

Batterien

Grundlagen und Theorie, aktueller technischer Stand
und Entwicklungstendenzen

Dipl.-Ing. H. A. Kiehne

Dr. D. Berndt

Dr. W. Fischer

Dipl.-Ing. H. Franke

Dipl.-Ing. W. König

Dr. Ing. H. K. Köthe

Dipl.-Ing. P. Preuß

Dr.-Ing. G. Saßmannshausen

Dipl.-Ing. U.-C. Stahl

E. Wehrle

Dipl.-Ing. G. Will

Dipl.-Ing. H. Willmes

4., völlig neubearbeitete Auflage

Mit 209 Bildern, 51 Tabellen und 121 Literaturstellen



Kontakt & Studium

Band 57

Herausgeber:

Prof. Dr.-Ing. Wilfried J. Bartz

Technische Akademie Esslingen

Weiterbildungszentrum

DI Elmar Wippler

expert verlag

expert  verlag®

Inhaltsverzeichnis

Herausgeber-Vorwort

Autoren-Vorwort

1	Grundlagen elektrochemischer Energiespeicher	1
	D. Berndt	
1.1	Einleitung	1
1.2	Grundlagen	2
1.2.1	Die elektrochemische Zelle	2
1.2.2	Kenngößen elektrochemischer Energiespeicher	4
1.2.2.1	Thermodynamische Kenngößen	8
1.2.2.1.1	Abhängigkeit von Konzentrationen	9
1.2.2.1.2	Der reversible Wärmeeffekt	10
1.2.2.1.3	Heizwertspannung	12
1.2.2.2	Kinetische Parameter	13
1.2.2.2.1	Die Durchtrittsreaktion	13
1.2.2.2.2	Die TAFEL-Gerade	15
1.2.2.2.3	Einfluss der Temperatur	15
1.2.2.2.4	Migration, Diffusion	17
1.2.2.2.5	Polarisation	19
1.2.2.2.6	Ein Beispiel für die Auswirkung kinetischer Parameter	19
1.2.2.3	Joule-Wärme	19
1.2.2.3.1	Gesamte Wärmeentwicklung	21
1.2.3	Wärmeentwicklung in Batterien an einigen Beispielen	21
1.2.3.1	Wärmeentwicklung in Bleibatterien	22
1.2.3.2	Wärmeentwicklung in Nickel/Cadmium-Batterien	23
1.2.3.3	Wärmeentwicklung in einer Natrium/Schwefel-Batterie	26
1.3	Auswahlkriterien für mögliche Batteriesysteme	27
1.3.1	Auswahl nach thermodynamische Kenngößen	27
1.3.2	Randbedingungen	28
1.3.2.1	Löslichkeit der Reaktionsprodukte	29
1.3.2.2	Unerwünschte Nebenreaktionen	30
1.4	Etablierte und neue aufladbare Batteriesysteme	30
1.4.1	Bleibatterien	33
1.4.1.1	Zellenreaktion, Gleichgewichtsspannung	34
1.4.1.2	Nebenreaktionen	35
1.4.1.3	Mischpotentiale	37
1.4.1.4	TAFEL Geraden	39
1.4.1.5	Verschlossene Bleibatterien	44

1.4.1.5.1	Der interne Sauerstoffkreislauf	45
1.4.1.5.2	Thermisches Durchgehen (Thermal Runaway)	62
1.4.1.5.3	Wasserverlust als Alterungsfaktor	64
1.4.1.6	Balance der Nebenreaktionen	68
1.4.1.6.1	Wasserstoffentwicklung	68
1.4.1.6.2	Korrosion von Blei in der positiven Elektrode	71
1.4.2	Nickel/Cadmium-Batterien	79
1.4.2.1	Gasdichte Nickel/Cadmium-Batterien	81
1.4.2.2	Foam-Elektroden	82
1.4.2.3	Verbesserungen des aktiven Materials	82
1.4.3	Nickel/Wasserstoff-Batterien	84
1.4.3.1	Wasserstoffhydrid Speicher	86
1.4.4	Nickel/Metallhydrid-Batterien	87
1.4.5	Hochtemperaturbatterien	89
1.4.5.1	Natrium/Schwefel-Batterien	89
1.4.5.2	Natrium/Nickelchlorid-Batterien (ZEBRA Batterien)	91
1.4.6	Lithium-Ionen-Batterien	94
1.4.7	Zink/Brom-Batterien	96
1.4.8	Zink/Luft Batterie (mechanische Aufladung)	96
1.5	Systemvergleich	98
1.6	Schlußbemerkung	100
1.7	Literatur	101

