften</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Lediglich Berührerschutz als Sicherheitsmaßnahme</li> </ul>
Format	Highvolt						

Abbildung 19: P3 Assessment zur Markt-Zellabhängigkeit

Vorhabenbezeichnung: KOMVAR - Entwicklung einer „Kompetitiven Variantenfertigung für Lithium Akkumulatoren mit Dienstleistungscharakter zur Lithium-Ionen-Zellentwicklung und für die Produktion von Klein- und Mittelserien für Nischenmärkte“

Die einzelnen Marktsegmente wurden durch u.a. Experteninterviews hinsichtlich Leistungs-, Flexibilitäts- und Zielpreiskorridor für Klein- und Mittelserienfertigungen analysiert. Als Analysekriterien wurden hierfür signifikante Parameter ermittelt und für die Bewertung der einzelnen Marktsegmente herangezogen (vgl. Abbildung 20).

AUSWAHLKRITERIEN		AUSWAHL SHORT-LIST & BEWERTUNG				
Art der verwendeten Zelle	Commodity	Negativ: Anforderungen an die Zellen können von commodity Zellen erfüllt werden; Belieferung aus dem Massenmarkt.				
	Spezialanwendung	Positiv: Zellen müssen spezifische Anforderungen erfüllen, die durch herkömmlich Zellen nicht erfüllt werden können. Kleine Zellhersteller können diese Zellen ohne Konkurrenz durch etablierte Hersteller liefern.				
Entwicklungsstadium des Marktes	Etablierter Markt	Negativ: Existierende Lieferverträge sind langfristig geschlossen, schwieriger Markteintritt.				
	Neuer Markt	Positiv: keine etablierten Lieferverträge, neue Marktteilnehmer können hier Marktanteile gewinnen.				
Produktionsvolumen	Großes Volumen	Negativ: Erschwerte Bedingungen für deutsche Zellhersteller, da Markt auch für große Zellhersteller interessant ist.				
	Geringes Volumen	Positiv: Deutsche Zellhersteller können trotz geringer Produktionsvolumina signifikante Marktanteile sichern.				
MARKTSEGMENT		ART DER VERWENDeten ZELLE	ENTWICKLUNGSS- STADIUM DES MARKTES	PRODUKTIONSVOLUMEN	ZELLFORMAT	AUSWAHL SHORT LIST
Consumer Electronics		n	n	n	 	Kein Nischenmarkt im engeren Sinne
Power Tools		n	n	p		Bedeutende Nachfrage durch deutsche Unternehmen
E-Bikes		n	n	p		Bedeutende Nachfrage durch deutsche Unternehmen
E-Roller		n	p	p	 	Sehr ähnliches Anforderungsprofil wie e-Bikes, können zusammengefasst werden.
E-Gabelstapler		p	p	p	  	Hochspezialisierte Anwendung mit etablierter Nachfrage durch deutsche Unternehmen
F-Motorräder		n	p	n	  	Sehr ähnliches Anforderungsprofil wie die automobile Anwendung; Markt wird voraussichtlich mit automotiven Zellen versorgt werden.
F-Utility und Spezialfahrzeuge		p	p	n	  	Sehr ähnliches Anforderungsprofil wie die automobile Anwendung für einen Großteil der Fahrzeuge
Marine Applikationen		p	p	n	  	LFP-basierte Zellen aus China sind dominant; aktuell keine Technologieänderung absehbar
Elektrisches Fliegen		n	p	n	 	Aktuelle Projekte nutzen ausschließlich commodity Zellen
Batteriebasierte Systeme in Zügen		p	p	n	  	Hybride Zugsysteme und voll-elektrische Züge haben spezifische Anforderungen
Energiespeicher		p	p	n	 	Unterschiede in Anwendungsbereichen erfordern detaillierte Betrachtung des Energiespeichermarktes

Abbildung 20: Bewertung & Auswahl Shortlist

Für einige Nischenmärkte wurden große Marktchancen, wie bspw. Gabelstapler ermittelt.

Aber auch Automotive Niedervolt Anwendungen (12V) wurden als potenzieller Markt identifiziert.

