
Öffentlicher Schlussbericht

ZE:

MICRO-EPSILON-MESSTECHNIK GmbH & Co. KG
Königbacher Str. 15
94496 Ortenburg

Förderkennzeichen:

03EI3007D



Vorhabenbezeichnung: OPTIBATT*Gesamtvorhaben*

OPTIBATT – Optimierte Messmethoden zur Fehlerreduktion in der Batterieproduktion

Teilvorhaben

Optische und kapazitive Messtechnik

Laufzeit des Vorhabens:

01.11.2019 - 31.10.2022

Berichtszeitraum:

01.11.2019 - 31.10.2022

Antragsteller

MICRO-EPSILON MESSTECHNIK GmbH & Co. KG,
Königbacher Str. 15 | 94496 Ortenburg | Deutschland

Projektleitung: Dipl.-Inform. Univ. Robert Wagner

Leiter Entwicklung 2D/3D Optische Messtechnik

Tel.: +49 8542 168-320 | Fax: +49 8542 168-90

Robert.Wagner@micro-epsilon.de

Autoren: Franz Hochwimmer, Julian Kasberger, Konstantin Kuligin, Norbert Reindl, Thomas
Sonnleitner, Robert Wagner

Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autoren.

Gefördert durch:



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Energie

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Inhalt

1	Kurze Darstellung	3
1.1	Aufgabenstellung.....	3
1.2	Voraussetzungen, unter denen das Projekt durchgeführt wurde	3
1.3	Planung und Ablauf des Vorhabens	4
1.4	Stand der Wissenschaft und Technik	4
1.5	Zusammenarbeit mit Projektpartnern	5
2	Einhergehende Darstellung	6
2.1	Verwendung der Zuwendung und Ergebnisse im Hinblick auf Projektziele.....	6
2.2	Wichtigste Positionen des zahlenmäßigen Nachweises.....	7
2.3	Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit.....	7
2.4	Voraussichtlicher Nutzen und Verwertbarkeit.....	8
2.5	Wesentliche Fortschritte durch Dritte	8

1 Kurze Darstellung

1.1 Aufgabenstellung

Zusammen mit den Projektpartnern sollte in OPTIBATT eine Reduktion der Fehlermöglichkeiten bei der Batteriezellenproduktion entwickelt werden. Durch den geringeren Ausschuss lassen sich sowohl die Wirtschaftlichkeit als auch die Umweltverträglichkeit der Produktionsverfahren verbessern. Im Projekt wurde zuerst ein möglichst vollständiger und systematischer Fehlerkatalog erstellt. Dieser resultiert aus der im Konsortium vorhandenen Erfahrung in der Elektrodenherstellung in Kombination aus der Recherche von bekannten Fehlerbildern. Nachfolgend wurden die Fehler anhand ihrer Häufigkeit im regulären Herstellungsbetrieb gewichtet und die wichtigsten dieser Fehlerbilder gezielt im Labor hergestellt. Die erzeugten Fehlerbilder dienten als Grundlage zur Entwicklung neuartiger Methoden zum echtzeitfähigen Erkennen und Zuordnen der entsprechenden Fehlerzustände. Nach einem erfolgreichen Einsatz der Messverfahren im off-line Betrieb wurden diese zunächst auf einer Umwickelstation getestet (TRL 5). Nachdem die Einsatztauglichkeit sichergestellt war, konnte die Sensorik in den Rolle-zu-Rolle-Betrieb integriert (TRL 6) und dessen Wirksamkeit durch Elektroden in Testzellen quantifiziert werden.

