

Umweltinnovationsprogramm

Abschlussbericht

Zum Vorhaben

Electrolyte Production in Central Europe – EPIC

KFW-Aktenzeichen: OSe4 – 003743

Zuwendungsempfänger:

E-Lyte Innovations GmbH

67661 Kaiserslautern, Werner-Heisenberg-Str. 1

Umweltbereich:

*Abfallvermeidung, Luftreinhaltung, Ressourceneinsparung und -effizienz,
Materialeinsparung und -effizienz*

Laufzeit des Vorhabens:

27.01.2023 – 31.12.2024

Autor:

E-Lyte Innovations GmbH

67661 Kaiserslautern, Werner-Heisenberg-Str. 1

**Gefördert mit Mitteln des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz,
nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz**

Datum der Erstellung:

27.10.2025

Berichts-Kennblatt

Aktenzeichen UBA: 4311/001-2022.0016	Projekt-Nr.: 3743
Titel des Vorhabens: <i>Electrolyte Production in Central Europe – EPIC</i>	
Autor: E-Lyte Innovations GmbH 67661 Kaiserslautern, Werner-Heisenberg-Str. 1	Vorhabenbeginn: 13.10.2022
	Vorhabenende (Abschlussdatum): 31.12.2024
Zuwendungsempfänger: E-Lyte Innovations GmbH 67661 Kaiserslautern, Werner-Heisenberg-Str. 1	Veröffentlichungsdatum: 30.10.2025
	Seitenzahl: 60
Gefördert im Umweltinnovationsprogramm des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz	
Kurzfassung: Eine moderne, flexible Produktionsanlage für Elektrolyte wurde am Standort Kaiserslautern aufgebaut. Die innovative Anlage erreicht signifikante Reduktionen sowohl bei Energie- und Betriebsstoff-Verbrauch als auch bei der Menge an Abfällen.	
Schlagwörter: Elektrolyte, Produktion, Flexibilität, Abfallvermeidung, Ressourceneinsparung	

Report Coversheet

Reference-No. Federal Environment Agency: 4311/001-2022.0016	Project-No.: 3743
Report Title: <i>Electrolyte Production in Central Europe – EPIC</i>	
Author: E-Lyte Innovations GmbH 67661 Kaiserslautern, Werner-Heisenberg- Str. 1	Start of project: 13.10.2022 End of project 31.12.2024
Performing Organisation: E-Lyte Innovations GmbH 67661 Kaiserslautern, Werner-Heisenberg- Str. 1	Publication Date: 30.10.2025 No. Of Pages: 60
Funded in the Environmental Innovation Programme of the Federal Ministry for the Environment, Nature Conservation, Nuclear Safety and Consumer Protection.	
Summary: A modern, flexible production plant for electrolytes has been built at our Kaiserslautern site. The innovative plant effects significant reductions in the use of energy and operating materials as well as reduced waste.	
Keywords: Electrolytes, production, flexibility, waste reduction, resource saving	

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung.....	5
1.1 Kurzbeschreibung des Unternehmens und ggf. der Projektpartner.....	5
1.2 Ausgangssituation	7
2. Vorhabenumsetzung.....	12
2.1 Ziel des Vorhabens.....	12
2.2 Technische Lösung (Auslegung und Leistungsdaten)	14
2.3 Umsetzung des Vorhabens	33
2.4 Behördliche Auflagen	35
2.5 Erfassung und Aufbereitung der Betriebsdaten	35
2.6 Konzeption und Durchführung des Messprogramms	35
3. Ergebnisdarstellung zum Nachweis der Zielerreichung.....	38
3.1 Bewertung der Vorhabendurchführung.....	38
3.2 Stoff- und Energiebilanz	39
3.3 Umweltbilanz	50
3.4 Wirtschaftlichkeitsanalyse	51
3.5 Technischer Vergleich zu konventionellen Verfahren	51
4. Übertragbarkeit.....	57
4.1 Erfahrungen aus der Praxiseinführung	57
4.2 Modellcharakter / Übertragbarkeit (Vorbereitung und weitere Anwendung des Verfahrens / der Anlage / des Produktes	58
4.3 Kommunikation der Projektergebnisse.....	59
5. Literatur	60

1. Einleitung

1.1 Kurzbeschreibung des Unternehmens und der Projektpartner

Die E-Lyte Innovations GmbH (E-Lyte) ist ein im Mai 2019 gegründetes Start-Up Unternehmen, das aus dem MEET-Batterieforschungszentrum der WWU Münster im Rahmen des EXIST Forschungstransfers hervorgegangen ist. E-Lyte produziert, entwickelt und lizenziert maßgeschneiderte Hochleistungselektrolyte für elektrische Energiespeicher (z.B. Lithium-Ionen-Batterien, Natrium-Ionen-Batterien und Superkondensatoren), um für unterschiedlichste Anwendungen und Energiespeichertechnologien die optimale Performance zu ermöglichen. Das übergeordnete Ziel von E-Lyte ist es dadurch zur erfolgreichen Transformation des Energiesektors beizutragen und die Energiewende direkt voranzutreiben.

Der Elektrolyt ist in vielen Energiespeichern maßgeblich für die Performance in Bezug auf die Energiedichte, die Be- und Entladegeschwindigkeit, Sicherheit im Betrieb, sowie die Möglichkeit des Einsatzes des Energiespeichers bei z.B. sehr hohen und/oder sehr niedrigen Temperaturen verantwortlich. Darüber hinaus ermöglicht er den Einsatz neuer Energiespeichertechnologien.

Da es für keine Art von Energiespeicher den Universalelektrolyten gibt, der alle Anforderungen und Performanceparameter eines Energiespeichers gleichzeitig erfüllen kann, werden exakt auf die Endanwendung angepasste Elektrolytlösung benötigt.

Mit der Vision – den Einsatz von regenerativer Energie überall und zu jeder Zeit zu ermöglichen – verfolgt E-Lyte die Ziele, zum einen jede batteriebetriebene Anwendung mit maximaler Effizienz und Performance für ihren jeweiligen Einsatzbereich zu ermöglichen, sowie den Einsatz in Anwendungen unter extremen Bedingungen durch die maßgeblichen Eigenschaften des Elektrolyten erst zu ermöglichen.

Die Mission von E-Lyte ist es, die perfekt passende Elektrolytlösung für jeden Energiespeicher in innovativen und digital unterstützten Entwicklungsverfahren sowie einer eigenen Testinfrastruktur zu entwickeln und anschließend in einer eigens dafür entwickelten und in ihrer Flexibilität und Effizienz einzigartigen Produktionsanlage, zu produzieren.

E-Lyte beschäftigt derzeit ca. 40 Mitarbeitende und erzielt einen Jahresumsatz von ca. 2Mio€.

E-Lyte wurde bei der Planung und dem Bau der Anlage von folgenden Partnern unterstützt:

- Fluid Solutions → beauftragt für die Erstellung des Detail Engineerings (<https://www.fluid-solutions.de/en/>)
- FUCHS LUBRICANTS GERMANY GMBH → beauftragt als Projektsteuerer für die Planung und den Bau der Anlage (<https://www.fuchs.com/de/de/>)

Die Firma Fluid Solutions versteht sich als Ingenieurbüro für Neuanlagen- und Produktionskonzeption mit Basic-Engineering bis hin zum Detail-Engineering inklusive Inbetriebnahme und Schulung der Anlage. Darüber hinaus ist Fluid Solutions aber auch ein System- und Ausrüstungslieferant, der für Kunden Sondermaschinen für spezielle Lösungen kundenspezifisch entwirft und liefert.

Seit 90 Jahren entwickelt und produziert FUCHS hochwertige Schmierstoffe und verwandte Spezialitäten – für nahezu alle Anwendungsbereiche und Branchen. Mit 55 Gesellschaften und rund 6.000 Mitarbeitenden weltweit ist die FUCHS-Gruppe der führende unabhängige Anbieter von Schmierstoffen. Das Produktprogramm umfasst über 10.000 Produkte und verwandte Services in sechs Kernkategorien:

- Automotive Schmierstoffe
- Industrieschmierstoffe
- Schmierfette
- Metallbearbeitungsschmierstoffe
- Schmierstoffe für Spezialanwendungen
- Services

Im engen Kontakt mit seinen Kunden entwickelt FUCHS ganzheitliche, innovative und maßgeschneiderte Lösungen für die vielfältigsten Anwendungen. FUCHS steht als Schmierstoffhersteller für Leistung und Nachhaltigkeit, für Sicherheit und Zuverlässigkeit, für Effizienz und Kostenersparnis.

Beide Partner haben langjährige Erfahrung im Aufbau von großtechnischen chemischen Industrieanlagen und bei der Planung und dem Bau für Produktionsanlagen für flüssige Performance Fluide. Die Partner haben die

Berechnung / Modellierung der Umweltbelastungen beigesteuert, sowie die angefügten Planungsunterlagen und Prozessbeschreibungen.

1.2 Ausgangssituation

Elektrolyte sind in allen Batterien enthalten und stellen bildlich deren „Lebensblut“ dar. Einen universellen Elektrolyten für Batterien gibt es heute nicht mehr und die Differenzierung nimmt immer stärker zu. Die sich rasant entwickelnden Batterietechnologien in den unterschiedlichsten Anwendungen lassen die Nachfrage nach maßgeschneiderten Elektrolytrezepturen und immer größeren Produktionsvolumina quasi explodieren. Um dem gerecht werden, benötigen wir eine lokale Lieferkette in Europa .nicht zuletzt da der Elektrolyt aufgrund seiner begrenzten Haltbarkeit keine langen Lieferzeiten und Lagerzeiten zulässt. Die E-Lyte Innovations GmbH (E-Lyte) entwickelt, produziert und lizenziert maßgeschneiderte Hochleistungselektrolyte für Lithium-Ionen-, Natrium-Ionen-Batterien, Superkondensatoren und jede andere fortschrittliche Zelltechnologie, die ihren Einsatz in der nächsten Generation von u.a. batteriebetriebenen Fahrzeugen, Drohnen, Weltraum- und Medizintechnik-Anwendungen findet. Durch die Verwendung von Elektrolytlösungen, welche speziell auf die Anforderungen und die Anwendung der Batterietechnologie des Kunden angepasst sind, werden signifikante Verbesserungen hinsichtlich der Lebensdauer, Leistungsfähigkeit und Sicherheit erzielt und somit der Einsatz der Batterie in unterschiedlichen Endanwendungen erst effizient ermöglicht. Folglich können Batterien länger und zielgerichteter in der Anwendung eingesetzt werden. Dies führt zu signifikant niedrigeren Total Cost-of-Ownership beim Kunden.

Ziel des Vorhabens ist der Aufbau einer flexiblen Produktionsanlage zur Herstellung von maßgeschneiderten Elektrolyten für Energiespeicher in Deutschland und Europa. Die Anlage soll in Kaiserslautern entstehen und eine Produktionskapazität von mindestens 4.000 tpa erreichen. Durch einen hochmodernen und innovativen Prozess für die Elektrolytproduktion, möchte E-Lyte nicht nur mit seinem Produkt selbst, sondern auch mit dem Herstellverfahren, zu einer nachhaltigeren Zukunft beitragen und eine hochinnovative Produktionsanlage für die Elektrolytbranche errichten. Durch die lokale Produktion von Elektrolytlösungen ermöglicht es E-Lyte Batterieherstellern in der EU Ihre Transportwege deutlich zu verkürzen.

Für Europa wurde in den letzten Jahren und Monaten der Aufbau von zahlreichen Lithium-Ionen-Zell-Produktionsstätten mit einer akkumulierten Fertigungskapazität von

mehr als 1.200 GWh/Jahr angekündigt [1]. Der Großteil der Branchenproduktion wird für die Elektrifizierung des Transportsektors benötigt.

Für die Fertigung von 1.309 GWh/Jahr Lithium-Ionen-Zellen sind nach eigenen Rechnungen 785.400 t/Jahr Elektrolyt erforderlich. Auf Deutschland entfallen dabei 286.800 t/Jahr bei einer Produktionskapazität von 478 GWh/Jahr. [1] Bisher gibt es jedoch in Europa keine ausreichenden Elektrolytproduktionskapazitäten, die den zuvor genannten Bedarf abbilden können. Die Hauptlieferanten von Lithium-Ionen-Batterieelektrolyten befinden sich zurzeit in Asien, vor allem in China. Der stetig steigende Bedarf an Lithium-Ionen-Zellen und folglich auch an Elektrolyten könnte in Zukunft in einer zunehmend unsicheren politischen Weltlage vermehrt zu Lieferengpässen und starken Abhängigkeit von Zulieferern aus Asien führen. Gerade kleinere und mittlere hochspezialisierte Zellhersteller und die Zellproduktionspilotlinien der OEMs in Europa mit eher geringen Abnahmemengen im Vergleich zu den Gigafactories könnten durch solche Lieferengpässe stark beeinträchtigt und benachteiligt werden. Eine schnelle Etablierung von unabhängigen Lieferketten innerhalb Europas ist für den Erfolg der europäischen Zellhersteller daher unabdingbar. Gleichzeitig kommt der Diversifizierung der Batterietechnologie eine zunehmend bedeutendere Rolle zu, da fortlaufend neue Anwendungsfelder mit neuen spezifischen Anforderungen entstehen, die nicht mehr durch die Standardtechnologie abgedeckt werden können. „Es gibt Anforderungen an Lithium-Ionen-Zellen, die weit über das hinausgehen, was Standardzellen heute im Stande sind zu leisten. Beispielsweise in der Medizintechnik. Mit hochtemperaturfesten Zellen bis 150°C könnten beispielsweise bestimmte Operationsinstrumente ohne Stromkabel betrieben werden und würden den Chirurgen während der OP nicht mehr stören. Oder in der Luftfahrt. Drohnen würden in ganz neue Anwendungsgebiete vorstoßen, wenn ihre Zellen Leistungsdichten von bis zu 350 Wh/kg hätten“ (Interview mit Dr. Christoph Theis, Gründer und Geschäftsführer der Unternehmensberatung P3) [2]. Auch im größten Markt, den Traktionsbatterien für batterieelektrische Fahrzeuge, hat dieser Entwicklungsprozess hin zur Individualisierung gerade erst begonnen. „Aus dem Kostenkampf wird ein Leistungskampf. Ein Kampf um den wettbewerbsfähigsten elektrischen Antrieb. Und der wird zu über 70% aus der Zelle heraus geführt“ (Interview mit Dr. Christoph Theis) [2]. „Die Batteriezelle ist der Brennraum der Zukunft“ (Interview mit Oliver Blume, Vorstandsvorsitzender der Porsche AG) [3]. Es gibt keine universal verwendbare Zellchemie, die für alle Anwendungen gleichermaßen geeignet ist. Dies

