

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung</b>	<b>9</b>
<b>2</b>	<b>Grundlagen und Begriffe</b>	<b>11</b>
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
<b>3</b>	<b>Bleigel- und AGM-Akkumulatoren</b>	<b>41</b>
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
<b>4</b>	<b>NiCd- und NiMH-Akkumulatoren</b>	<b>74</b>
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 I0I0I-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
<b>5</b>	<b>Lithiumionen- und -polymerakkumulatoren</b>	<b>120</b>
5.1	Batterien mit Lithium . . . . .	121
5.1.1	Lithiummetallakku . . . . .	121
5.1.2	Nicht wiederaufladbare Lithiumbatterien . . . . .	122
5.1.3	Lithiumionenakku . . . . .	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	Lithiumpolymerakku . . . . .	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
<b>6</b>	<b>Doppelschichtkondensatoren als Energiespeicher</b>	<b>149</b>
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	Anwendungsgebiete und Bauformen . . . . .	157
6.4	Pufferung für Akkus . . . . .	158
6.5	Spannungsausgleich . . . . .	159
<b>7</b>	<b>Analyse des Zustandes von Akkumulatoren</b>	<b>160</b>
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
<b>8</b>	<b>Akkumulatoren richtig anschließen</b>	<b>168</b>
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
<b>9</b>	<b>Sicherheit und Erste Hilfe</b>	<b>175</b>
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

<b>10 Akkumulatoren im Amateurfunk</b>	<b>181</b>
10.1 Handfunkgeräte . . . . .	182
10.2 Lithiumionenakkus . . . . .	183
10.3 Portabelbetrieb . . . . .	183
10.4 Wärme und Kälte . . . . .	184
<b>11 Akkumulatoren in Digitalkameras</b>	<b>185</b>
11.1 Verwendete Akkus . . . . .	186
11.2 Richtige Behandlung . . . . .	186
11.3 Einwegbatterien als Reserve . . . . .	187
<b>12 Akkumulatoren an Bord von Yachten</b>	<b>188</b>
12.1 Bleigelakkus . . . . .	189
12.2 Ladung . . . . .	189
12.3 Lebensdauer . . . . .	190
12.4 Ladezustand und Kapazität . . . . .	190
12.5 Sicherheit . . . . .	191
<b>13 Akkumulatoren im Modellbau</b>	<b>192</b>
13.1 Ladezustand . . . . .	193
13.2 Optimierung . . . . .	193
13.3 Lebensdauer . . . . .	194
<b>14 Akkumulatoren für tragbare Computer</b>	<b>195</b>
<b>15 Akkus für Mobiltelefone und Unterhaltungselektronik</b>	<b>197</b>
<b>16 Reparieren, entsorgen und wiederverwerten</b>	<b>199</b>
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
<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>204</b>
<b>Stichwortverzeichnis</b>	<b>214</b>