1.2 Voraussetzungen, unter denen das Projekt durchgeführt wurde

Die HAW konnte für die Arbeiten in OPTIBATT auf die in zahlreichen vorangegangenen Projekten entstandene Expertise in der Lithium-Ionen Zellherstellung sowie Zellforschung zurückgreifen. Das am Technologiezentrum Energie vorhandene nasschemische Labor, das Analytik-Labor, die teilautomatische Zellfertigungsanlage und die Zelltesträume erlaubten es, sämtliche notwendigen Produktionsschritte abzubilden. Prof. Dr. Pettinger konnte hierbei sein umfangreiches Know-How aus der industriellen Zellfertigung mit einfließen lassen. Das Projekt OPTIBATT wurde neben der HAW als akademischen Partner durch mehrere Industriepartner bearbeitet, welche hohe Kompetenzen in der Beschichtung, Elektrodenherstellung und der Mess- und Anlagentechnik aufweisen.

Tabelle 1: Konsortium des Projektes OPTIBATT

Partner	Abkürzung
Hochschule für Angewandte Wissenschaften Landshut Technologiezentrum Energie, Ruhstorf a. d. Rott	HAW
VARTA Microbattery GmbH, Ellwangen (Jagst) – Projektkoordinator	VARTA
LACOM GmbH, Lauchheim	LACOM
MICRO-EPSILON Messtechnik GmbH & Co. KG, Ortenburg	ME

1.3 Planung und Ablauf des Vorhabens

Die den Projektablauf kontrollierenden drei Meilensteine waren zu erfüllen:

- M1 (Ursprünglich Projektjahr 1, Ende Q1): Lastenheft als Ergebnis der Spezifikationsphase erstellt, Kick-Off erfolgt
- M2 (Ursprünglich Projektjahr 1, Ende Q4): „Proof of concept“ für beide Messverfahren off-line erfolgreich
- M3 (Ursprünglich Projektjahr 2, Ende Q3): Integration der Messtechnik in Rolle-zu-Rolle-Prozess abgeschlossen

Mit dem Lastenheft in Meilenstein 1 konnte nach anfänglichen Verzögerungen im Laborbetrieb erst ab dem 1. Quartal 2020 begonnen werden. Anschließend wurde M1 zum 10.08.2020 vollumfänglich erfüllt. Der zweite Meilenstein M2 wurde im ersten Halbjahr 2021 durch die Zusammenarbeit von Micro-Epsilon und der HAW erfolgreich abgeschlossen.

Aufgrund der in der Zeit ab Februar 2021 weitreichend geltenden COVID-Maßnahmen konnten nachfolgende Laborarbeiten nur eingeschränkt durchgeführt werden. Diese COVID-Problematik verzögerte auch den Einbau der Sensorik im hauseigenen Beschichter bei VARTA. Damit der Meilenstein M3 erfolgreich abgeschlossen werden konnte, wurde unter Mitwirkung aller Projektpartner ein neuer Projektplan erstellt und eine Projektverlängerung um 6 Monate bis zum 30. April 2022 beantragt und genehmigt. Auch die Durchführung der einzelnen Arbeitspakete war von den Auswirkungen der Pandemie betroffen, weshalb sich nach eingehender Besprechung unter den Partnern der Konsens gebildet hat, eine weitere Verlängerung der Projektlaufzeit zu beantragen. Durch diese vom Projektträger ebenfalls bewilligte kostenneutrale Verlängerung um zusätzliche 6 Monate bis zum 31.10.2022 konnte das Projekt zu einem erfolgreichen Abschluss sämtlicher Arbeitspakete gebracht werden.

1.4 Stand der Wissenschaft und Technik

Die sehr genaue Einstellung der Beschichtungsdicke ist von großer Bedeutung für die Leistungsfähigkeit und Langlebigkeit der Batterie. Bei einer falschen Beschichtungsdicke werden im schlechtesten Fall Innenvolumen und Energiedichte verschwendet. Es muss eine exakte Balancierung zwischen Anode und Kathode stattfinden, um einen optimalen Betrieb der Batterie zu gewährleisten. Je genauer die Messung ist, desto genauer kann auch die Beschichtungsdicke eingestellt werden. Bis dato ist kein Verfahren mit einer so hohen Genauigkeit bekannt. Inline-fähige Oberflächeninspektion mittels Lasertriangulation und kapazitive Schichtdickenmessung sind in der Batterieindustrie noch nicht etabliert. Eine 100 % Oberflächenkontrolle bei Elektroden ist noch nicht bekannt.