gilt insbesondere für den Elektrolyten als zentrale Komponente in der Zelle, welcher einen direkten Einfluss auf die Leistungsfähigkeit, Lebensdauer und Sicherheit einer Zelle hat. „Er ist sehr anfällig für Störungen und beeinflusst mit seinen Reaktionen darauf die Leistung der gesamten Zelle.“ (Interview mit Prof. Dr. Martin Winter, Leiter des MEET Batterieforschungszentrums an der WWU Münster und des Helmholtz-Instituts Münster) [4]. Von besonderer Wichtigkeit ist folglich eine hohe Flexibilität bei der aufzubauenden Produktionsanlage, um sowohl die Nachfrage nach Standard-Elektrolyten als auch nach Elektrolyten für Spezialanwendungen gleichermaßen bedienen zu können. Derzeit gibt es unseres Wissens nach keine Produktionskapazitäten von Spezialelektrolyten in industriell relevanten Mengen in Europa. Für zukünftige Hochenergie-Batterien sind die Stand-der-Technik-Elektrolyte häufig nicht mehr ausreichend. Elektrolyte müssen kontinuierlich weiterentwickelt und optimiert werden (bspw. Für Lithium-Metall-, oder Silizium-haltige-Zellen oder auch Zellen mit Hochvolt-Kathoden). Darüber hinaus müssen Elektrolyte für alternative Zellchemien und Technologien (u.a. Natrium-Ionen-Batterien oder Superkondensatoren), sowie für den Einsatz von Energiespeichern in extremen Anwendungsfeldern, z.B. mit besonderen Anforderungen hinsichtlich Temperatur, Schnellladefähigkeit oder Sicherheit angepasst werden. Für viele OEMs gewinnt die Produktdifferenzierung mittels der Zellchemie und Zelltechnologie für unterschiedliche Anwendungen derzeit immer weiter an Bedeutung. Daher besteht ein großes Potential, dass der Markt für maßgeschneiderte Elektrolyte in Zukunft weiterwachsen wird, wenn entsprechende Elektrolytmengen flexibel, schnell und in höchster Qualität zur Verfügung gestellt werden können. Auch auf Nischenmärkte fokussierte kleinere Zellhersteller bspw. Im Bereich Medizintechnik oder Tieftemperaturanwendungen würden von dem Aufbau einer agilen Produktionsanlage stark profitieren. Besonders zum jetzigen Zeitpunkt stellt der Aufbau einer hochflexiblen Elektrolytproduktionsstätte in Europa eine große Chance für die E-Lyte dar, um einen Technologievorteil in Deutschland und Europa zu platzieren. Asiatische Hersteller produzieren und verkaufen zurzeit überwiegend wenige standardisierte Elektrolytformulierungen und besitzen keinen Knowhow-Vorsprung im Bereich der Spezialelektrolyte.

Etablierte Elektrolythersteller produzieren in großen Produktionsanlagen in einem Batchprozess unter Schutzgasatmosphäre (Stickstoffüberlagerung) lediglich eine kleine Anzahl von Standardelektrolytrezepturen für wenige ausgewählte Kunden im Volumensegment. D.h. maximal 3-5 verschiedene Standardelektrolytrezepturen auf

Basis von 5-7 unterschiedlichen Elektrolytkomponenten für eine spezifische Batterietechnologie [5].

Der typische Produktionsprozess lt. Der Stand der Technik ist in folgende Phasen unterteilt:

1. Transport von Rohstoffen
2. Entladung und Lagerung
3. Dosierung von Rohstoffen
4. Mischen und Filtern
5. Qualitätskontrolle
6. Befüllung
7. Lagerung
8. Logistik und Versand

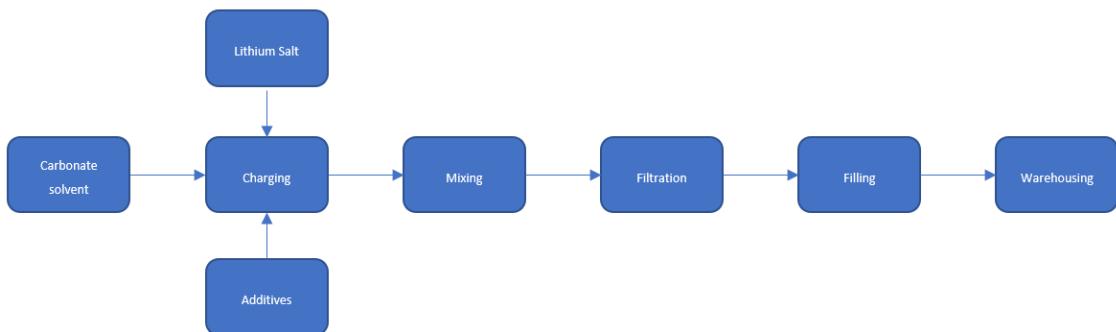


Abbildung 1: Produktionsprozess Stand der Technik [5]

Transport von Rohstoffen

Die wichtigsten Produktionsrohstoffe, d.h. organische Lösungsmittel (z.B. Ethylmethylcarbonat (EMC), Dimethylcarbonat (DMC), Ethylencarbonat (EC)), Lithiumsalze (Lithiumhexafluorophosphat (LiPF₆)) und organische Additive (z.B. Vinylencarbonat (VC), Propansulton (PS)) werden in Tankwagen, ISO-Containern und Stahlfässern zum Standort transportiert.

Dosierung der Rohstoffe

Die wichtigsten Produktionsrohstoffe, d.h. organische Lösungsmittel, Lithiumsalze und Additive, werden schrittweise in den Kessel mit Hilfe einer speicherprogrammierbaren Steuerung (SPS) dosiert. Alle Bereiche, in denen Rohstoffe dosiert werden, werden durch einen Kohlefilter abgesichert, um flüchtige organische Stoffe, die beim Mischen entstehen können, aufzufangen. Der Kessel muss vor dem Befüllen mit organischen Lösungsmitteln entsprechend der Dosierformel gereinigt werden. Die Dosierung der Rohstoffe aus den Tanks im Freilager wird durch Rohrleitungen und Dosierpumpen gewährleistet. Für die Dosierung von Rohstoffen aus kleineren Behältern wird für jeden Arbeitsplatz (Kessel) eine Abfüllstation eingerichtet, die mit einem Platz für einen Behälter, einer Absaugvorrichtung und einer Dosierpumpe ausgestattet ist. Für die Dosierung von Schüttgütern wird eine geschlossene Box installiert, in die die geschlossene Verpackung des betreffenden Rohstoffs gelegt wird, und die weitere Handhabung erfolgt von außen durch die Schutzhandschuhe. An jedem Arbeitsplatz wird eine elektrisch betriebene Unterstützung für die Handhabung von Fässern und anderen größeren Packstücken zur Verfügung stehen. Alle Bereiche für die Dosierung von Rohstoffen werden durch Absaugung über einen Kohlefilter gesichert.

Mischen und Filtern

Das Mischen wird über die SPS eingestellt und alle Rohstoffe werden homogen gemischt. Der Prozess findet in gerührten, geschlossenen und gekühlten 10 m³-Behältern bei einer Temperatur von 8- 10 °C unter einer inerten Stickstoffatmosphäre bei Normaldruck statt. Nach Abschluss des Mischvorgangs wird das Produkt durch Filteranlagen mit Filtern in Lagertanks in Tanklagern, „intermediate bulk container“ (IBCs), Edelstahlfässern oder ISO-Container gepumpt. Der Bereich der Rohstoffdosierung wird abgesaugt, und die Abluft wird zusammen mit den Abwässern aus dem Tank- und Rohrsystem in einen Kohlefilter geleitet. Zum Abschluss der Produktion eines Batches wird entsprechend ein Muster gezogen und in einem Labor untersucht.

Reinigung von Abgasen

Die Abgase aus der Technik und den Labors (Stickstoff mit Spuren von organischen Lösungsmitteln) werden in einem mehrstufigen Verfahren behandelt, d.h. Kondensation und Trockenfiltration durch einen Kohlefilter.

Die Auslasswerte der Abgase nach dem Reinigungsprozess entsprechen den gesetzlichen Anforderungen für „volatile organic compounds“ (VOC)-Emissionen.

Zusammenfassung und Nachteile des Stands der Technik:

Die aktuellen Standardherstellverfahren in der Elektrolytbranche bauen auf einem Batchverfahren als Produktionskonzept auf. Bei diesem Konzept handelt es sich um ein diskontinuierliches Verfahren bei dem die Rohstoffe in entsprechenden Rührreaktoren vorgelegt, Stickstoff überlagert und eine entsprechende Zeit homogenisiert werden, woraus folgende Nachteile resultieren:

- Geringe Flexibilität durch hohen Reinigungsaufwand bei Formulierungswechsel
- Hohe Betriebskosten auf Grund von großen Reaktorvolumina für Stickstoffüberlagerung
- Hoher Anteil manueller Schritte bei der Zugabe von Rohstoffen führt zu hoher Fehleranfälligkeit des Prozesses

Bei einem diskontinuierlichen Verfahren ist der Reinigungsaufwand hoch, da bei Formulierungsänderungen das gesamte Reaktorvolumen gereinigt werden muss, um Kontaminationen zu verhindern. Dadurch fallen entsprechende Reinigungsabfälle an. Darüber hinaus hat das Verfahren auch hohe Betriebskosten, denn auf Grund der hohen Reinheitsanforderungen und Anforderungen an geringe Wassergehälter werden die Elektrolyte in einem geschlossenen Verfahren unter Stickstoffbeaufschlagung hergestellt. Während des Herstellverfahrens muss somit das gesamte Volumen des Reaktors entsprechend mit Stickstoff überlagert werden.

2. Vorhabenumsetzung

2.1 Ziel des Vorhabens

E-Lyte hat das Ziel mit einem innovativen Produktionskonzept im Vergleich zum branchenüblichen Herstellverfahren signifikante Umweltschutzwirkungen in den folgenden Bereichen zu erzielen:

- Energieeinsparung

Zielvorgaben	Erwartete Zielerreichung
2% Energieeinsparung / 8 to CO ₂ Einsparung pro Jahr	2% Energieeinsparung / 8 to CO ₂ Einsparung pro Jahr

- Wassereinsparung:

Zielvorgaben	Erwartete Zielerreichung
40% Wassereinsparung	100% Wassereinsparung

- Einsparung von Stickstoffmengen

Zielvorgaben	Erwartete Zielerreichung
60% Stickstoffeinsparung	60% Stickstoffeinsparung

- Einsparung Spülmengen

Zielvorgaben	Erwartete Zielerreichung
60% Einsparung	60% Einsparung

- Einsparung kontaminierte Abluft

Zielvorgaben	Erwartete Zielerreichung
Unter Einhaltung der TA-Luft Grenzwerte, keine kontaminierte Abluft in die Umwelt abgeben	Unter Einhaltung der TA-Luft Grenzwerte, keine kontaminierte Abluft in die Umwelt abgeben

Neben den direkten Umweltschutzwirkungen durch das innovative Herstellverfahren, können durch eine europäische Elektrolytproduktion Transportwege verkürzt und somit die Nachhaltigkeit und CO₂-Bilanz der europäischen Batterieproduktionen verbessert werden. Zudem können durch die Verwendung von Spezialelektrolyten, welche speziell auf die Anforderungen und Anwendung des Kunden angepasst sind, häufig signifikanten Verbesserungen hinsichtlich der Lebensdauer und Leistungsfähigkeit erzielt werden und somit die Anwendung des Energiespeichers in der Endanwendung erst effizient ermöglicht werden. Folglich ist eine längere

Verwendbarkeit der Batterien zu erwarten und der Bedarf nach neuen Batterien nimmt ab im Vergleich zur Verwendung von Batterien mit Standardelektrolyten, was mit der Schonung von Ressourcen einhergeht. Lithium-Ionen-Batterien mit einem verbesserten CO₂-Fußabdruck könnten ein Alleinstellungsmerkmal für europäische Zellproduzenten darstellen.

2.2 Technische Lösung (Auslegung und Leistungsdaten)

Folgende Aspekte lassen sich als Hauptherausforderung des aktuellen Stands der Technik herausarbeiten (vgl. Kapitel 1.2):

- Geringe Flexibilität durch hohen Reinigungsaufwand bei Formulierungswechsel
- Hohe Betriebskosten auf Grund von großen Reaktorvolumina für Stickstoffüberlagerung
- Hoher Anteil manueller Schritte bei der Zugabe von Rohstoffen führt zu hoher Fehleranfälligkeit des Prozesses

Daher ist es das Ziel der E-Lyte eine flexible Produktionsanlage zur Herstellung von Elektrolytformulierungen aufzubauen. Elektrolyte, die heutzutage in Lithium-Ionen-Batterien verwendet werden, bestehen aus einem oder mehreren Lithiumsalzen, welche in einem Lösungsmittelgemisch aus linearen und zyklischen organischen Carbonaten und ggf. weiteren Lösungsmitteln gelöst sind. Zusätzlich werden in geringen Mengen (<5 Gewichtsprozent) Additive zugesetzt. Bei der Elektrolytformulierung sind höchste Anforderungen an die Reinheit hinsichtlich des Wasser- und Säuregehalts (<20 ppm) sowie metallischen Verunreinigungen zu beachten, da ansonsten unerwünschte Nebenreaktion ausgelöst würden, welche zu einer starken Degradation und kurzen Lebensdauer der Batterien führen würden. Das derzeit meistverwendete Lithiumsalz ist Lithiumhexafluorophosphat, welches temperatursensitiv ist, sodass Mischprozesse hinsichtlich Dosierzeiten und Kühlleistung mit Bezug auf die Wärmeentwicklung beim Lösen des Salzes genau kontrolliert werden müssen, um die Degradation des Salzes zu vermeiden. Ansonsten kann keine ausreichende Qualität der Elektrolyte gewährleistet werden. Zudem muss das Auftreten von Kreuzkontaminationen bei der Verwendung unterschiedlicher Salze, Lösungsmittel und Additive bei der aufeinanderfolgenden Formulierung verschiedener Elektrolyte vermieden werden.

Um einen effizienten und ressourcenschonenden Prozess zu etablieren, plant E-Lyte ein kombiniertes Herstellverfahren aus Batchprozessschritten und einem kontinuierlichen in-line Mischverfahren. Im ersten Schritt sollen die Leitsalze und Additive in organischen Carbonat-Lösungsmitteln in einem Batchverfahren vorgelöst werden, um einen sogenannten Masterbatch zu erhalten. Dieser Masterbatch wird anschließend genutzt um in einem entsprechenden in-line Mischverfahren weitere organische Carbonate hinzuzugeben. Dadurch ergeben sich folgende grundlegende Vorteile:

- Der Reinigungsaufwand beim in-line Verfahren ist sehr gering, da im Verhältnis zum Output ein viel kleineres Volumen benötigt wird, welches bei einem Formulierungswechsel gereinigt werden muss. Damit entsteht signifikant weniger Abfallaufkommen (z.B. Spülösung) bei der Elektrolytproduktion.
- Die Betriebskosten beim in-line Verfahren sind deutlich geringer als beim Batchprozess, da im Verhältnis zum Output weniger Volumen mit Stickstoff überlagert werden muss.

