

Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung 1

2 Grundlegende Eigenschaften von Thorium 3

2.1 Neutronenphysikalische Aspekte 4

2.2 Thermomechanische Materialeigenschaften von Thoriumdioxid 7

2.3 Nachzerfallsleistung und Spaltproduktspektrum 8

**3 Radiologische, Entsorgungs- und Proliferationsaspekte von
Thorium-basierten Kernbrennstoffen..... 11**

3.1 Radiologische Aspekte 11

3.2 Entsorgungsaspekte 13

3.3 Proliferationsaspekte 14

4 Historische Thorium-basierte Reaktoren 17

4.1 Leichtwasser-Reaktoren 17

4.2 Schwerwasser-moderierte Reaktoren 20

4.3 Flüssigmetall-gekühlte Reaktoren..... 22

4.4 Salzschnelze-Reaktoren 22

4.5 Gasgekühlte Reaktoren 23

5 Übersicht über aktuelle Thorium-Reaktorkonzepte..... 27

5.1 Leichtwasser-Reaktoren 27

5.2 Schwerwasser-moderierte Reaktoren 28

5.3 Flüssigmetall-gekühlte Reaktoren..... 29

5.4 Salzschnelze-Reaktoren 35

5.4.1 Allgemeine Aspekte der Salzschnelze-Reaktoren..... 35

5.4.2 Stable Salt Reactor (SSR) 40

5.4.3 ThorCon (TMSR-500) 44

5.4.4 Molten Salt Fast Reactor (MSFR) 46

5.4.5 Thorium Molten Salt Reactor (TMSR) 47

5.4.6 Copenhagen Atomics Waste Burner (CAWB) 48

5.4.7	Weitere aktuelle Entwicklungen in Russland, Nordamerika, Japan, Dänemark und Deutschland	49
5.5	Gasgekühlte Reaktoren	52
5.6	Reaktorkonzepte zur Thorium-Nutzung in Indien	52
6	Hybrid-Reaktoren.....	61
6.1	Beschleuniger-getriebene Systeme (ADS).....	62
6.2	Der geplante Forschungsreaktor MYRRHA	64
6.3	Sicherheitsaspekte beschleunigergetriebener Systeme	71
6.3.1	Unterkritischer Reaktorkern und dynamisches Verhalten.....	71
6.3.2	Spallationstarget und Kopplung mit dem Beschleuniger	72
6.3.3	Thermomechanische und chemische Stabilität des Brennstoffs.....	73
6.3.4	Aktivierung, Abschirmung und Quellterm	73
7	Untersuchung der nuklearen Codes und Wirkungsquerschnittsdaten mit Bezug zu Thorium-basierten Reaktorkonzepten.....	75
7.1	Einführung	75
7.2	Neutronentransport-Rechnungen und nukleare Daten	76
7.2.1	Uranylfluorid-Lösungen mit ²³³ U als Spaltstoff.....	76
7.2.2	Schwerwasser-moderierte Stabgitter mit Uran und Thorium	80
7.2.3	Kritische Experimente und Reaktivitätsmessungen mit Thorium	87
7.2.3.1	Experimentbeschreibung	87
7.2.3.2	Benchmark-Modelle und deren Nachrechnung	91
7.2.3.3	Resultate der Benchmark-Nachrechnungen	93
7.2.3.4	Zusammenfassung der Nachrechnung der kritischen Experimente KBR-18 bis KBR-21	102
7.2.4	Zusammenfassung der Neutronentransport-Rechnungen und nuklearen Daten	103
7.3	Abbrandrechnungen zu Thorium-haltigen Stabzellen.....	104
7.3.1	Definition des Abbrand-Benchmarks mit Thorium	104
7.3.2	Verwendete Rechencodes und Code-zu-Code Vergleiche	107
7.3.2.1	TRITON	108

7.3.2.2	Polaris	113
7.3.2.3	HELIOS	113
7.3.2.4	MOTIVE 0.7.4 mit KENO-VI.....	114
7.3.2.5	MOTIVE 0.7.4 mit OpenMC 0.9	117
7.3.3	Code-zu-Code-Vergleiche unter Einbeziehung früherer Rechnungen....	118
7.3.3.1	k_{eff} -Vergleich	118
7.3.3.2	Vergleich der errechneten Nukliddichten	118
7.3.4	Zusammenfassung der Abbrandrechnungen	121
8	Möglichkeiten der programmgestützten Sicherheitsbewertung mit den Werkzeugen der GRS	123
8.1	Reaktorphysikalische Analysen des Kernbrennstoffs.....	126
8.2	Thermohydraulische Analysen des Kerns und des Kühlkreislaufts	128
8.3	Unfallanalysen im Kühlkreislauf und Containment mit Kerndegradation bzw. Kernschmelze.....	129
8.4	Strukturmechanische Brennstabanalysen.....	130
8.5	Salzschmelze-Reaktoren	131
9	Zusammenfassung	135
	Literaturverzeichnis.....	137
	Abbildungsverzeichnis.....	159
	Tabellenverzeichnis.....	163
	Abkürzungsverzeichnis.....	165