
Inhalt

1	Prinzipielles zur Energie, zu ihren Formen, ihrer Umformung und Nutzung	
	ECKHARD REBHAN	1
1.1	Geschichtliches	1
1.2	Energiebegriff und Energieerhaltung	5
1.2.1	Energie in der Mechanik und der mechanische Energieerhaltungssatz . .	5
1.2.2	Energieerhaltung in der Thermodynamik	6
1.2.3	Turbulente Energie	7
1.2.4	Feldenergie und Energieerhaltungssatz der Elektrodynamik	8
1.2.5	Energieerhaltung in der Speziellen Relativitätstheorie	9
1.2.6	Energieerhaltung in der Allgemeinen Relativitätstheorie und Kosmologie	10
1.2.7	Energieerhaltung in der Quantentheorie	12
1.2.8	Bedeutung der Energie in den Naturwissenschaften	14
1.3	Erscheinungsformen der Energie	15
1.3.1	Mechanische Energie	15
1.3.2	Elektromagnetische Energie	16
1.3.3	Bindungsenergie	17
1.3.4	Thermische Energie	18
1.3.5	Ruhmassenenergie	19
1.3.6	Vakuumenergie	19
1.3.7	Feldenergie	21
1.3.8	Energieform und Anwendungsbereich	22
1.4	Energieeinheiten und typische Energiemengen	22
1.4.1	Einheiten	22
1.4.2	Typische Energiemengen	23
1.5	Leistung	25
1.6	Energiequalität: Entropie, Exergie und Anergie	26
1.6.1	Konsequenzen des ersten Hauptsatzes der Thermodynamik	26
1.6.2	Zweiter Hauptsatz der Thermodynamik	27
1.6.3	Exergie und Anergie	29
1.7	Energiewandlung und Wirkungsgrade	30
1.8	Energetische Wirtschaftlichkeit und Erntefaktor	33
1.9	Energiebedarf, Energieverbrauch und Energieflusskette	35
1.10	Entwicklung des Weltenergiebedarfs – Vergangenheit und Zukunft	41
1.10.1	Historische Entwicklung der Bevölkerung und des Energieverbrauchs . .	41
1.10.2	Analyse der Bevölkerungsentwicklung	43
1.10.3	Analyse des Wirtschaftswachstums und des Pro-Kopf-Energieverbrauchs	44
1.10.4	Zukünftige Entwicklung des Weltenergieverbrauchs	46

1.11	Welt-Energievorräte und ihre Reichweiten	47
1.12	Räumliche und zeitliche Probleme des Bedarfs und der Verfügbarkeit von Energie	48
1.13	Energieeinsparung durch effiziente Energienutzung, wirtschaftliche Energieverwendung und durch Verzicht	50
1.13.1	Effizientere Energienutzung	51
1.13.2	Rationelle Energieverwendung	51
1.13.3	Substitution	52
1.13.4	Energieeinsparung durch Verzicht	52
1.13.5	Zukünftige Energiesparpotenziale	53
1.14	Umweltaspekte und Risiken des Energieverbrauchs	54
1.14.1	Umweltschäden	54
1.14.2	Risiken und Schäden für den Menschen	57
1.15	Energie und Gesellschaft	59
1.15.1	Energieversorgung	59
1.15.2	Energiewirtschaft und Energiepreis	60
1.15.3	Energieforschung und Energietechnik	61
1.15.4	Energierrechte und Energiegesetze	61
1.15.5	Energiepolitik	61
1.16	Ausblick	62
	Literatur	65
2	Energievorräte, Energiegewinnung und Energiebedarf	
	MICHAEL KOSINOWSKI	67
2.1	Erneuerbare und nichterneuerbare Energien	67
2.2	Erdöl	69
2.2.1	Erdölexploration und Erdölförderung	70
2.2.2	Erdölvorräte und Erdölressourcen	72
2.2.3	Erdöltransport, Erdölverarbeitung und Erdölvermarktung	74
2.2.4	Reichweite der konventionellen Vorräte	76
2.3	Erdgas	77
2.3.1	Erdgasexploration und Erdgasförderung	79
2.3.2	Erdgasvorräte und Erdgasressourcen	79
2.3.3	Erdgasaufbereitung und Erdgastransport	83
2.3.4	Reichweite der Vorräte	84
2.4	Kohle	85
2.4.1	Die Kohleprovinzen der Erde	86
2.4.2	Kohlevorräte und Kohleverfügbarkeit	88
2.4.3	Kohleförderung	91
2.4.4	Kohlehandel	92
2.4.5	Reichweite der Vorräte	94
2.5	Kernbrennstoff Uran	94
2.5.1	Uranprovinzen der Erde	94
2.5.2	Vorräte und Verfügbarkeit	96
2.5.3	Förderung, Produktion und Verbrauch	97
2.5.4	Handel, Kosten und Preise	98
2.5.5	Reichweite der Vorräte an Kernbrennstoffen	98
2.6	Geothermische Energie	99
2.6.1	Stand der Nutzung der geothermischen Energie	100

