

Zur friedlichen Nutzung der Kernenergie

A

In.-Nr. 4746



Bibliothek
d. Fachbereichs B der
Technischen Hochschule
Darmstadt

Eine Dokumentation der E.

BCM TU Darmstadt



50017680

INHALTSVERZEICHNIS

I	Energiebedarf	13
1	Die Entwicklung des Weltenergieverbrauchs	13
2	Die Entwicklung des Energieverbrauchs in der Bundesrepublik Deutschland ..	13
2.1	Primärenergieverbrauch	13
2.2	Haushalt und Kleinverbrauch	15
2.3	Industrie	16
2.4	Verkehr	17
2.5	Elektrizitätsverbrauch und Bedarf an Kernenergie	17
3	Sparsame und rationelle Energieverwendung	19
3.1	Die Notwendigkeit der sparsamen und rationellen Energieverwendung	19
3.2	Der Energiesektor	19
3.3	Die wesentlichsten Vorschläge	20
II	Alternativen zur Kernenergie – Herkömmliche und zukünftige Energiequellen	23
1	Feste Brennstoffe	23
1.1	Ressourcen	23
1.2	Technische Verfügbarkeit	26
1.3	Umweltbelastungen	27
1.4	Kohletechnologie-Entwicklung	29
2	Flüssige und gasförmige Brennstoffe	34
2.1	Ressourcen	34
2.2	Verfügbarkeit	36
2.3	Umweltbelastungen	39
3	Müll als Energiequelle	42
3.1	Müllaufkommen und energetische Bedeutung	42
3.2	Müllverbrennung	42
3.3	Energetische Bilanz	42
3.4	Betriebswirtschaftliche Wertung	44
4	Kernfusion	45
4.1	Grundlagen	45
4.2	Brennstoffversorgung	48
4.3	Umweltbelastung und Sicherheit	48
4.4	Stromkosten	50
4.5	Technische Verfügbarkeit	50
5	Solare Strahlungsenergie	52
5.1	Darbietung und theoretisches Potential	52
5.2	Terrestrische solarthermische Nutzung	53
5.3	Terrestrische fotoelektrische Nutzung	59
5.4	Orbitale Nutzung	62
5.5	Biologische und chemische Nutzung solarer Strahlung	63

II	6	Windenergie	66
	6.1	Physikalische Grundlagen	66
	6.2	Windenergiekonverter	66
	6.3	Nutzungsaspekte	69
	7	Meeresenergien	70
	7.1	Wellenenergie	70
	7.2	Gezeitenenergie	71
	7.3	Nutzung der Meeresströmung und Meereswärme	73
	8	Geothermische Energie	74
	8.1	Physikalische Grundlagen	74
	8.2	Nutzungssysteme	75
	8.3	Umwelteffekte	77
	8.4	Kosten	78
	9	Wasserenergien	79
	9.1	Laufwasserenergie	79
	9.2	Gletscherenergie	82
III		Kernreaktoren, Brennstoff und Entsorgung	84
III a		Leichtwasserreaktor-Kernkraftwerke	84
	1	Physikalisch-technische Grundlagen	84
	1.1	Physik der Kernspaltung	84
	1.2	Technologie der LWR	86
	2	Beschreibung des Kernkraftwerks Biblis A (Druckwasser-Reaktor)	88
	2.1	Übersicht	88
	2.2	Reaktorkern und Instrumentierung	89
	2.3	Brennelemente und Steuerelemente	90
	2.4	Reaktordruckbehälter und Kerngerüst	92
	2.5	Primärkreiskomponenten	93
	2.6	Reaktorhilfs- und Nebenanlagen	98
	2.7	Gebäude des nuklearen Bereichs	99
	2.8	Dampf-Speisewasserkreis	101
	2.9	Auslegung der Kühleinrichtungen	103
	2.10	Elektrotechnische Anlagen, Notstromversorgung	105
	3	Beschreibung des Kernkraftwerks Brunsbüttel (Siedewasser-Reaktor)	106
	3.1	Übersicht	106
	3.2	Reaktorkern und Instrumentierung	106
	3.3	Brennelemente und Steuerelemente	108
	3.4	Reaktordruckbehälter und Kerngerüst	110
	3.5	Primärkreiskomponenten	112
	3.6	Reaktorhilfs- und Nebenanlagen	113
	3.7	Gebäude des nuklearen Bereichs	115
	3.8	Dampf-Speisewasserkreis	116
	3.9	Auslegung der Kühleinrichtungen	117
	3.10	Elektrotechnische Anlagen, Notstromversorgung	118

