STRALINGSHYGIËNE

voor stralingsbeschermingsdeskundigen
op het niveau van coördinerend deskundige

Dit document bevat de synopsis en inhoudsopgave uit de editie 2025

Frits Pleiter
Hielke Freerk Boersma

SYNOPSIS

Na een korte bespreking van enkele veel gebruikte onderdelen van de Wiskunde volgt een toepassing, genoemd Compartimentensystemen. Deze compartimentensystemen vormen natuurkundige rekenmodellen die laten zien hoe de activiteit van radionucliden zich kan verdelen in processen van radioactief verval tot dochternucliden, in processen die met de stofwisseling te maken hebben, of in processen van het verdelen van activiteiten over de diverse ruimten waarin deze radionucliden zijn vrijgekomen. Het daarop volgende hoofdstuk Statistiek biedt verdieping in nauwkeurigheid van tellingen en metingen van deze gemeten activiteiten, met bijbehorende fouten en foutenvoortplanting.

Het hoofdstuk Atoom- en Kernbouw toont de natuurkundige basisinzichten: wáár de ioniserende straling ontspringt op atomair en nucleair niveau. In het hoofdstuk Radioactiviteit wordt uitgelegd welke vormen van radioactief verval er bekend zijn, en met welke energieën deze gepaard gaan. De ioniserende straling gaat dan een interactie aan met de materie van de omgeving. Hoe de hiermee gepaard gaande energieoverdracht berekend kan worden, wordt beschreven in het hoofdstuk Wisselwerking van Straling met Materie. Hierbij wordt een relatie gelegd tussen wisselwerking en de atoomnummers van de materie waarin deze wisselwerking plaatsvindt.

Met dit laatste hoofdstuk is de basis gelegd voor dosimetrie (energieoverdracht bij wisselwerking), radiobiologie (wisselwerking met weefsel), detectie (wisselwerking met detectormateriaal) en afscherming (wisselwerking met afschermingsmateriaal).

In het hoofdstuk Basale Dosimetrie wordt uitgelegd hoe de energieoverdracht vertaald kan worden in de verschillende dosisbegrippen. Vervolgens wordt uitgelegd wat de Biologische Gevolgen van Straling op het niveau van cellen van levende organismen zijn. De veranderingen in de cel worden beschreven en de vervolgeffecten in het weefsel waartoe die cel behoort, alsmede het effect van dosis en dosistempo hierop. Verder worden somatische en genetische effecten van straling beschreven, acute en late effecten, het verschil tussen dosisafhankelijke effecten (weefselreacties) en kansafhankelijke (stochastische) effecten en in welke mate deze op kunnen treden, met welke symptomen en syndromen en met welke gevolgen voor de voortplanting en het nageslacht, en het mogelijk ontstaan van kanker ten gevolge van straling. Hoe deze effecten te monitoren zijn aan de hand van de stralingsenergie noemt men Operationele Dosimetrie. De begrippen stralingsweegfactor, equivalente dosis, weefselweegfactor en effectieve dosis worden uitgelegd, met modellen hoe deze kunnen worden berekend. Het hoofdstuk Dosimetrie van Inwendige Besmetting legt aan de hand van besmettingsroutes, metabole processen en longfysiologische modellen uit hoe de dosis ten gevolge van ingenomen of geïnhaleerde activiteit kan worden berekend, om zo in te kunnen schatten wat de gevolgen van de interne radioactiviteit op diverse orgaansystemen zouden kunnen zijn, of de activiteit nu per ongeluk (incident) ingenomen is, of vanwege diagnostiek of therapie met opzet is toegediend.

Het meten van radioactiviteit wordt in de stralingsveiligheid met de term detectie aangeduid. In het hoofdstuk Detectie van Straling worden diverse meetmethoden en meetinstrumenten uitgelegd vanuit natuurkundige principes: wanneer kunnen ze meten, wat meten ze en hoe meten ze. Dit soort metingen kan niet zonder ijking, beschouwing van telrendementfactoren, foutenanalyse en meetstatistiek. De metingen worden gebruikt voor het monitoren van besmettingen die kunnen voorkomen bij het werken in laboratoria, bij transport van radioactieve materialen, enzovoorts. Zo kan ook de minimaal detecteerbare activiteit berekend worden.