2 Batterien für elektrisch angetriebene Fahrzeuge, insbesondere der Flurförderzeuge **103**

H.A. Kiehne

2.1	Einleitung	103
2.2	Die Anforderungen des Marktes	104
2.3	Normgerechte Ausführungen	105
2.4	Energiegewicht – Energievolumen	113
2.5	Lebensdauer – Wirtschaftlichkeit	115
2.6	Ladetechnik	117
2.7	Wartung	119
2.8	Zusammenfassung und Ausblick	119
2.9	Literatur	122

3 Energieversorgungskonzepte für fahrerlose Flurförderzeuge **123**

P. Preuß

3.1	Einige einleitende Anmerkungen zur Bedeutung fahrerloser Flurförderzeuge	123
3.2	Die Beanspruchung der Antriebsbatterien durch FFZ	124
3.3	Antriebsbatterien für FFZ	126

3.4	Temperaturoptimierung als Basis des Energieversorgungskonzeptes	126
3.4.1	Überlegungen zur Batteriedimensionierung	127
3.4.2	Abschätzung der Batteriebelastbarkeit	129
3.5	Anmerkungen zur Batterieauswahl	130
3.5.1	Ladungsangebot der Batteriesysteme	130
3.5.2	Grenztemperaturen der Batteriesysteme	130
3.5.3	Ladetechnische Erfordernisse	131
3.6	Die Entwicklung des Energieversorgungskonzeptes	131
3.6.1	Art und Umfang der Einsatzdaten	131
3.6.2	Aufbereitung und Transformation der Einsatzdaten	133
3.6.3	Systemvergleich	138
3.7	Aktueller Stand der Ladetechnik	138
3.7.1	Steuerungsmöglichkeiten/Informationsaustausch	139
3.7.2	Praxisbeispiel	139
3.8	Zusammenfassung und Ausblick	141
3.9	Literatur	142
4	Batterien für elektrisch angetriebene Straßenfahrzeuge	143
	H.A. Kiehne	
4.1	Einleitung	143
4.2	Die Energie- und Rohstoffsituation	145
4.3	Die Lösung des Reichweitenproblems	147
4.4	Die Anforderungen an die Batterie – Beiträge zur Erfüllung der Anforderungen	150
4.5	Bleibatterien, oder welches andere System?	154
4.6	Batteriesysteme für die nahe Zukunft?	157
4.7	Hochtemperaturbatterien, Brennstoffzellen?	162
4.8	Wirtschaftlichkeit schon heute?	164
4.9	Ausblick	164
4.10	Literaturverzeichnis	166
5	Der Batteriebetrieb aus Sicht des Anwenders von Antriebsbatterien	167
	W. König	
5.1	Vorbemerkungen	167
5.2	Allgemeines	167
5.3	Vorteile des Batterieantriebes	168
5.3.1	Betriebs-, Einsatz- und Umwelteinflüsse	168
5.3.2	Physikalische Vorteile des Elektroantriebes	169
5.3.3	Betriebskostenbetrachtungen	171
5.4	Anforderungen an die Batterien	174