	Inhalt	XV
2.6.2	Geothermische Ressourcen	101
2.6.3	Biomasse-Potenziale	102
2.7	Relative Anteile der verschiedenen Primärenergieträger an der Energieversorgung	104
	Literatur	106
3	Energiewandlung – Methoden der Strom- und Wärmeerzeugung	
3.1	Verbrennung	
	KLAUS GÖRNER	107
3.1.1	Eigenschaften fossiler Energieträger	107
3.1.1.1	Einsatz von Primärenergieträgern – Energiemix	107
3.1.1.2	Herkunft und Einteilung fossiler Energieträger	112
3.1.1.3	Gasförmige Brennstoffe	115
3.1.1.4	Flüssige Brennstoffe	115
3.1.1.5	Feste Brennstoffe	117
3.1.2	Grundlagen der Verbrennung	118
3.1.2.1	Energiewandlung	118
3.1.2.2	Phänomenologische Beschreibung der Verbrennung	119
3.1.2.3	Physikalisch-chemische Grundlagen der Verbrennung	121
3.1.3	Integrale und differenzielle Beschreibung von Verbrennungsvorgängen	122
3.1.4	Technische Verbrennungseinrichtungen	126
3.1.5	Schadstoffentstehung und ihre Beeinflussung (Primärmaßnahmen)	128
3.1.6	Gasreinigung (Sekundärmaßnahmen)	129
	Literatur	130
3.2	Elektrizitätserzeugung aus fossilen Brennstoffen in Kraftwerken	
	RUDOLF PRUSCHEK	131
3.2.1	Einführung	131
3.2.1.1	Stand der Elektrizitätserzeugung in Kraftwerken	131
3.2.1.2	Energieeffizienz, Wirkungsgrade, Stand der Technik	133
3.2.2	Grundlagen für die Bewertung der Energieumwandlungsverfahren	136
3.2.2.1	Thermodynamische Systeme, Anwendung auf Kraftwerkskomponenten und Kraftwerke	136
3.2.2.2	Bezugspunkte für die innere Energie U und Enthalpie H	138
3.2.2.3	Formen der Energieübertragung	138
3.2.2.4	Der Einfluss der Umgebung auf die Umwandelbarkeit der Energie	143
3.2.3	Exergie	144
3.2.3.1	Exergie der inneren Energie verschiedener Energieträger und von Prozessenergien	144
3.2.3.2	Exergieverluste (Exergievernichtung)	150
3.2.4	Kraftwerke	150
3.2.4.1	Vergleichsprozesse	150
3.2.4.2	Dampfkraftwerke	154
3.2.4.3	Gasturbinen	178
3.2.4.4	Gas-Dampf-Kombi-Kraftwerke	195
3.2.4.5	Andere Kombi-Prozesse	203
3.2.5	Kraft-Wärme-Kopplung (KWK)	204
3.2.5.1	Allgemeine Grundlagen	204
3.2.5.2	Kraft-Wärme-Kopplungstechnologien	204

3.2.5.3	Energieeinsparung durch KWK	206
3.2.5.4	Kohlendioxidemissionsminderung durch KWK	208
3.2.5.5	Aufteilung der CO ₂ -Emission auf die Koppelprodukte Strom und Wärme	211
3.2.6	Elektrizitätserzeugungskosten	211
3.2.6.1	Merkmale der Elektrizitätswirtschaft	211
3.2.6.2	Grundzüge der Berechnung der Elektrizitätserzeugungskosten	217
3.2.6.3	Kostenoptimaler Kraftwerkseinsatz im Kraftwerksverbund	223
3.2.6.4	Elektrizitäts- und Wärmeerzeugungskosten KWK	226
3.2.6.5	Aufteilung der Kosten auf die erzeugte elektrische Arbeit und Nutzwärme bei KWK	228
3.2.7	Kraftwerk und Umwelt	230
3.2.7.1	Wirkungsgrad, Energie-, Stoff- und Abwärmeströme	230
3.2.7.2	Maßnahmen zur Reduzierung der Schadgasemissionen, Aschen, Abwärmen, Abwässer und Reststoffe	232
3.2.7.3	Kohlendioxid-Emissionen	235
3.2.7.4	Schlussbemerkung, Ausblick	241
	Literatur	242
3.3	Moderne Kernspaltungskraftwerke	
	DIETRICH SCHWARZ †	245
3.3.1	Energiefreisetzung und Wärmeerzeugung durch Kernspaltung	245
3.3.2	Sicherheitstechnische Grundlagen	248
3.3.2.1	Reaktivitätsstörfall (Durchgehen)	249
3.3.2.2	Unzureichende Abfuhr der Nachzerfallswärme	255
3.3.2.3	Sicherung der Nachwärmeabfuhr (NWA)	256
3.3.2.4	Besonderheiten hinsichtlich der Nachwärmeabfuhr (NWA)	258
3.3.2.5	Sicherheitstechnische Prinzipien	259
3.3.3	Strahlenschutz	263
3.3.4	Kernkraftwerke	265
3.3.4.1	Übersicht	265
3.3.4.2	Gemeinsamkeiten und Besonderheiten	266
3.3.4.3	Wirtschaftlichkeit, zukunftsgerichtetes Interesse	268
3.3.4.4	Internationale Übersicht	268
3.3.5	Druckwasserreaktor (DWR)	268
3.3.5.1	Sicherheits-, Hilfs- und Nebensysteme	273
3.3.5.2	Die Weiterentwicklung des DWR	274
3.3.6	Siedewasserreaktor (SWR)	275
3.3.7	Schwerwassergekühlte Reaktoren	279
3.3.8	Grafitmoderierter Siedewasserreaktor	281
3.3.9	Grafitmoderierte, Co ₂ -gekühlte Reaktoren	281
3.3.10	Hochtemperaturreaktor (HTR)	282
3.3.11	Brüter: Schneller Natriumgekühlter Reaktor (SNR)	285
3.3.12	Brennstoffver- und entsorgung, Profilierung	286
	Literatur	289
3.4	Solarthermie	
	WOLFGANG SCHÖLKOPF	290
3.4.1	Einleitung	290
3.4.2	Techniken solarthermischer Konversion	292

