

Institut für Werkzeugmaschinen und Betriebswissenschaften

Prof. Dr.-Ing. Michael Zäh | Prof. Dr.-Ing. Gunther Reinhart | Technische Universität München | www.iwb.tum.de

Forschungsproduktionslinie für Lithium-Ionen-Zellen

Nach drei Jahren Aufbauarbeiten ist am iwb die komplette Prozesskette zur Herstellung von Lithium-Ionen-Zellen abgebildet, und das sowohl für Hardcase-Zellen als auch für Pouchzellen. Damit steht den Forscherinnen und Forschern des iwb industrietaugliche Anlagentechnik für die Produktionsforschung für Batteriezellen zur Verfügung.

Die Energiewende und der Trend zur Elektromobilität erfordern effiziente und kostengünstige Energiespeicher. Eine mittelfristig sehr aussichtsreiche Lösung stellen elektrochemische Speicher auf Basis der Lithium-Ionen-Technologie dar. Entsprechende aktuelle Batteriesysteme sind hinsichtlich ihres Preises, ihrer Energiedichte oder ihrer Lebensdauer nicht auf dem Niveau, das langfristig für den Erfolg von Elektrofahrzeugen angestrebt werden muss. Auch den Anforderungen, die an stationäre Energiespeicher gestellt werden, genügen sie noch nicht.

Produktion von Batteriezellen

Die Verbesserung der Produktionsverfahren von Batteriezellen und der Aufbau von Prozessverständnis können einen erheblichen Beitrag zur Erreichung der gesteckten Ziele leisten, da die Produktion auf die Kosten und die Qualität von Batteriezellen einen erheblichen Einfluss hat. Auf der anderen Seite ist die Prozesskette der Zellherstellung sehr komplex und ohne eine umfassende Betrachtung nur schwer zu untersuchen. Aus diesen Gründen ist die wissenschaftlich fundierte Betrachtung

der gesamten produktionstechnischen Prozesskette von höchster Bedeutung.

Historie der Produktionsforschung für Batteriezellen am iwb

Der Grundstein für die Batteriefor- schung am iwb wurde 2010 mit dem Projekt „DeLIZ“ gelegt. Im Rahmen dieses vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) geförder- ten Projektes wurden das Konfektionieren der Elektroden durch Laserstrahl- schneiden und der Aufbau eines Zell- stapels mittels Z-Falten wissenschaft- lich untersucht. Um realistische Rah- menbedingungen zu erreichen, wurde ein Trockenraum aufgebaut. Die Ein- flüsse der Produktionsparameter konn- ten jedoch nur auf Zwischenprodukt- merkmale, nicht aber auf die Qualität

EDITORIAL

Liebe Leserinnen und Leser,

Sie haben es bereits längst gemerkt: Ressourcenschonung und Ressourceneffizienz sind dem iwb und der Fraunhofer-Projektgruppe RMV mit Sitz in Augsburg ein besonderes Anliegen. Bei letzterer findet sich die Ressourceneffizienz sogar im Namen wieder. Vor dem Hintergrund des für Deutschland für das Jahr 2022 beschlossenen Ausstiegs aus der Kernenergie gewinnen die Effizienz der Nutzung des elektrischen Stromes sowie die Speichertechnik für elektrische Energie weiter an Bedeutung und Interesse.

Erinnern wir uns zurück: Der Atomausstieg war am 14. Juni 2000 durch eine Vereinbarung zwischen der damaligen Bundesregierung und den Stromkonzernen über die Restlaufzeiten der AKWs beschlossen worden, wobei die Restlaufzeiten der Kernkraftwerke relativ lang bemessen waren. Das Reaktorunglück von Fukushima erbrachte eine erhebliche Beschleunigung der Entwicklung: den endgültigen Ausstieg aus der Kernenergie auf der Basis eines breiten gesellschaftlichen Konsens innerhalb von nur elf Jahren.

Die ist ein enorm mutiger Schritt für eine Volkswirtschaft und eine Industrie-Gesellschaft wie die deutsche! Welche Industriegesellschaft hat jemals zuvor einen solch wegweisenden und herausfordernden



Schritt getan – den freiwilligen Verzicht auf eine über Jahrzehnte genutzte und weiterhin verfügbare Energiequelle?

In welcher Situation sind wir damit? Wir sind gewissermaßen zur Ressourceneffizienz, die aber nur durch Innovation erreicht werden kann, gezwungen. Wir sind davon überzeugt, dass von diesem Schritt ein enormer Innovationsschub für Deutschland ausgehen wird. Aufgrund der gewaltigen Forschungsanstrengungen, die derzeit unternommen werden, werden wir über die notwendigen Technologien für Ressourceneffizienz verfügen und diese exportieren können, wenn andere Länder erst so richtig das Nachdenken anfangen und zu verstehen beginnen. Dies wird uns langfristig in eine weltweit führende Position auf diesem Sektor bringen.

Was sind die nächsten Schritte? Wir setzen für die Zukunft sehr intensiv auf Wind- und Solarenergie. Die

Verfügbarkeit dieser Energiequellen unterliegt jedoch den von der Tageszeit und der Witterung abhängigen Schwankungen. Um dennoch, wie bisher gewohnt, in den Unternehmen der privaten Wirtschaft mehrschichtig produzieren zu können, sind Energiespeicher entsprechender Kapazität notwendig, um Energieangebot und -bedarf miteinander abgleichen zu können. Lesen Sie in diesem Newsletter, welche vielfältigen Beiträge das iwb und die Fraunhofer RMV zur Erforschung von Produktionstechnologien für die Speicherung elektrischer Energie auf der Basis von Lithium-Ionen-Zellen leisten – von der Elektrodenherstellung über deren Qualitätssicherung bis hin zur Elektrolytbefüllung. Bei weitem nicht nur für Elektrofahrzeuge ist dies wichtig, sondern auch in stationärer Form zum oben angesprochenen Zweck. Vielleicht werden unsere Elektroautos, von denen es dem Wunsch der Bundesregierung folgend im Jahre 2020 auf Deutschlands Straßen schon eine Million geben soll, in diesem Sinne als viele kleine Energiespeicher genutzt werden können.

