
Heinz Eickenhorst/Lajos Joos (Hrsg.)

ENERGIEEINSPARUNG IN GEBÄUDEN

- **Stand der Technik**
- **Entwicklungstendenzen**

VULKAN-VERLAG ESSEN

Inhalt

	Vorwort	V
	Autorenverzeichnis	VII
1	Bedeutung der Energieeinsparung im Gebäudebereich	1
	H. Ehm, H. Erhorn, L. Joos, P. Rathert und H.-P. Schettler-Köhler	
1.1	Stand und Entwicklung des energiesparenden Bauens und der Maßnahmen zur CO ₂ -Minderung im Gebäudebereich	2
1.1.1	Einleitung	2
1.1.2	Energieeinsparung in Gebäuden als Teil ökologischen Bauens	3
1.1.3	Energiesparende Bauplanung	4
1.1.4	Gebäudebereich; Maßnahmen des energiesparenden Bauens	5
1.1.5	Gebäudebestand	6
1.1.6	Fortentwicklung der Maßnahmen im Gebäudebestand	6
1.1.7	Wärmeschutzverordnung '95 und ihre beabsichtigte Fort- schreibung	7
1.1.8	Empfehlungen zu Niedrigenergiehausstandards	12
1.2	Wärmeschutzverordnung	13
1.2.1	Grundsätzliches zur Wärmeschutzverordnung	13
1.2.2	Wirtschaftlichkeitsgebot des Energieeinsparungsgesetzes	13
1.2.3	Wärmebilanzverfahren für Gebäude mit normalen Innentem- peraturen	14
1.2.4	Besonderheiten im Nachweisverfahren für Gebäude mit norma- len Innentemperaturen	17
1.2.4.1	Option für mechanische Lüftungsanlagen	17
1.2.4.2	Sonderregelung für unbeheizte Glasvorbauten	19
1.2.4.3	Beschattete Fenster	21
1.2.4.4	Sommerlicher Wärmeschutz	21
1.2.5	Wärmebedarfsausweis	22
1.2.6	Anforderungen bei Maßnahmen an bestehenden Gebäu- den	22
1.2.7	Ausblick	23
1.3	Heizungsanlagen-Verordnung	24
1.3.1	Zweck der Verordnung	24
1.3.2	Rechtsgrundlage	25
1.3.3	Entwicklung der Verordnung: von 1978 bis heute	26
1.3.4	Erläuterung der Vorschriften	26
1.3.4.1	Anwendungsbereich	26
1.3.4.2	Umsetzung der Heizkesselrichtlinie	27
1.3.4.3	Auslegung und Ausstattung von Wärmeerzeugern	28

1.3.4.4	Förderung der Brennwerttechnik	30
1.3.4.5	Wärmedämmung von Wärmeverteilungsanlagen	30
1.3.4.6	Einrichtungen zur Steuerung und Regelung	32
1.3.4.7	Reduzierung des Betriebsstromverbrauches	32
1.3.4.8	Brauchwasseranlagen	32
1.3.4.9	Pflichten des Betreibers	33
1.3.4.10	Ausnahmen, Härtefälle, Bußgelder	34
1.4	Niedrigenergiehaus	34
1.4.1	Einleitung	34
1.4.2	Reduzierung der Transmissionswärmeverluste	35
1.4.2.1	Optimiertes Hüllflächen-Volumenverhältnis	36
1.4.2.2	Wärmeschutz	36
1.4.3	Verringerung der Lüftungswärmeverluste	38
1.4.4	Interne Gewinne	40
1.4.5	Vergrößerung der Solargewinne	41
1.4.5.1	Fensterflächenvergrößerung	43
1.4.5.2	Verbesserung des Gesamtenergiedurchlaßgrades	44
1.4.5.3	Orientierung der Fensterflächen	45
1.4.6	Weitere Einflußgrößen	45
1.4.7	Zusammenfassung	46
1.4.8	Beispiele für Niedrigenergiehäuser	46
1.4.8.1	Einleitung	46
1.4.8.2	Technische Beschreibung der Häuser	46
1.4.8.2.1	Referenzhaus	46
1.4.8.2.2	Niedrigenergiehäuser	48
1.4.9	Untersuchungsergebnisse	51
1.4.9.1	Meßvorhaben	51
1.4.9.2	Meteorologische Randbedingungen	53
1.4.9.3	Nutzeinflüsse	53
1.4.9.4	Bauteile	58
1.4.9.5	Gebäudeverhalten	61
1.4.9.6	Stromverbrauch	66
1.4.9.7	Heizenergie	67
1.4.9.8	Lüftungsanlagen	70
1.4.9.9	Warmwasser	72
1.4.9.10	Kohlendioxidemission	73
1.4.9.11	Betriebskosten	73
1.4.9.12	Baukosten	76
1.4.10	Erkenntnisse und Empfehlungen	76
1.4.11	Konsequenzen	77
1.4.12	Praktische Tips für Planung und Bauausführung	79
2	Wärmedämmung	85
	H. Eickenhorst	
2.1	Einleitung	86
2.2	Energiebilanzen / Energieverbrauch von Gebäuden	86