Als weiteres Ergebnis der Anforderungsanalyse ist die Evaluierung der Möglichkeit entstanden, bestehende zylindrische Zellformate wie bspw. 18650- oder 21700-Zellformate durch ein Pouch-Zellformat zu ersetzen. Wichtig war die Festlegung eines kundenspezifischen Zellformats als Startzelle für die Produktion, um diese direkt in der Anwendung zu testen. Grundsätzlich ergeben sich aus der Markt- und Bedarfsanalyse zwei Zellvarianten: high Energy und high power Zellen.

## 7 Arbeitspaket 3.3 - Wirtschaftlichkeitskonzept

### 7.1 Beitrag des Ergebnisses zu den förderpolitischen Zielen, auch zwecks Evaluierung von Förderprogrammen / -schwerpunkten

Das erarbeitete Wirtschaftlichkeitskonzept ist in der Lage die Ist-Kostensituation der bestehenden Produktion in Tübingen darzustellen und unter Anpassung der Parameter die entstehenden Kosten für zukünftige Zellen zu bestimmen. Die daraus resultierenden Zellkosten können genutzt werden, um realistische Kosteneinschätzungen zukünftiger Produktionsvolumina zu errechnen und den Zellpreis so zu bestimmen, dass eine definierte Profitmarge, wie in Abbildung 21 dargestellt, erreicht wird.

<b>Indirect material cost</b>	<b>Unit</b>		
Indirect material cost	[%]	1%	1%
<b>Total indirect material cost</b>	<b>[EUR/cell]</b>	<b>0,16 €</b>	<b>0,54 €</b>
<b>Indirect manufacturing cost</b>	<b>Unit</b>		
Indirect manufacturing cost	[%]	9%	9%
<b>Total indirect manufacturing cost</b>	<b>[EUR/cell]</b>	<b>2,03 €</b>	<b>4,01 €</b>
<b>Production cost</b>	<b>[EUR]</b>		
		37,33 €	90,21 €
<b>SG&amp;A</b>	<b>Unit</b>		
SG&A	[%]	7%	7%
<b>Total SG&amp;A</b>	<b>[EUR/cell]</b>	<b>2,67 €</b>	<b>6,44 €</b>
<b>Prime cost</b>	<b>[EUR]</b>		
		40,00 €	96,65 €
<b>Profit margin</b>	<b>Unit</b>		
Profit margin	[%]	15%	15%
<b>Total Profit margin</b>	<b>[EUR/cell]</b>	<b>6,00 €</b>	<b>14,50 €</b>
<b>Total price</b>	<b>[EUR/cell]</b>		
		46,00 €	111,15 €

Abbildung 21: Beispiel einer Zellkostenermittlung mit Profitmarge am Beispiel von zwei unterschiedlichen Zellformaten.

Mit dem Hintergrund der Entwicklung einer kompetitiven Variantenfertigung von Lithium Akkumulatoren, sind die korrekte preisliche Einschätzung und ein Benchmarking notwendig, um im wirtschaftlichen Interesse der Unternehmung zu handeln. Die Ergebnisse des Wirtschaftlichkeitstools in Form von Produktkosten können für genau diese Kernprozesse verwendet werden, um durch eine Anpassung von Produktionsfaktoren wie z.B. das Produktionsvolumen die Wirtschaftlichkeit und Kompetitivität der Produktion zu gewährleisten.

## 7.2 Wissenschaftlich-technische Ergebnisse des Vorhabens im Vergleich zu den ursprünglichen Zielen, erreichte Nebenergebnisse und gesammelte wesentliche Erfahrungen

Die ursprünglichen Ziele des Wirtschaftlichkeitskonzeptes wurden durch den paarweisen Vergleich und die mögliche Angabe unterschiedlicher Produktionsvolumina, Zellchemien und Zellformate, die zu der wirtschaftlichen Betrachtung der Gesamtunternehmung verwendet werden können, erreicht. Dazu wurden die Parameter wie Anlageninvestitionen, Materialeinsätze, Ausschüsse, Durchlaufzeiten, Taktzeiten, Wechselkosten, Personalaufwand, Medien, Infrastruktur und Energiekosten ermittelt und in einer Kostenlogik miteinander verknüpft. Zusätzlich wurden, Nebenergebnisse, wie der Einfluss des Recyclings der Abfallprodukte, die Kosten für die Versendung der Materialien, sowie Kontrollfunktion zu Gewährleistung einer korrekten Eingabe von Parametern unter Absprache des Projektkollektivs erreicht.

