

Teil I Einführung in die Elektromobilität

1 Eine historisch basierte Analyse	3
Heiner Hans Heimes, Achim Kampker, Christian Offermanns, Konstantin Sasse, Björn Vetter und Paul Thomes	
1.1 Motivation und Methode	4
1.2 Paradigmenbildung – Öl statt Strom	6
1.3 Leben in einer Nische – Spezialfahrzeuge als Know-how-Speicher	10
1.4 Renaissance eines Zukunftskonzeptes	12
1.5 Vom Zukunftskonzept zum Paradigma	21
Literatur.	24
2 Aktuelle Herausforderungen der Elektromobilität	29
Heiner Hans Heimes, Achim Kampker, Benjamin Dorn, Christian Offermanns und Florian Brans	
2.1 Kostendruck	30
2.2 Technische Hürden und unsichere Technologieentwicklung	33
2.3 Herausforderungen aus produktionstechnologischer Sicht	35
Literatur.	37
3 Elektromobilität als Schlüsseltechnologie der Mobilitätswende	39
Heiner Hans Heimes, Achim Kampker, Christian Offermanns, Janis Vienenkötter, Merlin Frank, Tobias Robben, Domenic Klohs, Natalia Soldan Cattani, Nikolaus Lackner, Nils Christen, Kim Kreisköther, Christoph Deutsdens, Kai Kreisköther und Sarah Fluchs	
3.1 Aktuelle Marktsituation	40
3.2 Verbraucherperspektive	46
3.3 Politische Perspektive	47
3.3.1 Politische Anreize zur Etablierung Deutschlands als Leitmarkt für Elektromobilität.	47

3.3.2	Politische Anreize zur Etablierung Deutschlands als Leitanbieter für Elektromobilität	49
3.3.3	Internationale politische Rahmenbedingungen für die Elektromobilität	51
3.4	Perspektive der Automobilindustrie	55
3.5	Energiewirtschaftliche Perspektive	58
	Literatur.	59
4	Formen der Elektromobilität.	63
	Heiner Hans Heimes, Achim Kampker, Christian Offermanns, Konstantin Sasse, Jonas Gorsch und Moritz Friege	
	Literatur.	65
 Teil II Elektrofahrzeugspezifische Systeme		
5	Fahrzeugstruktur	69
	Heiner Hans Heimes, Achim Kampker, Mario Kehler, Simon Dünwald, Lennart Heetfeld, Jens Polzenberg, Lucas Budde, Maximilian Keusen, Rahul Pandey und Thilo Röh	
5.1	„Conversion Design“ vs. „Purpose Design“ für Elektrofahrzeuge	74
5.2	Package für Elektrofahrzeuge	76
5.2.1	Batterieelektrische Fahrzeuge	77
5.2.2	Brennstoffzellenfahrzeuge	79
5.3	Body für Elektrofahrzeuge.	80
5.3.1	Eigenschaftsmanagement von Elektrofahrzeugkarosserien.	81
5.3.2	Evolution aus dem modernen Fahrzeugbau	84
5.3.3	„Conversion Design“	85
5.3.4	Karosserie von „Inline-Design“-Elektrofahrzeugen	86
5.3.5	Karosserie von „Purpose-Design“-Elektrofahrzeugen.	87
5.3.6	Karosseriestrukturkonzept in Abhängigkeit vom mechanischen Package.	87
5.3.7	Karosseriebaukasten für Elektrofahrzeuge: Ein Blick in die Zukunft.	88
5.4	Leichtbau	93
	Literatur.	103
6	Elektrischer Antriebsstrang.	107
	Heiner Hans Heimes, Achim Kampker, Christian Offermanns, Benjamin Dorn, Sebastian Hagedorn, Konstantin Sasse, Till Augustin Backes, Moritz Friege, Jens Polzenberg, José Guillermo Dorantes Gómez, Christoph Deutkens, Kai Kreisköther, Ruben Förstmann und Carsten Nee	
6.1	Veränderungen im Antriebsstrang	108
6.2	Antriebsstrangkonzpte in Elektrofahrzeugen	110

