

Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung	9
2 Grundlagen und Begriffe	11
2.1 Der Aufbau eines Akkus	12
2.2 Elektroden	13
2.3 Stromrichtung	13
2.4 Spannungen	13
2.5 Innenwiderstand	14
2.6 Kapazität	15
2.6.1 Einfluß des Entladestromes	16
2.6.2 Nicht-konstanter Entladestrom	17
2.7 Energiedichte	19
2.8 Relative Stromstärke	21
2.9 Entladen	21
2.10 Stofftransport	22
2.11 Ladeverfahren	23
2.11.1 Ladephasen	24
2.11.2 Ladekennlinien	24
2.11.3 Impulsladung	26
2.11.4 Beenden der Ladung	26
2.11.5 Wirkungsgrad der Ladung	28
2.11.6 Welligkeit des Ladestromes	28
2.11.7 Elektronische Ladegeräte	28
2.11.8 Schaltregler	29
2.11.9 Einwegbatterien laden	30
2.12 Betriebsarten	32
2.13 Parallel- und Serienschaltung	33
2.14 Zellenbalance bei Serienschaltung	34
2.15 Lebensdauer	36
2.16 Alterungsvorgänge	37
2.16.1 Mechanische Belastung	37
2.16.2 Bildung von Dendriten	38
2.16.3 Verlust von Wasser	38

2.16.4	Chemische Zersetzung	39
2.16.5	Innere Oberfläche	39
2.16.6	Unvollständig umkehrbare Reaktionen	40
3	Bleigel- und AGM-Akkumulatoren	41
3.1	Grundlagen	43
3.1.1	Die Hauptreaktion des Bleiakkus	43
3.1.2	Besonderheiten des Bleigelakkus	44
3.1.3	Der Sauerstoffkreislauf	46
3.1.4	Selbstbeschleunigende Überhitzung	47
3.2	Entladen	47
3.2.1	Innenwiderstand	49
3.2.2	Entladekurve	49
3.2.3	Erholung durch Diffusion	49
3.2.4	Ladezustand	51
3.2.5	Verfügbare Kapazität	51
3.2.6	Tiefentladung	52
3.3	Lagerung	52
3.4	Selbstentladung	53
3.5	Lebensdauer und Alterung	54
3.5.1	Temperatur	54
3.5.2	Verlust von Wasser	55
3.5.3	Säureschichtung	55
3.5.4	Tiefe der Entladung	56
3.5.5	Ladezustand	57
3.5.6	Geeignete Ladeverfahren	57
3.5.7	Sulfatierung	58
3.5.8	Korrosion der positiven Elektrode	59
3.5.9	Gebrauchte Bleigelakkus	59
3.6	Ladeverfahren	60
3.6.1	Ladung mit IU-Kennlinie	60
3.6.2	Spannung bei IU-Ladung	61
3.6.3	Erhaltungsladung	63
3.6.4	Bleigelakkus regenerieren	63
3.6.5	Sicherheitshinweise	65
3.7	Geeignete Ladegeräte	65
3.7.1	Ein Ladegerät mit dem L200	65
3.7.2	Ladeschaltungen mit integrierten Schaltkreisen	68
3.8	Verhalten bei Kälte	68
3.9	Zellenbalance bei Serienschaltung	69
3.10	Zusammenfassung	69
3.10.1	Vorteile	70
3.10.2	Nachteile und Probleme	70
3.10.3	Entladen	71

3.10.4	Ladung	71
3.10.5	Lange Lebensdauer	72
3.10.6	Sicherheit	73
4	NiCd- und NiMH-Akkumulatoren	74
4.1	Grundlagen	75
4.1.1	Die Nickelelektrode	76
4.1.2	Die Cadmiumelektrode	77
4.1.3	Die MH-Elektrode	77
4.1.4	Die Hauptreaktion im NiCd-Akku	78
4.1.5	Die Hauptreaktion im NiMH-Akku	78
4.1.6	Der Sauerstoffkreislauf	78
4.1.7	Reaktionen bei der Selbstentladung	79
4.1.8	Reduzierte Selbstentladung	80
4.1.9	Temperaturänderung	81
4.1.10	Spannungsverlauf bei der I-Ladung	83
4.2	Entladen	85
4.2.1	Innenwiderstand	85
4.2.2	Entladekurve bei NiMH-Akkus	86
4.2.3	Entladekurve bei NiCd-Akkus	88
4.2.4	Verfügbare Kapazität	90
4.2.5	Erholung durch Diffusion	90
4.2.6	Ladezustand	91
4.2.7	Tiefentladung	91
4.3	Selbstentladung	91
4.3.1	Akkus bisheriger Bauart	92
4.3.2	Alkali-Mangan-Batterien als Alternative	93
4.3.3	Akkus mit reduzierter Selbstentladung	93
4.4	Lagerung	93
4.5	Lebensdauer und Alterung	94
4.6	Der Gedächtniseffekt	95
4.7	Zellenbalance bei Serienschaltung	99
4.8	Ladeverfahren	100
4.8.1	Laden mit I-Kennlinie	100
4.8.2	Schnellladung mit IOI0I-Kennlinie	101
4.8.3	Wirkungsgrad der Ladung	103
4.8.4	Gezielte Überladung	104
4.8.5	Sicherheit	105
4.9	Ladegeräte mit dem IC U2402B	105
4.9.1	Ablauf der Schnellladung	105
4.9.2	Externe Beschaltung	107
4.9.3	Messung des Ladestromes	108
4.9.4	Lineare Stromregelung mit einem Transistor	108
4.9.5	Phasenanschnittsteuerung	109

