

# Inhaltsverzeichnis

<b>1 Allgemeines zu Hochtemperaturreaktoren</b>	<b>1</b>
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
<b>2 Überblick über HTR-Anlagen</b>	<b>15</b>
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
<b>3 Gesichtspunkte der HTR-Kernauslegung</b>	<b>44</b>
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 Brennstoffabbrand . . . . .	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
<b>4</b>	<b>Komponenten des HTR</b>	<b>100</b>
4.1	Brennelemente . . . . .	100
4.2	Reaktoreinbauten . . . . .	117
4.3	Abschalteinrichtungen . . . . .	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

<b>5 Betriebsfragen bei HTR-Anlagen</b>	<b>221</b>
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
<b>6 Sicherheitsfragen bei HTR-Anlagen</b>	<b>243</b>
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 Lufteinbruch 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
<b>7 Weiterentwicklung des HTR zur Stromerzeugung</b>	<b>320</b>
7.1 Dampfturbinenprozesse . . . . .	320
7.2 Gasturbinenprozesse . . . . .	323
7.3 Kombiprozesse mit Gasturbinen und Dampfturbinen . . . . .	327
<b>8 Weiterentwicklung des HTR zur Prozeßwärmebereitstellung</b>	<b>329</b>
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 Schmelzung von Ölschiefer . . . . .	347

8.8	Methanspaltung zur Wasserstofferzeugung . . . . .	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 Prozeßwärmeanlagen . . . . .	375
9	<b>Brennstoffversorgung und -entsorgung bei HTR-Anlagen</b>	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	<b>Wirtschaftliche Fragen bei HTR-Anlagen</b>	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

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