5.4.1	Leistungssteigerungen	174
5.4.2	Die Lebensdauer	174
5.4.3	Die Instandhaltung	176
5.4.4	Die Beschaffungskosten	176
5.4.5	Die Betriebssicherheit	176
5.4.6	Typenauswahl	177
5.4.7	Bauarten und Auswahlkriterien für Antriebsbatterien	178
5.4.7.1	Standardausführung mit Zellen nach alter DIN 43 567	179
5.4.7.2	Wartungsarme Ausführungen mit geschlossenen Zellen	179
5.4.7.3	Leistungsgesteigerte wartungsarme Ausführung	181
5.4.7.4	Hochbelastbare Sonderausführungen	181
5.5	Wartungsfreie Bauarten mit verschlossenen Zellen	183
5.6	Ladung der Antriebsbatterien	184
5.6.1	Vorschriften und Arbeitsblätter	185
5.6.2	Geräte mit unregelmäßigen Kennlinien	185
5.6.3	Geräte mit geregelten Kennlinien	186
5.6.3.1	IU-Kennlinie – Konstantspannungsladen	187
5.6.3.2	IUIa-Kennlinie zur optimalen Vollladung	187
5.6.3.3	Kennlinien und Geräte für Sonderladungen	190
5.7	Organisation des Ladebetriebes	192
5.7.1	Batterieladerraum	193
5.7.2	Batterieladestation	194
5.7.3	Einzelladepplatz (Ladestelle)	195
5.7.4	Bewegliche Ladestellen	196
5.7.5	Gefahrenschutz	196
5.8	Batterieperipherie und Zubehör	197
5.8.1	Zellenverschlußstopfen	197
5.8.2	Elektrolytstandsanzeiger	197
5.8.3	Überdruckventile	198
5.8.4	Zellenverbinder	198
5.8.5	Nachfülleinrichtungen	199
5.8.6	Rekombinatoren	200
5.8.7	Steckvorrichtungen	200
5.8.8	Kapazitätsanzeigergeräte	200
5.8.9	Elektronische Überwachungssysteme	202
5.9	Qualitätssicherung von Batterien und Ladegeräten	203
5.9.1	Kapazitätsprüfungen	204
5.10	Instandhaltung	205
5.10.1	Antriebsbatterien	207
5.10.2	Ladegeräte	209
5.11	Batterienutzung ohne Investition	210
5.12	Entsorgung von Altbatterien	210
5.13	Zukunftserwartungen	211
5.14	Schlußbemerkungen	212

6	Sicherheitsnormen für ortsfeste Batterien und Batterieanlagen	213
	H. Willmes	
6.1	Einleitung	213
6.2	Inhalt der Sicherheitsbestimmung DIN VDE 0510, „Akkumulatoren und Batterieanlagen“	215
6.3	DIN VDE 0510 Teil 1 „Allgemeines“	216
6.4	DIN VDE 0510 Teil 2 „Ortsfeste Batterieanlagen“	218
6.4.1	Gefahren durch Elektrizität	218
6.4.2	Gefahren durch Elektrolyt	220
6.4.3	Explosible Ladegase / Belüftung von Batterieräumen	221
6.5	DIN VDE 0510 Teil 3, Antriebsbatterien für Elektrofahrzeuge	227
6.6	DIN VDE 0510 Teil 5, Batterien an Bord von Fahrzeugen	227
6.7	DIN VDE 0510 Teil 6, Gerätebatterien	227
6.8	DIN VDE 0510 Teil 4, KFZ-Starterbatterien	228
6.9	Internationale Standardisierung	228
7	Batterien für ortsfeste Stromversorgungen	230
	H. Franke	230
7.1	Zusammenfassung	230
7.2	Einleitung	231
7.3	Zellenbauarten und Kenndaten	234
7.4	Projektierung von Batterieanlagen	251
7.5	Service	254
7.6	Poldurchführungen	255
7.7	Auslieferungsformen	256
7.8	Zukunftsperspektiven	256
7.9	Literatur	257
8	Der Batteriebetrieb aus der Sicht des Anwenders – Betriebserfahrungen und Anregungen	258
	U.-C. Stahl	
8.1	Vorbemerkungen	258
8.2	Entwicklung der Fernmeldestromversorgung und Betriebsarten	259
8.3	Produktentwicklung/Eingesetzte Erzeugnisse	262
8.4	Energiereservekonzept	264
8.5	Einsatzbedingungen	265
8.6	Batterieaufstellung	269
8.7	Beschaffung/Qualitätsstandards/Qualitätssicherung	270
8.8	Wartungstätigkeiten an den Batterien	270
8.9	Betriebserfahrungen	271
8.9.1	Geschlossenen Batterien	272
8.9.2	Verschlossene Batterien	272

