

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
1.1	Anstieg der Primärenergieproduktivität	1
1.2	Verbesserung der Energieeffizienz als Teil der Energiewende	2
1.3	Förderfähige Konzepte; Ratgeber zur Energieeffizienz	2
1.4	Grünbuch Energieeffizienz	3
1.5	Energieeffizienz als Ziel von Industrie und Gewerbe	5
	Literatur	6
2	Ordnung hat ihren naturgesetzlichen Preis	9
2.1	Fortlaufende Entwertung der Energie	9
2.2	Von der Ordnung zur Unordnung	11
2.3	Die Spezies Mensch beschleunigt die Entropievermehrung	13
2.4	Das Rettende wächst nicht mit	14
2.5	Wege zur Begrenzung der Zunahme von Unordnung	15
	Literatur	18
3	Der Energieverbrauch in Deutschland	21
3.1	Allgemeines	21
3.2	Der Energiefluss in der Bundesrepublik Deutschland	21
3.3	Übersicht über die Struktur des industriellen und gewerblichen Endenergieverbrauchs	27
3.4	Übersicht über die Struktur des Endenergieverbrauchs nach Anwendungsbereichen	32
3.5	Verschiedene thermodynamische Wertigkeiten von Nutzenergien	37
3.6	Einsatzbereiche von Prozesswärme	39
3.7	Anwendungsbereiche für die Bereitstellung von Prozesswärme durch den Einsatz überwiegend fossiler Energieträger	41
3.8	Beispiele	45
	Literatur	46

4	Durchführung eines Energieaudits; Einführung eines Energiemanagementsystems	47
4.1	Das Energieaudit	47
4.1.1	Gesetzliche Grundlage	47
4.1.2	Pflicht zum Energieaudit für alle „Nicht-KMU“	48
4.1.3	Das Energieaudit	48
4.1.4	Energieaudit bei mehreren Standorten	51
4.1.5	Unterlassung eines Energieaudits	52
4.2	Energiemanagementsysteme	52
4.2.1	Allgemeines	52
4.2.2	Erster Schritt: Strukturen im Unternehmen aufbauen, den Istzustand analysieren und Ziele definieren	56
4.2.3	Zweiter Schritt: Umsetzung der vorgesehenen Maßnahmen und Dokumentation der Managementstrukturen	63
4.2.4	Dritter Schritt: Kontrolle durch Messung und Überwachung	66
4.2.5	Vierter Schritt: Ursachenanalyse und Korrekturmaßnahmen	70
4.3	Neue Zertifizierungsregeln für Energiemanagementsysteme: Änderungen der ISO 50001; zugeordnete Zusatzdokumente	72
4.3.1	Allgemeines	72
4.3.2	Neue Zusatzdokumente in Ergänzung von DIN ISO 50003	73
4.3.3	Verbesserung der Energieeffizienz	75
4.4	Beispiel	77
	Literatur	79
5	Lebenszykluskosten von Maschinen und Anlagen	81
5.1	Allgemeines	81
5.2	Berechnungsinstrument für die Beurteilung von Energieeffizienzmaßnahmen: Lifecycle Cost Evaluation (LCE)	82
5.3	Grundproblematik bei Kostenbetrachtungen	83
5.3.1	Kostenarten und Einflussfaktoren	83
5.3.2	Investitionskosten C_{ic}	85
5.3.3	Installationskosten C_{in}	86
5.3.4	Energiekosten C_e	87
5.3.5	Bedienungskosten C_o	88
5.3.6	Instandhaltungskosten C_m	89
5.3.7	Produktionsausfallkosten C_s	90
5.3.8	Umweltkosten C_{env}	91
5.3.9	Reinigungskosten C_{cip}	91
5.3.10	Qualitätskosten C_{qu}	93
5.3.11	Außerbetriebnahmekosten C_d	93