Bij uitwendige straling is afscherming nodig om er veilig mee te kunnen werken. Welke afscherming voldoende is, welke eisen aan materialen en werkafstanden gesteld moeten worden en hoe afschermingsberekeningen gemaakt kunnen worden, wordt in het hoofdstuk Afscherming van Uitwendige Straling uitgelegd aan de hand van de natuurkundige aspecten van ioniserende straling.

Vanaf de ontdekking van röntgenstraling en radioactiviteit, eind 19e eeuw, groeide er internationaal het besef dat werken met radioactiviteit schadelijk kán zijn, en ontstonden er aanbevelingen en (later) regelgeving, meestal naar aanleiding van de publicaties van de International Commission on Radiological Protection (ICRP). Het hoofdstuk Aanbevelingen van de ICRP beschrijft de internationale ontwikkelingen in de stralingsbescherming en de kaders waarbinnen beroepsmatige blootsteling aan straling veilig geacht wordt. Vanuit die aanbevelingen is Wet- en Regelgeving ontstaan. Deze wetgeving wordt voortdurend aangepast aan nieuwe natuurkundige en radiobiologische inzichten en aan de resultaten van epidemiologisch onderzoek onder bevolkingsgroepen die zijn blootgesteld aan ioniserende straling (kernbommen, nucleaire rampen), voor zover deze effecten meetbaar blijken. De Nederlandse wetgeving over stralingsbescherming kent een opbouw gerelateerd aan de wetgeving over arbeidsomstandigheden (bescherming van werknemers) en milieubelastende activiteiten (bescherming van bevolking), en definieert wie wat wanneer mag doen en wie toeziet of beslist wat betreft ioniserende straling. Daarbij wordt gelet op alle voorhanden zijnde kennis en berekeningen met betrekking tot transport van radioactieve stoffen, afvalverwerking, en gebruik van ioniserende straling uitzendende bronnen en toestellen. Het doel hierbij is dat niemand onnodig schade oploopt door het toepassen van ioniserende straling. Toepassing van wetgeving wordt een besluit genoemd, zoals bijvoorbeeld het Besluit Basisveiligheidsnormen Stralingsbescherming.

Nadere uitleg over de werking, toepassing en gevaren van toestellen die straling uitzenden, volgt in het hoofdstuk Toestellen, vanuit de eerder beschreven natuurkundige principes. In het hoofdstuk Ingekapselde Bronnen wordt beschreven welke eisen aan ingekapselde bronnen worden gesteld, en hoe ze dienen te worden gebruikt in de medische zorg, industrie, wetenschap en onderwijs, met als doel dat alleen op een veilige manier wordt gewerkt met radioactiviteit. Onder meer in laboratoria kan gewerkt worden met radioactieve stoffen in verspreidbare vorm en het is dan zaak de verspreiding van deze stoffen zo veel mogelijk te beperken. Hoe hiermee veilig te werken vanuit eerdergenoemd Besluit Basisveiligheidsnormen Stralingsbescherming wordt beschreven in het hoofdstuk Open Bronnen, inclusief de beschrijving van stoffen met bijzondere eigenschappen zoals tritium en jodium. Het hoofdstuk Splijtstoffen geeft tot slot een korte beschrijving van splijtstoffen en de werking van een kernreactor.

Enige uitleg van Achtergrondstraling, Medisch Toezicht op de Blootgestelde Werknemer en Niet-ioniserende Straling completeren het spectrum van stralingsdeskundigheid. Achtergrondstraling treedt onder meer op vanuit de natuur op aarde en de gebruikte materialen in woonhuizen; ze wordt meegenomen in de berekening van de dosis ioniserende straling waaraan de Nederlandse bevolking jaarlijks bloot kan staan.

INHOUD

1 WISKUNDE 13

1.1 Eenvoudige rekenkundige bewerkingen 13
1.2 Eenvoudige functies 14
1.2.1 Logaritme 14
1.2.2 Exponentiële functie 16
1.2.3 Goniometrische functies 16
1.3 Grafieken 17
1.4 Eenvoudige vergelijkingen 19
1.4.1 Eén vergelijking met één onbekende 19
1.4.2 Twee vergelijkingen met twee onbekenden 19
1.4.3 Vierkantsvergelijking 21
1.5 Differentiëren en integreren van eenvoudige functies 21
1.6 Interpoleren 24
1.7 Reeksontwikkeling 26
1.8 Omtrek, oppervlak en inhoud 27

