dandelon.com
© 2008 AGI-Information Management Consultants
May be used for personal purposes only or by
libraries associated to dandelon.com network.

Klaus Heinloth

Die Energiefrage

Bedarf und Potentiale, Nutzung, Risiken und Kosten

2., erweiterte und aktualisierte Auflage

vieweg

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 Kohlendioxid 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 Kraftwerken 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 wiederaufladbaren 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 Stillegung 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 Strahlenbeschuß 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 daraus eröffnenden Möglichkeiten der Sonnenlicht-Nutzung 314
7.3.2 „Solar"-Strom mittels Solarzellen (Photovoltaik) in Deutschland 318
7.3.3 Solare Heizwärme mittels Flachkollektoren in Deutschland 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 Potential 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 nichterneuerbarer Energien zur Deckung des hohen Energiebedarfs in Deutschland **517**

C Texte zu Übereinkommen über Klimaänderungen **523**
C.1 Rahmenübereinkommen der Vereinten Nationen über Klimaänderungen (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**