	Literatur	94

6	Energieeffizienter Einsatz industrieller und gewerblicher Wärmeversorgungssysteme	97
6.1	Allgemeines	97
6.2	Übersicht über Techniken der industriellen Wärmeanwendung mithilfe elektrischer Verfahren	102
6.3	Übersicht über Techniken der Wärmebereitstellung mithilfe von Verbrennungsprozessen	103
6.3.1	Dampf- und Heißwassererzeugung	103
6.3.2	Brennöfen und Schmelzöfen	104
6.4	Möglichkeiten zur energetischen Verbesserung von Wärmeversorgungssystemen	104
6.4.1	Allgemeines	104
6.4.2	Verringerung von Wärmeverlusten	105
6.4.3	Energieeffiziente Wärmeerzeugung und Wärmeleitung	106
6.4.4	Energieeffiziente und schadstoffarme Brennertechniken	107
6.4.5	Maßnahmen zur Verbrennungskontrolle	115
6.4.6	Dampfkessel	119
6.4.7	Niederdruckheißwasserkessel und Niedertemperaturkessel	122
6.4.8	Brennwertkessel	124
6.4.9	Mehrkesselanlagen	127
6.4.10	Kesselspeisepumpen und Netzumwälzpumpen	129
6.4.11	Brennöfen und Schmelzöfen	130
6.4.12	Heizstrahler	131
6.4.13	Bedarfsgerechte Anpassung der Wärmeerzeugung an den Verbrauch	132
6.4.14	Wärmerückgewinnung	133
6.4.15	Weitere energieeffiziente Wärmetechniken	134
6.5	Beispiele	137
	Literatur	142
7	Abwärmenutzung in Industrie und Gewerbe	145
7.1	Allgemeines	145
7.2	Entstehung und Nutzung von Abwärme	145
7.2.1	Entstehung von Abwärme	145
7.2.2	Zahlreiche Nutzungsmöglichkeiten von Abwärme	147
7.2.3	Untersuchung und Bewertung von Abwärmequellen	150
7.2.4	Untersuchung und Bewertung von Abwärmesenken	151
7.2.5	Arten der Abwärmenutzung und ihre Nutzungstechniken	152
7.2.6	Techniken zur Abwärmenutzung: Technische und wirtschaftliche Gesichtspunkte	154
7.3	Techniken der Abwärmenutzung: Wärmeübertrager	162
7.3.1	Wärmenutzung mithilfe von Wärmeübertragern	162

7.3.2	Lamellenwärmeübertrager	165
7.3.3	Rippenrohrwärmeübertrager	166
7.3.4	Rohrbündelwärmeübertrager	167
7.3.5	Doppelrohrwärmeübertrager	167
7.3.6	Plattenwärmeübertrager	169
7.3.7	Spiralwärmeübertrager	170
7.3.8	Regeneratoren mit umlaufender Speicher- masse (Rotationswärmeübertrager)	171
7.3.9	Regeneratoren mit feststehender Speicher- masse (Umschaltwärmeübertrager)	172
7.3.10	Wärmerohrwärmeübertrager (Heatpipes)	174
7.3.11	Übersicht über verschiedene Bauarten von Wärmeübertragern	175
7.3.12	Spezielle Wärmeübertrager zur Verbrennungsluftvorwärmung	175
7.4	Abwärmenutzung zur Stromerzeugung	181
7.4.1	Stromerzeugung durch Dampfkraftprozesse	181
7.4.2	Stromgewinnung mithilfe von ORC-Anlagen	183
7.4.3	Stromerzeugung mithilfe von Stirling-Motoren	184
7.5	Beispiele	187
	Literatur	200
8	Energieeinsparung durch die gekoppelte Erzeugung von Strom und Wärme mit Blockheizkraftwerken	203
8.1	Allgemeines	203
8.2	Gasturbinenanlagen	206
8.3	Verbrennungsmotorblockheizkraftwerke	210
8.4	Brennstoffzellenblockheizkraftwerke	222