2 COMPARTIMENTENSYSTEMEN 29

2.1 Lineaire differentiaalvergelijking 29
2.1.1 Differentiaalvergelijking van te scheiden variabelen 30
2.1.2 Lineaire differentiaalvergelijking van de eerste orde met constante coëfficiënten 30
2.2 Eenvoudige compartimentensystemen 32
2.2.1 Twee-compartimentensysteem 32
2.2.1.1 Compartiment I 32
2.2.1.2 Compartiment II 32
2.2.1.3 Twee-compartimentensysteem met constante toevoer 33
2.2.1.4 Ventilatievoud en halveringstijd 34
2.2.1.5 Gemiddelde verblijftijd 34
2.2.1.6 Twee-compartimentensysteem met uitwisseling 35
2.2.2 Drie-compartimentensysteem 35
2.2.2.1 Compartiment I 36
2.2.2.2 Compartiment II 36
2.2.2.3 Compartiment III 36
2.2.2.4 Grensgevallen in het drie-compartimentensysteem 37
2.2.2.5 Drie-compartimentensysteem met concurrerende verwijdering 39
2.2.2.6 Drie-compartimentensysteem met uitwisseling 40

3 STATISTIEK 41

3.1 Gemiddelde waarde en standaarddeviatie van een steekproef 41
3.2 Verdelingsfunctie 42
3.3 Statistische fout van een meting 43
3.4 Significantie van een meting 45
3.5 Nauwkeurigheid, juistheid en precisie van een meting 46

4 ATOOM- EN KERNBOUW 47

4.1 Opbouw van de materie 47
4.2 Structuur van het atoom 48
4.3 Atomaire massa-eenheid 49
4.4 Elektronenstructuur van het atoom 49
4.5 Elektromagnetische straling 52

4.6 Auger-elektronen 54
4.7 Structuur van de atoomkern 54
4.8 Stabiliteit van de atoomkern 55

5 RADIOACTIVITEIT 57

5.1 Radioactief verval en activiteit 57
5.2 α-verval 59
5.3 β^--verval 60
5.4 β^+-verval en elektronvangst 61
5.5 γ-verval en interne conversie 63
5.6 Spontane splijting 64
5.7 Vervalschema 65
5.8 Moeder-dochterrelatie 66

6 WISSELWERKING VAN STRALING MET MATERIE 69

6.1 Inleiding 69
6.1.1 Fluentie en flux 69
6.1.2 Lineïeke en massieke eenheden 70
6.1.3 Energieverlies en dracht van geladen deeltjes 70
6.1.4 Werkzame doorsnede en verzwakkingscoëfficiënt 72
6.1.5 Kernreacties 74
6.2 α-deeltjes 75
6.3 Protonen 77
6.4 β-deeltjes en elektronen 77
6.4.1 Čerenkov-straling 79
6.4.2 Remstraling 79
6.4.3 Elektromagnetische cascade 80
6.4.4 Annihilatiestraling 80
6.5 Elektromagnetische straling 81
6.5.1 Rayleigh-verstrooiing 81
6.5.2 Foto-elektrisch effect 82
6.5.3 Compton-effect 83
6.5.4 Paarvorming 87
6.5.5 Relatieve bijdragen tot de wisselwerking 87
6.5.6 Samengestelde materialen 88
6.6 Neutronen 89
6.6.1 Neutronenbronnen 89
6.6.1.1 Kosmogene neutronen 89
6.6.1.2 Ingekapselde bronnen 89
6.6.1.3 Deeltjesversnellers 90
6.6.1.4 Kernreactoren 90
6.6.2 Energieoverdracht 91
6.6.3 Classificatie van neutronen 93
6.6.4 Neutronactivering 93
6.6.5 Kernsplijting 94
6.7 Neutrino's 95

7 BASALE DOSIMETRIE 97

7.1 Exposie 97
7.2 Geabsorbeerde dosis en kerma 98
7.3 Geladen deeltjes 99
7.4 Elektromagnetische straling 100
7.4.1 Grensvlakken 104
7.4.2 Principe van Bragg-Gray 105
7.5 Neutronen 106
7.6 Bronconstante 108
7.6.1 α-straling 108

7.6.2 β-straling 109
7.6.3 γ-straling 109
7.6.4 Samenvatting 110
7.7 Huidbesmetting 111
7.7.1 α-straling 111
7.7.2 β-straling 111
7.7.3 γ-straling 111
7.7.4 Samenvatting 112

