

Inhaltsverzeichnis

1	Sicherheitswissenschaft und nukleare Sicherheitstechnik	1
1.1	Einordnung des Strahlenschutzes in die Sicherheitstechnik	2
1.2	Ursprünge in der Kerntechnik des 20. Jahrhunderts	5
1.3	Aufbruch ins 21. Jahrhundert	6
	Hochtemperaturreaktor	6
	Fusionsreaktoren	6
	Beschleunigergetriebene Systeme	6
1.4	Strahlenunfälle zwischen 1944 und 2003	8
2	Beschleunigergetriebene Systeme	13
2.1	Teilchenbeschleuniger	13
2.1.1	Der Linarbeschleuniger	14
2.1.2	Das Zyklotron	16
2.1.3	Das Synchrotron	17
2.1.4	Fixed Field Alternating Gradient Synchrotron	17
2.2	Spallationsneutronenquellen	19
2.3	Subkritische Systeme zur Transmutation und Energieerzeugung	23
3	Neue Anforderungen an den Strahlenschutz	29
3.1	Quellterme der Primär- und Sekundärteilchen	29
3.2	Induzierte Radioaktivität	31
3.3	Abschirmung hochenergetischer Neutronenstrahlen	33
3.4	Energiedeposition in Hochleistungstargets	35
4	Wechselwirkungsmechanismen von Teilchen mit Materie	37
4.1	Grundlagen der Spallationsphysik	37
4.2	Wechselwirkung von Neutronen mit Materie	39
	Wechselwirkung relativistischer Neutronen $E > 20$ MeV . . .	40

Wechselwirkung schneller Neutronen $4\text{ eV} < E < 20\text{ MeV}$. . .	41
Wechselwirkung thermischer und subthermischer Neutronen $E < 4\text{ eV}$	41
4.3 Wechselwirkung von geladenen Teilchen mit Materie bis ca. 20 MeV	42
4.4 Wechselwirkung von Photonen mit Materie	43
5 Moderne Methoden im numerischen Strahlenschutz	45
5.1 Terminologie in der Strahlenphysik	46
Teilchenflußdichte	46
Teilchenfluenz	47
5.2 Physikalische Grundlage des Strahlungstransportes	48
5.3 Deterministische Verfahren	
S_N Methode	49
5.3.1 Das DOORS System	50
5.4 Stochastische Verfahren	
Monte-Carlo Methode	51
5.4.1 Erweiterung zu höheren Energien $\geq 20\text{ MeV}$	51
5.4.2 Erweiterung zu niedrigeren Energien $\leq 1\text{ meV}$	53
5.4.3 Virtueller Detektoren	54
5.4.4 Monte-Carlo Programmsysteme	55
Das Programmsystem HERMES	58
Die Programmsysteme LCS, MCNP und MCNPX	59
Das Programmsystem PHITS	60
5.5 Gekoppelte Berechnungsverfahren	61
5.6 Semi-empirische Berechnungsverfahren	62
Das Moyer-Modell	62
Das Programm CASL	65
Das Programm BULK-I	66
Das Programm DUCT-III	67
Das Programm SKYDOSE	68
6 Beurteilung der Vorhersagekraft von Rechenverfahren zum Strahlungstransport	70
6.1 Quellterme von Neutronen und geladenen Teilchen	70
6.1.1 Validierung doppelt differentieller Neutronenproduktionswirkungsquerschnitte	71
6.1.2 Validierung der Neutronenmultiplizität	75
6.2 Energiedeposition in Spallationstargets	79
6.3 Validierung des Neutronentransportes in komplexen Geometrien	85

7	Lösung ausgewählter Probleme im praktischen Strahlenschutz nuklearer Systeme mit Hilfe numerischer Verfahren	95
7.1	Ortsdosisleistung und Aktivierung	96
7.1.1	Grundlagen der Ortsdosisleistungsberechnung	96
7.1.2	Ortsdosisleistung der primären Strahlung	98
	Ortsdosisleistung aufgrund des Neutronenfeldes	98
	Ortsdosisleistung aufgrund des Photonenfeldes	100
7.1.3	Induzierte Radioaktivität	101
	Flüssigmetalltarget	104
	Moderatorsystem	109
	Strahlverschlüsse	111
7.2	Auslegung einer Abschirmung	114
7.2.1	Allgemeine Grundlagen zur Abschirmung	114
7.2.2	Abschirmung eines Neutronenleiters am Beispiel eines Forschungsreaktors und einer Spallationsneutronenquelle	117
	Beispiel Forschungsreaktor	117
	Beispiel Spallationsneutronenquelle	122
7.2.3	Vergleich zwischen S_N - und Monte-Carlo-Methode	131
7.2.4	Abschirmung einer Targetstation	133
7.2.5	Das Skyshine Problem	138
7.2.6	Realisierung von Abschirmungen an Spallationsneutronen- quellen	141
8	Sicherheitstechnische Bewertung und Konzepte ausgewählter Kapitel des Strahlen- und Arbeitsschutzes	143
8.1	Sicherheitswissenschaftliche Terminologie im Zusammenhang mit dem Strahlenschutz	143
8.2	Beurteilung der Quellterme von Spallationsquellen	146
8.3	Kalte Quellen	147
8.4	Materialverhalten unter hoher Strahlenbelastung	149
	Materialbelastung im Target	150
	Materialschädigung im Moderator	152
8.5	Kavitationserosion in kurzgepulsten Targets	154
8.6	Bewertung der Radiotoxizität eines Quecksilbertargets	159
	Das ^{210}Po -Problem	162
8.7	Transmutation abgebrannter Brennelemente aus Leistungsreaktoren	164
8.8	Reaktivitätstransienten in subkritischen Anordnungen	166

9 Sicherheitsanalyse von beschleunigergetriebenen Systemen	171
9.1 Primärgefahrenanalyse und “First Principles”	171
9.2 Integration der Sicherheitstechnik	173
10 Sicherheitsphilosophie bei Beschleunigergetriebenen Systemen	175
10.1 Grundprinzipien	
Nuklearer Sicherheitstechnik	177
Das ALARA-Prinzip	177
Das Barrierenprinzip	178
Die Redundanz	179
Die Inhärenz	179
10.2 Gefährdungen durch ionisierende Strahlen	180
10.2.1 Externe Strahlenexposition	180
10.2.2 Interne Strahlenexpositionen	181
11 Zusammenfassung	183
Ein Blick in die Zukunft	185
Literaturverzeichnis	188
Verzeichnis der Abbildungen und Tabellen	205