2.2.1	Allgemeines	86
2.2.2	Energiekennzahlen	88
2.3	Wärmedämmmaterialien	89
2.3.1	Wärmedämmung und Behaglichkeit	89
2.3.2	Kenndaten der Wärmedämmstoffe	89
2.4	Wärmedämmung verschiedener Gebäudeteile	92
2.4.1	Fenstersysteme und ihre Wärmedämmeigenschaften	92
2.4.2	Nachträgliches Abdichten bei undichten Fensterrahmen	93
2.4.3	Rolladen	94
2.4.4	Heizkörpernische	94
2.4.5	Kellerdecke	94
2.4.6	Kellerwände	96
2.4.7	Außenwand	96
2.4.7.1	Innenwärmedämmung	96
2.4.7.2	Außenwärmedämmung	97
2.4.7.2.1	Wärmeverbundsysteme	97
2.4.7.2.2	Vorgehängte Fassade	99
2.4.8	Geschoßdecken	99
2.4.9	Dach	100
2.5	Transparente Wärmedämmung	101
3	Heizungstechnik	103
	R. Braun, J. Eberhardt, R. Egger, H. Eickenhorst, M. Fall, P. Göricke, W. Hiddemann, T. Jannemann, L. Joos, B. Seyda, W. Stahlberg, A. Strehler, Ch. Vens, W. Weißing	
3.1	Konventionelle Heizungstechnik	106
3.1.1	Einleitung	106
3.1.2	Einzelheizung	107
3.1.2.1	Elektro-Speicherheizgeräte	107
3.1.2.2	Gasraumheizer	110
3.1.2.2.1	Gasraumheizer für Schornsteinanschluß	111
3.1.2.2.2	Gasraumheizer mit Außenwandanschluß	112
3.1.2.2.3	Einsparung an Energie und Energiekosten	113
3.1.2.3	Ölheizöfen	113
3.1.2.3.1	Einleitung	113
3.1.2.3.2	Einsparung an Energie und Energiekosten	115
3.1.3	Zentralheizung	115
3.1.3.1	Warmwasserheizung	115
3.1.3.1.1	Konstanttemperatur-Kessel	115
3.1.3.1.2	Niedertemperatur-Kessel	117
3.1.3.1.3	Entwicklungstendenzen	121
3.1.3.1.4	Gasumlaufwasserheizer	122
3.1.3.1.5	Heizungssatelliten	123
3.1.3.1.6	Einsparung an Energie und an Energiekosten durch moderne Gas- oder Ölheizungsanlagen	124