E-Lyte strebt mit diesem innovativen Produktionsprozess die Errichtung einer für die Elektrolytbranche richtungsweisenden Produktionsanlage an, die durch das innovative Verfahren sehr flexibel und ressourcenschonend eingesetzt werden kann. Zudem wird die Produktqualität durch das neue Verfahren weiter erhöht und das Abfallaufkommen während der Produktion reduziert.

Zum besseren Verständnis der Funktionen soll hier vereinfacht der Herstellablauf von Elektrolyten in einzelnen Schritten erklärt werden.

3. Vorlage Lösungsmittel

- Zunächst werden die Lösungsmittel in den Mischbehälter vorgelegt.
- Die Lösungsmittel müssen in reiner Form vorliegen, d.h. frei von Verunreinigungen, Wasser, o.ä. da die Qualität ansonsten stark reduziert wird.
- Die Reinheitsanforderungen bedingen eine 100% Stickstoff (N_2) Schutzatmosphäre in dem Mischbehälter über die gesamte Produktionszeit.

4. Zugabe Salze und Additive

- Die Salze und Additive werden dem Prozess unter Rühren zugeführt.

- Durch das Rühren lösen sich die Salze und Additive im vorgelegten Lösungsmittel unter Freiwerden von Wärme.

5. Kühlen

- Der Reaktor wird gekühlt, um die exotherme Wärme abzuführen.
- Der Prozess darf eine Temperatur von $>40\text{ }^{\circ}\text{C}$ nicht überschreiten, da sonst unerwünschte Nebenreaktion auftreten können.

6. Abfüllen

- Das Abfüllen erfolgt primär in vorkonditionierte Fässer, vorab findet eine Qualitätskontrolle statt.

5. Reinigen

- Das Reinigen des Reaktors erfolgt mit einem Lösungsmittel, welches in der Elektrolytrezeptur auch als Rohstoff eingesetzt wurde z.B. eines der organischen linearen Carbonate. Dieses wird im Reaktor verteilt, im Kreislauf zirkuliert und anschließend in den Vorlagebehälter gepumpt, um die finale Elektrolytrezeptur zu erreichen. Das Reinigen des Vorlagebehälters und der Abfülllinie erfolgt mit einem Lösungsmittel, welches auch als Rohstoff eingesetzt werden kann z.B. Dimethylcarbonat. (Darüber hinaus ist in einem zweiten Ausbauschritt bereits der Aufbau einer Recyclinganlage geplant, die unter anderem das Reinigungsmittel aufarbeiten kann).

6. Inertisierung

- Die Inertisierung ist zwingend vor dem Start eines neuen Ansatzes erforderlich, um Feuchtigkeit im System zu vermeiden.
- Die Inertisierung des Reaktors wird über Evakuierung und Stickstoffspülung realisiert.

Grundsätzlich handelt es sich bei den meisten Rohstoffen um gefährliche Substanzen (leicht entzündlich, giftig, krebserregend, etc.), sodass die Produktion in einem vollständig geschlossenen Kreislauf stattfinden wird.

In Abbildung 2 des geplanten Herstellverfahrens abgebildet, die im Nachfolgenden kurz beschrieben werden.

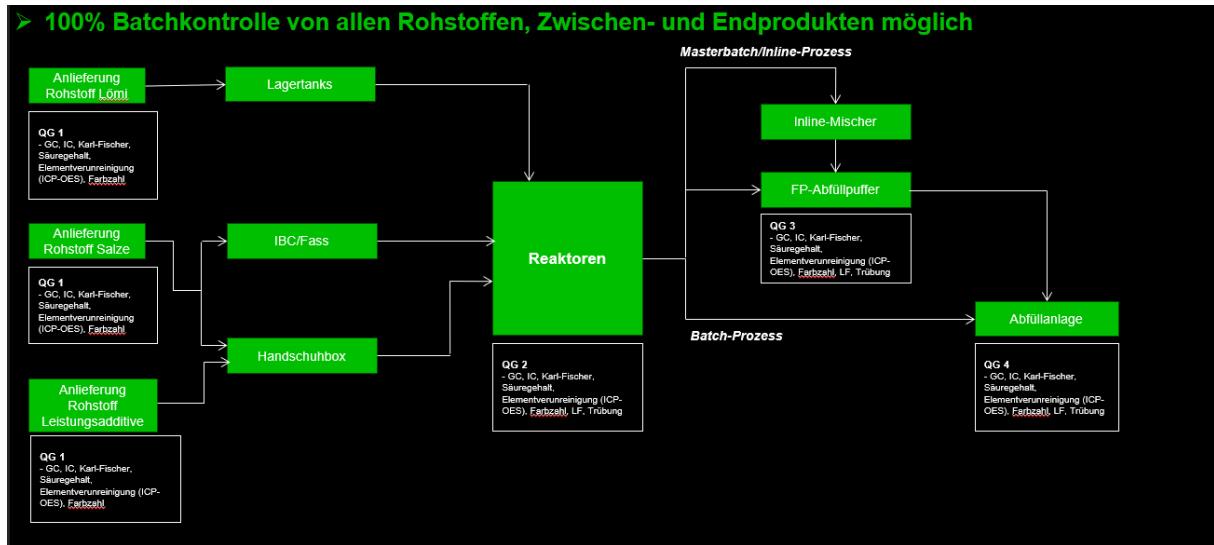


Abbildung 2: Blockfließbild

Im nachfolgenden Abschnitt werden die Einzelprozessschritte im Detail beschrieben und die wichtigsten Auslegungs- und Leistungsdaten der ausgewählten Gerätschaften erläutert.

Rohstoffzugabe

Die Rohstoffzugabe in den Reaktor kann in dem Herstellprozess von E-Lyte in 4 Gruppen eingeteilt werden:

- Gruppe 1: flüssige Hauptkomponenten
 - o Werden in Großmengen in ISO-Tanks eingekauft und in Lagertanks gelagert.
 - o Die Lagertanks werden je nach Lageranforderungen des Rohstoffes geheizt
 - o Darüber hinaus werden alle Rohstofftanks mit Musterentnahmeverrichtungen ausgestattet
- Gruppe 2: flüssige Rohstoffe, die via Fässer oder IBC direkt mit dem Reaktor verbunden werden.
- Gruppe 3: Salze, die je nach Gebinde
 - o Direkt an den Reaktor angeschlossen werden.
 - o Via Handschuhbox dem Reaktor zugegeben werden.
- Gruppe 4: Additive, die über die Handschuhbox dem Reaktor zugegeben werden.

- Modifikation zum Stand der Technik: höchste Flexibilität bei der Zugabe und Verwendung von verschiedenen Rohstoffen, durch Dosieroptionen für verschiedenste Gebinde.

Für die angestrebte Jahreskapazität von mindestens 4.000 to an fertigen Elektrolyten werden in Summe mindestens 4.000 to an Rohstoffen über die 4 verschiedenen Dosieroptionen, dem Prozess zugegeben.

Tanklager

Auf Grund der Rezeptvielfalt bei der E-Lyte wurde in Rücksprache mit der F&E Abteilung festgelegt, dass 8 verschiedene Lösungsmittel gleichzeitig gelagert werden müssen. Um sicherzustellen, dass ein neu angelieferter Isocontainer mit Lösungsmittel immer vollständig entleert werden kann (Füllvolumen ca. 30 m³) wurde eine Tankkammergröße von 50 m³ pro Lösungsmittel festgelegt. Da es am Standort Kaiserslautern die Möglichkeit gab, die Tanks horizontal anzubringen, wurde sich aus Kostengründen dafür entschieden 4 liegende Tanks mit jeweils 2 Kammern zu errichten.



Abbildung 3: Tanklager

Reaktoren

Für die Produktion der Masterbatches, die im nächsten Schritt über den Inline-Mischer verdünnt werden, setzt E-Lyte auf ein hochmodernes und innovatives Mischkonzept. Bei den Anlagen auf Basis des Stands der Technik werden die Lösemittel und Feststoffe von oben in den Mischbehälter gegeben. Dies passiert mittels Pumpen aus Lagertanks sowie manuell über Handschuhboxen, welche über dem Mischbehälter angebracht sind. In diese wird das Salz oder die Flüssigkeit eingeschleust, vorverwogen und über eine Öffnung in den Mischbehälter geworfen bzw. gekippt. Während dieser Zugaben läuft ein Rührwerk, welches zentrisch von oben eingebaut ist. [5]

Bei dieser Vorgehensweise gelangen die Handzugaben, durch Staubentwicklung oder Spritzen, auch an die Innenflächen des Mischbehälters sowie anderen Einbauten im Mischbehälter, die nicht von Flüssigkeit benetzt sind. Dies führt zu ungenauen Dosierungen und einem deutlich höheren Reinigungsaufwand, um den Mischbehälter vollständig zu reinigen.

Bei der geplanten Konfiguration der Anlage werden Mischbehälter eingesetzt, die eine Mischdüse am tiefsten Punkt besitzen. Dadurch ist es möglich, den Behälter, ohne ein Rührwerk zu durchmischen und die Ansatzgrößen beliebig zu skalieren. Darüber hinaus können durch die Mischdüse Flüssigkeiten von unten angesaugt und so unter Spiegel eingemischt werden. Ein Spritzen ist damit ausgeschlossen.

Ferner ist der Behälter als Druckbehälter ausgelegt. Dadurch kann der Behälter unter Vakuum gesetzt werden und über eine spezielle Steuerung auch Pulver von unten unter Spiegel einsaugen und in der Mischdüse direkt mit der Flüssigkeit benetzen. Dadurch wird Staubbildung oder Klumpenbildung komplett vermieden.

Diese Eigenschaften sorgen für eine homogene Durchmischung ohne Anhaftungen der Handzugaben an Stellen, die nicht mit Flüssigkeit benetzt sind, sowie eine einfache und sichere Bedienung von unten im geschlossenen System.

Zur Reinigung des Behälters werden spezielle Cleaning-in-Place (CIP) Düsen eingesetzt, die durch Druck die Oberflächen benetzten und reinigen. Zudem ist die

Oberfläche des Behälters elektropoliert, damit die Anhaftungen und Rückstände im Behälter nach dem Abfüllen auf ein Minimum begrenzt werden.

Über außen aufgeschweißte Halbrohrschlangen am Boden und Mantel wird der Behälter über einen Wärmetauscher gekühlt. Die Halbrohrschlangen können aber auch über einen zweiten Wärmetauscher zum Heizen verwendet werden. Damit ist es möglich, das Reinigungsmittel im Behälter zu erwärmen und über ein Kreislaufleitung mehrfach über die CIP Düsen zu pumpen.

Um die Möglichkeit zu haben zwei verschieden Rezepte zeitgleich produzieren zu können, wurde entschieden 2 Mischreaktoren aufzubauen. Neben der Rezeptflexibilität ist für E-Lyte auch die Flexibilität in der Batchgröße entscheidend, da hier die Kundenanforderungen zwischen 200 Kg pro Batch und 15.000 Kg pro Batch variieren. Die ausgewählte Mischtechnologie ermöglicht die Reaktoren mit 10% Füllvolumen zu betreiben. Da die Dichte der meisten Elektrolyten ca. 1 kg/m³ beträgt, wurde der erste Reaktor mit 2 m³ ausgelegt, weil mit diesem die kleinstmögliche Batchgröße von 200 Kg produziert werden kann. In Kombination mit dem Inlinemischer geht E-Lyte davon aus, dass die produzierten Masterbatches um den Faktor 3 verdünnt werden können. Daher wurde der zweite Reaktor mit 5 m³ ausgelegt, da somit in Kombination mit dem Inlinemischer auch 15.000 kg Batches produziert werden können.

Glovebox

Für die Zugabe der Additive wurde gemeinsam mit der Firma GS Glovebox Systemtechnik ein Glovebox System für den vorliegenden Elektrolytherstellprozess entwickelt. Das besondere an dem System ist der Einfülltrichter der unmittelbar mit der Einsaugung der Reaktoren verbunden ist. Somit können die Additive in der Glovebox abgewogen und über den Trichter unmittelbar in beide Reaktoren eingezogen werden. Um sicher zu gehen, dass auch die vollständige Additivmenge in die Reaktoren gelangt, wurde eine Spülleitung aus den Reaktoren in die Glovebox angebracht.

Das vollständige Reaktor- und Gloveboxsystem ist in Abbildung 4 dargestellt.



Abbildung 4: Reaktoren und Glovebox

Inline-Mischer

Bei der Produktion von Elektrolyten wird in der Regel ein diskontinuierliches Produktionsverfahren eingesetzt. D.h. alle Bestandteile der Rezeptur werden in einen Behälter gegeben und von dort, nach Erreichen der gewünschten Qualität, abgefüllt.

Die Vorteile dieses Verfahrens sind die einfache Steuerung des Prozesses und die flexiblen Anwendungsmöglichkeiten z.B. durch Handzugaben.

Das Verfahren bringt aber auch Nachteile mit sich, die im Wesentlichen in dem benötigten Platzbedarf durch die großen Produktionsvolumina liegen und damit verbunden auch größere Kontaktflächen mit sich bringen.

Bei inerten Prozessbedingungen bedeutet dies, dass immer ein großes Volumen über eine Vakuumanlage evakuiert sowie mit einem inerten Gas (im Regelfall Stickstoff) geflutet werden muss und die Reinigung der großen Oberflächen deutlich mehr Reinigungsmittel benötigt. Das Gleiche gilt auch für die Abluft, die bei Befüllvorgängen entweichen und behandelt werden muss.

Bei der geplanten Konfiguration der Anlage wird einer der Mischbehälter nicht dafür genutzt, um das fertige Produkt herzustellen, sondern eine höherkonzentrierte Salzlösung. Dieses Konzentrat wird im Anschluss in einem Mischrohr über ein kontinuierliches Produktionsverfahren mit den übrigen Lösemitteln verdünnt und in einen Tank weitergeleitet.

Mit diesem Verfahren kann ein Konzentrat von 3:1 hergestellt und verdünnt werden. Das führt dazu, dass die Volumina der Mischbehälter um den Faktor 3 kleiner ausgeführt werden können, um die gleiche Menge an Elektrolyt herzustellen, im Vergleich zu einem reinen diskontinuierlichen Produktionsverfahren.

Diese Reduzierung der Produktionsvolumen und Kontaktflächen führt zu einer erheblichen Einsparung der benötigten Volumenströme für die Inertisierung, Evakuierung und Abluft.

Der Inline-Mischer ist in Abbildung 5 abgebildet.



Abbildung 5: Inline-Mischer

Abfüllung

Aus dem vorgesehenen Abfüllpuffer kann das finale Produkt über eine Filtereinheit direkt in Gebinde oder Tankkraftwagen (TKWs) abgefüllt werden.

In nachfolgender Abbildung 5 sind die beiden Abfüllpuffer, die Filtertechnik sowie die Abfülllinie für Gebinde dargestellt.