3.4.3	Anwendungsbereiche solarer Wärme	293
3.4.3.1	Solare Systeme für Mittel- und Hochtemperaturwärme	294
3.4.3.2	Solare Systeme für Niedertemperaturwärme	302
3.4.3.3	Solare Energie für die Dritte Welt	312
	Literatur	315
3.5	Photovoltaik	
	JÜRGEN H. WERNER, FRITZ PFISTERER	316
3.5.1	Einführung	316
3.5.2	Das Prinzip der Stromerzeugung	318
3.5.3	Der Absorptionsprozess	321
3.5.4	Obergrenze der Wirkungsgrade	323
3.5.4.1	Prinzipielle Verlustprozesse	323
3.5.4.2	Technische Verlustprozesse	326
3.5.5	Stand der Technik bei Einzelzellen	328
3.5.5.1	GaAs	328
3.5.5.2	Kristallines Silicium (c-Si)	329
3.5.5.3	Dünnschichtzellen	330
3.5.5.4	Injektionssolarzellen	334
3.5.6	Modultechnik	335
3.5.6.1	Aufbau von Standardmodulen	335
3.5.6.2	Sondermodule, Konzentratormodul	335
3.5.6.3	Spezifizierung von PV-Modulen	338
3.5.6.4	Lebensdauer von PV-Modulen	338
3.5.7	Verschaltung von Einzelzellen zu Modulen, Verschaltung von Generatoren	339
3.5.8	Aufständigung, Nachführung, Konzentration	340
3.5.8.1	Starre Aufständigung von Flat-plate-Modulen	340
3.5.8.2	Nachführung von Flat-plate-Modulen	340
3.5.8.3	Systeme mit hoher Konzentration	341
3.5.9	Kategorien photovoltaischer Systeme und deren prinzipieller Aufbau . . .	341
3.5.10	Leistungselektronische Komponenten des Energieaufbereitungssystems	342
3.5.10.1	Der MPP-Tracker und alternative Regelglieder	342
3.5.10.2	Der Wechselrichter oder Inverter	343
3.5.11	Auslegung und Energieerträge von PV-Anlagen	346
3.5.11.1	Netzgekoppelte Anlagen	346
3.5.11.2	Inselsysteme	347
3.5.12	Wirtschaftliche Aspekte	349
3.5.12.1	Preisentwicklung bei PV-Modulen	349
3.5.12.2	Kosten photovoltaischer Systeme	350
3.5.12.3	Stromgestehungskosten bei netzgekoppelten PV-Anlagen	351
3.5.13	Potenziale, Markt und Zukunftsperspektiven	352
3.5.13.1	Stromerzeugungspotenziale und Möglichkeiten der Netzeinspeisung	352
3.5.13.2	Die Marktsituation für die Photovoltaik und Zukunftsperspektiven	354
3.5.14	Zusammenfassung	356
	Literatur	358

3.6	Windenergie, Wasserkraft, Gezeitenenergie und Erdwärme	
	MANFRED KLEEMANN	365
3.6.1	Nutzung der Windenergie	365
3.6.1.1	Darbietung der Windenergie	365
3.6.1.2	Aufbau von Windenergieanlagen zur Stromerzeugung	370
3.6.1.3	Umwandlung der Windenergie am Rotor	371
3.6.1.4	Belastungen an einer Windkraftanlage	374
3.6.1.5	Aspekte der Gestaltung des Rotors	375
3.6.1.6	Elektrisches System	377
3.6.1.7	Regelung	378
3.6.1.8	Wirtschaftliche Bewertung	380
3.6.1.9	Umweltauswirkungen	382
3.6.1.10	Mögliche zukünftige Beiträge der Windenergie	384
3.6.2	Wasserkraftnutzung	385
3.6.2.1	Potenziale und energiewirtschaftliche Nutzung	385
3.6.2.2	Nutzungssysteme	387
3.6.2.3	Wirtschaftliche Aspekte	390
3.6.2.4	Ökologische Aspekte	391
3.6.3	Nutzung der Gezeitenenergie	392
3.6.3.1	Physikalische Grundlagen des Gezeitenphänomens	392
3.6.3.2	Potenziale der Gezeiten	392
3.6.3.3	Gezeitenkraftwerke	393
3.6.3.4	Kostenaspekte	394
3.6.3.5	Ökologische Auswirkungen	394
3.6.4	Nutzung der Erdwärme	394
3.6.4.1	Erscheinungsformen und Potenzial geothermischer Energie	394
3.6.4.2	Techniken zur Nutzbarmachung	395
3.6.4.3	Kosten der Erdwärmenutzung	398
3.6.4.4	Ökologische Auswirkungen	398
	Literatur	399
3.7	Energie aus Biomasse	
	ERICH ORTMAIER, WERNER ORTINGER	401
3.7.1	Land- und Forstwirtschaft als Energielieferant	402
3.7.1.1	Biogene Brennstoffe: Formen und Nutzungsmöglichkeiten	402
3.7.1.2	Biomassespezifische Eigenschaften	404
3.7.2	Feste Biomassebrennstoffe	404
3.7.2.1	Biogene Festbrennstoffe: Verbrennung	405
3.7.2.2	Biogene Festbrennstoffe: Vergasung	409
3.7.3	Flüssige Biomassebrennstoffe	411
3.7.3.1	Pflanzenöle und Pflanzenölester	412
3.7.3.2	Ethanol und Methanol	413
3.7.4	Gasförmige Biomassebrennstoffe	416
	Literatur	418
3.8	Wärmepumpen	
	HANS-JÜRGEN LAUE	418
3.8.1	Einleitung	418
3.8.2	Historische Entwicklung	419
3.8.3	Grundlagen	420