3.1.3.1.7	Elektro-Zentralspeicher	125
3.1.3.2	Luftheizungen im Wohnbereich	128
3.1.3.2.1	Einleitung	128
3.1.3.2.2	Allgemeine Funktionsweise	129
3.1.3.2.3	Stand der Technik	132
3.1.3.2.4	Energieeinsparung	134
3.1.3.2.5	Entwicklungstendenzen	135
3.1.3.3	Elektro-Fußbodenheizung	136
3.1.4	Sinnvolle Reihenfolge von Sanierungsmaßnahmen	137
3.2	Brennwerttechnik	140
3.2.1	Einführung	140
3.2.2	Thermodynamische Grundlagen	141
3.2.3	Konstruktionsmerkmale	143
3.2.4	Abgasabführung	146
3.2.5	Aufstellbedingungen	147
3.2.6	Ableitung des Kondenswassers	150
3.2.7	Betriebsweise	155
3.2.8	Einsparung an Energie und an Energiekosten	159
3.2.9	Marktentwicklung	161
3.2.10	Warmlüfterzeuger mit Brennwerttechnik für den Wohnbereich	163
3.2.10.1	Einleitung	163
3.2.10.2	Allgemeine Funktionsweise	164
3.2.10.3	Stand der Technik	164
3.2.10.4	Energetische Vorteile	165
3.2.10.5	Entwicklungstendenzen	166
3.3	Wärmepumpen	166
3.3.1	Motorbetriebene Wärmepumpen	179
3.3.1.1	Elektrowärmepumpen	180
3.3.1.1.1	Einleitung	180
3.3.1.1.2	Beschreibung der Funktion	182
3.3.1.1.3	Energetik der Elektrowärmepumpe	182
3.3.1.1.4	Nutzwärmeerzeugung	183
3.3.1.1.5	Betriebsweise der Elektrowärmepumpe	186
3.3.1.1.6	Elektroinstallation	186
3.3.1.1.7	Aufstellung der Elektrowärmepumpe	187
3.3.1.1.8	Einsparung an Energie und an Energiekosten	187
3.3.1.2	Verbrennungsmotor-Wärmepumpen	189
3.3.1.2.1	Kenngößen	189
3.3.1.2.2	Verfügbare Anlagentechnik	195
3.3.1.2.3	Energie- und Energiekosteneinsparung	199
3.3.1.2.4	Praxiserfahrung mit einer Gasmotorwärmepumpenanlage	203
3.3.1.2.4.1	Einleitung	203
3.3.1.2.4.2	Aufbau und Funktion der Anlage	205
3.3.1.2.4.3	Überwachung	210
3.3.1.2.4.4	Optimierung der Wärmepumpenanlage	212

3.3.1.2.4.5	Wirtschaftlichkeitsvergleich einer Gaswärmepumpenanlage mit einer konventionellen Anlage	218
3.3.1.2.4.6	Verbot chlorierter Kohlenwasserstoffe	225
3.3.2	Gasbetriebene Absorptionswärmepumpe	226
3.3.2.1	Einleitung	226
3.3.2.2	Verfahrenstechnische Einteilung der Absorptionswärmepumpen	228
3.3.2.2.1	Absorptionswärmepumpe mit Lösungsmittelpumpe	230
3.3.2.2.2	Diffusionsabsorptionswärmepumpe mit druckausgleichendem Hilfsgas	239
3.3.2.2.3	Periodisch arbeitende Absorptionswärmepumpe	241
3.3.2.3	Betriebsweise und Einbindung von Absorptionswärmepumpen in Heizungsanlagen	241
3.3.2.3.1	Regelung einer Absorptionswärmepumpenheizungsgasanlage	242
3.3.2.4	Einsparung an Energie und Energiekosten	244
3.3.2.5	Praxiserfahrungen mit gasbetriebenen Absorptionswärmepumpen	245
3.3.2.5.1	Luft/Wasser-Gasabsorptionswärmepumpe im Ökohaus, Pariser Straße 10, München	245
3.3.2.5.2	Sole/Wasser-Gasabsorptionswärmepumpen-Einsatz in einem 3-Familienhaus in Dortmund	248
3.3.3.5.3	Wasser/Wasser-Gasabsorptionswärmepumpen-Einsatz in einem Bürohaus in Forst/Bruchsal	251
3.3.2.5.4	Wasser/Wasser-Gasabsorptionswärmepumpen-Einsatz im Hallenbad in Münster-Amelsbüren	255
3.3.2.5.5	Feldtesterfahrungen mit Diffusionsabsorptionswärmepumpen	258
3.3.2.5.6	Entwicklungspotential	260
3.4	Klimatisierung	262
3.4.1	Allgemeine Grundlage der Klimatisierung	262
3.4.2	Bestehende Klimaanlage	264
3.4.2.1	Grundsätzliche Betrachtung	264
3.4.2.2	Klimaanlagen mit konstantem Volumenstrom	266
3.4.2.2.1	Einkanalklimaanlagen mit konstantem Volumenstrom	267
3.4.2.2.2	Mehrzonenklimaanlagen mit konstantem Luftvolumenstrom ...	267
3.4.2.2.3	Zweikanal-Klimaanlage mit konstantem Luftvolumen und Mischkästen	269
3.4.2.2.4	Induktionsklimaanlage mit Heißwasser- und Kaltwassersystem	270
3.4.2.3	Bewertung der vorgenannten Anlagentypen	273
3.4.2.4	Beschreibung der Entwicklungsmöglichkeiten für bestehende Anlagen	274
3.4.2.5	Beschreibung der möglichen Energiesparmaßnahmen bei bestehenden Anlagen	275
3.4.2.6	Beispiele ausgeführter Anlagen	278

