

Öffentlicher Schlussbericht zum Verbundprojekt

Vorhabensbezeichnung:

WabaFli – Wasserbasierte hochkapazitive Li-Ionen-Batterieelektroden für elektrisches Fliegen

Teilvorhaben der Coperion GmbH:

Kontinuierliche Herstellung wasserbasierter Batterieslurries

Förderkennzeichen: 03XP0409B

Laufzeit des Vorhabens: 01.11.2021 - 31.01.2025

**Gefördert durch das BMBF -
Bundesministerium für Bildung und Forschung**

Projektpartner:

- VARTA Microbatterie GmbH
- Epsilon CAM GmbH
- ZSW

Bei dem vorliegenden Bericht handelt es sich um den öffentlichen Abschlussbericht der Coperion GmbH zum Verbundprojekt WaBaFli. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei der Coperion GmbH.

Kurzbericht

Das Kooperationsprojekt „Wasserbasierte hochkapazitive Li-Ionen-Batterieelektroden für elektrisches Fliegen – WabaFli“ wird in Zusammenarbeit mit der VARTA Microbatterie GmbH, der Epsilon CAM GmbH (früher: Johnson Matthey Battery Material GmbH) und dem Zentrum für Sonnenenergie- und Wasserstoff-Forschung Baden-Württemberg (Ulm) durchgeführt. Ziel des Projekts ist es, für Fliegen (Mobilität und Transport) geeignete nachhaltige Lithium-Ionenzellen mit hoher spezifischer Energie zu entwickeln und den erforderlichen Hintergrund entlang der Wertschöpfungskette bis hin zur industriellen Fertigung zu erforschen. Als Projektpartner in dem Gemeinschaftsprojekt nutzt Coperion seine umfangreiche Kompetenz zur Entwicklung der erforderlichen maschinen- und prozessseitigen Lösungen für eine innovative, hocheffiziente Möglichkeit der kontinuierlichen Compoundierung von wasserbasierten, niederviskosen Batteriemassen.

Hintergrund zum Projekt

Batterieslurries werden derzeit im Batchprozess hergestellt, der jedoch eine begrenzte Produktionskapazität hat und eine steigende Anzahl an Batchmischern erfordert. Dieser Prozess muss zudem hohe Qualitätsanforderungen erfüllen. Im Gegensatz dazu ist der kontinuierliche Extrusionsprozess, der in anderen Branchen wie der Kunststoff-, Lebensmittel- und Pharmaindustrie etabliert ist, in der Batterieproduktion noch nicht weit verbreitet. Um den Rückstand gegenüber dem Batchprozess aufzuholen, ist die Entwicklung eines kontinuierlichen Produktionsprozesses für Batterieslurries erforderlich. Dabei müssen neue Grundlagen in der Extrusion geschaffen werden, da sich Batterieslurries materialtechnisch erheblich von typischen Extrusionsprodukten unterscheiden.

Projektziele

Ein kontinuierliches Extrusionsverfahren soll den Batchprozess bei der Herstellung von Batterieslurries ablösen. Dieses innovative Verfahren muss jedoch für den wirtschaftlichen Einsatz optimiert werden. Die zentrale Herausforderung der kontinuierlichen Prozessierung besteht darin, alle Füllstoffe homogen im Extruder bei kurzer Verweilzeit einzuarbeiten. Dazu sollen neue Förder- und Mischelemente entwickelt werden, die speziell auf die Viskosität der Batterieslurries abgestimmt sind.

Im Rahmen des Projekts müssen bestehende Simulationsmodelle zur Mischleistung des Doppelschneckenextruders grundlegend überarbeitet werden. Es ist notwendig, neue Viskositätsmodelle zu entwickeln und diese in die Simulation zu integrieren, um die Modelle an die spezifischen Anforderungen der Batterieslurries anzupassen und in Versuchen zu validieren. Zusätzlich zur verfahrenstechnischen Entwicklung ist auch die Forschung an neuen, abrasions- und korrosionsbeständigen Materialien für Doppelschneckenextruder erforderlich, um metallische Verschleißpartikel in den Batterieslurries zu minimieren oder zu verhindern. Das Projekt strebt einen Technologiereifegrad (TRL) von 6 an.

Im Projekt verfolgte Ansätze

Werkstoffentwicklung für Batterieslurries hinsichtlich Korrosions- und Abrasionsbeständigkeit

Im Bereich der Konstruktionswerkstoffe für Schneckenelemente und Gehäuse von Doppelschneckenextrudern zur Batterieslurry-Produktion werden zwei Hauptansätze zur Entwicklung neuer Werkstoffe verfolgt:

- Entwicklung eines neuen Eisenbasiswerkstoffs: Ziel ist es, die Abrasionsbeständigkeit eines bestehenden Werkstoffs mit der Korrosionsbeständigkeit eines anderen Werkstoffes zu kombinieren. Zwei Wärmebehandlungsprogramme werden entwickelt, und die Ergebnisse zeigen eine signifikante Erhöhung der Abrasionsbeständigkeit um etwa 30 %. Die Schlagzähigkeit der neuen Proben ist vergleichbar mit bestehenden Materialien.

- Modifikation mit Hartphasen: Hierbei wird die Abrasionsbeständigkeit durch das Zulegieren von Karbidtypen wie Titankarbiden (TiC) und Wolframkarbiden (WC) erhöht. Die Modifikation mit WC führt zu Problemen wie Rissbildung und Porenbildung, die die Materialeigenschaften beeinträchtigen. Im Gegensatz dazu zeigt die TiC-Modifikation vielversprechende Ergebnisse, mit einer Härte von 42 HRC im „as-hipped“ Zustand, die nach Wärmebehandlung auf bis zu 65 HRC erhöht werden kann.

Zusätzlich werden umfassende Tests zur Eignung der Materialien für Slurry-Anwendungen durchgeführt. Die Korrosionstests zeigen, dass die getesteten Materialien eine sehr geringe Korrosionsrate aufweisen. Die Abrasionstests belegen, dass die bestehenden Materialien kein erhöhtes Verschleißverhalten im Vergleich zu den getesteten Slurries zeigen. Der neu entwickelte Werkstoff zeigt ein geringeres Verschleißverhalten im Vergleich zum Standardwerkstoff, sind jedoch im Grundzustand für eine mechanische Bearbeitung deutlich zu hart und damit wirtschaftlich noch nicht fertigbar.

Prozessentwicklung und Anlagenkonfiguration und Versuchsbegleitung am ZSW

Nach der erfolgreichen Inbetriebnahme des Doppelschneckenextruders ZSK18 durch das ZSW wird eine erste Versuchskampagne durchgeführt, um das grundlegende Anlagen-Setup zu testen und Rezepturen zu optimieren. Herausforderungen treten bei der Zudosierung des flüssigen Bindemittels auf, da die eingesetzte Flüssigdosierung an der Grenze ihrer Kapazität betrieben wird. Erste Schneckenkonfigurationen werden getestet, sowie erste brauchbare Muster produziert.

In weiteren Kampagnen werden Schneckenkonzepte, Rezepturanpassungen und Prozessparameter gemeinsam diskutiert und umgesetzt. Die optimierten Schneckenkonfigurationen konzentrieren sich auf Mischen und einen prozesssicheren Druckaufbau. Es werden verschiedene Mischpakete getestet, und die Kombination aus zwei schmalen Knetblöcken erweist sich als besonders effektiv.

Es können prozesssicher und kontinuierlich wasserbasierte Batterieslurries produziert werden.

Entwicklung neuer Elemente zur Herstellung von Batterieslurries und Erprobung & Simulation der Mischgüte der neuen Schneckenelemente für den Einsatz für Batterieslurries

Ein Versuchsaufbau auf einem Plexiglasextruder wird entwickelt, um die Mischwirkung bestehender und neuer Schneckensatzelemente zu untersuchen. Parallel zu den experimentellen Untersuchungen mit dem Plexiglasextruder werden numerische Simulationen zur Validierung der Mischgütesimulationen durchgeführt. Die Ergebnisse der Mischgütesimulationen stimmen gut mit den experimentellen Ergebnissen überein, es zeigt sich, dass die im Portfolio der Coperion GmbH vorhandenen Schneckenelement-Geometrien eine sehr hohe Mischwirkung aufweisen.

Fazit:

Insgesamt zeigt das Projekt, dass die Materialentwicklung und die Versuche erfolgreich sind. Das Werkstoffportfolio der Coperion GmbH ist gut für die Herstellung von wasserbasierten Slurries geeignet, und es werden neue Schneckenelemente sowie Grundlagen für die Strömungssimulation im Doppelschneckenextruder geschaffen. Alle definierten Projektziele werden erreicht und die Erkenntnisse aus den Untersuchungen ermöglichen es Coperion, spezifische Schnecken- und Gehäusekonfigurationen für die optimierte Batteriefertigung festzulegen.

Inhaltsverzeichnis

KURZBERICHT.....	1
INHALTSVERZEICHNIS.....	3
1. TEIL 1: KURZBERICHT.....	1
1.1. URSPRÜNGLICHE AUFGABENSTELLUNG UND PROJEKTZIELE	1
1.1.1. <i>Wissenschaftliche Arbeitsziele</i>	1
1.1.2. <i>Technische Arbeitsziele</i>	2
1.2. ABLAUF DES VORHABENS.....	3
1.2.1. <i>AP 3.1: Werkstoffentwicklung für Batterieslurries hinsichtlich Korrosions- und Abrasionsbeständigkeit</i>	3
1.2.2. <i>AP 3.2: Versuchsbegleitung am ZSW, Prozessentwicklung und Anlagenkonfiguration</i>	4
1.2.3. <i>AP 3.3: Entwicklung neuer Elemente zur Herstellung von Batterieslurries und Erprobung</i>	4
1.2.4. <i>AP 3.4: Simulation der Mischgüte der neuen Schneckenelemente für den Einsatz für Batterieslurries</i>	5
1.3. KURZZUSAMMENFASSUNG – WABAFLI: COPERION.....	6
2. TEIL 2: EINGEHENDE DARSTELLUNG	8
2.1. STAND DER TECHNIK.....	8
2.1.1. <i>Gleichläufiger Doppelschneckenextruder</i>	8
2.1.2. <i>Schneckenelemente</i>	8
2.2. WERKSTOFFENTWICKLUNG FÜR BATTERIESLURRIES HINSICHTLICH KORROSIONS- UND ABRASIONSBESTÄNDIGKEIT	10
2.2.1. <i>Untersuchungen bzgl. der Werkstoffanforderungen</i>	10
2.2.2. <i>Entwicklung neuer geeigneter Werkstoffe mit erhöhter Verschleißbeständigkeit</i>	11
2.3. VERSUCHSBEGLEITUNG AM ZSW, PROZESSENTWICKLUNG UND ANLAGENKONFIGURATION.....	14
2.3.1. <i>Prozessentwicklung</i>	14
2.3.2. <i>Versuchsbegleitung</i>	15
2.4. ENTWICKLUNG NEUER ELEMENTE ZUR HERSTELLUNG VON BATTERIESLURRIES UND ERPROBUNG	16
2.4.1. <i>Untersuchungen am Plexiglasextruder</i>	16
2.5. SIMULATION DER MISCHGÜTE DER NEUEN SCHNECKENELEMENTE FÜR DEN EINSATZ FÜR BATTERIESLURRIES.....	19
2.6. ZUSAMMENFASSUNG	20

1. Teil 1: Kurzbericht

1.1. Ursprüngliche Aufgabenstellung und Projektziele

Batterieslurries werden derzeit standardmäßig im Batchprozess hergestellt, dessen Produktionskapazität begrenzt ist und eine steigende Anzahl an Batchmischern erfordert. Zudem muss der Prozess den hohen Qualitätsanforderungen der Batterieslurries gerecht werden. Im Gegensatz dazu ist der kontinuierliche Extrusionsprozess, der in anderen Branchen wie der Kunststoff-, Lebensmittel- und Pharmaindustrie etabliert ist und Produktionsmengen von wenigen Gramm bis zu mehreren Tonnen pro Stunde ermöglicht, in der Batterieproduktion noch nicht verbreitet. Um den Rückstand gegenüber dem Batchprozess aufzuholen, ist es notwendig, einen kontinuierlichen Produktionsprozess für Batterieslurries zu entwickeln. Dabei müssen neue Grundlagen in der Extrusion geschaffen werden, da sich die Batterieslurries materialtechnisch erheblich von typischen Extrusionsprodukten unterscheiden.

Die zentrale Herausforderung der kontinuierlichen Batterieslurryproduktion besteht darin, alle Füllstoffe homogen im Extruder bei geringer Verweilzeit einzuarbeiten. Dazu sollen neue Förder- und Mischelemente entwickelt werden, die speziell auf den Viskositätsbereich der Batterieslurries abgestimmt sind.

