

Schlussbericht
der
Jonas & Redmann AT GmbH

zum Projekt

S-ProTrak

**Separatorenbeschichtung von Elektroden für
Lithiumakkumulatoren**

**(Entwicklung des Produktionsequipments
für Beschichtungslinien)**

Zuwendungsempfänger: Jonas & Redmann AT GmbH Kaiserin-Augusta-Allee 113 10553 Berlin	Förderkennzeichen: 01MX13003C
Projektleiter: Oliver Zink	Tel.: 030 230866-6153 Fax: 030 230866-6150 Email: o.zink@jonas-redmann.com
Laufzeit des Vorhabens: von: 01.05.2013 bis: 31.07.2014 von: bis:	
Berichtszeitraum: von: 01.05.2013 bis: 31.07.2014	Datum: 22.06.2015

I. Kurze Darstellung.....	3
1. Aufgabenstellung	3
2. Voraussetzungen, unter denen das Vorhaben durchgeführt wurde,	3
3. Planung und Ablauf des Vorhabens,	3
4. wissenschaftlichem und technischem Stand, an den angeknüpft wurde	5
5. Zusammenarbeit mit anderen Stellen.....	6
II. Eingehende Darstellung.....	6
1. der Verwendung der Zuwendung und des erzielten Ergebnisses im Einzelnen, mit Gegenüberstellung der vorgegebenen Ziele	6
2. der wichtigsten Positionen des zahlenmäßigen Nachweises	7
3. der Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit	8
4. der Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit	8
5. des während der Durchführung des Vorhabens dem ZE bekannt gewordenen Fortschritts auf dem Gebiet des Vorhabens bei anderen Stellen.....	9
6. der erfolgten oder geplanten Veröffentlichungen des Ergebnisses nach Nr.11	9

Schlussbericht

Gemäß Nr. 8.2 NKBF 98

I. Kurze Darstellung

1. Aufgabenstellung

Separatorenbeschichtung von Elektroden für Lithiumakkumulatoren

Projektziele waren die Konzeptionierung wettbewerbsfähiger Produktionstechnik und -technologien für die Elektrodenfertigung als einem wesentlichen Teil der Wertschöpfungskette in der Herstellung von Lithiumbatterien und die Integration technologischer Innovationen in bewährte Anlagentechnik. Die Batterien werden zukünftig vor allem für batterieelektrische und hybride Elektrofahrzeuge, aber auch für Marinesysteme und stationäre Energiespeicher großtechnisch produziert.

Damit ist das vorliegende Projekt den in der Ausschreibung benannten Themenfeld "ELEKTRO POWER" des BMWi zugeordnet.

Folgende Schwerpunkte wurden für J&R daraus abgeleitet:

- Untersuchung neuer Konzepte für die Beschichtung von Elektroden mit einem Separatorfilm
- Auswahl der bestmöglichen Beschichtungstechnologie
- Konzeptionelle Ausarbeitung der ausgewählten Beschichtungstechnologien
- Analyse und Auswahl geeigneter Kennzahlen zur Sicherung der Qualität
- Entwicklung von Meßtechnikkonzepten für den Einsatz in Inspektionssystemen

2. Voraussetzungen, unter denen das Vorhaben durchgeführt wurde,

Lithium-Akkumulatoren haben in den vergangenen Jahren eine deutliche Ausweitung der Anwendungsgebiete erfahren. Neben dem Einsatz in Elektro- und Hybridfahrzeugen betrifft dies auch die Verwendung in stationären Energiespeichern. Die Kapazität der Einzelzellen ist dabei signifikant gewachsen und liegt heute typisch bei 20 - 40 Ah. Dies geht einher mit deutlich gewachsenen Anforderungen an die Fertigungsqualität sowie einem starken Preisdruck. Die Verbundprojektpartner gehen ab dem Jahr 2015 von dem Bedarf einer jährlichen Produktionskapazitätserhöhung von 20 Mio. Lithium-Zellen (100.000 Batterieelektrische Fahrzeuge und 250.000 Hybrid-Fahrzeuge) allein in Deutschland aus. Eine Produktionslinie für 5 Mio Zellen p.a. inklusive Zwischenlager und Batteriemontagelinie wird mit 50 Mio. Euro Anlagen-Investitionskosten kalkuliert. Für die o.g. Produktionskapazität von 20 Mio Zellen resultieren daraus Anlagen-Umsätze von 200 Mio. Euro p.a. Bei einem anvisierten Marktanteil von 50% (2016) ergibt sich daraus für die Projektpartner allein für den deutschen Markt ein Umsatzvolumen von 100 Mio. Euro p.a.