3.4.3	Neuanlagen Klimatisierungstechnik	280
3.4.3.1	Beschreibung des Standes der Technik	280
3.4.3.1.1	Einkanalklimaanlagen mit variablem Volumenstrom	280
3.4.3.1.2	Einkanalklimaanlagen mit Kühldecken	282
3.4.3.1.3	Klimaanlagen in Verbindung mit Wärmepumpen	284
3.4.3.1.4	Bewertung der vorgenannten Anlagen	286
3.4.3.2	Entwicklungstendenz	286
3.4.3.2.1	Sorptionskühlung	286
3.4.3.2.2	Klimaanlagen mit Absorptionskühlung	289
3.4.3.2.3	Klimaanlagen mit Solarkühlung	291
3.4.3.3	Beispiel einer ausgeführten Anlage	291
3.4.4	Wohnungslüftung mit Wärmerückgewinnung	294
3.4.4.1	Einleitung	294
3.4.4.1.1	Lufthygiene in Innenräumen	294
3.4.4.1.2	Bauphysik	295
3.4.4.1.3	Energieminimierung	295
3.4.4.2	Systeme für Wohnungslüftung	296
3.4.4.2.1	Zentrale Abluftanlagen	296
3.4.4.2.2	Zentrale Be- und Entlüftungsanlagen mit Wärmerückge- winnung	300
3.4.4.2.3	Lüftungswärmepumpen	304
3.4.4.3	Energieeinsparung	306
3.4.4.3.1	Energieeinsparung durch geregelten Luftwechsel	306
3.4.4.3.2	Energieeinsparung durch Wärmerückgewinnung	306
3.4.4.4	Ausblick	309
3.5	Heizungstechnik in Kombination mit erneuerbaren Energien	309
3.5.1	Heizungstechnik in Kombination mit Biobrennstoffen	310
3.5.1.1	Einleitung	310
3.5.1.2	Grundlagen der Holzfeuerungen, technische Lösungen und Bauarten	310
3.5.1.2.1	Durchbrand	312
3.5.1.2.2	Oberer Abbrand mit Nachbrennbereich	312
3.5.1.2.3	Unterer Abbrand mit Nachbrennkammer	313
3.5.1.3	Aufbau von Feuerungsanlagen, Bauarten	313
3.5.1.3.1	Holzfeuerungsanlagen mit absätziger Brennstoffzuführung	313
3.5.1.3.2	Holzfeuerungsanlagen mit kontinuierlicher, automatischer Brennstoffzuführung	321
3.5.1.4	Emissionsgrenzwerte für die Verfeuerung von Holz und Halmgut	321
3.5.1.5	Brennstofflagerung, Brennstoffaufbereitung und Brennstoff- dosierung	321
3.5.1.6	Kosten der Biomassefeuerung	326
3.5.1.7	CO ₂ -Einsparung und Wirtschaftlichkeit ausgeführter Anlagen	328
3.5.1.7.1	Einleitung	328