Im Rahmen des Projekts müssen die bestehenden Simulationsmodelle, die die Mischleistung und die Qualität des Endprodukts im Doppelschneckenextruder beschreiben, grundlegend überarbeitet werden. Es ist notwendig, neue Viskositätsmodelle zu entwickeln und diese in die Simulation zu integrieren, sowie die Modelle an die spezifischen Anforderungen der Batterieslurries anzupassen und in Versuchen zu validieren. Zusätzlich zur verfahrenstechnischen Entwicklung ist eine Weiterentwicklung neuer abrasions- und korrosionsbeständiger Werkstoffe und Komponenten für den Einsatz in Doppelschneckenextrudern erforderlich. Hierfür müssen neue abrasions- und korrosionsbeständige Werkstoffe entwickelt und getestet werden, die derzeit nicht in der Extrusion verwendet werden, um die Extruder zu schützen und Verschleißverunreinigungen in den Batterieslurries zu vermeiden. Ziel ist es, metallische Verschleißpartikel aus dem Extruder in den Batterieslurries zu minimieren oder vollständig zu verhindern. Das angestrebte Technologiereifegrad (TRL) für das Projekt ist 6.

1.1.1. Wissenschaftliche Arbeitsziele

Coperion fokussiert sich auf die kontinuierliche Herstellung von Batterieslurries mithilfe eines Doppelschneckenextruders und hat sich zwei zentrale Ziele gesetzt: die Optimierung der Maschinen- und Anlagentechnik sowie der Prozesstechnik.

Ein zentrales Anliegen ist die Minimierung des Verschleißes des Doppelschneckenextruders. Selbst kleinste Verunreinigungen können zu Kurzschlüssen in Batterien führen, was die Notwendigkeit unterstreicht, neue, abrieb- und korrosionsbeständige Materialien zu entwickeln. Diese Materialien müssen speziell für den Einsatz in der Batterieproduktion erprobt werden, da die aktuellen Werkstoffe wie Nitrierstähle und Edelstähle nicht ausreichend sind, um den hohen Anforderungen der korrosiven Lösemittel (NMP oder Wasser) und abrasiven Füllstoffe (wie Graphit und SiO_x) gerecht zu werden.

Ein weiteres wichtiges Thema ist die Qualität der Batterieslurries, die stark von der distributiven und dispersiven Verteilung der Füllstoffe im Lösemittel abhängt. Während die Batchproduktion mehrere Stunden in Anspruch nimmt, erfolgt der Extrusionsprozess in weniger als zwei Minuten. Diese kurze Verweilzeit im Extruder und die niedrige Viskosität der Lösemittel (Wasser: 1 mPa s, NMP: 1,65 mPa s) schränken den mechanischen Energieeintrag durch die Schneckenwellen ein, der entscheidend für die Mischqualität ist. Um die Mischqualität zu verbessern, sollen neue Elemente mit feineren Toleranzen und neuartige

Geometrien (Strömungsprofile) entwickelt werden, die speziell für den Mischprozess von niederviskosen Produkten optimiert sind.

Im Rahmen des Projekts sind skalierbare Versuche am Doppelschneckenextruder (siehe Abbildung 1) erforderlich, um das Prozessverständnis für wasserbasierte Batterieslurries zu vertiefen und eine ausreichende Qualität der Slurries für die nachfolgenden Verarbeitungsschritte sicherzustellen. Dies soll in enger Zusammenarbeit mit allen Partnern erfolgen, wobei der Einsatz neu entwickelter Elemente und die Unterstützung durch Strömungssimulationen eine zentrale Rolle spielen. Ziel ist es, die Effizienz und Qualität der Batterieslurry-Produktion zu steigern, um den Anforderungen der Batterieindustrie gerecht zu werden.

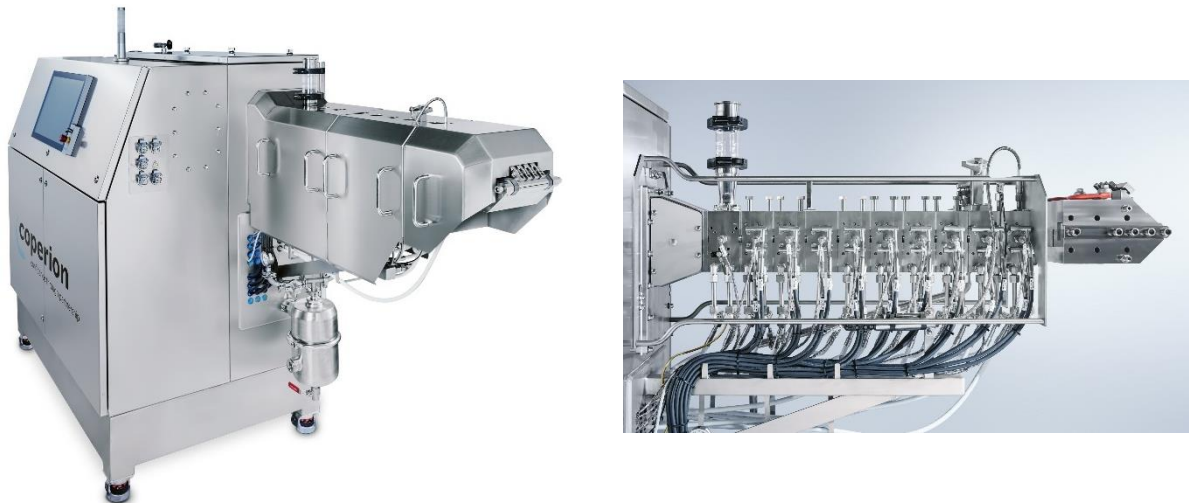


Abbildung 1: Doppelschneckenextruder ZSK MEGAlab (Laborextruder) zur Rezeptentwicklung und wissenschaftlichen Grundlagenforschung

1.1.2. Technische Arbeitsziele

Die Umstellung der LIB-Produktion vom Batchprozess zu einem kontinuierlichen Extrusionsprozess wird die Wirtschaftlichkeit der Batterieproduktion enorm steigern. Der Einsatz neuer abrasions- und korrosionsbeständiger Werkstoffe in der Extrusion wird die Stillstandszeiten der Extruder reduzieren, die Produktivität weiter steigern und Ausschuss minimieren. Eine simulationsgestützte Entwicklung von neuen Mischelementen für die Batterieslurryproduktion sowie verfahrenstechnische Optimierungen von Schneckenkonfigurationen und Prozessparametern am Extruder verkürzen zukünftige Entwicklungszeiten und machen den Herstellungsprozess stabiler und robuster. Der Prozess kann somit schneller auf neue Rezepturen und Zieldurchsätze angepasst werden. Die Herstellung mittels eines Doppelschneckenextruders ist zudem skalierbar. Für jeden gewünschten Zieldurchsatz (Batterieslurry in kg/h) kann eine geeignete Maschinengröße spezifiziert werden, ohne dass zum Erreichen des Zieldurchsatzes mehrere baugleiche kleine Extruder, analog zum Batchprozess, erforderlich sind. Dies reduziert den notwendigen Platzbedarf und senkt zudem die Investitionskosten für die Batterieslurryproduktion.

Coperion steht vor der Herausforderung, den Verschleiß im Verfahrensraum des Extruders zu minimieren, insbesondere bei der Herstellung von Batterieslurries, die aus niederviskosen Lösemitteln und stark abrasiven Füllstoffen bestehen. Um den erforderlichen mechanischen Energieeintrag zu erreichen, sind hohe Drehzahlen notwendig, was zu erhöhtem Verschleiß führt. Um Abrasion und Korrosion zu reduzieren, sollen neue Legierungen, Beschichtungen und Wärmebehandlungen entwickelt werden. Dabei ist es wichtig, eine Balance zwischen Beständigkeit und Verarbeitbarkeit der Werkstoffe zu finden, da diese mechanisch bearbeitet werden müssen.

Zusätzlich sollen neue Schneckenelementgeometrien entwickelt werden, um den mechanischen Energieeintrag in das Produkt zu steigern. Durch die Anpassung der Dehn- und Scherraten in den Batterieslurries, die durch die neuen Geometrien induziert werden, soll eine ausreichende Produktqualität sichergestellt

werden. Eine Optimierung der Elementgeometrien und der Produktqualität erfordert begleitende strömungsmechanische Simulationen, die ebenfalls weiterentwickelt werden müssen.

Zusammengefasst zielt das Projekt auf die Entwicklung neuer Werkstoffe und Schneckenelementgeometrien für den Einsatz in Extrudern zur Herstellung von Batterieslurries ab.

1.2. Ablauf des Vorhabens

1.2.1. AP 3.1: Werkstoffentwicklung für Batterieslurries hinsichtlich Korrosions- und Abrasionsbeständigkeit

Es werden zwei Hauptansätze zur Entwicklung eines neuen Werkstoffsystems verfolgt:

1. Entwicklung eines neuen Eisenbasiswerkstoffs: Ein neuer Eisenbasiswerkstoff wird definiert, der auf einem speziellen Legierungssystem basiert. Ziel ist es, die Abrasionsbeständigkeit eines bestehenden Werkstoffs, der für hoch abrasive Prozesse ohne Korrosionsbelastung eingesetzt wird, mit der Korrosionsbeständigkeit eines anderen Werkstoffs zu kombinieren.

Um einen Werkstoffzustand zu erreichen, welcher korrosions- und abrasionsbeständig ist, werden zwei Wärmebehandlungsprogramme entwickelt und getestet. Die Ergebnisse zeigen, dass die wärmebehandelten Proben die angestrebte Härte erreichen. Zudem kann eine signifikante Erhöhung der Abrasionsbeständigkeit von etwa 30 % gegenüber dem derzeitigen eingesetzten, korrosionsbeständigen, Werkstoff erzielt werden. Bei der Schlagzähigkeit gibt es keinen signifikanten Unterschied zwischen den neuen und den bestehenden Werkstoffen, was als großer Erfolg gewertet wird, da somit die Bauteilanforderungen erfüllt werden. Dies deutet darauf hin, dass das neue Legierungssystem für Schneckenelemente im Verfahrensteil für Batterieslurries grundsätzlich geeignet ist.

2. Modifizierung mit Hartphasen: Der zweite Ansatz konzentrierte sich auf die Modifikation des Werkstoffes durch das Zulegieren von verschiedenen Karbidtypen, insbesondere Titankarbid (TiC) und Wolframkarbid (WC), um die Abrasionsbeständigkeit zu erhöhen.

Bei den Modifikationen mit Wolframkarbid treten Herausforderungen auf, insbesondere eine ausgeprägte Porenbildung während des heiß-isostatischen Pressens (HIP), die die mechanischen Eigenschaften des Werkstoffes negativ beeinflusst. Diese Porenbildung ist problematisch für die Korrosions- und Abrasionsbeständigkeit sowie die mechanische Festigkeit. Zudem kommt es bei Proben mit hohem Wolframkarbidanteil zu Rissbildungen während der Wärmebehandlung, was die Durchführung notwendiger Wärmebehandlungsschritte erschwert. Die Härte dieser Proben liegt im „as-hipped“ Zustand bereits bei 55-65 HRC, was eine mechanische Bearbeitung erschwert bzw. nicht wirtschaftlich umsetzbar ist. Im Gegensatz dazu zeigt die Modifikation mit Titankarbid vielversprechende Ergebnisse. Obwohl auch hier Porenbildung auftritt, ist das Niveau der Defekte so, dass eine Anpassung im HIP-Prozess möglicherweise zu einer Verbesserung der mikrostrukturellen Eigenschaften führen kann. Besonders die Probe mit 15 wt.-% TiC wird weiterverfolgt, da sie im „as-hipped“ Zustand eine Härte von 42 HRC aufweist, was eine konventionelle mechanische Bearbeitung ermöglicht. Nach einer Wärmebehandlung kann die Härte auf bis zu 65 HRC erhöht werden, was auf ein hohes Potenzial hinsichtlich der abrasiven Verschleißbeständigkeit hinweist.

Zusätzlich werden umfassende Tests zur Eignung verschiedener Materialien für Slurry-Anwendungen durchgeführt, die Korrosionstests, Abrasionstests und mechanische Tests umfassen. Die Korrosionstests ergeben, dass die getesteten Materialien in demineralisiertem Wasser und in den Lösemitteln N-Methyl-2-pyrrolidon keine kritischen Korrosionsreaktionen zeigen. Die untersuchten Werkstoffe werden als beständig eingestuft. Die Abrasionstests zeigen, dass die bestehenden Materialien kein erhöhtes Verschleißverhalten im Vergleich zu den getesteten Slurries aufweisen. Zwei unterschiedliche Kathodenslurries werden getestet, wobei die Korngröße des Ausgangspulvers einen signifikanten Einfluss auf die Abrasionswirkung hat.

Der neu untersuchte Werkstoff zeigt Potenzial für einen erhöhten Verschleißschutz im Vergleich zum Standardwerkstoff.