Der Anlagentechnikmarkt für Lithium-Zellen wird heute von Anlagenherstellern aus Asien (Japan, Korea, China) dominiert. Diese Anlagen bieten jedoch nicht die geforderten Taktzeiten für moderne Produktionslinien und sind in ihrer Konfiguration nicht flexibel. Die Integration von neuartigen Messsystemen, Reinigungsmethoden oder Partikeldetektionssystemen sind Mittel, über die die europäischen Zellenhersteller sich von ihren asiatischen Wettbewerbern signifikant unterscheiden werden.

3. Planung und Ablauf des Vorhabens,

Aufgrund der kurz angesetzten Projektzeit wurden bei diesem Vorhaben nur fertig modulierte Konzepte erstellt. Angestrebt wird die terminliche Synchronisation der Verfügbarkeit der

Anlagentechnik mit der Marktreife der Lithium-Zellen und dem steigenden Stückzahlbedarf ab dem Jahr 2015.

Das Projekt ist in 10 Querschnittsprojekte (QP), die die technologischen Innovationen erbringen, sowie in 3 Pilotmodule (PM), welche die anlagentechnische Darstellung der Fertigungskette umfassen, organisiert. [Bild 1: Projektorganisation]

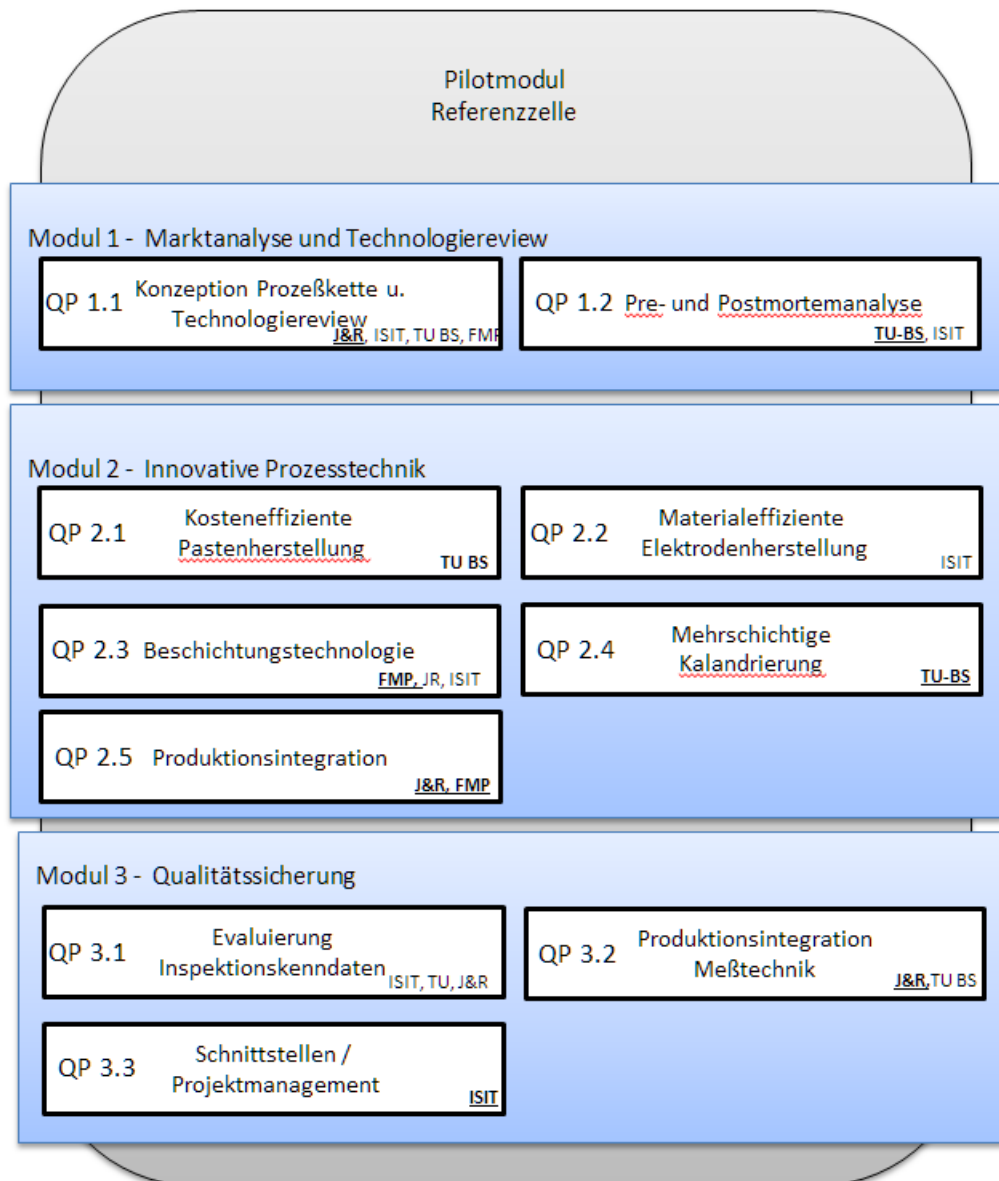


Bild1: Projektorganisation

Die Querschnittspakete wurden federführend von den jeweils verantwortlichen Projektpartnern bearbeitet. Zur engeren Abstimmung der Projektarbeit wurden zusätzlich zum Kick Off-Meeting im Mai 2013 weitere 2 Konsortialtreffen abgehalten (November 2013, April 2014), sowie zusätzliche Teilprojekttreffen.

