

I n h a l t s v e r z e i c h n i s

1. Energie: Bedarf, Dargebot und Bedarfsdeckung	1
1.1. Energiebedarf	1
1.2. Energiedargebot, Energiebedarfsdeckung	3
1.2.1. Erdöl	4
1.2.2. Erdgas	5
1.2.3. Kohle	5
1.2.4. Uran	6
1.2.5. Nichtkonventionelle Energienutzungsmöglichkeiten	8
Literatur	10
2. Methoden der Energie-Direktumwandlung	11
2.1. Brennstoffzellen	11
2.1.1. Wirkungsprinzip, Entwicklung	11
2.1.2. Einteilungsmöglichkeiten	12
2.1.3. Physikalische Grundlagen, Zellspannung, Wirkungsgrad	14
2.1.4. Wasserstoff/Sauerstoff-Brennstoffzelle	17
2.1.4.1. Zellreaktionen	17
2.1.4.2. Katalysatoren	19
2.1.4.3. Elektroden	21
2.1.4.4. Anwendungsmöglichkeiten	24
2.1.5. Hydrazinzelle	25
2.1.6. Methanolzelle	27
2.1.7. Weitere Niedrigtemperaturzellen	28
2.1.7.1. Ammoniakzelle	28
2.1.7.2. Kohlenwasserstoffzellen	28
2.1.7.3. Biochemische Brennstoffzellen	29
2.1.8. Hochtemperatur-Brennstoffzellen	29
Literatur	31
2.2. Solarzellen	32
2.2.1. Einleitung	32
2.2.2. Grundlegende Wirkungsweise, Kenngrößen der Solarzellen	32

2.2.3. Si-Solarzellen	38
2.2.4. GaAs-Solarzellen	40
2.2.5. CdS-Cu ₂ S-Solarzellen	41
2.2.6. Weitere Solarzellentypen	42
2.2.6.1. Schottky-Zellen (Schottky-Barrier Cells) . . .	42
2.2.6.2. Gitterförmige Solarzellen	43
2.2.6.3. Solarzellen mit vertikaler Vielschicht- anordnung (Multijunction Solar Cells)	44
2.2.7. Anwendungsmöglichkeiten der Solarzellen	44
2.2.7.1. Extraterrestrische Anwendungen	44
2.2.7.2. Terrestrische Anwendungszwecke	46
Literatur	47
2.3. Thermoelektrische Energieumwandlung	48
2.3.1. Einleitung, Thermoelektrische Effekte	48
2.3.2. Energetisches Verhalten eines thermoelektrischen Generatorelementes	50
2.3.3. Werkstoffe für Thermoelemente	51
2.3.4. Halbleiterthermoelemente und Thermogeneratoren	53
2.3.5. Anwendungsmöglichkeiten	55
Literatur	57
2.4. Thermionische Energieumwandlung	57
2.4.1. Einführung, Grundprinzip	57
2.4.2. Wirkungsweise, Kenngrößen	58
2.4.3. Cäsium-Konverter	61
2.4.4. Edalgaskonverter	63
2.4.5. Anwendungsmöglichkeiten	64
2.4.6. Wärmerohre	67
Literatur	67
2.5. Radionuklidbatterien	68
2.5.1. Einleitung, Grundbegriffe	68
2.5.2. Verwendete Nuklide	70
2.5.3. Umwandlungsmethoden	71
2.5.3.1. Direkte Methoden	71
2.5.3.2. Indirekte Umwandlungsmethoden	72
Literatur	73
2.6. MHD-Energieumwandlung	74
2.6.1. Grundlagen	74
2.6.2. Kanalkonfigurationen	77
2.6.2.1. Faraday-Generator	77
2.6.2.2. Segmentierter Faraday-Generator	78

