Schlussbericht

Teil I - Kurzbericht

zum Verbundprojekt

HEADLINE

High-pow**e**r high-lo**ad Li**-Ione**n** Zellentwicklung für **e**xtrudierte Elektroden

VERTRAULICH

Fördermaßnahme: Batterie 2020 Transfer - Batteriematerialien für zukünftige elektromobile, stationäre und weitere industrierelevante Anwendungen

Förderkennzeichen: 03XP0394A

Zuwendungsempfänger: EAS Batteries GmbH
Lokomotivenstr. 21
99734 Nordhausen

Ansprechpartner: Dr. Martin Pulst
E-Mail: martin.pulst@eas-batteries.com
Telefon: 03631 46703-241

Projektlaufzeit: 01.07.2021 – 30.06.2024

Einreichungsfrist: 31.12.2024

1. Ursprüngliche Aufgabenstellung sowie wissenschaftlicher und technischer Stand, an den angeknüpft wurde

Stand der Technik für die Batteriefolienherstellung sind Gießprozesse (Casting), wobei die Elektrodenpaste über Düsen- oder Rakelwerkzeuge auf die Substratfolien beschichtet wird. Aufgrund der Präzisionsanforderungen an die Elektrodenbeschichtung sind Gießprozesse in ihren Feststoffanteilen technisch auf 60 – 70 Ma.-% begrenzt. Um den Feststoffanteil weiter zu steigern und darüber Kosten-einsparungen durch geringere Lösemittelmengen und Trocknungsbedarfe zu erreichen, sind neue Beschichtungsprozesse für hochviskose Pasten notwendig. Auch hier können Extrusionsprozesse mit Ein- oder Doppelschneckenextrudern und speziellen Schlitzdüsen zum Einsatz kommen. Beispielsweise setzt EAS ein an die Polymerfolienherstellung angelehntes Verfahren zur Flachextrusion ein, in dem die Batteriepaste nach der Düsen-Beschichtung vor der Trocknung in einen Glättwerk zwischen Polymerferfolien nachgewalzt wird. Anschließend wird das Extrudat geschnitten und über einen zusätzlichen Prozessschritt auf die Ableiterfolie auflaminiert. Damit verbunden ist ein hoher prozesstechnischer Aufwand für die Umlamination und ein Randverschnitt, welcher aktuell die Herstellkosten treibt und Ausschuss produziert. Aktuelle Forschungsherausforderungen liegen in der Entwicklung eines Direktbeschichtungsprozesses für dieses Extrusionsverfahren um die bisherigen Limitierungen der Breitschlitzdüse zu überwinden (z.B. Zieldicken < 50 µm und die Genauigkeit der Beschichtungen oder Kantenqualität).

2. Ablauf des Vorhabens und wesentliche Ergebnisse sowie ggf. Zusammenarbeit mit anderen Forschungseinrichtungen

Im Vorhaben wurde eine zylindrische LFP Demonstratorzelle entwickelt, die im Vergleich zur aktuellen LFP Hochleistungszelle des Typs 602030 eine um 25 % höhere volumetrische Energiedichte bei gleicher Belastbarkeit aufweist. Dazu waren mehrere Entwicklungsschritte in allen Bereichen der Zellentwicklung notwendig. Im ersten Schritt wurden dazu komplexe Berechnungen der Energie- und Leistungsdichte durchgeführt, um die notwendige Elektrodenkonfiguration festzulegen und zusammen mit den mechanischen Designanforderungen ein Zellkonzept zu definieren. Die hochkapazitiven Graphitanoden und LFP Kathoden wurden dabei über ein umweltfreundliches Extrusionsverfahren hergestellt, das ohne toxische Lösungsmittel auskommt. Ein prozesstechnisches Ziel war dabei die komplexe Entwicklung eines innovativen Direktbeschichtungsverfahren, wobei das Extrudat direkt auf die Ableiterfolie aufgetragen wird. Dazu wurden neuartige Möglichkeiten der Flüssigkeitsdosierung, simulationsoptimierte Breitschlitzdüsen und die Begrenzung der Extrudatschichten durch Keile im Glättwerk erprobt. Zusätzlich konnten durch den Einsatz der durch die Projektpartner entwickelten Prüftechnik die Herstellungsprozesse weiter optimiert werden, das zu einer Steigerung der Elektrodenqualität führte. Materialseitig wurde ein hochleitfähiger acetonitrilbasierter Elektrolyt in das Zellkonzept mit extrusionsoptimierten Elektrodenmaterialien integriert. Die gründliche elektrochemische Charakterisierung der Demonstratoren lieferte ein eingehendes Verständnis der Zellperformance, dass zur abschließenden Bewertung der Prozess-Struktur-Eigenschaften-Beziehung genutzt wurde.

