

# Inhaltsverzeichnis

Vorwort	V
Inhaltsverzeichnis	VII
Die Herausgeber	XXI
Die Autoren des Handbuch Kernenergie	XXIII
<b>1</b>	
<b>Physikalisch-technische Grundlagen</b>	<b>1</b>
<b>1.1</b>	<b>Das Atom</b>
1.1.1	Das »unteilbare« Atom . . . . . 1
1.1.2	Das periodische System der Elemente . . . . . 2
1.1.3	Aufbau des Atoms . . . . . 2
1.1.4	Isotope . . . . . 6
1.1.5	Atommassen, elektrische Ladungen . . . . . 7
<b>1.2</b>	<b>Energiegewinnung durch Kernspaltung</b>
1.2.1	Kernkräfte . . . . . 8
1.2.2	Die Spaltung schwerer Kerne . . . . . 13
1.2.3	Von der ersten Urankernspaltung zur Atombombe . . . . . 18
1.2.3.1	Uran-Sprengkörper . . . . . 20
1.2.3.2	Plutonium-Sprengkörper . . . . . 22
1.2.3.3	Thermonukleare Sprengkörper . . . . . 22
<b>1.3</b>	<b>Funktionsbedingungen für Kernreaktoren</b>
1.3.1	Allgemeine Eigenschaften der Kernreaktoren . . . . . 23
1.3.2	Wechselwirkungen zwischen Atomkernen und Neutronen . . . . . 24
1.3.3	Schnelle und langsame Neutronen in Reaktoren . . . . . 26
1.3.4	Moderatoren für thermische Reaktoren . . . . . 30
1.3.5	Schnelle und thermische Brutreaktoren . . . . . 33
1.3.6	Kühlmittel . . . . . 34
1.3.7	Reaktorkinetik . . . . . 36
1.3.8	Reaktordynamik und Regelung der Kernreaktoren . . . . . 37
<b>1.4</b>	<b>Die thermonukleare Fusion</b>
<b>1.5</b>	<b>Ergänzende Literatur zu Kapitel 1</b>
<b>2</b>	<b>Kernreaktorentwicklung, -typen, Stilllegung, Ausbildung</b>

<b>2.1</b>	<b>Allgemeines</b>	<b>51</b>
2.1.1	Unterscheidungsmerkmale der Kernreakortypen . . . . .	51
2.1.2	Allgemeines zu thermischen Reaktoren . . . . .	52
<b>2.2</b>	<b>Wasserreaktoren</b>	<b>54</b>
2.2.1	Leichtwasserreaktoren . . . . .	54
2.2.2	Bewertungskriterien des Reaktoreinsatzes . . . . .	62
2.2.3	Zukünftige LWR-Entwicklungslinien . . . . .	67
2.2.3.1	Weltweite Entwicklungsziele . . . . .	67
2.2.3.2	Amerikanische Entwicklungen . . . . .	68
2.2.3.3	Deutsch-französische Reaktorentwicklung . . . . .	69
2.2.4	Schwerwasserreaktoren . . . . .	72
2.2.5	Graphitmoderierte Leichtwasserreaktoren . . . . .	74
<b>2.3</b>	<b>Gasgekühlte Reaktoren</b>	<b>78</b>
2.3.1	Magnox-Reaktoren (GGR) . . . . .	78
2.3.2	Fortgeschrittene gasgekühlte Reaktoren (AGR) . . . . .	80
2.3.3	Die Baulinie des Hochtemperaturreaktors . . . . .	81
2.3.3.1	Allgemeines und F&E-Arbeiten . . . . .	81
2.3.3.2	Prototyp-HTR-Kernkraftwerke . . . . .	84
2.3.3.3	HTR-Projekte . . . . .	88
<b>2.4</b>	<b>Schnelle Brutreaktoren</b>	<b>91</b>
2.4.1	Grundlagen der Schnellen Brutreaktoren . . . . .	91
2.4.1.1	Brutprinzip und Energiepotential . . . . .	91
2.4.1.2	Kern und Kühlmittel . . . . .	93
2.4.1.3	Entsorgungsaspekte . . . . .	95
2.4.2	Brüter-Entwicklung, national und international . . . . .	95
2.4.3	Der SNR-300 in Kalkar . . . . .	100
2.4.3.1	Planung und Errichtung . . . . .	100
2.4.3.2	Besondere Sicherheitsmerkmale . . . . .	104
2.4.3.3	Das Ende des Projektes . . . . .	105
2.4.4	Das European Fast Reactor-Projekt . . . . .	107
2.4.4.1	Geschichtliches . . . . .	107
2.4.4.2	Die Organisation des EFR-Projektes . . . . .	107
2.4.4.3	Projektvorgaben und Zeitplan . . . . .	108
2.4.4.4	Die EFR-Auslegungsarbeiten . . . . .	109
2.4.4.5	Die wichtigsten Merkmale des EFR . . . . .	111
2.4.4.6	Schlußbemerkungen . . . . .	113
2.4.5	Ausblick auf die Zukunft der Schnellen Brüter . . . . .	113
<b>2.5</b>	<b>Fusionsreaktoren</b>	<b>114</b>
<b>2.6</b>	<b>Zusammenfassung</b>	<b>116</b>