3.8.4	Einsatzmöglichkeiten der Wärmepumpen	426
3.8.5	Energieeinsparung und Umweltaspekte	434
3.8.6	Allgemeine Aussagen zur Wirtschaftlichkeit und Fördermaßnahmen . . .	439
3.8.7	Stand der Entwicklung und Möglichkeiten des Wärmepumpeneinsatzes .	442
	Literatur	445
3.9	Brennstoffzellen	
	DETLEF STOLTEN, PETER BIEDERMANN, LAMBERTUS G. J. DE HAART, BERND HÖHLEIN, RALF PETERS	446
3.9.1	Übersicht	446
3.9.1.1	Definition und Nomenklatur	447
3.9.1.2	Geschichtliche Entwicklung	449
3.9.1.3	Einsatzgebiete von Brennstoffzellen	451
3.9.1.4	Funktionsprinzip und Aufbau	452
3.9.1.5	Zellspannung	454
3.9.1.6	Brennstoffzellentypen	458
3.9.1.7	Brennstoffzellensysteme	464
3.9.1.8	Wirkungsgrade	464
3.9.1.9	Energieträgerbereitstellung	468
3.9.2	Periphere Komponenten	470
3.9.2.1	Übersicht	470
3.9.2.2	Aufbereitung der Einsatzstoffe	472
3.9.2.3	Reformierung	473
3.9.2.4	Gasreinigung	476
3.9.2.5	Technisches Beispiel zur Brenngaserzeugung	479
3.9.2.6	Nachverbrennung in Brennstoffzellensystemen	481
3.9.2.7	Katalytische Verbrennung	483
3.9.2.8	Elektrische Komponenten	484
3.9.2.9	Gebälse, Kompressoren	485
3.9.3	Systemtechnik	485
3.9.3.1	Brennstoffzellensysteme für Kraftfahrzeuge	485
3.9.3.2	Brennstoffzellensysteme zur stationären dezentralen Energieversorgung	489
3.9.3.3	Portable Brennstoffzellen	497
3.9.3.4	Ganzheitliche Systembewertung	499
3.9.4	Ausblick	504
	Literatur	505
3.10	Energie aus Kernfusion	
	ECKHARD REBHAN	510
3.10.1	Einführung	510
3.10.2	Bindungsenergie von Kernen	511
3.10.3	Kernfusion und Kernspaltung	512
3.10.4	Kernfusionsreaktionen	514
3.10.5	Reaktionsquerschnitte und Fusionsraten	516
3.10.6	Zündkriterium	517
3.10.7	Nutzung der Fusionsneutronen	520
3.10.8	Konzepte zur Realisierung der Kernfusion	521
3.10.9	Magnetischer Einschluss	523
3.10.9.1	Tokamak	524
3.10.9.2	Stellarator	526

3.10.9.3	Plasmaheizung	527
3.10.9.4	Plasmastabilitäten	530
3.10.9.5	Transportverluste	532
3.10.9.6	Plasma-Wand-Wechselwirkung	533
3.10.9.7	Fusionsleistungsdichte beim magnetischen Einschluss	535
3.10.10.	Trägheitseinschluss	536
3.10.11	Technologie eines Fusionsreaktors	539
3.10.11.1	Reaktoraufbau	539
3.10.11.2	Brennstoff- und Wärmekreislauf	542
3.10.11.3	Auswechselung von Komponenten	545
3.10.12	Energetische Wirtschaftlichkeit und Reaktorkriterium	546
3.10.13	Reaktorsicherheit und Umweltaspekte	548
3.10.13.1	Radioaktives Inventar	548
3.10.13.2	Anfall und Behandlung radioaktiver Materialien	551
3.10.13.3	Non-Proflerationsaspekte	552
3.10.14	Kostenfragen	552
3.10.14.1	Vorrat und Kosten der Fusionsbrennstoffe	552
3.10.14.2	Voraussichtliche Reaktor- und Stromkosten	553
3.10.15	Bisherige Erfolge und künftige Ziele	554
	Literatur	558
3.11	Vergleich fortgeschrittener Nuklearsysteme zur Energienutzung – Aspekte prospektiver Technikgestaltung	
	WOLFGANG LIEBERT	559
3.11.1	Ambivalenz der Nukleartechnologie	559
3.11.2	Zielsetzungen für die Entwicklung fortgeschrittener Nuklearsysteme . . .	561
3.11.2.1	Relevante Systeme in Entwicklung	561
3.11.2.2	Ergebnisse einer Betrachtung fortgeschrittener Nuklearsysteme	565
3.11.3	Betrachtung langfristig erfolversprechender Systeme im Vergleich (zum DWR)	568
3.11.3.1	Beschleunigungsgetriebene Reaktoren (ADS)	570
3.11.3.2	Fusionsreaktoren	573
3.11.4	Kriteriengeleitete Betrachtung, Bewertung und Gestaltung nuklearer Technologien	579
3.11.4.1	Prospektive Technikfolgeschätzung	579
3.11.4.2	Vorschlag für einen Kriterienkatalog	582
3.11.4.3	Operationalisierung des Kriterienkatalogs	589
	Literatur	590
3.12	Entsorgung radioaktiver Abfälle und Transmutation – Stand und Zukunft	
	REINHARD ODOJ	592
3.12.1	Abfallmengen	592
3.12.2	Abfallbehandlung	595
3.12.3	Transport	601
3.12.4	Zwischenlagerung	604
3.12.5	Endlagerung	605
3.12.6	Neue alternative Abfallbehandlung	609
3.12.7	Zusammenfassung	615