VERTRAULICH

Schlussbericht

Teil II - Eingehende Darstellung

zum Verbundprojekt

HEADLINE

High-pow**e**r high-lo**ad Li**-Lone**n** Zellentwicklung für **e**xtrudierte Elektroden

VERTRAULICH

Fördermaßnahme: Batterie 2020 Transfer - Batteriematerialien für zukünftige elektromobile, stationäre und weitere industrierelevante Anwendungen

Förderkennzeichen: 03XP0394A

Zuwendungsempfänger: EAS Batteries GmbH
Lokomotivenstr. 21
99734 Nordhausen

Ansprechpartner: Dr. Martin Pulst
E-Mail: martin.pulst@eas-batteries.com
Telefon: 03631 46703-241

Projektlaufzeit: 01.07.2021 – 30.06.2024

Einreichungsfrist: 31.12.2024

1. Ausführliche Darstellung der im Rahmen des Vorhabens durchgeführten Arbeiten mit Vergleich zur ursprünglichen Vorhabenbeschreibung

AP1: Zelldesign

Im ersten Schritt wurden komplexe Rechnungen zur Beschreibung der zylindrischen LFP Zelle, die den Ausgangspunkt der Entwicklung darstellt, durchgeführt. Dazu wurde viel Arbeitszeit in die Entwicklung einer Arbeitsmappe investiert, die alle notwendigen Informationen zu den mechanischen und elektrochemischen Charakteristika enthält und die zu erwartenden Eigenschaften berechnet. In Abbildung 1 ist ein entsprechender Screenshot davon dargestellt:

[redacted]

Da die Rechnungen den tatsächlichen Eigenschaften der Zelle gut abgebildet haben, wurden im zweiten Schritt die Parameter iterativ so verändert, dass die im Projektantrag gesteckten Ziele erreicht werden. Dazu wurden auch die von Asahi Kasei bereitgestellten Eigenschaften des acetonitrilhaltigen Elektrolyts genutzt sowie bei der Berechnung der Leistungsdaten mit dem IKTS-MD zusammengearbeitet, die über ein entsprechendes Simulationsprogramm verfügen. Eine aussichtsreiche Berechnung ist in Abbildung 2 dargestellt, die angestrebte Energiedichteerhöhung um 25 % wird in dem dargestellten Modell erreicht.

[redacted]

Aus den Berechnungen wurde ein Lastenheft für die zylindrische Zelle erstellt, welches in Abbildung 3 dargestellt ist. Meilenstein M1 wurde für die zylindrische Zelle somit vorzeitig erreicht.

[redacted]

[redacted]

AP3: Mischprozesse für hochviskose Batteriepasten

Zur Dosierung des Lösungsmittels wurde eine Zahnradpumpe am Extruder installiert. Im Berichtszeitraum wurde die Pumpe erfolgreich in Betrieb genommen

[redacted]

Es wurden zahlreiche Untersuchen durchgeführt, um die kontinuierliche Dosierung zu quantifizieren sowie den Einfluss der Dosierung auf die Extrudatqualität zu evaluieren. Abbildung 1 zeigt verschiedene Aufnahmen der Beta Gauge mit einen Membranpumpe (links) und der Zahnradpumpe (rechts). Eine signifikante besserer Extrudatqualität mit verringerten Schichtdickenschwankungen konnte mit der Zahnradpumpe erzielt werden, die auf die kontinuierlichere Dosierung der Flüssigkeit zurückzuführen ist.

VERTRA

[redacted]

In diesem Arbeitspaket wurden alle erforderlichen Arbeiten fertiggestellt. Die installierte Zahnradpumpe für eine signifikante bessere Extrudatqualität mit verringerten Schichtdickenschwankungen wurde ausgiebig erprobt und hinsichtlich Prozessstabilität optimiert. Diese Feinjustierungen an der Pumpe haben signifikaten Einfluss auf die Verbesserung der Qualität, die mit Hilfe der installierten Messtechnik vom Projektpartner Suragus validiert wird.

Zum Ende des Projektes wurden dann die Elektroden erfolgreich direkt auf die (vorbeschichtete) Ableiterfolie beschichtet (vgl. Abbildung 5).