Insgesamt stellte sich die Materialentwicklung als herausfordernd heraus, insbesondere aufgrund der Schwierigkeiten im HIP-Prozess und der hohen Härte der Proben, die eine wirtschaftliche mechanische Bearbeitung erschwert.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die im Projekt durchgeführten Untersuchungen zeigen, dass die modifizierten Werkstoffe aufgrund ihrer hohen Härte nicht bearbeitbar sind. Die bestehenden Materialien im Portfolio der Coperion GmbH, die für die Batterieslurry-Produktion vorgesehen sind, zeigen keine erhöhten Korrosionsreaktionen und kein erhöhtes Verschleißverhalten mit den getesteten Slurries. Daher wird von einer erneuten Werkstoffmodifikation abgesehen, und die verfügbaren Werkstoffe werden für die Batteriefertigung qualifiziert. Der Meilenstein des Projekts wird erreicht, da die Materialuntersuchungen es Coperion ermöglichen, spezifische Schnecken- und Gehäusekonfigurationen für eine optimierte Batteriefertigung zu entwickeln.

1.2.2. AP 3.2: Versuchsbegleitung am ZSW, Prozessentwicklung und Anlagenkonfiguration

Zu Beginn des Kooperationsprojektes finden umfassende Abstimmungstermine und Informationsaustausch mit dem ZSW statt, da noch keine gemeinsamen Versuchskampagnen durchgeführt werden. Nach der erfolgreichen Inbetriebnahme des Doppelschneckenextruders ZSK18 durch das ZSW wird eine erste gemeinsame Versuchskampagne am ZSW durchgeführt. In dieser Kampagne wird das grundlegende Anlagen-Setup getestet und modifiziert, Zugabestellen für die Rezepturbestandteile werden festgelegt und erste Erfahrungen mit Rezepturen gesammelt. Eine Herausforderung ist die Zudosierung des flüssigen Bindemittels, da die Flüssigdosierung an der Grenze der erforderlichen Viskosität und des Durchsatzes betrieben wird. Dies stellt jedoch eine technische Limitierung des Equipments dar und nicht des Prozesses selbst. Erste Schneckenkonfigurationen werden getestet und brauchbare Muster produziert.

Nach der ersten Kampagne finden weitere Versuche am ZSW im engen Austausch mit Coperion statt, bei denen Schneckenkonzepte, Rezepturanpassungen und Prozessparameter gemeinsam diskutiert und umgesetzt werden. Um die optimale Schnecke für die „Slurry“-Herstellung festzulegen, werden 1D-Berechnungen durchgeführt. Die optimierten Schnecken konzentrieren sich auf Mischen sowie auf einen prozesssicheren Druckaufbau und Entgasung, da in den ersten Versuchen Probleme in diesen Bereichen auftreten. Zur Verbesserung des Druckaufbaus wird eine Verringerung der Steigung am Ende der Schnecke vorgeschlagen, und die Position des Misch-Zone soll angepasst werden. Zwei neue Misch-Zonen werden vorgeschlagen: zwei schmale fördernde Knetblöcke und zwei Schneckenmischelemente, um die Mischwirkung zu optimieren.

In einer späteren Versuchskampagne werden diese beiden Mischelemente erfolgreich eingesetzt, und die reduzierte Steigung am Ende der Schnecke wird umgesetzt. Die Grindometer-Untersuchung zeigt keine Nachteile hinsichtlich der „Slurry“-Qualität, und die Mischqualität ist vergleichbar. Für zukünftige Versuche wird die Kombination aus zwei schmalen Knetblöcken bevorzugt, da dieser Prozess stabiler im Druckaufbau ist und ein größeres Prozessfenster bietet.

1.2.3. AP 3.3: Entwicklung neuer Elemente zur Herstellung von Batterieslurries und Erprobung

Zu Beginn finden Abstimmungstermine sowie ein Informationsaustausch mit den Partnern ZSW und JMBM statt. Dabei werden Themen wie Zusammensetzung, Fließverhalten und Verarbeitungsparameter von Batterieslurries besprochen, um eine Versuchskampagne am Plexiglasextruder zur Visualisierung von Mischprozessen vorzubereiten.

Zur Validierung von Mischgütesimulationen und zur Untersuchung der Mischwirkung bestehender Elemente werden mehrere Versuchskampagnen auf einem Plexiglasextruder durchgeführt. Dieser Extruder ist mit transparenten Gehäusen ausgestattet, und die Elemente werden mithilfe eines 3D-Druckers hergestellt, was die Modifikationen erleichtert. In der ersten Kampagne wird eine Modellflüssigkeit aus Pulver und Flüssigkeit verwendet, wobei die Auswahl der Komponenten entscheidend ist, um eine suspensionsähnliche Flüssigkeit zu erzeugen. Messungen an realen Batteriemassen sind aufgrund der Dunkelheit der Materialien nicht möglich, was eine optische Auswertung der Mischgüte verhindert.

Die Hauptanforderung an die Modell-Suspension ist die optische Auswertbarkeit, die durch eine Grauwertanalyse der Videoaufnahmen der durchströmten Küvette erreicht wird. Es zeigt sich, dass die Versuche mit der solid-liquid Modellflüssigkeit herausfordernd sind und die maximal mischbare Menge an Pulver gering ist. Bis zu einer Pulvermenge von 3 wt.-% stimmen die Ergebnisse der solid-liquid Mischkennzahl mit den liquid-liquid Mischkennzahlen überein. Daher wird das Test-Setup überarbeitet und mit einer liquid-liquid Modellflüssigkeit gearbeitet, die mit einem Farbstoff eingefärbt wird, um die Mischwirkung zu beurteilen (siehe Abbildung 2).

Die besten Mischergebnisse werden mit drei Turbinenmischelementen (TME) erzielt (vergleiche Abbildung 2). Drei neue Schneckenelemente werden entwickelt und getestet, können jedoch die Ergebnisse der bestehenden TMEs nicht übertreffen.

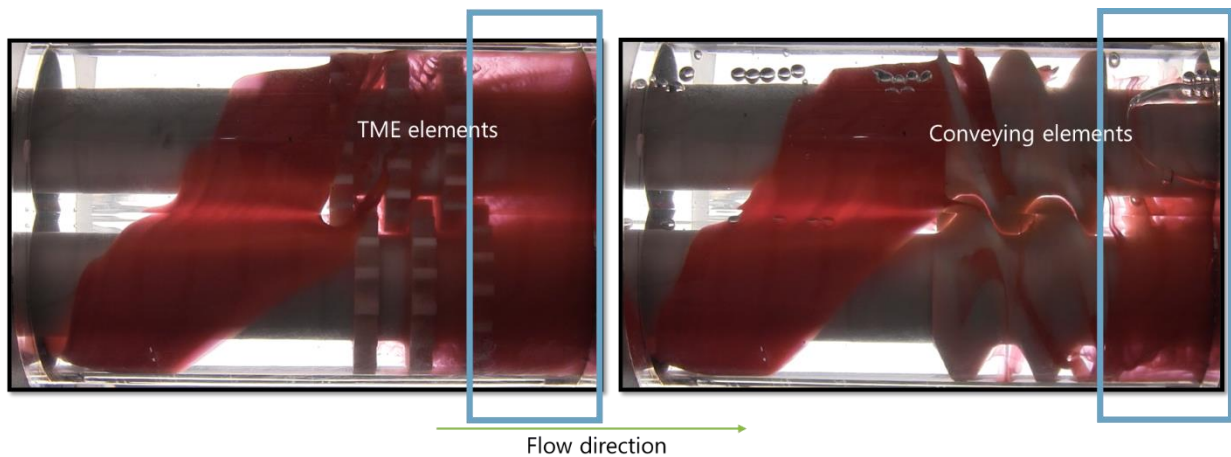


Abbildung 2: Vergleich der Mischgüte zwischen TMEs und Fördererelementen

1.2.4. AP 3.4: Simulation der Mischgüte der neuen Schneckenelemente für den Einsatz für Batterieslurries

Parallel zu den Versuchen am Plexiglasextruder werden numerische Berechnungen der Mischkennzahl durchgeführt, die gut mit den experimentellen Ergebnissen übereinstimmen. Die Particle-Tracking Methode wird als bevorzugte Berechnungsmethode (vergleiche Abbildung 3) verwendet, während eine aufwendigere Mehrphasenrechnung für ausgewählte Elemente in Zukunft durchgeführt werden soll.

Zusammenfassend werden zahlreiche neue Schneckenelement-Geometrien und Elementkonfigurationen im Plexiglasextruder sowie mittels CFD-Simulation untersucht. Keine der neuen Geometrien zeigt eine gesteigerte Mischwirkung im Vergleich zu bestehenden Geometrien. Die langjährige Erfahrung der Coperion GmbH in der Entwicklung effizienter Schneckenelement-Geometrien bewährt sich. Die Untersuchungen bringen interessante Elementkombinationen hervor, die dem ZSW zur weiteren Erprobung empfohlen werden.

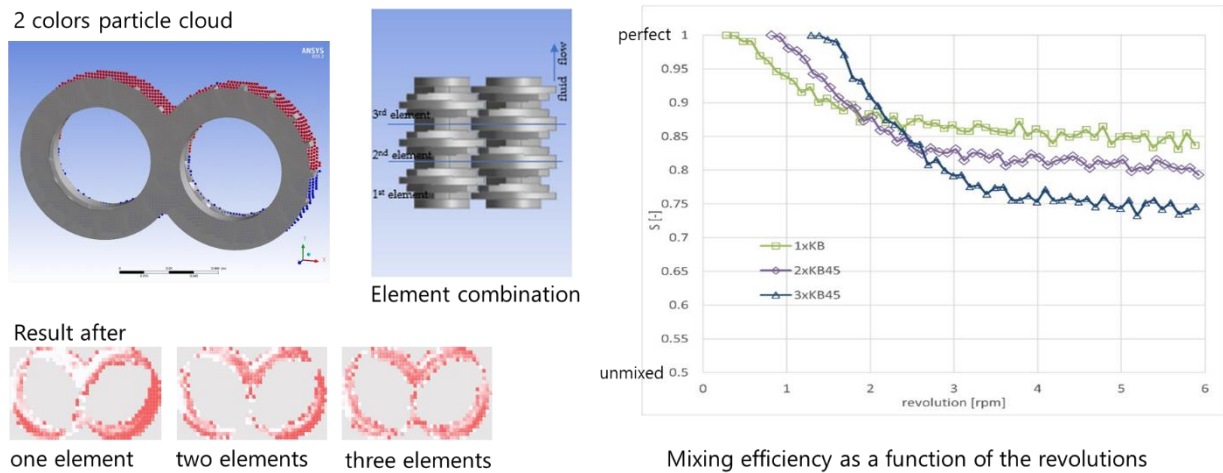


Abbildung 3: Einsatz der Particle-Tracking-Methode als Simulation um die Mischgüte zu untersuchen

1.3. Kurzzusammenfassung – WabaFli: Coperion

Innerhalb des gemeinsamen Kooperationsprojekts „Wasserbasierte hochkapazitive Li-Ionen-Batterieelektroden für elektrisches Fliegen – WabaFli“ in Zusammenarbeit mit der VARTA Microbatterie GmbH, der Epsilon CAM GmbH und dem ZSW in Ulm werden von Coperion folgende Ergebnisse (Arbeitspaket 3 - Kontinuierliche Herstellung von Batterieslurries, Werkstoff- und Verfahrensentwicklung) erzielt:

Arbeitspaket 3.1 - Werkstoffentwicklung für Batterieslurries hinsichtlich Korrosions- und Abrasionsbeständigkeit:

Bzgl. der Konstruktionswerkstoffe für Schneckenelemente und Gehäuse von Doppelschneckenextrudern im Bereich Battery-Slurry-Produktion werden zwei Hauptansätze zur Entwicklung eines neuen Werkstoffsystems verfolgt:

1. Entwicklung eines neuen Eisenbasiswerkstoffs: Ein neuartiger Eisenbasiswerkstoff wird definiert, der auf einem speziellen Legierungssystem basiert. Ziel ist es, die Abrasionsbeständigkeit des bestehenden Werkstoffs, der für hoch abrasive Prozesse ohne Korrosionsbelastung eingesetzt wird, mit der Korrosionsbeständigkeit eines weiteren Werkstoffes zu kombinieren.

Um die gewünschten Eigenschaften zu erreichen, werden zwei Wärmebehandlungsprogramme für den neuen Werkstoff entwickelt und getestet. Die Ergebnisse der Härtemessungen zeigen, dass die wärmebehandelten Proben in einem Bereich liegen, der mit den Eigenschaften des abrasionsbeständigen Werkstoffes vergleichbar ist. Zudem wird eine signifikante Erhöhung der Abrasionsbeständigkeit von etwa 30 % festgestellt. Die Schlagzähigkeit des neuen Werkstoffes ist vergleichbar mit den bestehenden Werkstoffen, was als großer Erfolg gewertet wird, da Schlagzähigkeit ein wichtiges Kriterium für die Auswahl von Materialien für Schneckenelemente ist.