4 Speichern und Transportieren von Energie

4.1 Speichern von Energie

RAINER TAMME (Abschn. 4.1.5 MICHAEL KOSINOWSKI)	617
4.1.1 Einführung	617
4.1.2 Thermische Energiespeicher	619
4.1.2.1 Speicherung sensibler Wärme	620
4.1.2.2 Latentwärmespeicher	620
4.1.2.3 Chemische Wärmespeicherung	623
4.1.3 Niedertemperaturwärmespeicher für Klimatisierung und Heizung	631
4.1.3.1 Wasserspeicher	631
4.1.3.2 Saisonale Wärmespeicher	633
4.1.3.3 Entwicklungsstand von Latentwärmespeichern	636
4.1.4 Hochtemperaturwärmespeicher für solare Stromerzeugung und Rückgewinnung industrieller Prozesswärme	639
4.1.4.1 Randbedingungen	639
4.1.4.2 Hochtemperaturspeicher für solarthermische Kraftwerke	644
4.1.4.3 Hochtemperaturspeicher für industrielle Prozesswärme	646
4.1.5 Untertagespeicherung von Primärenergieträgern	650
4.1.5.1 Untertagegasspeicherung	650
4.1.5.2 Erdgasspeichertypen	651
4.1.5.3 Untertageerdölspeicherung	653
4.1.6 Speicherung elektrischer Energie in Akkumulatoren	653
4.1.6.1 Akkumulatorsysteme mit wässrigem Elektrolyten	655
4.1.6.2 Hochtemperaturbatterien	657
4.1.6.3 Li-Systeme	658
4.1.6.4 Metall-Luft-Systeme	659
4.1.6.5 Anwendungsfelder	661
4.1.7 Speicherung magnetischer Energie	663
4.1.8 Speicherung mechanischer Energie	665
4.1.8.1 Pumpspeicher	666
4.1.8.2 Gasdruckspeicher	667
4.1.8.3 Schwungradspeicher	667
Literatur	669

4.2 Transportieren von Energie

KURT KUGELER, OLAF KUGELER, MATTHIAS DIENHART	674
4.2.1 Bedeutung des Energietransports	674
4.2.2 Transport von Rohöl und Erdölprodukten	677
4.2.3 Erdgastransport	682
4.2.4 Kohletransport	687
4.2.5 Transport des Primärenergieträgers Uran	691
4.2.6 Transport von Fernwärme und Dampf	692
4.2.7 Transport von elektrischer Energie	695
4.2.8 Verluste, Gesamtbilanzierungen	702
4.2.9 Kostenfragen	705
4.2.10 Optimierung	709
Literatur	712

5 Effiziente Energieanwendung**5.1 Energie und Verkehr**

WOLFGANG STROBL, WERNER ZITTEL	713
5.1.1 Allgemein	713
5.1.1.1 Energieverbrauch – der Anteil des Verkehrs	714
5.1.1.2 Verkehrsleistungen und Modal Split	716
5.1.1.3 Spezifischer Energieverbrauch	717
5.1.1.4 Technisch-physikalische Aspekte	719
5.1.1.5 Zeitaufwand und Energieverbrauch	721
5.1.2 Straßenverkehr	723
5.1.2.1 Einige Statistiken	723
5.1.2.2 Der Energieverbrauch heute	724
5.1.2.3 Verkehrsszenarien	726
5.1.2.4 Fahrwiderstand	727
5.1.2.5 Antriebskonzepte	733
5.1.2.6 Neue Antriebskonzepte	739
5.1.2.7 Kraftstoffpfade und Infrastruktur	744
5.1.3 Schienenverkehr	746
5.1.3.1 Einige Statistiken	746
5.1.3.2 Der Energieverbrauch heute	747
5.1.3.3 Verkehrsszenarien	748
5.1.3.4 Effizienz des Systems Schiene	749
5.1.3.5 Die fahrdynamische Grundgleichung – Fahrwiderstand	751
5.1.3.6 Antrieb	758
5.1.3.7 Transrapid	758
5.1.3.8 Energiebereitstellung	761
5.1.3.9 Emissionen	761
5.1.4 Luftverkehr	761
5.1.4.1 Einige Statistiken	761
5.1.4.2 Der Energieverbrauch heute	762
5.1.4.3 Verkehrsszenarien	763
5.1.4.4 Flugwiderstand	764
5.1.4.5 Antrieb	770
5.1.4.6 Beispiele	770
5.1.4.7 Infrastruktur und kumulierter Energieverbrauch	772
5.1.5 Schifffahrt	773
5.1.5.1 Einige Statistiken	773
5.1.5.2 Der Energieverbrauch heute	774
5.1.5.3 Verkehrsszenarien	774
5.1.5.4 Effizienz des Systems Schifffahrt	775
5.1.5.5 Fahrwiderstand	776
5.1.5.6 Antrieb	781
5.1.5.7 Emissionen und Umweltauswirkungen	783
Literatur	783