1.5 Zusammenarbeit mit Projektpartnern

Unter den Projektpartnern fand neben den halbjährlichen Konsortialtreffen unter Einbeziehung des Projektträgers ein regelmäßiger Austausch zum Projektfortschritt statt. Die fachlichen Diskurse sowie zahlreiche persönliche Treffen haben dazu beigetragen, das Know-How aller Projektpartner im Bereich der messtechnischen Fehlererkennung in der Batteriezellproduktion wesentlich zu verbessern.

2 Einhergehende Darstellung

2.1 Verwendung der Zuwendung und Ergebnisse im Hinblick auf Projektziele

Die einhergehende Darstellung zur Verwendung der Zuwendung und zu den Ergebnissen im Hinblick auf die Projektziele ist vertraulich. Sie kann bei Bedarf und nur bei berechtigtem Interesse bei der Micro-Epsilon Messtechnik GmbH und Co. KG angefordert werden.

2.2 Wichtigste Positionen des zahlenmäßigen Nachweises

Tabelle 2: Übersicht über bewilligte Mittel und tatsächliche Ausgaben

Positionsnr	Kostenpositionen	Bewilligung	Ist-Ausgaben
813	Material	49.340,94	55.047,59
823	FE-Fremdleistung	0,00	0,00
837	Personalkosten	468.496,54	549.621,31
838	Reisekosten	2.079,52	2.079,52
847	vorhabensspezifische Abschreibung	0,00	0,00
848	AfA sonstige	0,00	0,00
850	sonstige unmittelbare Vorhabenskosten	0,00	0,00
856	Kosten innerbetrieblicher Leistung	0,00	0,00
860	Verwaltungskosten	0,00	0,00
881	Selbstkosten des Vorhabens	519.917,00	606.748,42
882	Eigenmittel des Antragsstellers	259.959,00	346.790,42
883	Mittel Dritter/ Einnahmen	0,00	0,00
884	Zuwendung	259.958,00	259.958,00

Die geplanten Gesamtkosten wurden im Teilprojekt der Micro-Epsilon um insgesamt 16,7% gegenüber der ursprünglichen Planung überschritten. Die höheren Ausgaben ergeben sich vorwiegend aus den höheren Ausgaben in Bereich der Personalkosten und des Materials. Diese Erhöhungen sind insbesondere auf die verlängerte Projektlaufzeit und auf die Auswirkungen der Corona-Pandemie zurückzuführen. So wurde beispielsweise ein ursprünglich nicht vorgesehener, zweiter Aufbau der kompletten Messtechnik im Projekt umgesetzt, um auch in Zeiten von Zugangsbeschränkungen bei den Projektpartnern unabhängig davon sowohl bei Varta bzw. Lacom und Micro-Epsilon parallel weiterentwickeln zu können. Die entstandenen Mehrkosten wurden vollständig aus Eigenmitteln der Micro-Epsilon erbracht.

2.3 Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit

Durch den Hochlauf der Serienfertigung großer Stückzahlen von Lithium-Ionen-Batterien und der damit einhergehenden Zellfertigung in Deutschland steigt der Bedarf an Prozessmesstechnik signifikant an. Herausforderung hierbei sind die stetig steigenden Prozess-Geschwindigkeiten. Durch die damit verbundene kürzere Verweilzeit unter dem Messequipment ist eine genaue und schnelle

Charakterisierung der Fehlerbilder notwendig. Durch das im Konsortium vorhandene Know-How in der Batteriefertigung und einer Expertenbefragung bei Varta konnten die wichtigsten Fehlerbilder ermittelt werden. Diese wurden daraufhin im Labor absichtlich in die Beschichtungen eingefügt. Die daraus hergestellten Zellen unterliefen Zyklentests von 500 und 1000 Zyklen um die signifikante Mindest-Größe der einzelnen zuvor ermittelten Fehlertypen mit Einfluss auf die Zellperformance zu ermitteln. Mit diesen Daten konnte die notwendige Auflösung respektive Genauigkeit für die inline-Prozessmesstechnik ermittelt werden.