<b>2.7</b>	<b>Stilllegung von kerntechnischen Anlagen</b>	<b>120</b>
2.7.1	Einführung . . . . .	120
2.7.2	Technische Planung . . . . .	121
2.7.3	Kostenanalysen . . . . .	123
2.7.4	Stilllegung von Kernkraftwerken . . . . .	124
2.7.5	Stilllegung von Forschungsreaktoren . . . . .	128
2.7.6	Stilllegung kerntechnischer Einrichtungen . . . . .	128
2.7.6.1	Das Sanierungsprojekt Wismut . . . . .	129
2.7.6.2	Die Wiederaufarbeitungsanlage Karlsruhe . . . . .	131
<b>2.8</b>	<b>Kerntechnik in Ausbildung und Berufsverbänden</b>	<b>132</b>
2.8.1	Beginn der kerntechnischen Ausbildung in Deutschland . . . . .	132
2.8.2	Heutiger Stand des Faches Kernenergie . . . . .	133
2.8.3	Ausbildungsrichtungen . . . . .	134
2.8.4	Vorhandene Ausbildungskapazitäten . . . . .	136
2.8.4.1	Anzahl der ausgebildeten Kerntechniker . . . . .	138
2.8.5	Mitgliedsgesellschaften für Kerntechniker . . . . .	141
2.8.6	Kerntechnische Fachinformationen . . . . .	143
<b>2.9</b>	<b>Ergänzende Literatur zu Kapitel 2</b>	<b>145</b>
<b>3</b>	<b>Energiewirtschaft und Energiepolitik</b>	<b>147</b>
<b>3.1</b>	<b>Energiewirtschaft</b>	<b>147</b>
3.1.1	Die Rolle der Energie in der Wirtschaft . . . . .	147
3.1.1.1	Die Entkopplung des Energieverbrauchs vom Wirtschaftswachstum . . . . .	147
3.1.1.2	Energie-Umwandlungsketten . . . . .	148
3.1.1.3	Energieeinheiten/Umrechnungen . . . . .	149
3.1.2	Weltenergieversorgung: Entwicklung und Status . . . . .	151
3.1.3	Langzeitprobleme der Energieversorgung . . . . .	159
3.1.3.1	Vorbemerkung . . . . .	159
3.1.3.2	Problemstellung . . . . .	159
3.1.3.3	Gemeinsame Aussagen . . . . .	161
3.1.3.4	Die WEC-Aussage . . . . .	164
3.1.3.5	Schlußfolgerungen . . . . .	166
3.1.4	Weltenergieversorgung: mittelfristige Entwicklungstendenz . . . . .	168
3.1.5	Die Energieversorgung der Bundesrepublik Deutschland . . . . .	174
3.1.5.1	Die aktuelle Versorgungslage . . . . .	174
3.1.5.2	Der Energieverbrauch bei veränderten ökonomischen Rahmenbedingungen . . . . .	175
3.1.5.3	Verbrauchsbereiche: Entwicklungs- und Einflußfaktoren . . . . .	178
3.1.5.4	Nichtenergetischer Verbrauch und Verbrauch in den Umwandlungsbereichen . . . . .	182
3.1.5.5	Die Beiträge einzelner Energieträger . . . . .	183
3.1.5.6	Einfuhrabhängigkeit und Zahlungsbilanz . . . . .	194
3.1.5.7	Deutsche Energieversorgung: zukünftige Entwicklung . . . . .	197

<b>3.2</b>	<b>Energiepolitik</b>	<b>201</b>
3.2.1	Allgemeine Vorbemerkungen zur Energiepolitik . . . . .	201
3.2.1.1	Strukturelle Besonderheiten der Energiewirtschaft . . . . .	201
3.2.1.2	Ziele der Energiepolitik . . . . .	202
3.2.2	Internationale Energiepolitik . . . . .	203
3.2.2.1	Ebenen, Motivierungen und Ziele einer Energiepolitik . . . . .	203
3.2.2.2	Die Energiepolitik der Europäischen Union . . . . .	204
3.2.2.3	Die Energiepolitik der Industrieländer . . . . .	215
3.2.2.4	Weltweite energiepolitische Auseinandersetzungen . . . . .	220
<b>3.3</b>	<b>Kohlewirtschaft und Kohlepolitik</b>	<b>222</b>
3.3.1	Steinkohlewirtschaft . . . . .	222
3.3.1.1	Vorräte . . . . .	222
3.3.1.2	Förderung . . . . .	222
3.3.1.3	Internationaler Steinkohlenhandel . . . . .	224
3.3.1.4	Perspektiven des Weltkohlenmarktes . . . . .	227
3.3.1.5	Der Steinkohlenmarkt der EU . . . . .	234
3.3.2	Braunkohlewirtschaft . . . . .	242
3.3.2.1	Braunkohlesituation weltweit . . . . .	242
3.3.2.2	Braunkohle in Westdeutschland . . . . .	244
3.3.2.3	Braunkohle in Ostdeutschland . . . . .	249
3.3.2.4	Braunkohle im wiedervereinigten Deutschland . . . . .	255
3.3.2.5	Ausblick . . . . .	256
<b>3.4</b>	<b>Mineralölwirtschaft / Ölpolitik</b>	<b>259</b>
3.4.1	Weltmineralölwirtschaft im Überblick . . . . .	259
3.4.2	Welt-Erdölreserven . . . . .	261
3.4.3	Rohölförderung und Mineralölverbrauch . . . . .	264
3.4.4	Verfügung über das Rohöl . . . . .	269
3.4.5	Die OPEC und der erste Ölschock . . . . .	270
3.4.6	IEA, Krisenmechanismus und Vorratshaltung . . . . .	272
3.4.7	OPEC II – IV . . . . .	274
3.4.8	Raffineriekapazitäten und Raffineriestruktur . . . . .	282
3.4.9	Zukunftsaspekte der Mineralölversorgung . . . . .	285
<b>3.5</b>	<b>Elektrizitätswirtschaft</b>	<b>287</b>
3.5.1	Rolle der Elektrizität in der Energiewirtschaft . . . . .	287
3.5.2	Elektrizitätswirtschaft weltweit . . . . .	288
3.5.2.1	Stromerzeugung und -verbrauch . . . . .	288
3.5.2.2	Wirtschaftsentwicklung und Energieverbrauch . . . . .	289
3.5.2.3	Energie- und Stromverbrauchsprognosen . . . . .	292
3.5.3	Elektrizitätswirtschaft in Deutschland . . . . .	293
3.5.3.1	Kraftwerkskapazität und Stromerzeugung . . . . .	293
3.5.3.2	Stromverbrauch . . . . .	298
3.5.3.3	Entwicklungsaussichten der Elektrizitätswirtschaft . . . . .	300