8.5	Optimale Betriebsweise von Wärmenetzen: Wärmenetze als „Bestandteil“ von KWK-Anlagen	232
8.6	Beispiele	235
	Literatur	247
9	Energiespeicherung	251
9.1	Allgemeines	251
9.2	Wärmespeicher	253
9.2.1	Allgemeines	253
9.2.2	Flüssigkeitspufferspeicher	255
9.2.3	Wasserspeicher für Langzeitspeicherung	261
9.2.4	Kies-Wasser-Speicher für Langzeitspeicherung	262
9.2.5	Luftdurchströmte Gesteinsspeicher	263
9.2.6	Thermalöldurchströmte Gesteinsspeicher	264

9.2.7	Luftdurchströmte Hochtemperaturkeramikspeicher	264
9.2.8	Flüssigkeitsdurchströmte Feststoffspeicher	265
9.2.9	Thermalöl- oder wasserdampfdurchströmte Betonspeicher . . .	265
9.2.10	Flüssigsalzspeicher	266
9.2.11	Erdsondenwärmespeicher	267
9.2.12	Latentwärmespeicher	269
9.2.13	Sorptionsspeicher	270
9.2.14	Thermochemische Speicher mit Calciumoxid	273
9.2.15	Mobile Wärmespeicher	274
9.3	Flexibilisierungsoptionen bei industriellen Fertigungsprozessen durch Energiespeicherung in Zwischenprodukten und Produkten; Lastmanagement (Demand Side Management)	276
9.4	Beschreibung ausgewählter Systeme zur Speicherung exergetisch hochwertiger Energie	278
9.4.1	Allgemeines	278
9.4.2	Wechselstrom-(AC-) bzw. Gleichstrom-(DC-)Kopplung . . .	279
9.4.3	Einflussgrößen bei der Auslegung von Solarstromspeichern	280
9.4.4	Aufbau und Funktion von Batterien und Akkumulatoren . . .	283
9.4.5	Speichersysteme mit Wasserstoff und Brennstoffzellen . . .	287
9.4.6	Power-to-Gas-Konzept	289
9.4.7	Power-to-Heat-Konzept	290
9.5	Speichertypen im Vergleich	291
9.6	Beispiele	291
	Literatur	296
10	Energieeffiziente elektrische Antriebe in Industrie und Gewerbe	301
10.1	Allgemeines	301
10.2	Drehstrommotoren – die am häufigsten genutzte Technik	301
10.3	Asynchronmotoren	304
10.4	Synchronmotoren	308
10.5	EC-Motoren bzw. bürstenlose „Gleichstrommotoren“	309
10.6	Reluktanzmotoren	310
10.7	Frequenzumrichter	311
10.8	Verluste und Wirkungsgrad	313
10.9	Energieeffizienzklassen für den Einsatz von Elektromotoren und Frequenzumrichtern	315
10.10	Optimierung elektrisch angetriebener Systeme	321
	Literatur	323
11	Pumpen und Pumpensysteme in Industrie und Gewerbe	325
11.1	Strömungen in Rohrleitungen	325
11.1.1	Allgemeines	325

11.1.2	Strömungsformen	327
11.1.3	Reibung und Rauigkeit	328
11.1.4	Einzelwiderstände	330
11.1.5	Gesamtdruckdifferenz bzw. Gesamthöhendifferenz bei der Fluidfortleitung	330
11.1.6	Strömungsgeschwindigkeit	331
11.1.7	Anlagenkennlinie	333
11.1.8	Betriebspunkte und Regelstrategie	333
11.2	Pumpenbauarten	334
11.3	Berechnung von Pumpen	336
11.3.1	Allgemeines	336
11.3.2	Förderhöhe oder Nutzförderhöhe oder Druckerhöhung	339
11.3.3	Nutzleistung und Wirkungsgrad der Pumpe	340
11.4	Einzelne Pumpenbauarten	341
11.4.1	Hubkolbenpumpen	341
11.4.2	Membranpumpen	343
11.4.3	Schraubenspindelpumpen	343
