

Inhaltsverzeichnis

Vorwort	5
Formelzeichen und Abkürzungen.....	11
Lateinische Buchstaben	11
Griechische Buchstaben.....	13
Tief- und hochgestellte Zeichen.....	14
Abkürzungen.....	17
Mathematische Symbole	21
1 Einleitung	23
1.1 Allgemeines	23
1.2 Zellulare Energiesysteme.....	26
1.2.1 Grundlagen.....	26
1.2.2 Struktur zellularer Energiesysteme	28
2 Energetische Wandlungseinheiten	33
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
3 Kommunikationstechnologien	69
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

Inhaltsverzeichnis

4	Speicher.....	81
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
5	Verteilung – Elektrische Netze.....	105
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
6	Verteilung – Wärmenetze	123
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

Inhaltsverzeichnis

6.3.2	Einzeldruckverluste.....	134
6.3.3	Ventile	139
6.3.4	Grundzüge der Rohrnetzberechnung.....	141
6.4	Thermische Rohrberechnung.....	145
7	Verteilung – Gasnetze	147
7.1	Einleitung	147
7.2	Gasfortleitung	148
7.2.1	Raumbeständige Gasfortleitung	148
7.2.2	Raumveränderliche Gasfortleitung.....	153
8	Gebäude / Quartiere.....	157
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
9	Überregionale und regionale Energiemärkte	169
9.1	Elektroenergie	169
9.1.1	Börslicher und außerbörslicher Energiehandel.....	171
9.1.2	Regelleistungsmärkte	171
9.1.3	Flexibilitätsmärkte (regional)	173
9.2	Gasmärkte	174
9.3	Wärmemärkte	175
10	Gesetze / Verordnungen / Resilienz.....	177
10.1	Gesetze / Verordnungen	177
10.2	Resilienz von Energiesystemen.....	180
11	Praxisbeispiele zellularer Energiesysteme	185
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

Inhaltsverzeichnis

12	Analyseverfahren für zellulare Energiesysteme	211
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
Literatur	221
Index	229