Herzlichst

Ihr

Gunther Reinhart

Michael F. Zäh

Prozesskette der Zellherstellung



des Endprodukts untersucht werden. Dieses Manko sollte das Nachfolgeprojekt „ProLIZ“ beheben. Ziel von „ProLIZ“ ist es, die Prozesskette für Hardcase-Zellen von der Elektrodenrolle bis hin zum Zelltest zu schließen.

Um eine hohe Reproduzierbarkeit und industrielle Übertragbarkeit sicherzustellen, wurden alle Kernprozesse automatisiert. Zur abschließenden Evaluierung der Produktqualität stehen 20 Testkanäle in Klimaschränken zur Verfügung. Kurz nach „ProLIZ“ startete das Projekt „ExZellTUM“, gefördert vom BMBF. In „ExZellTUM“ steht die TUM-interne Zusammenarbeit mit Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern der Elektrochemie, der Elektrotechnik und der Forschungsneutronenquelle Heinz Maier-Leibnitz im Vordergrund. Da in den wissenschaftlichen Arbeiten Pouchzellen betrachtet werden, wurde die Anlagentechnik der entscheidenden Prozessschritte flexibel für beide Zelltypen ausgelegt. Parallel zu „ProLIZ“ und „ExZellTUM“ wirkt das *iwb* im Forschungsprojekt „EEBat“ mit. Während erstere Projekte eine im Automobil einsetzbare Zelle betrachten, fokussiert „EEBat“ auf stationäre Energiespeichersysteme. Darüber hinaus erweitern diese Projekte die Prozesskette um die Elektrodenherstellung.

Neue Dimension der Produktionsforschung für Batteriezellen

Die genannten Projekte ermöglichten es, eine in Deutschland bisher einzigartige Forschungsproduktionslinie am *iwb* aufzubauen. Alle Prozesse vom Beschichten bis hin zum Zelltest sind

verfügbar – mit einem hohen Automatisierungsgrad bei gleichzeitiger Prozess- und Formatflexibilität – für Lithium-Ionen-Hardcasezellen sowie für -Pouchzellen. Nach drei Jahren der Aufbauarbeit wurde im März 2014 die erste Batteriezelle am *iwb* gefertigt.

Dank

Wir danken dem Bayerischen Staatsministerium für Wirtschaft und Medien, Energie und Technologie und dem Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) für die Förderung der Projekte DeLIZ, ProLIZ und ExZellTUM. Dem Projektträger Jülich sowie dem Projektträger Karlsruhe danken wir für die Betreuung.



Autoren

Dipl.-Ing. Thomas Knoche

Themengruppe Montagetechnik und Robotik



Dipl.-Ing. Markus Westermeier

Themengruppe Montagetechnik und Robotik

Elektrodenherstellung

Die Elektrodenherstellung ist eine Schlüsseltechnologie innerhalb der Zellfertigung. Sie besteht aus zwei Kernprozessen, die einen maßgeblichen Beitrag zur Qualität und Funktion der Zelle leisten: Beschichten und Kalandrieren.

Eine Elektrode besteht aus einer Trägerfolie (Aluminium für die Kathode oder Kupfer für die Anode) und einer Leitpaste (Mischung aus Binder, Aktivmaterial und Lösungsmittel). Die Trägerfolie wird anhand unterschiedlicher Auftragsverfahren beschichtet, anschließend getrocknet und verdichtet (kalandriert). Zwischen den Schritten Beschichten und Kalandrieren sinkt die Schichtdicke um etwa zwei Drittel.

Herausforderungen

Innerhalb der Zellfertigung spielt die Elektrodenherstellung eine wesentliche Rolle. Die Zelleigenschaften können dann bewusst durch die Veränderung von bestimmten Stellgrößen beeinflusst werden. Beispielsweise können durch die Einstellung dickerer Schichten die Möglichkeiten zur Steigerung der Energiedichte innerhalb der Zelle untersucht werden.



Beschichtung der Kathode

Eine systematische Versuchsplanung ermöglicht im Forschungsprojekt „ExZellTUM“ die Untersuchung der Einflüsse der Elektrodenherstellung auf verschiedene nachfolgende Prozesse (z.B. Laserstrahltrennen der Elektroden, Elektrolytbefüllung) und auf die Zellqualität. Darüber hinaus ist der Einfluss zwischen der Qualität der Trägerfolien bzw. deren Sauberkeit und den Eigenschaften der Beschichtung zu bestimmen. Hierfür werden insbesondere Untersuchungen zur Vorbehandlung der Trägerfolie durchgeführt.

Anlagentechnik

Die Forschungsproduktionslinie des *iwb* bildet die komplette Prozesskette der Zellfertigung ab. Die dafür erforderlichen Anlagen teilen sich in Rein- und Trockenräume auf. Mit der Beschichtungsanlage und dem Kalandrierer beginnt

die Fertigung im Reinraum, um Verunreinigungen auf der Trägerfolie zu vermeiden. Hier können unterschiedliche Beschichtungstechnologien (Schlitzdüse, Rakel, usw.) erprobt werden. Anschließend ist der Kalandrierer mit einer Linienlast von 1000 N/mm in der Lage, inert getrocknete Elektroden mit bis zu 300 mm Breite zu verdichten. Die kalandrierte Elektrode kann schlussendlich in der Zellmontage im Trockenraum weiterverarbeitet werden.