Im Rahmen dieses Verbundprojekts wurde die Produktionstechnik für den ersten Schritt der Zellfertigung (Mischen, Beschichten, Verdichten) konzipiert und in wesentlichen Teilen prototypisch dargestellt. Es wurden dabei insbesondere die innovativen Prozessschritte in bestehenden Versuchsanlagen dargestellt. Als Referenzprodukt wurde eine Pouchzelle gefertigt, die sich an den Normentwurf zur Standardisierung der Zellgrößen (DIN SPEC 91252) orientiert und somit eine wesentliche Voraussetzung zur Darstellung eines universellen Anlagenkonzepts ist.

4. wissenschaftlichem und technischem Stand, an den angeknüpft wurde

Die aktuell auf dem Markt angebotenen Produktionsanlagen zur Herstellung von Lithium-Zellen basieren auf Technologien, die in den Jahren nach 1970 ursprünglich für die Herstellung von Magnetbändern entwickelt wurden.

In den bisher gängigen Produktionsverfahren für die Herstellung von Lithium Ionen Akkumulatoren werden Aktivmaterialpasten auf Trägerfolien appliziert. Danach erfolgt das Trocknen und Kalandrieren der beschichteten Folien. Die so hergestellten Elektroden werden in den nachfolgenden Prozessen geschnitten und mit einer präzisen Positionierung von Separatorfolie zwischen der Kathode und Anode zu einem Akkumulator gestapelt. [Bild 2]

Gegenwärtig produzierte Lithium Ionen Zellen basieren alle auf gestapelten Elektroden mit jeweils einem Separatorblatt zwischen dem Anoden- und Kathodenblatt. Es wird vermutet, dass einige japanischen Zellenhersteller ihre Aktivitäten in Richtung Separatorenbeschichtung ausgeweitet haben. Diese Erkenntnisse sind bisher nicht bestätigt.

