

# Inhaltsverzeichnis

<b>Vorwort</b> .....	<b>5</b>
<b>Formelzeichen und Abkürzungen</b> .....	<b>11</b>
Lateinische Buchstaben .....	11
Griechische Buchstaben .....	13
Tief- und hochgestellte Zeichen .....	14
Abkürzungen .....	17
Mathematische Symbole .....	21
<b>1 Einleitung</b> .....	<b>23</b>
1.1 Allgemeines .....	23
1.2 Zellulare Energiesysteme .....	26
1.2.1 Grundlagen .....	26
1.2.2 Struktur zellularer Energiesysteme .....	28
<b>2 Energetische Wandlungseinheiten</b> .....	<b>33</b>
2.1 Einleitung .....	33
2.2 Elektrolyseeinheiten .....	33
2.3 Brennstoffzelle .....	37
2.4 Motorische KWK-Einheiten .....	40
2.5 Wärmepumpen .....	44
2.6 Kälteanlagen .....	50
2.7 Photovoltaiksysteme .....	51
2.8 Windkraftanlagen .....	56
2.8.1 Allgemeines .....	56
2.8.2 Grundlagen der Nutzung von Windenergie .....	57
2.8.3 Ausführungen von Windkraftanlagen .....	58
2.8.4 Anforderung durch die volatile Windeinspeisung .....	61
2.8.5 Netzanschlussbedingungen .....	62
2.9 Biomasseanlagen .....	64
<b>3 Kommunikationstechnologien</b> .....	<b>69</b>
3.1 Grundlagen .....	69
3.2 Systemarchitektur elektrischer Systeme .....	73
3.2.1 Systemarchitektur ohne Datenvorverarbeitung .....	73
3.2.2 Systemarchitektur mit Datenvorverarbeitung .....	74
3.2.3 Anforderungen an die Datenübertragung .....	75
3.3 Systemarchitektur gastechnischer/wärmetechnischer Systeme .....	77
3.4 IT-Störungen .....	78

<b>4</b>	<b>Speicher</b> .....	<b>81</b>
4.1	Grundlagen.....	81
4.2	Thermische Speicher.....	83
4.2.1	Sensible Wärmespeicher.....	83
4.2.2	Latente Wärmespeicher.....	89
4.2.3	Thermochemische Speicher.....	91
4.3	Elektrische Speicher.....	92
4.3.1	Blei-Säure-Akkumulatoren.....	94
4.3.2	Nickel-Akkumulatoren.....	94
4.3.3	Lithium-Akkumulatoren.....	95
4.3.4	Redox-Flow-Akkumulatoren.....	96
4.4	Gasspeicher.....	97
4.5	Druckluftspeicher.....	101
4.6	Lagespeicher.....	102
4.7	Vergleich von Speichersystemen.....	103
<b>5</b>	<b>Verteilung – Elektrische Netze</b> .....	<b>105</b>
5.1	Arten elektrischer Energiesysteme und deren Anwendung.....	105
5.1.1	Gleichspannungssysteme.....	105
5.1.2	Wechsel- und Drehspannungssysteme.....	106
5.2	Struktur der elektrischen Energieversorgung.....	107
5.2.1	Höchstspannungsnetze.....	108
5.2.1.1	Aufgaben.....	108
5.2.1.2	Technische Merkmale.....	108
5.2.2	Hochspannungsnetze.....	109
5.2.2.1	Aufgaben.....	109
5.2.2.2	Technische Merkmale.....	109
5.2.3	Mittelspannungsnetze.....	109
5.2.3.1	Aufgaben.....	110
5.2.3.2	Technische Merkmale.....	110
5.2.4	Niederspannungsnetze.....	111
5.2.4.1	Aufgaben.....	111
5.2.4.2	Technische Merkmale.....	111
5.2.5	Aktuelle Entwicklung.....	112
5.3	Berechnung elektrischer Netze.....	113
5.3.1	Allgemeines.....	113
5.3.2	Einführung in die Lastflussrechnung.....	114
5.4	Neue Anforderungen an die Verteilung elektrischer Energie.....	120
<b>6</b>	<b>Verteilung – Wärmenetze</b> .....	<b>123</b>
6.1	Einleitung.....	123
6.2	Einteilung der Wärmenetze.....	125
6.2.1	Klassifizierung nach dem Temperaturniveau.....	125
6.2.2	Klassifizierung nach der Art der Hydraulik.....	126
6.3	Hydraulische Berechnung von Wärmenetzen.....	131
6.3.1	Druckverlust in Rohrleitungen.....	132