8 BIOLOGISCHE GEVOLGEN VAN STRALING 113

8.1 Opbouw en betekenis van DNA 113
8.1.1 De cel als functionele eenheid 113
8.1.2 DNA als drager van de erfelijke eigenschappen 114
8.1.3 Genen coderen voor eiwitten 115
8.1.4 De celcyclus 116
8.2 Wisselwerking van ioniserende straling met weefsel 117
8.3 Door straling geïnduceerde celdood 118
8.3.1 Effect van dosistempo 118
8.3.2 Effect van LET 119
8.3.3 Effect van dosisfractionering 119
8.3.4 Effect van de celcyclus 120
8.3.5 Effect van zuurstof en radicaalvangers 120
8.4 Categorieën van stralingseffecten 121
8.5 Weefselreacties 121
8.5.1 Stralingssyndromen 123
8.5.2 Ooglensvertroebeling 125
8.5.3 Gonaden en vruchtbaarheid 126
8.5.4 Embryo en foetus 127
8.6 Stochastische effecten 128
8.6.1 Ontstaan van kanker 129
8.6.2 Genetische effecten 131
8.7 ICRP-103 versus ICRP-60 132

9 OPERATIONELE DOSIMETRIE 133

9.1 Limiterende grootheden 133
9.1.1 Stralingsweegfactor 133
9.1.2 Equivalente dosis 134
9.1.3 Weefselweegfactor 135
9.1.4 Effectieve dosis 136
9.1.5 Effectieve volgdosis 136
9.2 Operationele grootheden 137
9.2.1 ICRU-bol en ICRU-plaat 137
9.2.2 Omgevingsdosisequivalent 137
9.2.3 Richtingsdosisequivalent 141
9.2.4 Persoonsdosisequivalent 142
9.3 Collectieve effectieve dosis 143
9.4 ICRP-103 versus ICRP-60 143
9.5 Toekomstige wijzigingen van operationele dosisgrootheden 145

10 DOSIMETRIE VAN INWENDIGE BESMETTING 147

10.1 Inleiding 147
10.1.1 Besmettingsroutes 148
10.1.2 Metabole modellen 149
10.1.3 Bron- en doelorganen 150
10.2 Effectieve volgdosis 153
10.2.1 Aantal desintegraties 153
10.2.2 Equivalente dosis 156

10.2.3 Dosisconversiecoëfficiënt 158
10.3 Maag-darmmodel 160
10.4 Longmodel 162
10.4.1 Gassen en dampen 165
10.4.2 Aerosolen 166
10.4.3 Longreiniging 167
10.4.3.1 Mechanisch transportmechanisme 168
10.4.3.2 Oplosmechanisme 169
10.5 Botmodel 172
10.6 Submersiemodel 173
10.7 Meten van inwendige besmetting 174
10.8 Recente ontwikkelingen in ICRP-modellen 175
10.8.1 ICRP-100 versus ICRP-30 176

11 DETECTIE VAN STRALING 179

11.1 Ionisatiedetector 179
11.1.1 Met gas gevulde detector 179
11.1.1.1 Ionisatiekamer 182
11.1.1.2 Proportionele telbuis 183
11.1.1.3 Geiger-Müllerbuis 185
11.1.1.4 Doving in een met gas gevulde detector 186
11.1.1.5 Dode tijd van een met gas gevulde detector 187
11.1.2 Halfgeleiderdetector 188
11.1.2.1 Ge- en Si-detector 188
11.1.2.2 Digitale beeldvorming 189
11.1.2.3 Andere halfgeleidersystemen 190
11.2 Scintillatiedetector 190
11.2.1 Vaste-stofscintillator 190
11.2.2 Vloeistofscintillator 191
11.2.3 Thermoluminescentie 191
11.2.4 Fotomultiplicatorbuis 192
11.3 Fotografische emulsie 193
11.4 Elektronische meetapparatuur 194
11.4.1 Versterker 195
11.4.2 Pulshoogteanalyse 195
11.4.3 Tijdanalyse 196
11.5 Meting van energie 197
11.5.1 β-spectroscopie 197
11.5.2 γ-spectroscopie 198
11.5.3 Kalibratie van de meetopstelling 200
11.6 Meting van dosis 201
11.6.1 Omgevingsdosisequivalent 201
11.6.2 Neutronendosis 202
11.6.3 Persoonsdosis 202
11.7 Meting van radioactieve besmetting 203
11.7.1 Besmetting met α- of β-straler 204
11.7.2 Besmetting met γ-straler 204
11.7.3 Besmetting met tritium 204
11.7.4 Besmettingsmonitor met groot oppervlak 204
11.7.5 Veegproef 205
11.7.6 Inwendige besmetting 205
11.8 Detectie en rendement 205
11.8.1 Rendement 205
11.8.2 Geometrie 206
11.9 Detectie en statistiek 208
11.9.1 Energie-oplossend vermogen 208
11.9.2 Teltempo 211
11.9.3 Optimale verdeling van de beschikbare meettijd 212
11.9.4 Minimaal detecteerbare activiteit 213