III b	Andere Reaktorkonzepte und -Typen	119
	1 Schnelle Brutreaktoren (SBR)	119
	1.1 Energieversorgungssicherheit durch sparsame Rohstoffausnutzung	119
	1.2 Entwicklungsstand der Schnellen Brüter	121
	1.3 Kurzübersicht über die Technik Schneller Brüter	122
	1.4 Sicherheit Schneller natriumgekühlter Brüter	123
	1.5 Brennstoffzyklus Schneller Reaktoren	125
	1.6 Wirtschaftlichkeit	126
	2 Hochtemperatur-Reaktoren (HTR)	128
	2.1 Der Hochtemperaturreaktor als alternatives Reaktorkonzept	128
	2.2 Der Reaktorkern	130
	2.3 HTR-Anlagen zur Stromerzeugung	132
	2.4 Sicherheitsmerkmale von Hochtemperaturreaktoren	137
	2.5 Der Brennstoffkreislauf des HTR	138
	2.6 Der Einsatz des HTR für Hochtemperaturprozesse	139
	3 Schiffsreaktoren	143
	4 Weitere Reaktorkonzepte und -Typen	147
	4.1 Entwicklung der übrigen Reaktorkonzepte	147
	4.2 Schwerwasserreaktoren	148
	4.3 Kohlendioxid/Graphit-Reaktoren	150
III c	Kernbrennstoffe	151
	1 Uran-Vorkommen	151
	1.1 Lagerstätten-Typen	151
	1.2 Verbreitung der Uranvorkommen	152
	2 Uranversorgung	155
	2.1 Die ersten beiden Atomprogramme (1957-1967)	155
	2.2 Das dritte Atomprogramm (1968-1972)	155
	2.3 Das vierte Atomprogramm (1973-1976)	156
	3 Uranerzbergbau und Aufbereitung	159
	3.1 Uranerzbergbau	159
	3.2 Uranerzaufbereitung	160
	4 Urananreicherung	162
	4.1 Trennarbeitsbedarf	162
	4.2 Anreicherungsverfahren	162
	4.3 Bestehende und geplante Anreicherungsanlagen	164
	5 Brennelementfertigung	167
	5.1 Brennelemente mit angereichertem Uran als Kernbrennstoff	167
	5.2 Brennelemente mit U, Pu-Mischoxid	170
III d	Entsorgung und Stilllegung	173
	1 Transport von Kernbrennstoff	173
	1.1 Art und Umfang der Transporte	174
	1.2 Vorschriften	174
	1.3 Anforderungen an die Behälter	173
	1.4 Verantwortlichkeiten und Erfahrungen beim Transport	176