6.3	Komponenten des elektrischen Antriebsstrangs	113
6.3.1	Elektromotoren für den Traktionsantrieb.	116
6.3.2	Hochvolt-Traktionsbatterien für Elektrofahrzeuge	118
6.3.3	Brennstoffzelle.....	120
6.3.4	Optimale Spannungslevel für Antriebssysteme	121
6.4	Modularisierung des elektrischen Antriebsstrangs	123
	Literatur.	126
7	Batteriesysteme und deren Steuerung	129
	Dirk Uwe Sauer und Florian Ringbeck	
7.1	Lithium-Ionen-Batterien	130
7.1.1	Technologie	130
7.1.2	Elektrische Leistungsfähigkeit.....	133
7.1.3	Alterung und Lebensdauer.....	136
7.1.4	Sicherheit.....	137
7.1.5	Zelldesigns.....	139
7.1.6	Kosten	140
7.1.7	Materialverfügbarkeiten & Recycling	141
7.2	Beyond-Lithium-Ionen-Technologie	143
7.2.1	Festkörperbatterien	144
7.2.2	Lithium-Schwefel-Batterien	145
7.2.3	Lithium-Luft- und Metall-Luft-Batterien	145
7.2.4	Natrium-Ionen-Batterien	146
7.3	Typische Batteriebelastung und Lebensdauieranforderung	146
7.4	Batteriesystemdesign	148
7.4.1	Verschaltung.....	149
7.4.2	Batteriemanagementsystem.....	150
8	Brennstoffzellensysteme	153
	Heiner Hans Heimes, Achim Kampker, Mario Kehler, Christoph Schön, Sebastian Hagedorn, Sebastian Biegler und Philipp Reims	
8.1	Typen von Brennstoffzellen für mobile Anwendungen	154
8.2	Funktionsprinzip der PEM-Brennstoffzelle.....	155
8.3	Aufbau von Brennstoffzellensystemen	156
8.3.1	Komponenten des Brennstoffzellen-Stacks.....	157
8.3.2	Komponenten der Balance-of-Plant.....	160
	Literatur.	163
9	Elektrische Maschinen	165
	Kay Hameyer, Daniel Butterweck, Niklas Driendl, Marius Franck, Benedikt Groschup, Kevin Jansen, Nora Leuning, Sebastian Mönninghoff, Martin Nell und Michael Schröder	
9.1	Elektroblechpaket	173
9.2	Hartmagnete.....	175

9.3	Wicklungen elektrischer Maschinen	176
9.4	Aufbau von Isoliersystemen.	178
9.5	Kühlsystem	181
9.6	Lagerung	182
	Literatur.	183
10	Leistungselektronik	187
	Rik W. De Doncker, Niklas Fritz und Duc Pham	
10.1	Einführung in die Leistungselektronik.	187
10.2	Leistungselektronische Bauelemente.	190
10.3	DC/DC-Wandler.	192
10.4	Ladegeräte	194
10.5	Wechselrichter	196
10.6	Regelungsplattform für Wechselrichter	198
	Literatur.	201
11	Thermomanagement in Elektrofahrzeugen	203
	Heiner Hans Heimes, Achim Kampker, Christian Offermanns, Mario Kehrer, Francesco Maltoni und Hendrik Löffberding	
11.1	Herausforderungen des Thermomanagementsystems in Elektrofahrzeugen	204
11.2	Thermomanagement der Elektromobilkomponenten	204
	11.2.1 Thermomanagement der Batterie.	205
	11.2.2 Thermomanagement des Elektromotors	208
	11.2.3 Thermomanagement der Hochvoltkomponenten.	209
	11.2.4 Thermomanagement des Fahrzeuginnenraums	209
	11.2.5 Gesamtsystembetrachtung des Thermomanagements	210
11.3	Bauraum der Thermomanagement-Komponenten.	211
11.4	Computerbasierte Systemmodellierungsansätze des Thermomanagements.	211
	Literatur.	212
Teil III Produktion von elektrofahrzeugspezifischen Systemen		
12	Vom Prototypen zur Serienfertigung	217
	Heiner Hans Heimes, Achim Kampker, Benjamin Dorn, Andreas Kraus und Michael Nankemann	
12.1	Anlaufmanagement	218
12.2	Lieferantenmanagement.	220
12.3	Logistikmanagement	221
12.4	Produktionsmanagement	222
12.5	Änderungsmanagement	223
12.6	Kostenmanagement	223
	Literatur.	224

