

Inhaltsverzeichnis

Vorwort	V
Einleitung	XI
1. Physikalische Grundlagen	1
1.1. Die Natur ionisierender Strahlen	1
1.1.1. Photonenstrahlung	1
1.1.2. Korpuskularstrahlen	2
1.2. Natürliche und künstliche Radioaktivität	3
1.2.1. Das Gesetz des radioaktiven Zerfalls	5
1.2.2. Die Einheit der Aktivität	6
1.2.3. Radioaktive Familien oder Reihen	6
1.3. Wechselwirkung von Strahlung und Materie	7
1.3.1. Elektronenanregung und Ionisation	7
1.3.1.1. Reichweite direkt ionisierender Teilchen	8
1.3.1.2. Streuung und Absorption von Röntgen- und γ -Strahlen	9
1.3.1.3. Absorption schneller Neutronen	12
1.3.2. Kernprozesse (außer radioaktivem Zerfall)	12
1.3.2.1. Kernumwandlung und induzierte Radioaktivität	12
1.3.2.2. Kernspaltung, Kernzertrümmerung	13
1.4. Strahlenquellen	14
1.4.1. Natürliche Strahlenquellen	14
1.4.1.1. Die kosmische Strahlung	14
1.4.1.2. Die terrestrische Strahlung	15
1.4.2. Die medizinische Verwendung von Radionukliden	15
1.4.3. Anlagen zur Erzeugung ionisierender Strahlen	15
1.4.3.1. Die Röntgenröhre	15
1.4.3.2. Geräte zur Erzeugung hochenergetischer Strahlen	17
1.5. Die Strahlendosis und verwandte Begriffe	18
1.5.1. Die Energiedosis und die Einheit „Rad“	18
1.5.2. Die Ionendosis und die Einheit „Röntgen“ (R)	18
1.5.3. Beziehung zwischen Ionendosis und Energiedosis	19
1.5.4. Die Dosisleistung	19
1.5.5. Mittlere Dosis und Integraldosis	19
1.5.6. Die makroskopisch-räumlichen Dosisverhältnisse bei Photonenbestrahlung	20
1.5.7. Die Dosis in der Umgebung einer γ -Strahlenquelle	20
1.5.8. Die Dosis in der Umgebung einer Quelle von Teilchenstrahlung	21
1.5.9. Berechnung der Dosis bei Inkorporation radioaktiver Nuklide	21
1.5.9.1. Die Dosis bei Inkorporation von α - und β -Strahlern	21
1.5.9.2. Die Dosis bei Inkorporation γ -strahlender Nuklide	22
1.5.9.3. Die Dosis bei inhomogener Verteilung von Radionukliden im Körper	22

1.5.10.	Das mikrogeometrische Muster der Energiedeposition	23
1.5.10.1.	Ionisationsdichte und linearer Energietransfer (LET)	23
1.5.10.2.	Die „spezifische Energie“; Mikrodosimetrie	27
1.6.	Messungen der Radioaktivität und der Dosis	29
1.6.1.	Geräte zur Messung der Radioaktivität	29
1.6.2.	Dosimetrie und Dosimeter	30
1.6.2.1.	Die Ionisationsmethode	30
1.6.2.2.	Photographische und chemische Dosimetrie	30
1.6.2.3.	Thermolumineszenzdosimetrie	31
1.6.2.4.	Halbleiter-Dosimeter	31
1.6.2.5.	„Biologische Dosimetrie“	31
1.7.	Zur Methode der Autoradiographie	31
2.	Dosiswirkungsbeziehungen	33
2.1.	Verschiedene Formen von Dosiswirkungsbeziehungen	34
2.2.	Grundlagen der Treffertheorie	36
2.2.1.	Eintreffermechanismen	36
2.2.2.	Mehrtreffer- und Mehrbereichsmechanismen	38
2.3.	Allgemeine Stochastik der Strahlenwirkung	39
2.3.1.	Generelle Beschreibung von Dosiswirkungskurven	40
2.3.2.	Einfachste Deutung der Dosiswirkungsbeziehungen	41
2.3.3.	Gebräuchliche Kenngrößen von Dosiswirkungsbeziehungen	42
2.3.4.	Weitere empfohlene Kenngrößen der Dosiswirkungskurven	43
2.4.	Darstellung der Dosiswirkungsbeziehung im Bereich relativ kleiner Wirkungen bzw. kleiner Dosen	45
3.	Die relative biologische Wirksamkeit (RBW) von Strahlen verschiedener Art und Energie	47
3.1.	Allgemeines	47
3.2.	Die Abhängigkeit der RBW von der Strahlendosis	48
3.3.	RBW und spezifische Energie	50
3.4.	RBW in der radiologischen Praxis	51
3.5.	RBW und Qualitätsfaktor im Strahlenschutz	51
4.	Die Kinetik der Strahlenwirkung; Restitutionsvorgänge und Zeitfaktor	53
4.1.	Die Dynamik der Strahlenwirkung	53
4.2.	Der Zeitfaktor der Strahlenwirkung	56
4.2.1.	Erläuterung einiger Begriffe	56
4.2.2.	Biophysikalische Voraussetzungen eines Zeitfaktors	57
4.3.	Reversible und irreversible Komponenten der Strahlenwirkung	59
4.4.	Die gegenseitige Abhängigkeit von Zeitfaktor und RBW	59
4.5.	Zusammenfassung und praktische Schlußfolgerungen	60
5.	Die physikalisch-chemischen Primärwirkungen ionisierender Strahlen	63
5.1.	Allgemeines	63
5.2.	Strahlenchemie des Wassers	66
5.3.	Die Ausbeute strahlenchemischer Reaktionen	67
5.4.	Die räumliche Verteilung strahleninduzierter Radikale (in Abhängigkeit vom LET)	67
5.5.	Die Wechselwirkung von Radikalen und ihre zeitliche Verteilung	69