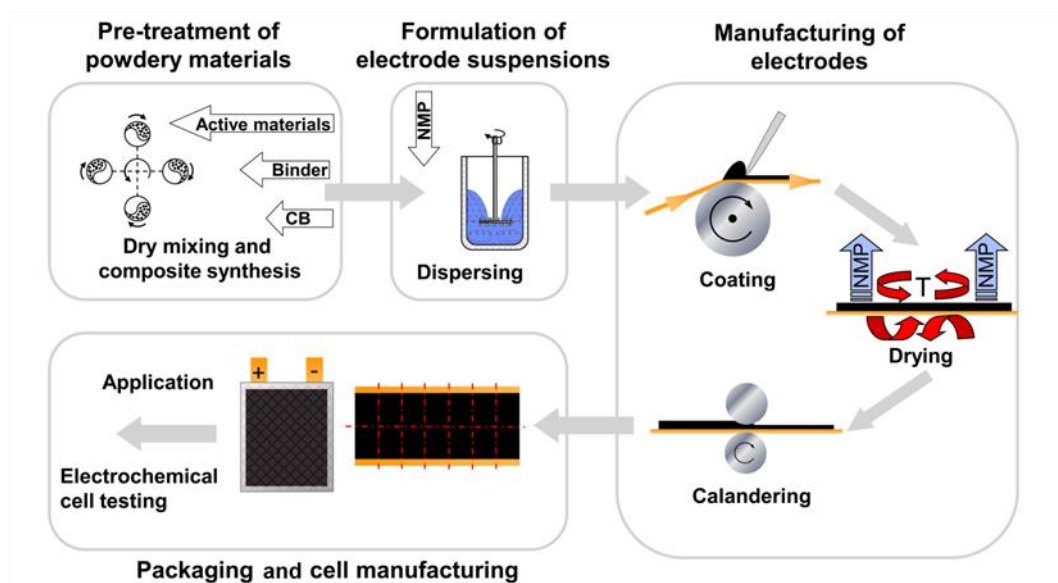


Bild 2: Typische Prozesskette zur Herstellung von Batterieelektroden

Aktuell eingesetzte Beschichtungsmaschinen nutzen überwiegend die folgenden technologischen Verfahren:

- Rackelbeschichtungen
- Walzenbeschichtungen
- Gieß- oder Düsenbeschichtungen

Für die Herstellung der Elektrodensuspension werden Aggregate genutzt, die batchweise Ansätze bis zu mehreren Tonnen Suspension mischen (z.B. Asada Iron Works Co.Ltd). Weitere Entwicklungen bzgl. höherer Prozessautomatisierung gehen in Richtung quasi-kontinuierlicher Suspensionsherstellung (Primix Co., Bühler AG).

Zur Homogenisierung der Schichtdicke und der Porengrößenverteilung werden Kalandrierer eingesetzt, die steigenden Anforderungen an die Präzision gerecht werden müssen, da in diesem Prozessschritt wesentliche Kennwerte der künftigen Batteriezelle bestimmt werden.

Die in Vorbereitung des S-ProTrak-Projekts durchgeführte Patentrecherche ergab einen Überblick über den Stand der Entwicklung der wesentlichen Technik und Prozesstechnologie. Die mit diesem Projekt entwickelte Technologie geht über den darin beschriebenen Stand hinaus und kann für die Projektteilnehmer einen Wettbewerbsvorteil gegenüber den aktuell

dominierenden asiatischen Maschinenherstellern darstellen. Insoweit ist nach dem derzeitigen Stand keine Verletzung von Patentrechten zu erkennen.

5. Zusammenarbeit mit anderen Stellen.

Die Entwicklung und Konstruktion konnte nicht von der Jonas & Redmann AT GmbH im vollen Umfang erbracht werden. Durch die 100% Tochter Firma JRT wurde diese Projektteile als Unterauftrag ausgeführt.

II. Eingehende Darstellung

1. der Verwendung der Zuwendung und des erzielten Ergebnisses im Einzelnen, mit Gegenüberstellung der vorgegebenen Ziele,
2. der wichtigsten Positionen des zahlenmäßigen Nachweises,
3. der Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit,
4. des voraussichtlichen Nutzens, insbesondere der Verwertbarkeit des Ergebnisses im Sinne des fortgeschriebenen Verwertungsplans,
5. des während der Durchführung des Vorhabens dem ZE bekannt gewordenen Fortschritts auf dem Gebiet des Vorhabens bei anderen Stellen,
6. der erfolgten oder geplanten Veröffentlichungen des Ergebnisses nach Nr.11.

