

Inhaltsverzeichnis

| | |
|---------------------------------------------------------------------|----|
| <u>15 Reaktortypen</u> | 1 |
| 15.1 Brennstoffvarianten | 1 |
| 15.2 Moderatoren | 3 |
| 15.3 Kühlmittel | 3 |
| 15.4 Brennstoffhülle | 3 |
| 15.5 Leistungsreaktortypen | 4 |
| <u>16 Reaktorwärmetechnik</u> | 6 |
| 16.1 Leistungsdichteverteilung | 6 |
| 16.2 Temperaturfeld im Brennstoff | 7 |
| 16.3 Wärmeübertragung im Spalt zwischen Brennstoff und Hülle | 13 |
| 16.4 Temperaturverlauf in der Brennstoffhülle | 16 |
| 16.5 Axiale Temperaturverteilung | 18 |
| 16.6 Wärmeübergang von der Brennelementoberfläche zum Kühlmittel | 22 |
| 16.6.1 Wärmeübergang ohne Sieden | 23 |
| 16.6.2 Wärmeübergang beim Sieden | 26 |
| 16.7 Druckverlust im Reaktorkern | 35 |
| <u>17 Brennelemente</u> | 42 |
| 17.1 Brennstabauslegung | 44 |
| 17.1.1 Formänderungen des Brennstoffs | 45 |
| 17.1.2 Formänderungen des Hüllrohrs | 47 |
| 17.1.3 Spaltprodukte | 48 |
| 17.1.4 Abbrandverhalten des Brennstabs | 52 |
| 17.2 Metallische Brennelemente | 54 |
| 17.3 Brennelemente mit "coated particles" | 56 |

| | |
|----------------------------------------------------------------------|-----|
| <u>18 Druckwasserreaktor</u> | 58 |
| 18.1 Brennelemente | 58 |
| 18.2 Reaktorkernaufbau | 63 |
| 18.3 Reaktordruckbehälter | 67 |
| 18.4 Kernbehälter | 70 |
| 18.5 Oberes Kerngerüst | 70 |
| 18.6 Kühlmittelführung | 71 |
| 18.7 Regelstabantrieb | 72 |
| 18.8 Qualitätssicherung des Reaktordruckbehälters | 75 |
| 18.9 Druckwasserreaktoren anderer Bauart | 81 |
| <u>19 Siedewasserreaktor</u> | 85 |
| 19.1 Verschiedene Reaktorkonzepte | 86 |
| 19.2 Brennelemente | 87 |
| 19.3 Reaktorkernaufbau | 89 |
| 19.4 Druckbehälter | 94 |
| 19.5 Einbauten | 95 |
| 19.6 Kühlmittelführung | 96 |
| 19.7 Steuerstabantrieb | 97 |
| 19.8 Siedewasserreaktor mit Strahlpumpen | 100 |
| 19.9 Siedewasserreaktor als graphitmoderierter Druckröhrenreaktor | 101 |
| <u>20 Schwerwasserreaktoren</u> | 105 |
| 20.1 Der schwerwassermoderierten und -gekühlte Druckkesselreaktor | 106 |
| 20.2 Schwerwassergekühlte Druckröhrenreaktoren | 109 |
| <u>21 Gasgekühlte Reaktoren</u> | 111 |
| 21.1 Magnoxreaktor | 111 |
| 21.2 Advanced Gascooled Reaktor (AGR) | 115 |
| 21.3 Hochtemperaturreaktor | 118 |
| <u>22 Schneller Brutreaktor</u> | 125 |
| 22.1 Bedeutung der Brutreaktoren | 125 |
| 22.2 Kernaufbau des Schnellen Brütters | 131 |
| 22.2.1 Kernaufbau des SNR-300 | 132 |
| 22.2.2 Kernaufbau des Super-Phénix | 134 |
| 22.3 Reaktoraufbau beim Loop-Typ | 136 |
| 22.4 Reaktoraufbau beim Pool-Typ | 139 |