Eine wesentliche Erfahrung, die während des Projektes gesammelt wurde, war die Schwierigkeit und Komplexität der Verrechnung der Gemeinkosten. Bei der Verrechnung der Gemeinkosten auf ein Produkt, welches den Komplexitätsgrad einer Lithium-Ionen Zelle besitzt, kann ein deutlich größerer Genauigkeitsgrad in der Produktkostenerfassung durch die Verwendung einer Prozesskostenrechnung erzielt werden. Die genauere Verrechnung mit Hilfe einer Prozesskostenrechnung resultiert allerdings in einem ungerechtfertigt großen Aufwand. Dieser entsteht beispielhaft durch eine Detaillierung der Personalkostenverrechnung z.B. durch die Messung und Erfassung einzelner Arbeitsschritte je Operator, den damit verbundenen Zeitaufwand und die Verrechnung dieser einzelnen Arbeitsschritte auf einzelne Produkte oder Produktserien, welcher im Zuge einer Prozesskostenrechnung eine beispielhafte Herangehensweise darstellt.

Eine weitere Möglichkeit, welche zu einer genaueren Verrechnung der Kosten auf einzelne Produkte im Zuge einer Prozesskostenrechnung führt, ist das Anbringen von Zähleinheiten zur Messung von Gas-, Druckluft-, Stickstoff- und Stromverbräuchen. Die dadurch genauere Ermittlung der Verbrauchsmedien kann direkt zu einer Modellierung der Medienverbräuche je Produkt genutzt werden. Somit können die Unterschiede, welche durch das Umstellen der Zellformate auftreten, herauskristallisiert werden. Die damit

verbundenen fixen Kosten, sowie notwendige Stillstandzeiten und Personalkosten, welche zur Installation notwendig sind, sollten quantifiziert werden und dem qualitativen und ggf. quantitativen Nutzen der Maßnahmen zur genaueren Darstellung der Gemeinkosten gegenübergestellt werden, um einen ungerechtfertigten monetären Aufwand für die genauere Erfassung der Kosten zu vermeiden.

### 7.3 Fortschreibung des Verwertungsplans

- 7.3.1 Erfindungen/Schutzrechtsanmeldungen und erteilte Schutzrechte, die vom Zuwendungsempfänger oder von am Vorhaben Beteiligten gemacht oder in Anspruch genommen wurden, sowie deren standortbezogene Verwertung (Lizenzen u.a.) und erkennbare weitere Verwertungsmöglichkeiten.

Es wurden in Rahmen des Arbeitspaketes 3 – Wirtschaftlichkeitskonzept keine Erfindungen/Schutzrechtsanmeldungen angemeldet und keine Schutzrechte erteilt.

- 7.3.2 Wirtschaftliche Erfolgsaussichten nach Auftragende (mit Zeithorizont) - z.B. auch funktionale/wirtschaftliche Vorteile gegenüber Konkurrenzlösungen, Nutzen für verschiedene Anwendergruppen/-industrien am Standort Deutschland, Umsetzungs- und Transferstrategien

