

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Technische Grundlagen</b>	<b>1</b>
1.1	Elektrischen Strom speichern	1
1.2	Wichtige Begriffe	2
1.2.1	Leistung und Energie	2
1.2.2	Gleichspannung und Wechselspannung	3
1.2.3	Zyklenzahl und Lebensdauer	4
1.2.4	Wirkungsgrade	4
1.2.5	Auslegung und Einsatz	4
1.3	Bauarten von Speichersystemen	5
1.3.1	Speicherbatterien mit Blei	6
1.3.2	Speicherbatterien mit Lithiumzellen	8
1.3.3	Speicherbatterien mit Natrium und Schwefel (NaS)	21
1.3.4	Redox-Flow-Batterien	24
1.3.5	Druckluftspeicher	30
1.3.6	Thermische Speicher	31
1.3.7	Gasspeicher	32
<b>2</b>	<b>Li-Ionen-Technologie</b>	<b>33</b>
2.1	Einleitung	33
2.2	Technische Grundlagen	33
2.3	Zelltypen	35
2.3.1	Rundzellen	37
2.3.2	Hardcase-Zellen	38
2.3.3	Pouchzellen	39
2.4	Funktionsweise	40
2.4.1	Elektrodenreaktionen	40
2.4.2	Zellspannung, Aktivmaterialien und Energiedichte	43
2.4.3	Laden und Entladen	49
2.5	Alterung	51
2.5.1	Kalendarische Alterung	53
2.5.2	Alterung bei Stromfluss	55
2.5.3	Batteriedesign	60
2.6	Sicherheit	61
2.6.1	Betriebsfenster und Zellausfälle	63
2.6.2	Gasung infolge von Lithiumplating	65

2.6.3	Interner Kurzschluss .....	66
2.6.4	Tiefentladung und Umpolung .....	67
2.6.5	Zellbrand durch internen Kurzschluss .....	70
2.7	Zusammenfassung .....	71
<b>3</b>	<b>Märkte und Anwendungen für Speichersysteme .....</b>	<b>73</b>
3.1	Einleitung .....	73
3.2	Erhöhte Eigennutzung von Solarstrom .....	73
3.2.1	Aktuelle Marktsituation .....	74
3.2.2	Systempreise .....	75
3.2.3	Eigenverbrauchsbonus für PV-Anlagen aus 2009–2012 .....	76
3.2.4	Auslaufende EEG-Vergütung für bestehende PV-Anlagen .....	76
3.3	Bereitstellung von Netzdienstleistungen .....	78
3.3.1	Primärregelleistung .....	84
3.3.2	Sekundärregelleistung .....	89
3.3.3	Minutenreserve .....	92
3.3.4	Abschaltbare Lasten .....	93
3.3.5	Weitere Systemdienstleistungen .....	96
3.4	Reduktion der Netzentgelte .....	97
3.4.1	Reduktion der Maximalleistung .....	99
3.4.2	Änderung der Benutzungsstunden .....	100
3.4.3	Atypische Netznutzung durch Verschiebung der Maximalleistung .....	102
3.4.4	Stromintensiver Letztverbrauch .....	106
3.5	Zusammenfassung .....	107
3.6	Quellenverzeichnis .....	108
3.7	Abbildungsverzeichnis .....	112
3.8	Tabellenverzeichnis .....	113
<b>4</b>	<b>Dimensionierung und Auslegung von Photovoltaik-Speichersystemen .....</b>	<b>114</b>
4.1	Einleitung .....	114
4.2	Systemdimensionierung .....	116
4.2.1	Datenbasis und Systembeschreibung .....	116
4.2.2	Auslegung und Randbedingungen .....	124
4.2.3	Simulation der Anwendungsfälle MFH und Gewerbebetrieb .....	132
4.2.4	Einflussfaktoren und Herausforderungen am Beispiel von Mehrfamilienhäusern .....	139
4.2.5	Zusammenfassung Systemdimensionierung .....	144

4.3	Systemsteuerung .....	144
4.4	Danksagung .....	147
4.5	Quellenverzeichnis .....	148
4.6	Abbildungsverzeichnis .....	150
4.7	Tabellenverzeichnis .....	153
<b>5</b>	<b>Auswahl und Bewertung von Speichersystemen .....</b>	<b>154</b>
5.1	Einleitung .....	154
5.2	Nachweise über Batteriesicherheit .....	156
5.2.1	EU-Richtlinien zur EU-Konformität und CE-Kennzeichnung .....	157
5.2.2	Nicht harmonisierte Normen .....	158
5.2.3	Normen und andere Standards bei der Bewertung von Li-Ionen-Batterien .....	158
5.2.4	Inverkehrbringen und Entsorgung .....	159
5.2.5	Zellinterne Fehler und die besondere Rolle der Ausbreitungstests .....	160
5.2.6	Normenlücken und deren Abdeckung bei Batteriesicherheit .....	161
5.2.7	Deutschland im internationalen Vergleich .....	162
5.2.8	Transport von Li-Ionen-Batterien als Gefahrgut .....	167
5.2.9	Spezielle oder sicherheitskritische Themen bei Li-Ionen-Batterien .....	169
5.3	Zyklusfestigkeit und Zellalterung .....	171
5.3.1	Die Bedeutung der Zyklusfestigkeit für die Batteriesicherheit .....	173
5.4	Mögliche Irritationen bei der Auswahl .....	174
5.4.1	NMC vs. LFP .....	174
5.4.2	Li-Ionen- vs. Blei-Batterien .....	175
5.4.3	Revolution, neue Superakkus, ab morgen ist alles besser zum halben Preis! .....	176
5.4.4	Sonstiges .....	176
5.5	Fazit .....	178
5.6	Häufige Normen und Standards .....	178
5.6.1	Standards mit eigenem Kapitel .....	178
5.6.2	Häufig angewandte Normen .....	178
5.6.3	Normen zur Niederspannungsrichtlinie (2014/35/EU) .....	181
5.6.4	Normen zur EMV-Richtlinie (2014/30/EU) .....	182
5.6.5	BATSO 02 .....	182
5.6.6	KIT-Kurzcheckliste für Li-Ionen-Heimspeicher .....	182

5.6.7 Schwer oder nur bedingt anwendbare Standards ..... 183

5.6.8 Anwendung von Traktions-Normen (Automotive und  
Non-Automotive) auf stationäre Speicher ..... 185

5.7 Danksagung ..... 185

**Abkürzungsverzeichnis ..... 186**

**Firmenpräsentationen ..... 187**

**Inserentenverzeichnis ..... 208**