12 AFSCHERMING VAN UITWENDIGE STRALING 215

12.1 α-straling 215
12.2 β-straling 215
12.3 Elektromagnetische straling 216
12.4 Strooistraling 220
12.5 Remstraling 222
12.6 Neutronen 223
12.7 Skyshine 224

13 AANBEVELINGEN VAN DE ICRP 227

13.1 Historisch overzicht 227
13.2 Beschermingskader van de ICRP 230
13.2.1 Ethische grondslagen van de stralingsbescherming 230
13.2.2 Definities 230
13.2.3 Beschermingskader bij handelingen 231
13.3 Dosislimiet 231
13.3.1 Beroepsmatige blootstelling 231
13.3.1.1 Blootstelling van vrouwen 234
13.3.2 Medische blootstelling 234
13.3.3 Blootstelling van de bevolking 234
13.4 Potentiële blootstelling 235
13.5 Dosisbeperking en referentieniveau 235
13.6 Bescherming van het milieu 235
13.7 ICRP-103 versus ICRP-60 236

14 WET- EN REGELGEVING 239

14.1 Hiërarchie in wetgeving 239
14.2 Internationale aanbevelingen en richtlijnen 240
14.3 Nationale wet- en regelgeving 240
14.3.1 Kernenergiewet 240
14.3.2 Arbeidsomstandighedenwet 242
14.3.3 Algemene wet bestuursrecht 242
14.3.4 Richtlijnen 243
14.3.5 Radiotoxiciteitsequivalent 243
14.4 Organisatorische aspecten van de kernenergiewetgeving 243
14.4.1 Kernenergiewetvergunning en toezicht 243
14.4.2 Vergunninghouder 244
14.4.3 Stralingsbeschermingdeskundige en toezichthouder 244
14.4.4 Beschermingskader bij handelingen 246
14.4.4.1 Rechtvaardiging 246
14.4.4.2 Optimalisatie 247
14.4.4.3 Dosislimieten 248
14.4.5 Risicoinventarisatie en -evaluatie 249
14.4.6 Blootgestelde werknemer 249
14.4.7 Regelgeving rond zwangerschap 251
14.4.8 Beveiliging van radioactieve stoffen 251
14.4.9 Werkplek 252
14.4.10 Radioactief afval 253
14.4.11 Kernenergiewetdossier 254
14.5 Vergunning, registratie of kennisgeving 254
14.5.1 Vrijstelling 254
14.5.2 Vergunning 256
14.5.3 Registratie 256
14.5.4 Kennisgeving 257
14.5.5 Vrijgave of overdracht 257
14.5.5.1 Overdracht van radioactieve stoffen 258
14.5.5.2 Lozing van radioactieve stoffen 258

14.5.5.3 Overige vrijgave van radioactieve stoffen 258
14.5.5.4 Overdracht en afvoer van toestellen 259
14.5.6 Besluit kerninstallaties, splijtstoffen en ertsen 259
14.5.7 Besluit vervoer splijtstoffen, ertsen en radioactieve stoffen 259
14.6 Het aanvragen van een vergunning of registratie 261
14.7 Specifieke regelgeving voor toestellen 263
14.7.1 Beveiliging 263
14.7.2 Lekstraling 264
14.7.3 Medische röntgentoestellen 264
14.8 Specifieke regelgeving voor ingekapselde bronnen 264
14.8.1 Encapsulering 264
14.8.2 Lektesten 265
14.8.3 Hoogactieve ingekapselde radioactieve bronnen 266
14.9 Specifieke regelgeving voor open stoffen 267
14.9.1 Historisch overzicht 267
14.9.2 Richtlijn radionuclidenlaboratoria 268
14.9.2.1 Inrichtingseisen 268
14.9.2.2 Limitering 270
14.9.2.3 Bergplaats 273
14.9.2.4 Radioactieve oppervlaktebesmetting 273
14.9.3 Leidraad beheersing van risico's bij handelingen met open bronnen in laboratoria 274
14.10 Gevolgen van ioniserende straling voor het milieu 275
14.10.1 Externe straling 276
14.10.2 Lozing in lucht 276
14.10.3 Lozing op het riool 277
14.10.4 Nadere analyse 279
14.11 Overige specifieke regelgeving 280
14.11.1 Natuurlijke bronnen 280
14.11.2 Radiologische noodsituaties 281