13	Produktionsprozesse der Fahrzeugstruktur	227
	Heiner Hans Heimes, Achim Kampker, Benjamin Dorn, Mario Kehrer, Simon Dünnwald, Dennis Badura, Maximilian Terren und Thilo Röth	
13.1	Stückzahl-spezifische Produktionsverfahren der Außenhautkomponenten	228
13.1.1	Stückzahlabhängige Produktionsverfahren auf Basis von Kunststoffwerkstoffen	229
13.1.2	Die technischen Verfahren der Kunststoff-Teileproduktion in der Übersicht	230
13.1.3	Stückzahlabhängige Produktionsverfahren auf Basis von Metallen	232
13.1.4	Vierkant-Hohlprofil-Herstellung	232
13.1.5	Die technischen Verfahren der Vierkant-Hohlprofil- Herstellung in der Übersicht	233
13.1.6	Das technische Tiefziehen für die Stirnwandproduktion	235
13.1.7	Space-Frame-Knoten-Herstellung	236
13.1.8	Die technischen Verfahren der Space-Frame-Knoten- Herstellung in der Übersicht	237
13.1.9	Herstellung der Federbeinaufnahme	237
13.1.10	CNC-Fräsen als Herstellungsverfahren in der Übersicht	238
13.1.11	Weitere stückzahlabhängige Produktionsverfahren	239
13.2	Fügen von Außenhaut und Karosserie	240
13.2.1	Schweißverfahren zum Fügen von Außenhaut und Karosserie	241
13.2.2	Weitere Verfahren zum Fügen von Außenhaut und Karosserie	242
13.2.3	Verfahren zum Fügen von elektrischen Komponenten	243
	Literatur	246
14	Montage von Elektrofahrzeugen	249
	Heiner Hans Heimes, Achim Kampker, Benjamin Dorn, Mario Kehrer, Simon Dünnwald, Lucas Budde, Maximilian Keusen, Felix Rosen, Christoph Deutsdens, Kai Kreisköther, Ruben Förstmann und Carsten Nee	
14.1	Grundlagen der Montage	251
14.2	Montageveränderungen gegenüber konventioneller Fahrzeugmontage	253
	Literatur	256
15	Produktionsverfahren von Batteriezellen und -systemen	259
	Heiner Hans Heimes, Benjamin Dorn, Marc Locke, Sarah Wennemar, Robert Ludwigs, Lorenz Plocher und Simon Voß	
15.1	Herstellungsprozess einer Batteriezelle	260
15.1.1	Elektrodenfertigung	260
15.1.2	Zellassemblierung	262
15.1.3	Zellfinalisierung	264

15.2	Batterieminimal- und -packmontage.	266
15.2.1	Montageprozess des Moduls	267
15.2.2	Montageprozess des Packs.	269
15.3	Die Zukunft der Batterieproduktion.	270
	Literatur.	272
16	Produktionsverfahren von Brennstoffzellen und -systemen	275
	Heiner Hans Heimes, Achim Kampker, Benjamin Dorn, Christoph Schön, Sebastian Hagedorn, Philipp Reims und Moritz Müller-Roden	
16.1	Herstellung der Stack-Komponenten.	276
16.1.1	Produktion von Bipolarplatten.	276
16.1.2	Produktion von Membran-Elektroden-Einheiten.	278
16.1.3	CCM.	278
16.1.4	GDL	279
16.1.5	MEA.	280
16.1.6	Produktion weiterer Komponenten	281
16.2	Fertigung des Brennstoffzellen-Stacks	281
16.3	Assemblierung des Gesamtsystems	283
	Literatur.	286
17	Produktionsverfahren elektrischer Maschinen	289
	Heiner Hans Heimes, Achim Kampker, Benjamin Dorn, Michael Nankemann, Andreas Kraus, Christian Stäck und Henrik Born	
17.1	Herstellung des Elektrolechpakets.	290
17.2	Rotorproduktion.	293
17.2.1	Fremderregte Synchronmaschine (FSM).	295
17.2.2	Permanenterregte Synchronmaschine (PMSM).	295
17.2.3	Asynchronmaschine (ASM).	297
17.3	Statorproduktion	297
17.3.1	Kupferlackdrahtproduktion	299
17.3.2	Wicklungsherstellung.	301
17.3.3	Verarbeitung von Isoliersystemen	306
17.4	Endmontage elektrischer Maschinen	308
17.4.1	Endmontagetechnik	308
17.4.2	EoL-Prüftechnik.	310
	Literatur.	311