Abbildung 6: Abfülllinie

Nebenanlagen Aktivkohlefilter, Vakuumsystem, Kühlsystem, Molchtechnik

Da die Produktion von Elektrolyten unter komplettem Ausschluss von Wasser stattfinden muss, werden alle Prozessschritte unter inerten Bedingungen durchgeführt. Um dies zu gewährleisten, werden alle Produktionseinheiten mit Stickstoff überlagert. Die überlagerten Substanzen reichern sich aber im reinen Stickstoff an, sodass dieser nicht ohne weiteres in die Atmosphäre abgeleitet werden kann. Dies ist aber notwendig, wenn verdrängte Volumina aus den Lagerbehältern oder Mischbehältern durch Befüll- oder Evakuierungsprozesse abgeleitet werden müssen.

Im Projektantrag wurde mit folgendem Konzept für die Stickstoffversorgung geplant:

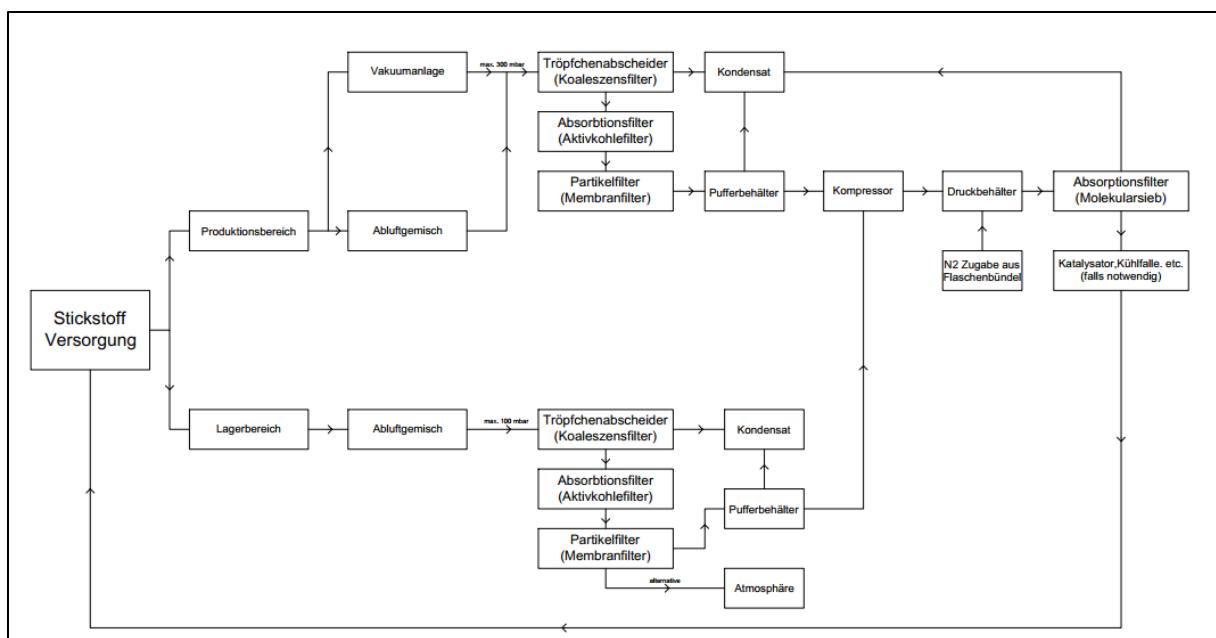


Abbildung 7: Stickstoffversorgungskonzept bei Projekteinreichung

Während des Detail Engineering musste die Stickstoffversorgung und Aufbereitung der Abluft und des Stickstoffes anders als im Projektantrag geplant werden, da es bei der detaillierten Auslegung folgende Probleme gab:

1. Der Aufzubereitender N₂ Volumenstrom aus der Produktion ist so gering, dass es keine „Standard“ Verdichter in der Größe gibt. Wir müssten einen deutlich größeren Verdichter einsetzen mit einer Leistung von ca. 11kW bei 50Nm³/h.
2. Um Kondensation im Verdichter zu vermeiden, muss der Gasstrom vorgeheizt werden bzw. muss der Verdichter ebenfalls beheizt werden. Dafür wird zusätzlich elektrische Energie benötigt.

3. Alternativ dazu kann eine Wasserringpumpe eingesetzt werden, bei dieser würde dann aber kontaminiertes Wasser erzeugt. Zudem bräuchte diese noch mehr elektrische Leistung bei gleichem Ansaugvolumen und kann nur geringe Enddrücke erreichen.
4. Kreuzkontamination durch die verschiedenen Lösemittel in dem Aufbereitungssystem mindert die Qualität.
5. Um auf die benötigten Reinheitsgrade zu kommen, muss das Gasvolumen vor der Komprimierung runtergekühlt werden, was sich zusätzlich negativ auf die Energiebilanz für das Vorheizen auswirkt. Zudem wird für die Kühlung ebenfalls elektrische Energie benötigt.
6. Als Nachbereitung muss immer ein Aktivkohlefilter eingesetzt werden, auch bei der Komprimierung des N₂. Dieser hat dann lediglich eine längere Standzeit, da ein Großteil der VOC durch die Kühlung und Komprimierung auskondensiert wird. Die Größe wäre ähnlich, da die Strömungsgeschwindigkeit und Kontaktzeit entscheidend sind.

Durch die oben beschriebenen Probleme und Herausforderungen wurde das Risiko, dass das geplante Stickstoffversorgungskonzept nicht die erhofften Vorteile bietet als hoch eingeschätzt. Dies verbunden mit den signifikanten CapEx Kosten für die Umsetzung des Stickstoffversorgungssystems hat E-Lyte dazu bewegt ein neues Stickstoffversorgungssystem zu planen, mit dem die gleichen Ziele hinsichtlich Ressourcenschonung wie beim ursprünglichen Projektantrag erreicht werden können.

Das neue Stickstoffversorgungskonzept ist wie folgt ausgelegt:

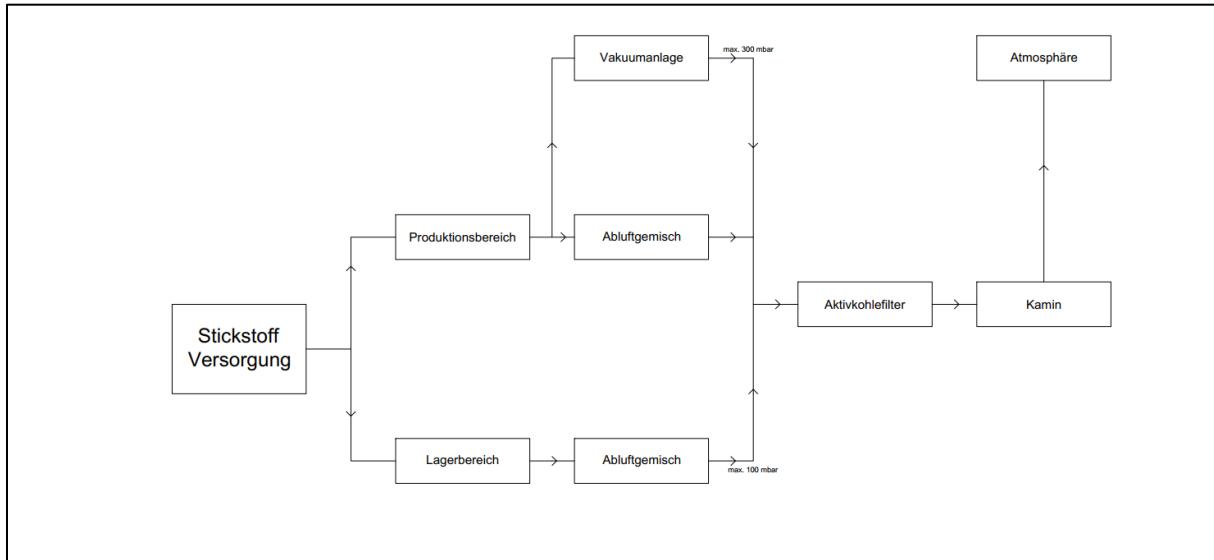


Abbildung 8: Neues Stickstoffversorgungskonzept

Mit diesem Stickstoffversorgungskonzept können dennoch folgende Ziele, für welche das Stickstoffversorgungskonzept mit entscheidend ist, erfüllt werden:

- Wassereinsparung: Im Vergleich zum Stand der Technik werden keine Abgaswäscher eingesetzt, wodurch kein Prozessabwasser entsteht. Somit kann im gesamten Prozess Prozessabwasser vermieden werden, wodurch das Ziel der Wassereinsparung um 40% sogar übertroffen werden konnte, da 100% Wasser eingespart wird
- Einsparung 60% der Stickstoffmengen. Die Stickstoffmengen, welche durch das neue Konzept nun nicht zurückgewonnen werden können, werden durch das Inline-Konzept bei den Reaktoren kompensiert, wodurch weiterhin das Ziel einer Stickstoffeinsparung von 60% angestrebt wird
- Vermeidung von VOC haltiger Abluft. Durch das neue Konzept können weiterhin der Ausstoß von 528.000 Nm³ VOC haltige Abluft TA-Luft konform pro Jahr vermieden werden

Da mit dem neuen Konzept die gesetzten Ziele ebenfalls erreicht werden können und die CapEx Ausgaben verringert werden konnten, wurde dieses Konzept umgesetzt (siehe Zwischenbericht 2023).

Neben dem Abluftsystem gibt es noch die Molchtechnik, das Vakuumsystem und das Kühlsystem als Nebenanlagen zum Prozess.

In nachfolgenden Abbildung 9, 10 und 11 ist die Molchtechnik, das Vakuumsystem, das Kühlsystem sowie die Aktivkohlefilter abgebildet.



Abbildung 9: Molchtechnik



Abbildung 10: Vakuumsystem



Abbildung 11: Kühlanlage

2.3 Umsetzung des Vorhabens

Die Projektumsetzung kann in vier Hauptprojektphasen eingeteilt werden:

1. Planung
2. Beschaffung
3. Montage
4. Inbetriebnahme

Der detaillierte Projektplan kann aus Abbildung 8 entnommen werden. Das Projekt wurde im November 2022 mit dem Erstellen des Engineerings begonnen. Diese Phase wurde im März 2023 abgeschlossen. Der Beschaffungsprozess, welcher im Gesamtprozess die längste Zeitdauer eingenommen hat, konnte erst Ende Januar 2023 gestartet werden, da die Genehmigung des vorzeitigen Maßnahmenbeginns erst Ende Januar 2023 erteilt wurde. Der Beschaffungsprozess konnte mit der Lieferung des letzten Equipments im Mai 2024 abgeschlossen werden. Parallel begann die Montage des Außentanklagers im August 2023 und die Montage der restlichen Anlage Anfang 2024. Nachdem das letzte Equipment im Mai 2024 eingetroffen ist, konnte die Montage im Juni 2024 beendet werden. Als letzter Prozessschritt wurde die Inbetriebnahme im Juni 2024 gestartet. Ursprünglich war geplant, dass die Inbetriebnahme der Anlage im Juli 2024 abgeschlossen ist. Wegen folgender Gründe musste der Abschluss der Inbetriebnahme verschoben werden (siehe 2. Zwischenbericht 2024):

1. technischer Defekt der Abfüllpumpen bei den Pufferbehältern, da diese vom externen Elektriker falsch angeschlossen wurden
2. Auf Grund von Rückfragen der Behörden zur Genehmigung nach BimSchG „Gebindelager Rohstoffe und Fertigprodukte“ und zum Bauantrag „Einbau der Produktionsanlage“ hat sich der Genehmigungsprozess verzögert

In Anbetracht der genannten Gründe verschiebt sich der zuvor für Juli 2024 (siehe Abbildung 8) geplante SOP der gesamten Anlage („start of production“) auf Q4 2024. Da allerdings beide Punkte zeitnah und mit wenig Aufwand angepasst werden können, werden beide Punkte als nicht kritisch ange

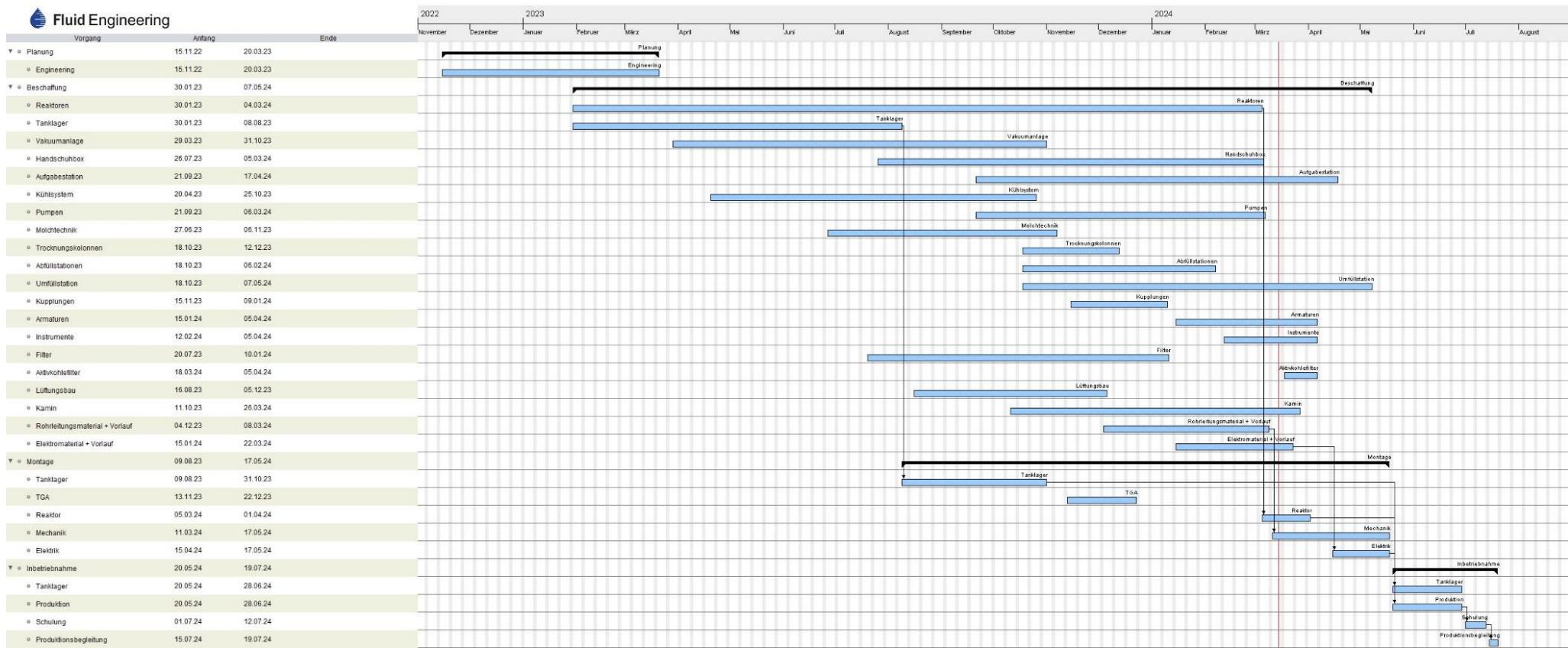


Abbildung 12: Projektplan

2.4 Behördliche Auflagen

Von den Behörden gibt es folgende Auflagen hinsichtlich Genehmigungsverfahren, welche durchlaufen werden müssen:

- Bauantrag: Neubau Rohstofftanklager und Abfüllfläche mit Pumpenstation und Stickstofftank zur Elektrolytherstellung
- Genehmigung nach BimSchG: Gebindelager Rohstoffe und Fertigprodukte (Lagerung toxischer Stoffe) in Produktionshalle
- Bauantrag: Aufstellung des Stickstofftanks
- Bauantrag: Einbau der Produktionsanlage

Alle aufgezählten Genehmigungsverfahren sind abgeschlossen, wodurch die Anlage auch final abgenommen werden konnte.

