

Inhalt

1	Einleitung	7
1.1	Grundlegendes	7
1.2	Literaturanalyse	11
1.3	Ziel und Abgrenzung des Buches	13
2	Energieversorgung	15
2.1	Entwicklungstendenzen in der Energieversorgung	15
2.2	Bedarfsanalyse	21
2.2.1	Thermische Bedarfsanalyse von Gebäuden	21
2.2.2	Elektrische Bedarfsanalyse von Gebäuden	26
2.3	Prognostizierte Entwicklungstendenzen in der Energieversorgung	31
2.3.1	Entwicklung des Kraftwerkparks / Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen	32
2.3.2	Entwicklung der regenerativen Energiegewinnung	36
2.3.3	Ausbausituation des elektrischen Netzes / Speicherung	39
2.4	Konsequenzen für die Mikro-KWK-Technologie	41
3	Technologien für Mikro-KWK-Systeme	43
3.1	Grundlegende Bilanzierung	43
3.2	Mikro-KWK-Technologien	46
3.2.1	Brennstoffzellen	47
3.2.2	Verbrennungsmotoren	49
3.2.3	Stirlingmotoren	52
3.2.4	Dampfmotoren	55
3.3	Hydraulik / Regelung / Informationsgewinnung	57
3.4	Speicherauslegung von KWK-Systemen	64
4	Elektrische Netzintegration	67
4.1	Einleitung	67
4.2	Anforderungen im Niederspannungsnetz	68
4.3	Regionales Virtuelles Kraftwerk	71
4.3.1	Allgemeines	71
4.3.2	EEX-Markt	74
4.3.3	Regelleistungsmarkt	75

4.3.4	Struktur eines Regionalen Virtuellen Kraftwerks	79
4.3.5	Pilotprojekte	82
5	Analyse von Mikro-KWK-Systemen	85
5.1	Messtechnik	85
5.1.1	Grundkonzept	85
5.1.2	Geräte	87
5.1.2.1	Temperaturmesstechnik	87
5.1.2.2	Durchflussmesser	88
5.1.2.3	Gasvolumenstromzähler	89
5.1.2.4	Periphere Geräte	89
5.1.2.5	Messunsicherheit	91
5.2	Messtechnische Analysen	95
5.2.1	Einleitung	95
5.2.2	Kirsch L 4.12	96
5.2.2.1	Messung (statisch)	98
5.2.2.2	Messung (dynamisch)	111
5.2.3	Viessmann Vitotwin 300-W	122
5.2.3.1	Messung (statisch)	124
5.2.3.2	Messung (dynamisch)	136
5.2.4	WhisperGen PPS24-ACLG-5	139
5.2.4.1	Messung (statisch)	140
5.2.4.2	Messung (dynamisch)	148
5.2.5	Fazit	151
6	Numerische Modellierung	153
6.1	Motorisches KWK-Gerät	153
6.1.1	Bilanzierung des Motors / Wärmeübertragers	154
6.1.2	Approximation des Teillastverhaltens	155
6.1.3	Modellierung des Kirsch L 4.12	159
6.2	Stirling KWK-Gerät (Hybridgerät)	160
7	Numerische Analysen (Simulation)	163
7.1	Modellgebäude / Randbedingungen	163
7.2	Bewertungsmethodik	168
7.3	Analysen - WSV077	170
7.4	Analysen - WSV082	177

8 Feldtest	183
8.1 Einleitung	183
8.2 Ergebnisse	185
9 Gesetze / Richtlinien / Verordnungen / Normen / Förderung	191
9.1 Energiewirtschaftsgesetz	191
9.2 Kraft-Wärme-Kopplungsgesetz	191
9.3 Erneuerbare Energien Gesetz	193
9.4 NABE Gesetz	193
9.5 Bundesimmissionsschutzgesetz	193
9.6 Blauer Engel	195
9.7 Sonstige Verordnungen, Gesetze, Richtlinien	196
9.7.1 DIN 4709	197
9.7.2 VDI 4655	198
9.8 Voraussetzungen für die Bewilligung von KWK-Anlagen	198
9.9 Förderung von KWK-Anlagen	198
10 Wirtschaftlichkeit / Primärenergie / Kohlendioxidemission	201
10.1 Grundlagen zur Wirtschaftlichkeitsberechnung	201
10.2 Primärenergie / CO ₂ -Emissionen	203
10.3 Anlagen-Gesamtsystemvergleich	207
10.3.1 Basisanalyse	207
10.3.2 Einfluss des Heizwärmebedarfs und des Primärenergiefaktors	208
10.3.3 Einfluss von Energiepreissteigerungen	211
11 Fazit / Ausblick	215
Anhang	229
Stoffdaten	229
Verbrennungsrechnung	230
Fehlerrechnung	233