4.9.6	Stromstabilisierung mit einem Schaltregler	111
4.10	Optimieren von Akkus	112
4.10.1	Auswahl gleicher Akkus	112
4.10.2	Das optimale Alter	112
4.10.3	Optimieren der Ladung	113
4.10.4	Optimieren der Entladung	113
4.11	Akkus regenerieren	114
4.12	Bauformen und deren Bezeichnung	114
4.13	Zusammenfassung	114
4.13.1	Vor- und Nachteile	114
4.13.2	Unterschiede zwischen NiCd- und NiMH-Akkus	117
4.13.3	Einwegbatterien	117
4.13.4	Entladen	118
4.13.5	Ladung	118
4.13.6	Lange Lebensdauer	118
4.13.7	Sicherheit	119
5	Lithiumionen- und -polymerakkumulatoren	120
5.1	Batterien mit Lithium	121
5.1.1	Lithiummetallakkus	121
5.1.2	Nicht wiederaufladbare Lithiumbatterien	122
5.1.3	Lithiumionenakkus	122
5.2	Grundlagen	123
5.2.1	Einlagerungsverbindungen	123
5.2.2	Die Hauptreaktion im Lithiumionenakku	126
5.2.3	Elektrolyt	127
5.2.4	Lithiumpolymerakkus	128
5.2.5	Überladung	128
5.3	Entladen	129
5.3.1	Entladekurven	129
5.3.2	Kapazität	131
5.3.3	Innenwiderstand	132
5.3.4	Erholung durch Diffusion	132
5.3.5	Ladezustand	132
5.3.6	Tiefentladung	133
5.4	Lebensdauer und Alterung	133
5.5	Selbstentladung und Lagerung	135
5.6	Ladeverfahren	137
5.7	Ladegeräte mit dem IC MAX1758	138
5.7.1	Ablauf der Ladung	138
5.7.2	Die externe Verdrahtung	139
5.8	Zellenbalance bei Serienschaltung	140
5.9	Bauformen und deren Bezeichnung	142
5.10	Sicherheit	144

5.11	Zusammenfassung	145
5.11.1	Vorteile	145
5.11.2	Nachteile und Probleme	146
5.11.3	Entladen	146
5.11.4	Ladung	147
5.11.5	Lange Lebensdauer	147
5.11.6	Sicherheit	148
6	Doppelschichtkondensatoren als Energiespeicher	149
6.1	Grundlagen	150
6.1.1	Kondensatoren	150
6.1.2	Doppelschichtkondensator	152
6.2	Eigenschaften	154
6.2.1	Laden und Entladen	154
6.2.2	Kapazität	156
6.2.3	Lebensdauer	156
6.2.4	Maximale Spannung	157
6.2.5	Selbstentladung	157
6.3	Anwendungsbereiche und Bauformen	157
6.4	Pufferung für Akkus	158
6.5	Spannungsausgleich	159
7	Analyse des Zustandes von Akkumulatoren	160
7.1	Impedanz	161
7.1.1	Impedanzspektroskopie	161
7.1.2	Ersatzschaltbilder	162
7.2	Messung des Innenwiderstandes	164
7.3	Elektrochemisches Rauschen	166
8	Akkumulatoren richtig anschließen	168
8.1	Batteriehalter	169
8.2	Anschluß durch Löten	169
8.3	Schraubanschlüsse und Flachstecker	170
8.4	Kontaktflächen	171
8.5	Stecker und Buchsen	171
8.6	Sicherungen	173
8.7	Kontakte reinigen	174
9	Sicherheit und Erste Hilfe	175
9.1	Unfälle mit Bleigelakkus	176
9.2	Unfälle mit NiCd- und NiMH-Akkus	176
9.3	Unfälle mit Lithiumionenakkus	178
9.4	Explosionsgefahr	179
9.5	Brandgefahr	180
9.6	Gefahren durch Kurzschluß	180

Inhaltsverzeichnis

10 Akkumulatoren im Amateurfunk	181
10.1 Handfunkgeräte	182
10.2 Lithiumionenakkus	183
10.3 Portabelbetrieb	183
10.4 Wärme und Kälte	184
11 Akkumulatoren in Digitalkameras	185
11.1 Verwendete Akkus	186
11.2 Richte Behandlung	186
11.3 Einwegbatterien als Reserve	187
12 Akkumulatoren an Bord von Yachten	188
12.1 Bleigelakkus	189
12.2 Ladung	189
12.3 Lebensdauer	190
12.4 Ladezustand und Kapazität	190
12.5 Sicherheit	191
13 Akkumulatoren im Modellbau	192
13.1 Ladezustand	193
13.2 Optimierung	193
13.3 Lebensdauer	194
14 Akkumulatoren für tragbare Computer	195
15 Akkus für Mobiltelefone und Unterhaltungselektronik	197
16 Reparieren, entsorgen und wiederverwerten	199
16.1 Akkusätze regenerieren und reparieren	200
16.1.1 Bleigelakkus	200
16.1.2 NiCd- und NiMH-Akkus	200
16.1.3 Lithiumionenakkus	200
16.2 Die Rücknahme von Akkus und Batterien	201
16.3 Statistische Ergebnisse	201
16.4 Kosten der Rücknahme	202
16.5 Verfahren zur Wiederverwertung	202
16.5.1 Bleiakkumulatoren	203
16.5.2 NiCd-Akkus	203
16.5.3 NiMH-Akkus	203
16.5.4 Lithiumionenakkus	204
16.5.5 Nutzen der Verwertung	204
Literaturverzeichnis	204
Stichwortverzeichnis	214