

Inhaltsverzeichnis

Einleitung	1
Kurzfassung	5
I Von Ursachen zum Verständnis	21
1 Zeitliche Entwicklungen aus der Vergangenheit bis in die Zukunft der nächsten 50 Jahre	23
1.1 Entwicklungen der Bevölkerung	24
1.2 Entwicklung der Landwirtschaft	36
1.3 Entwicklung von Siedlungsdichte, Verstädterung und Bedarf an Siedlungs- und Wohnraum	42
1.4 Entwicklung des Verkehrsaufkommens in Deutschland, in Europa und weltweit	48
1.5 Entwicklung von Wirtschaft und Ressourcennutzung	66
1.6 Entwicklung von Wissen, Allgemeinverständnis, technischem „know-how“, Technologien hinsichtlich Energie	79
1.7 Entwicklung des Energiebedarfs	85
2 Spannungsfeld der gegenwärtigen Energieversorgung und Energienutzung	119
3 Kriterien für eine verträgliche Bereitstellung und Nutzung von Energie	127
3.1 Bedarf an Energie	128
3.2 Verfügbarkeit von Energie aus bestimmten Quellen	128
3.3 Notwendiger Entwicklungsaufwand bis zur kostengünstigen Wirtschaftlichkeit	128
3.4 Technologische Handhabbarkeit, Fertigkeit im Umgang mit Technologien	129

3.5	Wirtschaftsverträglichkeit	129
3.6	Umweltverträglichkeit	130
3.7	Sozialverträglichkeit	130

II Potentiale von Energie-Quellen, -Trägern, -Technologien und effizienter Energienutzung 133

4	Fossile Energien – Kohle, Erdöl und Erdgas	137
4.1	Vorräte an fossilen Brennstoffen Kohle, Erdöl und Erdgas . .	141
4.1.1	Kohle	147
4.1.2	Kohle-Verflüssigung	149
4.1.3	Erdöl	150
4.1.4	Erdöl-Raffinerie	152
4.1.5	Erdgas	153
4.2	Fossil befeuerte Wärme-Kraftwerke: Gas- und Dampfturbinen, Motor-Generatoren, Brennstoffzellen	156
4.3	Freisetzung von Schadstoffen bei der Verbrennung fossiler Brennstoffe und Methoden der Rückhaltung von Schadstoffen	163
4.3.1	Überblick	163
4.3.2	Möglichkeit von Rückhalt und Entsorgung von Koh- lendioxid	165
4.3.3	Schwefelrückhalt bei der Verbrennung von Kohle (Erdöl und Biomasse) in Kraftwerken	169
4.3.4	Verringerung der Emission von Stickoxiden aus Kraft- werken	170
4.4	Heizung (derzeit vornehmlich mit fossilen Brennstoffen) . .	171
4.5	Die Rolle der Verbrennung fossiler Treibstoffe im Verkehr .	179
4.5.1	Ausgangslage	179
4.5.2	Künftige Möglichkeiten für Antriebstechnologien in PKW-, Bus-, LKW- und Flug-Verkehr	182
4.5.3	Übersicht der Speicherung elektrischer Energie in wie- deraufladbaren Batterien	188
4.5.4	Übersicht über Brennstoffzellen (BZ)	191
4.5.5	Übersicht über flüssige Treibstoffe	193
4.6	Umwelt-Probleme und Risiken durch Verbrennung fossiler Energieträger	198
4.6.1	Kohlenstoff-Kreislauf	202
4.6.2	Natürlicher Treibhauseffekt	204

