

Klaus Greschner

Aktuelle und
zukünftige Akkusysteme
für die Elektromobilität

Eine vergleichende Analyse



Diplomica Verlag

Greschner, Klaus: Aktuelle und zukünftige Akkusysteme für die Elektromobilität. Eine vergleichende Analyse, Hamburg, Diplomica Verlag GmbH 2018

Buch-ISBN: 978-3-96146-597-2

PDF-eBook-ISBN: 978-3-96146-097-7

Druck/Herstellung: Diplomica® Verlag GmbH, Hamburg, 2018

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.

Das Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung außerhalb der Grenzen des Urheberrechtsgesetzes ist ohne Zustimmung des Verlages unzulässig und strafbar. Dies gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Bearbeitung in elektronischen Systemen.

Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Werk berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, dass solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürften.

Die Informationen in diesem Werk wurden mit Sorgfalt erarbeitet. Dennoch können Fehler nicht vollständig ausgeschlossen werden und die Diplomica Verlag GmbH, die Autoren oder Übersetzer übernehmen keine juristische Verantwortung oder irgendeine Haftung für evtl. verbliebene fehlerhafte Angaben und deren Folgen.

Alle Rechte vorbehalten

© Diplomica Verlag GmbH

Hermannstal 119k, 22119 Hamburg

<http://www.diplomica-verlag.de>, Hamburg 2018

Printed in Germany

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis.....	3
Abkürzungsverzeichnis.....	4
Formelverzeichnis.....	5
Tabellenverzeichnis	6
1 Stand der Technik.....	7
1.1 Aufbau Elektroauto	7
1.2 Einordnung der Betrachtung der Potentialanalyse.....	8
1.3 Bestandteile Akku	9
1.4 Herstellungsprozess Akkuzellen	13
1.5 Zellgeometrien.....	15
1.6 Aufbau Fahrzeugbatterie	18
1.7 Wichtige Eigenschaften der Batterie.....	20
1.8 Alterung von Akkus	25
1.9 Aktuelle Batteriesysteme.....	27
2 Methodik.....	29
2.1 Konstruktionsmethodik nach VDI 2221.....	29
2.2 Planungsphase	31
2.3 Konzeptphase	34
2.4 Entwurfsphase	35
3 Technische Potentialanalyse.....	36
3.1 Klären und Präzisieren der Aufgabenstellung.....	36
3.2 Systemanalyse	39
3.3 Nutzwertanalyse	42
3.3.1 Nutzwertanalyse Optimierte Akkumaterialien.....	42
3.3.2 Nutzwertanalyse neue Generation Akkuzellen.....	54
3.3.3 Nutzwertanalyse optimierte Produktionstechnik	57

3.4	Analyse steigende Stückzahlen	64
3.5	Standardisierung.....	67
3.6	Auswertung	68
3.7	Fallbeispiel	71
4	Fazit	76
5	Literaturverzeichnis	77