2.6.2.3. Hall-Generator	79
2.6.3. MHD-Energieumwandlungsanlagen	81
2.6.3.1. Offene MHD-Anlagen	81
2.6.3.2. Geschlossene MHD-Anlagen (Edelgasanlagen)	84
2.6.3.3. Flüssig-Metall-MHD-Anlagen	84
Literatur	86
3. Nichtkonventionelle Energienutzungsverfahren	87
3.1. Sonnenenergie	87
3.1.1. Die Sonne als Energiequelle	87
3.1.1.1. Sonnenstrahlung, Grundbegriffe	87
3.1.1.2. Berechnung der Sonnenstrahlung auf geneigte ebene Flächen	90
3.1.2. Nutzungsmöglichkeiten der Sonnenenergie	94
3.1.3. Komponenten zur Sonnenenergienutzung im Bauwesen	95
3.1.3.1. Sonnenkollektoren	95
3.1.3.1.1. Flachkollektoren	95
3.1.3.1.2. Konzentrierende Kollektoren	99
3.1.3.2. Wärmeträger	101
3.1.3.3. Wärmespeicher	102
3.1.4. Solarthermische Anlagen	105
3.1.4.1. Warmwasserbereitungsanlagen	105
3.1.4.2. Heizungsanlagen	106
3.1.4.3. Schwimmbadheizungsanlagen	107
3.1.4.4. Kühlen mit Sonnenenergie	107
3.1.5. Solarhäuser	108
3.1.6. Sonnenöfen	110
3.1.7. Solarthermische Kraftwerke	111
3.1.7.1. Kleinkraftwerke	111
3.1.7.2. Großkraftwerke	113
3.1.8. Trinkwassererzeugung, Salzgewinnung	115
3.1.9. Biologische Sonnenenergienutzung	116
Literatur	117
3.2. Windenergie	118
3.2.1. Grundsätzliches über Windturbinen (Windkonverter)	119
3.2.1.1. Windturbinen mit horizontaler Welle	119
3.2.1.1.1. Leistung einer Windturbine	119
3.2.1.1.2. Bauformen von Windturbinen mit horizontaler Welle	120
3.2.1.2. Windturbinen mit vertikaler Welle	122
3.2.2. Windkraftanlagen	124
Literatur	125

3.3. Geothermale Energie	126
3.3.1. Erdwärme, geologische Voraussetzungen für geothermale Felder	126
3.3.2. Nutzungsverfahren geothermischer Energie	127
3.3.2.1. Geothermische Kraftwerke	128
3.3.2.2. Nutzung geothermaler Energie für Heizzwecke . .	129
3.3.2.3. Hot-Dry-Rock-Verfahren	130
Literatur	131
3.4. Nutzung von Niedrigtemperaturwärme	131
3.4.1. Grundprinzip der Wärmepumpe	132
3.4.2. Komponenten der Wärmepumpe	135
3.4.3. Nutzungsmöglichkeiten mit Hilfe von Wärmepumpen	136
Literatur	137
3.5. Nutzung von Abwärme - Wärmerückgewinnung	138
3.5.1. Wärmerückgewinnung aus Haushaltsabwasser	138
3.5.2. Wärmerückgewinnung aus Abluft	139
3.5.3. Nutzung der Kraftwerksabwärme	141
Literatur	142
3.6. Nutzung von "Meeresenergie"	142
3.6.1. Gezeitenkraftwerke	142
3.6.2. Nutzung des Temperaturgradienten tropischer Meere . . .	145
3.6.3. Nutzung der Wellenenergie	147
3.6.4. Nutzung von Meeresströmungen	148
Literatur	149
3.7. Wasserkraftnutzung in Grönland	149
Literatur	152
3.8. Energiegewinnung aus Abfällen	152
3.8.1. Biokonversion, Biogaserzeugung	152
3.8.2. Nutzung von land- und forstwirtschaftlichen Abfällen . .	154
3.8.3. Energiegewinnung durch Müll- und Abfallverbrennung . . .	154
Literatur	155
3.9. Kernfusion	155
3.9.1. Einleitung	155
3.9.2. Physikalische Grundlagen der Kernverschmelzung	156
3.9.3. Anordnung zur Erzeugung der hohen Temperaturen und zum magnetischen Plasmaeinschluß	158
3.9.3.1. Offener magnetischer Plasmaeinschluß	158
3.9.3.2. Geschlossener magnetischer Einschluß	160
3.9.4. Fusionsreaktor	161

