Institut für Produktionstechnik

Forschungsberichte aus dem
wbk Institut für Produktionstechnik
Karlsruher Institut für Technologie (KIT)

Sebastian Haag

Entwicklung eines Verfahrensablaufes zur Herstellung von Batteriezellstapeln mit großformatigem, rechteckigem Stapelformat und kontinuierlichen Materialbahnen

Band 237

Forschungsberichte aus dem
wbk Institut für Produktionstechnik
Karlsruher Institut für Technologie (KIT)

Hrsg.: Prof. Dr.-Ing. Jürgen Fleischer
Prof. Dr.-Ing. Gisela Lanza
Prof. Dr.-Ing. habil. Volker Schulze

Sebastian Haag

Entwicklung eines Verfahrensablaufes zur Herstellung von Batteriezellstapeln mit großformatigem, rechteckigem Stapelformat und kontinuierlichen Materialbahnen

Band 237

wbk
Institut für Produktionstechnik

Entwicklung eines Verfahrensablaufes zur Herstellung von Batteriezellstapeln mit großformatigem, rechteckigem Stapelformat und kontinuierlichen Materialbahnen

Zur Erlangung des akademischen Grades

Doktor der Ingenieurwissenschaften

der KIT-Fakultät für Maschinenbau

Karlsruher Institut für Technologie (KIT)

genehmigte

Dissertation

von

Dipl.-Ing. Sebastian Haag

Tag der mündlichen Prüfung:	20.07.2020
Hauptreferent:	Prof. Dr.-Ing. Jürgen Fleischer
Korreferent:	Prof. Dr.-Ing. Annika Raatz

KIT
Karlsruher Institut für Technologie

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek
Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über http://dnb.d-nb.de abrufbar.

Zugl.: Karlsruhe, Karlsruher Institut für Technologie, Diss., 2020

Copyright Shaker Verlag 2020
Alle Rechte, auch das des auszugsweisen Nachdruckes, der auszugsweisen oder vollständigen Wiedergabe, der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen und der Übersetzung, vorbehalten.

Printed in Germany.

ISBN 978-3-8440-7649-3
ISSN 0724-4967

Shaker Verlag GmbH • Am Langen Graben 15a • 52353 Düren
Telefon: 02421 / 99 0 11 - 0 • Telefax: 02421 / 99 0 11 - 9
Internet: www.shaker.de • E-Mail: info@shaker.de

wbk
Institut für Produktionstechnik

Vorwort des Herausgebers

Die schnelle und effiziente Umsetzung innovativer Technologien wird vor dem Hintergrund der Globalisierung der Wirtschaft der entscheidende Wirtschaftsfaktor für produzierende Unternehmen. Universitäten können als "Wertschöpfungspartner" einen wesentlichen Beitrag zur Wettbewerbsfähigkeit der Industrie leisten, indem sie wissenschaftliche Grundlagen sowie neue Methoden und Technologien erarbeiten und aktiv den Umsetzungsprozess in die praktische Anwendung unterstützen.

Vor diesem Hintergrund soll im Rahmen dieser Schriftenreihe über aktuelle Forschungsergebnisse des Instituts für Produktionstechnik (wbk) am Karlsruher Institut für Technologie (KIT) berichtet werden. Unsere Forschungsarbeiten beschäftigen sich sowohl mit der Leistungssteigerung von Fertigungsverfahren und zugehörigen Werkzeugmaschinen- und Handhabungstechnologien als auch mit der ganzheitlichen Betrachtung und Optimierung des gesamten Produktionssystems. Hierbei werden jeweils technologische wie auch organisatorische Aspekte betrachtet.

Prof. Dr.-Ing. Jürgen Fleischer

Prof. Dr.-Ing. Gisela Lanza

Prof. Dr.-Ing. habil. Volker Schulze

KIT
Karlsruher Institut für Technologie

Vorwort des Verfassers

Die vorliegende Arbeit entstand im Rahmen meiner Tätigkeit als akademischer Mitarbeiter am wbk Institut für Produktionstechnik des Karlsruher Instituts für Technologie (KIT).

Mein besonderer Dank gilt Herrn Prof. Dr.-Ing. Jürgen Fleischer für die Übernahme des Hauptreferats und das mir entgegengebrachte Vertrauen sowie die Förderung während meiner Tätigkeit als Gruppenleiter. Seine Unterstützung und die offenen Diskussionen haben wesentlich zum Gelingen meiner Arbeit beigetragen. Des Weiteren bedanke ich mich bei Frau Prof. Dr.-Ing. Annika Raatz für die Übernahme des Korreferats. Ebenfalls gilt mein Dank Herrn Prof. Dr. rer. nat. Frank Gauterin für die Übernahme des Prüfungsvorsitzes.

Allen Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern des Instituts, insbesondere meinen Kolleginnen und Kollegen im Bereich Maschinen, Anlagen und Prozessautomatisierung danke ich für die kollegiale und freundschaftliche Zusammenarbeit. Besonderer Dank gilt der Gruppe Elektromobilität für die schöne gemeinsame Zeit und die großartige Arbeitsatmosphäre.

Mein größter Dank gilt meiner Familie für das entgegengebrachte Verständnis sowie die fortwährende Aufmunterung und Motivation. Ohne diese Unterstützung wäre diese Arbeit nicht möglich gewesen.

Karlsruhe, im Juli 2020

Sebastian Haag

Abstract

From the increasing electrification of the drive train in the automotive industry and the ongoing developments in energy transition arises the need for efficient and powerful energy storage systems. Electrochemical energy storage systems such as lithium-ion batteries offer a promising solution to achieving those requirements.