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1-1:	Schematischer Aufbau eines automobilen Elektroantriebs	7
Abbildung 1-2:	Verschiedene Technologien im Bereich der Elektroenergiespeicher.....	8
Abbildung 1-3:	Prinzipieller Aufbau einer Batteriezelle	9
Abbildung 1-4:	Elektrochemische Spannungsreihe von Metallen.....	10
Abbildung 1-5:	Periodensystem mit Materialkombinationen für Akkus.....	11
Abbildung 1-6:	Produktionsreihenfolge Akkuzellen	13
Abbildung 1-7:	Rundzellen	15
Abbildung 1-8:	Prismatische Zelle.....	16
Abbildung 1-9:	Pouch-Zelle.....	17
Abbildung 1-10:	Reihenschaltung von mehreren Zellen	18
Abbildung 1-11:	Parallelschaltung mehrere Reihenschaltungsstränge.....	18
Abbildung 1-12:	Modularer Aufbau eines Akkus für Elektromobile	19
Abbildung 1-13:	Herstellungskosten eines Elektrofahrzeuges	21
Abbildung 1-14:	Ablaufplan mit Auslöser der thermischen Zersetzung einer Lithium-Ionen- Batterie.....	22
Abbildung 1-15:	Entstehung der Solid Electrolyte Interphase	25
Abbildung 1-16:	Alterungsvorgänge beim Zyklieren	26
Abbildung 1-17:	Auftrennung von elektrischen Leitpfaden	26
Abbildung 1-18:	Ragone-Diagramm verschiedener Akkusorten.....	27
Abbildung 2-1:	Allgemeines Vorgehen beim Entwickeln und Konstruieren nach VDI 2221.....	29
Abbildung 2-2:	Black-Box Darstellung	32
Abbildung 2-3:	Beispiel Funktionsstruktur Palettier Roboter	33
Abbildung 2-4:	Hochvoltbatterie e-Golf.....	35
Abbildung 3-1:	Kostenzusammensetzung Produktion von Akkus	37
Abbildung 3-2:	Potenziale für die Kostenreduktionsmaßnahmen von Akkuzellen in der Produktion [USD/kWh].....	38
Abbildung 3-3:	Black-Box Darstellung Akkuzelle.....	40
Abbildung 3-4:	Funktionsstruktur Akkuzelle	40
Abbildung 3-5:	Nutzwertanalyse verschiedener Kathodenmaterialien.....	45
Abbildung 3-6:	Nutzwertanalyse verschiedener Anodenmaterialien.....	48
Abbildung 3-7:	Nutzwertanalyse verschiedener Elektrolyte	50
Abbildung 3-8:	Nutzwertanalyse verschiedener Separatoren	53
Abbildung 3-9:	Nutzwertanalyse Post-Lithium Akkus.....	56
Abbildung 3-10:	Zielkurve Marktentwicklung Elektrofahrzeuge.....	65
Abbildung 3-11:	Prognosen zur Entwicklung der Batteriekosten auf Systemebene	66
Abbildung 3-12:	Übersicht Zellabmessungen nach DIN Spezifikation 9 1252	67
Abbildung 3-13:	Verschaltung der Batteriezellen e-Golf	71
Abbildung 3-14:	Überblick und Vergleich von Reichweiten verschiedener Batterietypen.....	75

Abkürzungsverzeichnis

ATZ	Automobiltechnische Zeitschrift
BEV	Battery Electric Vehicle
BoL	Begin of Life
bzw.	beziehungsweise
C/Si	Kohlenstoff/ Silizium Komposite
C/Sn	Kohlenstoff/ Zinn Komposite
ca.	circa
CO ₂	Kohlenstoffdioxid
EoL	End of Life
EUCAR	European Council for Automotive R&D
EUR	Euro
HEV	Hybrid Electric Vehicle
ISI	Institut für System- und Innovationsforschung
kalend.	kalendarisch
kg	Kilogramm
Km	Kilometer
kWh	Kilowattstunde
LCO	Cobaltoxid
LFP	Lithium Eisenphosphat
Li	Lithium
LiMO ₂	Lithium-Übergangsmetalloxid
LM	Lithium-Metall
LMO	Lithium Manganoxid
LTO	Lithiumtitanat
MFL	Metallfluorid
Mio.	Millionen
NCA	Lithium-Nickel-Cobalt-Aluminium-Oxidmaterialien
NMC	Nickel-Mangan-Cobalt
Nr.	Nummer
O ₂	Sauerstoff
PHEV	Plug-in Hybrid Electric Vehicle
Pkt.	Punkte
S.	Seite
SEI	solid electrolyte interface
VDI	Verein Deutscher Ingenieure
VDMA	Verband Deutscher Maschinen- und Anlagenbau
Wh	Watt pro Stunde
z.B.	zum Beispiel

Formelverzeichnis

Arabische Zeichen

Formelzeichen	Beschreibung	Einheit
C	Kapazität	Ah
C_{Gesamt}	Gesamtkapazität	Ah
E	Energie	kWh
E_{Gesamt}	Gesamtenergie	kWh
$Eucar-Level$	Sicherheitsstufe	-
I	Elektrischer Strom	A
I_{Gesamt}	Gesamtstrom	A
K_0	Kosten der ersten produzierten Einheit	€
K_n	Kosten der letzten produzierten Einheit	€
p_0	Produktionsmenge zu Beginn	Stück
K	Kosten pro Energieeinheit	€/kWh
L	Lernfaktor	%
N	Stückzahl	-
P	Leistung	W
p	Produktionsmenge zum Schluss	Stück
U	Elektrische Spannung	V
$U_{Einzelzelle}$	Einzelspannung	V
U_{Gesamt}	Gesamtspannung	V
w	Energiedichte	Wh/kg