Autoren

M. Eng. Nicolas Billot

Themengruppe Montagetechnik und Robotik



M. Eng. Till Günther

Themengruppe Montagetechnik und Robotik



Laserstrahlschneiden von Elektrodenfolien

Laserstrahlschneiden von Elektrodenfolien

Das Laserschneiden ist ein innovatives Verfahren zum Konfektionieren von Elektroden. Diese werden für den Herstellungsprozess von Lithium-Ionen-Zellen benötigt, welcher am *iwb* in einer industriennahen Produktionsanlage erforscht wird.

Für die Herstellung von Lithium-Ionen-Zellen werden Metallfolien beidseitig mit Aktivmaterial beschichtet. Dieses kontinuierliche Folienmaterial muss vor der Zellmontage konfektioniert werden. Hierfür kommen derzeit die Verfahren Stanzen und Scherschneiden zum Einsatz. Nachteile dieser Verfahren sind vor allem die kontinuierliche Abnutzung des Werkzeuges und die daraus resultierende Abnahme der Schnittkantenqualität im Verlauf der Zeit.

Als kontaktloses Verfahren bietet das Laserstrahlschneiden die Möglichkeit, variable Schnittgeometrien auf der Bearbeitungsfläche abzubilden und so flexibel unterschiedlichste Zellformen zu fertigen. Die Laserstrahlung verdampft das Material durch die eingebrachte Energie und ermöglicht über einen Fokusbereich von

50 µm einen lokal definierten Materialabtrag.

Forschungsschwerpunkte

Herausforderungen für diesen Prozess ergeben sich unter anderem durch die unterschiedlichen Werkstoffeigenschaften der einzelnen Bestandteile einer Elektrodenfolie. So verdampft die Beschichtung bereits bei einem deutlich kleineren Energieeintrag als die Metallfolie. Die auf diese Weise entstehende Entschichtung kann zu Kurzschlüssen innerhalb der Batteriezelle führen. Für eine gute Schnittkantenqualität ist daher eine geeignete Prozessstrategie im Hinblick auf den zeitlichen und räumlichen Energieeintrag entscheidend.

Weiterhin geht der Trend hin zur Produktion von immer dickeren Beschichtungen, um die spezifische Energie ei-

ner Batteriezelle zu erhöhen. Die zusätzliche Energie, die für deren Abtrag aufgewendet werden muss, führt zu einer größeren Wärmeeinflusszone. Gleichzeitig kann eine Beschädigung durch die beim Trennvorgang entstehenden Partikel, welche sich auf der Elektrodenoberfläche absetzen können, entstehen. Ein Forschungsschwerpunkt ist daher die Quantifizierung des Einflusses dieser Effekte auf die Qualitätsmerkmale der fertigen Zelle, um die Qualität zu maximieren.



Autor

M. Sc.
Patrick Schmitz

Themengruppe Füge- und Trenntechnik

GESTARTETE FORSCHUNGSPROJEKTE

Entwicklung, Herstellung und Prüfung topologieoptimierter Osteosynthesen (TOPOS)
01.03.2014–28.02.2017
Projektförderer: Bayerische Forschungsgemeinschaft

Laserstrahlschweißen von Karosseriebauteilen in Sichtnahtqualität
01.01.2014–30.04.2015
Projektförderer: Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG)

BaZMod – Bauteilgerechte Maschinenkonfiguration in der Fertigung durch Cyber-Physische Zusatzmodule
01.11.2013–30.10.2016
Projektförderer: BMBF

ZaktiSiLa – Konzeption und Entwicklung eines Prototyps einer zentralen aktiven Sicherheitseinrichtung zur Überwachung von Remote-Hochleistungs-Laserstrahlanlagen im industriellen Einsatz
01.03.2014–28.02.2016
Projektförderer: Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung e.V.

PROJEKTGRUPPE RESSOURCENEFFIZIENTE MECHATRONISCHE VERARBEITUNGSMASCHINEN (RMV)

- ▶ GRÜNDUNG
01.01.2009
- ▶ ZIELSETZUNG
Aufbau eines eigenständigen Fraunhofer-Instituts am Standort Augsburg
- ▶ AUFBAUPHASE
Gemeinsames Wachstum mit dem *iwb* Anwenderzentrum über 5 Jahre
Ausbauziel: 25 wissenschaftliche Mitarbeiter/innen



Die Projektgruppe RMV wird administrativ vom etablierten produktionstechnischen Fraunhofer-Institut für Werkzeugmaschinen und Umformtechnik IWU in Chemnitz betreut.

Die Zusammenarbeit mit dem *iwb* stellt die Verankerung der Standorte Augsburg und Garching sowie die Kooperation mit der Technischen Universität München sicher.

Handhabung in der Batteriezellenfertigung

Um die für industrielle Batteriezellen vorgegebenen Ziele einer Mindestlebensdauer von 10 Jahren und 2000 Ladezyklen sicherzustellen, sind hochentwickelte anforderungsspezifische Fertigungs- und Montageprozesse nötig. Dabei kommt es insbesondere auf deformationsarme, beschädigungsfreie und exakte Montagevorgänge an, um die Funktionsfähigkeit und Sicherheit über den gesamten Einsatzzeitraum gewährleisten zu können.

Bei der Montage von Batteriezellen stellt die Handhabung einen wichtigen Prozessbaustein dar. Produktabhängig fällt für die Montage der Einzelteile, welche etwa 40 bis 60 % der Gesamtfertigungszeit beansprucht, ungefähr die Hälfte der Herstellkosten an. Dies zeigt, dass durch Verbesserung der Handhabungsvorgänge umfassende Kosteneinsparungen erreicht werden können.

