

Inhaltsverzeichnis

1	Einführung in die Umwidmung und Weiterverwendung von Traktionsbatterien	1
	Daniel Beverungen, Sebastian Menne, Sascha Nowak, Shamahmood Obeidi, Florian Plenter und Christoph Hindersmann	
1.1	Dienstleistungsinnovationen für die Elektromobilität	1
1.2	Einführung in Traktionsbatterien	6
1.2.1	Kenngroßen von Lithium-Ionen-Batterien	6
1.2.2	Von der Zelle zum System	7
1.3	Alterungsverhalten, Umwidmung und Weiterverwendung von Traktionsbatterien	10
1.4	Das EOL-IS-Konzept	12
1.5	Struktur des Herausgeberbandes	15
1.6	Zusammenfassung	17
	Literatur	18
2	End-of-Life-Strategien für Traktionsbatterien	21
	Sebastian Bräuer und Alexander Stieger	
2.1	Übersicht	21
2.2	Einführung in End-of-Life-Strategien	23
2.2.1	EOL-Strategien in der Literatur	25
2.2.2	EOL-Strategien für Traktionsbatterien	29
2.3	Rechtlicher Rahmen für die Anwendung der End-of-Life-Strategien auf Traktionsbatterien	32
2.3.1	Auswahl deutscher Gesetze und europäischer Richtlinien	33
2.3.1.1	Kreislaufwirtschaftsgesetz	34
2.3.1.2	Batteriegesetz	36
2.3.1.3	Altfahrzeug-Verordnung	39
2.3.1.4	Gefahrgutverordnung Straße, Eisenbahn und Binnenschifffahrt	40
2.3.1.5	Europäisches Übereinkommen über die internationale Beförderung gefährlicher Güter auf der Straße	41

2.3.2	Erörterung von rechtlichen Herausforderungen für die Umwidmung und Weiterverwendung von Traktionsbatterien . . .	42
2.4	Wiederinstandsetzung von Traktionsbatterien für die Wiederverwendung	45
2.4.1	Motivation	45
2.4.2	Begriffsdefinition	46
2.4.3	Zentrale Prozessschritte	48
2.4.4	Herausforderungen	61
2.5	Umwidmung von Traktionsbatterien für die Weiterverwendung	64
2.5.1	Motivation	65
2.5.2	Begriffsdefinition	66
2.5.3	Zentrale Prozessschritte	71
2.5.4	Herausforderungen	80
2.6	Wieder- und Weiterverwertung von Traktionsbatterien aus Elektroautos .	86
2.6.1	Detaillierung der Grundoperationen der Aufbereitung	88
2.6.1.1	Vorbereitung durch Entladung/Deaktivierung	88
2.6.1.2	Mechanische Aufbereitung	89
2.6.1.3	Hydrometallurgie	90
2.6.1.4	Pyrometallurgie	90
2.6.2	Gegenüberstellung ausgewählter Recyclingverfahren	90
2.6.2.1	Retriev Technologies (ehemals Toxco Inc.)	91
2.6.2.2	Recupyl SA	91
2.6.2.3	Batrec	95
2.6.2.4	Umicore	97
2.6.2.5	Accurec	99
2.6.2.6	AEA	101
2.6.2.7	Mitsubishi Heavy Industries	101
2.6.2.8	Lithorec	104
2.6.3	Vergleich Pyro- und Hydrometallurgie	107
2.6.3.1	Technischer Vergleich	108
2.6.3.2	Ökologischer Vergleich	109
2.7	Zusammenfassung	112
	Literatur	115

3 Die Umwidmung gebrauchter Traktionsbatterien in der Detailbetrachtung 125

Sebastian Menne, Shamahmood Obeidi, Christoph Hindersmann, Sebastian Bräuer, Markus Monhof und Sascha Nowak

3.1	Übersicht	125
3.2	Alterungsverhalten von Traktionsbatterien aus Elektrofahrzeugen	127
3.2.1	Wichtige Batterieparameter	127
3.2.2	Alterungsverhalten	128
3.3	Konzepte für die Identifikation und Zustandsbestimmung	131
3.3.1	Identifikation gebrauchter Traktionsbatterien	131