8.9.3	Unfälle	273
8.10	Literatur	273
9	Kraftfahrzeug-Starterbatterien	274
	G. Saßmannshausen	
9.1	Der Markt in Europa	274
9.2	Aufgaben einer Kraftfahrzeug-Starterbatterie	274
9.3	Der Aufbau einer Kraftfahrzeug-Starterbatterie	275
9.4	Die aktiven Massen der Elektroden	278
9.5	Der Fertigungsprozess	279
9.6	Abmessungen und Ausführungsdetails	280
9.7	Die Unterbringung im Fahrzeug, besondere Eigenschaften	281
9.8	Elektrische Eigenschaften	282
9.9	Die Normung von Batterieeigenschaften	282
9.10	Entwicklungsausblick	283
9.11	Literatur	285
10	Hochenergie-Batterien	286
	W. Fischer	
10.1	Einleitung	286
10.2	Hochenergie-Batteriesysteme	287
10.2.1	Lithium/Metalloxid(sulfid)-Batterien	287
10.2.2	Das Zink/Brom-System	289
10.2.3	Das Natrium/Schwefel-System	292
10.2.4	Das Natrium/Nickelchlorid-System	296
10.2.4	Das Lithium/Eisensulfid-System	296
10.3	Brennstoffzellen	299
10.3.1	Niedertemperatur-Brennstoffzellen	299
10.3.2	Mitteltemperatur-Brennstoffzellen	301
10.3.3	Hochtemperatur-Brennstoffzellen	302
10.4	Anwendungs-Gesichtspunkte	303
11	Photovoltaische Stromversorgung mit Batterien	308
	H. K. Köthe	
11.1	Einleitung	308
11.2	Auslegung photovoltaischer Systeme	308
11.2.1	Auslegungsbedingungen	308
11.2.2	Ermittlung des mittleren Verbrauchs	309
11.2.3	Ermittlung des mittleren Angebots	310
11.2.4	Ermittlung der Speicherkapazität	311
11.2.5	Bewertung von verschiedenen Systemauslegungen	313
11.3	Aufbau photovoltaischer Systeme	313
11.3.1	Die Stromquelle: der Solargenerator	313

11.3.2	Systemaufbau	314
11.3.3	Die Sperrdiode	314
11.3.4	Die Batterie	315
11.3.5	Das Betriebssystem	316
11.4	Gesichtspunkte zur Akkumulatorauswahl	316
11.4.1	Leistungsbereiche	316
11.4.2	Einsetzbare Akkumulatorbauarten	317
11.4.3	Anwendungstechnische Überlegungen	318
11.5	Ausführungsarten von Betriebssystemen	318
11.5.1	Systeme mit Strombegrenzung	318
11.5.2	Systeme mit Spannungsbegrenzung	319
11.5.3	Systeme mit Zweipunkt-Reglern	322
11.6	Die Kosten von photovoltaischen Energieversorgungen	323
11.6.1	Preisbasis – heute und morgen – und deren Auswirkung	323
11.6.2	Preisprognosen für die Systemkosten pro Watt Ausgangsleistung	324
11.7	Zusammenfassung	325
11.8	Literatur	325

12 Ladeverfahren und Ladetechnik – Grundsätzliche Anforderungen und Hinweise für die Geräteauswahl 327

E. Wehrle

12.1	Anforderungen der Batterien an die Ladegeräte	327
12.2	Technische Daten und Begriffe	327
12.2.1	Batterie, Kapazität, Entladestrom, Ladestrom	327
12.2.2	Ladefaktor	328
12.2.3	Ladezeit	328
12.2.4	Gasungsspannung	331
12.3	Formen der Kennlinien	331
12.3.1	Fallende Kennlinien (W-Kennlinie)	333
12.3.2	Steigende Kennlinien (S-Kennlinie)	333
12.3.3	Eingegrenzte Kennlinien	333
12.3.4	Konstant-Kennlinien	333
12.3.5	Zusammengesetzte Kennlinien	334
12.4	Anwendung der Ladeverfahren bei reinem Ladebetrieb	334
12.4.1	Aufstellen und Betrieb von Batterien und Ladegeräten	334
12.4.2	Anforderungen der Bleibatterien offener Bauart	334
12.4.3	Anforderungen der wartungsfreien verschlossenen Bleibatterie	334
12.4.4	Anforderungen der Nickel-Cadmium-Batterien offener Bauart	334
12.4.5	Laden von Bleibatterien nach W-(Wa, WOW, WOWa)-Kennlinie	334
12.4.5.1	Anwendung	334
12.4.5.2	Grundforderung	335
12.4.5.3	Kennlinie	335
12.4.5.4	Richtlinien für den Betrieb	337
12.4.6	Laden von Bleibatterien nach I (Ia, IOI, IOIa)-Kennlinie	338

