

Inhaltsverzeichnis

1	Allgemeines zu Hochtemperaturreaktoren	1
1.1	Einordnung	1
1.2	Charakteristische Eigenschaften	3
1.3	Anwendungen	7
1.4	Anmerkungen zum Brennstoffkreislauf	11
1.5	Anmerkungen zur Sicherheit	13
2	Überblick über HTR-Anlagen	15
2.1	Allgemeine Übersicht	15
2.2	AVR-Reaktor	16
2.3	THTR-Reaktor	24
2.4	HTR-Modulreaktor	28
2.5	HTR-100-Reaktor	31
2.6	HTR-500-Reaktor	33
2.7	HTR-Anlagen und Entwicklungen im Ausland	36
3	Gesichtspunkte der HTR-Kernauslegung	44
3.1	Physikalische Aspekte der HTR - Kernauslegung	44
3.1.1	Übersicht	44
3.1.2	Neutronenreaktionen und Wirkungsquerschnitte von HTR - Materialien	45
3.1.3	Neutronenflüsse und Reaktionsraten	52
3.1.4	Kritikalitätsfragen und Neutronenbilanz	56
3.1.5	Kugelfließen im Core	61
3.1.6	Rechenprogramme zur Kernauslegung	68
3.1.7	Brennstoffabbbrand	70
3.1.8	Schnelle Neutronendosis und Graphitschädigung	71
3.2	Wärme- und strömungstechnische Gesichtspunkte der Kernauslegung .	72
3.2.1	Wärmeproduktion im Core	72

3.2.2	Bilanzgleichungen zur Beschreibung der thermofluiddynamischen Vorgänge im Core	76
3.2.3	Temperaturverteilungen im Reaktorkern	78
3.2.4	Wärmeübergang in der Kugelschüttung	81
3.2.5	Druckverlust in der Kugelschüttung	83
3.2.6	OTTO-Zyklus	87
3.2.7	Eigenschaften von Helium	88
3.3	Kernauslegungsdaten von HTR-Anlagen	91
3.3.1	Übersicht	91
3.3.2	Kernleistungsdichte	91
3.3.3	H/D-Verhältnis des Kerns	93
3.3.4	Heliumdruck	95
3.3.5	Heliumtemperaturen im Primärkreis	96
3.3.6	Schwermetallbeladung und Abbrand	97
3.3.7	Beschickungsprinzipien	98
3.3.8	Fragen der Anlagengestaltung	98
4	Komponenten des HTR	100
4.1	Brennelemente	100
4.2	Reaktoreinbauten	117
4.3	Abschalteneinrichtungen	133
4.4	Belade- und Entladeeinrichtungen	144
4.5	Gasführungssystem	149
4.6	Dampferzeuger	156
4.7	Gebläse	175
4.8	Reaktordruckbehälter	183
4.9	Gasreinigungsanlage	198
4.10	Nachwärmeabfuhrsystem	205
4.11	Reaktorhalle	209
4.12	Sekundäranlage	214

5	Betriebsfragen bei HTR-Anlagen	221
5.1	Brennstoffabbrand, Isotopenaufbau	221
5.2	Wirkung von Spaltprodukten im Reaktorbetrieb	223
5.3	Reaktordynamische Gleichungen	228
5.4	Regelungsfragen bei HTR-Anlagen	233
5.5	Nachwärmeabfuhr	237
5.6	Behandlung von radioaktiven Abgaben im Normalbetrieb	240
6	Sicherheitsfragen bei HTR-Anlagen	243
6.1	Spaltproduktinventar eines HTR und Barrierenprinzip	243
6.2	Radiologische Wirkung von Spaltprodukten	248
6.3	Verhalten von Spaltprodukten in Brennelementen und im Reaktorsystem	251
6.4	Sicherheitsanforderungen und Übersicht über Störfälle	268
6.5	Druckentlastung des Primärkreises	270
6.6	Wassereinbruch in den Primärkreis	275
6.7	Luftseinbruch in den Primärkreis	283
6.8	Ausfall der Nachwärmeabfuhr (Reaktor unter Druck)	290
6.9	Ausfall der Nachwärmeabfuhr (Reaktor druckentlastet)	292
6.10	Reaktivitätsstörfälle	304
6.11	Äußere Einwirkungen auf die Reaktoranlage	310
6.12	Freisetzung von radioaktiven Stoffen bei Störfällen, Störfallfolgen . . .	317
7	Weiterentwicklung des HTR zur Stromerzeugung	320
7.1	Dampfturbinenprozesse	320
7.2	Gasturbinenprozesse	323
7.3	Kombiprozesse mit Gasturbinen und Dampfturbinen	327
8	Weiterentwicklung des HTR zur Prozeßwärmebereitstellung	329
8.1	Überblick über Niedertemperatur- und Hochtemperaturprozesse	329
8.2	Kraft-Wärme-Kopplung zur Abgabe von Niedertemperaturprozeßwärme	333
8.3	Fernwärmebereitstellung aus HTR-Anlagen	338
8.4	Meerwasserentsalzung	339
8.5	Prozeßdampf für Chemieanlagen und Raffinerien	341
8.6	Prozeßdampf für die tertiäre Ölgewinnung	344
8.7	Schwelung von Ölschiefer	347

8.8	Methanspaltung zur Wasserstoffherzeugung	349
8.9	Anwendung der Methanspaltung für Folgeprozesse	354
8.9.1	Hydrierende Vergasung von Kohle	354
8.9.2	Hydrocracken von schweren Heizölen	357
8.9.3	Kohlehydrierung	358
8.9.4	Direktreduktion von Eisenerz	360
8.9.5	Nukleare Fernenergie	362
8.10	Wasserdampfvergasung von Kohle	364
8.11	Thermochemische Wasserspaltung	369
8.12	Aluminiumherstellung	372
8.13	Technische Fragen bei der Realisierung von nuklearen Prozeßwärmanlagen	375
9	Brennstoffversorgung und -entsorgung bei HTR-Anlagen	383
9.1	Übersicht	383
9.2	Herstellung von HTR-Brennelementen	384
9.3	Zwischenlagerung von abgebrannten HTR-Brennelementen	392
9.4	Endlagerung von abgebrannten HTR-Brennelementen	399
9.5	Aspekte der Thoriumnutzung im HTR	403
9.6	Proliferationsfragen bei Brennstoffzyklen des HTR	408
10	Wirtschaftliche Fragen bei HTR-Anlagen	411
10.1	Allgemeine Übersicht	411
10.2	Kostenformel zur Berechnung von Stromerzeugungskosten	412
10.3	Kostenparameter	414
10.3.1	Gesamtinvestition	414
10.3.2	Kapitalfaktor	415
10.3.3	Vollaststundenzahl	417
10.3.4	Brennstoffkosten	418
10.3.5	Entsorgungskosten	419
10.3.6	Personalkosten	420
10.3.7	Hilfsstoffe	420
10.4	Stromerzeugungskosten bei HTR-Anlagen	420
10.5	Sensitivität der Kosten	423

Inhaltsverzeichnis	XI
10.6 Vergleich verschiedener Kraftwerke	424
10.7 Kosteneskalation	424
10.8 Life-Cycle-Kosten-Methode	425
10.9 Kostenbewertung bei Koppelproduktion	426
Literaturverzeichnis	429
Verzeichnis der Abkürzungen	462
Umrechnung von Einheiten	464
Sachverzeichnis	467