3.5.1.7.2	Ausführungsbeispiele	329
3.5.2	Heizungstechnik in Kombination mit Sonnenenergie	331
3.5.2.1	Einleitung	331
3.5.2.2	Passive und aktive Solarenergienutzung	332
3.5.2.3	Solare Heizung	332
3.5.2.3.1	Autarke Beheizung durch Solarenergie	334
3.5.2.3.2	Heizungsunterstützung	334
3.5.2.4	Integration der Solartechnik in die Heizungsanlage	336
3.5.2.5	Stand der Technik	337
3.5.2.6	Energieeinsparung und Wirtschaftlichkeit	337
3.5.2.7	Entwicklungstendenzen	338
4	Warmwasserbereitung	343
	I. Buschatz, A. Dröttboom, H. Eickenhorst, T. Jannemann, L. Joos, A. Strehler	
4.1	Konventionelle Warmwasserbereitungstechnik	347
4.1.1	Unterscheidungskriterien von Warmwasserversorgungsan- lagen	347
4.1.2	Einzel- und Gruppenversorgung	348
4.1.2.1	Allgemeines	348
4.1.2.2	Kohle- und heizölbeheizte Speicherwassererwärmer	349
4.1.2.2.1	Kohlebeheizte Wassererwärmer	349
4.1.2.2.2	Heizölbeheizte Wassererwärmer	349
4.1.2.3	Gas-Wasserheizer	350
4.1.2.3.1	Grundlagen	350
4.1.2.3.2	Gas-Durchlaufwasserheizer	350
4.1.2.3.3	Gas-Kombiwasserheizer	351
4.1.2.3.4	Gasdirektbeheizte Speicherwassererwärmer	352
4.1.2.4	Elektro-Wassererwärmer	353
4.1.2.4.1	Grundlagen	353
4.1.2.4.2	Tauchsieder	354
4.1.2.4.3	Boiler	354
4.1.2.4.4	Kochendwassergerät	354
4.1.2.4.5	Elektro-Speicherwassererwärmer	355
4.1.2.4.6	Elektro-Durchlaufwasserheizer	359
4.1.2.4.7	Elektro-Durchlaufspeicher	361
4.1.3	Zentrale Versorgung	362
4.1.3.1	Allgemeines	362
4.1.3.2	Speicherkonstruktionen	362
4.1.3.3	Heizkessel in Kombination mit Speicherwassererwärmern	364
4.1.3.4	Gas-Umlaufwasserheizer in Kombination mit Speicher- wassererwärmern	366
4.1.3.5	Anschluß des Warmwassererwärmers	368
4.1.3.6	Warmwasserbereitung mittels Fernwärme	368

4.1.3.7	Zirkulationsleitung	369
4.1.4	Einsparung an Energie und an Energiekosten	370
4.2	Warmwasserbereitung mittels Brennwerttechnik	373
4.2.1	Einleitung	373
4.2.2	Stand der Technik	374
4.2.2.1	Schichtenladespeicher	374
4.2.2.2	Anlage mit einem Heizkreis und Speicherwassererwärmer	376
4.2.2.3	Anlage mit zwei Heizkreisen und Schichtenladespeicher	376
4.2.2.4	Anlage mit Solarkollektor und Doppelschlangenspeicher	377
4.2.2.5	Gasdirektbeheizter Brennwert-Speicherwassererwärmer	378
4.2.3	Einsparung an Energie und Energiekosten	379
4.2.4	Entwicklungstendenzen	379
4.3	Warmwasser-Wärmepumpen	380
4.3.1	Einleitung	380
4.3.2	Stand der Technik	380
4.3.3	Installation der Warmwasser-Wärmepumpe	382
4.3.4	Energetik der Warmwasser-Wärmepumpe	384
4.3.5	Energie- und Energiekosteneinsparung	386
4.3.6	Entwicklungstendenzen	388
4.4	Warmwasserbereitungstechnik in Kombination mit erneuerbaren Energien	389
4.4.1	Warmwasserbereitung in Kombination mit Biobrennstoffen	390
4.4.2	Warmwasserbereitungstechnik in Kombination mit Sonnenenergie	390
4.4.2.1	Einleitung	390
4.4.2.1.1	Solare Deckungsrate einer Standard-Solar-Anlage	390
4.4.2.2	Allgemeine Beschreibung der technischen Grundlagen	393
4.4.2.2.1	Kollektor	393
4.4.2.2.2	Hochleistungs-Flachkollektor	393
4.4.2.2.3	Vakuum-Röhrenkollektor	394
4.4.2.2.4	Absorberbeschichtung	394
4.4.2.2.5	Solarspeicher	395
4.4.2.2.6	Solar-Regelung	395
4.4.2.2.7	Solar-Kompaktinstallation	396
4.4.2.2.8	Ausdehnungsgefäß	396
4.4.2.2.9	Verrohrung	397
4.4.2.2.10	Montagerahmen	397
4.4.2.3	Anlagenplanung	397
4.4.2.3.1	Warmwasserbedarf	397
4.4.2.3.2	Installation	397
4.4.2.4	Umwelt- und Energiebilanz	401
4.4.2.4.1	Energetische Amortisation einer Standard-Solar-Anlage	401
4.4.2.4.2	Reduzierung der Schadstoff-Emissionen	401
4.4.2.4.3	Einsparung an Energie und Energiekosten	402
4.4.2.5	Entwicklungstendenzen	402