11.4.4	Exzentrerschneckenpumpen	344
11.4.5	Zahnradpumpen	344
11.4.6	Flügelzellenpumpen	344
11.4.7	Schlauchpumpen	345
11.4.8	Strahlpumpen (Injektoren, Ejektoren, Treibmittelpumpen, Jetpumpen)	345
11.4.9	Axial- und Radialkolbenpumpen	346
11.4.10	Behälterpumpen	347
11.4.11	Kreiselpumpen	347
11.5	Regelung von Pumpen und Anlagen	357
11.5.1	Allgemeines	357
11.5.2	Drehzahländerung	357
11.5.3	Leitschaufelverstellung	358
11.5.4	Drosseln in der Saugleitung	358
11.5.5	Umführungsleitung mit Rekuperationsturbine	358
11.5.6	Aussetzregelung	359
11.6	Komponenten und Energiebedarf der gesamten Anlage	359
11.6.1	Wirkungsgrade	359
11.6.2	Strombedarf und Stromkosten	361
11.6.3	Folgen der Energiezufuhr	362
11.6.4	Planungsvarianten	362
11.6.5	Abstimmung der Komponenten	363
11.6.6	Rohrleitungssystem	364
11.6.7	Pumpe, Antriebsmotor und Regelung	364

11.6.8	Überwachung und Instandhaltung	364
11.6.9	Betreibermodelle	364
11.6.10	Bauausführung und Inbetriebnahme	365
11.7	Optimierung bestehender Gesamtanlagen	365
11.7.1	Allgemeines	365
11.7.2	Maßnahmen zur Effizienzsteigerung bei bestehenden Anlagen	366
11.7.3	Auswahl der Pumpe	368
11.7.4	Regelung von Pumpen und Pumpensystemen	370
11.7.5	Pumpenantrieb	373
11.7.6	Motorauswahl	374
11.7.7	Zahnradgetriebe	376
11.7.8	Direktantriebe	376
11.7.9	Leistungselektronik: Sanftanlaufgeräte und Frequenzumrichter	376
11.7.10	Sicherheit, Zuverlässigkeit und Verfügbarkeit von Pumpensystemen	378
11.7.11	Fortlaufende Erfassung von Zustandsdaten von Pumpen	380
11.7.12	Aufbau und Nutzung eines Onlinediagnosesystems	381
11.7.13	Einbau und Betrieb; Vermeidung kritischer Betriebszustände	381
11.7.14	ErP-Verordnung	383
11.8	Beispiel	383
	Literatur	385
12	Energieeffiziente Drucklufttechnik	387
12.1	Allgemeines	387
12.1.1	Druckluft: Kostenintensiver Energieträger	387
12.1.2	Angaben von Stoffmengen	388
12.1.3	Druckluftanwendungen	388
12.2	Erhöhung der Energieeffizienz von Druckluftsystemen	391
12.2.1	Druckluftherzeugung, -regelung und -speicherung	392
12.2.2	Wärmerückgewinnung	392
12.2.3	Verteilung	392
12.2.4	Planung und Verwirklichung von Maßnahmen zur Erhöhung der Energieeffizienz	393
12.3	Effiziente Druckluftnutzung: Verteilung, Aufbereitung, Erzeugung	395
12.3.1	Allgemeines	395
12.3.2	Dimensionierung von Verdichtern	396
12.3.3	Druckniveau als Auslegungsfaktor	397
12.3.4	Sinnvolle Einzellösungen zum Gesamtsystem zusammenfügen	397

12.4	Druckluftverteilung	398
12.5	Druckluftspeicher	400
12.6	Druckluftaufbereitung	400
12.6.1	Aufgaben der Druckluftaufbereitung	400
12.6.2	Flüssigkeitsabscheidung	401
12.6.3	Entwässerung des Druckluftsystems	402
12.6.4	Kondensataufbereitung bzw. -entsorgung	402
12.6.5	Drucklufttrocknung	403
12.7	Erzeugung der Druckluft	405
12.7.1	Thermodynamische Betrachtung	405
12.7.2	Verdichterbauarten	408