12.4.6.1	Anwendung	338
12.4.6.2	Grundforderung	338
12.4.6.3	Kennlinie	338
12.4.6.4	Richtlinien für den Betrieb	339
12.4.7	Laden von Bleibatterien nach IUa-Kennlinie	339
12.4.7.1	Anwendung	339
12.4.7.2	Grundforderung	339
12.4.7.3	Kennlinie	339
12.4.7.4	Richtlinien für den Betrieb	340
12.4.8	Laden von Bleibatterien nach IU-Kennlinie	340
12.4.8.1	Anwendung	340
12.4.8.2	Grundforderung	341
12.4.8.3	Kennlinie	341
12.4.8.4	Richtlinien für den Betrieb	341
12.4.9	Laden von Nickel-Cadmium-Batterien	342
12.4.9.1	Grundforderungen	342
12.4.10	Laden von Nickel-Cadmium-Batterien nach I-, (Ia)-Kennlinie	343
12.4.10.1	Anwendung	343
12.4.10.2	Kennlinie	343
12.4.10.3	Richtlinien für den Betrieb	343
12.4.11	Laden von Nickel-Cadmium-Batterien nach W-, (Wa)-Kennlinie	343
12.4.11.1	Anwendung	343
12.4.11.2	Kennlinie	343
12.4.11.3	Richtlinien für den Betrieb	344
12.4.12	Laden von Nickel-Cadmium-Batterien nach IU-Kannlinie	345
12.4.12.1	Anwendung	345
12.4.12.2	Kennlinie	345
12.4.12.3	Richtlinien für den Betrieb	345
12.4.13	Laden von wartungsfreien verschlossenen Bleibatterien	345
12.4.13.1	Lademethoden	345
12.4.13.2	Ladeströme, Ladezeiten	346
12.4.14	Laden von gasdichten Nickel-Cadmium-Batterien	346
12.4.14.1	Lademethoden	346
12.4.14.2	Anwendung	347
12.4.14.3	Ladeströme, Ladezeiten	347
12.5	Vergleich einiger Ladeverfahren für Bleibatterien	348
12.6	Anschaffungskosten von Ladegeräten	349
12.7	Hinweise für die Geräteauswahl	350
12.8	Ladeverfahren und Ladetechnik – Spezielle Anforderungen und Hinweise für die Geräteauswahl	350
12.8.1	Anforderungen der Bleibatterien verschlossener (wartungsfreier) Bauart	350
12.8.1.1	Laden von Blei-Antriebsbatterien verschlossener Bauart	350
12.8.1.1.1	Kennlinie	350
12.8.2	Anforderungen der Blei-Antriebsbatterien modifizierter Bauart	351

12.8.2.1	Laden von Blei-Antriebsbatterien modifizierter Art	351
12.9	Literatur	351
13	Die Technik der Ladegeräte und Stromwandler, Überwachungsmethoden	353
	G. Will	
13.1	Einsatz von Ladegeräten	353
13.2	Charakteristische Spannungen für Pb- und NiCd-Batterien	354
13.3	Aufbau und Wirkungsweise von Ladegeräten	354
13.3.1	Geregelte Ladegeräte	354
13.3.2	Ungeregelte Ladegeräte	360
13.4	Ladegeräte zum Laden von Antriebsbatterien und stationären Batterien im Umschaltbetrieb	361
13.5	Ladegeräte zum Laden stationärer Batterien im Parallelbetrieb	362
13.6	Überwachungs- und Zusatzeinrichtungen	364
13.7	Oberschwingungen und Blindleistung	367
13.8	Wechselrichter zur gesicherten Stromversorgung von Drehstromverbrauchern	370
14	Normen und Bestimmungen für Batterien und Batterieanlagen	374
	H. A. Kiehne	
14.1	Die allgemeine Bedeutung der Norm	374
14.2	Die nationalen Normen und Bestimmungen (VDE und DIN)	374
14.2.1	Der Weg zur Norm	375
14.3.	Die internationalen Normen (IEC, EN)	376
14.3.1	IEC	377
14.3.2	EN (CENELEC)	378
14.4	Produktnormen – Prüfnormen – Sicherheitsnormen	379
14.5	Normen für Trockenbatterien (Auswahl)	379
14.6	Normen für Starterbatterien (Auswahl)	381
14.7	Normen für Antriebsbatterien (Auswahl)	381
14.8	Normen für ortsfeste Bleibatterien (Auswahl)	382
14.9	Normen für wartungsfreie, verschlossene Bleiakkumulatoren	383
14.10	Normen für alkalische Akkumulatoren (Auswahl)	383
14.11	VDE-Bestimmungen (Auswahl)	384
14.12	Sonstige deutsche Normen und Richtlinien	384
14.13	Sonstige internationale Normen und Gremien (Auswahl)	385
14.14	Die Bedeutung von Normen und Bestimmungen hinsichtlich der Produzentenhaftung	385
14.15	Literatur	386
15	Sachregister	387