One major challenge for the production of large-sized Li-ion batteries is the assembly of the stack, i.e. the alternating arrangement of anode, separator and cathode. The choice of method for the stack assembly has a major impact on the viable stack designs and hence on the properties of the battery cell. For current large-sized battery cells, a battery cell stack with single sheet stacking has the best characteristics. However, this method of stack assembly also has several disadvantages, e.g. that it leads to the formation of cut particles and stamped grid scraps.

Therefore, the aim of this work is to develop a stack design that combines the positive characteristics of single sheet stacking cells with the advantages of a continuous material web. The quintessential part is the conceptional design of an assembly method for the production of a defined stack design.

First, the stack design is devised, based on several target criterions. Subsequently follows a qualitative analysis of the interrelationships of the stack design in order to define a suitable production process for the devised stack design. Due to the fact that currently no suitable procedure exists for the step of shaping the material web, a new procedure is devised. Finally, the new procedure is implemented, and a prototype is constructed. Thus, a new and more efficient procedure for assembling cell stacks for Li-ion batteries has been developed.

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis **I**

1 Einleitung **1**

1.1 Motivation 1

1.2 Ziel und Aufbau der Arbeit 2

2 Stand der Forschung und Technik **3**

2.1 Funktionsprinzip und Bauformen von Li-Ionen Batteriezellen 3

2.1.1 Funktionsprinzip von Li-Ionen Batteriezellen 3

2.1.2 Bauformen von Li-Ionen Batteriezellen 9

2.2 Produktionsprozess von Li-Ionen Batteriezellen 12

2.2.1 Elektrodenfertigung 13

2.2.2 Zusammenbau der Zelle 15

2.2.3 Aktivieren der Zelle 18

2.2.4 Zusammenfassung Produktionsprozess von Li-Ionen Batteriezellen 19

2.3 Stapelbildungsverfahren 20

2.3.1 Anforderungen Stapeldesign 20

2.3.2 Anforderungen Stapelbildungsverfahren 22

2.3.3 Einzelblattstapeln 24

2.3.4 Z-Falten 29

2.3.5 Z-Falten mit Einzelblättern 31

2.3.6 Rundwickeln 35

2.3.7 Flachwickeln 37

2.3.8 Stackwinding 39

2.3.9 Weitere Stapelbildungsverfahren 41

2.4 Zusammenfassung und Defizite Stand der Forschung und Technik 42

2.4.1 Zusammenfassung Stand der Forschung und Technik 42

2.4.2 Defizite Stand der Forschung und Technik und daraus abgeleitete Fragestellungen 44

3 Zielsetzung und Vorgehensweise **46**

3.1 Zielsetzung 46
3.2 Vorgehensweise 47
4 Konzeption eines kontinuierlichen Stapeldesigns 49
4.1 Kriterien für den Stapelaufbau 49
4.2 Konzeptionierung Stapeldesign 51
4.2.1 Merkmale Stapeldesign 51
4.2.2 Konzepte Stapeldesign 53
4.3 Zusammenfassung der Konzeption eines Stapeldesigns 60
5 Definition Stapelbildungsablauf und Analyse Verfahren zur Richtungsumkehr 62
5.1 Kriterien für die Stapelbildung 63
5.2 Stapelbildungsablauf 64
5.3 Qualitative Beschreibung der Wirkzusammenhänge 72
5.4 Analyse Verfahren zur 180°-Richtungsumkehr 79
5.4.1 Kriterien der 180°-Richtungsumkehr 81
5.5 Materialformungen des Separators beim Z-Falten 84
5.6 Analogiebildung aus Anwendungsfällen der Blechverarbeitung 87
5.6.1 Freies Biegen 88
5.6.2 Gesenkbiegen 89
5.6.3 Schwenkbiegen 90
5.6.4 Streckziehen 91
5.6.5 180°-Biegen von Fein- und Mittelblechen 92
5.6.6 Falzen 94
5.7 Analogiebildung aus Anwendungsfällen der Papierverarbeitung 95
5.7.1 Taschenfalz 95
5.7.2 Schwertfalz 96
5.7.3 Trichterfalz 96
5.7.4 Trommelfalz 97
5.8 Bewertung bestehender Verfahren zur 180°-Richtungsumkehr 98

5.9 Zusammenfassung Definition Stapelbildungsablauf und Analyse Verfahren zur 180°-Richtungsumkehr 99

6 Entwicklung Verfahrensablauf 101

6.1 Definition der Prozessschritte des Faltungsablaufes 101

6.2 Parametrisierte Materialbahnverläufe 120

6.3 Zusammenfassung Entwicklung Verfahrensablauf 135

7 Validierung 136

7.1 Vorliegendes Zellstapeldesign 137

7.2 Konzeptionierung Faltungskomponenten 141

7.2.1 Ableitung Stützstellen/Komponentenpositionen/-bereiche 141

7.2.2 Technologieauswahl 146

7.2.3 Konzeption Komponenten 155

7.2.4 Konstruktive Ausgestaltung der Werkzeugkomponenten 163

7.3 Konzeption Materialbahnzuführung 166

7.3.1 Konzeption Abwicklung und konstante Bahnspannungserzeugung 168

7.3.2 Konzeption Bahnförderung 171

7.4 Zusammenfassung Konzeptionierung 171

7.5 Prototypische Umsetzung Materialbahnförderung 172

7.5.1 Steuerung der Materialbahnförderung 172

7.5.2 Materialbahnförderung 175

7.6 Prototypische Umsetzung Faltungsablauf 177

7.7 Zusammenfassung Prototypische Umsetzung 182

8 Bewertung Stapeldesign und Verfahren 184

9 Zusammenfassung und Ausblick 191

9.1 Zusammenfassung 191

9.2 Ausblick 192

Abbildungsverzeichnis I

Tabellenverzeichnis VIII

Literaturverzeichnis IX