<b>3.6</b>	<b>Rationelle Energienutzung</b>	<b>303</b>
3.6.1	Möglichkeiten eines sparsamen Umgangs mit Energie . . . . .	303
3.6.1.1	Grundlegende Bemerkungen . . . . .	303
3.6.1.2	Prinzipielle Möglichkeiten . . . . .	304
3.6.1.3	Energieverbrauch nach Sektoren und Nutzungen . . . . .	305
3.6.1.4	Rationelle Energieanwendung bei Endverbrauchern . . . . .	306
3.6.1.5	Rationelle Energieanwendung im Umwandlungsbereich . . . . .	308
3.6.2	Energiesparen im internationalen Kontext . . . . .	311
3.6.2.1	Feststellungen zur internationalen Situation . . . . .	311
3.6.2.2	Entwicklung in den Regionen . . . . .	311
3.6.2.3	Situation in Europa . . . . .	312
3.6.2.4	Deutschland im Vergleich . . . . .	314
3.6.3	Maßnahmen zur rationellen Energienutzung . . . . .	315
3.6.3.1	Instrumente zur Förderung . . . . .	315
3.6.4	Energieeinsparung versus Ausbau der Kernenergie . . . . .	317
<b>3.7</b>	<b>Regenerative Energien</b>	<b>322</b>
3.7.1	Windenergie . . . . .	323
3.7.2	Meeresenergie . . . . .	329
3.7.3	Geothermische Energie . . . . .	329
3.7.4	Sonnenenergie, einschließlich Biomasse . . . . .	331
3.7.5	Zusammenfassende Würdigung regenerativer Energien . . . . .	339
<b>3.8</b>	<b>Ergänzende Literatur zu Kapitel 3</b>	<b>341</b>
<b>4</b>	<b>Kernkraftwirtschaft</b>	<b>351</b>
<b>4.1</b>	<b>Situation der Kernenergie in Deutschland und weltweit</b>	<b>351</b>
<b>4.2</b>	<b>Die Rolle der Kernenergie in der Elektrizitätswirtschaft</b>	<b>355</b>
4.2.1	Weltdaten zur Kernenergie . . . . .	355
4.2.1.1	Neubewertung der Kernenergie . . . . .	356
4.2.1.2	Prognose der Internationalen Energie-Agentur . . . . .	357
4.2.1.3	15. Weltenergiekongreß . . . . .	359
4.2.2	Europäische Union . . . . .	360
4.2.2.1	Belgien . . . . .	361
4.2.2.2	Finnland . . . . .	362
4.2.2.3	Frankreich . . . . .	363
4.2.2.4	Großbritannien . . . . .	363
4.2.2.5	Italien . . . . .	364
4.2.2.6	Niederlande . . . . .	364
4.2.2.7	Schweden . . . . .	365
4.2.2.8	Spanien . . . . .	367
4.2.2.9	Übrige EU-Staaten . . . . .	368
4.2.3	Bundesrepublik Deutschland . . . . .	368
4.2.3.1	Kernenergiestatus der Bundesrepublik Deutschland . . . . .	368
4.2.3.2	Kernenergieausbaupläne in Deutschland . . . . .	369