Das Wirtschaftlichkeitskonzept bietet die Möglichkeit die Kosten von Lithium-Ionen Zellen darzustellen und mehrere Zellen miteinander zu vergleichen. Das dafür erzeugte Berechnungstool ist in seiner ausgearbeiteten Form auf die Fertigung der Customcells Tübingen angepasst. Die Verwendung des Tools für andere Fertigungen am Industriestandort Deutschland ist, bei vorheriger Anpassung der Parameter und einer neuen Verknüpfung der Kostenberechnungslogik, theoretisch möglich. Dazu ist das Anpassen von Daten wie Anzahl an aktiven und passiven FTE, CAPEX, OPEX, Schichtmodelle, Produktionsnebenkosten wie Miete, Recycling und Entsorgungskosten, Taktzeiten und Ausschussraten notwendig. Die Anwendung ohne eine Anpassung des Tools bei anderen Produktionen oder nach einer Umstellung der bestehenden Produktion der Customcells Tübingen führt zu einer fehlerhaften Kostenerfassung der Produktkosten. Ein Vorteil des Tools liegt in seiner Ausarbeitung. Durch die Verformelung der Berechnungen ohne die Verwendung von Makros und VBA Programmierung ist die Umstellung, nach einer notwendigen Einarbeitungszeit, ebenfalls durch die Angestellten

der Customcells Tübingen oder ggf. potenziellen anderen Nutzern möglich, ohne zusätzliche Aneignung von Programmierkenntnissen.

7.3.3 Wissenschaftliche und/oder technische Erfolgsaussichten nach Auftragende (mit Zeithorizont) - u.a. wie die geplanten Ergebnisse in anderer Weise (z.B. für weitere öffentliche Aufgaben, Datenbanken, Netzwerke, Transferstellen etc.) genutzt werden können. Dabei ist auch eine etwaige Zusammenarbeit mit anderen Einrichtungen, Firmen, Netzwerken, Forschungsstellen u.a. einzubeziehen

Die im Zuge des Wirtschaftlichkeitskonzeptes von der Customcells Tübingen eingearbeiteten Daten in die integrierte Material- und Taktzeitdatenbank können für eine zukünftige wirtschaftliche Verbesserung der Anlageneffizienz verwendet werden. Dies ist möglich, wenn nach einer Änderung des Produktionssetups, die Anpassungen in das Tool eingearbeitet werden. Durch einen anschließenden Vergleich der kosten- und zeittechnischen Auswirkungen können diese Daten zur Modellierung der Auswirkungen verschiedener technischer Umsetzungen auf Anlagenseite genutzt werden.

7.3.4 Wissenschaftliche und wirtschaftliche Anschlussfähigkeit für eine mögliche notwendige nächste Phase bzw. die nächsten innovatorischen Schritte

Ein denkbarer nächster Schritt zu Erhöhung der Übersichtlichkeit und Benutzerfreundlichkeit der Kostenkalkulation ist Programmierung von bspw. „Model-driven“ Powerapps zu Darstellung der Kostenkalkulation. Diesen bieten die Möglichkeit einer übersichtlicheren Darstellung der Eingaben und der Datenausgaben und somit zu einer einfacheren Verwaltung der aus dem Kostentool gesammelten Daten.

7.3.5 Arbeiten, die zu keiner Lösung geführt haben

Zu keinem verwendbaren Ergebnis haben die Strommessungen in der Produktion geführt. Die direkte Messung war durch deutliche Schwankungen in den Messergebnissen und unrealistischen Messgrößen geprägt, weshalb die Messdaten nicht verwendet werden konnten, um ein realistisches Ergebnis für die Stromkostenberechnung zu erhalten. Die zusammengefassten Ergebnisse wurden an Customcells übermittelt. Nach Absprache mit

CCT, wurden die Stromverbräuche auf Basis von Erfahrungswerten und Benchmarks interner Datenbanken der P3 modelliert und in das Wirtschaftlichkeitskonzept eingearbeitet.

Eine Möglichkeit die Verbrauchsströme zu messen, wäre das Anbringen von Messuhren an allen Maschinen. Diese genauere Betrachtung der Verbrauchsdaten führt durch die Verrechnung der damit verbundenen Kosten mit Hilfe der Prozesskostenrechnung zu einem genaueren Endergebnis bei der Zellpreiskalkulation.

### 7.3.6 Präsentationsmöglichkeiten für mögliche Nutzer - z.B. Anwenderkonferenzen

Die verschiedenen Dashboards des im Rahmen des Wirtschaftlichkeitskonzeptes ausgearbeiteten Tools können, wie in Abbildung 22 zu sehen, aus Excel ausgeleitet und für Kundengespräche, Fachkonferenzen, Wirtschaftlichkeitsanalysen und interne Kostenreduktionmaßnahmen verwendet werden.