2.5 Erfassung und Aufbereitung der Betriebsdaten

In Tabelle 7 ist eine Übersicht der erfassten Betriebsdaten dargestellt.

Für eine bessere Übersicht wurde die Erfassung der Betriebsdaten in 3 Betriebsbedingungen unterteilt:

1. Inertisierung und Vorreinigung
2. Produktion
3. Reinigung

Bei der Inertisierung und der abschließenden Reinigung wird ein besonderes Augenmerk auf den Stickstoffverbrauch und den Verbrauch von Spülmedium gelegt, da dies die beiden entscheidenden Betriebsdaten darstellen.

Während der Produktion werden einige Prozessparameter für Qualitätsgründe dauerhaft inline erfasst, sodass chargenweise eine Rückverfolgung und Transparenz des Produktionsprozesses möglich ist. Die Betriebsdaten Ausbeute, Stickstoffverbrauch, Stromverbrauch und Einhaltung der TA-Luft Grenzwerte in der Abluft sind die entscheidenden Betriebsdaten für das vorliegende Umweltinnovationsprogramm, da dieser direkte Einfluss auf die gesetzten Ziele haben.

Tabelle 1: Übersicht erfasster Betriebsdaten

Betriebsbedingung	Betriebsdaten	Ort der Messung	Verfahren	Häufigkeit und Messintervall
Inertisierung und Vorspülung	Verbrauch Stickstoff	Stickstofftank	Optische Wertaufnahme des aktuellen Tankfüllstandes.	Wöchentlich
	Verbrauch Spülmedium	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Prozessleitsystem und ERP System ▪ QS Labor 	Mengenerfassung Qualitätskontrolle in QS Labor	Vor jedem Batch. Häufigkeit ist abhängig vom Reinigungsergebnis
Produktion	Temperaturüberwachung	Inline Messung	Inline Messung	Dauerhaft während Produktion
	Drucküberwachung	Inline Messung	Inline Messung	Dauerhaft während Produktion
	Sauerstoffüberwachung	Inline Messung	Inline Messung	Dauerhaft während Produktion
	Leitfähigkeitssensor	Inline Messung	Inline Messung	Dauerhaft während Produktion
	Trübungssensor	Inline Messung	Inline Messung	Dauerhaft während Produktion

	Verbrauch Stickstoff	Stickstofftank	Optische Wertaufnahme des aktuellen Tankfüllstandes.	Wöchentlich
	Ausbeute	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Prozessleitsystem und ERP System ▪ QS Labor 	Mengenerfassung Qualitätskontrolle in QS Labor	Monatlich
	Stromverbrauch	Stromzähler	Optische Wertaufnahme	Monatlich
	Einhaltung der TA-Luft Grenzwerte in Abluft	Schornstein	Messung durch externen Dienstleister	jährlich
Reinigung	Verbrauch Stickstoff	Stickstofftank	Optische Wertaufnahme des aktuellen Tankfüllstandes.	Wöchentlich
	Verbrauch Spülmedium	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Prozessleitsystem und ERP System ▪ QS Labor 	Mengenerfassung Qualitätskontrolle in QS Labor	Vor jedem Batch. Häufigkeit ist abhängig von Reinigungsergebnis

3 Ergebnisdarstellung zum Nachweis der Zielerreichung

3.1 Bewertung der Vorhabendurchführung

Das Vorhaben konnte erfolgreich umgesetzt werden, da sowohl die Ziele im Kontext des Umweltinnovationsprogramms erreicht werden konnten als auch die wirtschaftlich gesetzten Ziele und KPIs zur Zufriedenheit erfüllt werden konnten. Darüber hinaus wurde im Zuge der Inbetriebnahme festgestellt, dass die hochinnovative Mischtechnologie noch effizienter und besser als erwartet funktioniert, wodurch die Batchdurchlaufzeiten deutlich kürzer als ursprünglich angenommen sind. Dadurch kann mit den gebauten Anlagen eine jährliche Ausbringungsmenge zwischen 8.000 – 20.000to erzielt werden und nicht wie ursprünglich angenommen 4.000to. Die erreichte Jahresausbringungsmenge hängt sehr stark von der Anzahl an Kunden und Anzahl an erforderlichen Rezepten zusammen, da mit jedem Rezept Wechsel der Reinigungsaufwand höher ist. Bei gleichen Bedingungen wie bei Antragseinreichung (gleiche Anzahl an Kunden und Rezepten) geht E-Lyte daher von einer Jahresausbringungsmenge von 8.000to aus. Sollte E-Lyte am Ende lediglich wenige Großkunden mit der Anlage beliefern, wäre eine Ausbringungsmenge von bis zu 20.000to pro Jahr möglich.

Im Lauf des Projektes gab es folgende Herausforderungen:

- In der Zeitspanne zwischen Projekteinreichung und Bestätigung zum vorzeitigen Maßnahmenbeginn konnten keine Bestellungen ausgelöst werden,
- Erforderliche Umplanung bzgl. Stickstoffsystem, siehe Kapitel 2.2
- Lieferverzug bei Reaktorlieferant auf Grund von Schaden bei der Magnetkupplung eines Reaktors
- Technischer Defekt bei den Abfüllpumpen
- Rückfragen von den Behörden zu den Genehmigungsverfahren

Da obenstehende Herausforderungen lediglich einen Einfluss auf den Zeitplan für die finale Inbetriebnahme der Anlage und die entsprechenden Kundeprojekte seitens der Kunden ebenfalls verschoben wurden, konnten diese Herausforderungen als nicht kritisch eingestuft werden. Die Detailmaßnahmen wurden in den entsprechenden Zwischenberichten ausführlich erläutert.

Das Vorhaben wurde erfolgreich umgesetzt.

3.2 Stoff- und Energiebilanz

Für die Erstellung der Stoff und Energiebilanzen wurde das Verfahren in vier Prozessschritte untergliedert und jeweils eine eigene Stoff- und Energiebilanz erstellt:

- Kälteanlage
- Abluftsystem
- Inline-Mischer
- Reinigung

Kälteanlage

In Abbildung 13 ist die Stoff- und Energiebilanz der Kälteanlage dargestellt. In Tabelle 1 sind die Einsparungen der eingesetzten Kälteanlage im Vergleich zum Stand der Technik und zu den theoretischen Annahmen des Projektes dargestellt. Bei der Kälteanlage sind die entscheidenden Betriebsdaten der Energieverbrauch.

Tabelle 1: Einsparungen der Kälteanlage

	Stand der Technik	Theoretische Annahme innovatives Verfahren	Im Serienbetrieb gemessene Werte	Einsparung
Beschreibung	Kaltwassersatz ohne Freikühlung	Kaltwassersatz mit Freikühlung	Kaltwassersatz mit Freikühlung	
Ø Produktionstage	300	300	300	-
Ø Betriebsstunden pro Tag	16	16	10	37,5 %
Ø Betriebsstunden pro Jahr	4.800	4.800	3000	37,5 %
Jahresproduktion [t]	8.000	8.000	8000	-
Nennleistung [kW]	186	182	122	32,9 %
Ø elektrischer Verbrauch [kW]	186	182	122	32,9%
Energieverbrauch [kWh/Jahr]	892.800	873.600	366.000	58,1 %
Energieverbrauch [kWh/t]	111,6	109,2	45,75	58,1 %

Auf Basis der theoretischen Berechnungen wurde eine Einsparung von 19.200 kWh pro Jahr angenommen, was einer Einsparung von 2,4 kWh pro Tonne Produkt entspricht. Im Serienbetrieb konnten die in Tabelle 1 genannten Werte ermittelt werden. Neben der Leistungserspartis durch die Freikühlung konnte auch im Betrieb

gezeigt werden, dass die effizienten Kühlssysteme über eine Mehrzahl verschiedener Formulierungen nicht zu 100% der Betriebsdauer aktiv sein müssen. Damit konnte das angenommene Ziel der Energieeinsparung sogar übertroffen werden.

Abluftsystem

In Abbildung 14 ist die Stoff- und Energiebilanz des Abluftsystems dargestellt. In Tabelle 2 sind die Einsparungen des eingesetzten Abluftsystems im Vergleich zum Stand der Technik und zu den theoretischen Annahmen des Projektes dargestellt. Bei dem Abluftsystem sind die entscheidenden Betriebsdaten der Wasserverbrauch.

Tabelle 2: Einsparungen Abluftsystem

	Stand der Technik			Theoretische Annahme innovatives Verfahren	Im Serienbetrieb gemessene Werte	Einsparung
Beschreibung	Abgas-wäscher ¹⁾	Vakuumeinheit (Wasserring-pumpe)	Summe Stand der Technik	Vakumanlage als Trockenläufer und Abluftreinigung mit Hilfe regenerierbarer Aktivkohlefilter		
Ø Produktionstage	300	300	300	300	300	
Ø Betriebsstunden pro Tag	16	16	16	16	16	
Ø Betriebsstunden pro Jahr	4.800	4.800	4800	4800	4800	
Jahresproduktion [t]	8.000	8.000	8000	8000	8000	
Prozesswasser [m ³ /h]	0,05	0,03	0,08	0	0	100%
Prozesswasser [m ³ /Jahr]	240	144	384	0	0	100%
Prozesswasser [m ³ /t]	0,03	0,018	0,048	0	0	100%

In der Planungsphase wurde angenommen, dass das neu entwickelte Produktionsverfahren keinen Prozesswasserverbrauch hat. Dies wurde auch im Regelbetrieb der Anlage bestätigt und damit konnte das Ziel der Wassereinsparung von 100% erreicht werden.

Inline-Mischer

Der Inline-Mischer ist lediglich mit dem 5m³ Reaktor verbunden, da dieser dafür gedacht ist die Ausbringungsmenge zu erhöhen und Batchgrößen von größer 5m³ zu produzieren. Für die Berechnung der Einsparungen wurden folgende Grunddaten angenommen:

Tabelle 3: Grunddaten Inline-Mischer

Grunddaten	Wert
Konzentratfaktor	3
Inertisierungszyklen [1/Batch]	1
Evakuierungszyklen [1/Batch]	1
Produktionsmenge [t/Jahr]	6.000
+Anteil Produktionsmenge ILB [%]	60
Vollauslastung ILB [%]	70
Produktionsmenge ILB [t/Jahr]	3.600
Ø Ansatzgröße [m ³ /Batch]	10,5
Ansätze [1/Jahr]	343

Die Masterbatches können um Faktor 3¹ über den Kontimischer verdünnt werden. Vor jedem Batch muss der Reaktor entsprechend einmal mit Stickstoff inertisiert und zuvor evakuiert werden. Über den 5m³ Reaktor wird eine Jahresproduktionsmenge von 6.000 to produziert und davon werden 60% mit Hilfe des Inline-Mischers produziert². 70% der Batches werden unter Vollauslastung³ des Inline-Mischers hergestellt. Damit errechnet sich eine Produktionsmenge über den Inline-Mischer von 3.600 to pro Jahr, eine durchschnittliche Ansatzgröße von 10,5 m³ pro Batch und 343 Batches pro Jahr.

Beim Inline-Mischer sind die entscheidenden Betriebsdaten der Verbrauch an Spülmenge, der Verbrauch an Stickstoff und die produzierte Abluftmenge. In nachfolgender Tabelle 4 sind die Einsparungen der Betriebsdaten dargestellt:

¹ Dieser maximal mögliche Verdünnungsfaktor lässt sich über die Löslichkeitsgrenze des eingesetzten Lithium Salzes ermitteln, da nur Konzentrate in den Inline-Mischer eingebracht werden dürfen, in welchen das Salz vollständig gelöst ist.

² Annahme auf Basis Kunden Forecasts

³ 5m³ Konzentrat im Batchreaktor wird um den Faktor 3 mit dem Inline-Mischer verdünnt

Tabelle 4: Einsparungen Inline-Mischer pro Batch

	Stand der Technik	Theoretische Annahme innovatives Verfahren	Im Serienbetrieb gemessene Werte	Einsparung
	Reiner Batchprozess	Kombination aus Batch- und Inline-Mischer	Kombination aus Batch- und Inline-Mischer	
Reaktorgröße [m ³]	15	5	5	66 %
Benötigte Spülmenge [kg/Batch]	150	50	50	66 %
Inertisierung N2 [Nm ³ /Batch]	15	5	5	66 %
Evakuierung [Nm ³ /Batch]	15	5	5	66 %

Unter Annahme der in Tabelle 4 ermittelten Anzahl an Batches pro Jahr, können die Gesamteinsparungen pro Jahr und pro Tonne Produkt in Tabelle 5 bestätigt werden:

Tabelle 5: Einsparungen Inline-Mischer pro Jahr und pro Endprodukt

	Theoretische Annahme innovatives Verfahren	Im Serienbetrieb gemessene und hochgerechnete Werte
	Kombination aus Batch- und Inline-Mischer	Kombination aus Batch- und Inline-Mischer
Reduzierte Spülmenge [kg/Jahr]	-30.857	-30.857
Reduzierte Menge N2 [Nm ³ /Jahr]	-3.086	-3.086
Reduzierte Menge Abluft [Nm ³ /Jahr]	-3.086	-3.086
Reduzierte Spülmenge [kg/t]	-8,57	-8,57
Reduzierte Menge N2 [Nm ³ /t]	-0,86	-0,86
Reduzierte Menge Abluft [Nm ³ /t]	-0,86	-0,86
Sicherheitsfaktor ²⁾	0,9	0,9

Bei der Berechnung der theoretischen Annahme wurde noch ein Sicherheitsfaktor von 0,9 berücksichtigt, da auch das Rohrvolumen des Kontimischers gespült, inertisiert und evakuiert werden muss.

Die entsprechende Energie- und Stoffbilanz für den Inline-Mischer ist in Abbildung 15 dargestellt. Die entsprechenden Masseströme in kg/h wurden unter der Annahme

berechnet, dass ein Batch eine Produktionszeit von 8h (eine Schicht) hat und die Evakuierung und Inertisierung eine Stunde dauert.

Reinigung

Im Bereich der Reinigung müssen zwei Betriebszustände betrachtet werden:

1. Transfer des finalen Produktes
2. Reinigung der Rohrleitungen

In beiden Betriebszuständen führt das eingesetzte Molchsystem zu erheblichen Ressourceneinsparungen.