2. Modifikation mit Hartphasen: Parallel dazu werden neue Materialien entwickelt, die auf der Modifikation mit Hartphasen basieren. Hierbei liegt der Fokus auf der Erhöhung der Abrasionsbeständigkeit durch das Zulegieren von verschiedenen Karbidtypen, insbesondere Titankarbiden (TiC) und Wolframkarbiden (WC). Diese Modifikationen führen jedoch zu Herausforderungen, insbesondere im Herstellungsprozess des heiß-isostatischen Pressens (HIP), wo es zu ausgeprägter Porenbildung kommt. Diese Porenbildung ist problematisch, da sie die Korrosions- und Abrasionsbeständigkeit sowie die mechanische Festigkeit negativ beeinflusst. Bei einer Probe mit 60 wt.-% Wolframkarbid treten Risse während des Vergütungsprozesses auf, was die Wärmebehandlung erschwert. Im Gegensatz dazu zeigt die Modifikation mit TiC vielversprechende Ergebnisse. Obwohl auch hier Porenbildung auftritt, ist das Niveau der Defekte so, dass eine Anpassung im HIP-Prozess möglicherweise zu einer Verbesserung der mikrostrukturellen Eigenschaften führen könnte. Eine Probe mit 15 wt.-% TiC erreicht eine Härte von 42 HRC im „as-hipped“ Zustand, was eine

konventionelle mechanische Bearbeitung ermöglicht. Nach einer Wärmebehandlung kann die Härte auf bis zu 65 HRC erhöht werden, was auf ein hohes Potenzial hinsichtlich der abrasiven Verschleißbeständigkeit hinweist.

Tests zur Eignung für Slurry-Anwendungen: Im Rahmen umfassender Tests werden verschiedene Materialien auf ihre Eignung für Slurry-Anwendungen untersucht. Die durchgeführten Tests umfassen Korrosionstests, Abrasionstests und mechanische Tests. Die Ergebnisse der Korrosionstests zeigen, dass die getesteten Materialien, eine sehr geringe Korrosionsrate aufweisen und als beständig in demineralisiertem Wasser und NMP eingestuft werden können. Die Abrasionstests ergeben, dass die bestehenden Materialien kein erhöhtes Verschleißverhalten im Vergleich zu den getesteten Slurries aufweisen.

3.2: Versuchsbegleitung am ZSW, Prozessentwicklung und Anlagenkonfiguration:

Nach der erfolgreichen Inbetriebnahme des Doppelschneckenextruders ZSK18 durch das ZSW wird eine erste Versuchskampagne durchgeführt, um das grundlegende Anlagen-Setup zu testen und Rezepturen zu optimieren. Herausforderungen treten bei der Zudosierung des flüssigen Bindemittels auf, da die eingesetzte Flüssigdosierung an der Grenze ihrer Kapazität betrieben wird. Erste Schneckenkonfigurationen wurden getestet, sowie erste brauchbare Muster produziert.

In weiteren Kampagnen werden Schneckenkonzepte, Rezepturanpassungen und Prozessparameter gemeinsam diskutiert und umgesetzt. Die optimierten Schneckenkonfigurationen konzentrieren sich auf Mischen und einen prozesssicheren Druckaufbau. Es werden verschiedene Mischpakete getestet, und die Kombination aus zwei schmalen Knetblöcken erweist sich als besonders effektiv.

3.3: Entwicklung neuer Elemente zur Herstellung von Batterieslurries und Erprobung & 3.4: Simulation der Mischgüte der neuen Schneckenelemente für den Einsatz für Batterieslurries

Parallel zu den experimentellen Untersuchungen werden numerische Simulationen zur Validierung der Mischgütesimulationen durchgeführt. Ein Plexiglasextruder wird verwendet, um die Mischwirkung bestehender und neuer Elemente zu untersuchen. Die Ergebnisse der Mischgütesimulationen stimmen gut mit den experimentellen Ergebnissen überein, und es zeigt sich, dass die neuen Geometrien keine signifikante Verbesserung der Mischwirkung im Vergleich zu bestehenden Geometrien aufweisen.

Zusätzlich wird die Partikel-Tracking Methode eingesetzt, um die Mischwirkung von einzelnen Schneckenelementen und deren Kombination zu untersuchen. Bei dieser Methode werden masselose Partikel (rot und weiß) homogen und kontinuierlich sowohl von oben als auch von unten zugegeben und durch das untersuchte Element verfolgt. Anschließend erfolgt eine statistische Auswertung der Partikel, bei der die Anzahl der Partikel gezählt wird, um eine Mischkennzahl zu ermitteln. Je niedriger diese Zahl ist, desto besser mischt das Element.

Fazit: Insgesamt zeigt das Projekt, dass die Materialentwicklung und die Versuche erfolgreich sind. Das Werkstoffportfolio der Coperion GmbH ist gut für die Herstellung von wasserbasierten Slurries geeignet, und es werden neue Schneckenelemente sowie Grundlagen für die Strömungssimulation im Doppelschneckenextruder geschaffen. Alle definierten Projektziele werden erreicht, und die Erkenntnisse aus den Untersuchungen ermöglichen es Coperion, spezifische Schnecken- und Gehäusekonfigurationen für die optimierte Batteriefertigung festzulegen.

2. Teil 2: Eingehende Darstellung

2.1. Stand der Technik

2.1.1. Gleichläufiger Doppelschneckenextruder

Der gleichläufige Doppelschneckenextruder (ZSK) bestehend aus Hauptantrieb, Kupplung, Getriebe und Wellenkupplung und dem Verfahrensteil, vgl. Abbildung 4. Wobei der allgemeine Aufbau in einen Antriebs- teil, einen Verfahrensteil und einen Austragsteil zusammengefasst werden kann. Der gleichläufige Doppelschneckenextruder eignet sich aufgrund seiner Eigenschaften, wie einer guten Förderbarkeit des Produkts und hohe Mischfähigkeit gut zum Aufbereiten von hochgefüllten Produkten. Die Ausstoßleistung des Produktes ist unabhängig von der Schneckendrehzahl und es sind separate Dosierer erforderlich.

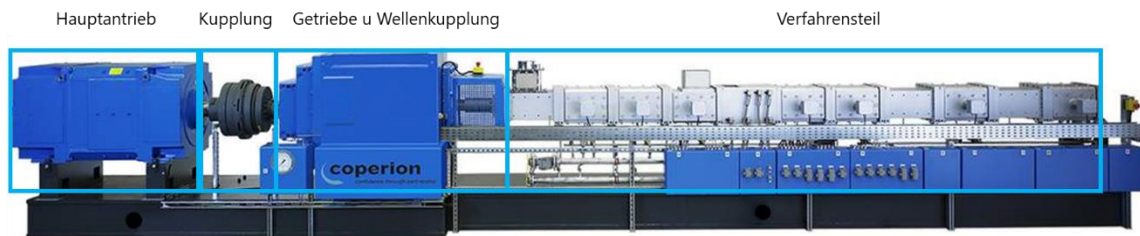


Abbildung 4: Gleichläufiger Doppelschneckenextruder mit Hauptkomponenten: Antriebsteil, Verfahrensteil und Austragsteil

Das Verfahrensteil ist modular aufgebaut und besteht aus einzelnen Gehäusen und Schneckenelementen, welche über die Wellenkupplung mit dem Getriebe verbunden ist. Durch den modularen Aufbau können die im Verfahrensteil ablaufenden Prozessschritte beeinflusst und gestaltet werden, vgl. Abbildung 5. Die Schneckenwelle ist so ausgeführt, dass die einzelnen Schneckenelemente eng ineinandergreifen und sich kontinuierlich selbst Abreinigung.

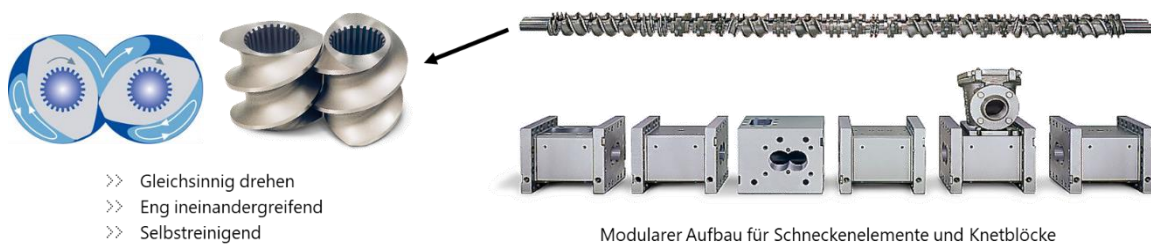


Abbildung 5: Modularer Aufbau des Verfahrensteils aus Schneckenelementen und Gehäusen

2.1.2. Schneckenelemente

Die Schneckenelemente können sind mehrere Kategorien bzw. nach Eigenschaften eingeteilt werden. Es gibt Fördererlemente, welche das Produkt in erster Linie fördern soll. Ein Fördererlement ist durch seine Steigung und Länge definiert. Die Steigung des Fördererlements bestimmt das freie Volumen im Schneckenkanal und damit auch den Füllfaktor, vgl. Abbildung 6, Fördererlemente. Elemente mit entgegengesetzter Steigung (vgl. Abbildung 6, Links-Elemente) reduzieren den Produktfluss und füllen daher den stromaufwärtsliegenden Schneckenabschnitt. Knet- und Mischelemente werden zum Plastifizieren, zum

Dispergieren und Aufschließen von Füllstoffen verwendet. Je nachdem, ob die Knetscheiben neutral oder mit einer Steigung angeordnet sind, kann der Mischeffekt, der Schereffekt und die Förderwirkung beeinflusst werden. Auch die breite der Kammknetscheibe beeinflusst die Mischcharakteristik. Eine breitere Kammknetscheibe weist eine ausgeprägtere dispersive Mischwirkung auf und eine schmalere Kammknetscheibe mischt mehr distributiv (vgl. Abbildung 6, Knet- und Mischelemente).

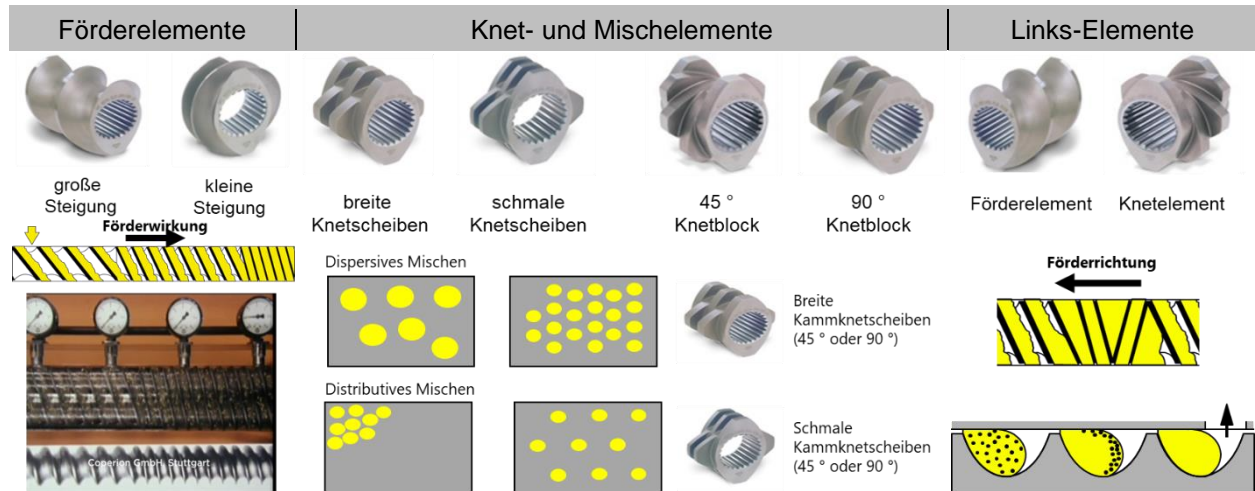


Abbildung 6: Wirkung von Schneckenelementen

Coperion bietet umfassende Unterstützung für Hersteller von Lithium-Ionen-Batterien (LiB) bei der Produktion qualitativ hochwertiger Batteriezellen, während gleichzeitig die Kosten für die Herstellung optimiert werden. Das umfangreiche Portfolio an zuverlässigen und erstklassigen Technologien sowie Produkten, reicht von Einzelkomponenten bis hin zu kompletten Systemlösungen (siehe Abbildung 7).