4.2.4	Schweiz . . . . .	374
4.2.4.1	Politik . . . . .	374
4.2.4.2	Nukleare Forschung . . . . .	378
4.2.4.3	Kernkraftwerke . . . . .	379
4.2.4.4	Elektrizitätsbedarf und -Produktion . . . . .	381
4.2.4.5	Fernwärme . . . . .	383
4.2.4.6	Entsorgung – Projekt Zentrales Zwischenlager . . . . .	383
4.2.4.7	Entsorgung – Endlagerung . . . . .	384
4.2.5	Vereinigte Staaten und Japan . . . . .	385
4.2.5.1	Vereinigte Staaten von Amerika . . . . .	385
4.2.5.2	Japan . . . . .	388
4.2.6	Schwellen- und Entwicklungsländer . . . . .	389
<b>4.3</b>	<b>Kernenergie: Kosten und Wettbewerbsfähigkeit</b>	<b>390</b>
4.3.1	Allgemeines zur Wettbewerbsfähigkeit der Kernenergie . . . . .	390
4.3.2	Berechnung der Stromerzeugungskosten . . . . .	397
4.3.3	Kosten- und Wettbewerbslage der Kernenergie . . . . .	399
4.3.3.1	Bestehende Kraftwerke . . . . .	400
4.3.3.2	Neue Kraftwerke . . . . .	401
4.3.4	Stromerzeugungskosten im Ausland . . . . .	405
4.3.5	Kritische Anmerkungen und Schlußbetrachtung . . . . .	407
4.3.6	Externe Kosten der Energieversorgung . . . . .	409
<b>4.4</b>	<b>Die Nuklearindustrie</b>	<b>411</b>
4.4.1	Weltweite Betrachtung der Nuklearindustrie . . . . .	411
4.4.2	Die Kernkraftwirtschaft in Deutschland . . . . .	412
4.4.3	Die Kernkraftwirtschaft in den USA . . . . .	416
4.4.4	Die Kernkraftwirtschaft in Frankreich . . . . .	418
4.4.5	Die Kernkraftwirtschaft in Japan . . . . .	420
4.4.6	Die Kernkraftwirtschaft in Rußland . . . . .	421
4.4.7	Die Kernkraftwirtschaft in Großbritannien . . . . .	422
<b>4.5</b>	<b>Staatliche Aufwendungen für die Kernenergieforschung</b>	<b>423</b>
4.5.1	Reaktorförderung der Bundesregierung . . . . .	423
4.5.1.1	Die staatlichen Kernenergie-Förderprogramme . . . . .	423
4.5.1.2	Umlage der staatlichen Förderung auf die Stromproduktion . . . . .	423
4.5.1.3	Staatliche Förderung bei unterschiedlichen technologischen Reifegraden . . . . .	424
4.5.1.4	Die staatliche Energieforschung der IEA-Länder . . . . .	425
4.5.1.5	Die staatliche Förderung in einem sich erweiternden Markt . . . . .	426
4.5.2	Reaktorentwicklung: Aspekte internationaler Kooperation . . . . .	426
4.5.2.1	Die Anteile der Mitgliedstaaten an den Energie-F&E-Ausgaben der EU . . . . .	427
4.5.2.2	Die Brüterentwicklung als Beispiel internationaler Kooperation . . . . .	429
4.5.2.3	Fusion als Beispiel internationaler Kooperation . . . . .	429
4.5.2.4	Die Bedeutung von EURATOM für die Kernenergieentwicklung . . . . .	430
4.5.2.5	Die Rollen von IAEO und OECD . . . . .	432

<b>4.6</b>	<b>Nukleare Wärme</b>	<b>433</b>
4.6.1	Einführung . . . . .	433
4.6.2	Nuklearstrom im Wärmemarkt . . . . .	433
4.6.2.1	Raumwärme . . . . .	433
4.6.2.2	Übriger Wärmemarkt . . . . .	435
4.6.2.3	Das Beispiel Schweden . . . . .	436
4.6.3	Fernwärme und Prozeßdampf aus Kernkraftwerken . . . . .	436
4.6.3.1	Nukleare Heizwerke . . . . .	437
4.6.3.2	Nukleare Kraft-Wärme-Kopplung . . . . .	438
4.6.3.3	Verbrauchernahe Errichtung, Evakuierungsausschluß . . . . .	439
4.6.3.4	Markt . . . . .	441
4.6.3.5	Prozeßdampf für industrielle Zwecke . . . . .	442
4.6.3.6	Nuklearwärme für Industrielle Prozesse bis 500°C . . . . .	443
4.6.4	Prozeßdampf für Meerwasserentsalzung und Ölgewinnung . . . . .	443
4.6.4.1	Meerwasserentsalzung . . . . .	443
4.6.4.2	Ölgewinnung . . . . .	444
4.6.5	Nuklearwärme für Industrielle Prozesse bis 900°C . . . . .	446
4.6.5.1	Wärmeerzeugung und -auskopplung . . . . .	446
4.6.5.2	Direkte Heizung; Aluminiumoxid-Herstellung . . . . .	446
4.6.5.3	Umwandlung fossiler Brennstoffe . . . . .	447
4.6.5.4	Nutzung der erzeugten Produkte . . . . .	450
4.6.5.5	Auswirkung auf industrielle Strukturen . . . . .	456
4.6.6	Wasserspaltung mit Nuklearwärme . . . . .	456
4.6.7	Nuklearwärme für die Lösung der Weltprobleme . . . . .	459
<b>4.7</b>	<b>Ergänzende Literatur zu Kapitel 4</b>	<b>461</b>
<b>5</b>	<b>Der nukleare Brennstoffkreislauf</b>	<b>465</b>
<b>5.1</b>	<b>Brennstoffkreislauf, Übersicht</b>	<b>465</b>
<b>5.2</b>	<b>Die Versorgung mit Natururan</b>	<b>469</b>
5.2.1	Der Uranbedarf . . . . .	469
5.2.1.1	Reaktortypen und spezifischer Uranbedarf . . . . .	469
5.2.1.2	Ausbau globaler Kernkraftkapazitäten . . . . .	471
5.2.1.3	Zukünftiger Uranbedarf . . . . .	472
5.2.2	Die Deckung des Uranbedarfs . . . . .	473
5.2.2.1	Uranreserven . . . . .	473
5.2.2.2	Verfügbarkeit der vorhandenen Reserven . . . . .	482
5.2.2.3	Uransektor: deutsche Bergwerksgesellschaften . . . . .	484
5.2.2.4	Rückblick auf Marktentwicklung und Produktion . . . . .	485
5.2.2.5	Ostblock und westlicher Natururanmarkt . . . . .	490
5.2.2.6	Aktuelle Marktsituation und Ausblick . . . . .	494