5.2 Effiziente Energienutzung in der Industrie

HARALD BRADKE, WOLFGANG EICHHAMMER, BARBARA SCHLOMANN, PETER RADGEN	786
5.2.1 Struktur und Determinanten des Energieeinsatzes in der Industrie	786
5.2.1.1 Überblick über den industriellen Energieverbrauch	786

5.2.1.2	Determinanten des industriellen Energieeinsatzes in der Vergangenheit . . .	791
5.2.2	Energieeffizienzpotenziale in der Industrie	796
5.2.2.1	Energieeffizienzpotenziale bei industriellen Prozessen und Querschnittstechnologien	798
5.2.2.2	Organisatorische und technischen Maßnahmen zur Reduzierung des Energieeinsatzes	800
5.2.2.3	Effiziente Energienutzung durch Energiesystemanalyse	805
5.2.3	Langfristperspektiven der rationellen Energienutzung	806
5.2.3.1	Projektionen des industriellen Energieverbrauchs	806
5.2.3.2	Die Rolle von Forschung und Entwicklung	809
	Literatur	812
5.3	Energie im Haushalt	
	WOLFGANG FEIST	815
5.3.1	Energiedienstleistung im Haushalt	815
5.3.2	Aufteilung des Energieverbrauchs im Haushalt – heute und morgen . . .	818
5.3.3	Effiziente Raumheizung; Prinzip des Passivhauses	819
5.3.4	Effiziente Warmwasserbereitung	823
5.3.5	Kochen und Backen	825
5.3.6	Geschirrspülen	825
5.3.7	Wäschewaschen	826
5.3.8	Trocknen von Wäsche	826
5.3.9	Kühlen und Gefrieren	828
5.3.10	Beleuchtung	831
5.3.11	Sonstiges, insbesondere Stand-by-Verluste	831
5.3.12	Zukünftiger Energiebedarf der Haushalte bei hocheffizienter Energienutzung	833
	Literatur	838
5.4	Bauphysik, Wohnen und Energieverbrauch	
	JOCHEN FRICKE, ANDREAS BECK	839
5.4.1	Einleitung	839
5.4.2	Energiebilanz im Haus	839
5.4.3	Wärmetransport in opaken Bauteilen	841
5.4.3.1	Thermische Eigenschaften von Baustoffen	841
5.4.3.2	Wärmedurchgang und -übergang bei Wänden	842
5.4.3.3	Transparente Wärmedämmung (TWD)	843
5.4.4	Energietransport durch Fenster	844
5.4.4.1	Wärmedurchgang	844
5.4.4.2	Solarer Strahlungstransport	846
5.4.4.3	Innovative Verglasungen	849
5.4.5	Lüftungswärmeverluste	854
5.4.6	Heizung	856
5.4.7	Zusammenfassung und Ausblick	858
	Literatur	859
5.5	Effiziente Energienutzung im Dienstleistungssektor	
	CONRAD U. BRUNNER	860
5.5.1	Voraussetzungen und Vorbemerkungen	860
5.5.1.1	Zahlenbasis	860

5.5.1.2	Bereiche	861
5.5.1.3	Abgrenzungen	861
5.5.2	Methoden der Energieeffizienz	861
5.5.2.1	Ziel der Energieeffizienz	861
5.5.2.2	Lebenszykluskosten	864
5.5.2.3	Kosten-/Nutzenanalyse	865
5.5.2.4	Externe Kosten	867
5.5.2.5	Grobanalyse und Feinanalyse	868
5.5.2.6	Energiebilanz	869
5.5.2.7	Normen und Standards	870
5.5.3	Energieeffiziente Bürogebäude	874
5.5.3.1	Ideale Gebäudeform: natürliches Licht und Luft	874
5.5.3.2	Energieverbrauchskategorien	875
5.5.3.3	Energetische Hauptprozesse	877
5.5.3.4	Raumtemperatur Winter/Sommer	880
5.5.3.5	Beleuchtung	882
5.5.3.6	Lüftung und Klimatisierung	883
5.5.3.7	Bürogeräte	887
5.5.3.8	Zentrale Einrichtungen	888
5.5.4	Fallstudien	889
5.5.4.1	Universitätsbauten im Kanton Zürich	889
5.5.4.2	Dienstleistungseinrichtungen in Berlin	890
5.5.4.3	Kennzahlen für den Elektrizitätsverbrauch	891
5.5.4.4	Reisezugwagen SBB	892
	Literatur	894