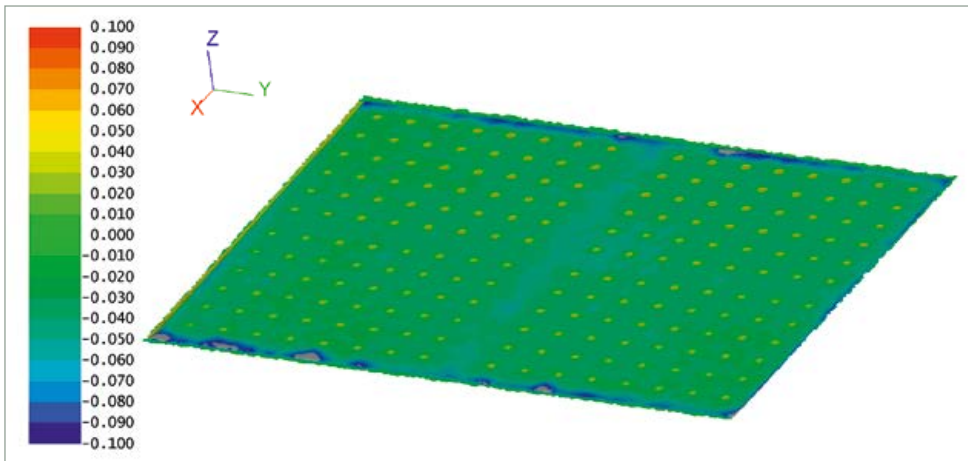
durchlässigen Trennschichten zwischen den Elektroden dar. Diese sogenannten Separatoren sind aufgrund der nur wenigen Mikrometer betragenden Dicke äußerst forminstabil.

Infolge dessen sind sie mechanisch kaum beanspruchbar und bedürfen somit anforderungsspezifischer Handhabungsgeräte. Eine weitverbreitete Lösung dafür stellt die Handhabung des

mehreren Greifapparaten durchgeführt, um ein grundsätzliches Verständnis für das Zusammenspiel zwischen Separator und Greifer zu entwickeln. Auf Basis dieses Wissens wurde ein modularer Greifer entwickelt, um sowohl verschiedene Vakuumerzeugungsarten als auch Lochplatten systematisch hinsichtlich ihrer Einflüsse auf den Prozess zu untersuchen. Des Weiteren wurde untersucht, inwieweit durch geschickte Materialwahl auf Greiferseite die bei Separatoren ausgeprägte Neigung zur elektrostatischen Aufladung verhindert werden kann.

Ergebnisse werden verfeinert

Die Ergebnisse der Versuche zeigen, dass insbesondere die Art der Vakuumerzeugung einen großen Einfluss auf die Beschädigung des Separators hat. Coandaelemente reduzieren im Vergleich zu anderen Vakuumquellen deutlich die Einsaugtiefe, was sich gleichermaßen positiv auf die Ablegezeit auswirkt. Bei der Materialwahl des Greifers konnte gezeigt werden, dass bei Materialien, die dem Separator gleich sind (Polypropylen), deutliche Verbesserungen im Hinblick auf die elektrostatische Aufladung realisiert werden können. Eine wichtige Beobachtung stellt auch dar, wie groß die Unterschiede der verschiedenen Separatoren bezüglich der oben geschilderten Phänomene sind. Dies bedeutet, dass es nicht „einen“ besten Separatorgreifer gibt, sondern vielmehr der Greifer auf den Separator abgestimmt werden muss. Diese Auswahl weiter zu verfeinern wird das Ziel weiterer Untersuchungen sein. Neue Möglichkeiten ergeben sich auch aus der neu aufgebauten Zellproduktionslinie, da erstmals auch Aussagen möglich sein werden, welche Auswirkungen auf die fertige Zelle durch Handhabungsschäden wirklich zu erwarten sind.



Einzugsverhalten eines Separators bei Verwendung einer Vakuumlochplatte



Abblendeverhalten eines Separators unter Elektrostatikeinfluss

Zellstapel von zentraler Bedeutung

Speziell die Montagevorgänge bei der Zellstapelbildung (dem schichtweisen Stapeln von Elektroden und Separatoren) bieten enormes Verbesserungspotenzial, da hierbei die Qualitätseigenschaften und Produktionskosten einer Lithium-Ionen-Batterie wesentlich bestimmt werden. Eine große Herausforderung stellt in diesem Zusammenhang die beschädigungs- und verunreinigungsfreie Handhabung der Ionen-

Separators mittels einer vakuumbeaufschlagten Lochplatte dar.

Umfangreiche Untersuchungen

Die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler am iwv verfolgen aktuell das Ziel, potenzielle Einflussfaktoren auf den Handhabungsprozess von Separatoren beim Einzelblattstapeln von Lithium-Ionen-Zellen zu identifizieren und zu bewerten. Dafür wurden in einer ersten Versuchsreihe Untersuchungen mit



Autoren

Dipl.-Ing. Johannes Schmalz

Themengruppe Montagetechnik und Robotik



Dipl.-Ing. Jakob Kurfer

Mitglied der Institutsleitung



Um den Austritt von Elektrolytflüssigkeit und Dämpfen zu verhindern, befindet sich die Anlagentechnik innerhalb einer abgesaugten Umhausung.

Elektrolytbefüllung großformatiger Lithium-Ionen-Zellen

Während des Lade- und Entladevorganges wandern innerhalb der Zelle die namensgebenden Lithium-Ionen zwischen Anode und Kathode. Dafür benötigen die Ionen ein Transportmedium – die Elektrolytflüssigkeit. Die vollständige Benetzung von Separatoren und Elektroden mit der Flüssigkeit ist also Voraussetzung für die Funktion der Zelle. Was im ersten Moment trivial erscheint, ist tatsächlich eine der größten Herausforderungen in der Produktion von Lithium-Ionen-Zellen.

Je größer die Batterie wird, desto größere Flächen müssen benetzt werden. Somit gewinnt die Befüllung mit zunehmender Größe der Batterie an Bedeutung. Um eine komplette Benetzung aller Zellschichten ohne jegliche Gaseinschlüsse bis in die kleinste Pore sicherzustellen, werden zeitintensive Vakuumprozesse angewandt.