5.6.	Indirekte Wirkung auf in Wasser gelöste Stoffe	70
5.7.	Direkte Wirkung auf organische Moleküle	71
5.8.	Unterscheidung zwischen direkter und indirekter Strahlenwirkung	72
5.9.	Effekt-modifizierende Substanzen: Strahlenschutzsubstanzen, Sensibilisatoren	73
5.10.	Die Messung freier Radikale	73
6.	Strahlenchemie organischer Zellbestandteile	75
6.1.	Aminosäuren, Peptide und Proteine	75
6.1.1.	Chemisch nachweisbare Änderungen der Primärstruktur	75
6.1.2.	Störungen der sekundären und höheren Strukturen organischer Moleküle	77
6.1.3.	Enzyminaktivierung	77
6.1.4.	Schlußfolgerungen	79
6.2.	Nukleinsäuren und Nukleotide	80
6.2.1.	Molekülbrüche	80
6.2.2.	Veränderung der Purin- und Pyrimidinbasen	81
6.2.3.	Nachweis freier Radikale bei Purin- und Pyrimidinbasen und ihren Verbindungen	82
6.2.4.	Störungen der Konfiguration der DNA-Moleküle	83
6.2.5.	Zusammenhang zwischen chemischen Veränderungen der DNA und bio- logischen Strahleneffekten	83
6.2.6.	Nukleotide des Stoffwechsels	84
6.3.	Fettsäuren, Fette und Lipide	84
6.3.1.	Fette und Fettsäuren	84
6.3.2.	Lipide	85
6.4.	Kohlenhydrate und ihre Verbindungen	85
7.	Strahleninduzierte Synthesestörungen und die Reparation molekularer Strahlenschäden	87
7.1.	Störungen der DNA-Synthese	87
7.2.	Störungen der Protein-Synthese	89
7.3.	Die Reparation von DNA-Schäden in der Zelle	91
8.	Strahlenwirkungen auf die Kinetik biochemischer Prozesse und den Betriebsstoffwechsel der Zelle	95
8.1.	Veränderungen der Enzymkinetik	95
8.2.	Die Glykolyse	96
8.3.	Die oxidative Phosphorylierung	96
8.4.	Die Zellatmung	97
9.	Strahlenzytologie: Proliferationsstörungen und Zelltod	99
9.1.	Der Begriff der Strahlenempfindlichkeit	100
9.2.	Proliferationsstörungen	100
9.2.1.	Zur Kinetik der Zellproliferation	100
9.2.1.1.	Der Zellzyklus	100
9.2.1.2.	Wachstumscharakteristika von Zellpopulationen	101
9.2.1.3.	Methoden der Erfassung der Zellkinetik	102
9.2.2.	Strahleninduzierte Hemmung der Zellvermehrung	103
9.2.3.1.	Beeinflussung der mitotischen Aktivität	103
9.2.3.2.	Pathologische Mitoseformen	105
9.3.	Zelltod und Zellinaktivierung	105
9.3.1.	Inaktivierung von Säugetierzellen in vitro	107

Inhaltsverzeichnis

9.3.1.1.	Methodisches	107
9.3.1.2.	Dosiswirkungsbeziehung der Zellinaktivierung	108
9.3.1.3.	Abhängigkeit der Wirkung von der Strahlenqualität	109
9.3.1.4.	Intrazelluläre Erholungsvorgänge	110
9.3.1.5.	Die Rolle der Erholung für den Zeitfaktor der zellulären Strahlenwirkung	112
9.3.1.6.	Der Sauerstoffeffekt	114
9.3.1.7.	Die chemische Beeinflußbarkeit der Strahlenempfindlichkeit	116
9.3.1.8.	Die Abhängigkeit der Strahlenempfindlichkeit vom Zellzyklus	117
9.3.2.	Die Zellinaktivierung bei Bestrahlung in vivo	119
9.3.3.	Die Interpretation der zellulären Dosiswirkungskurven	121
10.	Zytophysiologische Störungen	125
10.1.	Störungen der Zellpermeabilität	125
10.1.1.	Elektrolytverschiebungen	125
10.1.2.	Bioelektrische und verwandte Phänomene	126
10.3.	Funktionsstörungen peripherer Nerven	127
10.4.	Motilitätsstörungen, insbesondere von Muskelzellen	128
10.5.	Strahlenwirkung auf Sinnesrezeptoren	129
10.6.	Durch Bestrahlung ausgelöste reflexartige Sofortreaktionen	130
10.7.	Mögliche Wirkungsmechanismen und Folgen zytophysiologischer Störungen	131
11.	Zytogenetische Strahlenwirkungen	133
11.1.	Numerische Chromosomenaberrationen	134
11.2.	Strukturelle Chromosomenaberrationen	135
11.3.	Mögliche Wirkungsmechanismen	137
11.4.	Die Dosiswirkungsbeziehung der Chromosomenaberrationen	138
11.5.	Die Abhängigkeit von der zeitlichen Dosisverteilung	138
11.6.	Die Abhängigkeit von der Strahlenqualität	139
11.7.	Andere, den Effekt beeinflussende Faktoren	139
11.8.	Chromosomenaberrationen menschlicher Zellen	140
11.8.1.	Nach Bestrahlung von Blutproben in vitro	140
11.8.2.	Chromosomenaberrationen nach Strahlenexposition des Menschen	140
11.9.	Der Zeitverlauf strahleninduzierter Chromosomenaberrationen	142
11.10.	Die Folgen strahleninduzierter Chromosomenaberrationen im Organismus	143
	Literaturverzeichnis	147
	Sachverzeichnis	153