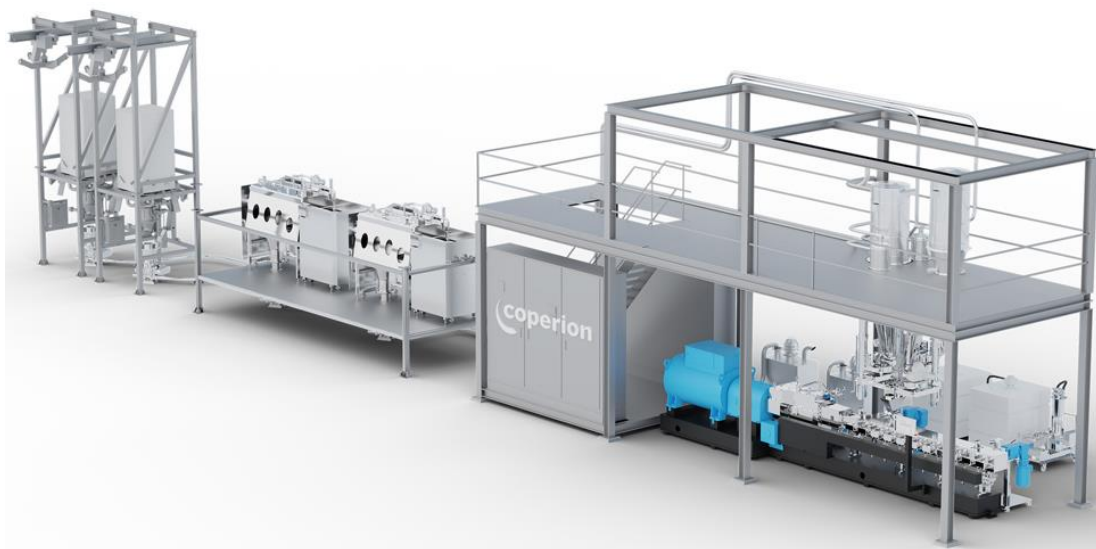


Abbildung 7: Coperion Technologie für eine zuverlässige, effiziente und nachhaltige Herstellung von Batterien

Das umfassende Know-how in der Auslegung individueller Anlagen, sowie die langjährige Erfahrung in der Planung und Umsetzung von Systemen für die Batterieherstellung in verschiedenen Anwendungsbereichen zeichnen Coperion aus. Besonders hervorzuheben sind die Systeme zur Herstellung von Elektrodenmassen in Gigafactories sowie hochpräzise Dosier- und Förderlösungen für die Produktion von Batterie-Performance-Materialien, einschließlich Kathoden- und Anodenaktivmaterialien. Diese Technologien

tragen signifikant zur Optimierung der Batterieproduktion bei und ermöglichen eine effiziente und qualitativ hochwertige Fertigung.

Ein zentrales Element in diesem Portfolio ist der ZSK Mc18 Doppelschneckenextruder von Coperion, der sich durch eine Vielzahl technischer Innovationen auszeichnet, die optimal aufeinander abgestimmt sind. Diese Eigenschaften machen ihn zum idealen Extruder für Batterie-Anwendungen, die maximale Zuverlässigkeit und Wirtschaftlichkeit bei höchsten Qualitäts- und Durchsatzanforderungen erfordern. Dank seiner herausragenden Mischeigenschaften gewährleistet der Coperion ZSK Doppelschneckenextruder die notwendige Homogenität, die für die Herstellung von Batteriemassen entscheidend ist, um eine hohe Endproduktqualität zu erreichen. Das Verfahrensteil aller ZSK-Baureihen ist nach einem modularen Baukastensystem konzipiert. Dieser modulare Aufbau ermöglicht es unseren Verfahreningenieuren, die Konfiguration der Gehäuse und Schneckenelemente individuell an die spezifischen Anforderungen Ihrer Anwendung anzupassen. Dadurch wird eine flexible und effiziente Anpassung an unterschiedliche Produktionsbedingungen und -ziele gewährleistet.

2.2. Werkstoffentwicklung für Batterieslurries hinsichtlich Korrosions- und Abrasionsbeständigkeit

2.2.1. Untersuchungen bzgl. der Werkstoffanforderungen

Ziel dieser Untersuchung ist die systematische Untersuchung von metallischen Fremdpartikeln in Kathoden und Anoden von Lithium-Ionen-Batterien. Prinzipiell soll untersucht werden, ob Fremdpartikel, welche durch Verschleiß der Konstruktionswerkstoffe im Verfahrensteil, in den Elektrodenfolien nachgewiesen werden können und wie groß deren Anteil ist. Da bisher keine Referenzwerte vorliegen, sollen zunächst geeignete Analysemethoden ermittelt und erprobt werden. Die Ergebnisse dieser Untersuchung dienen als Basis für weiterführende Optimierungsmaßnahmen bzgl. der Konstruktionswerkstoffe für Schneckenelemente & Gehäuse im Verfahrensteil des Doppelschneckenextruders.

Probematerial – Slurryproduktion: In der regulären Produktion durchströmt zu verarbeitendes Produkt (Kathodenslurry oder Anodenslurry) das Verfahrensteil des Doppelschneckenextruders ein einziges Mal. Für diese Untersuchung dient die reguläre Produktionsprobe (0 Passagen) als Referenz. Die Vergleichsprobe „Worst Case“ (Kathodenslurry & Anodenslurry) durchläuft das Verfahrensteil insgesamt zehnmal (9 Passagen) und soll, durch einen möglicherweise höheren Anteil metallischer Verunreinigungen, die Validierung der Analysemethoden vereinfachen. Die metallischen Verunreinigungen könnten Verschleißpartikel aus dem Verfahrensteil des ZSK sein.

Fazit der Untersuchungen: Kathode und Anode zeigen qualitativ keinen Unterschied zwischen 0 Passagen und 9 Passagen. Die Abwesenheit von Fremdpartikeln lässt sich für das untersuchte Volumen für eine Größe $>15\mu\text{m}$ bestätigen.

3D-Röntgen-Computertomographie mit Nanofokusröhre (v tome xs - phoenix xray)		
Auflösung	Kathode $8\mu\text{m}$ / Voxel	Anode $8\mu\text{m}$ / Voxel
Detektorgröße	2000 x 2000 Pixel	
Projektionen	1600	
Belichtungszeit	200ms	
Röhrenparameter	60kV / $120\mu\text{A}$	

Fazit: Lichtmikroskopisch können die 5 untersuchten Bildebenen als frei von Fremdpartikeln $>1\mu\text{m}$ bestätigt werden. Die untersuchten Schnittebenen stellen nur repräsentative Ergebnisse dar. Eine Übertragung auf eine größere Probenmenge ist nur eingeschränkt möglich, da die analysierte Probenmenge keine verlässliche Statistik ermöglicht.

Materialographie (2D – Flächenanalyse)	
Vergrößerung	200x
Auflösung	0,174µm / Pixel
Mosaix	Kathode: 200 Einzelbilder / Anode: 250 Einzelbilder
Anzahl Bildebenen	Kathode: 5 / Anode: 5

Da jedoch in keiner Worst Case Probe Fremdpartikel detektiert werden kann, kann die Wahrscheinlichkeit einer metallischen Verunreinigung durch die Verfahrensteilkomponenten als sehr gering eingestuft werden.

2.2.2. Entwicklung neuer geeigneter Werkstoffe mit erhöhter Verschleißbeständigkeit

Werkstoffentwicklung

In dem öffentlich geförderten Kooperationsprojekt WabaFli werden zwei Wege verfolgt, um ein neues Werkstoffsystem zu entwickeln. Zum einen wird ein für Coperion neuer Eisenbasiswerkstoff auf Basis eines Legierungssystems für erste Versuche definiert.

Das neue Legierungssystem hat das Potential die Abrasionsbeständigkeit des aktuell eingesetzten Werkstoffs und die Korrosionsbeständigkeit eines vorhandenen Werkstoffs verbinden. Coperion verwendet Verbundwerkstoff zur Herstellung von Schneckenelementen, die für hoch abrasive Prozesse ohne Korrosionsbelastung eingesetzt werden. Ein anderer Verbundwerkstoff wird als Standardwerkstoff bei korrosiven und abrasiven Medien eingesetzt. Dieser Werkstoff ist jedoch aufgrund seiner chemischen Zusammensetzung hinsichtlich seiner Abrasionsbeständigkeit dem anderen Werkstoff unterlegen.

Das Ziel ist es, durch geeignete Parameter beim Vergütungsprozess des neuen Legierungssystems, einen Werkstoffzustand zu generieren, der zum einen eine hohe Abrasions- wie auch Korrosionsbeständigkeit aufweist. Dabei werden zwei Wärmebehandlungsprogramme für den neuen Werkstoff definiert und getestet. Die wärmebehandelten Proben liegen bei der Härtemessung im Bereich des Referenzwerkstoffs, wodurch eine wichtige Werkstoff-Zielgröße erreicht wird. Außerdem werden Korrosions-, Abrasions- und Schlagzähigkeitsproben erodiert und getestet. Es kann bei beiden Werkstoffzuständen nach erfolgreicher Wärmebehandlung, wie erwartet, eine erhöhte Abrasionsbeständigkeit (ca. 30 %) gegenüber dem derzeit eingesetzten, korrosionsbeständigen, Werkstoff erreicht werden. Im Vergleich der Schlagzähigkeit zwischen den hergestellten Werkstoffen kann kein signifikanter Unterschied festgestellt werden, was als großer Erfolg gewertet werden kann, da somit die Bauteilanforderungen erfüllt werden. Das bedeutet, das neue Legierungssystem ist bezüglich der Schlagzähigkeit, welches ein wichtiges mechanisches Auswahlkriterium für Schneckenelementwerkstoffe ist, für Schneckenelemente im Verfahrensteil für Batterieslurries grundsätzlich geeignet.

Zur Erhöhung der Abrasionsbeständigkeit werden mehrere Karbidmodifikation einer Eisenbasislegierung mit Titankarbid (TiC) sowie mit Wolframkarbid (WC) in unterschiedlichen Massenanteilen durchgeführt. Speziell im Herstellungsprozess, dem heiß-isostatisches Pressen (HIP), der neuen Werkstofflegierungen mit zusätzlichen Wolframkarbid kommt es zur ausgeprägten Porenbildung, welche nicht verhindert werden kann. Eine Porenbildung im Werkstoff ist im Hinblick auf die Korrosions- und Abrasionsbeständigkeit sowie auf die mechanische Festigkeit kontraproduktiv. Des Weiteren kommt es z. B. bei der Probe mit 60 wt.-% Wolframkarbid zur Rissbildung während des Vergütungsprozesses, sodass notwendige Wärmebehandlungsschritte mit derart modifizierten Eisenbasislegierungen nicht möglich sind. Des Weiteren zeigt sich, dass diese Werkstoffe für eine mechanische Weiterbearbeitung (Drehen / Fräsen / Schleifen) zu hart sind.

Der zweite Ansatz, die abrasive Verschleißbeständigkeit durch das Zulegieren von TiC zu erhöhen, stellt sich als technisch zielführender heraus. Zwar können auch bei diesen Proben die Porenbildung an der Grenzfläche der Titankarbid zum Matrixwerkstoff nicht vollständig vermieden werden, allerdings liegen diese Defekte auf einem Niveau, bei dem eine Anpassung im HIP-Prozess noch zu einer Verbesserung der mikrostrukturellen Eigenschaft führen kann. Speziell die Probe mit 15 wt.-% TiC wird weiterverfolgt. Die Härte im „as-hipped“ Zustand liegt auf einem Niveau, bei der eine konventionelle mechanische Bearbeitung

möglich ist. Durch einen anschließenden Vergütungsprozess kann bei dieser Werkstoffprobe eine Härte in der Zielregion erreicht werden, was auf ein enorm hohes Potential bezüglich der abrasiven Verschleißbeständigkeit hindeutet. Der Ansatz mit dem Zulegieren von Titankarbiden wird in weiteren Prüfungen (Abrasionstests & Schlagzähigkeitsprüfung) untersucht, um eine vollständige Potentialabschätzung zu ermöglichen.

Eine weitere Wärmebehandlung wird mit angepassten Parametern durchgeführt. Die höher gewählte Anlasstemperatur soll die Härte des Matrixmaterials reduzieren. Somit sollen die Proben „A“ in einen bearbeitbaren Härtebereich gelangen. Jedoch bleibt die Probe „A“ auch nach einer zweiten Wärmebehandlung bei einer Härte >65 HRC.

Analyse der Werkstoffanforderungen

Im Rahmen umfassender Tests werden verschiedene Materialien auf ihre Eignung für Slurry-Anwendungen untersucht. Die durchgeführten Tests umfassten Korrosionstests, Abrasionstests, Materialentwicklungen sowie mechanische Tests. Die Korrosionstests ergeben, dass die getesteten Lösemittel im Slurry-Material im Vergleich zu anderen getesteten Materialien nicht kritisch sind.

Ergebnisse – N-Methyl-2-pyrrolidon: Bei keinem untersuchten Werkstoff aus dem Werkstoffportfolio kommt es zu keinem messbaren Masseverlust (Abbildung 8) und damit zu keiner messbaren Korrosionsrate im N-Methyl-2-pyrrolidon.

Ergebnisse – Demineralisiertes Wasser: Für die Konstruktionswerkstoffe kann eine Korrosionsrate bestimmt und dargestellt werden, welche sich aus dem Masseverlust der Probe über die Einwirkzeit berechnet (Abbildung 9). In Abbildung 10 sind die Probe nach den Korrosionsuntersuchungen dargestellt.

Interpretation der Ergebnisse: Generell können laut Literatur untersuchte Werkstoffe, welche eine Korrosionsrate von $\leq 0,11$ mm/a aufweisen, in Kategorie 0 eingeordnet und damit als korrosionsbeständig eingestuft werden: Dies ist für die Untersuchungen mit N-Methyl-2-pyrrolidon und demineralisiertem Wasser der Fall.