Die Befüllung kann in zwei Teilprozesse aufgeteilt werden. Im ersten Teilprozess, hier als Dosierung bezeichnet, wird die Elektrolytflüssigkeit in das Zellgehäuse gegeben. Stand der Technik sind Dosierungsverfahren in Unterdruckatmosphäre. Durch den niedrigen Druck soll im weiteren Verlauf die Aufnahme der Flüssigkeit in die Poren der Zellschichten unterstützt werden. Bei einer Zelle mit einer Kapazität von 5 Ah dauert das Dosieren wenige Minuten. Der zweite Schritt wird als Wetting bezeichnet und beschreibt die Aufnahme der Elektrolytflüssigkeit durch den Zellstapel. Um das Wetting zu unterstützen, wird die Zelle mehrere Stunden lang warm

gelagert oder zyklisch bewegt. Beide geschilderten Prozesse wurden bisher wissenschaftlich kaum betrachtet. Ein ausgeprägtes Prozessverständnis ist jedoch Voraussetzung für die gezielte Optimierung der Befüllung. Wissen aus anderen technischen Befüllungsprozessen lässt sich aufgrund der speziellen Randbedingungen der Batterietechnik nur eingeschränkt auf die Herstellung von Lithium-Ionen-Zellen übertragen.

Ziel der Arbeiten am iwB ist daher der Aufbau von Prozessverständnis, um zu identifizieren, wie im Rahmen der Produktionstechnik die Befüllung von Lithium-Ionen-Zellen mit Elektrolytflüssigkeit hinsichtlich Qualität, Durchlaufzeit und Kosten optimiert werden kann. Neben der theoretischen Betrachtung der Benetzung soll dieses Ziel vor allem durch experimentelle Untersuchungen erreicht werden.



Autor

**Dipl.-Ing.
Thomas Knoche**

Themengruppe
Montagetechnik und
Robotik

NEUE MITARBEITER

Garching

M. Eng. Nicolas Billot
M. Eng. Till Günther
Dipl.-Ing. (Univ.) Martin Haubold
M. Sc. Sven Hawer
M. Sc. Robin Kleinwort
M. Sc. Stefan Liebl
Dipl.-Ing. Michael Seebach
Dipl.-Wirtsch.-Ing. (Univ.)
Susanne Vernim

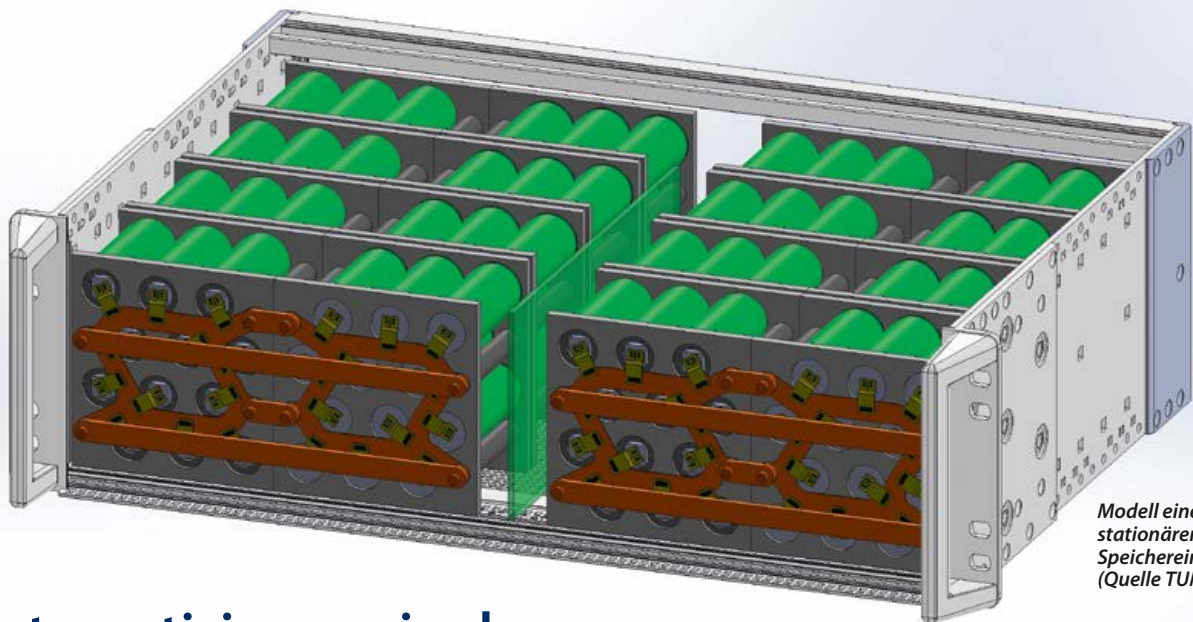
AUSGESCHIEDENE MITARBEITER

Garching

Dipl.-Ing. Kai Magenheimer
Dipl.-Ing. Andreas Hees
Dipl.-Ing. Stefan Hüttner
Dipl.-Ing. Jan Musiol
Dipl.-Ing. Sebastian Schindler

Augsburg

M. Sc. (TUM), Dipl.-Ing. (FH)
Toni Adam Krol



Modell einer stationären Speichereinheit (Quelle TUM EES)

Automatisierung in der Modul- und Speichermontage

Die Elektromobilität fordert auch in der Montage neue Verfahren und Prozesse. Die momentan überwiegend manuellen Montageschritte sollen auf Grund des steigenden Bedarfes an Energiespeichern weitestgehend automatisiert werden. Formlabile Teile, teils geringer Platzbedarf sowie neue Fügeprozesse stellen einige Herausforderungen an die Automatisierung dar.