18	Produktionsverfahren in der Leistungselektronik	313
	Rik W. De Doncker, Isabel Austrup, Sven Kalker und Lukas Ruppert	
18.1	Aufbau- und Verbindungstechnik von Leistungshalbleitern	314
18.2	Kühlung	317
18.3	Passive Bauelemente	318
18.3.1	Kondensatoren	318
18.3.2	Magnetika	319
18.4	Treiberschaltung	320
18.5	Produktionsumgebung und ESD-Schutz	323
	Literatur	323

Teil IV Technische und regulatorische Rahmenbedingungen der Elektromobilität

19	Lösungsstrategien der Produktentstehung	329
	Heiner Hans Heimes, Achim Kampker, Christian Offermanns, Konstantin Sasse, Jonas Gorsch, Kai Kreisköther, Ruben Förstmann und Carsten Nee	
19.1	Lösungsraum- und Spezifikationsmanagement als Kernkompetenz des Systemintegrators	330
19.2	Front- und Side-Loading für eine kurze Time-to-Market	331
19.3	Frühzeitige Validierung mittels früher Prototypen	332
19.4	Agile Methoden für eine hohe Reaktionsfähigkeit und kurze Time-to-Market	333
19.5	Möglichkeiten zur Integration der Montage eines „Conversion-Design“-Fahrzeuges in bestehende Montagestrukturen	335
19.6	Schaffung skalierbarer Montagestrukturen	336
	Literatur	338
20	Produktentwicklungsprozess	341
	Heiner Hans Heimes, Achim Kampker, Fabian Schmitt und Michael Demming	
20.1	Schritte des Produktentwicklungsprozesses	342
20.1.1	Konzeptphase	343
20.1.2	Serienentwicklung	344
20.1.3	Validierung	344
20.2	Entwicklungsmodelle	346
20.2.1	V-Modell	346
20.2.2	W-Modell	348
20.2.3	Agile Fahrzeugentwicklung	348
20.3	Integrierte Produktentwicklung	349
	Literatur	350

21 Gesetzliche Anforderungen	353
Heiner Hans Heimes, Achim Kampker, Christian Offermanns, Mario Kehler, Konstantin Sasse, Simon Dünwald, Janis Vienenkötter, Amira Meyer, Moritz Friege, Merlin Frank, Björn Vetter, Dirk-W. Morche, Klaus Genuit und Olaf Elsen	
21.1 Technische Prüfstellen und Technische Dienste	355
21.2 Fahrzeugklassen	355
21.2.1 Internationale Regelung der Fahrzeugklassen	356
21.2.2 Nationale und europäische Regelung der Fahrzeugklassen	356
21.2.3 Fahrzeugunterklassen	357
21.2.4 Fahrzeugklasse L	358
21.2.5 Fahrzeugklassen für Elektrofahrzeuge	359
21.2.6 Klassifizierung elektrifizierter Antriebskonzepte	361
21.3 Zulassungsarten	363
21.3.1 Typgenehmigung	364
21.3.2 Einzelbetriebslaubnis	365
21.4 Normen und Standards	366
21.4.1 Produkt- und Betriebssicherheit	366
21.4.2 Elektrische Sicherheit	368
21.4.3 Funktionale Sicherheit	371
21.4.4 Batteriebaukastensysteme	372
21.4.5 Kabel- und Steckverbindungen	373
21.4.6 Ladeinfrastruktur	377
21.5 Noise, Vibration, Harshness (NVH)	379
21.5.1 NVH-Aufgaben in den vergangenen Jahren	380
21.5.2 NVH in Zukunft	384
21.5.3 Fahrzeuginnengeräusche	386
21.5.4 Fahrzeugaußengeräusche	392
21.5.5 Ausblick	395
21.6 Elektromagnetische Verträglichkeit	396
21.6.1 Einführung	396
21.6.2 Historische Entwicklung	399
21.6.3 Kopplungsmodell und Kopplungsmechanismen	400
21.6.4 EMV-Design am E-Fahrzeug	404
21.7 Zulassung und Zertifizierung von Batteriepacks	406
21.7.1 Institutionen, Standards und Normen	407
21.7.2 Internationaler Vergleich	408
21.7.3 Zulassung	411
21.7.4 Transportvorschriften	414
Literatur	416

