

Inhaltsverzeichnis

1	Technische Grundlagen	1
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
2	Li-Ionen-Technologie	33
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	Kalendariische 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
3	Märkte und Anwendungen für Speichersysteme	73
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
4	Dimensionierung und Auslegung von Photovoltaik-Speichersystemen	114
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
5	Auswahl und Bewertung von Speichersystemen	154
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	Zyklensicherheit und Zellarterung	171
5.3.1	Die Bedeutung der Zyklensicherheit 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