5	Beleuchtung	405
	W. Prahl	
5.1	Einleitung	406
5.2	Lichttechnische Grundlagen	406
5.2.1	Licht und Auge	406
5.2.2	Größen und Einheiten	407
5.3	Stand der Technik	407
5.3.1	Anforderungen an die Beleuchtung	407
5.3.1.1	Gütemerkmale der Beleuchtung	407
5.3.1.2	Vorschriften und Richtlinien	409
5.3.2	Gestaltung der Beleuchtung	410
5.3.3	Lampen	410
5.3.3.1	Glühlampen	411
5.3.3.2	Stabförmige Leuchtstofflampen	412
5.3.3.3	Kompakt-Leuchtstofflampen	412
5.3.3.4	Quecksilberdampf-Hochdrucklampen	412
5.3.3.5	Halogen-Metaldampf-Hochdrucklampen	413
5.3.3.6	Natriumdampflampen	413
5.3.4	Leuchten	414
5.3.5	Einsparung an Energie und an Energiekosten	414
5.4	Entwicklungstendenzen	415
5.4.1	Sanierung	417
5.4.2	Neubau	417
5.5	Beispiele	419
6	Haushaltsgeräte	421
	M. Böckelmann-Grewe, K.-D. Fischer, L. Joos und G. Rodefeld	
6.1	Elektro-Haushaltsgeräte	423
6.1.1	Einleitung	423
6.1.2	Stromverbrauch im Haushalt	425
6.1.3	Nahrungszubereitung	426
6.1.3.1	Stromverbrauch des Elektroherdes	426
6.1.3.2	Stromverbrauchsbeeinflussende Faktoren	430
6.1.3.3	Hinweise zur stromsparenden Nutzung des Elektroherdes	431
6.1.3.4	Entwicklungstendenzen Elektroherd	432
6.1.3.5	Mikrowellengerät und Kleingeräte	432
6.1.4	Vorratshaltung	433
6.1.4.1	Stromverbrauch der Kühl- und Gefriergeräte	434
6.1.4.1.1	Verbrauchsbeeinflussende Faktoren	434
6.1.4.1.2	Hinweise zum Stromsparen bei der Nutzung der Kühl- und Gefriergeräte	437
6.1.4.2	Entwicklungstendenzen bei den Kühl- und Gefriergeräten	437
6.1.5	Geschirrspülen	438

6.1.5.1	Stromverbrauch beim Geschirrspülen	438
6.1.5.1.1	Stromverbrauchsbeeinflussende Faktoren	439
6.1.5.1.2	Hinweise zum Stromsparen bei der Nutzung der Geschirrspülmaschine	440
6.1.6	Wäschepflege	440
6.1.6.1	Stromverbrauch der Waschmaschinen	441
6.1.6.1.1	Stromverbrauchsbeeinflussende Faktoren	442
6.1.6.1.2	Hinweise zum Stromsparen bei der Nutzung der Waschmaschine	443
6.1.6.1.3	Entwicklungstendenzen Waschmaschine	444
6.1.6.2	Wäschetrockner	444
6.1.6.2.1	Stromverbrauch des Wäschetrockners	444
6.1.6.2.2	Stromverbrauchsbeeinflussende Faktoren	445
6.1.6.2.3	Hinweise zum Stromsparen beim Wäschetrockner	445
6.1.6.2.4	Entwicklungstendenzen des Wäschetrockners	446
6.1.7	Ausblick	446
6.2	Gas-Haushaltsgeräte	446
6.2.1	Gasherde	447
6.2.1.1	Einleitung	447
6.2.1.2	Aufbau und technische Merkmale von Gasherden	448
6.2.1.2.1	Gaskochmulden	448
6.2.1.2.2	Gasbacköfen	452
6.2.1.3	Installation des Gasherdes	456
6.2.1.4	Einsparung an Energie und an Energiekosten	457
6.2.1.5	Entwicklungstendenzen	459
6.2.2	Gaswäschetrockner	459
6.2.2.1	Stand der Technik	459
6.2.2.1.1	Beschreibung des Trockenprozesses und der Gerätetechnik	459
6.2.2.1.2	Emissionen des Gasbrenners in die Trocknerluft	466
6.2.2.2	Einsparungen an Energie und an Energiekosten	466
6.2.2.3	Entwicklungstendenzen	469
7	Gebäudeautomation	471
	S. Bischof	
7.1	Grundsätzliches	472
7.2	Aufgaben und Nutzen der Gebäudeautomation	473
7.3	Aufbau und Ebenen der Gebäudeautomation	474
7.4	Anforderungen und Funktionen der Automationsstationen	477
7.5	Anforderungen und Funktionen der Gebäudeleittechnik	481
7.6	Kommunikation in der Gebäudeleittechnik	482
7.6.1	Mensch/Maschine-Kommunikation	482
7.6.2	Maschinen/Maschinen-Kommunikation	485
7.7	Einzelraumregelung	486
7.8	Management Konzepte	489