<b>5.3</b>	<b>Die Urananreicherung</b>	<b>496</b>
5.3.1	Grundbegriffe . . . . .	496
5.3.2	Anreicherungsverfahren . . . . .	498
5.3.2.1	Die Gasdiffusion . . . . .	499
5.3.2.2	Die Gaszentrifuge . . . . .	500
5.3.2.3	Laserverfahren . . . . .	502
5.3.2.4	Vergleich der Verfahren . . . . .	505
5.3.2.5	Sonstige Verfahren . . . . .	508
5.3.3	Der Bedarf an Trennarbeit . . . . .	509
5.3.4	Anreicherungs-Anlagen und Projekte . . . . .	509
5.3.4.1	Die US-amerikanischen Anlagen . . . . .	509
5.3.4.2	Urenco . . . . .	511
5.3.4.3	Eurodif . . . . .	512
5.3.4.4	Die Anreicherungsanlagen in Rußland . . . . .	513
5.3.4.5	Anreicherungsanlagen in Japan . . . . .	513
5.3.4.6	Projekte . . . . .	514
5.3.4.7	Entwicklung weltweiter Anreicherungs-kapazität . . . . .	514
5.3.5	Trennarbeitsmarkt . . . . .	515
5.3.5.1	Entwicklung der Lieferbedingungen . . . . .	516
5.3.5.2	Marktsituation Anfang der 90er Jahre . . . . .	517
<b>5.4</b>	<b>Brennelemente für Leichtwasserreaktoren</b>	<b>519</b>
5.4.1	Das Brennelement als nukleare Wärmequelle des Reaktorkerns . . . . .	519
5.4.2	Auslegung der Brennelemente . . . . .	519
5.4.3	Beschreibung und Funktion der Brennelemente . . . . .	520
5.4.3.1	DWR-Brennelement-Struktur . . . . .	520
5.4.3.2	SWR-Brennelement-Struktur . . . . .	521
5.4.3.3	Brennelement-Komponenten . . . . .	522
5.4.4	Fertigung von Uran-Brennelementen . . . . .	523
5.4.5	Fertigung von MOX-Brennelementen . . . . .	525
5.4.6	Qualitätssicherungssystem . . . . .	527
5.4.7	Brennelement-Service . . . . .	528
5.4.8	Der Markt für Brennelemente . . . . .	529
<b>5.5</b>	<b>Entsorgung</b>	<b>530</b>
5.5.1	Entsorgung als Teil des Kernkraftwerksbetriebes . . . . .	530
5.5.1.1	Entsorgungsvorsorge . . . . .	530
5.5.1.2	Entsorgungswege . . . . .	531
5.5.2	Entsorgung der Kernkraftwerke in Deutschland . . . . .	532
5.5.2.1	Energiekonsens in Deutschland . . . . .	532
5.5.2.2	Entsorgungskonzepte . . . . .	533
5.5.3	Zwischenlagerung ausgedienter Brennelemente . . . . .	535
5.5.4	Wiederaufarbeitung als klassische Form der Entsorgung . . . . .	537
5.5.4.1	Plutonium-Rezyklierung . . . . .	537
5.5.4.2	Zusammensetzung von ausgedienten Brennelementen . . . . .	538
5.5.4.3	Internationale Kontrolle . . . . .	538



5.5.4.4	Zivile Wiederaufarbeitung . . . . .	539
5.5.5	Direkte Endlagerung als ein weiterer Entsorgungsweg . . . . .	541
5.5.5.1	Entwicklung der Technologie . . . . .	541
5.5.6	Entsorgung von Betriebsabfällen und Stilllegung von Kernkraftwerken . . . . .	543
5.5.6.1	Betriebsabfälle . . . . .	543
5.5.6.2	Stilllegung . . . . .	544
5.5.7	Endlagerung . . . . .	544
5.5.7.1	Grundsätze in Deutschland . . . . .	544
5.5.7.2	Endlagerung im Salz . . . . .	545
5.5.7.3	Das Erkundungsbergwerk Gorleben . . . . .	545
5.5.7.4	Die Schachanlage Konrad . . . . .	547
5.5.7.5	ERAM – Endlager Morsleben . . . . .	547
5.5.7.6	Endlagerkonzepte im Ausland . . . . .	547
<b>5.6</b>	<b>Plutonium</b>	<b>548</b>
<b>5.7</b>	<b>Ergänzende Literatur zu Kapitel 5</b>	<b>556</b>
<b>6</b>	<b>Sicherheit und Genehmigungsverfahren</b>	<b>559</b>
<b>6.1</b>	<b>Strahlenexposition und Strahlenwirkung</b>	<b>559</b>
6.1.1	Grundbegriffe des Strahlenschutzes . . . . .	559
6.1.2	Strahlenexposition . . . . .	563
6.1.2.1	Strahlenexposition aus natürlichen Quellen . . . . .	563
6.1.2.2	Strahlenexposition, zivilisatorische Quellen . . . . .	566
6.1.3	Biologische Wirkungen beim Menschen . . . . .	567
6.1.3.1	Die Wirkungskette für ionisierende Strahlung . . . . .	567
6.1.3.2	Frühschäden (akute Schäden) . . . . .	569
6.1.3.3	Spätschäden . . . . .	571
6.1.3.4	Das kollektive Krebs- und Leukämierisiko . . . . .	573
6.1.3.5	Genetische Strahlenwirkungen . . . . .	576
6.1.3.6	Abwehr von Strahlenschäden . . . . .	579
6.1.4	Strahlenschutz und Berechnung der Strahlenexposition . . . . .	584
6.1.4.1	Strahlenschutzvorschriften . . . . .	584
6.1.4.2	Berechnung der Strahlenexposition . . . . .	589
6.1.5	Kerntechnik und Gesundheitsrisiko . . . . .	594
6.1.5.1	Strahlenexposition, bestimmungsgemäßer Betrieb . . . . .	594
6.1.5.2	Die Diskussion um Sellafield . . . . .	595
6.1.5.3	Die Folgen des Unfalls von Tschernobyl . . . . .	597
<b>6.2</b>	<b>Reaktorsicherheit</b>	<b>603</b>
6.2.1	Sicherheitsphilosophie und Sicherheitstechnik . . . . .	603
6.2.1.1	Das Gefährdungspotential . . . . .	603
6.2.1.2	Die Sicherheitskonzeption . . . . .	604
6.2.1.3	Erfordernisse des Strahlenschutzes . . . . .	606
6.2.1.4	Die Sicherheitsbarrieren . . . . .	606
6.2.1.5	Redundanz, Diversität, räumliche Trennung . . . . .	608

