Inhaltsverzeichnis

VORWORT	11
EINLEITUNG	18
Schwungrad	19
Solarzelle	22
Elektrostatische Energiespeicher	23
Brennstoffzelle	25
Elektrochemische Energiespeicher	26
Grundprinzipien eines Akkumulators	28
KAPITEL 1	31
Glossar der Begrifflichkeiten, Größen und Messverfahren aus der Batterietechnik	31
Laden von Akkumulatoren	39
Laden von Blei-Säure-Akkumulatoren	40
Interkalationselektroden (Exkurs)	57
Dendriten	59
Li-Plating	62
»Memory«-Effekt	64
KAPITEL 2: WÄSSRIGE SYSTEME	68
2.1 Der Bleiakкумулятор	68
2.1.1 Entstehungsgeschichte des Bleiakкумуляtors	68
2.1.2 Funktionsprinzip und allgemeiner Aufbau des Bleiakкумуляtors ..	70
<i>Chemische Reaktion</i>	70
2.1.3 Aufbau von Bleiakкумуляtoren	73
<i>Geschlossene Bauarten (früher: offene Bauarten)</i>	73
<i>Großoberflächenplatte</i>	74
<i>Gitterplatte</i>	76
<i>Röhrchenplatte / Panzerplatte</i>	77
<i>Separatoren</i>	79
<i>Offene Bauart</i>	82

<i>Verschlossene Bauarten (»wartungsfreie Systeme«)</i>	82
2.1.4 Bleiakkumulator in der Anwendung	86
2.1.4 Verschaltung von Blei-Säure-Akkumulatoren	91
<i>a) Geschlossene Blei-Säure-Akkumulatoren</i>	91
<i>b) Blei-Gel-Akkumulatoren</i>	92
2.1.5 Batterieheizung	93
2.1.6 Ladefaktorverbesserungen	95
2.1.7 Lebensdauer	101
<i>Kalendarische Lebensdauer</i>	102
<i>Zyklische Lebensdauer</i>	102
2.1.8 Vor- und Nachteile des Blei-Säure-Akkumulators	103
<i>Vorteile des Blei-Säure-Akkumulators:</i>	103
<i>Nachteile des Blei-Säure-Akkumulators:</i>	103
2.1.9 Potenziale und Grenzen des Einsatzes von Blei-Säure- Akkumulatoren in Hybrid- und Elektrofahrzeugen	104
2.1.10 Reparatur von Blei-Säure-Batterien	110
<i>Batteriepulser</i>	110
<i>Batterieausbesserungsmittel</i>	114
<i>Eigenreparatur</i>	115
2.1.11 Zusammenfassung und Ausblick	117
2.2 Der Nickel-Cadmium-Akkumulator	119
2.2.1 Elektrochemische Reaktion	120
2.2.2 Prinzipieller Aufbau	122
<i>Erwärmung von Akkumulatoren</i>	123
<i>Elektrodenaufbau in Nickel-Cadmium-Zellen</i>	125
<i>Offene (geschlossene) Nickel-Cadmium-Akkumulatoren</i>	132
<i>Gasdichte (verschlossene) Nickel-Cadmium-Akkumulatoren</i>	133
2.2.3 Ladeverfahren	136
2.2.4 Reihenschaltung	141
2.2.5 Potentieller Einsatz von Nickel-Cadmium-Akkumulatoren in Hybrid- und Elektrofahrzeugen	142
2.2.6 Zusammenfassung	144
2.3 Der Nickel-Eisen-Akkumulator	147
2.3.1 Elektrochemische Reaktion	149
2.3.2 NiFe-Akkumulatoren in Hybrid und Elektrofahrzeugen?	150

2.3.3 Zusammenfassung	152
2.4 Der Nickel-Metallhydrid-Akkumulator	153
2.4.1 Elektrochemische Reaktion	154
2.4.2 Einsatz von Nickel-Metallhydrid-Akkumulatoren in Hybridfahrzeugen	159
2.4.3 Zusammenfassung der NiMH-Technologie	162
2.5 Der Nickel-Zink-Akkumulator	164
2.5.1 Reaktionsgleichungen	165
2.5.2 Aufbau des NiZn-Akkumulators	167
2.5.3 Lebensdaueraspekte	167
2.5.4 Anwendungsgebiete	169
2.5.5 Potentiale und Grenzen des Einsatzes von NiZn-Systemen in Hybridfahrzeugen	170
2.5.6 Zusammenfassung	172
2.6 Die Zink-Luft-Zelle	173
Einleitung	173
2.6.1 Primäre Zink-Luft-Zellen	174
2.6.2 Entladung	176
2.6.3 Wiederaufladbare Zink-Luft-Zellen	182
<i>Ladung mechanisch</i>	182
<i>Ladung elektrisch</i>	185
2.6.4 Herausforderungen, Recycling, Umweltaspekte und Ausblick	189
 KAPITEL 3: ORGANISCHE SYSTEME	 192
3.1 Lithium-Ionen-Akkumulatoren	192
3.1.1 Historie	192
<i>Kommerzialisierung</i>	194
3.1.2 Zellaufbau	195
3.1.3 Zelltechnologie	197
3.1.4 Interkalationselektroden und Deckschichten als entscheidender Durchbruch für die wiederaufladbare Li-Ionen-Zelle ..	204
3.1.5 Additive	214
3.1.6 Sicherheit	216
3.1.7 Auslegungskriterien	220
3.1.8 Bauarten	224