Teil V Infrastruktur für die Elektromobilität

22	Mobilitätsverhalten und Fahrzeugnutzung	425
	Tobias Kuhnimhof	
22.1	Grundlagen zum Mobilitätsverhalten	426
22.2	Pkw der Privathaushalte	427
22.3	Zweiräder	432
22.4	Busse des öffentlichen Verkehrs	434
22.5	Fahrzeuge des Wirtschaftsverkehrs	434
	Literatur	436
23	Einsatzfelder von Elektrofahrzeugen	439
	Tobias Kuhnimhof und Marcel Porschen	
23.1	Elektromobilität in Privathaushalten: Elektrische Pkw	439
23.2	Elektromobilität in Privathaushalten: Pedelecs	442
23.3	Öffentlicher Verkehr	443
23.4	Mobilitätskonzepte – Elektrifizierung der Shared Micromobility	444
	23.4.1 Pedelecs	444
	23.4.2 E-Scooter	445
	23.4.3 Carsharing	446
23.5	Wirtschaftsverkehr	447
	23.5.1 „Last-Mile“-Logistik	447
	23.5.2 Elektrifizierung schwerer Nutzfahrzeuge	448
	Literatur	449
24	Lade- und Ladeinfrastruktur-Technologie	453
	Christopher Hecht, Jan Figgener und Dirk Uwe Sauer	
24.1	Lademöglichkeiten	454
	24.1.1 Schuko-Notlader	455
	24.1.2 Wallbox	455
	24.1.3 Ladesäule (AC)	456
	24.1.4 Schnellladesäule (DC)	456
24.2	Steckertypen	458
24.3	Gleichrichteraufbauten	459
24.4	Batteriespeicher	461
24.5	Mess- und Abrechnungssysteme	461
24.6	Kommunikationsprotokolle	463
	Literatur	464

25	Ladebedarf und Ladeinfrastrukturbedarf	467
	Marcel Porschen, Fabian Kühnel, Tobias Kuhnimhof, Chris Martin Vertgewall, Niklas Wehbring und Andreas Ulbig	
25.1	Einflussfaktoren auf den Ladebedarf	468
25.2	Typisierung von Ladebedarfen.	470
25.2.1	Ladepunkte und Ladestandorttypen.	470
25.2.2	Einteilung der Fahrzeuge in Ladebedarfsgruppen	474
25.2.3	Verflechtung von Ladestandorttypen und Ladebedarfsgruppen ...	476
25.2.4	Schnellladebedarf in den verschiedenen Gruppen	477
25.3	Räumlich-zeitliche Struktur von Ladebedarfen	477
25.4	Ladeleistung	480
25.4.1	Prognose von Ladevorgängen	481
25.4.2	Exemplarische Fahr- und Ladeprofile	483
	Literatur.	484
26	Ladeinfrastruktur im Status quo	487
	Christopher Hecht, Jan Figgner und Dirk Uwe Sauer	
26.1	Private Ladeinfrastrukturnutzung am Wohnort	488
26.2	Öffentliche Ladeinfrastrukturnutzung	489
26.3	Nutzung von elektrifizierten Flotten	492
	Literatur.	496
27	Netzintegration	497
	Chris Martin Vertgewall, Niklas Wehbring und Andreas Ulbig	
27.1	Energieversorgung in Deutschland	498
27.1.1	Stromerzeugung und Kraftwerkspark	498
27.1.2	Energiebedarf und elektrische Verbraucher	501
27.2	Stromnetze	503
27.2.1	Übertragungsnetz.	503
27.2.2	Verteilungsnetz.	505
27.2.3	Zukünftige Herausforderungen	505
27.3	Auswirkungen von Elektromobilität auf das Energiesystem	507
27.3.1	Netzanschlussmöglichkeiten	507
27.3.2	Energiebedarf und Leistungsspitzen	509
27.3.3	Netzausbaubedarf durch Elektromobilität	512
27.4	Intelligente Netzintegration	512
27.4.1	Spitzenglättung	512
27.4.2	Ausgestaltungsmöglichkeiten	513
27.4.3	„Vehicle-to-X“ und Pooling	516
	Literatur.	517

