Inhalt

1 Einleitung 11

2 Beschreibung von Speichertechnologien 13

2.1 Grundlegende Funktion, Aufbau von Speichersystemen und deren Beschreibung 14

2.1.1 Einspeichern, Ausspeichern oder Be- und Entladen 14

2.1.2 Selbstentladung von Speichern 17

2.1.3 Beschreibung eines Speichersystems 17

2.1.4 Entwicklung einer wirtschaftlich optimierten Betriebsführung 20

2.2 Auslegung von Speichersystemen 22

2.3 Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen 28

2.3.1 Investitionskosten 28

2.3.2 Wirtschaftlichkeitsberechnungen 31

2.3.3 Wirtschaftliche Bewertung von Speichersystemen 33

2.4 Weitere Begriffe 35

2.5 Übungsaufgaben 38

2.6 Literatur 39

3 Anforderungen und Systemsystemkomponenten von Speichersystemen 41

3.1 Anforderungen und Systemkomponenten 41

3.2 Anforderungen für Speichersysteme 45

3.3 Systemkomponenten eines Speichersystems 47

3.4 Übungsaufgaben 49

3.5 Literatur 50

4 Mechanische Speicher 51

4.1 Konversion von mechanischer Energie in elektrische Energie 51

4.2 Verwendung potenzieller Energie I – Pumpspeicherkraftwerke und alternative Konzepte 53

4.3 Verwendung von Rotationsenergie – Schwungradspeicher 59

4.4 Verwendung potenzieller Energie II – Druckluftspeicher 67

4.5 Anwendungsbeispiel – Ertüchtigung eines Pumpspeicherkraftwerks für den sekundären Energiemarkt ... 74
4.6 Übungsaufgaben ... 78
4.7 Literatur ... 79

5 Thermische Speicher ... 81
5.1 Grundlagen ... 82
5.2 Sensible Wärmespeicher ... 93
5.3 Latentwärmespeicher ... 100
5.4 Thermochemische Speicher ... 105
5.5 Übungsaufgaben ... 107
5.6 Literatur ... 108

6 Elektrische Speichersysteme ... 109
6.1 Leistungselektronische Komponenten und Transformatoren ... 109
6.2 Anforderungen ... 115
6.3 Kondensator ... 118
6.4 Doppelschichtkondensatoren ... 125
6.5 Anforderungen an Doppelschichtkondensatoren ... 129
6.6 Anwendungsbeispiel – Rekuperation eines Personenaufzugs ... 132
6.7 Übungsaufgaben ... 140
6.8 Literatur ... 141

7 Elektrochemische Speichersysteme ... 143
7.1 Allgemeine Betrachtungen ... 144
7.1.1 Elektrochemische Reaktionsgleichungen ... 144
7.1.2 Anforderungen und Auslegung ... 147
7.1.3 SOC, SOH und Alterung ... 152
7.1.4 Modellierung von Zellen ... 158
7.1.5 Systemkomponenten EMS und BMS ... 159
7.2 Bleibatterien ... 162
7.2.1 Haupt- und Nebenreaktionen ... 162
7.2.2 Anforderungen und Systemkomponenten von Bleibatteriesystemen ... 163
7.2.3 Anwendungsbeispiel – Versorgung eines Mobilfunksendemasts ... 167
7.3 Lithium-Ionen-Batterien ... 173
7.3.1 Chemie von Lithium-Ionen-Batterien ... 173
7.3.2 Anforderungen und Systemkomponenten für den Gebrauch von Lithium-Ionen-Batterien ... 175

7.3.3 Alterung und Betriebsführung ... 178
7.3.4 Anwendungsbeispiel – Solarstromspeichersystem ... 180
7.4 Hochtemperaturbatterien ... 192
7.4.1 Hauptreaktion ... 192
7.4.2 Anforderungen und Systemkomponenten ... 193
7.4.3 Anwendungsbeispiel – Einbindung einer Natrium-Schwefel-Batterie an einen Windpark in einem Inselnetz ... 196
7.5 Redox-Flow-Batterien ... 201
7.5.1 Chemie und Hauptreaktionen ... 201
7.5.2 Anforderungen an Redox-Flow-Batterien ... 202
7.5.3 Anwendungsbeispiel – Einbindung einer Redox-Flow-Batterie an einen Windpark in einem Inselnetz ... 204
7.6 Übungsaufgaben ... 207
7.7 Literatur ... 208

8 Chemische Speicher ... 211
8.1 Allgemeine Funktion und Anforderungen ... 212
8.2 Wasserstofftechnik ... 215
8.2.1 Techniken zur Wasserspaltung ... 215
8.2.2 Brennstoffzelle ... 218
8.2.3 Anwendungsbeispiel – Lastwagen mit Brennstoffzellenantrieb ... 220
8.3 Methanisierung ... 223
8.3.1 Grundreaktion ... 223
8.3.2 Anwendungsbeispiel – Windanlage und Methanisierung ... 224
8.4 Übungsaufgaben ... 227
8.5 Literatur ... 227

9 Lastmanagement ... 229
9.1 Grundfunktionen und Anforderungen ... 229
9.2 Anwendungsbeispiel – Lastmanagement für einen Gewerbe- und Wohnkomplex ... 234
9.3 Übungsaufgaben ... 237
9.4 Literatur ... 238

Index ... 239