12.7.3	Dynamische Verdichter: Turboverdichter	408
12.7.4	Verdrängungsverdichter: Kolbenverdichter und Schraubenverdichter	410
12.7.5	Weitere Bauarten von Verdrängungsverdichtern: Vielzellenverdichter, Spiralverdichter, Drehzahnverdichter, Drehkolbengebläse	412
12.8	Regelungs- und Steuerungssysteme	412
12.8.1	Interne Regelungen	414
12.8.2	Übergeordnete Steuerungen	416
12.9	Vorausschauende Wartung; Contracting	418
12.10	Wärmeanfall und Wärmerückgewinnung	418
12.10.1	Allgemeines	418
12.10.2	Wärmerückgewinnung mit Luft als Wärmeträger	420
12.10.3	Wärmerückgewinnung mit Wasser als Wärmeträger	421
12.11	Druckluft-Wärme-Kraftwerk (DWKW)	422
12.12	Beispiele	423
	Literatur	431
13	Lufttechnische Anlagen in Industrie und Gewerbe	433
13.1	Allgemeines	433
13.2	Eigenschaften der Luft	433
13.2.1	Luft als Gemisch idealer Gase	433
13.2.2	Behagliches Raumklima und erträgliches Raumklima	437
13.2.3	Partikel	440
13.2.4	Laminare und turbulente Luftströmungen	441
13.2.5	Druck und Strömungsenergie	442
13.3	Lufttechnische Anlagen für unterschiedliche Zwecke	443
13.3.1	Übersicht	443
13.3.2	Gewünschte bzw. geforderte Luftzustände in Innenräumen	446
13.3.3	Reinraumtechnik	447
13.3.4	Abtransport von Schadstoffen und Produktstäuben	448

13.3.5	Transport und Fluidisierung von Feststoffen	449
13.3.6	Luft als Reaktionspartner und Hilfsstoff	450
13.4	Auslegung lufttechnischer Anlagen	452
13.4.1	Komponenten von lufttechnischen Anlagen	452
13.4.2	Arten und Bestimmung von Luftvolumenströmen	455
13.4.3	Festlegung des Luftvolumenstroms	456
13.4.4	Lüftung und Klimatisierung von Nichtwohngebäuden	456
13.4.5	Arbeitsplatzgrenzwerte	458
13.4.6	Frischluftraten; flächenbezogene Zuluftströme; Raumlufttemperaturen; Raumluftgeschwindigkeiten; Raumluftfeuchten	460
13.4.7	Lufttechnische Anlagen: So viel Aufbereitung wie nötig, so wenig Aufbereitung wie möglich	462
13.4.8	Wärmerückgewinnung	464
13.4.9	Zentrale und dezentrale Lösungen	464
13.4.10	Transport und Behandlung der Luft	465
13.4.11	Luftdurchlässe und Luftkanäle	465
13.4.12	Lüftungsarten in Räumen	468
13.4.13	Temperatur und Feuchte	469
13.4.14	Befeuchtung der Luft	470
13.4.15	Entfeuchtung der Luft	471
13.4.16	Abtrennen von Schadstoffen	472
13.5	Bauarten von Verdichtern: Ventilatoren, Lüfter, Gebläse und Kompressoren	473
13.5.1	Energie- und Kosteneinsparung durch die Auswechslung von Ventilatoren	473
13.5.2	Technische Merkmale von Ventilatoren	475
13.5.3	Axialventilatoren	475
13.5.4	Radialventilatoren	476
13.5.5	Querstromgebläse	477
13.5.6	Luftvolumenstrom als Auslegungskriterium	478
13.5.7	Kennlinien	478
13.5.8	Drehzahl und Umfangsgeschwindigkeit	479
13.5.9	Wirkungsgrad	480
13.5.10	Kraftübertragung und Antriebsmotoren	481
13.5.11	Regelung von lufttechnischen Anlagen	482