28	Rechtliche Grundlagen zum Aufbau von Ladeinfrastruktur	521
	Marcel Porschen, Tobias Kuhnimhof, Chris Martin Vertgewall, Niklas Wehbring und Andreas Ulbig	
28.1	Aufbau privater Ladeinfrastruktur	523
28.1.1	Bauordnungs- und Bauplanungsrecht	523
28.1.2	Wohnungseigentumsmodernisierungsgesetz (WEMoG)	525
28.1.3	Gebäude-Elektromobilitätsinfrastruktur-Gesetz (GEIG)	526
28.1.4	Stellplatzsatzungen	527
28.2	Aufbau öffentlicher Ladeinfrastruktur	528
28.3	Betrieb von Ladeinfrastruktur	529
28.3.1	Private Ladeinfrastruktur	529
28.3.2	Öffentliche Ladeinfrastruktur	530
	Literatur.	531
29	Weitere Implikationen für Verkehrsinfrastruktur	533
	Fabian Kühnel, Marcel Porschen und Tobias Kuhnimhof	
29.1	Tankstellen	533
29.2	Lärm- und Schadstoffemissionen.	534
29.3	Flächeninanspruchnahme.	535
	Literatur.	536
30	Schlussfolgerungen und Ausblick	537
	Tobias Kuhnimhof und Marcel Porschen	

Teil VI Geschäftsmodelle entlang der elektromobilen Wertschöpfungskette

31	Gezeitenwende in der Automobilindustrie	541
	Garnet Kasperk, Sarah Fluchs und Julius Hausmann	
	Literatur.	542
32	Das elektromobile Wertschöpfungssystem	545
	Garnet Kasperk, Sarah Fluchs und Julius Hausmann	
32.1	Das Elektromobilitätsangebot	545
32.2	Fahrzeugbezogene Wertschöpfungsstruktur	546
32.3	Die globale fahrzeugbezogene Wertschöpfung	549
32.3.1	Fahrzeugproduktion	549
32.3.2	Zusammensetzung der Wertschöpfung bei der Elektromobilproduktion.	555
32.3.3	Batterie: Rohstoffe, Zellen, Komponenten	559
32.3.4	Elektromotor und Leistungselektronik	561
	Literatur.	563

33	Wertschöpfungspotenziale entlang der elektromobilen	
	Wertschöpfungskette	565
	Garnet Kasperk, Sarah Fluchs und Julius Hausmann	
33.1	Fahrzeugbezogene Potenziale	565
33.2	Wertschöpfungspotenziale der Lithium-Ionen-Batterie	571
33.3	Wertschöpfungspotenziale im Bereich Energieversorgung und Ladeinfrastruktur	575
33.4	Wertschöpfungspotenziale im Bereich Dienstleistungen	579
	Literatur	582
34	Elemente der elektromobilerorientierten Geschäftsmodelle	585
	Garnet Kasperk, Sarah Fluchs und Julius Hausmann	
34.1	Elemente von Geschäftsmodellen	585
34.2	Fahrzeugbezogene Geschäftsmodelle	588
34.2.1	Fahrzeugverkauf	588
34.2.2	E-Flotten	593
34.2.3	E-Carsharing	594
34.2.4	Multimodaler Transport	596
34.3	Energie-/infrastrukturbezogene Geschäftsmodelle	598
34.3.1	Aufbau, Instandhaltung und Betrieb von Ladesäulen	598
34.3.2	Ladeinfrastrukturbezogene Dienstleistungen	599
34.4	Weitergehende dienstleistungsorientierte und integrierte Geschäftsmodelle	601
34.5	Kooperative Geschäftsmodelle	604
34.6	Kooperationen von Automobilherstellern	607
34.7	Kooperationen von Automobilzulieferern	608
34.8	Kooperationen von Energieversorgungsunternehmen	610
	Literatur	611
35	Geschäftsmodelle der Elektromobilität	613
	Garnet Kasperk, Sarah Fluchs und Julius Hausmann	
35.1	Geschäftsmodellinnovationen	613
35.2	Geschäftsmodelloptionen aus Sicht der Automobilhersteller	616
35.3	Geschäftsmodelloptionen aus Sicht der Automobilzulieferer	620
35.4	Geschäftsmodelloptionen aus Sicht der Energieversorger	621
	Literatur	623
36	Zusammenfassung	625
	Garnet Kasperk, Sarah Fluchs und Julius Hausmann	