III d	2 Wiederaufarbeitung bestrahlter Brennelemente	178
	2.1 Alternativen der Behandlung abgebrannter Brennelemente	178
	2.2 Stand der Wiederaufarbeitungstechnik-Erfahrungen im Ausland und in der Bundesrepublik Deutschland	179
	2.3 Wiederaufarbeitungssituation in der Bundesrepublik Deutschland - Verfahrensauswahl für die Wiederaufarbeitung	180
	2.4 Der Wiederaufarbeitungsprozeß	182
	2.5 Sicherheit der Wiederaufarbeitung	185
	3 Behandlung radioaktiver Abfälle (Konditionierung) und Zwischenlagerung	187
	3.1 Abfallarten und Abfallmengen	187
	3.2 Ziele der Abfallbehandlung	187
	3.3 Verfahren zur Behandlung von schwach- und mittelaktiven Abfällen	188
	3.4 Zukünftige Tendenzen bei der Abfallbehandlung von LAW und MAW	190
	3.5 Behandlung hochaktiver Abfälle	191
	3.6 Zwischenlagerung verfestigter hochaktiver Abfälle	192
	4 Stilllegung und Beseitigung von Kernkraftwerken	194
	4.1 Die Lebensdauer von Kernkraftwerken	194
	4.2 Radioaktivität in einem abgeschalteten Kernkraftwerk	194
	4.3 Vorgehensweise bei Stilllegung und Beseitigung eines Kernkraftwerks	194
	5 Endlagerung radioaktiver Abfälle	196
	5.1 Möglichkeiten der Endlagerung von radioaktiven Abfällen	196
	5.2 Endlagerung in Salzformationen am Beispiel des Versuchsendlagers Asse II	197
	5.3 Endlagerung schwachaktiver Abfälle	200
	5.4 Endlagerung mittelaktiver Abfälle	206
	5.5 Einlagerung von AVR-Brennelementen	211
	5.6 Endlagerung hochaktiver Abfälle	214
	5.7 Umwelteffekte und Störfälle	217
	5.8 Kosten der Endlagerung schwach- und mittelaktiver Abfälle	220
	5.9 Forschung und Entwicklung in der Schachanlage Asse	221
	5.10 Untersuchungen über Endlagermöglichkeiten spezieller Abfälle	222
	5.11 Erfahrungen aus dem Betrieb der Versuchsanlage Asse für die Konzipierung von Endlagern	223
IV	Kernenergie und Umwelt	225
IV a	Strahlenwirkung und Strahlenschutz	225
	1 Strahlenbiologie	225
	1.1 Kernenergie und Strahlung	225
	1.2 Erkenntnisgrundlagen der Radiobiologie	225
	1.3 Die Strahlendosis	230
	1.4 Aufnahme und Verteilung radioaktiver Stoffe in den Körper	231
	1.5 Radiobiologie der wichtigsten Radionuklide	235
	1.6 Vergleich der Strahlenbelastung aus künstlich und natürlich radioaktiven Stoffen	242
	1.7 Strahlendosis und Strahlenrisiko	243
	1.8 Strahlenkrebsrisiko	245
	1.9 Das genetische Strahlenrisiko	245
	1.10 Das Risiko bei der Bestrahlung schwangerer Frauen	246
	2 Empfehlungen, Normen und gesetzliche Regelungen zum Strahlenschutz	251
	2.1 Die Internationale Strahlenschutzkommission	251
	2.2 Die Strahlenschutznormen der Europäischen Gemeinschaft	251
	2.3 Die gesetzlichen Regelungen in der Bundesrepublik Deutschland	252
	3 Strahlenbelastung infolge Kernenergienutzung	255
	3.1 Strahlenbelastung der in kerntechnischen Anlagen Beschäftigten	255
	3.2 Strahlenbelastung der Bevölkerung	256
	3.3 Gesamtstrahlenbelastung durch Kernenergienutzung und andere Quellen	258

IV b	Abwärme	261
	1 Abwärme-Entstehung	261
	2 Gewässererwärmung	263
	2.1 Auswirkungen der Wärmeabgabe an die Gewässer	263
	2.2 Empfohlene Richtwerte für Gewässertemperaturen	264
	2.3 Wärmelastpläne	264
	2.4 Wärmeeinleitung in Ästuarien und Küstengewässer	265
	3 Meteorologische Auswirkungen des Kühlturbetriebs	266
	3.1 Kühlturmtypen	266
	3.2 Vergleich künstlicher oder anthropogener Energieeinbringung mit natürlichen Energieströmen in der Atmosphäre	267
	3.3 Auswirkungen der Abwärme aus Naßkühltürmen	268
	3.4 Auswirkungen der Abwärme aus Trockenkühltürmen	271
	3.5 Meteorologische Auswirkungen mehrerer benachbarter Kühltürme	272
	3.6 Standortspezifika	272
	4 Abwärmenutzung und Wärme-Kraft-Kopplung	273
	4.1 Fernwärme	273
	4.2 Ernährungswirtschaftliche Nutzung	274
	4.3 Freiflächenbeheizung	275
V	Reaktorsicherheit	276
V a	Sicherheitsgrundsätze und Sicherheitstechnik	276
	1 Sicherheitsphilosophie	276
	1.1 Sicherheit im konventionellen Bereich	276
	1.2 Gefährdungspotential von Kernkraftwerken	277
	1.3 Schutzziele	277
	1.4 Sicherheitsphilosophische Konzeption	279
	1.5 Auslegung	281
	1.6 Restrisiko	282
	2 Risikokonzept	284
	2.1 Ziel quantitativer Risikoanalysen	284
	2.2 Methoden der Risikoermittlung	285
	2.3 Stand des Risikokonzepts	286
	2.4 Arbeiten in anderen Ländern	286
	2.5 Grenzen heutiger Risikoanalysen	288
	3 Sicherheitsanalysen am Beispiel eines Kernkraftwerks	289
	3.1 Störfallanalysen	289
	3.2 Zuverlässigkeitstechnik	292
	4 Sicherheitssysteme mit vertieften Beispielen	299
	4.1 Sicherheitsmaßnahmen	299
	4.2 Sicherung von Kernkraftwerken gegen Einwirkungen von außen	302
	4.3 Ausfall der Hauptwärmesenke am Beispiel eines SWR	307
	4.4 Der Kühlmittelverluststörfall beim Druckwasserreaktor	310
	4.5 Der Kühlmittelverluststörfall beim Siedewasserreaktor	317
	4.6 Radiologische Aspekte beim Kühlmittelverluststörfall	325
	5 Betriebserfahrungen mit Kernkraftwerken in der Bundesrepublik Deutschland	331
	5.1 Verfügbarkeit deutscher LWR-Kernkraftwerke im internationalen Vergleich ..	331
	5.2 Besondere Vorfälle in Kernkraftwerken	332