Fazit der Untersuchung: Aktuell verfügbare Werkstoffe im Portfolio der Coperion GmbH, welche für die Batterieslurry-Produktion vorgesehen sind, zeigen keine Korrosionsreaktion, in den Lösemitteln N-Methyl-2-pyrrolidon & demineralisiertem Wasser, die gegen einen Einsatz im Verfahrensteil spricht.

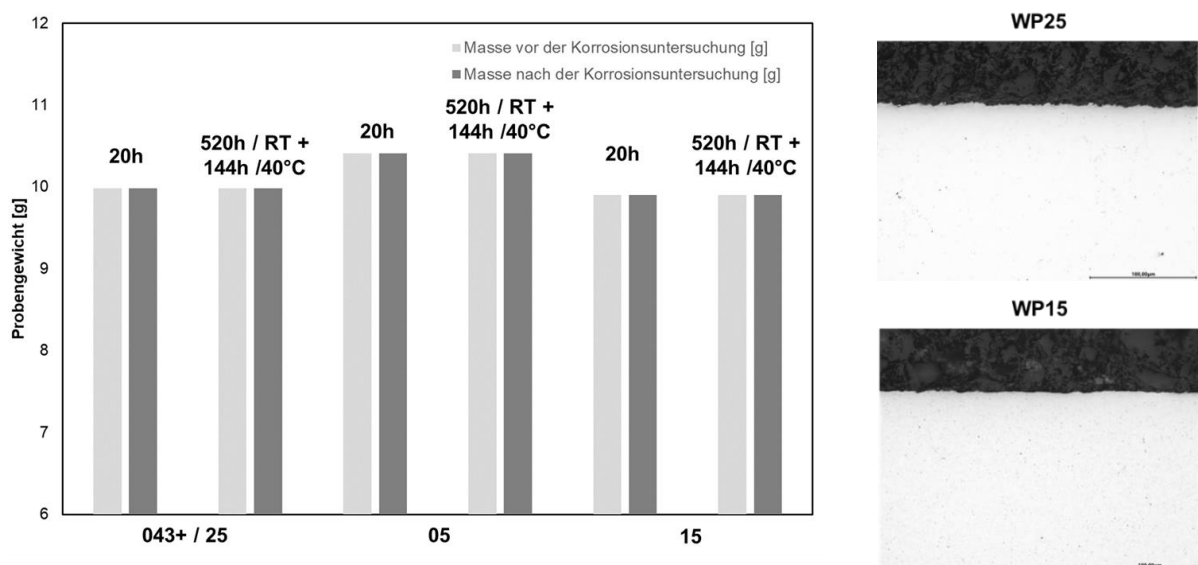


Abbildung 8: Versuchsergebnisse der Korrosionsuntersuchung (Masseverlust) mit N-Methyl-2-pyrrolidon

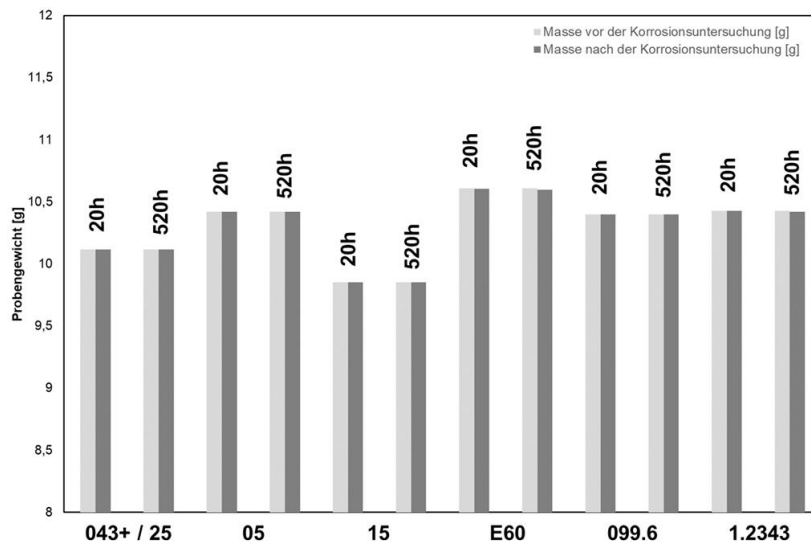


Abbildung 9: Versuchsergebnisse der Korrosionsuntersuchung (Masseverlust) mit demineralisiertem Wasser

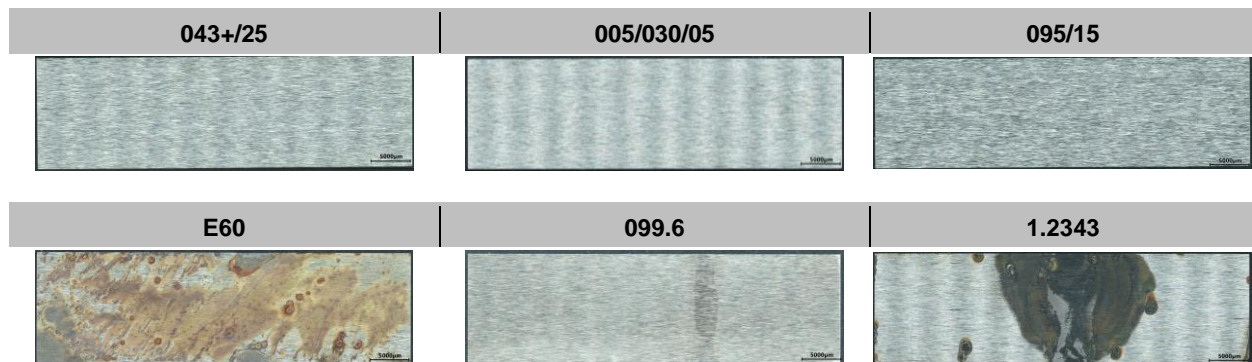


Abbildung 10: Zustand der Proben nach den Korrosionsuntersuchung mit demineralisiertem Wasser

Bei den Abrasionstests ASTM G65 und ASTM G75 zeigt sich, dass die bestehenden Materialien kein erhöhtes Verschleißverhalten im Vergleich zu den getesteten Slurry aufweisen. Der „Slurry“-Abrasionstest wird mit zwei unterschiedlichen Kathodenslurries durchgeführt, die sich hinsichtlich Aktivmaterial, Lösemitel, Feststoffanteil und Korngrößenverteilung unterscheiden:

- Slurry A: NCM; Feststoffanteil von 71 gew.-%; Slurrybasis: TEP; Korngröße D90: 14 µm
- Slurry B: LMFP; Feststoffanteil von 50 gew.-%; Slurrybasis: Wasser; Korngröße D90: 24 µm.

Die Ergebnisse von trockenen und nassen Abrasionstests sind normiert gegenüber dem Werkstoff 043+ in Abbildung 11 dargestellt. Im Vergleich der Werkstoffe zeigt sich keine Korrelation zwischen dem ASTM G65 Verschleißtest mit trockenem Sand und dem ASTM G75 Slurryabrationstest. Es zeigt sich, dass der im Rahmen des Projektes erstmalig untersuchte Werkstoff PMD (Wärmebehandlung A) im ASTM G65 Test ein geringeres Verschleißvolumen als der Standardwerkstoff 043+ zeigte. Weiterhin zeigt der Werkstoff in Slurry A den geringsten Verschleiß und ist in Slurry B vergleichbar mit 043+. Es wurde allerdings erwartet, dass aufgrund des ASTM G65 Trockensandergebnisses das Verschleißverhalten generell besser als vom 043+ sein würde.

Fazit: Die Korngröße des Ausgangspulvers hat einen signifikanten Einfluss auf die Abrasionswirkung von Kathodenslurries.

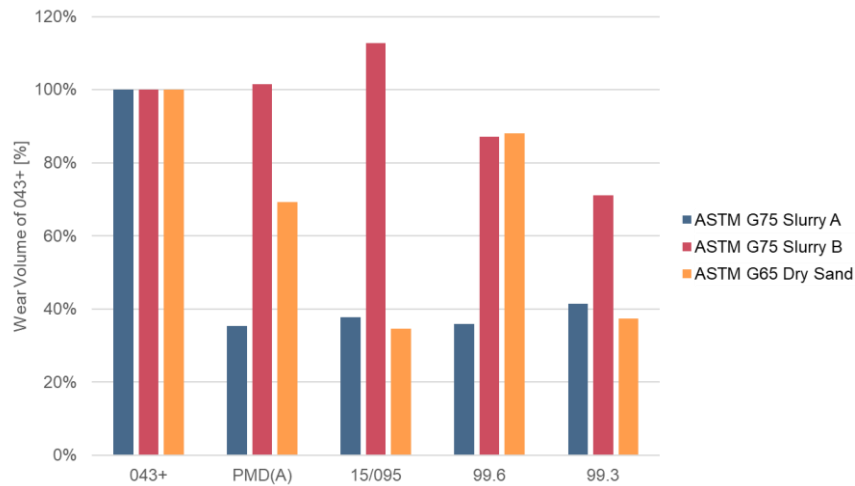


Abbildung 11: Abrasionstests für verschiedene Werkstoffe im Vergleich zum Standardwerkstoff 043+

Fazit: Die im Projekt durchgeführten Untersuchungen zeigen, dass die modifizierten Werkstoffe nicht bearbeitbar sind (zu hohe Härte) und die Werkstoffe im Portfolio der Coperion GmbH, welche für die Batterieslurry-Produktion vorgesehen sind, weder eine erhöhte Korrosionsreaktion und keinen erhöhtes Verschleißverhalten mit den getesteten Slurrys aufweisen. Daher wird von einer erneuten Werkstoffmodifikation abgesehen und die verfügbaren Werkstoffe für die Batteriefertigung qualifiziert.

Die Coperion GmbH besitzt die Expertise, um spezifische Schnecken- und Gehäusekonfigurationen für eine optimierte Batteriefertigung auszulegen.

2.3. Versuchsbegleitung am ZSW, Prozessentwicklung und Anlagenkonfiguration

2.3.1. Prozessentwicklung

Untersuchung einzelner Schneckenelemente:

Zu Beginn des Projektes werden erste CFD-Simulationen bzgl. dem Förderverhalten von einzelnen Schneckenelementen durchgeführt, um ein Prozessverständnis aufzubauen, welches eine erste fundierte Auslegung einer Schneckenkonfiguration für wasserbasierte Batterieslurries erlaubt. Der simulative Vergleich zeigt, dass die Stauscheibe deutlich mehr Druck aufbaut als ein 2-gängiges Element R/L und als ein Knetblock. Eine Vergrößerung des Durchmessers der Stauscheibe, erhöht das Druckaufbauvermögen um den Faktor 2. Eine Verbreiterung der Stauscheibe erhöht den Druck um Faktor 1.3. Die dissipierte Energie steigt mit dem erhöhten Druckverbrauch.

Entwicklung des Extrusionsprozesses für Anoden- und Kathoden-Slurry:

Zu Beginn des Projekts liegen folgende verfahrenstechnische Herausforderungen vor: für die kontinuierliche Herstellung von qualitativen Slurry, wird das Pulver in 2 Splits des Lösemittels eingearbeitet.

Zunächst findet die Einarbeitung der Füllstoffe bei hoher Viskosität (erste Herausforderung) und wird anschließend auf Zielrezeptur verdünnt. Dabei entstehen höhere Temperaturen von 50-60 °C, die ein Problem darstellen können. Daher wird ein Prozess ohne Split entwickelt. Als zwei mögliche Lösungen werden die Verwendung eines abstauenden Elements und die Änderung der Schneckenkonfiguration untersucht und numerisch simuliert. Als mögliches Element wird die Stauscheibe gründlich untersucht und gegenüber anderen Elementen verglichen in Bezug auf Druckaufbauvermögen und dissipierte Energie. Anschließend werden 1D-Simulationen entlang der Schnecke durchgeführt und die Rückstaulänge beurteilt. Dabei werden beiden Konfigurationen, Anode und Katode, betrachtet.

Die Verwendung einer Stauscheibe wird im Versuch überprüft, ggfs. wird die Möglichkeit betrachtet, die Stauscheibe, die eigentlich ein geschlossenes Element ist durch mehrere nacheinander geschalteten linksfördernden Elemente oder durch neutrale Knetblöcke zu ersetzen. 1D-Simulationen werden durchgeführt und zeigen, dass der Einsatz von linksgängigen Elementen möglich ist und Vorteile gegenüber der Verwendung einer Stauscheibe im Bezug auf niedrigere dissipierte Energie bietet.

Ergebnis der ersten 1D-Simulationen:

Die Extrusion von Batteriemassen erfordert eine sorgfältige Optimierung, insbesondere hinsichtlich der Volfüllung der Funktionszonen. In diesem Zusammenhang stellen Stauscheiben eine vielversprechende Option dar, um die Effizienz des Prozesses zu steigern. Es hat sich gezeigt, dass linksgängige Elemente bevorzugt werden sollten, da sie in der Anwendung zwar nicht so effektiv sind, jedoch dennoch Vorteile bieten. Neutrale Elemente hingegen erweisen sich als ungeeignet für die angestrebten Ziele.