4.6.3	Eingriffe des Menschen in das irdische Treibhausklima durch Anreicherung der Atmosphäre mit treibhauswirksamen Spurengasen	208
4.6.4	Auswirkungen der steigenden Erwärmung im Treibhaus Erde	210
4.6.5	Internationale politische Vereinbarungen zum Schutz des Klimas	217
4.7	Resümee der Nutzung der fossilen Energieträger Kohle, Erdöl und Erdgas	219
5	Atomkern-Spaltungs-Energie	221
5.1	Prinzip: Atomkernbindung und Kern-Energie	222
5.2	Ein Stück Geschichte vom Verständnis der Kernenergie	223
5.3	Kernenergie: Freisetzung in Atombomben	224
5.4	Kernenergie: Freisetzung in Reaktoren	225
5.5	Vorräte an Atomkern-Spaltmaterial	229
5.5.1	Vorräte und Förderung von Uran (und Thorium)	229
5.5.2	Anreicherung von Uran-235 und Verwendung in „Brennelementen“ von Reaktoren	233
5.5.3	Übersicht der Gesamtkosten von Brennelementen	236
5.6	Kern-Reaktoren, Kern-Kraftwerke	237
5.6.1	Prinzip von Kern-Reaktoren	237
5.6.2	Leichtwasser-Reaktoren (LWR)	238
5.6.3	Schwerwasser-Reaktoren (HWR)	243
5.6.4	Gasgekühlte, graphitmoderierte Reaktoren (GGR und AGR (Advanced GGR))	243
5.6.5	Graphitmoderierte Leichtwasser-Reaktoren (RBMK)	244
5.6.6	Hochtemperatur-Reaktor (HTR)	244
5.6.7	Brut-Reaktoren (BR)	246
5.6.8	Heizreaktoren	247
5.6.9	Weitere Reaktor-Konzepte im Planungsstadium	248
5.6.10	Übersicht des derzeitigen Bestands an Kernkraftwerken	249
5.7	Entsorgung von radioaktiven Abfällen	253
5.7.1	Endlagerung radioaktiver Substanzen	253
5.7.2	Stilllegung und Abbau von Kernreaktoren	256
5.7.3	Wiederaufarbeitung und Transmutation	257
5.8	Radioaktivität	258
5.8.1	Wechselwirkungen von radioaktiven Stoffen mit Materie	260
5.8.2	Natürliche Quellen von Radioaktivität	262
5.8.3	Zusätzliche künstliche Strahlenbelastung	262

5.8.4	Biologische Wirksamkeit von Radioaktivität	264
5.9	Umwelt-Schäden, Umwelt-Probleme und Umwelt-Risiken durch Nutzung der Atomkern-Spaltungs-Energie	268
5.9.1	Große Schadensfälle	268
5.9.2	Umwelt-Probleme bei der Nutzung von Kernenergie	274
5.9.3	Umweltrisiken	275
5.10	Resümee der Nutzung der Atomkern-Spaltungsenergie	282
6	Atomkern-Fusions-Energie	285
6.1	Prinzip der Atomkern-Fusion	286
6.2	Vorräte an Fusionsbrennstoffen	289
6.3	Der Weg zu Kernfusions-Kraftwerken	290
6.3.1	Weg 1: Plasma-Magnetfeld-Einschluß	290
6.3.2	Weg 2: Tröpfchenfusion durch allseitigen Strahlen- beschuß	294
6.3.3	Muonkatalytische Fusion	295
6.4	Resümee der Potentiale der Kern-Fusions-Energie	296
7	Erneuerbare Energien	299
7.1	Wasserkraft	300
7.2	Windenergie	305
7.3	Sonnenlicht	314
7.3.1	Übersicht der Sonnenlicht-Einstrahlung in Deutschland und in äquatornahen Sonnen-Zonen und der sich da- raus eröffnenden Möglichkeiten der Sonnenlicht-Nut- zung	314
7.3.2	„Solar“-Strom mittels Solarzellen (Photovoltaik) in Deutschland	318
7.3.3	Solare Heizwärme mittels Flachkollektoren in Deut- schland	321
7.3.4	„Solar-Strom“ im äquatornahen Sonnengürtel der Erde	325
7.3.5	Solare Prozeßwärme im äquator-nahen Sonnengürtel der Erde	336
7.3.6	Zukunftsvision: Solarstrom aus dem Weltall	337
7.4	Biomasse – Pflanzliche Stoffe als Energieträger	339
7.5	Erdwärme	351
7.6	Erneuerbare Energien in Deutschland – Realisierbares Poten- tial bis ca. 2050	357
7.7	Erneuerbare Energien weltweit – Realisierbares Potential bis ca. 2050	362