7.8.1	Begriffe und Leistungen	489
7.8.2	Überregionales Gebäudemanagement	490
7.9	Instandhaltung	492
7.10	Energieeinsparpotentiale im Gebäude	493
7.11	Entwicklungstendenzen in der Gebäudeautomation	495
7.12	Fazit	495
7.13	Beispiel der Energieeinsparung durch Einsatz moderner Technologien	496
7.13.1	Ausgangssituation	496
7.13.2	Einsatz und technische Realisierung	497
7.13.3	Erzielte Einsparungen	498
7.13.4	Fazit	499
8	Kraft-Wärme-Kopplung	501
	D. Bohn, W. Handrock, A. Heiming, P. Hupperich, H.-J. Kail, G. Matouscheck, R. Paul, M. Uhrig und H. Wackertapp	
8.1	Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen mit Verbrennungs- motoren	503
8.1.1	Einleitung/Grundlagen	503
8.1.2	Stand der Technik	507
8.1.2.1	Motorentchnik	507
8.1.2.2	Reduzierung der Abgasemissionen	511
8.1.2.3	Dimensionierung der BHKW-Anlage	514
8.1.2.4	Ersatzstromversorgung	514
8.1.3	Energieeinsparung	514
8.1.4	CO ₂ -Reduzierung	515
8.1.5	Wirtschaftlichkeit	516
8.1.6	Planung, Ausführung und Abnahme von KWK-Anlagen mit Verbrennungsmotoren	517
8.1.7	Entwicklungstendenzen	518
8.1.8	Praxiserfahrungen mit Gasmotor-BHKW-Anlagen	519
8.1.8.1	BHKW-Anlage St. Johannisstift	520
8.1.8.1.1	Versorgungskonzept	520
8.1.8.1.2	Technische Beschreibung der Anlage	520
8.1.8.1.3	Erzielte Energieeinsparung	522
8.1.8.1.4	Erzielte Wirtschaftlichkeit	522
8.1.8.1.5	Betriebserfahrungen und Schlußfolgerung	523
8.1.8.2	BHKW-Anlage Schloß Neuhaus	524
8.1.8.2.1	Versorgungskonzept	524
8.1.8.2.2	Technische Beschreibung der Anlage	525
8.1.8.2.3	Erzielte Energieeinsparung	526
8.1.8.2.4	Erzielte Wirtschaftlichkeit	526
8.1.8.2.5	Betriebserfahrungen und Schlußfolgerungen	527
8.1.8.3	BHKW-Anlage Sportzentrum Paderborn	528
8.1.8.3.1	Versorgungskonzept	528