Bei der Entwicklung der inline-Messtechnik stellte sich das Problem der genauen Bandführung vor dem Sensor. Dies wurde durch ein speziell entwickeltes Luftlager gelöst. Hierdurch konnten die Industriepartner wertvolle Erkenntnisse zur Integration der Messtechnik in die Fertigungs-Prozesse nebst den notwendigen Feinheiten der peripheren Anlagentechnik gewinnen.

2.4 Voraussichtlicher Nutzen und Verwertbarkeit

Wie in Abschnitt 2.3 erläutert, ist eine Inline-Messtechnik zur Echtzeiterfassung für den Hochlauf der Massenfertigung von Lithium-Ionen-Zellen zwingend erforderlich. Die in OPTIBATT entwickelte Technologie stellt einen signifikanten Wettbewerbsvorteil dar, da weniger Ausschuss in der Produktion anfällt und hiermit Prozesskosten, Energiekosten und Entsorgungskosten eingespart werden können. Darüber hinaus sind ein ressourcenschonenderes Arbeiten und eine geringere Umweltbelastung durch bedenkliche Chemikalien zu erwarten, da durch eine genauere Prozessführung potentiell weniger Lösungsmittel im Prozess eingesetzt werden können. Im Analytik-Labor der HAW Landshut wurde ein Verfahren in Kombination mit der kapazitiven Sensorik von Micro-Epsilon, einer Vakuumplatte und dem Steuerungscomputer errichtet. Diese hochgenaue Messtechnik ermöglicht es, die exakte Schichtdicke einzelner Elektroden bis zu einer Größe von 100 x 100 mm zu ermitteln und so die Zellqualität der im Labor gefertigten Zellen zu erhöhen und die Batteriezellforschung voranzutreiben. Durch die Forschungsarbeiten konnten die Projektpartner wichtige Industrieaufträge gewinnen.

2.5 Wesentliche Fortschritte durch Dritte

Nach Kenntnisstand der Projektpartner liegen seit dem Zeitpunkt des Projektantrags neue relevante Ergebnisse zur Oberflächeninspektion von Elektroden vor. Im Oldenbourg Wissenschaftsverlag wurde am 15. Juni 2021 ein Paper zur Hochgeschwindigkeits-Inline-Inspektion von Batterieelektroden mittels photometrischem Stereo veröffentlicht.¹ Hierbei wird ein optisches Inspektionssystem vorgestellt, welches Defekte in der Beschichtung erkennen soll. Das Teilsystem zur Messung besteht aus einer

¹ <https://www.degruyter.com/document/doi/10.1515/teme-2021-0024/html>

Kamera, die das Elektrodenmaterial von oben betrachtet, während es abwechselnd von vier Lichtquellen beleuchtet und von einem optischen Encoder gemessen wird. Der Aufbau unterscheidet sich dahingehend also grundlegend von der in OPTIBATT verwendeten Sensorik. Eine weitere Methode wurde im online Journal Manufacturing Letters am 15.11.2022 veröffentlicht.² In dieser Studie wird eine neuartige Röntgenfluoreszenz (XRF)-Methode für die Qualitätsprüfung von dünnen Li-Anoden vorgeschlagen. Diese Art der Elektrodenanalyse kann verwendet werden, um die Dicke der Beschichtung im Inline Betrieb kontaktfrei zu bestimmen. Die Machbarkeitsstudie muss sich allerdings noch abseits der Laborergebnisse im industriellen Maßstab beweisen. Weitere Tests in einer Rolle-zu-Rolle-Beschichtungsanlage stehen daher noch aus.