8 Müll-Verbrennung	365
8.1 Prinzip der Müll-Verbrennung	366
8.2 Stoffbilanz der Müll-Verwertung	367
8.3 Bilanz der Energieerzeugung	367
8.4 Kosten der Müll-Verbrennung in Heizkraftwerken	368
8.5 Potential von Müll als „erneuerbare“ Energiequelle	368
9 Wasserstoff als Energieträger	371
9.1 Eigenschaften von Wasserstoff	372
9.2 Erzeugung und Bereitstellung von Wasserstoff	373
9.3 Nutzung von Wasserstoff	375
10 Licht	379
11 Transport und Speicherung der verschiedenen Energieträger – Übersicht von Möglichkeiten und Aufwand	383
11.1 Kohle, Erdöl und Erdgas	384
11.2 Elektrische Energie	384
11.3 Wärme	387
11.3.1 Transport von Fernwärme	387
11.3.2 Niedertemperatur-Wärmespeicher	388
12 Vergleich der verschiedenen Kraftwerksarten zur Stromerzeugung	389
13 Potential effizienterer Nutzung von Energie	393
13.1 Potential effizienterer Nutzung von Energie in Deutschland .	394
13.2 Weltweites Potential effizienterer Energienutzung	404
13.3 Verminderung des Energie-Bedarfs durch bescheideneren Lebensstil	406
III Energie in Zukunft	407
14 Deckung des künftigen Energiebedarfs im Rahmen verfügbarer Möglichkeiten	409
14.1 Deckung des künftigen Energiebedarfs in Deutschland . . .	412
14.2 Deckung des künftigen Energiebedarfs in China	419
14.3 Deckung des weltweiten künftigen Energiebedarfs	423
14.4 Ausblick nach einem langfristig tragfähigen Konzept einer künftigen Energieversorgung	432

15 Bewertung von Energie als einer der Eckpfeiler wirtschaftlicher Produktivität	437
16 Politischer Rahmen für einen notwendigen Wandel von Bereitstellung und Nutzung von Energie zu dauerhafter Umweltverträglichkeit	443
16.1 Ziel der Reduktion der Kohlendioxid-Emissionen	444
16.2 Finanzieller Rahmen zur Reduktion der Kohlendioxid-Emissionen	448
16.3 Energiepolitischer Rahmen	452
16.4 Resümee und Ausblick	456
 IV Zusammenfassung und Anhang	 461
17 Zusammenfassung	463
17.1 Entwicklungen von Bevölkerung, wirtschaftlicher Produktivität und Energiebedarf	464
17.2 Potentiale von Energien	475
17.3 Übersichten von Technologien zur Bereitstellung von Strom, Heizwärme, Hochtemperatur-Prozeßwärme und Treibstoffen	491
17.4 Künftiger Energiebedarf und seine Deckungs-Möglichkeiten in Deutschland und weltweit	495
17.5 Politischer Rahmen für einen notwendigen Wandel von Bereitstellung und Nutzung von Energie zu dauerhafter Umweltverträglichkeit	502
17.6 Resümee und Ausblick	508
 Anhang	 513
A Größenangaben und Einheiten für Energie, Leistung und Temperatur	513
 B Vergleich notwendiger Energieflüsse erneuerbarer und nicht-erneuerbarer Energien zur Deckung des hohen Energiebedarfs in Deutschland	 517

C	Texte zu Übereinkommen über Klimaänderungen	523
C.1	Rahmenübereinkommen der Vereinten Nationen über Klima- änderungen (Juni 1992)	524
C.2	Berliner Mandat (April 1995)	549
C.3	Genfer Ministerialdeklaration (Juli 1996)	552
D	Sachwortverzeichnis mit Textverweisen	555
E	Tabellen- und Bildverweise nach Sachworten	565
	Literaturverzeichnis	573