Um die Volfüllung der Funktionszonen zu gewährleisten und zu unterstützen, können Mischzonen sowohl mit neutralen als auch mit linksgängigen Elementen gestaltet werden. Diese Herangehensweise kann dazu beitragen, die gewünschten Ergebnisse zu erzielen.

2.3.2. Versuchsbegleitung

Nach erfolgreicher Inbetriebnahme des Doppelschneckenextruders ZSK18 durch das ZSW wird eine gemeinsame Versuchskampagne mit dem ZSW am ZSW durchgeführt. In der ersten Versuchskampagne wird das grundlegende Anlagen-Setup getestet und modifiziert. Es werden Zugabestellen für die Rezepturbestandteile festgelegt, sowie erste Erfahrungen mit Rezepturen gesammelt. Herausfordernd ist die Zudosierung des flüssigen Bindemittels in ausreichender Menge, da die eingesetzte Flüssigdosierung für den erforderlichen Durchsatz und der Binder-Viskosität im Grenzbereich betrieben wird. Dies ist eine technische Limitierung des Equipments und keine Prozesslimitierung an sich. Erste Schneckenkonfigurationen werden getestet, sowie erste brauchbare Muster produziert.

Im Anschluss an die gemeinsamen Versuchskampagne, werden weitere Kampagnen am ZSW im engen Austausch mit Coperion durchgeführt. Schneckenkonzepte, Rezepturanpassungen und Prozessparameter werden gemeinsam diskutiert und vom ZSW in weiteren Kampagnen umgesetzt. Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass wasserbasierte Slurries auf einem Doppelschneckenextruder prozesssicher compoundiert werden können. Anschließend werden 1D-Simulationen durchgeführt, um die optimale Schnecke für die „Slurry“-Herstellung festzulegen. Die optimierten Schnecken fokussieren auf Mischen und zusätzlich auf einen prozesssicheren Druckaufbau und entsprechende Entgasung, da es in den ersten Versuchen Probleme im Druckaufbau und beim Entgasen aufgetreten sind.

Es haben Versuchskampagnen am ZSW im engen Austausch mit Coperion stattgefunden. Schneckenkonzepte, Rezepturanpassungen und Prozessparameter werden gemeinsam diskutiert und vom ZSW in weiteren Kampagnen umgesetzt, siehe Abbildung 12. Hier steht das ZSW und Coperion in engem Austausch.



Abbildung 12: Versuche am ZSW

Fazit: Ziel des Projektes war die Herstellung von wasserbasierten Batterieslurries mit einer ausreichenden Qualität zur Weiterverarbeitung. Dies wurde durch erfolgreiche Versuche am ZSW nachgewiesen. Mit dem Doppelschneckenextruder kann Slurry prozesssicher und kontinuierlich in stark skalierbaren Mengen effizient compoundingiert werden.

2.4. Entwicklung neuer Elemente zur Herstellung von Batterieslurries und Erprobung

2.4.1. Untersuchungen am Plexiglasextruder

Der Versuchsaufbau besteht aus einem Doppelschneckenextruder mit Gehäusen aus Plexiglas und Schneckenelementen aus Kunststoff, siehe Abbildung 13. Als Basismaterial wird Luvitec® verwendet. Bei den Solid-Liquid-Versuchen wird in das Luvitec® LMP oder HDPE-Pulver eincompoundingiert. Für die Liquid-Liquid-Versuche wird ein Teil das Luvitec® eingefärbt und in das nicht eingefärbte Luvitec® eincompoundingiert. Zwei Kameras zeichnen einmal die zu untersuchenden Schneckenelemente und einmal die Kuvette auf.

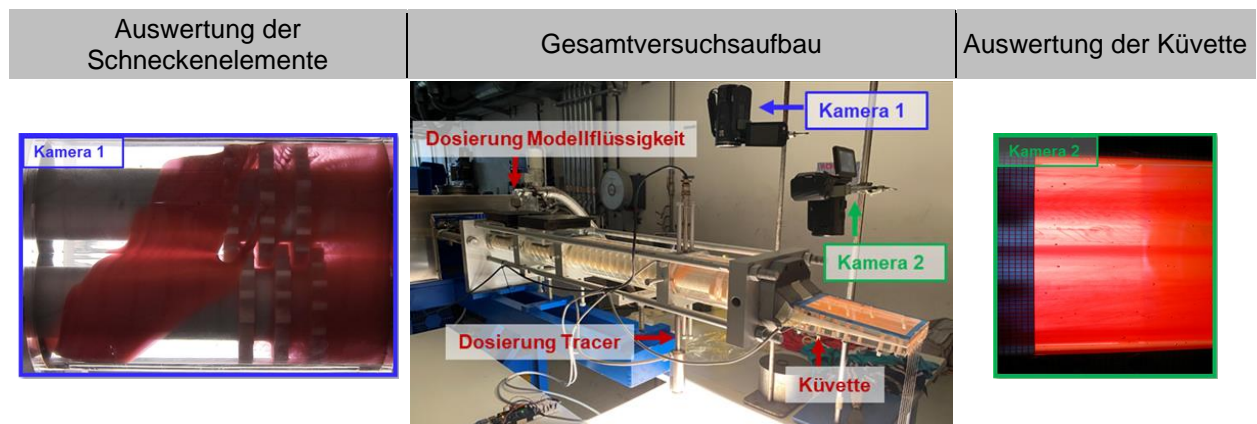


Abbildung 13: Aufbau des Plexiglasextruder mit Kameraauswertung

Das Entwickeln der Schneckenkonfiguration für Fest-Flüssig-Versuche in einem vollständig gefüllten Abschnitt oder der Kuvette bringt verschiedene Herausforderungen mit sich. Eine der Hauptschwierigkeiten besteht in der Pulverzufuhr, insbesondere bei der Handhabung kleiner Mengen, der Positionierung und der Form des Trichters. Zudem kann es bei der Verwendung von Ringen zur Trennung des untersuchten Elements zu einem Rückfluss bis zur Zuführung kommen, was die Versuchsergebnisse beeinträchtigen kann. Ein weiterer Aspekt, der die Ergebnisse beeinflusst, ist der Einsatz von Fördererelementen nach der LMP-Einführung. Diese können die Strömungsdynamik und damit die Resultate der Versuche verändern. Der Tracer oder Pulver (freier Ruß) wird kurz vor dem untersuchten Element zugegeben, gemischt und anschließend die Mischung in einer Kuvette ausgetragen. Über die Kuvette und die zu untersuchende Elemente werden Kameras installiert und der Prozess wird gefilmt. Das Video aus der Kuvette wird anschließend ausgewertet und die Mischgüte basierend auf einer Grauwertanalyse ermittelt. Ein Programm für die Auswertung der Mischkennzahl basierend auf die Grauwertanalyse wird entwickelt und umgesetzt.

2.4.2. Optimierter Versuchsaufbau

Bei den Fest-Flüssig-Versuchen treten Herausforderungen auf, welche durch verschiedene Anpassungen des Prozesses und des Versuchsaufbaus verbessert werden. Zunächst wird eine Pulverzufuhr für kleine

Mengen mit einem kleineren Trichter verwendet werden, um eine bessere und selektive Pulverzuführung zu gewährleisten, zudem wird die Luvitec-Zufuhr nach vorne verschoben. Es wird eine neue Küvette mit einer kleineren Öffnung verwendet und es werden Förderelementen sowohl vor als auch nach den untersuchten Elementen eingesetzt, um die Strömungsdynamik zu optimieren. Zusätzlich wird die Position der Küvette verändert, um einen besseren Druckaufbau zu ermöglichen.

Die Bewertung der Mischeffizienz erfolgt durch eine Grauwertanalyse in der Küvette, Abbildung 14. Für die Untersuchung wird ein Programm zur Auswertung des Grauwerts über die Zeit in Bezug auf das Strömungsmuster in der Küvette entwickelt. Um eine optimale Grauwertbewertung zu gewährleisten, wird der Pulvergehalt entsprechend eingestellt, wobei verschiedene Gewichtsprozentanteile des LMP (1 %, 2 %, 10 %) berücksichtigt werden. Zusätzlich wird ein Bereich für die Bewertung des Grauwerts auf Basis des Fluidströmungsprofils in der Küvette festgelegt. Diese Maßnahmen sollen sicherstellen, die Mischeffizienz präzise zu analysieren und zu optimieren.

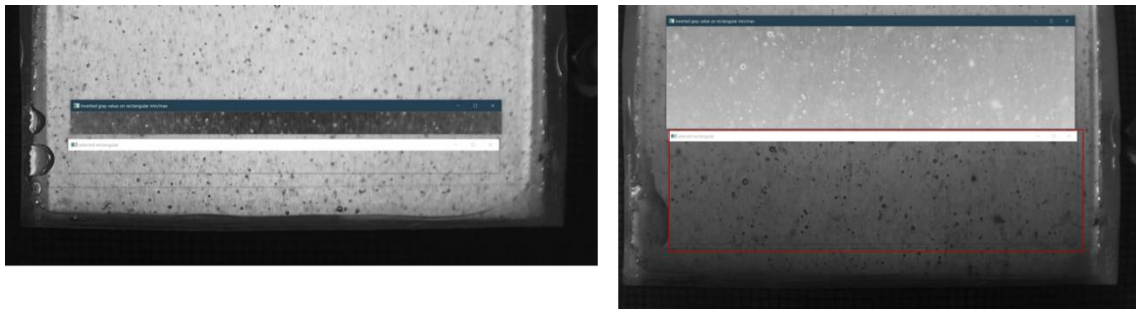


Abbildung 14: Grauwertanalyse in der Küvette

Mit dem Schnecken Aufbau und der veränderten Zugabestelle für das Luvitec kann ein vollgefüllter stationärer Prozess mit varrierender Zugabe von LMP abgebildet werden. Jedoch fällt auf, dass eine Zugabe von mehr als 1 % LMP eine Grauwertanalyse nicht mehr zulässt. Zudem schwankt die Varianz bei 1 % Feststoffzugabe stark und bei 0,3 % ist diese am größten.

Um die Mischwirkung einzelner Schneckensatzelemente zu untersuchen und zu vergleichen werden Liquid-Liquid-Versuche mit Luvitec und eingefärbtem Luvitec durchgeführt. Vergleich zwischen Simulation und Plexiglas-Extruder.

2.4.3. Vergleich der Solid-Liquid- und Liquid-Liquid-Versuche mit den CFD-Untersuchungen

Die Ergebnisse aus der CFD-Berechnung werden mit den Ergebnissen aus den Plexiglas-Extruder-Versuchen verglichen.

Die Plexiglas-Extruder-Versuche mit solid-liquid-Aufbau werden mit LMP als solid und Luvitec® als liquid durchgeführt. Für den liquid-liquid-Aufbau wird Luvitec® und eingefärbtes Luvitec® verwendet. Als Einschränkung gilt, dass die Ergebnisse nur für distributives Mischen gelten. Zusätzlich ist, aufgrund der unterschiedlichen Versuchsaufbauten, ein Vergleich lediglich innerhalb einer Einstellung möglich.

Bis auf zwei Ausreißer beim Ring (liquid-liquid) und 2 x ZME (liquid-liquid) ist die Mischwirkung der Elemente im „liquid-liquid“ und „solid-liquid“ Zustand vergleichbar. Die Untersuchungen zeigen, dass solid-liquid-Versuche mit 3,0 gew-% LMP gleiches distributives Mischverhalten wie liquid-liquid-Versuche zeigen.

Somit kann festgehalten werden, dass es für den untersuchten Prozess keine signifikanten Unterschiede zwischen dem liquid-liquid und solid-liquid Mischverhalten festgestellt werden kann (Abbildung 15).

