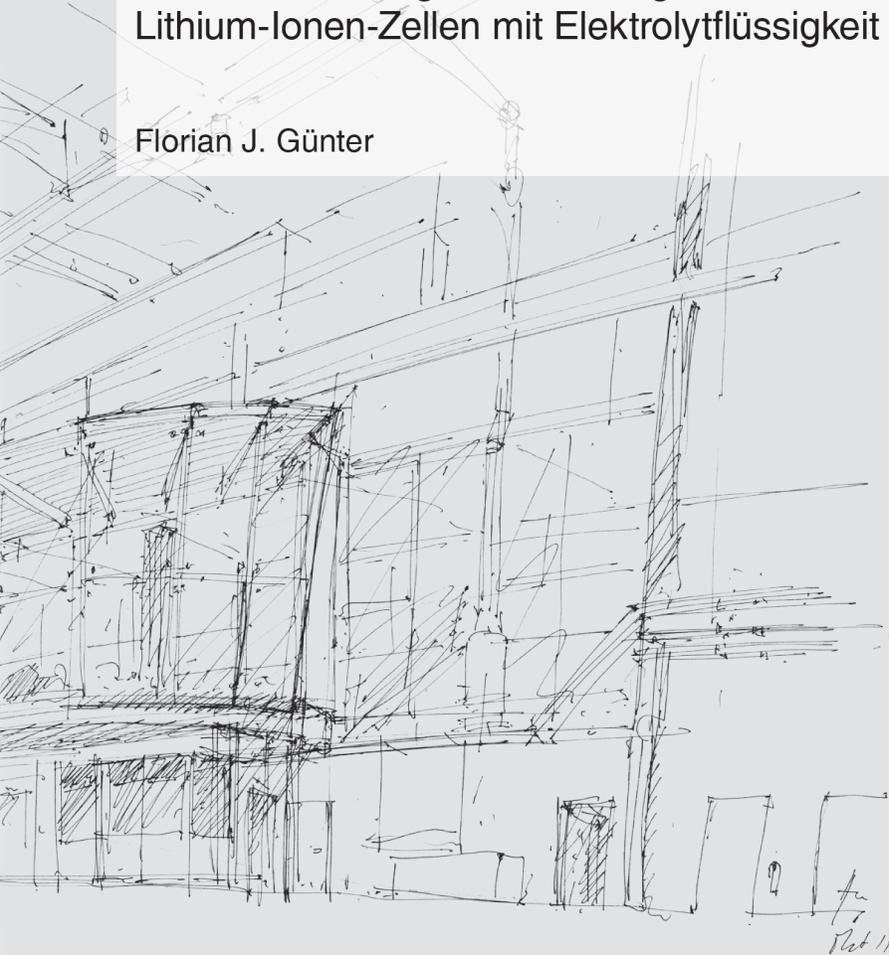


Charakterisierung der Befüllung von Lithium-Ionen-Zellen mit Elektrolytflüssigkeit

Florian J. Günter



Florian J. Günter

Charakterisierung der Befüllung von Lithium-Ionen- Zellen mit Elektrolytflüssigkeit

utzverlag · München 2024

Forschungsberichte iw
Band 384

Ebook (PDF)-Ausgabe:
ISBN 978-3-8316-7761-0 Version: 1 vom 24.05.2024
Copyright© utzverlag 2024

Alternative Ausgabe: Softcover
ISBN 978-3-8316-5023-1
Copyright© utzverlag 2023

Technische Universität München
TUM School of Engineering and Design

Charakterisierung der Befüllung von Lithium-Ionen-Zellen mit Elektrolytflüssigkeit

Florian J. Günter

Vollständiger Abdruck der von der TUM School of Engineering and Design der Technischen Universität München zur Erlangung eines

Doktors der Ingenieurwissenschaften (Dr.-Ing.)

genehmigten Dissertation.

Vorsitz: Prof. Dr.-Ing. Harald Klein

Prüfer der Dissertation:

1. Prof. Dr.-Ing. Gunther Reinhart
2. Prof. Dr.-Ing. Rüdiger Daub
3. Prof. Dr. Hubert A. Gasteiger

Die Dissertation wurde am 25.11.2022 bei der Technischen Universität München eingereicht und durch die TUM School of Engineering and Design am 21.03.2023 angenommen.

Geleitwort der Herausgeber

Die Produktionstechnik ist in Zeiten globaler Herausforderungen, wie der Klimakrise, dem Mobilitätswandel und der Überalterung der Gesellschaft in westlichen Ländern, für eine nachhaltige Weiterentwicklung unserer Industriegesellschaft von zentraler Bedeutung. Der Einfluss eines Industriebetriebs auf die Umwelt und die Gesellschaft hängt dabei entscheidend von den eingesetzten Produktionsmitteln, den angewandten Produktionsverfahren und der eingeführten Produktionsorganisation ab. Erst das optimale Zusammenspiel von Mensch, Organisation und Technik erlaubt es, alle Potenziale für den Unternehmenserfolg auszuschöpfen. Dabei muss größtes Augenmerk darauf gelegt werden, möglichst ressourcenschonend, effizient und resilient zu werden, um flexibel im volatilen Produktionsumfeld zu agieren.

Um in dem Spannungsfeld Nachhaltigkeit, Komplexität, Kosten, Zeit und Qualität bestehen zu können, müssen Produktionsstrukturen ständig neu überdacht und weiterentwickelt werden. Dabei ist es notwendig, die Komplexität von Produkten, Produktionsabläufen und -systemen einerseits zu verringern und andererseits besser zu beherrschen.