1. der Verwendung der Zuwendung und des erzielten Ergebnisses im Einzelnen, mit Gegenüberstellung der vorgegebenen Ziele

Arbeitspakete	Jonas & Redman Fortschritt
QP1.1 Konzeption der Prozesskette	erfolgreich abgeschlossen
QP 2.3 Beschichtungstechnologie	erfolgreich abgeschlossen
QP 2.5 Produktionsintegration	erfolgreich abgeschlossen
QP 3.1 Evaluierung Inspektionskenndaten	erfolgreich abgeschlossen
QP 3.2 Produktionsintegration Meßtechnik	erfolgreich abgeschlossen

QP 1.1 Marktstudie und Analyse Anlagentechnik

Jonas & Redmann hat mit Fokus auf den Anlagenbau umfangreiche Marktanalysen für die gesamte Wertschöpfungskette der Beschichtungstechnik durchgeführt. Dabei wurden Schlüsseltechnologien und Firmen identifiziert und Technologien sowie Kosten für verschiedene Anlagengrößen ermittelt.

QP 2.3 Evaluierung von Verfahren zur Separatorbeschichtung von Elektroden

Im Arbeitspaket QP 2.3 wurden die Beschichtungstechnologien direkt mit einander verglichen und deren Eignung überprüft. Als Anlagenbauer wurde hier besonders die Skalierbarkeit der Prozess für den Einsatz in Hochdurchsatzanlagen bestimmt.

QP 2.5 Produktionsintegration und Realisierungsszenarien

In QP 2.5 wurden für die „nass auf nass“ und „nass auf trocken“ Beschichtung Prozessabläufe dargestellt und Realisierungsszenarien konzipiert. Dabei war eine exakte Bestimmung der Be-

schichtungs- und Trocknungsleistung notwendig. Ergebnis ist eine integrierte sehr kompakte Beschichtungs/Trocknungseinheit für eine „nass auf nass“ Beschichtung.



Abbildung 21: Beschichtungs- und Trockenmodul (gekapselt)

QP 3.1 / 3.2 Ermittlung Kenndaten zur inline-Inspektion / Produktionsintegration der Messtechnik

Im QP 3.1/3.2 wurden die spätere Batteriequalität relevanten Qualitätskennwerte sowie die relevanten Produktionsparameter abgeleitet. Die Tabelle 11 ordnet jedem Prozessschritt die relevanten Qualitätskennwerte zu. Dabei ist jedem Kennwert zugeordnet, ob dieser inline, also direkt während des Produktionsprozesses, oder offline gemessen werden kann.

Prozessschritt:	Qualitätskennwert:	Messung:
Mischen und Dispergieren	Elektrische Leitfähigkeit	Inline
	Viskosität	Inline
	Durchflussvolumen	Inline
	Partikelgrößenverteilung	Offline
	Suspensionsstabilität	Offline
Beschichten:	Schichtdicke (nass)	Inline
	Flächenmassebelegung (FMB)	Inline
	Oberflächengüte	Inline
Trocknen:	Schichtdicke (trocken)	Inline
	Restfeuchte der Elektrode	Inline
	Adhäsionskräfte	Offline

Tabelle 11 Zuordnung Qualitätskennwerte

2. der wichtigsten Positionen des zahlenmäßigen Nachweises

Entsprechend der Projektorganisation wurden durch die Jonas & Redmann AT GmbH 5 Querschnittspakete unterteilt in 10 Arbeitspaketen über einen Zeitraum von 15 Monaten bearbeitet. Neben Eigenleistungen wurden ein Teil der Arbeiten im Unterauftrag durch JRT, ein 100%iges Tochterunternehmen von Jonas & Redmann, erbracht. Die F&E-Ergebnisse sind vollständig dem Unternehmen Jonas & Redmann Automationstechnik GmbH für das S-ProTrak-Projekt zur Verfügung gestellt worden.

Zum Abschluss der Projektphase wurde eine kostenneutrale Verlängerung des Projekts um 3 Monate bewilligt. In dieser Zeit wurden weitere Untersuchungen zur „nass auf nass“-

Beschichtung durchgeführt, um an daraus gefertigten Referenzzellen Langzeitzyklenversuche über min. 300 Zyklen abzuschließen. Darüber hinaus wurden postmortem-Untersuchungen zu Alterungsphänomenen beendet.