Aktuell ist die Montage von Hochvolt-Speichern geprägt durch einen großen manuellen Arbeitsanteil. Teilweise bergen diese Arbeiten für die Werker ein erhebliches Gefährdungspotenzial, da beim Aufbau des Gesamtspeichers Spannungen von bis zu 1000 V entstehen. Die Automatisierung der Montage schützt somit den Werker vor gefährlichen Tätigkeiten.

Erst damit ist es möglich, Energiespeicher in der zu erwartenden Anzahl wirtschaftlich herzustellen. Die Automatisierung bringt jedoch auch mehrere Herausforderungen mit sich: Einerseits werden in den aktuellen Speichern flexible Kabel verlegt – die Handhabung solcher formlabiler Teile ist jedoch mit den üblichen Methoden nicht ohne Weiteres möglich. Andererseits sollen unterschiedliche Bauteile auf engstem Raum mit möglichst wenigen Endeffektoren verbaut werden, was Herausforderungen für die Greiftechnik mit sich bringt.

Automatisiertes Stecken

Um das Handhaben formlabiler Teile zu vermeiden, werden zunächst Steckerkonzepte entwickelt, die ein automatisiertes Stecken ermöglichen. Hier müssen jedoch Module mit mehreren Steckkontakten gefügt werden (Kühl-, Strom- und Kommunikationsleitung). Die Fügestellen treten auf Grund der kompakten Bauweise nahezu gleichzeitig in Kontakt. Um ein schlüssiges Gesamtkonzept für die Kombination der Kontakte zu erarbeiten, wurden zunächst am Markt verfügbare Einzelösungen und Kombinationen auf deren Toleranz beim Stecken untersucht. Darauf aufbauend wurden mit Hilfe von passiven Ausgleichselementen, wie z. B. federnd gelagerten Buchsen, und Führungsstiften Gesamtkonzepte entwickelt. Versuche zeigten, dass ein automatisiertes Stecken sehr vielversprechend ist.

IWB FORSCHUNGSBERICHTE

Huber, Sonja

In-situ-Legierungsbestimmung beim Laserstrahlschweißen (Herbert Utz Verlag, Bd. 286)

Wiesbeck, Mathey,

Struktur zur Repräsentation von Montagesequenzen für die situationsorientierte Werkerführung (Herbert Utz Verlag, Bd. 285)

Pohl, Johannes

Adaption von Produktionsstrukturen unter Berücksichtigung von Lebenszyklen (Herbert Utz Verlag, Bd. 284)

Braunreuther, Stefan

Untersuchungen zur Lasersicherheit für Materialbearbeitungsanwendungen mit brillanten Laserstrahlquellen (Herbert Utz Verlag, Bd. 283)

Phillipp, Tobias

RFID-gestützte Produktionssteuerungsverfahren für die Herstellung von Bauteilen aus Faserverbundkunststoffen (Herbert Utz Verlag, Bd. 282)

Egbers, Jörg

Identifikation und Adaption von Arbeitsplätzen für leistungsgewandelte Mitarbeiter entlang des Montageplanungsprozesses (Herbert Utz Verlag, Bd. 280)

Speicheraufbau

Ein Energiespeicher besteht im Allgemeinen aus Batteriezellen, Kontaktiersystemen, welche die einzelnen Zellen oder Module miteinander verbinden, einem Kühlsystem, der Steuerungselektronik und einem Gehäuse, welches aus mehreren Einzelteilen besteht. Man unterscheidet beim Aufbau zwischen Modul- und Gesamtspeicherbauweisen.

Autoren



Dipl.-Ing. Carola Zwicker

Themengruppe Montagetechnik und Robotik



M. Eng. Till Günther

Themengruppe Montagetechnik und Robotik

MITARBEITER PROJEKTGRUPPE RMV DES FRAUNHOFER IWU

Neue Mitarbeiter

Dipl.-Ing. (Univ.) Andreas Hees
Dr. rer. nat. Andreas Gratz
Marina Kruglikow
Dr.-Ing. Stefan Braunreuther

Ausgeschiedene Mitarbeiter

Dr.-Ing. Michael Ott
Dipl.-Ing. Stefan Hüttner
Dr.-Ing. Tobias Philipp

Qualitätsplanung für die Herstellung von Batteriezellen

Die Ursachen für Qualitätsschwankungen und für hohe Ausschussraten in der Produktion von Lithium-Ionen-Zellen sind oft unbekannt. Eine neue Methodik zur Qualitätsplanung in der Zellherstellung soll hier Unterstützung für Anlagenbauer, Zellhersteller und -anwender bieten.

Neue Herausforderungen in der Zellproduktion

Im Vergleich zu Batteriezellen für die sogenannten Consumer-Anwendungen, wie Mobiltelefone und Laptops, existieren für Anwendungen in Elektrofahrzeugen oder in stationären Energiespeichern deutlich höhere Qualitätsanforderungen. Beispielsweise ist eine Lebensdauer von bis zu 10 Jahren für Elektrofahrzeuge oder bis zu 20 Jahren für stationäre Batteriesysteme gewünscht. Darüber hinaus ermöglichen z. B. die angestrebten Speicherkapazitäten der Batteriesysteme von ca. 10 bis 100 kWh den Einsatz von großformatigen Zellen mit Einzelkapazitäten im Bereich von 20 bis 200 Wh. Diese Zellen weisen häufig eine andere Bauform auf wie etwa eine prismatische Form anstelle einer zylindrischen. Sowohl der Qualitätsaspekt als auch der Einzug anderer Zellbauformen führt zu neuen Herausforderungen für die Produktion. Diese Herausforderungen werden von der Komplexität der Prozesskette der Zellherstellung selbst überlagert,

welche wiederum mehrere Gründe hat: Zum einen umfasst die Zellproduktion eine Vielzahl an einzelnen Schritten (ca. 25), welche ganz unterschiedlichen Prozessarten, von der Verfahrenstechnik bis zur klassischen Fertigungstechnik, zuzuordnen sind. Zum anderen sind die Eigenschaften von Zwischenprodukten in der Zellherstellung und des Fertigprodukts oft nur schwer zu bestimmen. Als Beispiele seien die Elektrolytbenetzung oder die Lebensdauer der Zelle genannt. Die dargestellten Herausforderungen in Verbindung mit den komplexen und undurchsichtigen Abhängigkeiten innerhalb der Prozesskette führen zu erheblichen Qualitätsschwankungen und damit zu hohen Ausschussraten bei den Zellherstellern, aber auch zu Unsicherheiten auf Seite der Anlagenbauer und der Anwender.