Beim Transfer des finalen Produktes kann das Produkt mit Ausnahme von minimalen Restmengen vollständig durch das Rohrvolumen zur Abfüllstation transportiert werden. Hierdurch ergeben sich folgende Einsparungen, siehe Tabelle 6:

Tabelle 6: Einsparungen verworfenes Produkt durch Molchtechnik

	Stand der Technik	Theoretische Annahme innovatives Verfahren	Im Serienbetrieb gemessene Werte	Einsparung
Beschreibung	Verworfenes Produkt durch Rohrvolumen	Produkttransfer mittels Molchtechnik	Produkttransfer mittels Molchtechnik	
Ø Produktionstage	300	300	300	
Ø Batches pro Tag	6	6	6	
Ø Verworfenes Produkt pro Batch [kg]	60	2	3	95 %
Ø Verworfenes Produkt pro Jahr [to]	108	4	6	95 %
Ø Verworfenes Produkt pro Tonne FP [kg]	13,50	0,5	0,75	95 %

Bei der Reinigung der Rohrleitung muss im Verfahren der Stand der Technik das gesamte Rohrvolumen mit Spülmedium gespült werden. Bei dem neuen innovativen Verfahren kann diese Spülmenge deutlich reduziert werden, da die Produktreste in den Rohrleitungen durch das eingesetzte Molchsystem bereits minimiert sind. Für die Reinigung der Rohrleitungen ergibt sich folgende Einsparung (Tabelle 7):

Tabelle 7: Einsparungen Spülmedium durch Molchtechnik

	Stand der Technik	Theoretische Annahme innovatives Verfahren	Im Serienbetrieb gemessene Werte	Einsparung
Beschreibung	Verworfenes Spülmedium durch Rohrvolumen	Reinigung der RL durch Molchen	Reinigung der RL durch Molchen	
Ø Produktionstage	300	300	300	
Ø Batches pro Tag	6	6	6	
Ø Reinigungsmenge pro Batch [kg]	100	30	30	70%
Ø Reinigungsmenge pro Jahr [t]	180	54	54	70%
Ø Reinigungsmenge pro Tonne FP [kg]	23	7	7	70%

Die entsprechende Energie- und Stoffbilanzen für die Reinigung sind in Abbildung 16 und 17 dargestellt. Die entsprechenden Masseströme in kg/h wurden unter der Annahme folgender Parameter berechnet (Tabelle 8):

Tabelle 8: Produktionsparameter

Ø Produktionstage	300
Ø Betriebsstunden pro Tag	16
Ø Betriebsstunden pro Jahr	4.800
Jahresproduktion [t]	8.000
Ø Batches pro h	0,375
Anzahl Reaktoren [Stk.]	2
Anzahl Puffertanks	2