8.1.8.3.2	Technische Beschreibung der Anlage	529
8.1.8.3.3	Erzielte Energieeinsparung	529
8.1.8.3.4	Erzielte Wirtschaftlichkeit	530
8.1.8.3.5	Betriebserfahrungen mit Schlußfolgerungen	530
8.2	Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen mit Gasturbine	531
8.2.1	Aufbau und Funktionsprinzip der Gasturbine	531
8.2.2	Stand der Technik von Gasturbinenanlagen	535
8.2.2.1	Definition von Kennzahlen und Bewertungsgrößen für die KWK	535
8.2.2.2	Vor- und Nachteile einer Gasturbine	536
8.2.2.2.1	Konstruktion	536
8.2.2.2.2	Leistungsdichte	536
8.2.2.2.3	Schadstoffemissionen	537
8.2.2.2.4	Brennstoffwahl	537
8.2.2.2.5	Zuverlässigkeit und Verfügbarkeit	538
8.2.2.2.6	Wartung	538
8.2.2.2.7	Lebensdauer	538
8.2.2.2.8	Wirkungsgrad und Brennstoffausnutzungsgrad	538
8.2.3	Einsatzmöglichkeiten der Gasturbine in der Kraft-Wärme-Kopplung	539
8.2.3.1	Gasturbine mit Abhitzekeessel	539
8.2.3.2	Gasturbine mit Absorptionskältemaschine	540
8.2.3.3	Gasturbine mit Wasserdampfeindüsung	541
8.2.3.4	Sonstige Kraft-Wärme-Kopplungskonzepte mit Gasturbinen ..	542
8.2.4	Einsparung an Primärenergie und Energiekosten	544
8.2.4.1	Primärenergieeinsparungspotential	544
8.2.4.2	Wirtschaftlichkeit	545
8.2.5	Entwicklungstendenzen bei Gasturbinen kleiner Leistung	546
8.2.6	Praxiserfahrungen mit einem Gasturbinen-Heizkraftwerk	548
8.2.6.1	Kenndaten des Fernwärmesystems	548
8.2.6.2	Wärmetransportsysteme und Hausübergabestationen	549
8.2.6.3	Technik der Energieerzeugung	550
8.2.6.3.1	Spitzenkesselanlage	550
8.2.6.3.2	Gasturbine mit Abhitzekeessel	551
8.2.6.3.3	Wärmezentrale	553
8.2.6.4	Einsparung an Energie und Energiekosten	553
8.2.6.4.1	Energieeinsparung	555
8.2.6.4.2	Erzielte Wirtschaftlichkeit	558
8.2.6.5	Praxiserfahrung	560
8.2.6.6	Verbesserungspotential	560
8.2.6.7	Weitere Entwicklungen	560
8.3	Brennstoffzellen in der Kraft-Wärme-Kopplung	561
8.3.1	Einleitung	561
8.3.2	Aufbau und Funktionsweise von Brennstoffzellen	563
8.3.3	Stand der Technik	569
8.3.3.1	Phosphorsäure Brennstoffzelle	569
8.3.3.2	Karbonatschmelze-Brennstoffzelle	570
8.3.3.3	Festoxid-Brennstoffzelle	571

8.3.4	Perspektiven für den Einsatz von Brennstoffzellen	572
8.3.5	Praxiserfahrungen mit einem Brennstoffzellen-BHKW	575
8.3.5.1	Stand der Markteinführung	575
8.3.5.2	Technische Beschreibung der Brennstoffzelle	576
8.3.5.2.1	Grundlagen	576
8.3.5.2.2	Technische Daten	577
8.3.5.2.3	Vergleich mit den Konkurrenztechnologien Gasmotor und Gasturbine	578
8.3.5.3	Erfahrungen aus dem Praxisbetrieb	579
8.3.5.3.1	Ermittelte Kenndaten	579
8.3.5.3.2	Praxisnaher Betrieb bei den Stadtwerken Bochum	580
8.3.5.4	Entwicklungstendenzen	586
9	Erneuerbare Energien für Stromerzeugung	589
	H. Eickenhorst, S! Krug und G. Nimz	
9.1	Windenergie	590
9.1.1	Einleitung	590
9.1.2	Technische Grundlagen	590
9.1.3	Aufstellungskriterien	592
9.1.4	Anlagentechnik	594
9.1.5	Wirtschaftlichkeit	596
9.1.6	CO ₂ -Reduzierung	596
9.1.7	Entwicklungstendenzen	597
9.2	Photovoltaik	598
9.2.1	Einleitung	598
9.2.2	Technologie der Photovoltaik	598
9.2.3	Die Photovoltaik-Solarzelle	599
9.2.3.1	Modultypen	600
9.2.4	Energieangebot der Sonne	601
9.2.5	Anwendung der Photovoltaik	601
9.2.6	Netzeinspeisung	602
9.2.7	Kostenaussichten und Ausblick	605
10	Contracting – Rationelle Energienutzung mit Partnern	607
	B. Meckel	
10.1	Einleitung	608
10.2	Wer bietet Contracting an?	610
10.3	Contracting – Modelle	611
10.3.1	Modelltyp 1: Nutzungsüberlassung	611
10.3.2	Modelltyp 2: Lieferung	613
10.3.3	Modelltyp 3: Projektgesellschaft	614
10.4	Ausblick	615
	Stichwortverzeichnis	617
	Marktführer Energieeinsparung in Gebäuden	
	1. Alphabetisches Firmenverzeichnis	643
	2. Warenverzeichnis systematisch gegliedert	649