Teil VII Nachhaltigkeitspotenziale der Elektromobilität

37	Drei Säulen der Nachhaltigkeit und Bewertungsansätze	629
	Jana Gerta Backes, Rose Nangah Mankaa und Marzia Traverso	
37.1	Ökologische Dimension: „Life Cycle Assessment“	631
37.2	Ökonomische Dimension: „Life Cycle Costing“	634
37.3	Soziale Dimension: „Social Life Cycle Assessment“	635
37.4	Beispiel-Case-Study soziale Nachhaltigkeit in der Elektromobilität – Fokus: Soziale-Hotspot-Analyse von Lithium-Ionen-Batterien	637
	Literatur.	640
38	Die ökologischen Aspekte des Elektromobils während des gesamten Lebenszyklus	643
	Jana Gerta Backes, Rose Nangah Mankaa und Marzia Traverso	
38.1	Ziel und Untersuchungsrahmen	644
38.2	Sachbilanz und Datensammlung	645
38.3	Wirkungsabschätzung oder „Life Cycle Impact Assessment“	645
38.3.1	Sieben Grundsätze zu Ökobilanzen von Elektrofahrzeugen	650
	Literatur.	651
39	Potenziale von Second-Use-Anwendungen für Lithium-Ionen-Batterien	655
	Heiner Hans Heimes, Achim Kampker, Christian Offermanns, Nikolaus Lackner, Domenic Klohs, Mark Junker und Kim Kreisköther	
39.1	Aufkommen und Zustand von Batterien für die Second-Life-Phase	657
39.2	Nutzungskonzepte für Second-Life-Batterien	660
39.3	Ausblick für Second-Life-Batterien.	665
39.4	Zusammenfassung	666
	Literatur.	667
40	Refurbishment von Lithium-Ionen-Batterien	669
	Heiner Hans Heimes, Achim Kampker, Christian Offermanns, Janis Vienenkötter und Merlin Frank	
	Literatur.	671
41	Demontage von Lithium-Ionen-Batterien.	673
	Heiner Hans Heimes, Achim Kampker, Christian Offermanns, Domenic Klohs und Kim Kreisköther	
	Literatur.	676

42	Remanufacturing von Lithium-Ionen-Batterien	679
	Heiner Hans Heimes, Achim Kampker, Christian Offermanns, Domenic Klohs, Nikolaus Lackner und Kim Kreisköther	
42.1	Konzeptansätze zum Remanufacturing von Lithium-Ionen-Batterien	681
42.2	Herausforderungen des Remanufacturings in der Batterie	682
42.3	Ökonomischer und ökologischer Nutzen des Remanufacturings	684
42.3.1	Zusammenfassung und Ausblick	685
	Literatur	686
43	Recycling von Lithium-Ionen-Batterien	687
	Heiner Hans Heimes, Achim Kampker, Christian Offermanns, Janis Vienenkötter, Francesco Maltoni, Natalia Soldan Cattani, Nils Christen und Kim Kreisköther	
43.1	Gesetzliche Rahmenbedingungen	688
43.2	Überblick zu Batterie-Recycling-Verfahren	692
43.3	Stand der Technik in Forschung und Entwicklung	693
43.3.1	Stand der Technik industrieller Recycling-Verfahren	695
	Literatur	701
	Abkürzungsverzeichnis	705
	Stichwortverzeichnis	711