Methodik zur Qualitätsplanung

Um Abhilfe zu schaffen, entwickelten die Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter

des *iwb* eine Methodik zur Qualitätsplanung für die Herstellung von Lithium-Ionen-Zellen. Diese unterstützt den Anwender von der Planungsphase der Produktionslinie über die Anlagenbetriebnahme bis hin zum Anlauf der Zellproduktion. Zur Beherrschung der dargestellten Komplexität wird Expertenwissen abgefragt, mit den Methoden des Komplexitätsmanagements auf die wichtigsten Informationen reduziert und mit Hilfe einer statistischen Versuchsplanung validiert. Die Methodik wird am Beispiel der *iwb*-Forschungsproduktionslinie angewendet und mit den Erkenntnissen aus der eigenen Zellherstellung angepasst und erweitert.



Autoren

Dipl.-Ing. Thomas Knoche

Themengruppe Montagetechnik und Robotik



Dipl.-Ing. Markus Westermeier

Themengruppe Montagetechnik und Robotik

Inline-Prüfung von Zellkomponenten bei der Batterieproduktion

Die Gruppe „Intelligente Reinigung“ der Projektgruppe „Ressourceneffiziente Mechatronische Verarbeitungsmaschinen (RMV)“ des Fraunhofer IWU beschäftigt sich im Rahmen der Forschungsprojekte „ExZellTUM“ und „ProLIZ“ mit der Entwicklung von Inline-Verfahren zur Erfassung der Qualität von Lithium-Ionen-Zellkomponenten.

Der Einsatz von Lithium-Ionen-Zellen im Elektrofahrzeug erfordert ein Überdenken bisheriger Zellanforderungen, sodass im Gegensatz zu Consumer-Anwendungen die Sicherheit in den Mittelpunkt rückt. Die Relevanz dieser Thematik zeigt sich eindrucksvoll durch Schadensfälle von Batteriemodulen, die in der Presse ausführlich thematisiert wurden. Die Ursache für diese sogenannten „Thermal Runaways“ sind oft interne Kurzschlüsse, die dann entstehen, wenn die elektrische Isolation der Elektroden durch den Separator nicht mehr

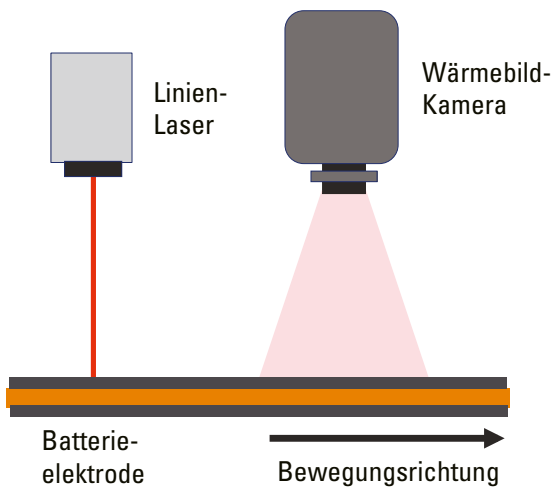
aufrechterhalten wird. Deshalb muss die Produktionstechnik die Defektfreiheit des Separators ebenso gewährleisten wie die Vermeidung des Eintrags von metallischen Partikeln im Produktionsprozess.

Lichtoptische Separatorinspektion

Das Ziel des Arbeitspaketes 3.5 des Projektes „ExZellTUM“ ist die Evaluierung und Weiterentwicklung lichtoptischer Prüfverfahren zur Inline-Prüfung von Batterieseparatoren. Hierdurch soll die

Defektfreiheit – insbesondere das Fehlen sogenannter Pinholes oder Dünnstellen – sichergestellt werden. Zudem wird die Leistungsfähigkeit einer Zelle maßgeblich durch in der Fläche möglichst gleichmäßig ausgeprägte Eigenschaften wie Dicke, Porosität und Permeabilität geprägt. Erste Voruntersuchungen geben Hinweise darauf, dass die optische Dichte einen Rückschluss auf diese Eigenschaften zulässt, weshalb sie im Forschungsvorhaben über geeignete Inspektionssysteme hochaufgelöst und vollflächig erfasst wird.

Zu Beginn der Detailuntersuchungen wird innerhalb einer Anforderungsanalyse ein Defektkatalog erstellt, der die Art, die Ursache und die Auswirkungen sowie die Detektierbarkeit von Fehlstellen adressiert. Hierauf aufbauend werden Qualitätstoleranzen ermittelt, die als Basis für die Entwicklung des Inline-Messsystems zugrunde gelegt werden. In mehreren Versuchsreihen werden schließlich die optischen Eigenschaften großer Mengen an Separatorfolie er-



Bewegung der Elektrode relativ zu Kamera und Laser

fasst und gezielt Materialproben, unter Anwendung von Labormessmethoden, dazu genutzt, einen Zusammenhang zwischen Material- und optischen Eigenschaften zu gewinnen. Letztendlich können hierdurch Bewertungsalgorithmen hinterlegt werden, die eine automatisierte Fehlerbewertung nach Fehlerart und Grad der Ausprägung („Severity“) ermöglichen.