3.3.2 Auslesen digitaler Batterieparameter 132

3.3.3 Prüfkonzepte zur Zustandsbewertung gebrauchter
Traktionsbatterien 133

3.3.4 Konzeption innovativer Batteriemanagementsysteme:
Der eEOL-Pass 137

3.3.4.1 Aufnehmen und Abspeichern der Nutzungs- und
Batterieparameter 138

3.3.4.2 Steuerung des Lade- und Entladevorgangs 142

3.3.4.3 Fortwährende Überwachung der Funktionsfähigkeit der
Batterie 144

3.3.4.4 Auslesen der abgespeicherten Daten 144

3.4 Prozesse für die Umwidmung und Weiterverwendung 146

3.4.1 Rücknahme gebrauchter Traktionsbatterien 149

3.4.2 Zustandsanalyse auf Packebene 153

3.4.2.1 Statusaufnahme 155

3.4.2.2 Visuelle Begutachtung (außen) 155

3.4.2.3 Identifikation des Batterietyps 156

3.4.2.4 Zustandsbestimmung mittels eEOL-Pass 158

3.4.2.5 Zustandsbestimmung mittels elektrischer Prüfung 158

3.4.3 Zustandsanalyse auf Komponentenebene 159

3.4.3.1 Zerlegen und visuelle Begutachtung (innen) 161

3.4.3.2 Prüfung der Einzelkomponenten 161

3.4.3.3 Zusammenbau 162

3.4.4 Bestimmung der Zweitverwendungsstrategie 163

3.4.5 Bestimmung des Weiterverwendungsszenarios 164

3.4.6 Umwidmung 168

3.4.7 Weitere unterstützende Prozesse 169

3.4.7.1 Transportvorbereitung und Transport 169

3.4.7.2 Lagerung 172

3.5 Zusammenfassung 174

Literatur 176

**4 Szenarien und Geschäftsmodelle für die Vermarktung umgewidmeter
Traktionsbatterien 179**

Florian Plenter, Sebastian Menne, Christoph Hindersmann, Sebastian Bräuer,
Johannes Voscort und Robert Mittmann

4.1 Übersicht 179

4.2 Vermarktungspotentiale für gebrauchte Traktionsbatterien 180

4.3 Wertschöpfung mit gebrauchten Traktionsbatterien 184

4.3.1 Handel gebrauchter Güter 185

4.3.2 Traktionsbatterien aus Elektroautos als gebrauchtes Handelsgut . 185

4.3.3 Wertschöpfungskette gebrauchter Traktionsbatterien 186

4.4	Weiterverwendungsszenarien	190
4.4.1	Übersicht	190
4.4.2	Pilotprojekte	199
4.4.2.1	Effizienzhaus Plus mit Elektromobilität	200
4.4.2.2	Vattenfall Second-Life-Speicher	203
4.4.2.3	Großspeicher Wendelstein	204
4.5	Geschäftsmodellentwicklung für stationäre Speicher aus Traktionsbatterien	208
4.5.1	Business Model Canvas	209
4.5.2	Vorstellung von Geschäftsmodellen für Weiterverwendungsszenarien und Anwendungsfälle	212
4.5.2.1	Bereitstellung von Primärregelleistung	212
4.5.2.2	Verschiebung von Lastspitzen	217
4.5.2.3	Optimierung des Eigenverbrauchs	220
4.5.2.4	Pufferspeicher zur Netzbezugsreduzierung bei Ladesäulen	225
4.5.2.5	Off-Grid Anwendungen	228
4.5.3	Vorstellung von Geschäftsmodellentwürfen für neue Anwendungsfälle	231
4.5.4	Unterschiede in den Geschäftsmodellen zwischen der Verwendung von First-Life- und Second-Life-Batterien	232
4.5.5	Geschäftsmodellentwurf für Second-Life-Solarspeicher für Privathaushalte	233
4.6	Zahlungsbereitschaft für Second-Life-Solarspeicher für Privathaushalte	239
4.7	Ökonomische und ökologische Bewertung der Umwidmung und Weiterverwendung von Traktionsbatterien in der Literatur	245
4.7.1	Ergebnisse zur ökonomischen Bewertung	246
4.7.2	Ergebnisse zur ökologischen Bewertung	250
4.7.3	Fazit und Ausblick zur ökonomischen und ökologischen Bewertung	251
4.8	Zusammenfassung	252
	Literatur	254
5	Modellgetriebene Entscheidungsunterstützung für die Umwidmung gebrauchter Traktionsbatterien	259
	Benjamin Klör und Markus Monhof	
5.1	Übersicht	259
5.2	Anwendungsbeispiel	260
5.3	Entscheidungsproblem	262
5.4	Entscheidungsmodelle	265
5.4.1	Nomenklatur für die Entscheidungsmodelle	266
5.4.2	Entscheidungsmodell 1: Alle technisch zulässige Zuordnungen	266
5.4.3	Entscheidungsmodell 2: Bestmögliche technische Passung	267