6.3.2	Einzeldruckverluste .....	134
6.3.3	Ventile .....	139
6.3.4	Grundzüge der Rohrnetzberechnung .....	141
6.4	Thermische Rohrberechnung .....	145
<b>7</b>	<b>Verteilung – Gasnetze .....</b>	<b>147</b>
7.1	Einleitung .....	147
7.2	Gasfortleitung .....	148
7.2.1	Raumbeständige Gasfortleitung .....	148
7.2.2	Raumveränderliche Gasfortleitung .....	153
<b>8</b>	<b>Gebäude / Quartiere .....</b>	<b>157</b>
8.1	Vernetzungsmöglichkeiten .....	157
8.2	Energiemanagement – Gebäude .....	160
8.2.1	Verfahren mit Zeitsteuerung .....	161
8.2.2	Verfahren mit Temperatursteuerung .....	161
8.2.3	Verfahren mit adaptiver Systemtemperatur .....	164
8.2.4	Lichtsteuerung .....	167
<b>9</b>	<b>Überregionale und regionale Energiemärkte .....</b>	<b>169</b>
9.1	Elektroenergie .....	169
9.1.1	Börslicher und außerbörslicher Energiehandel .....	171
9.1.2	Regelleistungsmärkte .....	171
9.1.3	Flexibilitätäsmärkte (regional) .....	173
9.2	Gasmärkte .....	174
9.3	Wärmemärkte .....	175
<b>10</b>	<b>Gesetze / Verordnungen / Resilienz .....</b>	<b>177</b>
10.1	Gesetze / Verordnungen .....	177
10.2	Resilienz von Energiesystemen .....	180
<b>11</b>	<b>Praxisbeispiele zellularer Energiesysteme .....</b>	<b>185</b>
11.1	Projekt – Regionales, Virtuelles Kraftwerk TUD/EWE .....	185
11.1.1	Gebäude / Anlage .....	185
11.1.2	Steuerung / Software .....	187
11.1.3	Feldtestergebnisse .....	192
11.2	Virtueller WärmeStromPool .....	197
11.3	Projekt – Serving .....	198
11.3.1	Idee / Ausgangslage .....	198
11.3.2	Konzept .....	200
11.3.3	Flexibilisierung steuerbarer Lasten .....	201
11.3.4	Zustandsidentifikation und Netzmonitoring .....	206
11.4	Projekt – Zellnet2050 .....	208
11.4.1	Ziel des Projekts Zellnet2050 .....	208
11.4.2	Wissenschaftliche / technische Ausrichtung von Zellnet2050 .....	208
11.5	Fazit / Ausblick .....	210

<b>12</b>	<b>Analyseverfahren für zellulare Energiesysteme .....</b>	<b>211</b>
12.1	Combined Energy Lab .....	211
12.1.1	Thermischer Versuchsstand .....	212
12.1.2	Elektrischer Versuchsstand .....	213
12.1.3	Kommunikation zwischen den Versuchsteilen / numerische Simulation .....	214
12.2	Messsysteme .....	215
12.2.1	Langzeitsysteme .....	215
12.2.2	Kurzzeitsysteme .....	218
<b>Literatur</b>	<b>.....</b>	<b>221</b>
<b>Index</b>	<b>.....</b>	<b>229</b>