

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

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

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