6 Energie, Umwelt und Gesellschaft

6.1	Ökologische Auswirkungen der Energienutzung	
	ERHARD KEPPLER	897
6.1.1	Einleitung	897
6.1.2	Folgen der Energiegewinnung durch Verbrennung von Kohlenstoff	900
6.1.2.1	Emission von Säurebildnern und ihre Wirkungen	901
6.1.2.2	Smog	902
6.1.2.3	Verkehrsbedingte Emissionen	903
6.1.2.4	Flächenverbrauch	910
6.1.2.5	Wirkungen auf Menschen	912
6.1.2.6	Wirkungen auf Bauwerke und Geräte	914
6.1.2.7	Wirkungen von Schadstoffen auf Böden und Pflanzen	915
6.1.3	Klimaveränderungen	922
6.1.3.1	Die Beeinflussung des Klimas durch Spurengase	922
6.1.3.2	Klimageschichte	928
6.1.3.3	Der Treibhauseffekt	934
6.1.3.4	Eigenschaften wichtiger Treibhausgase und von Aerosol	937
6.1.3.5	„Geoengineering“	949
6.1.3.6	Auswirkungen von Klimaveränderungen auf den Menschen	951
6.1.4	Auswirkungen der Energieerzeugung durch Kernspaltung	951
6.1.4.1	Auswirkungen der Brennstoffgewinnung	952
6.1.4.2	Betrieb und Entsorgung von Kernkraftwerken	952
6.1.4.3	Die Entsorgung radioaktiver Abfälle	953

6.1.4.4	Anmerkungen zur Endlagerung hochradioaktiven Materials	956
6.1.4.5	Die Auswirkungen der Tschernobyl-Katastrophe	959
6.1.5	Belastung durch ionisierende Strahlung als Folge von Energieerzeugungsprozessen	960
6.1.5.1	Der Mechanismus der Strahlenschädigung	960
6.1.5.2	Belastungen durch Kohle- und Kernkraftwerke	963
6.1.5.3	Katastrophen	963
6.1.6	Maßnahmen	964
6.1.6.1	Externe Kosten	964
6.1.6.2	Emissionsverminderung	965
6.1.6.3	Beispiele für Emissionsminderungsmaßnahmen	968
6.1.6.4	Internationale Vereinbarungen zur Emissionsminderung	969
6.1.6.5	Klimamodelle	972
6.1.7	Was steht uns bevor?	974
6.1.7.1	Die Ausgangslage	974
6.1.7.2	Wahrscheinliche Folgen der Erwärmung	976
6.1.7.3	Zusammenfassung möglicher Folgen globaler Temperaturerhöhungen . .	982
	Literatur	983
6.2	Externe Kosten der Stromerzeugung	
	WOLFRAM KREWITT	986
6.2.1	Das Konzept der externen Kosten	986
6.2.2	Ansätze zur Quantifizierung und Bewertung von Umweltschäden	988
6.2.2.1	Gesundheitsschäden durch Luftschadstoffe	992
6.2.2.2	Gesundheitsschäden durch ionisierende Strahlung	994
6.2.2.3	Schädigung von Feldpflanzen durch Luftschadstoffe	994
6.2.2.4	Materialschäden durch Luftschadstoffe	995
6.2.2.5	Wirkung von Luftschadstoffen auf naturnahe Ökosysteme	995
6.2.2.6	Treibhauseffekt	997
6.2.2.7	Lärm	998
6.2.3	Externe Kosten verschiedener Stromerzeugungstechnologien	998
6.2.3.1	Externe Kosten der Stromerzeugung aus fossilen Brennstoffen	999
6.2.3.2	Externe Kosten der Stromerzeugung aus Kernenergie	1001
6.2.3.3	Externe Kosten der Stromerzeugung aus Photovoltaik und Wind	1002
6.2.3.4	Gesamte externe Kosten durch die Stromerzeugung aus fossilen Energieträgern in Deutschland	1003
6.2.4	Externe Kosten – Orientierungshilfe für umweltpolitische Entscheidungen	1006
	Literatur	1007
6.3	Energiewirtschaft und Energierecht in Deutschland	
	EBERHARD JOCHEM, WILHELM MANNSBART	1008
6.3.1	Unternehmensstrukturen und Trends in der deutschen Energiewirtschaft	1010
6.3.1.1	Mineralölwirtschaft	1011
6.3.1.2	Braunkohlewirtschaft	1014
6.3.1.3	Steinkohlenwirtschaft	1015
6.3.1.4	Erdgaswirtschaft	1016
6.3.1.5	Elektrizitätswirtschaft	1018
6.3.1.6	Fernwärmewirtschaft	1021