3.1.9 Ausblick Lithium-Ionen-Technologie: Konsolidierung, neue Materialien, Post-Li-Ionen-Technologien	231
3.2 Lithium-Metall (organisch)	236
3.2.1 Lithium-Metall-Primärzellen (nicht wiederaufladbar)	236
3.2.2 Lithium-Metall-Knopfzellen	238
3.2.3 Lithium-Metall-Sekundärzellen (wiederaufladbar)	239
3.3 Lithium-Polymer-Akkumulatoren	247
3.3.1 »Echte« Li-Polymer-Akkumulatoren	248
3.3.2 »Unechte« Lithium-Polymer-Akkumulatoren	254
3.3.3 »Halbechte« Lithium-Polymer-Akkumulatoren	260
3.3.4 Einsatzgebiete	261
3.3.5 Ausblick	264
3.4 Lithium-Schwefel	265
3.4.1 Einleitung	265
3.4.2 Funktionsweise	267
<i>Das obere Spannungsplateau (schnelle Kinetik)</i>	<i>269</i>
<i>Das untere Spannungsplateau (langsame Kinetik)</i>	<i>270</i>
3.4.3 Prinzipieller Aufbau	272
3.4.4 Alternative Auslegungen	273
3.5 Lithium-Luft	279
3.5.1 Einleitung	279
3.5.2 Aufbau und elektrochemische Reaktion in einem Lithium-Luft-System	283
3.5.3 Aktueller Entwicklungsstand	286
3.5.4 Sicherheit	288
3.5.5 Motivation der Weiterentwicklung von Lithium-Luft-Systemen ..	289
3.5.6 Entwicklungsschwerpunkte, Ausblick	291
3.6 Lithium-Fluor	293

KAPITEL 4: ANORGANISCHE SYSTEME (HOCHTEMPERATUR, DÜNNE SCHICHTEN, SPEZIELLE ANORGANISCHE

AUSFÜHRUNGEN)	297
4.1 Der Natrium-Schwefel-Akkumulator	297
4.1.1 Funktionsweise	297
4.1.2 Elektrochemische Reaktion	300

4.1.3 Zellenaufbau	305
4.1.4 Beispiel für einen Batterieaufbau und eine kommerzielle Umsetzung	307
4.1.5 Einsatz von NaS-Akkumulatoren in Elektro- und Hybridfahrzeugen	309
4.1.6 Weitere Anwendungen	311
4.2 Der Natrium-Nickelchlorid-Akkumulator (ZEBRA-Batterie) .	313
4.2.1 Geschichte	313
4.2.1 Funktionsprinzip und Aufbau	314
4.2.3 Elektrochemische Reaktion	317
4.2.4 Einsatz von NaNiCl ₂ -Akkumulatoren in Elektrofahrzeugen	321
4.2.5 Vor- und Nachteile der ZEBRA-Batterie	325
4.3 Festkörper-Dünnschicht-Akkumulatoren	327
4.3.1 Motivation	327
4.3.2 Herausforderungen und Ansätze von Dünnschicht- Festkörperbatterien	333
4.3.3 Realisierungen	335
4.3.4 Vision	337
4.4 Lithium anorganisch	338
4.4.1 Motivation	338
4.4.2 Funktionsweise des anorganischen Systems	340
4.4.3 Technische Herausforderungen	343
4.4.4 Technischer Stand	344
 KAPITEL 5: UMWÄLZUNG, TANK	 347
5.1 Hybrid-Redox-Flow-Zellen (RDZ), der Zink-Brom- Akkumulator	347
5.1.1 Einleitung	347
5.1.2 Zink-Brom-Batterien	350
<i>Chemische Reaktion</i>	350
<i>Aufbau</i>	350
<i>Anwendungsgebiete</i>	352
5.2 Reine Redox-Flow-Zellen (RDZ), die Vanadium-Redox- Flow-Batterie (VRB)	355
<i>Chemische Reaktion der Vanadium RFB</i>	356

<i>Aufbau</i>	356
<i>Anwendung</i>	359
5.3 Diskussion des Einsatzes von Redox-Flow-Batterien in Hybrid- und Elektrofahrzeugen	362
KAPITEL 6: HERSTELLUNG VON AKKUMULATOREN AM BEISPIEL ZWEIER AUSGEWÄHLTER SYSTEME	365
6.1 Herstellung oder Bereitstellung der Träger der aktiven Massen (Elektroden)	366
6.2 Herstellung der aktiven Massen	370
6.2.1 Pastenherstellung / Mischen	371
6.3 Einbringen der aktiven Massen in die Elektroden	376
6.3.1 Füllen der Röhrcchen bei Panzer- / Röhrcchenelektroden	376
6.3.2 Pastieren der Gitter (Einstreichen der Masse)	378
6.4 Formation der Elektroden	382
6.4.1 Trogformation	383
6.5 Montage der Träger der aktiven Masse in die Gehäuse mit dazugehörenden Ergänzungskomponenten	387
6.6 Inbetriebsetzung der Zellen	393
<i>Formation von Zellen- oder Blockbatterien direkt in Gefäßen</i>	395
ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK	399
LITERATURVERZEICHNIS	407
STICHWORTVERZEICHNIS	410
DANKSAGUNG	419
ÜBER DIE AUTOREN	420