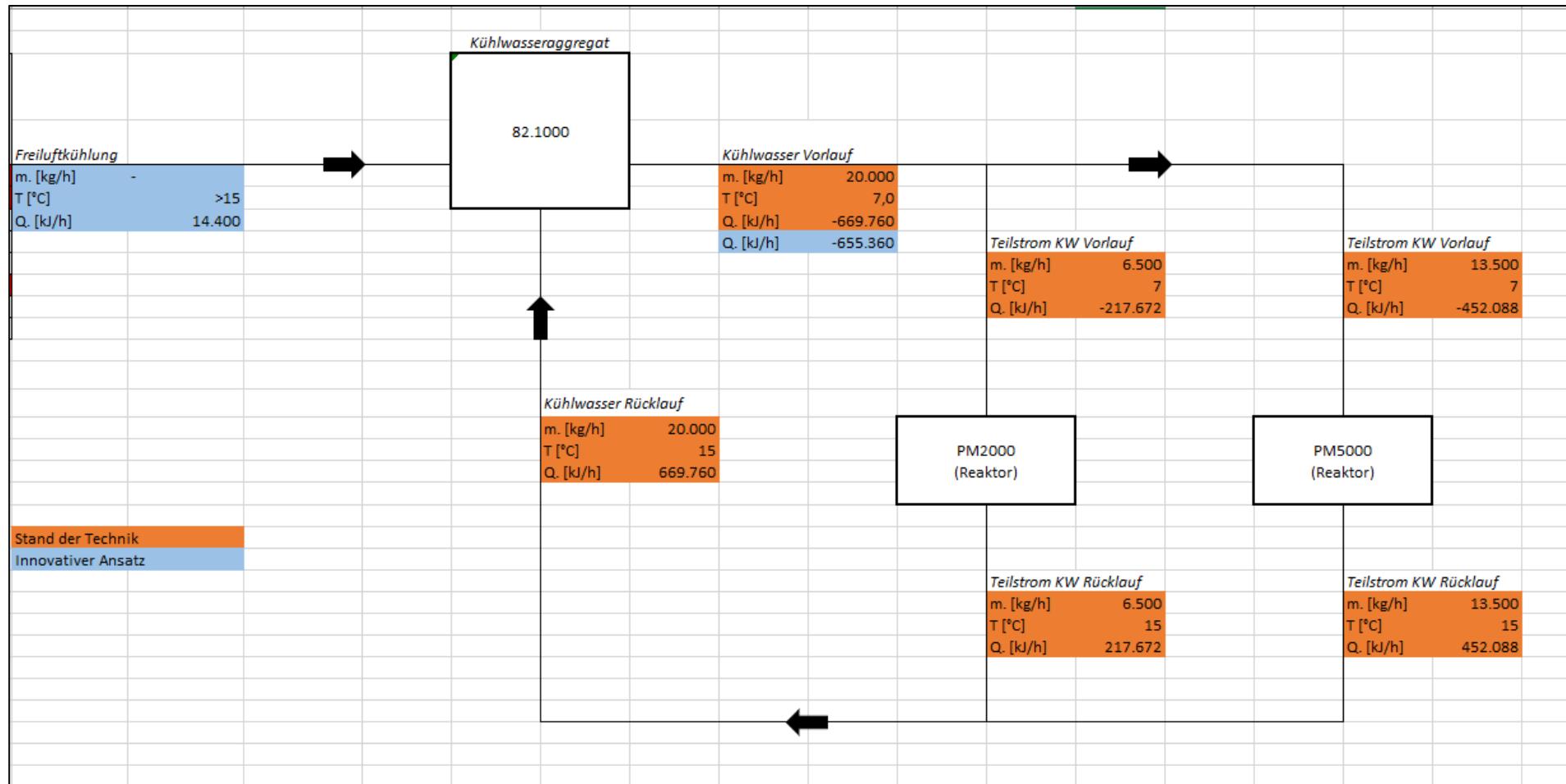


Abbildung 11: Stoff- und Energiebilanz Kälteanlage

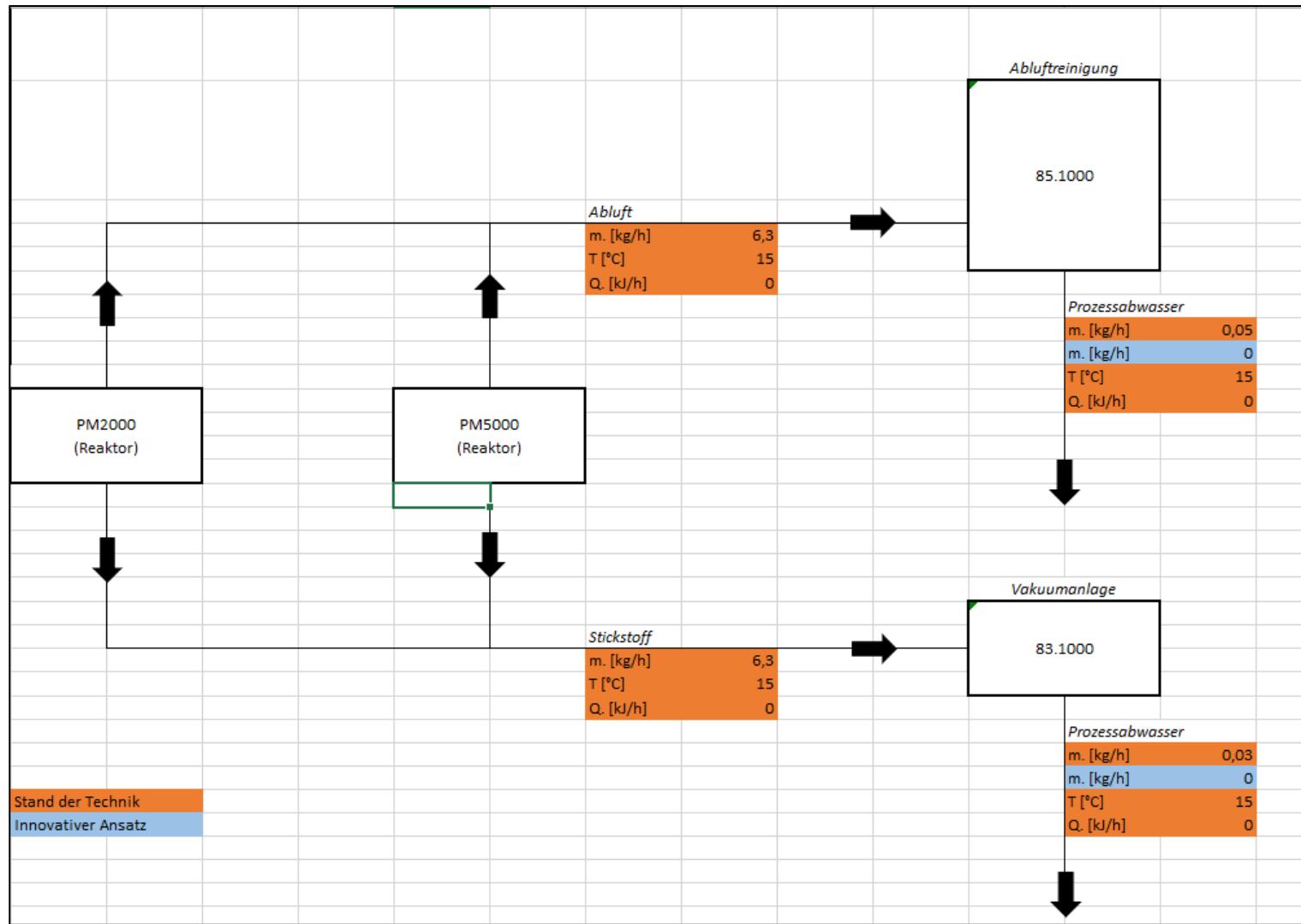


Abbildung 12: Energie- und Stoffbilanz Abluftsystem

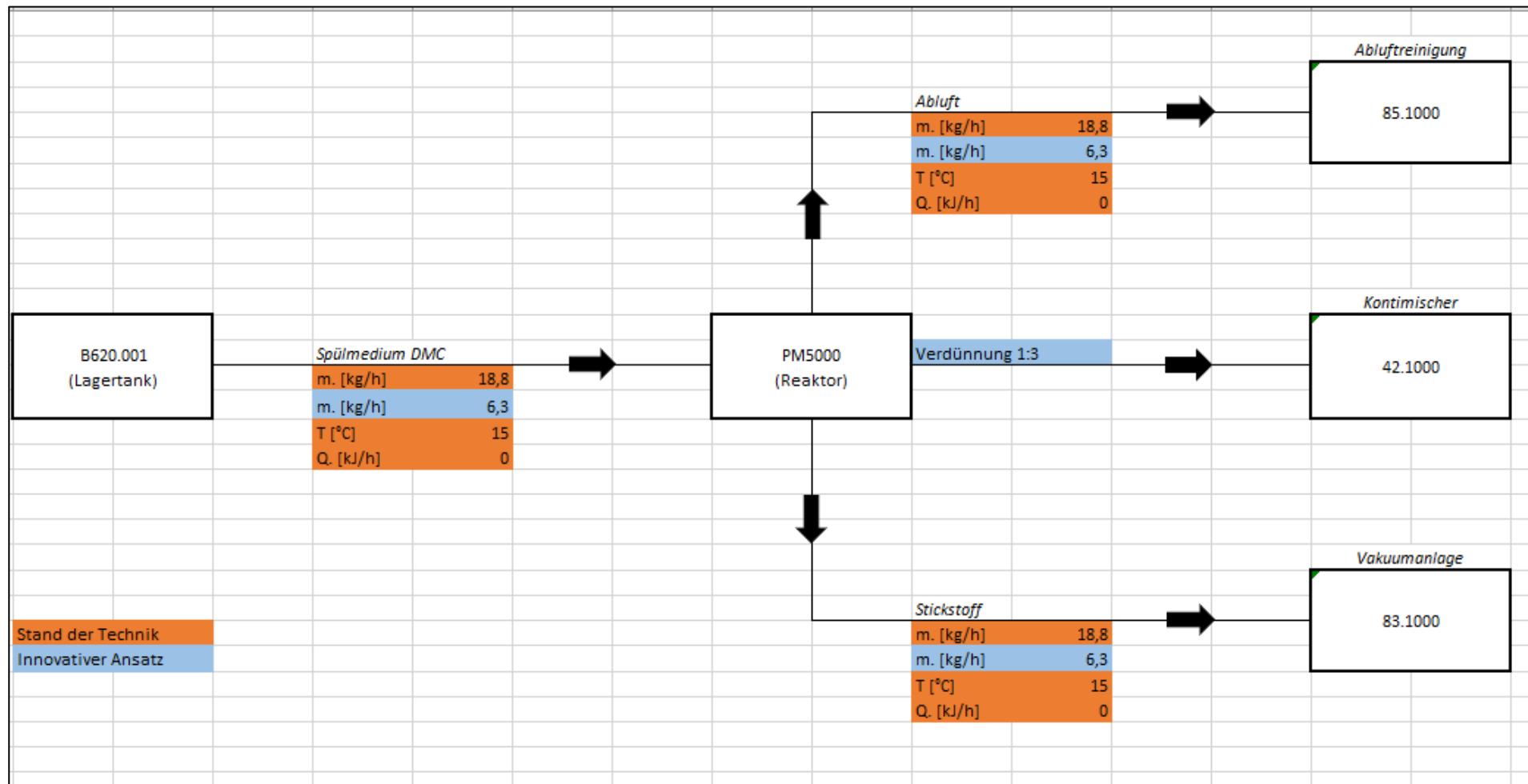


Abbildung 13: Energie- und Stoffbilanz Inline-Mischer

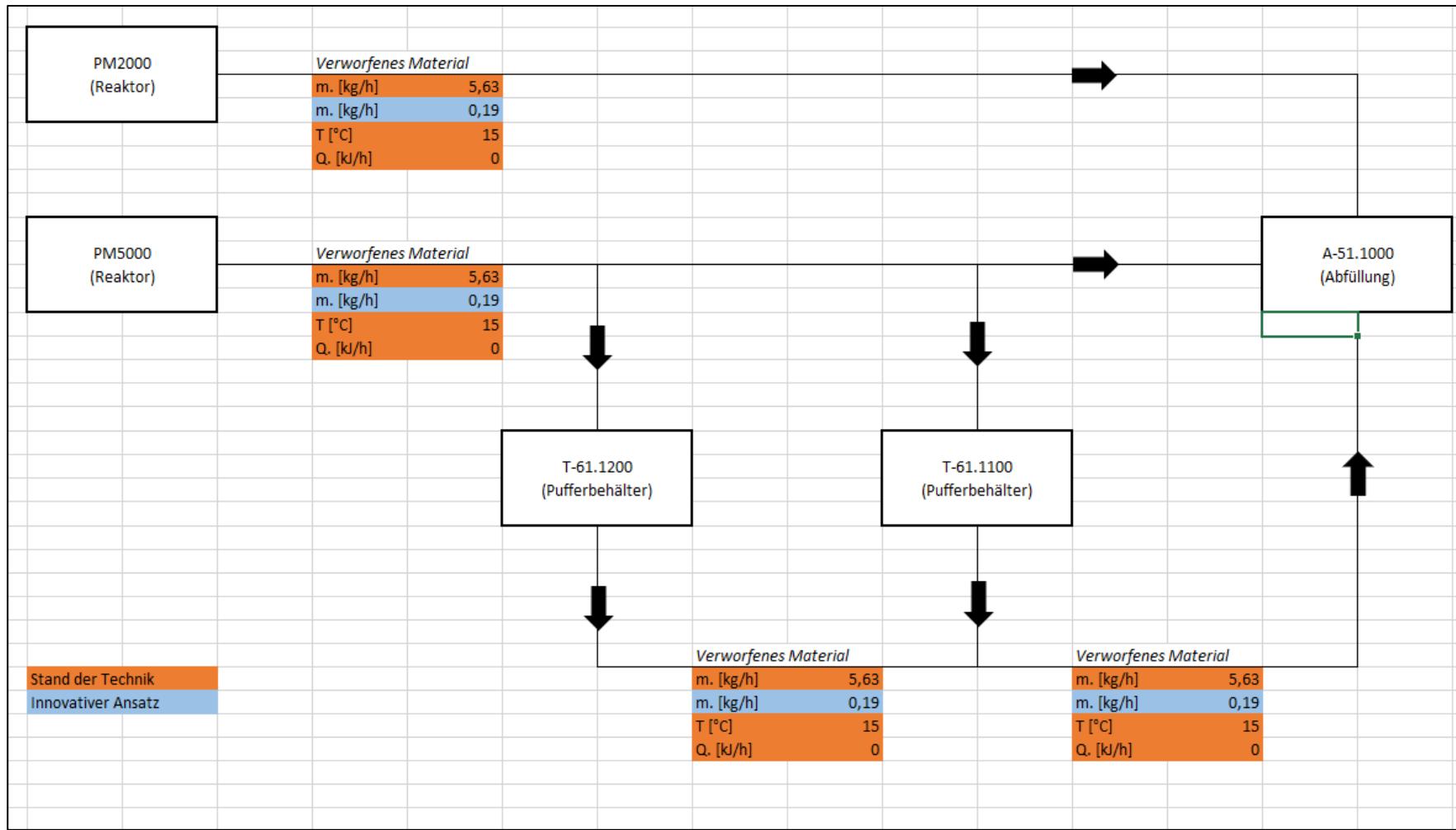


Abbildung 14: Energie- und Stoffbilanz Produkttransfer

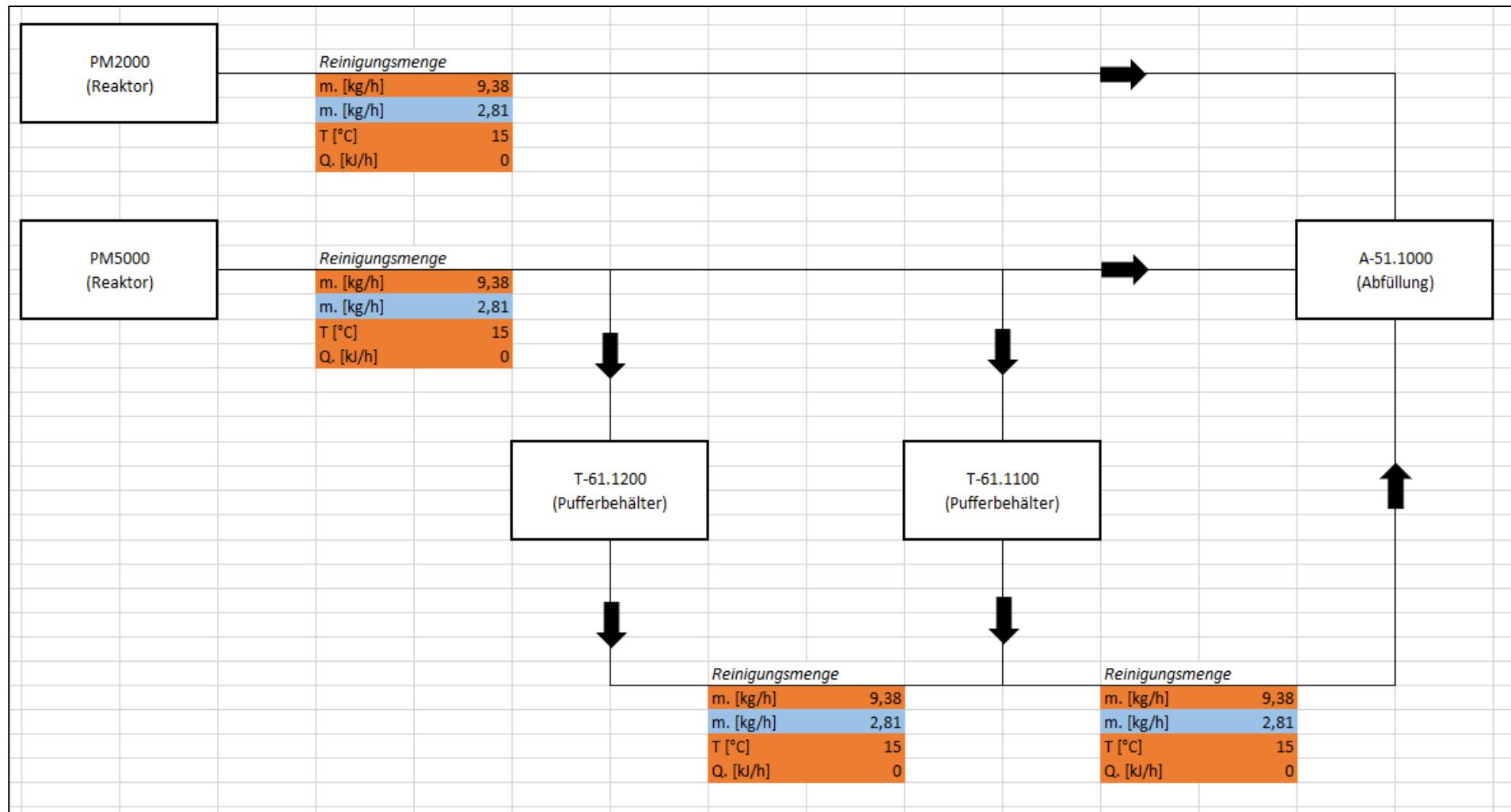


Abbildung 15: Energie- und Stoffbilanz Reinigung der Rohrleitungen

3.3 Umweltbilanz

	Stand der Technik		Theoretische Berechnung		Im Serienbetrieb gemessen		Einsparung im Serienbetrieb		Ziel Erreicht ?	CO ₂ Äquivalent	Einsparung in Serienbetrieb	
	[pro to Endprodukt]	[pro Jahr]	[pro to Endprodukt]	[pro Jahr]	[pro to Endprodukt]	[pro Jahr]	[pro to Endprodukt]	[pro Jahr]			Einsparung CO ₂ pro to Endprodukt	Einsparung CO ₂ pro Jahr
Energie	111,6 kWh	892.800 kWh	109,2 kWh	873.600 kWh	45,75 kWh	366.000kWh	63,45 kWh	507.600kWh	Ja	0,36 kg / kWh	22,8 kg	182.700 kg
Wasser	0,048 m ³	384 m ³	0 m ³	0 m ³	0 m ³	0 m ³	0,048 m ³	384 m ³	Ja	0,00033 kg/kg	0,016 kg	126 kg
Stickstoff	1,43 Nm ³	5142 Nm ³	0,57 Nm ³	2056 Nm ³	0,57 Nm ³	2056 Nm ³	0,86 Nm ³	3086 Nm ³	Ja	0,2 kg/kg	0,128 kg	1025 kg
Abluft	1,43Nm ³	5142 Nm ³	0,57 Nm ³	2056 Nm ³	0,57 Nm ³	2056 Nm ³	0,86 Nm ³	3086 Nm ³	Ja	n/a		
Spülmengen	34 kg	231 to	13 kg	104 to	13 kg	104 to	21 kg	127 to	Ja	3,00 kg/kg	47,79 kg	382.300 kg
Verworfenes Endprodukt	13,5 kg	108 to	0.5 kg	4to	0,75 kg	6 to	13 kg	102 to	ja	4,99 kg/kg	52 kg	508.900 kg

3.4 Wirtschaftlichkeitsanalyse

Auf Grund des ressourcenschonenden innovativen Produktionskonzeptes ergeben sich pro Jahr folgende OpEx Kosten Einsparungen:

Tabelle 9: OpEx Kosten Einsparungen

Produktionsmenge [to]		1500	8000	8000	8000	8000	8000
Kosteneinsparung durch	Berechnungsgrundlage	2024	2025	2026	2027	2028	2029
Energieeinsparung	Eingesparte Energiemenge [kW/h] x Kosten [€/kW/h]	-720,00 €	-3.840,00 €	-3.840,00 €	-3.840,00 €	-3.840,00 €	-3.840,00 €
Prozesswassereinsparung	Eingesparte Prozesswassermenge [m³] x Kosten [€/m³]	-7.200,00 €	-38.400,00 €	-38.400,00 €	-38.400,00 €	-38.400,00 €	-38.400,00 €
Einsparung Spülmedium	Eingesparte Spülmediummenge [to] x Kosten [€/to]	-43.103,57 €	-229.885,71 €	-229.885,71 €	-229.885,71 €	-229.885,71 €	-229.885,71 €
Einsparung Stickstoff	Eingesparte Stickstoffmenge [Nm³] x Kosten [€/Nm³]	-665,36 €	-3.548,57 €	-3.548,57 €	-3.548,57 €	-3.548,57 €	-3.548,57 €
Einsparung Menge verworfenes Produkt (Verkaufspreis)	Eingesparte Produktmenge [to] x Kosten [€/to]	-112.387,50 €	-599.400,00 €	-599.400,00 €	-599.400,00 €	-599.400,00 €	-599.400,00 €
Summe		-164.076,43 €	-875.074,29 €				

3.5 Technischer Vergleich zu konventionellen Verfahren

In Tabelle 11 ist der direkte Vergleich zwischen dem neu entwickelten Verfahren und dem konventionellen Verfahren in den jeweiligen Prozessschritten dargestellt.

Im Bereich der Arbeitssicherheit hat das neue Verfahren den Vorteil, dass alles in einem strikt kontrollierten geschlossenen System gehandhabt wird, sogar die Musterziehung, welche mit zugelassenen Gebinden vollzogen wird. Daher kann im neuen Prozess größtenteils auf aufwändige und störende Schutzausrüstung verzichtet werden.

Bzgl. der benötigten Tanklagergröße je Ausbringungsmenge benötigt das neue Verfahren auf Grund der Rezeptvielfalt eine höhere Anzahl an Rohstofftanks.

Bei der Produktion von Elektrolyten wird in der Regel ein diskontinuierliches Produktionsverfahren eingesetzt. D.h. alle Bestandteile der Rezeptur werden in einen Behälter gegeben und von dort, nach Erreichen der gewünschten Qualität, abgefüllt.

Die Vorteile dieses Verfahrens sind die einfache Steuerung des Prozesses und die flexiblen Anwendungsmöglichkeiten z.B. durch Handzugaben. Das Verfahren bringt aber auch Nachteile mit sich, die im Wesentlichen in dem benötigten Platzbedarf durch die großen Produktionsvolumina liegen und damit verbunden auch größere Kontaktflächen mit sich bringen. Bei inerten Prozessbedingungen bedeutet dies, dass immer ein großes Volumen über eine Vakumanlage evakuiert sowie mit einem inerten Gas (im Regelfall Stickstoff) geflutet werden muss und die Reinigung der großen Oberflächen deutlich mehr Reinigungsmittel benötigt. Das Gleiche gilt auch für die Abluft, die bei Befüll Vorgängen entweichen und behandelt werden muss. Bei der Konfiguration dieser Anlage wird einer der Mischbehälter nicht dafür genutzt, um das fertige Produkt herzustellen, sondern eine höherkonzentrierte Salzlösung. Dieses Konzentrat wird im Anschluss in einem Mischrohr über ein kontinuierliches Produktionsverfahren mit den übrigen Lösemitteln verdünnt und in einen Tank weitergeleitet. Diese Reduzierung der Produktionsvolumen und Kontaktflächen führt zu einer erheblichen Einsparung der benötigten Volumenströme für die Inertisierung, Evakuierung und Abluft. Neben dem Inline-Mischer setzt E-Lyte auch auf die moderne Mischtechnologie. Das gesamte Mischkonzept unterscheidet sich vom Stand der Technik in folgenden Punkten:

- Deutlich kürzere Misch- und Homogenisier-Zeiten durch maximale Energiedichte
 - Doppelte Leistung gegenüber traditionellen Standardsystemen
 - Reduzierung der Prozesszeiten zwischen 60% und 85%
- Hocheffiziente Heiz- und Kühlprozesse
 - Vorlaufgeregelte Doppelmanteltemperatur (stufenlos) mit exaktem (minimalen) Energieeinsatz zum Erreichen der Produkttemperatur
 - Effizientes Erreichen der Solltemperatur ohne ineffiziente Ausgleichsregelung / Kompensation des „Überheizens“ und „Unterkühlens“ durch starre Medientemperaturen (Dampf 131°C und Kühlwasser 5°C)
 - Kein Verlust an Medien durch geschlossenen Sekundärkreislauf
 - Anbindung an kreislaufgesteuerte Primärkühlung und Primärheizung (mit Kondensatrückführung)
- Maximaleffektive Entleerung flüssiger Produkte durch intelligente Entleerungsprozessschritte

- Steigerung der Ausbeute auf 100% bei flüssigen Produkten
- Reinigung mit signifikant geringeren Rohstoff- und Energieeinsatz und deutlich reduziertem Abwasseraufkommen
 - Wasser- und Reinigungsmittelbedarf um 80% reduziert gegenüber traditionellen Standardsystemen und -prozessen
- Füllgrad für Reinigung = 20% des Ansatzvolumens (Standard = 100%)
 - Intelligente Reinigungsprozesse zur Reduzierung der Rückstände (bis zu 75%) im Mischsystem ohne Reiniger Einsatz (reduziert den Bedarf an aktiver Reinigungsschemie durch geringere Rückstandsmengen)
 - 80%ige Reduzierung des Abwassers analog dem reduzierten Wasser- und Reinigungsmittelbedarf
 - 90% Reduzierung des Energiebedarfs zur Erwärmung der Reinigungslösung
 - 80% reduziertes Volumen
 - Nutzung der gesamten thermischen Fläche bei minimalem Füllgrad durch speziellen Befülleffekt (Fallfilmerwärmung)
- Minimaler Energieaufwand für minimalen Total Carbon Footprint
 - Höchste Effizienz des Systems mit kürzesten Prozesszeiten maximieren die Produktivität per Quadratmeter Produktionsfläche (ein System entspricht ca. drei traditionellen Standardsystemen)
 - 50% gesteigerte Lebensdauer / technische Nutzbarkeit (Lastwechsel) des Druckbehälters durch minimal erhöhtem Materialaufwand und gleichem Fertigungsenergieeinsatz
 - Einsatz hocheffizienter Antriebsmotoren
 - Einsatz hocheffizienter Vakuumsysteme
 - Auslegung von Antriebssystemen (Vergrößerung) mit Verlagerung des Arbeitspunktes in Bereiche mit minimalen thermischen Verlusten
 - Voll recyclebare und instandsetzbare Komponenten / Verschleißsysteme mit minimalen Materialverlusten

In den konventionellen Elektrolytherstellprozessen wird die Abfüllung für gewöhnlich direkt aus dem Mischreaktor in großen Gebinden oder ISOCONTAINERN

vorgenommen. Im neuen Verfahren können die finalen Elektrolyten kurzzeitig in Pufferbehältern zwischengelagert werden und von dort aus in verschiedensten Gebinden (ab 20 L) abgefüllt werden. Dies ermöglicht eine flexiblere Abfüllung, die entsprechend den Kundenwünschen angepasst werden kann.