3. der Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit

Das zum Themenfeld "ELEKTRO POWER" des BMWi zugeordnete Verbundprojekt S-ProTrak untersuchte eingehend den derzeitigen Stand der Li-Batterieherstellung und leitete daraus Konzepte für eine wettbewerbsfähige Produktionstechnik und -technologie für eine effizientere Elektrodenfertigung ab. Ausgehend von bewährter Anlagentechnik wurden innovative Prozessschritte der Separatorpastenherstellung, -beschichtung und -trocknung integriert und mit der erforderlichen Überwachung der Keyprozessparameter verbunden. Mit der Umsetzung dieser Konzepte ist eine Steigerung der Effizienz der LIB-Produktion durch die Verringerung der Fehlerrate und Produktionskosten und durch die Erhöhung der Qualität durch verbesserte Prozessüberwachung verbunden. Eine exakte Abschätzung ist mangels prototypischer Realisierung nicht fundiert möglich. Alleine im Bereich der Trocknung gehen wir von einem Energieeinsparungspotenzial i. H. v. ~20-30% aus.

Dieses Konzept ist in der Kapazität skalierbar entsprechend des Bedarfs an LIB parallel zur Markterweiterung für Elektrofahrzeuge und weiterer großtechnischer Anwendungen.

4. des voraussichtlichen Nutzens, insbesondere der Verwertbarkeit des Ergebnisses im Sinne des fortgeschriebenen Verwertungsplans

Die dargestellten und erzielten Ergebnisse der einzelnen Querschnittspakete ermöglichen die effiziente und kostengünstige Herstellung von Li-Ionenbatterien. Die Umsetzung der innovativen Prozessschritte im großtechnischen Maßstab stellt somit einen Marktvorteil gegenüber der gegenwärtig gängigen Technologie dar hinsichtlich der Prozesssicherheit, Prozessüberwachung und somit der Effektivität und Kosten.

Die Kernpunkte der dargestellten Innovationen sind:

1. Die direkte Separatorbeschichtung des Elektrodenmaterials mit einer keramischen Separatorslurry mit dem Slot Die Verfahren. Damit kann die Bearbeitung der herkömmlichen Separatorfolie (Handling, Cutting) ersetzt und damit verbundene Prozessfehlerquellen (elektrostatische Aufladung, Partikelbelastung, u.ä.) vermieden werden.
2. Die hocheffiziente Trocknung der Separatorschicht mit diffusionsoptimierten Konvektionstrocknerelementen der Fa. FMP. Diese Trocknerelemente reduzieren den Energieverbrauch drastisch bei reduziertem Platzbedarf für die Trocknerstrecken in Hochdurchsatzlinien.
3. Die Konzeptionierung einer Hochdurchsatzlinie unter Einbeziehung der o.g. innovativen Prozessschritte und der Implementierung der nötigen Prozessüberwachung der Key-Parameter mittels der evaluierten Inline-Messtechnik.

Eine mögliche Verwertung der Ergebnisse ist nur sinnvoll in Kooperation mit einem industriellen Zellfertiger oder/und einem Anwender. Ziel dabei wäre es, einen industriell nutzbaren Demonstrator für die Produktionsschritte Coil- Abwickeln, Elektrodenbeschichtung, Trocknung, Kalandrierung, Coil-Aufwickeln für ein zu definierendes Zellformat zu konstruieren und aufzubauen. In dieser Anlage enthalten sind die innovativen Schritte Separatorbeschichtung, Pastenherstellung und diffusionsoptimiertes Konvektionstrocknen. Dieser Prototyp muss das im S-ProTrak erstellte Konzept hinsichtlich Prozessfähigkeit, Durchsatz und Qualität demonstrieren.

5. des während der Durchführung des Vorhabens dem ZE bekannt gewordenen Fortschritts auf dem Gebiet des Vorhabens bei anderen Stellen

Im Bereich der Produktionstechnik sind keine Fortschritte bekannt geworden, die eine Fertigung von Verbänden aus Separatoren und Elektroden betreffen.

6. der erfolgten oder geplanten Veröffentlichungen des Ergebnisses nach Nr.11

Veröffentlichungen aus dem Projekt sind bislang im Rahmen der Hannover Messe 2014 und auf der Konferenz „Batterieforum Deutschland“ vom 21-23.01.2015 in Form von Messeständen und Postern erfolgt.