13.5.12	Regelungsmöglichkeiten	485
13.6	Anforderungen an Verfügbarkeit sowie Brand-, Rauch- und Explosionsschutz	488
13.6.1	Verfügbarkeit	488
13.6.2	Brandschutz; Rauchschutz; Explosionsschutz	489

13.7	Analyse der Lebenszykluskosten	493
13.8	Bauarten von Wärmerückgewinnern und Kälterückgewinnern	493
13.8.1	Allgemeines	493
13.8.2	Platten- und Rohrwärmeübertrager	498
13.8.3	Gegenstrom-Schicht-Wärmerückgewinner	498
13.8.4	Rotationswärmeübertrager	500
13.8.5	Umschaltwärmerückgewinner	500
13.9	Zertifizierung raumluftechnischer Anlagen	501
	Literatur	504
14	Energieeffiziente Kältetechnik und Wärmepumpen in Industrie und Gewerbe	507
14.1	Allgemeines	507
14.2	Der Kompressionskaldampfprozess	510
14.3	Der Absorptionskälteprozess	512
14.4	Weitere Effizienzkenngößen für Kompressionskältemaschinen und Kompressionswärmepumpen	515
14.4.1	Kompressionskältemaschinen	515
14.4.2	Kompressionswärmepumpen	518
14.5	Kältemittel	520
14.6	Möglichkeiten der Beeinflussung des Wärmedurchgangs zur Erhöhung der Energieeffizienz	525
14.7	Bauarten von Kälteanlagen	526
14.7.1	Dezentrale und zentrale Kälteanlagen; direkte und indirekte Kühlung	527
14.7.2	Weitere Begriffe zur Unterscheidung von Kälteanlagen	528
14.8	Kältetechnische Anwendungen	528
14.8.1	Abkühlen und Gefrieren	529
14.8.2	Kühlhalten bei der Lagerung von Kühlgut	530
14.8.3	Lüftungs- bzw. Klimakälte	531
14.8.4	Kühlung in der Chemie- und Verfahrenstechnik	532
14.8.5	Kühlverfahren in der Bauindustrie, im Bergbau und in der Rohrleitungstechnik	533
14.8.6	Medizinische Verfahren	534
14.8.7	Sportstätten	534
14.8.8	Tiefemperaturtechnik	534
14.9	Komponenten von Kaltdampfkompansionskälteanlagen	535
14.9.1	Verdichter und Antriebe	535
14.9.2	Verflüssiger (Kondensator)	537
14.9.3	Kältemittelsammler	538
14.9.4	Expansionsventil (Drosselorgan)	538

14.9.5	Verdampfer	538
14.10	Regelung von Kälteanlagen	539
14.10.1	Kühlstellentemperaturregelung	540
14.10.2	Verdampferfüllungsregelung	541
14.10.3	Verdichterleistungsregelung	542
14.11	Kältetransport zum Kälteverbraucher	544
14.11.1	Freie Kühlung	544
14.11.2	Direkte Kühlung einer Kühlstelle mit einer Kälteanlage	545
14.11.3	Indirekte Kühlung von mehreren Kühlstellen mit einer Kälteanlage	545
14.11.4	Direkte Kühlung von mehreren Kühlstellen mit einer Kälteanlage	546
14.12	Optimierte Abwärmeabfuhr	548
14.13	Kältespeicher	551
14.13.1	Allgemeines	551
14.13.2	Bauarten von Kältespeichern	551
14.14	Sicherheitstechnische Anforderungen an Kälteanlagen	553
14.15	Hinweise zur Effizienzerhöhung von Kälteanlagen und Wärmepumpen	554
14.16	Anlagen für die sorptionsgestützte Klimatisierung	560
14.17	Anlagen zur kombinierten Wärmeversorgung und Kühlung	561
14.18	Wärmepumpen für den industriellen und gewerblichen Einsatz	564
14.18.1	Allgemeines	564