6.2.2	Wichtige Reaktorsicherheitssysteme . . . . .	609
6.2.3	Störfälle . . . . .	612
6.2.3.1	Auslegungs-Störfälle . . . . .	612
6.2.3.2	Einwirkungen von außen . . . . .	613
6.2.3.3	Ausgewählte Störfallabläufe . . . . .	615
6.2.3.4	Sicherheitsrelevante Vorkommnisse . . . . .	619
6.2.4	Unfallabläufe mit geringer Eintrittswahrscheinlichkeit . . . . .	625
6.2.4.1	Beschreibung eines Kernschmelzunfalls . . . . .	625
6.2.4.2	Der Störfall im Kernkraftwerk TMI-2 . . . . .	626
6.2.4.3	Der Unfall von Tschernobyl . . . . .	631
6.2.4.4	Anlageninterner Notfallschutz in LWR . . . . .	645
6.2.5	Anforderungen an zukünftige Reaktorsysteme . . . . .	647
6.2.6	Risikoanalysen/Probabilistische Sicherheitsanalysen . . . . .	649
6.2.6.1	Zielsetzung von Risikoanalysen . . . . .	649
6.2.6.2	Probabilistische Sicherheitsanalyse . . . . .	650
6.2.6.3	Deutsche Risikostudie KKW, Phase B . . . . .	652
6.2.6.4	Unsicherheit der Ergebnisse . . . . .	664
6.2.7	Reaktorsicherheitsforschung . . . . .	666
6.2.7.1	Forschungsprogramme . . . . .	666
6.2.7.2	Das HDR-Forschungsprogramm . . . . .	667
6.2.7.3	Finanzierung der Reaktorsicherheitsforschung . . . . .	669
<b>6.3</b>	<b>Genehmigungsverfahren</b>	<b>670</b>
6.3.1	Grundlagen . . . . .	670
6.3.1.1	Atomenergierecht . . . . .	670
6.3.1.2	Schutzziele . . . . .	673
6.3.1.3	Novellierungsbestrebungen . . . . .	674
6.3.2	Genehmigungsablauf . . . . .	675
6.3.2.1	Verfahren . . . . .	675
6.3.2.2	Weisungsrecht des Bundes . . . . .	676
6.3.2.3	Bundesumweltministerium . . . . .	677
6.3.2.4	Genehmigungsablauf für Kernkraftwerke . . . . .	677
6.3.2.5	Teilgenehmigungspraxis . . . . .	678
6.3.2.6	Frühe Beteiligung der Öffentlichkeit . . . . .	679
6.3.2.7	Genehmigungsform und -inhalt . . . . .	681
6.3.2.8	Beschleunigung der Genehmigungsverfahren . . . . .	681
6.3.3	Kernenergie und Rechtsschutz . . . . .	682
6.3.3.1	Rechtsschutz . . . . .	682
6.3.3.2	Aufschiebende Wirkung . . . . .	684
6.3.3.3	Adressat einer Klage . . . . .	685
6.3.3.4	Selbstbetroffenheit . . . . .	685
6.3.3.5	Strahlenminimierungsgebot . . . . .	686
6.3.3.6	Gefahrenabwehr und Risikoabwehr . . . . .	687
6.3.3.7	Verfahrensverstöß . . . . .	687
6.3.3.8	Klagebefugnis: Gemeinden, Verbände . . . . .	688
6.3.3.9	Rechte von Ausländern . . . . .	688