3.9.5. Fusionsexperimente mit Laser	162
Literatur	164
4. Nichtkonventionelle Energieträger	165
4.1. Forderungen an neue Energieträger	165
4.2. Wasserstoff als Energieträger	166
4.2.1. Sicherheitsaspekte bei Verwendung von Wasserstoff . . .	167
4.2.2. Großtechnische Gewinnung von Wasserstoff	167
4.2.2.1. Elektrolyse	167
4.2.2.2. Thermochemische Spaltungsverfahren	171
4.2.3. Solar-Wasserstoffwirtschaft	173
4.2.3.1. Solarthermische Anlagen	173
4.2.3.2. Photoelektrische Umwandlung	173
4.2.3.3. Photochemische Prozesse zur Wasserstofferzeugung	173
4.2.4. Speicherung von Wasserstoff	176
4.2.5. Energietransport	179
4.2.6. Anwendungsmöglichkeiten, Transformierbarkeit in andere Energieformen	180
Literatur	183
4.3. Methanol als Energieträger	184
4.3.1. Eigenschaften von Methanol	184
4.3.2. Herstellung von Methanol	185
4.3.3. Verwendungsmöglichkeiten von Methanol	186
Literatur	188
4.4. Komprimierte und flüssige Luft als Energieträger	189
Literatur	191
4.5. Sekundärenergieträger auf der Basis von Kohleveredelung	191
4.5.1. Allgemeines	191
4.5.2. Kohlevergasungsverfahren	193
4.5.2.1. Winkler-Wirbelschichtverfahren	193
4.5.2.2. Koppers-Totzek-Verfahren	194
4.5.2.3. Lurgi-Druckgasverfahren	194
4.5.3. Nutzung von Hochtemperatur-Reaktorwärme	195
4.5.4. Untertagevergasung	195
Literatur	196
4.6. Heißwasser als Energieträger für Fernwärme	197
Literatur	200
5. Nichtkonventionelle Energiespeicherung	201

5.1. Allgemeines	201
5.2. Elektrochemische Energiespeicher	201
5.2.1. Niedrigtemperaturzellen	203
5.2.1.1. Silber/Zink-Batterie	203
5.2.1.2. Metall/Luft-Batterien	203
5.2.2. Hochtemperaturzellen	204
5.2.2.1. Natrium/Schwefel-Zelle	204
5.2.2.2. Lithium/Schwefel-Batterie	206
Literatur	207
5.3. Luftspeicher-Kraftwerke	208
5.3.1. Grundprinzip eines Luftspeicherkraftwerkes	208
5.3.2. Speichervarianten	211
5.3.2.1. Festdruckspeicher	211
5.3.2.2. Gleitdruckspeicher	212
5.3.3. Anlage in Huntorf	212
Literatur	213
5.4. Untergrundspeicherung von Energieträgern	213
5.4.1. Porenspeicher (Aquiferspeicher)	214
5.4.2. Speicherung in Steinsalzavernen	215
5.4.3. Speicherung in Felskavernen	215
Literatur	216
5.5. Wärmespeicherung	216
5.5.1. Wärmespeicherung durch Heterogenverdampfung	216
5.5.2. Wärmespeicherung mit Elektrokessel	217
5.5.3. Großwärmespeicher für Niedrigtemperaturwärme	219
5.5.4. Latentwärmespeicher	220
Literatur	224
5.6. Schwungradspeicher	224
5.6.1. Grundlagen der Schwungradspeicherung	225
5.6.2. Schwungradkonstruktionen	226
5.6.2.1. Stahlschwungräder	226
5.6.2.2. Neue Schwungradkonstruktionen	227
5.6.3. Einsatzmöglichkeiten für Schwungradspeicher	229
5.6.3.1. Stoßlastlieferung	229
5.6.3.2. Spitzenlastdeckung im Verbundnetz	229
5.6.3.3. Energiespeicher in Kraftfahrzeugen	229
5.6.3.4. Schwungradspeicher in Schienenfahrzeugen	230
Literatur	230
5.7. Supraleitende Energiespeicher	230

XIII

5.7.1. Magnetische Speicherung	230
5.7.2. Supraleitende Energiespeicher als Impulsgeneratoren . .	233
5.7.3. Supraleitende Speicher für Spitzenlastdeckung im Verbundnetz	235
Literatur	236
6. Nichtkonventioneller Energietransport	238
6.1. Nichtkonventionelle Wärmeübertragung (nukleare Fernwärme) . . .	238
6.1.1. Das EVA/ADAM-Transportsystem	239
Literatur	240
6.2. Elektrische Energieübertragung	241
6.2.1. Freileitungen	241
6.2.2. Kabel	245
6.2.2.1. Kabel mit natürlicher Kühlung	245
6.2.2.2. Kabel mit Zwangskühlung	246
6.2.2.3. Tieftemperaturkabel	247
6.2.2.3.1. Kryokabel	247
6.2.2.3.2. Supraleitende Kabel	247
Literatur	250
6.3. Hydraulischer Transport von Feststoffen	251
Literatur	252
Sachverzeichnis	253