Ziel der Forschungsarbeiten des *iwb* ist die ständige Verbesserung von Produktentwicklungs- und Planungssystemen, von Herstellverfahren sowie von Produktionsanlagen. Betriebsorganisation, Produktions- und Arbeitsstrukturen sowie Systeme zur Auftragsabwicklung werden unter besonderer Berücksichtigung der Anforderungen des Personals sowie von Nachhaltigkeitsaspekten entwickelt. Die dabei eingesetzten rechnergestützten und Künstliche-Intelligenz-basierten Methoden und die notwendige Steigerung des Automatisierungsgrades dürfen jedoch nicht zu einer Verfestigung arbeitsteiliger Strukturen führen. Fragen der optimalen Einbindung ökologischer und sozialer Aspekte in alle Planungs- und Entwicklungsprozesse spielen deshalb eine sehr wichtige Rolle.

Die im Rahmen dieser Buchreihe erscheinenden Bände stammen thematisch aus den Forschungsbereichen des *iwb*. Diese reichen von der Entwicklung von Produktionssystemen über deren Planung bis hin zu den eingesetzten Technologien in den Bereichen Fertigung und Montage. Die Steuerung und der Betrieb von Produktionssystemen, die Qualitätssicherung, die Verfügbarkeit und die Autonomie sind Querschnittsthemen hierfür. In den *iwb*-Forschungsberichten

werden neue Ergebnisse und Erkenntnisse aus der praxisnahen Forschung des Institutes veröffentlicht. Diese Buchreihe soll dazu beitragen, den Wissenstransfer zwischen dem Hochschulbereich und den Anwendenden zu verbessern.

Rüdiger Daub

Gunther Reinhart

Michael Zäh

Vorwort

Die vorliegende Arbeit ist während meiner Tätigkeit als wissenschaftlicher Mitarbeiter und Abteilungsleiter am Institut für Werkzeugmaschinen und Betriebswissenschaften (*iwb*) der Technischen Universität München (TUM) entstanden. Einem Institut an dem ich größte Leistungsbereitschaft kombiniert mit Forschungsfreiheit erleben durfte.

Zuerst möchte ich mich bei Prof. Dr.-Ing. Gunther Reinhart, meinem Doktorvater, für die Möglichkeit der Promotion und seiner hilfreichen Betreuung bedanken. Nicht nur wissenschaftlich sondern auch in den anderen Bereichen der Institutsfunktionen wurde mir von ihm außerordentliches Vertrauen entgegengebracht. Er gab mir dabei die richtigen Leitlinien, um meine Talente zu fördern und um an meinen Schwächen zu arbeiten. Die Zusammenarbeit mit ihm bildete wertvolle Erfahrungen im Hinblick auf erfolgreiches Management und Mitarbeiterführung.

Ich danke all meinen ehemaligen Kolleginnen und Kollegen am Institut für die Unterstützung, die ich in der Zeit erfahren durfte. Besonders danke ich meiner Abteilung, der Batterieproduktion, mit der ich wachsen durfte und welche auch anstrengende Phasen mit mir durchgehalten hat. Die kritischen aber konstruktiven Diskussionen, die kreativen Ideen und die unermüdliche Leistungsbereitschaft dieser Top-Performer sind bemerkenswert. Auch meinen Kollegen und guten Freunden Jan-Bernd Habedank und Andreas Bachmann gilt großer Dank für das wertvolle Feedback und die Korrekturschleifen, die zu diesem Dokument geführt haben.

Zuletzt danke ich meiner Familie, welche mir früh den Wert von Bildung und Leistung vermittelt hat. Meine Eltern, meine Großeltern und mein Bruder haben mich immer unterstützt und waren auch in schwierigen Zeiten für mich da, wofür ich unglaublich dankbar bin.

Florian J. Günter

Labor omnia vincit
– Publius Vergilius Maro

Inhaltsverzeichnis

Abkürzungsverzeichnis	ix
Verzeichnis der Formelzeichen	xi
1 Einleitung	1
1.1 Ausgangssituation	1
1.2 Zielsetzung	2
1.3 Forschungsmethodik, Lösungsweg und Struktur der Dissertation	3
2 Stand des Wissens	5
2.1 Grundlagen	5
2.1.1 Lithium-Ionen-Zellen	5
2.1.1.1 Funktionsweise, Eigenschaften und Kennwerte	5
2.1.1.2 Produktion großformatiger Lithium-Ionen-Zellen	11
2.1.1.3 Befüllen von Lithium-Ionen-Zellen mit Elektrolytflüssigkeit	14
2.1.2 Benetzung poröser Medien	17
2.1.2.1 Poröse Körper	17
2.1.2.2 Benetzung und Einführung in Kapillarströmungen	18
2.1.3 Elektrochemische Impedanzspektroskopie	22
2.1.3.1 Definition Impedanz und Einführung in die Impedanzspektroskopie	22
2.1.3.2 Das TLM-basierte Ersatzschaltbild von LIZ	25
2.2 Stand der Forschung	29
2.2.1 Messverfahren zur Bestimmung der Benetzung in Lithium-Ionen-Zellen	29
2.2.2 Charakterisierung der Befüllprozessparameter	31
2.2.3 Modellierung des Befüllprozesses	33
2.2.4 Defizite für die Anwendung in der Serienproduktion	35
2.2.4.1 Messverfahren zur Bestimmung der Benetzung in Lithium-Ionen-Zellen	35
2.2.4.2 Charakterisierung der Befüllprozessparameter	37
2.2.4.3 Modellierung des Befüllprozesses	38