6.3.3.10	Gerichtliche Überprüfbarkeit . . . . .	688
6.3.4	Ausgewählte Rechtsfragen der Entsorgung . . . . .	689
6.3.4.1	Integriertes Entsorgungszentrum . . . . .	689
6.3.4.2	Entsorgungsvorsorge . . . . .	690
6.3.4.3	Entsorgungsjunktum? . . . . .	690
6.3.4.4	Modifiziertes Entsorgungsvorsorgekonzept . . . . .	691
6.3.4.5	Private Zwischenlager: Zulässigkeit . . . . .	691
6.3.4.6	Anlagenintegrierte Zwischenlagerung . . . . .	691
6.3.4.7	Genehmigung externer Zwischenlagerung . . . . .	692
6.3.4.8	Genehmigung für staatliche Endlager . . . . .	692
6.3.4.9	Rückgewonnene Produkte: Verwertungsnachweis . . . . .	693
6.3.5	Zusammenfassende Würdigung . . . . .	693
<b>6.4</b>	<b>Haftung und Versicherung</b>	<b>694</b>
6.4.1	Haftung für Drittschäden und Deckungsvorsorge . . . . .	694
6.4.2	Internationaler Rechtsvergleich . . . . .	695
6.4.3	Rechtsfolgen des Reaktorunfalls in Tschernobyl . . . . .	697
6.4.4	Die internationalen Übereinkommen . . . . .	698
6.4.5	Die Versicherungswirtschaft . . . . .	699
<b>6.5</b>	<b>Ergänzende Literatur zu Kapitel 6</b>	<b>702</b>
<b>7</b>	<b>Umwelt und Akzeptanz</b>	<b>705</b>
<b>7.1</b>	<b>Umweltbelastungen: herkömmliche und nukleare Stromerzeugung</b>	<b>705</b>
7.1.1	Emissionen und Immissionen herkömmlicher Wärmekraftwerke . . . . .	705
7.1.2	Sondergutachten »Energie und Umwelt« (1981) . . . . .	709
7.1.3	Wirkungen auf Ökosysteme, Gesundheitsrisiken und Gebäudeschäden . . . . .	710
7.1.3.1	Auswirkungen saurer Niederschläge auf Ökosysteme . . . . .	710
7.1.3.2	Waldschäden . . . . .	711
7.1.3.3	Gesundheitsrisiken . . . . .	713
7.1.3.4	Schäden an Gebäuden und Materialien . . . . .	714
7.1.4	Umweltrechtsreform . . . . .	715
7.1.4.1	Novellierungen der TA Luft 1983 und 1986 . . . . .	715
7.1.4.2	Großfeuerungsanlagen-Verordnung (GFAVO) . . . . .	716
7.1.4.3	Umweltsituation in den neuen Bundesländern . . . . .	720
7.1.5	Bewertender Vergleich der Schadstoffbelastungen . . . . .	720
7.1.5.1	Emissionen/Immissionen/Wirkungen chemischer Stoffe . . . . .	721
7.1.5.2	Emissionen/Immissionen/Wirkungen radioaktiver Stoffe . . . . .	723
<b>7.2</b>	<b>Globale Energie- und CO<sub>2</sub>-Szenarien</b>	<b>724</b>
7.2.1	Einleitung . . . . .	724
7.2.2	Konzeption und Grundannahmen der Szenarien . . . . .	725
7.2.3	Primärenergieverbrauch und Energieträgerstruktur . . . . .	726
7.2.4	CO <sub>2</sub> -Emission . . . . .	729

<b>7.3</b>	<b>Kernenergie und Klima</b>	<b>731</b>
7.3.1	Der Treibhauseffekt – Wissensstand – Folgewirkungen . . . . .	731
7.3.2	Globaler Horizont und weltweite Aktionspläne . . . . .	733
7.3.2.1	Die in Rio verabschiedete weltweite Klimakonvention . . . . .	733
7.3.2.2	Engagements zur Begrenzung der Emissionen klimawirksamer Spurengase . . . . .	736
7.3.3	Reduktionsmittel und -wege . . . . .	737
7.3.4	Aktueller Stand der nationalen CO <sub>2</sub> -Reduktionspolitik . . . . .	737
7.3.4.1	Die Hauptanliegen der deutschen Energie- und Umweltpolitik . . . . .	737
7.3.4.2	Erhaltung des Klimas im Widerstreit mit anderen politischen Anliegen . . . . .	738
7.3.4.3	Eine nationale Klimapolitik als umfassendes Anliegen . . . . .	738
7.3.4.4	Das nationale Engagement einer Reduktion der CO <sub>2</sub> -Emissionen . . . . .	740
7.3.4.5	Steuer auf Energieverbrauch und/oder CO <sub>2</sub> -Emissionen . . . . .	740
7.3.4.6	Verkehr und Klima – Umstrukturierung der Verkehrswirtschaft . . . . .	742
7.3.5	Die Problembereiche einer Emissionsverminderungspolitik . . . . .	743
7.3.5.1	Energiesparen – Rationellere Energieverwendung . . . . .	743
7.3.5.2	Umstellung von CO <sub>2</sub> -intensiven auf CO <sub>2</sub> -schwache fossile Energieträger . . . . .	744
7.3.5.3	Die Zukünftige Rolle der Erneuerbaren . . . . .	747
7.3.5.4	Kernenergie ja oder nein . . . . .	748
<b>7.4</b>	<b>Perzeption, Akzeptanz und Akzeptabilität der Kernenergie</b>	<b>752</b>
7.4.1	Die zentrale Stellung der Risikoproblematik in modernen Gesellschaften . . . . .	752
7.4.2	Die intuitive Erfassung und Bewertung von Risiken . . . . .	754
7.4.3	Die soziale und kulturelle Sprengkraft des Themas Kernenergie . . . . .	756
7.4.4	Die aktuelle Einstellung der deutschen Bevölkerung zur Kernenergie . . . . .	759
7.4.5	Die Akteure im Konflikt um Kernenergie . . . . .	760
7.4.6	Die Rolle der Medien als soziale Verstärker des Konfliktes . . . . .	764
7.4.7	Die öffentliche Meinung in der nuklearen Arena . . . . .	766
7.4.8	Von der Akzeptanz zur Akzeptabilität . . . . .	769
7.4.9	Der kooperative Diskurs: Modell für den Energiekonsens? . . . . .	772
7.4.10	Schlußfolgerungen zur Akzeptanzfrage . . . . .	775
<b>7.5</b>	<b>Die Kernenergiekontroverse in Deutschland</b>	<b>777</b>
7.5.1	Ursprung der Kernenergiekritik . . . . .	777
7.5.2	Themen und Ausdrucksformen der Kontroverse bis 1982 . . . . .	779
7.5.3	Die politischen Parteien in der Nuklearkontroverse bis 1982 . . . . .	782
7.5.3.1	Die Enquete-Kommission »zukünftige Kernenergiepolitik« . . . . .	790
7.5.3.2	Die Energiedebatten des Bundestages . . . . .	791
7.5.3.3	Meinungsumfragen . . . . .	792
7.5.4	Die »Normalisierung«: 1982 bis 1986 . . . . .	793
7.5.4.1	Entsorgung wird Schwerpunkt der Kontroverse . . . . .	795
7.5.4.2	Parteien, Gewerkschaften, Kirchen . . . . .	797
7.5.5	Nach Tschernobyl . . . . .	798
7.5.5.1	Die Haltung der Parteien . . . . .	800
7.5.5.2	Die Haltung der Gewerkschaften . . . . .	801
7.5.5.3	Meinungsumfragen . . . . .	802
7.5.5.4	Weiter Streit um die Entsorgung . . . . .	803