| | | |
|-------------------------------------------------------------------|-----------|------|
| <u>23 Reaktorkernauslegung</u> | | .141 |
| 23.1 Kernauslegung des Druckwasserreaktors | | .141 |
| 23.2 Kernauslegung des Siedewasserreaktors | | .152 |
| 23.3 Auslegung eines gasgekühlten Hochtemperaturreaktors | | .159 |
| 23.4 Auslegung eines natriumgekühlten Schnellen Brutreaktors | | .161 |
| <u>24 Primärkühlkreislauf des Druckwasserreaktors</u> | | .164 |
| 24.1 Hauptförderpumpen | | .165 |
| 24.2 Dampferzeuger | | .169 |
| 24.3 Druckhalter | | .173 |
| 24.4 Rohrleitungen | | .176 |
| 24.5 Kreislaufauslegung | | .177 |
| <u>25 Hauptkreislauf des Siedewasserreaktors</u> | | .180 |
| 25.1 Kühlmittelumwälzpumpen | | .181 |
| 25.1.1 Interne axiale Kreiselpumpen | | .182 |
| 25.1.2 Interne Jetpumpen | | .187 |
| 25.2 Dampfkreislauf | | .188 |
| 25.3 Abschlußarmaturen | | .192 |
| 25.4 Druckentlastungssystem | | .193 |
| 25.5 Kreislaufauslegung | | .196 |
| <u>26 Primärkühlsystem der gasgekühlten Reaktoren</u> | | .197 |
| 26.1 Kühlgasgebläse | | .198 |
| 26.2 Dampferzeuger | | .203 |
| 26.3 Auslegung der Hauptkühlkreisläufe | | .205 |
| <u>27 Hauptkühlsystem des natriumgekühlten Schnellen Brütters</u> | | .207 |
| 27.1 Natrium-Umwälzpumpen | | .210 |
| 27.2 Natrium-Zwischenwärmetauscher | | .212 |
| 27.3 Dampferzeuger und Überhitzer | | .214 |
| 27.4 Armaturen | | .215 |
| 27.5 Rohrleitungen | | .216 |
| <u>28 Brennstoffabbrand</u> | | .217 |
| 28.1 Brennelementeinsatz im Reaktor | | .217 |
| 28.2 Spaltstoffkonzentration | | .218 |
| 28.3 Spaltprodukte | | .222 |
| 28.3.1 Reaktivitätsverminderung durch Spaltprodukte | | .222 |
| 28.3.2 Brennelement-Umsetzplan | | .230 |

| | | |
|-----------|----------------------------------------------------------------------------------------|------|
| 28.3.3 | Nachwärmeerzeugung der Spaltprodukte. | .233 |
| 28.3.4 | Radioaktivität der Spaltprodukte. | .233 |
| 28.3.5 | Druckaufbau durch Spaltgase | .234 |
| 28.3.6 | Brennstoffschwellen | .234 |
| <u>29</u> | <u>Reaktormeßtechnik</u> | .235 |
| 29.1 | Neutronenmeßtechnik | .236 |
| 29.1.1 | Ionisationsdetektoren | .238 |
| 29.1.1.1 | Ionisationskammer. | .238 |
| 29.1.1.2 | Proportionalzählrohre. | .239 |
| 29.1.1.3 | Auslösezählrohre | .240 |
| 29.1.1.4 | Halbleiterdetektoren | .241 |
| 29.1.2 | Szintillationsdetektoren. | .241 |
| 29.1.3 | Thermosonden. | .242 |
| 29.2 | Neutronendetektoren | .242 |
| 29.2.1 | γ -Kompensation. | .244 |
| 29.2.1.1 | γ -Kompensation mit Vergleichskammern | .244 |
| 29.2.1.2 | γ -Kompensation durch Wechselstrom- betrieb von Ionisationskammern | .245 |
| 29.3 | Bestimmung der nuklearen Reaktorleistung. | .246 |
| 29.3.1 | Neutronenflußmeßsysteme | .247 |
| 29.3.2 | Die Reaktorperiode. | .249 |
| 29.3.3 | Aktivierung zur Messung der Flußdichteverteilung. | .250 |
| 29.3.4 | γ -Strahlungsmessung | .250 |
| 29.3.5 | N-16-Messung. | .251 |
| 29.3.6 | Čerencov-Strahlung. | .251 |
| <u>30</u> | <u>Reaktordynamik</u> | .252 |
| 30.1 | Analyse des dynamischen Verhaltens. | .252 |
| 30.2 | Inhärente Sicherheit. | .253 |
| 30.3 | Selbstregelndes Verhalten | .254 |
| 30.4 | Grundgleichungen der Reaktordynamik | .255 |
| 30.5 | Reaktivitätskoeffizienten | .257 |
| 30.6 | Reaktordynamische Gleichungen | .260 |
| 30.7 | Dynamik des Hauptkühlkreislaufts | .262 |
| 30.8 | Dynamik der Gesamtanlage. | .263 |
| 30.9 | Reaktorsimulatoren. | .265 |
| 30.10 | Instationäres Betriebsverhalten und Störfälle | .266 |
| 30.10.1 | Betriebsvorgänge. | .267 |

| | |
|-----------------------------------------------------------------------------------|------|
| 30.10.2 Störungen | .267 |
| 30.10.3 Störfälle | .267 |
| 30.11 Typische Diagramme des dynamischen Verhaltens | .269 |
| 30.11.1 Lastsprung $\pm 10\%$ bei einem Druckwasserreaktor | .269 |
| 30.11.2 Reaktorschnellabschaltung bei einem Druckwasserreaktor. | .270 |
| 30.11.3 Turbinenschnellschluß mit Stabeinwurf beim Druckwasserreaktor. | .272 |
| 30.11.4 Unkontrolliertes Ausfahren der Steuerelemente bei Vollast | .273 |
| 30.11.5 Auswurf eines Steuerelements. | .275 |
| 30.11.6 Ausfall einer Zwangsumlaufpumpe beim Siedewasserreaktor. | .276 |
| 30.12 Schwere Störfälle | .277 |
| <u>Literaturverzeichnis</u> | .278 |
| <u>Sachverzeichnis</u> | .283 |