V a	6 Reaktorsicherheitsforschung	356
	6.1 Notwendigkeit der Sicherheitsforschung	356
	6.2 Forschungsprogramme zur Reaktorsicherheit	356
V b	Die staatliche Kontrolle der friedlichen Kernenergienutzung	367
	1 Das Atomrecht	367
	1.1 Gesetzliche Grundlagen	367
	1.2 Zweck und Regelungsinhalt des Atomgesetzes	369
	1.3 Die materiellen Voraussetzungen für die Genehmigung von kerntechnischen Anlagen	370
	1.4 Das Genehmigungsverfahren für kerntechnische Anlagen nach § 7 des Atomgesetzes	371
	1.5 Die Rolle der technischen Sachverständigen im deutschen atomrechtlichen Genehmigungsverfahren	378
	1.6 Vollzug von Genehmigungen	382
	2 Standortproblematik	384
	2.1 Standortbedarf	384
	2.2 Bisherige Praxis der Standortwahl	384
	2.3 Zielvorstellungen für eine künftige Standortplanung	385
	2.4 Maßnahmen zur Realisierung der Zielvorstellungen der Bundesregierung	385
	2.5 Einfluß technologischer Entwicklungen auf die Standortplanung	389
	3 Kodifizierung und Vereinheitlichung sicherheitstechnischer Anforderungen	390
	3.1 Grundlagen und Zweck der Kodifizierung	390
	3.2 Kriterien, Regeln, Richtlinien und Leitlinien in der Bundesrepublik Deutschland	390
	3.3 Organisation und Verbesserung der verfahrenstechnischen Voraussetzungen ..	395
	3.4 Regionale und internationale Ergebnisse und Aktivitäten	396
	4 Prüfungsmaßnahmen	399
	4.1 Atomrechtliche Zuständigkeiten	399
	4.2 Aufgaben der unabhängigen Sachverständigen im atomrechtlichen Genehmigungsverfahren	399
	4.3 Darstellung der Prüfmaßnahmen am Beispiel Reaktordruckbehälter	401
	5 Emissions- und Umgebungskontrolle bei kerntechnischen Anlagen	407
	5.1 Grundsätze	407
	5.2 Überwachung der Abgabe radioaktiver Stoffe in der Abluft	408
	5.3 Überwachung der Abgabe radioaktiver Stoffe im Abwasser	409
	5.4 Berichterstattung über die Ableitungen radioaktiver Stoffe in Abluft und Abwasser kerntechnischer Anlagen	409
	5.5 Überwachung der Umgebung von kerntechnischen Anlagen und Überwachung der allgemeinen Umweltradioaktivität	409
	6 Sicherungsfragen	415
	6.1 Sicherung gegen Sabotage und Terrorismus	415
	6.2 Spaltstoffüberwachung	416
	7 Notfallschutzplanung	420
	7.1 Gesetzliche Forderungen	420
	7.2 Planung von Hilfsmaßnahmen	420
	8 Haftungsfragen und Deckungsvorsorge	422

VI	Kernenergiewirtschaft	425
	1 Kosten der Kernenergienutzung	425
	1.1 Grundlagen der Kostenabschätzungen	425
	1.2 Elektrizitätswirtschaftliche Kostenkalkulation	425
	1.3 Struktur der Stromerzeugungskosten	426
	1.4 Einfluß der Bauzeiten auf die Investitionskosten	427
	1.5 Brennstoff- und Betriebskosten der Kernkraftwerke	427
	1.6 Stromgestehungskosten für Kernkraftwerke	428
	1.7 Kosten der Stromerzeugung in Steinkohlekraftwerken	428
	1.8 Vergleich der Stromerzeugungskosten in Steinkohle- und Kernkraftwerken ...	428
	1.9 Einfluß staatlicher Subventionen und Förderungen	429
	2 Die volkswirtschaftliche Bedeutung der Kernenergiewirtschaft	430
VII	Stichwortverzeichnis	433
VIII	Verzeichnis der Abkürzungen und Symbole	444
IX	Verzeichnis der beteiligten Einrichtungen und Personen	450
X	Anhang (Standortkarte)	451