7.5.5.5	Die Bemühungen um einen Energiekonsens . . . . .	803
7.5.5.6	Letzte Bemühungen um einen Konsens . . . . .	805
7.5.6	SPD-Länder gegen den Bund . . . . .	806
7.5.7	Gerichtsverfahren, Verfassungsbeschwerden und Volksbegehren . . . . .	811
7.5.7.1	Gerichtsurteile . . . . .	811
7.5.7.2	Verfassungsbeschwerden . . . . .	814
7.5.7.3	Volksbegehren . . . . .	815
<b>7.6</b>	<b>Ein Atomstaat?</b>	<b>815</b>
7.6.1	Die Bombe . . . . .	816
7.6.2	Sabotage . . . . .	821
7.6.3	Terrorismus . . . . .	823
7.6.4	Abwehrmaßnahmen . . . . .	824
7.6.5	Kernenergieanlagen und kriegerische Auseinandersetzungen . . . . .	829
7.6.6	Ausblick: zukünftige Kernenergienutzung . . . . .	831
<b>7.7</b>	<b>Ergänzende Literatur zu Kapitel 7</b>	<b>833</b>
<b>8</b>	<b>Internationale Nichtverbreitungspolitik</b>	<b>837</b>
<b>8.1</b>	<b>Atoms for Peace!</b>	<b>838</b>
8.1.1	Der Lilienthal-Baruch-Plan . . . . .	838
8.1.2	Die Eisenhower-Botschaft . . . . .	838
8.1.3	EURATOM . . . . .	840
<b>8.2</b>	<b>Der Atomwaffensperrvertrag</b>	<b>842</b>
8.2.1	Das Verbot der Verbreitung von Kernwaffen . . . . .	842
8.2.2	Die Überprüfung des Vertrages . . . . .	846
8.2.2.1	Erste Überprüfungskonferenz . . . . .	846
8.2.2.2	Zweite Überprüfungskonferenz . . . . .	847
8.2.2.3	Dritte Überprüfungskonferenz . . . . .	848
8.2.2.4	Vierte Überprüfungskonferenz . . . . .	849
8.2.2.5	Verlängerung des Atomwaffensperrvertrages . . . . .	850
8.2.3	Kontrollen und Verifikationen . . . . .	853
<b>8.3</b>	<b>Krisen der internationalen Nuklearpolitik</b>	<b>855</b>
8.3.1	Die indische Bombe und ihre unmittelbaren Folgen . . . . .	856
8.3.2	Der Suppliers Club . . . . .	858
8.3.3	Uranexportrestriktionen von Kanada und Australien . . . . .	861
8.3.4	Der US Nuclear Non-Proliferation Act von 1978 . . . . .	862
8.3.5	Die Kritik der Abnehmerländer . . . . .	863
8.3.6	INFCE . . . . .	866
8.3.7	Internationale Nichtverbreitungspolitik in den 80er Jahren . . . . .	868
8.3.7.1	Die Haltung der amerikanischen Regierung . . . . .	869
8.3.7.2	Die europäischen Interessen . . . . .	871
8.3.7.3	Stagnation der Kernenergie . . . . .	873
8.3.7.4	Proliferation von Kernwaffen . . . . .	874

8.3.8	Der Fall Irak . . . . .	875
8.3.8.1	Situation in Tuwaitha . . . . .	876
8.3.8.2	Irakische Nuklearwaffen-Aktivitäten . . . . .	876
8.3.8.3	Schwachstellen des Nichtverbreitungsregimes . . . . .	877
8.3.8.4	Zusammenarbeit von UNO und IAEA . . . . .	878
8.3.9	Der Fall Nordkorea . . . . .	879
8.3.9.1	Ein verdächtiges Nuklearprogramm . . . . .	879
8.3.9.2	Vorläufige Beilegung des Konflikts . . . . .	880
8.3.9.3	Grenzen des Multilateralismus . . . . .	881
8.3.10	Die Auflösung der Sowjetunion . . . . .	882
8.3.10.1	Ende des Ost-West-Konfliktes . . . . .	882
8.3.10.2	Zerfall der staatlichen Autorität . . . . .	884
8.3.10.3	Die nukleare Erbfolge Rußlands . . . . .	884
<b>8.4</b>	<b>Ausblick: Zukunft der Nuklearpolitik</b>	<b>885</b>
<b>8.5</b>	<b>Ergänzende Literatur zu Kapitel 8</b>	<b>888</b>
	<b>Anhänge</b>	<b>891</b>
	Anhang A: Fachzeitschriften . . . . .	891
	Anhang B: Lexika und Nachschlagewerke . . . . .	892
	<b>Verzeichnis der Abbildungen</b>	<b>893</b>
	<b>Verzeichnis der Tabellen</b>	<b>897</b>
	<b>Verzeichnis der Abkürzungen</b>	<b>903</b>
	<b>Namensverzeichnis</b>	<b>911</b>
	<b>Sachverzeichnis</b>	<b>919</b>