Die unterschiedlichen Lösungsansätze zeigen deutlich: Die Forschung und Entwicklung der Oberflächenkontrolle in der Elektrodenbeschichtung trifft den Zahn der Zeit.

² <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2213846322002000?via%3Dihub>

Berichtsblatt

1. ISBN oder ISSN	2. Berichtsart (Schlussbericht oder Veröffentlichung) Schlussbericht	
3. Titel OPTIBATT – Optimierte Messmethoden zur Fehlerreduktion in der Batterieproduktion		
4. Autor(en) [Name(n), Vorname(n)] Hochwimmer, Franz Kasberger, Julian Kuligin, Konstantin Reindl, Norbert Sonnleitner, Thomas Wagner, Robert	5. Abschlussdatum des Vorhabens 31.10.2022	
	6. Veröffentlichungsdatum	
	7. Form der Publikation Sonstiges	
8. Durchführende Institution(en) (Name, Adresse) MICRO-EPSILON-MESSTECHNIK GmbH & Co. KG Königbacher Str. 15 94496 Ortenburg	9. Ber.-Nr. Durchführende Institution T450877	
	10. Förderkennzeichen 03EI3007D	
	11. Seitenzahl 9	
12. Fördernde Institution (Name, Adresse) BMWK	13. Literaturangaben -	
	14. Tabellen 2	
	15. Abbildungen 0	
16. DOI (Digital Object Identifier)		
17. Vorgelegt bei (Titel, Ort, Datum) Forschungszentrum Jülich GmbH, 27.06.2023 Technische Informationsbibliothek, 27.06.2023		
18. Kurzfassung Zusammen mit den Projektpartnern sollte in OPTIBATT eine Reduktion der Fehlermöglichkeiten bei der Batteriezellenproduktion entwickelt werden. Dabei wurden verschiedene optische und kapazitive In-Line-Messtechniken sowie eine kapazitive statische Messtechnik auf ihre Tauglichkeit an beschichteten Elektroden erprobt. Eine Kombination aus Recherchearbeiten und der im Projektkonsortium vorhandenen Erfahrung im Bereich der Elektrodenherstellung wurde zur Erstellung eines Fehlerkatalogs verwendet. In einer Expertenbefragung unter besonderer Einbindung des Projektpartners Varta konnten anschließend die wichtigsten und am häufigsten verbreiteten Fehlerbilder ermittelt werden. Diese Fehlerbilder wurden dann im Labor der HAW gezielt erzeugt und anhand einer Zellserie deren Performance analysiert. Währenddessen wurden beschichtete Fehlerelektroden Micro-Epsilon zur Verfügung gestellt welche dadurch die passende Sensortechnik zur In-Line-Überwachung ermitteln konnten. Danach erfolgte ein Einbau der Messtechnik am hauseigenen Beschichter der Hochschule Landshut. Währenddessen konnte der Projektpartner LACOM eine Umwickel-Station konstruieren, an der zur Präqualifikation die verbesserte Iteration der In-Line Sensorik erprobt wurde. Nach erfolgreicher Qualifizierung erfolgte der finale Einbau des Messequipments in die Testlinie des Partners Varta. Als Projektergebnis lässt sich feststellen, dass die Einwirkungen der gezielt erstellten Fehler entgegen der Erwartungen weniger Einfluss auf die Zellperformance besitzen als ursprünglich vermutet. Micro-Epsilon hat erfolgreich ihre Messtechnik so weiterentwickelt, dass diese in eine Zellfertigungsanlage integriert werden kann und eine Überwachung der Elektrodenqualität bei derzeit in der Industrie üblichen Prozessgeschwindigkeiten ermöglicht wird.		
19. Schlagwörter Lithium-Ionen Batterien, Zellfertigung, Elektroden, Elektrochemie, Zelloptimierung		
20. Verlag	21. Preis	

Nicht änderbare Endfassung mit der Kennung 2024180-4