In den Verfahren der Stand der Technik wird der Abgasstrom mit alkalischen Wäschern aufgereinigt. Hierdurch entsteht Abwasser, das teuer und umwelttechnisch aufwändig entsorgt werden muss. Im neuen Verfahren werden regenerierbare Aktivkohlefilter verwendet, wodurch das Abwasser um 100% reduziert werden kann.

Tabelle 10: Übersicht des technischen Vergleichs zu konventionellen Verfahren

Pos	Prozessschritt	Stand der Techink	Innovativer Ansatz
1	Arbeitssicherheit: Kontakt mit Rohstoffen vermeiden	Schutanzüge und klassisches Schutzequipment	Streng kontrollierte Bedingungen, komplett geschlossenes System
2	Anzahl und Größe der Rohstofftanks	Tanklagergröße pro produzierte Tonne Fertigprodukt: 0,018 m ³ pro Tonne	Tanklagergröße pro produzierte Tonne Fertigprodukt: 0,05 m ³ pro Tonne (400 m ³ / 8.000 to)
3	Reaktoren & Dosierung der Rohstoffe -> höchste Flexibilität	Standard-Batchreaktor 3 Dosieroptionen für Rohstoffe: - Dosierung flüssige Rohstoffe via Rohrleitungen aus Lagertanks - Dosierung fester Rohstoffe aus Silos - Dosierung von Additiven via Glovebox	Kombination aus Batchreaktor mit Inlinemischverfahren 4 Dosieroptionen für maximale Flexibilität: - Dosierung flüssige Rohstoffe via Rohrleitungen aus Lagertanks - Direktzuführung flüssiger Rohstoffe aus Fässern oder IBC - Direktzuführung fester Rohstoffe aus Fässern oder IBC - Dosierung von Additiven via Glovebox
5	Formulierungsflexibilität bei Abfüllung	nur Großgebinde- und TKW-Abfüllung keine Flexibilität im Bereich Formulierungswechsel	Flexibel nutzbarer Abfüllpuffer Flexible Abfüllanlage für verschiedenste Gebindegrößen
6	Abgasaufrreinigung	Behandlung der Abgase mit einem alkalischen Wäscher -> Im Anschluss Ausführung der Abgase über Abluftventil	Abgasreinigung über regenerative Aktivkohlefilter. Dadurch 100% Einsparung von Abwassermengen
7	Inline Qualitätskontrolle	QC erfolgt ausschließlich im Labor	Feuchte Sensor (kombiniert mit Sauerstoffsensor)
8	Vakuumeinheit	Einheit mit Betriebsflüssigkeit	Einheit ohne Betriebsflüssigkeit
9	Kühlranlage	Einheit ohne Freikühlung	Einheit mit Freikühlung
10	Reinigung der Leitungen + Reduzierung Spülmenge	-	Molchtechnik

Während die traditionellen Verfahren die gesamte Qualitätsanalytik stationär im Labor durchführt, hat E-Lyte in Ihrem Verfahren inline Sensoren verbaut, um permanent Qualitätsdaten im Prozess zu analysieren.

Bzgl. Vakuumpumpe setzt E-Lyte auf eine trockene Vakuumpumpe, da der Wartungsaufwand geringer ist und weil bei einer trockenen Vakuumpumpe die Gefahr von Ölrückständen im Produkt oder vom Ölnebel nicht existiert.

Im Bereich der Kühlranlage wird im neuen Verfahren eine Einheit mit Freikühlung verwendet, da diese Effizienter sind und zu signifikanten Energieeinsparungen führen.

Während die konventionellen Verfahren keine speziellen Reinigungssysteme für Rohrleitungen vorsehen, arbeitet das neue E-Lyte Verfahren mit einem Molchsystem, das die Rohrleitungen bereits ohne den Einsatz von Spülmedium nahezu vollständig entleeren kann. Dadurch kann E-Lyte signifikante Einsparungen beim Spülmedium und Produktausschuss erzielen.

4. Übertragbarkeit

4.1 Erfahrungen aus der Praxiseinführung

Seit Inbetriebnahme der Anlage wurden alle produzierten Chargen entsprechend der vereinbarten Kundenspezifikationen freigegeben, d.h. alle bisherigen Batches haben die Kundenerwartungen hinsichtlich der Performance und Qualität erfüllt. Daher sind die ersten Erfahrungen aus der Projektumsetzung positiv. Darüber hinaus konnten alle Ziele aus dem Umweltinnovationsprogramm erfüllt werden, wodurch die zuvor theoretisch evaluierten technischen Fortschritte auch in der Praxis bestätigt werden konnten. Neben den positiven Umweltauswirkungen konnten auch die OpEx Kosten bei E-Lyte mit dem neuen Verfahren optimiert werden. Hierdurch ist E-Lyte in der Lage auch bei geringen Ausbringungsmengen bereits preislich mit den Marktbegleitern mit wesentlich größeren Anlagen mitzuhalten.

Besonders hervorzuheben sind die Erfahrungen mit der Vakuumeinziehung der Salze und Additive unter Flüssigkeitsspiegel. Die Dauer der Rohstoffeinziehung konnte optimiert und durch die direkte Einbringung der Salze und Additive in die Lösungsmittel konnte die Staubentstehung innerhalb des Reaktors vollständig vermieden werden. Darüber hinaus ist auch die Mischleistung der Reaktoren hervorzuheben. Auf Grundlage der ersten Erfahrungen geht E-Lyte aktuell davon aus, dass die zuvor angenommenen Batchzeit deutlich reduziert werden kann, da die Elektrolyte schneller homogenisiert werden können als ursprünglich angenommen. Durch die Reduzierung der Batchzeit kann die Ausbringungsmenge der Anlage Gesamtanlage deutlich gesteigert werden. Nach aktuellen Hochrechnungen ist dadurch je nach Rezeptkomplexität und der Anzahl an Rezepten die pro Jahr hergestellt werden eine Ausbringungsmenge von 8.000 – 20.000 Jahrestonnen mit der neuen Anlage möglich.

Für zukünftige Folgeprojekte und nächste Ausbaustufen denkt E-Lyte an folgende Optimierungsmöglichkeiten. Die Mischtechnologie hat gezeigt, dass die Reaktoren auch mit kleineren Füllmengen als 10% umgehen können. Erste Erfahrung zeigen, dass die Mischer auch mit ca. 5% Füllvolumen funktionieren. Daher würde E-Lyte in zukünftigen Ausbaustufen mit größeren Mischreaktoren planen.

Darüber hinaus plant E-Lyte für weitere Ausbaustufen den Aufbau einer Destillationskolonne für das Recyceln von Elektrolyten und der Spülösung, die bei dem Reinigungsprozess anfällt. Da der Recyclingprozess für Elektrolyte aktuell noch

nicht etabliert ist, wird E-Lyte zunächst in Forschungsprojekten und eigenen Laboruntersuchungen den Recyclingprozess entwickeln und deshalb ist die Elektrolytrecyclinganlage zunächst für den zweiten Ausbauschritt geplant. Nach der Etablierung des Recyclingprozesses könnte der ressourcenschonende und innovative Prozess aus dem ersten Ausbauschritt in einen einzigartigen „Closed-Loop-Produktionsprozess“ umgewandelt werden, indem alle anfallenden Reinigungsabfälle wiedergewonnen und dem Prozess wieder als Rohstoffe zugeführt werden können.

4.2 Modellcharakter/Übertragbarkeit (Vorbereitung und weitere Anwendung des Verfahrens / der Anlage / des Produktes)

Auf Grund der stetig steigenden Bedarfe an Lithium-Ionen-Batterien werden folglich auch die Bedarfe an Elektrolyten stark steigen. In Europa sind bereits eine Vielzahl an Gigafactories in Planung [1]. Daher plant E-Lyte bereits jetzt die zu Beginn angestrebte Kapazität von 8.000tpa in naher Zukunft deutlich zu erweitern. Dabei soll die Produktionsanlage als Benchmark für E-Lyte fungieren und bei erfolgreicher Geschäftsentwicklung soll das Produktionskonzept auf neu aufgebaute Standorte national und international übertragen und der bestehende Standort in Kaiserslautern weiter ausgebaut werden.

Derzeit gibt es bzw. befinden sich neben dem Elektrolytwerk von E-Lyte weitere Elektrolytwerke von Marktbegleitern in Europa im Aufbau. Theoretisch könnte das neu entwickelte Herstellverfahren auf all diese Werke übertragen werden. Gemeinsam mit E-Lyte haben die europäischen Werke eine maximal mögliche Jahresausbringungsmenge von ca. 250.000to. Auf Basis der aktuellen Veröffentlichungen bzgl. dem Aufbau von Gigafactories entsteht bis 2030 ein Elektrolytbedarf von ca. 780.000 Jahrestonnen in Europa. Dies zeigt deutlich, dass zeitnah die Kapazitäten der bestehenden Werke erweitert werden müssen bzw. neue Werke gebaut werden müssen. Auch hierfür könnte der neu entwickelte Prozess von E-Lyte angewendet werden. Bei einem Blick Richtung Nordamerika zeigt sich ein vergleichbares Bild. In den USA sind derzeit 6 Elektrolytproduktionsstätten mit einer Jahresausbringungsmenge von ca. 70.000to im Aufbau. Auch diese Werke könnten die neue Technologie von E-Lyte anwenden. Auch in Nordamerika wird der Elektrolytmarkt bis 2030 auf ca. 780.000 Jahrestonnen geschätzt. Das heißt auch in

Nordamerika müssen für die Zukunft noch weitere Werke auf- und die bestehenden Werke ausgebaut werden, was weitere Möglichkeiten einer Übertragbarkeit bietet.

Von dem neuen Produktionskonzept können auch neben der Anwendung von Elektrolyten in Energiespeichern auch andere Bereiche profitieren, u.a. Elektrolyte für intelligente (elektrochrome) Gläser, Lösungen zum Pre-Lithiieren von Elektroden, Elektrolyte für Gassensoren, aber auch komplexe Lösungen im Pharmabereich und in der Halbleiterindustrie.

4.3 Kommunikation der Projektergebnisse

Die Zuwendung und das damit verbundene Projekt wurde zunächst in einer Pressemitteilung an einen Fachverteiler, Kooperations- und Netzwerkpartnern übermittelt. Zusätzlich wurde ein Posting über das LinkedIn Unternehmensprofil der E-Lyte (ca. 5000 Follower) gemacht.

Zu Vertriebszwecken wurde die Unternehmenspräsentation um eine Folie ergänzt, welche die Projektergebnisse und daraus resultierenden Vorteile für die Produktion von Elektrolyten hervorhebt. Das Logo des Umweltinnovationsprogrammes wurde auf dieser Folie prominent platziert.

Zu Marketingzwecken wurde das Projekt auf der Webseite in Form eines Artikels platziert und die Unterstützung durch das Umweltinnovationsprogramm durch die Platzierung des Logos im Artikelbild und auf Textebene hervorgehoben.

Um die Projektergebnisse national und international zu kommunizieren, wurde auf allen Fachkonferenzen, auf denen E-Lyte einen Vortrag gehalten hat, die Präsentation um eine Folie das Projekt betreffend ergänzt. Das betraf 2023 und 2024 folgende Konferenzen:

AABC EU, Batterieforum Deutschland, Medical Battery Conference (USA), Battery Day, Alkeemie Battery Forum (Italien), Batterietagung, Oslo Battery Day (Norwegen), ISEECAP, Car Battery Day, Solutions and Fluids for Batteries Conference, International Battery Seminar (USA), Batteries Event (Frankreich), Turkey Battery Technologies Summit (Türkei).

Auf den Battery Shows Europe und US war E-Lyte 2023 und 2024 als Aussteller vertreten. Die Konferenz wurde nicht besucht. Die auf der Ausstellung den Kunden

vorgestellte Unternehmenspräsentation beinhaltete die Projektergebnisse in Form einer Folie inkl. Logo des Umweltinnovationsprogrammes.

Die Produktionsanlage wurde am 13.09.2024 im Rahmen einer Feier eröffnet. Vertreter:innen der KFW und des Umweltamtes wurde zu der Feierlichkeit eingeladen. Eine Teilnahme wurde telefonisch abgesagt. Die Förderung des Baus der Anlage durch das Umweltinnovationsprogramm wurde in der KeyNote Präsentation des Geschäftsführers der E-Lyte prominent erwähnt und in den anschließenden Führungen durch die Anlage, den ca. 150 Gästen aus der Batterieindustrie und Forschung, noch einmal erklärt.

5 Literatur

- [1] <https://battery-news.de/index.php/2022/03/18/batterieprojekte-in-europa-stand-maerz-2022/>
- [2] <https://www.electrive.net/2017/08/16/aus-dem-derzeitigen-kostenkampf-bei-batterie-zellen-kannschon-bald-ein-leistungskampf-werden/>
- [3] <https://www.volkswarenag.com/de/news/2021/06/porsche-invests-in-a-factory-for-high-performance-battery-cells.html>
- [4]
<https://www.handelsblatt.com/unternehmen/flottenmanagement/mobilitaetsforschung-wir-wissen-nicht-ob-die-lithium-ionen-batterien-nicht-doch-ein-problem-haben/26706132.html>
- [5] Informační systém EIA (cenia.cz);
https://portal.cenia.cz/eiasea/view/eia100_cr?lang=en
- [6] <https://doi.org/10.1021/acs.chemmater.7b01977>
- [7] <https://iopscience.iop.org/article/10.1149/2.0341813jes>
- [8] <https://iopscience.iop.org/article/10.1149/1945-7111/ab8ed6>