Thermografische Partikeldetektion

Der elektrisch isolierende Separator zwischen den Elektroden weist typischerweise eine Dicke von ca. 15–25 µm auf. Insbesondere bei metallischen Partikelverunreinigungen ab dieser Größenordnung, die beispielsweise durch Schneid- oder Stanzvorgänge während des Her-

stellungsprozesses entstehen, besteht die Gefahr einer Beschädigung (Durchstoßen) des Separators. Bisherige Ansätze zur lichtoptischen Inspektion von Batterieelektroden sind nicht in der Lage automatisiert Partikelkontaminationen kleiner als 100 µm zu detektieren. Der Grund hierfür ist in einem schlechten Signal-Rausch-Verhältnis (SNR) zu suchen, da die Beschichtung der Elektroden ebenfalls überwiegend aus Partikeln besteht, die zudem eine ähnliche Größe wie die zu detektierenden Fehler aufweisen.

Erste Versuchsreihen im Rahmen des Forschungsprojektes „ProLIZ“ zeigten, dass mit thermografischen Prüfverfahren deutlich kleinere Teilchen detektiert werden können. Dabei werden die Partikel mit optischen Anregungsverfahren gezielt erwärmt. Die eingebrachte Wärme können die Partikel – im Gegensatz zur Beschichtung selbst – nicht über Wärmeleitung abführen. Es kommt zu einem hellen Aufleuchten der Partikel im Infrarotbild und damit zu einem Kontrast zwischen Partikel und Umgebung. Die Pixelauflösung von Wärmebildkameras ist im Vergleich zu Kameras im sichtbaren Spektralbereich jedoch stark begrenzt. Eine große Herausforderung ist daher das Erreichen einer ausreichenden Ortsauflösung innerhalb einer kurzen Ortszeit. Dies lässt sich durch eine schnelle translatorische Bewegung der Elektroden relativ zur Kamera und Anregung mit einer Laserlinienquelle erreichen.

Die entstehenden Teilbilder werden automatisch zu einem Ergebnisbild zusammengesetzt, welches anschließend mit Hilfe spezieller Algorithmen ausgewertet wird.

Reinigung von Batterieelektroden

Erst der Nachweis von Partikeln auf der Elektrodenoberfläche ermöglicht es, zum einen die Wirksamkeit von Reinigungsverfahren zu bewerten und zum anderen den Reinigungsprozess adaptiv zu gestalten.

Im Rahmen des Arbeitspaketes 3.7 des Projekts „ExZellTUM“ soll ein geeignetes Verfahren definiert werden, das einerseits eine beschädigungsfreie Reinigung von sensiblen Anoden- und Kathodenfolien ermöglicht und andererseits flexibel genug ist, um eine selektive Oberflächenbearbeitung durchzuführen.

Im Rahmen der Projektarbeit wird der Fokus zunächst auf die Definition der

für die Reinigungsleistung kritischen Kenngrößen gelegt. Nach detaillierter Betrachtung des Herstellungsprozesses für die Batterieelektroden werden die auf der Oberfläche haftenden Kontaminationen untersucht und die Anforderungen an die Sauberkeit sowie an das Reinigungssystem definiert. Bei der anschließenden vergleichenden Verfahrensuntersuchung stellen die Sensibilität der Elektrodenoberfläche, die Selektivität der Reinigung, die elektrostatische Aufladung der Elektroden sowie das Vorhandensein eines Absaugungssystems die wichtigsten Kriterien dar.

Nach der Auswahl des Verfahrens gilt es dieses ferner auf die Elektrodenreinigung abzustimmen. Dabei werden die aus Sicht der Reinigungswirkung und der Ressourceneffizienz optimalen Reinigungsparameter für die vorbestimmten Kontaminationsarten und -ausprägungen ermittelt. Im letzten Schritt wird die Schnittstelle des Reinigungssystems mit den Ergebnissen der optischen und thermografischen Inspektion definiert. Diese ist eine Voraussetzung für die Realisierung einer intelligenten Reinigung, bei der die Systeme zur Verschmutzungsdetektion mit der zielgerichteten Reinigung verknüpft sind.



Autoren

**Dipl.-Ing. (TUM)
Josef Huber**

Projektgruppe RMV des Fraunhofer IWU



**Dipl.-Ing. (FH)
Christoph Tammer**

Projektgruppe RMV des Fraunhofer IWU



**Dipl.-Ing.
Nataliya Kurz**

Projektgruppe RMV des Fraunhofer IWU

IMPRESSUM

Der *iwb* newsletter erscheint vierteljährlich und wird herausgegeben vom Institut für Werkzeugmaschinen und Betriebswissenschaften (*iwb*)
Technische Universität München
Boltzmannstraße 15, 85748 Garching
Tel.: 089/289-15500, Fax: 089/289-15555

ISSN 1434-324X (Druck-Ausgabe)
ISSN 1614-3442 (Online-Ausgabe)

Redaktion: Tanja Mayer (verantw.)
Tel.: 089/289-155 51
E-Mail: tanja.mayer@iwb.tum.de
Web: www.iwb.tum.de

Herstellung:
dm druckmedien gmbh
Paul-Heyse-Straße 28
80336 München

Verlag:
Herbert Utz Verlag GmbH
Adalbertstraße 57, 80799 München
Tel. 089-277791-00, Fax: 089/277791-01
E-Mail: info@utzverlag.com
Web: www.utzverlag.com
Natürlich gedruckt auf chlorfrei gebleichtem Umweltpapier.

Adressverteiler:
Möchten Sie in den Verteiler aufgenommen werden oder hat sich Ihre Adresse geändert? Dann schicken Sie bitte eine E-Mail an info@iwb.tum.de