14.18.2	Kriterien für die Nutzung von Wärmepumpen	566
14.18.3	Anwendungsbeispiele für Hochtemperaturwärmepumpen	568
14.19	Beispiele für den Einsatz von Kältemaschinen und Wärmepumpen	570
	Literatur	576
15	Lichttechnik	579
15.1	Allgemeines	579
15.2	Licht: Für Information, Lebensqualität und Gesundheit	579
15.3	Begriffe und Größen der Lichttechnik	581
15.4	Fortschritte in der Lichttechnik	588
15.4.1	Glüh- und Halogenlampen	588
15.4.2	Gasentladungslampen	590
15.4.3	Lichtemittierende Dioden (LEDs)	591
15.4.4	Organische lichtemittierende Dioden (OLED)	593
15.5	Leuchtenarten	595
15.6	Betriebsgeräte für Lampen und Leuchten	596
15.7	Lichtmanagement	597
15.8	Nutzung des Tageslichts	601
	Literatur	603

16	Energieeffizienz in Rechenzentren	605
16.1	Entwicklungstendenzen bei Rechenzentren	605
16.2	Energieeffizienz: Wesentliche Zielgröße in Rechenzentren	607
16.3	Fünf Schritte zur Verbesserung der Energieeffizienz im Rechenzentrum	608
16.4	Energieeffizienz und Ausfallsicherheit	609
16.5	Kenngrößen zur Ermittlung der Energieeffizienz eines Rechenzentrums	610
16.6	Energieeffiziente IT-Hardware; energieeffiziente Datenhaltung	612
16.7	Zusammenlegung von kleineren Rechenzentren zu einem größeren Rechenzentrum	613
16.8	Virtualisierung	613
16.9	Weitere Möglichkeiten der Effizienzerhöhung	617
16.10	Lüftung, Kühlung und Stromversorgung: Optimierung unter Effizienzgesichtspunkten	619
16.11	Möglichkeiten zur Verbesserung der Energieeffizienz: Einschätzung von Betreibern von Rechenzentren	624
16.12	Weiterführende technische Leitfäden und Analysen	626
16.13	Beispiele	626
	Literatur	634
17	Grüne Informationstechnik in Unternehmen	637
17.1	Allgemeines	637
17.2	Gütezeichen zur Kennzeichnung der Energieeffizienz	638
17.3	Das Gütezeichen Energy Star zur Kennzeichnung energieeffizienter Bürogeräte	639
17.3.1	Allgemeines	639
17.3.2	Computer	641
17.3.3	Monitore und Displays	641
17.3.4	Bildgebende Geräte	642
17.3.5	Unterbrechungsfreie Stromversorgung (USV)	642
17.3.6	Server	642
17.3.7	Speicher in Rechenzentren	643
17.3.8	Kleine Netzwerkgeräte (Small Network Equipment)	643
17.4	Energieeffiziente Produkte im Bereich Unterhaltungselektronik	643
17.4.1	Allgemeines	643
17.4.2	Verknüpfung von Fernsehgeräten und Personal Computern	644
17.4.3	Stromsparende Fernsehgeräte	644
17.4.4	Set-Top-Boxen	645
17.4.5	Streamingboxen	645
17.4.6	Festplattenrekorder	646
17.4.7	Audiosysteme	647

17.4.8	Surroundsysteme	647
17.4.9	Dockingstationen	648
17.4.10	Computer und Notebooks	648
17.4.11	Router	648
17.4.12	Monitore	649
17.4.13	Multifunktionsgeräte	649
17.4.14	Drucker	650
	Literatur	650
18	Energieeffiziente Gebäudetechnik – Gebäudeautomation – Monitoringkonzepte beim Betrieb von Großgebäuden	653
18.1	Errichtung und Betrieb von industriellen und gewerblichen Großgebäuden	653