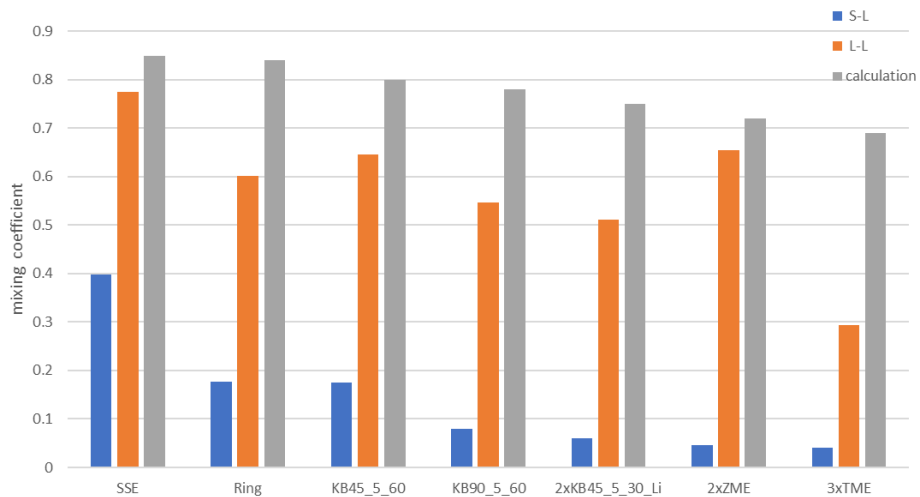


Abbildung 15: Vergleich der Particle-Tracking Methode, solid-liquid- und liquid-liquid-Untersuchungen

2.4.4. Liquid-Liquid-Versuche

Da bis zu einem Füllstoffanteil von 3 % mit LMP und HDPE-Pulver kein signifikanter Unterschied zwischen den Solid-Liquid- und den Liquid-Liquid-Versuchen festgestellt werden kann, werden im weiteren Verlauf die Versuche mit dem Liquid-Liquid-Aufbau mit Luvitec und eingefärbtem Luvitec durchgeführt. Für die Versuche wird eine Referenz-Schnecke verwendet um den Einfluss von Zeit, der Küvette und den Kameraeinstellungen zu vermeiden. Abbildung 16 ist die Grauwert-Analyse von 3 TMEs im Vergleich zu keinen Elementen (Ring) zu sehen. Die 3 TMEs sorgen für eine homogene Farbverteilung in der Küvette. Im Gegensatz hierzu sieht man bei dem Ring, welcher als Referenz gilt, deutliche Farbunterschiede und somit Bereiche, welche nicht entsprechend gut gemischt sind.

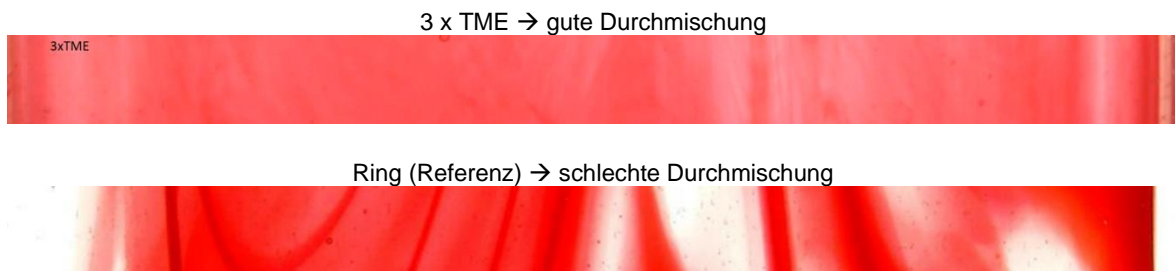


Abbildung 16: Vergleich der Farbverteilung in der Küvette (stationärer Zustand)

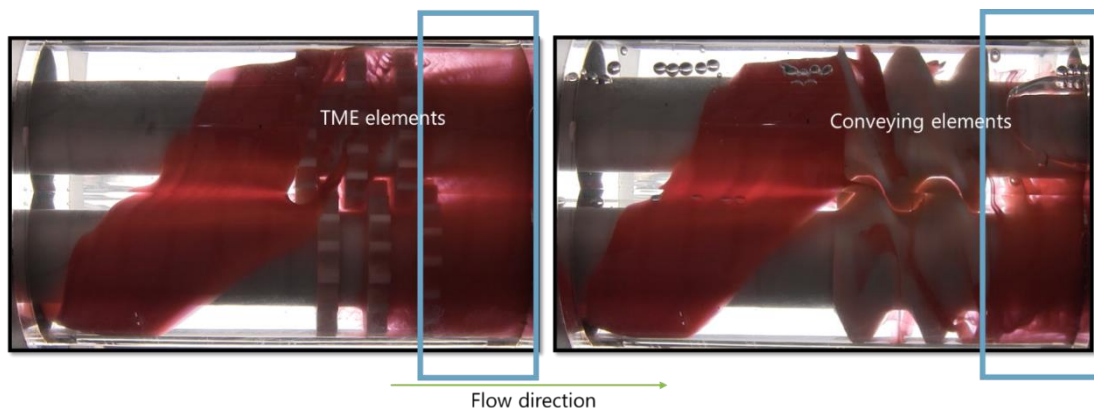


Abbildung 17: Vergleich der Mischgüte zwischen TMEs und Fördererelementen

Da die besten Mischergebnisse mit drei Turbinenmischelementen (TME, siehe Abbildung 17) erzielt werden, liegt das Hauptaugenmerk auf neuen Mischelementkonfigurationen, welche auf TMEs basieren. Die Untersuchungen zeigen jedoch, dass die drei neuen Schneckensatzzelemente die Mischqualität der bestehenden neutralen TME-Elemente nicht übertreffen.

2.5. Simulation der Mischgüte der neuen Schneckenelemente für den Einsatz für Batterieslurries

Durch numerische Simulation werden Elemente und Konfigurationen simuliert, um das beste Schneckenelement bzw. eine Kombination dieser im Bezug auf distributives Mischen zu finden. Zunächst wird eine Multi-Phase-Simulation aufgebaut, um den aktuellen Stand von der Schneckensatzzelemente und des Prozesses zu simulieren (Abbildung 18). Es zeigt sich, dass diese Art Simulation mit der zur Verfügung stehenden Rechenleistung aufgrund der langen Rechendauer nicht zielführend ist. Die CFD-Simulation wird durch die großen Pulvermengen und die Tatsache, dass das Pulver im teilgefüllten Zustand eingearbeitet werden soll, erschwert. CFD-Simulationen im teilgefüllten Zustand sind herausfordernd, aufgrund der Dichtesprünge an den Grenzen zwischen dem Pulverpartikel und der Luft.

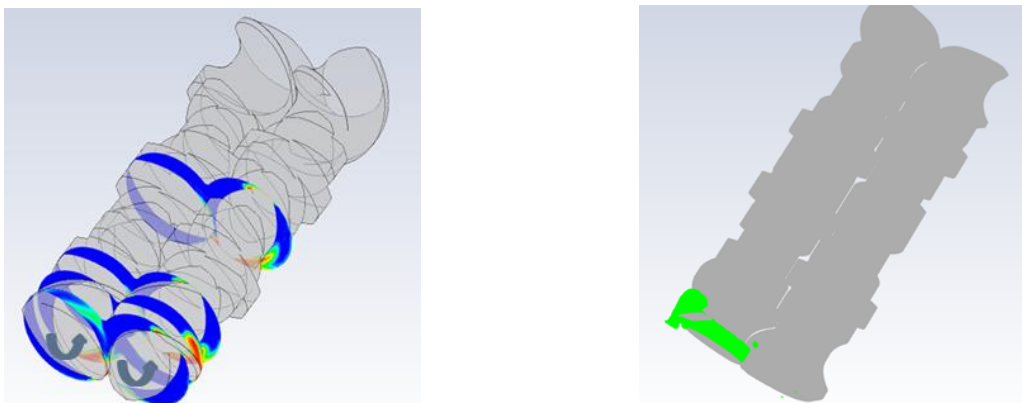


Abbildung 18: Mehrphasensimulation des Mischens nach 1 Umdrehung: a) Phasen Verteilung b) Pulver Einzug

Aus den oben genannten Gründen werden die Schneckensatzzelemente mittels Particle-Tracking-Methode auf distributives Mischen untersucht und verglichen. Diese Methode ist gut etabliert, wird bereits für die Charakterisierung von Elementen verwendet und stimmt gut experimentellen Ergebnissen überein.

Bei dieser Methode werden masselose Partikel (rot und weiß) homogen und kontinuierlich oben und unten zugegeben und durch das untersuchte Schneckensatzzelement getrackt. Anschließend werden die Partikel statistisch ausgewertet bzw. gezählt. Aus den Daten wird eine Mischkennzahl ermittelt, wobei die Mischkennzahl zwischen 0 und 1 definiert ist. Eine niedrige Zahl zeigt eine gute Mischqualität an und andersherum. Auf Abbildung 19 sind die Ergebnisse für die Konfiguration aus 3 schmalen Knetblöcken dargestellt. Die unteren Bilder zeigen die Partikelkonzentration (Misch-Ergebnis) jeweils nach dem ersten (oben) nach dem zweiten und nach dem letzten Element. Auf dem Diagramm ist die Mischgüte als Funktion der Anzahl der Drehungen dargestellt.

Die experimentellen Untersuchungen mittel Liquid-Liquid-Versuche und die dazugehörige Mischkennzahl stimmen mit der numerisch berechneten, basierend auf die Particle-tracking Methode überein. Dabei wird nicht die ermittelte Mischzahl verglichen, sondern lediglich die Aufstellung der untersuchten Elemente nach Mischvermögen.

Als bestmischendes Element hat sich die Kombination aus 3 Turbinenmischelementen (TME) durchgesetzt. Drei neue Konfigurationen werden getestet, jedoch kann die Mischqualität von TMEs nicht übertroffen.

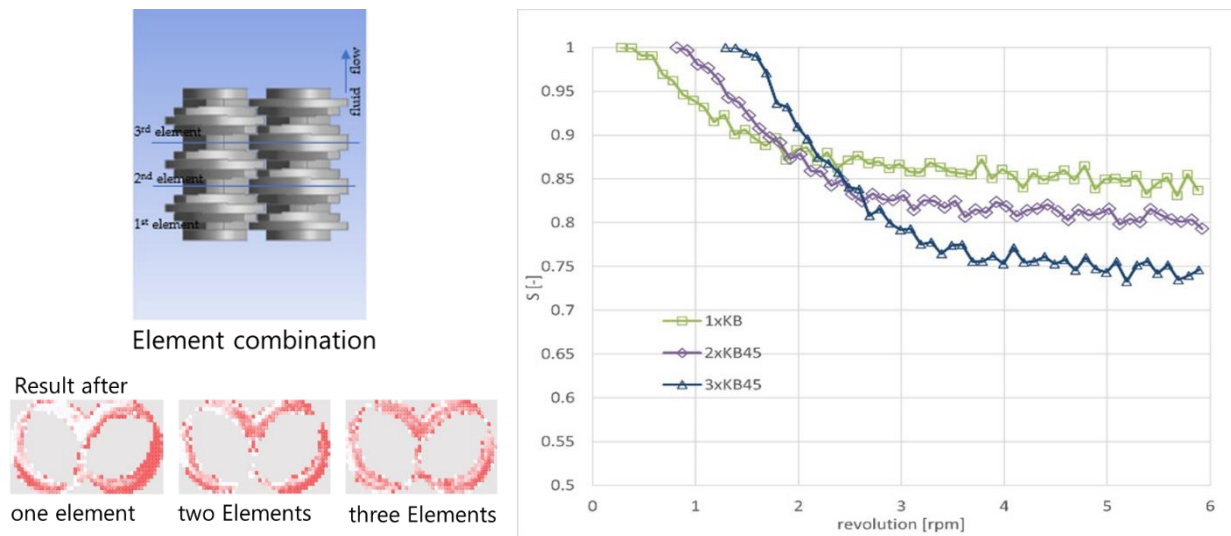


Abbildung 19: Modell und Ergebnisse aus der Partikel-Tracking Methode

2.6. Zusammenfassung

Die im Projekt durchgeführten Untersuchungen bzgl. Konstruktionswerkstoffen zeigen, dass die modifizierten Werkstoffe nicht bearbeitbar sind (zu hohe Härte) und die Werkstoffe im Portfolio der Coperion GmbH, welche für die Batterieslurry-Produktion vorgesehen sind, weder eine erhöhte Korrosionsreaktion und keinen erhöhtes Verschleißverhalten mit den getesteten Slurrys aufweisen. Daher wird nach im WabaFli-Projekt umfangreich durchgeführten Untersuchungen von erneuten Werkstoffmodifikation innerhalb des Projektes abgesehen und die qualitativ hochwertigen und verfügbaren Werkstoffe für die Batteriefertigung qualifiziert. Die Coperion GmbH ist in der Lage, spezifische Schnecken- und Gehäusekonfigurationen für eine optimierte und effiziente Batteriefertigung auszulegen.

Das Ziel des Teilprojektes bei dem Kooperationsprojekt WabaFli war die Herstellung von wasserbasierten Batterieslurries mit einer ausreichenden Qualität zur Weiterverarbeitung. Dies wird durch erfolgreiche Versuche am ZSW und bei Coperion intern mehrfach nachgewiesen. Mit dem Doppelschneckenextruder kann Slurry prozesssicher und kontinuierlich in stark skalierbaren Mengen effizient compoundiert werden.

Das Ziel von Coperion in dem Projekte WabaFli, die Schaffung von Grundlagen im Bereich der Strömungssimulation von niederviskosen Batterieslurries im Doppelschneckenextruder, wird erreicht. Es kann die Mischqualität von Schneckensatzelementen mittels CFD-Simulation bewertet werden. Zusätzlich können die CFD-Berechnungen mittels realer Versuche verifiziert werden. Des Weiteren werden neue Elementgeometrien entwickelt, jedoch kann die Mischqualität der bestehenden Elemente nicht weiter gesteigert werden.

Wird danken dem BMBF (Bundesministerium für Bildung und Forschung) für die Förderung des Kooperationsprojektes und danken auch dem PTJ für die gute Zusammenarbeit und Unterstützung.