5.5	Entscheidungsfindungsprozess	269
5.6	Entscheidungsunterstützungssystem	271
5.6.1	Systemgrundlagen	272
5.6.2	Entwurf eines modellgetriebenen EUS	273
5.7	Zusammenfassung	281
	Literatur	283
6	Leistungskonfiguration zur Vermarktung gebrauchter Traktionsbatterien	287
	Markus Monhof, Benjamin Klör und Sebastian Bräuer	
6.1	Übersicht	287
6.2	Entscheidungsproblem und Entscheidungsprozess	288
6.3	Produkt- und Leistungskonfiguratoren	291
6.4	Empfehlungssysteme	293
6.5	Entwurf eines Leistungskonfigurators mit Empfehlungssystem	295
6.6	Zusammenfassung	301
	Literatur	302
7	Demonstration des EOL-IS-Softwaresystems zur Entscheidungsunterstützung	305
	Benjamin Klör und Markus Monhof	
7.1	Übersicht	305
7.2	Datenerfassung	306
7.2.1	Erfassung von Batteriedaten	306
7.2.2	Erfassung von Kunden- und Szenariodaten	308
7.2.3	Erfassung von Dienstleistungen	312
7.3	Entscheidungsprozess für die Umwidmung	312
7.3.1	Auswahl von Entscheidungsobjekten	312
7.3.2	Datenverfügbarkeit und Datenkonsistenz prüfen	315
7.3.3	Zuordnung von Batterien zu Szenarien	318
7.4	Entscheidungsprozess für die Dienstleistungskonfiguration	322
7.4.1	Leistungskonfiguration einer Energiespeicherlösung	323
7.4.2	Angebotsverwaltung und -Auswahl	329
7.5	Zusammenfassung	333
	Literatur	334
8	Forschungsausblick zur Umwidmung und Weiterverwendung von Traktionsbatterien	335
	Daniel Beverungen, Christoph Hindersmann, Sebastian Menne, Sascha Nowak, Shamahmood Obeidi und Florian Plenter	
8.1	Zusammenfassung der Kernergebnisse	335
8.2	Limitationen des EOL-IS-Konzepts	338

8.2.1	Geringer Durchdringungsgrad und unabsehbare Diffusionsgeschwindigkeit der Elektromobilität und der Energiewende	339
8.2.2	Ermittlung des tatsächlichen Alterungsverhaltens von Traktionsbatterien und Batteriezellen	341
8.2.3	Beachtung aller relevanten rechtlichen Rahmenbedingungen . . .	341
8.2.4	Akzeptanz gebrauchter Energiespeicher durch Kunden	342
8.3	Forschungsausblick	342
8.3.1	Weiterentwicklung und Standardisierung der Batterietechnik . . .	342
8.3.2	Methoden zur Zustandsbestimmung von Traktionsbatterien	343
8.3.3	Traktionsbatterien als intelligente Produkte	344
8.3.4	Organisatorische Verankerung der Umwidmung und Weiterverwendung von Traktionsbatterien	345
8.3.5	Akzeptanz gebrauchter Batteriespeicher durch Kunden	345
8.3.6	Evaluation und Weiterentwicklung des EOL-IS-Konzept gemäß einem gestaltungsorientierten Forschungsparadigma	346
8.4	Anwendungsausblick	347
8.5	Zusammenfassung	348
	Literatur	349