[redacted]

AP4: Batteriefolienextrusion mittels innovativer Formgebungswerkzeuge

Es wurde mit verschiedenen Projektpartnern und anderen potentiellen Lieferanten über geeignete Referenz-Extrusionsdüsen gesprochen. Im Projekt wurde ein neuer elektrisch beheizbarer Breitschlitzdüsenkopf von Brabender für die Extrusion angeschafft. Mithilfe dieser neuen Düse kann eine hochpräzisere Einstellung der Dicke des Extrudats erfolgen. Zur Verwendung der Düse wurde extra ein Düsenwagen entwickelt, um das Handling zu vereinfachen.

[redacted]

Zahlreiche Versuchsreihen mit dieser Breitschlitzdüse wurden durchgeführt, um die Extrustqualität zu verbessern. Große Erfolge konnten hinsichtlich der Homogenität erzielt werden, allerding wurde trotz wandreibungsoptimierten Fließkanals keine ausreichende Kantenqualität für eine Direktbeschichtung erzielt werden.

[redacted]

[redacted]

AP5: Messtechnik für die Qualitätssicherung

In diesem Arbeitspaket wurden zahlreiche Extrusionsversuche durchgeführt, um Versuchsmaterialien für die Partner herzustellen, die die Messtechnik entwickeln (IKTS-MD, ifu und Suragus). Es wurden Anodenextrudate aus Graphit sowie Kathodenextrudate aus LFP und NMC hergestellt. Dabei wurden drei verschiedenen Flächenbeladungen gewählt, die den ganzen technologisch möglichen und sinnvollen Bereich zwischen dünnen *high power* Elektroden und dicken *high energy* Elektroden abdecken. Bei den Versuchen wurde wertvolle Erfahrung mit den unterschiedlichsten Materialien gesammelt, um später die Elektroden für die Demonstratorzellen in AP6 herzustellen. Nach Anwendung eines speziellen Trocknungsverfahren wurden zusätzlich freistehende Elektroden, d.h. getrocknete Elektrodenmasse ohne Ableiterfolie (vgl. Abbildung 5) produziert. Es kann somit die reine Elektrodenmasse mittels Ultraschall ohne störende Einflüsse der metallischen Ableiterfolie bei den Messtechnikpartnern vermessen werden. Eine vollständige Übersicht über die produzierten Materialien ist in Tabelle 1 zusammengefasst.

VERTRAULI

[redacted]

VERTRAULIC

[redacted]

Erste Prüftechnik wurde auch schon an den Demonstartoranlagen integriert, wie beispielsweise ein (nicht strahlender) Hochfrequenzwirbelstromsensor (vgl. Abbildung 10, links). Die ersten Tests an Anodenextrudaten zeigen bereits eine gute Übereinstimmung der Messergebnisse des entwickelten Sensors mit den Messdaten der

vorhandenen Beta Gauge (Abbildung rechts), die gewöhnlich zur Flächenkapazitätsbestimmung genutzt wird.

[redacted]

Die bereits installiert Messtechnik wurde in verschiedensten Versuchsreihen verwendet, um die Extrudate ausgiebig zu charakterisieren und Prozessoptimierungsschritte einzuleiten.
Zusammen mit der Firma Suragus erfolgten Schritte zur Verbessrung der Messauflösung, Kompensation der maschinenbedingten Temperaturschwankungen und anderer Optimierungen während aller durchgeführten Versuchsreihen.

AP6: Prozessoptimierung für hochkapazitive Elektroden

[redacted]

[redacted]

Nach den Vorgaben aus Lastenheft aus AP1 wurden erfolgreich Zellen mit einer Kapazität von 50 Ah entwickelt. Es wurden 6 verschiedene Elektrolytrezepturen in Zusammenarbeit mit Asahi Kasei ausgewählt, um die meilensteinrelevanten Demonstratorzellen zu bauen:

[redacted]

VERTRA

[redacted]

[redacted]

[redacted]

In Abhängigkeit vom Acetronitilgehalt (vgl. Rezepturtabelle oben) wurden unterschiedliche Belastbarkeiten erhalten. Die Versuche bestätigten die theoreischen Berechnungen aus AP1, dass ein höherer Anteil an Acetonitril die Belastbarkeit erhöht. Die untersuchten Additive hatten nur geringen Einfluss. Mit dem Elektrolyten YBM3130 wurden in Entladerichtung Belastbarkeiten von 750 A (15C) erreicht, die vom absoluten Strom vergleich mit den Ausgangszellen sind. In Laderichtung wurden Belastbarkeiten von 250 A (5C) erreicht und somit die angestrebten Werte der Ausgangszelle mehr als verdoppelt.

Somit wurden die Ziele des finalen Meilensteins bereits vorzeitig erreicht bzw. teilweise übertroffen.

VERTRAU

[redacted]

[redacted]

VERTRAG