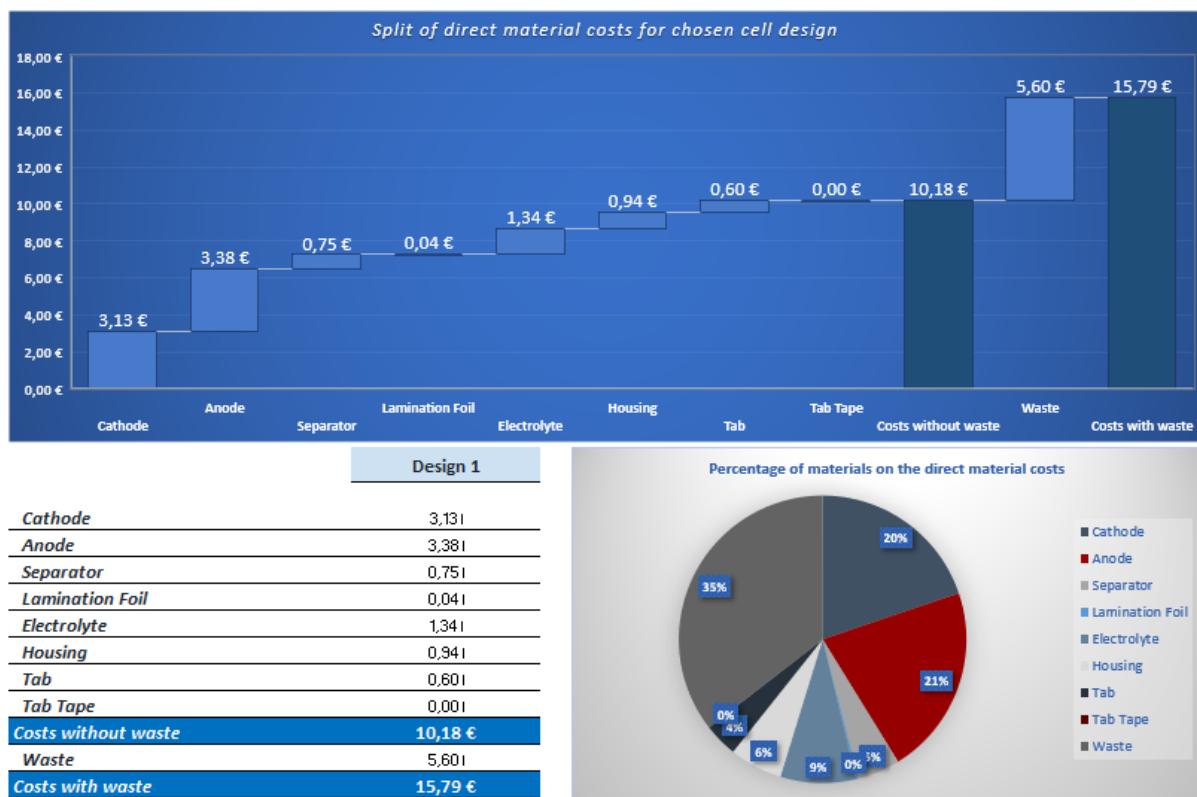


Abbildung 22: Beispieldarstellung des Dashboards zur Visualisierung der Materialkosten

## 8 Einhaltung der Ausgaben-/Kosten- und Zeitplanung

Im Zuge der coronabedingten Einschränkungen in der Konsortialarbeit wurde die Gesamtprojektlaufzeit für alle Partner in Abstimmung mit dem Projektträger um 4 Monate bis zum 31.12.2021 verlängert – der angepasste Zeitplan wurde seitens P3 eingehalten. Seitens P3 wurden die Gesamtkosten für das Projekt KomVar eingehalten. In Abstimmung mit dem Projektträger wurde ein Teil der Reiskosten für die entstandenen Mehraufwände im Bereich Personalkosten eingesetzt.

---

Ort	Datum	rechtsverbindliche Unterschrift und Firmenstempel
-----	-------	---