6.3.2	Das neue Energiewirtschaftsgesetz und seine Auswirkungen auf die deutsche Strom-, Gas- und Fernwärmewirtschaft	1022
	Literatur	1025
6.4	Energie- und Klimapolitik in Deutschland EBERHARD JOCHEM	1027
6.4.1	Die herausziehenden Zielkonflikte der deutschen und europäischen Energiepolitik	1028
6.4.2	Sektorübergreifende Politikmaßnahmen	1030
6.4.3	Sektor- und technologiespezifische Maßnahmen der Energiepolitik . . .	1032
6.4.3.1	Hemmnisse rationeller Energienutzung	1034
6.4.3.2	Maßnahmen der Energieeffizienzpolitik	1036
	Literatur	1047
6.5	Modellgestützte Energiesystemanalyse zur Unterstützung umwelt- und energiepolitischer Entscheidungen MANFRED KLEEMANN	1048
6.5.1	Einleitung	1048
6.5.2	Darstellung von Energiesystemen	1049
6.5.2.1	Erläuterung des Systembegriffs	1049
6.5.2.2	Vernetzung der Energieumwandlungsketten	1050
6.5.3	Zum Begriff des Energiemodells	1052
6.5.3.1	Klassifizierung von Modellen	1052
6.5.3.2	Grundsätzliches Vorgehen bei der Modellierung	1054
6.5.3.3	Prinzipieller Aufbau eines optimierenden Energieversorgungsmodells . .	1055
6.5.3.4	Geschichtlicher Abriss der Energiemodellentwicklung	1057
6.5.3.5	Nutzen und Grenzen der Modellverwendung	1059
6.5.4	Strategien für die Luftreinhaltung in Indonesien – ein integrierter Planungsansatz	1061
6.5.4.1	Vorgehen und Modellwerkzeuge	1062
6.5.4.2	Anstieg des Energieverbrauchs und der Luftverunreinigung	1063
6.5.4.3	Gefährdung der Ökosysteme und der Gesundheit	1065
6.5.4.4	Möglichkeiten und Grenzen einer Reduktionsstrategie	1066
6.5.5	Szenarien und Maßnahmen für den Klimaschutz in Deutschland	1067
6.5.5.1	Szenarien, Rahmenbedingungen und politikrelevante Begrenzungen	1068
6.5.5.2	Entwicklungen und Maßnahmen beim Primärenergieverbrauch	1070
6.5.5.3	Handlungsfelder für die CO ₂ -Reduktion	1071
	Literatur	1073
6.6	Energieforschungspolitik HERMANN-FRIEDRICH WAGNER	1074
6.6.1	Einleitung und historischer Rückblick	1074
6.6.1.1	Die vier Atomprogramme	1074
6.6.1.2	Die vier Programme der Energieforschung und Energietechnologien . . .	1075
6.6.1.3	Energieforschung im Rahmen der IEA und der EU	1079
6.6.2	Das 4. Energieforschungsprogramm	1080
6.6.2.1	Politische Zielsetzungen	1080

6.6.2.2	Sachstand und Ausblick auf weitere Forschungs- und Entwicklungsaufgaben	1081
6.6.3	Ausblick	1094
	Literatur	1095
6.7	Wechselwirkungen der Energieversorgung mit der Kultur von Gesellschaften	
	HERMANN HENSSEN, DIETRICH SCHWARZ †	1097
6.7.1	Einführung	1097
6.7.2	Energie als Voraussetzung und Einflussfaktor für Kulturen	1098
6.7.2.1	Einfluss der Energiemenge	1098
6.7.2.2	Einfluss der Energieart	1103
6.7.2.3	Geografische Energieverteilung	1104
6.7.3	Auswirkungen der Kultur auf die Energieversorgung	1104
6.7.3.1	Überblick	1104
6.7.3.2	Einfluss staatlicher Rahmenbedingungen auf die Energieeffizienz	1105
6.7.3.3	Ingenieurleistung und strukturelle Einflüsse	1106
6.7.3.4	Der „American Way of Life“	1107
6.7.3.5	Die Einstellung zur Nutzung der Kernenergie	1108
6.7.3.6	Neuer Lebensstil: Wie weit tragfähig?	1109
6.7.3.7	Summe kleinerer Einflüsse	1110
6.7.4	Kulturelle Voraussetzungen für eine nachhaltige und ausreichende Energieversorgung	1111
6.7.4.1	Definition der nachhaltigen Energieversorgung	1111
6.7.4.2	Nachhaltige und ausreichende Energieversorgung als kulturelle Herausforderung	1112
	Literatur	1113
7	Energie im 21. Jahrhundert – Zukunftsperspektiven	
	KLAUS HEINLOTH	1115
7.1	Entwicklungsstufen der Menschheit	1115
7.2	Für wieviel Energie besteht weltweit Bedarf?	1117
7.3	Wie effizient kann Energie genutzt werden?	1118
7.4	Wie viele Menschen – im erwerbstätigen Alter – werden künftig wieviel wirtschaftliche Produktivität erarbeiten?	1120
7.5	Wieviel Energie wird die Menschheit künftig brauchen?	1121
7.6	Notwendigkeiten	1122
7.7	Möglichkeiten für die künftige Bereitstellung der benötigten Sekundärenergien Strom, Treibstoffe und Wärme	1128
7.7.1	Erneuerbare Energien	1128
7.7.2	Atomkern-Spaltungs-Energie	1134
7.7.3	Atomkern-Fusions-Energie	1136
7.8	Verantwortung	1137
	Literatur	1141
	Sachverzeichnis	1143

Energiehandbuch

Gewinnung, Wandlung und Nutzung von Energie

Rebhan, E.

2002, XXXV, 1161 S. Mit 1 Falttafel., Hardcover

ISBN: 978-3-540-41259-5