18.2	Modulares, energieeffizientes und nachhaltiges Produktionsgebäude	657
18.3	Energieeffizientes Büro- und Hotelgebäude	660
18.4	Laborgebäude mit klarer Architektur und energieeffizienter Technik	664
18.5	Gebäudeautomation	668
18.5.1	Begriff der Gebäudeautomation	668
18.5.2	Abgrenzung zur Gebäudesystemtechnik	668
18.5.3	Gebäudeautomation in drei Ebenen	669
18.5.4	Gebäudeautomation als Technik für das administrative Facility-Management	670
18.5.5	Systembestandteile der Gebäudeautomation	671
18.5.6	Technische Grundlagen	671
18.5.7	Basistechniken für die Gebäudeautomation	672
18.5.8	Möglichkeiten und Nachteile der Gebäudeautomation	675
18.5.9	Gebäudeautomation als Baustein einer künftigen Sektorkopplung	676
18.6	Monitoring von Großgebäuden	679
	Literatur	685
19	Energie-Contracting	687
19.1	Contracting: Übertragung von technischen und energiebezogenen Dienstleistungen auf einen Anbieter	687
19.2	Verschiedene Formen des Contracting	689
19.3	Einsatzbereiche der verschiedenen Formen des Contracting	690
19.3.1	Typ Energieliefer-Contracting	690
19.3.2	Typ Energiespar-Contracting	690
19.3.3	Typ Betriebsführungs-Contracting (technisches Anlagenmanagement)	692
19.3.4	Typ Finanzierungs-Contracting	693

19.3.5	Gemeinsamkeiten der Contracting-Typen	693
19.3.6	Aufgaben des Contractors	694
19.4	Rechtliche Rahmenbedingungen	696
19.4.1	Vertragliche Ausgestaltungen	696
19.4.2	Hemmnisse für das Contracting	696
19.4.3	Rechtliche Gesichtspunkte bei Contracting-Verträgen . . .	697
19.4.4	Finanzhilfe und Steuerrückerstattung bei Contracting-Projekten	699
19.5	Beispiele	699
	Literatur	706
20	Virtuelle Kraftwerke	709
20.1	Allgemeines	709
20.1.1	Begriff des virtuellen Kraftwerks	709
20.1.2	Allgemeine Anforderungen an das virtuelle Kraftwerk . . .	713
20.1.3	Regelleistung	713
20.1.4	Versorgungssicherheit	714
20.1.5	Virtuelle Kraftwerke im Verbund mit Speichersystemen . . .	714
20.1.6	Für die Zusammenfassung in virtuelle Kraftwerke geeignete Stromerzeugungsanlagen	715
20.1.7	Intelligente Messgeräte als Voraussetzung für virtuelle Kraftwerke	716
20.1.8	Möglichkeiten für Netzbetreiber, Großkraftwerksbetreiber, Stromhändler und Stromverbraucher	717
20.2	Energiemarkt	719
20.2.1	Regelenergie	719
20.2.2	Verkauf von Dienstleistungen virtueller Kraftwerke	720
20.3	Stromvermarktungsmöglichkeiten nach Anlagenart	723
20.3.1	Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen (KWK-Anlagen); Notstromaggregate	724
20.3.2	Stromerzeugende Biogasanlagen	724
20.3.3	Holzheizkraftwerke für feste Biomasse, Müllheizkraftwerke, Gaskraftwerke, Biomethan-BHKW, Deponiegasanlagen, Grubengasanlagen und Klärgasanlagen	725
20.3.4	Stromerzeugende Solaranlagen	725
20.3.5	Windkraftanlagen	726
20.4	Beispiele	727
	Literatur	728
	Stichwortverzeichnis	731