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1-1: Testspezifikation EUCAR	23
Tabelle 1-2: Kapazitätsverlust in Abhängigkeit der Umgebungstemperatur	24
Tabelle 1-3: Vergleich von Batteriesystemen	28
Tabelle 1-4: Zelleigenschaften Lithium-Ionen Zellen Stand 2015	28
Tabelle 2-1: Ausschnitt einer Checkliste für eine Anforderungsliste	31
Tabelle 2-2: Werteskala nach VDI 2225	34
Tabelle 3-1: Anforderungsliste für Akkusysteme für zukünftige Elektroautos	36
Tabelle 3-2: Nutzwertanalyse Optimierung Akkuzellenproduktion	62
Tabelle 3-3: Bewertung von Batteriesystemen bis 2020.....	68
Tabelle 3-4: Bewertung von Batteriesystemen bis 2030.....	69

1 Stand der Technik

In diesem Kapitel werden die technischen Grundlagen und Eigenschaften aktueller Akkus erläutert.

1.1 Aufbau Elektroauto

Um die Funktion des Akkus innerhalb des Elektroautos besser Einordnung zu können soll an dieser Stelle der Aufbau eines elektrischen Antriebsstrangs erläutert werden.

In Abbildung 1-1 ist ein schematischer Aufbau eines Antriebsstrangs eines reinen Elektroautos illustriert. Die notwendige Energieversorgung wird in Elektroautos meist über chemische Batterien realisiert. Je nachdem wie stark das Fahrpedal vom Fahrer betätigt wird, wird eine Leistung und Frequenz über die Leistungselektronik dementsprechend angepasst, wodurch sich eine Drehzahl und Drehmoment am Elektromotor ergibt. Die Drehbewegung des Elektromotors wird über das Differentialgetriebe auf die beiden Antriebsräder weitergeleitet, wodurch sich das Fahrzeug bewegt.¹

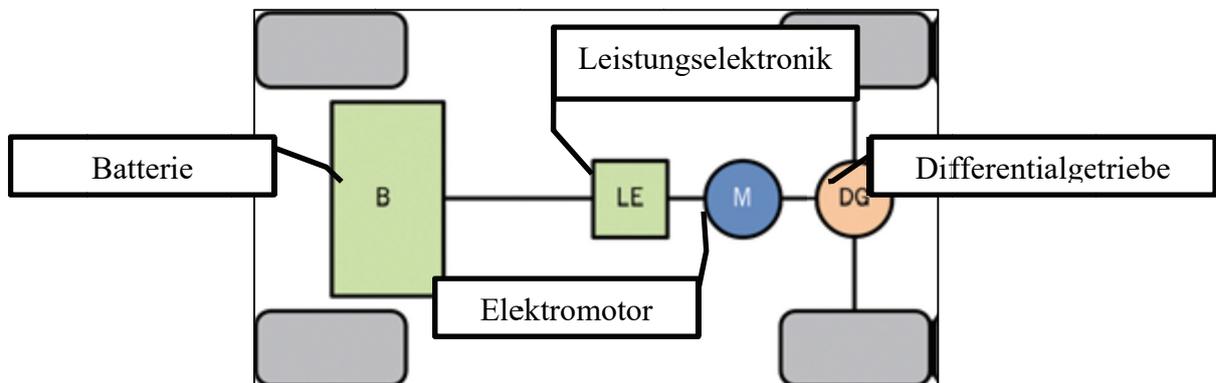


Abbildung 1-1: Schematischer Aufbau eines automobilen Elektroantriebs²

¹ Vgl. Tschöke, H.(Hrsg)/ Kasper R./Schünemann M. 2015, S. 37f.

² in Anlehnung an Tschöke, H.(Hrsg)/ Kasper R./ Schünemann M. 2015, S. 37.