15 TOESTELLEN EN VERSNELLERS 283

15.1 Inleiding 283
15.1.1 Röntgentoestel 284
15.1.1.1 Röntgenbuis 284
15.1.1.2 Diafragma 286
15.1.1.3 Filter 286
15.1.1.4 Strooistralingsrooster 286
15.1.1.5 Opbrengst 288
15.1.1.6 Grijswaarde 289
15.1.1.7 Contrast 290
15.1.1.8 Speciale medische toepassingen 291
15.1.1.9 Speciale niet-medische toepassingen 294
15.1.2 SPECT-, PET- en MRI-scan 296
15.1.3 Elektrostatische versneller 297
15.1.4 Lineaire versneller 298
15.1.5 Cyclotron 300
15.2 Praktische stralingsbescherming 300
15.2.1 Principes van veilig werken 300
15.2.2 Afscherming 301
15.2.3 Strooistraling 302
15.2.4 Medische röntgendiagnostiek 302
15.2.5 Röntgendiffractietoestellen 304
15.2.6 Versnellers 304
15.2.7 Toestel- en ruimtebeheer 305
15.3 Kernenergiewetdossier 306

16 INGEKAPSELDE BRONNEN 307

16.1 Inleiding 307
16.2 Praktische stralingsbescherming 308
16.2.1 Principes van veilig werken 308
16.2.2 Dosis als gevolg van uitwendige bestraling 309
16.2.3 Dosis als gevolg van uit- en inwendige besmetting 311
16.2.4 Bron- en ruimtebeheer 312
16.3 Kernenergiewetdossier 313

17 OPEN BRONNEN 315

17.1 Inleiding 315
17.2 Praktische stralingsbescherming 316
17.2.1 Principes van veilig werken 316
17.2.2 Voorkom verspreiding van activiteit 317
17.2.3 Maatregelen 318
17.2.3.1 Vóór aanvang van het werk 318
17.2.3.2 Tijdens het werk 318
17.2.3.3 Na afloop van het werk 318
17.2.3.4 Tegen uitwendige bestraling 319
17.2.3.5 Tegen inwendige besmetting 319
17.2.4 Werken met bijzondere stoffen 321
17.2.4.1 Tritium 321
17.2.4.2 Jodiumverbindingen 321
17.2.4.3 Eiwitten 322
17.2.5 Radioactieve besmetting 322
17.2.6 Decontaminatie van de werkomgeving 323
17.2.7 Decontaminatie van personen 324
17.2.8 Radioactief afval 324
17.2.9 Bron- en ruimtebeheer 325
17.3 Kernenergiewetdossier 326

18 SPLIJTSTOFFEN 329

18.1 Inleiding 329
18.1.1 Verrijkingsindustrie 330
18.1.2 Kernreactor 330

19 ACHTERGRONDSTRALING 331

19.1 Kosmische straling 331
19.2 Nucleosynthese 332
19.3 Kosmogene radionucliden 333
19.4 Primordiale radionucliden 333
19.5 Radon in woonhuizen 336
19.6 Gemiddelde stralingsbelasting van de bevolking 337

20 MEDISCH TOEZICHT OP DE BLOOTGESTELDE WERKNEMER 341

20.1 Langdurige blootstelling aan een laag dosistempo 341
20.2 Incidentele blootstelling aan een hoge dosis met een hoog dosistempo 342
20.3 De rol van de stralingsarts 343
20.3.1 Relatie tussen blootgesteld werknemer en stralingsarts 344
20.3.2 Keuring voor blootgestelde werknemers 344
20.3.3 Gebruik van gegevens persoonsdosimetrie 345

21 NIET-IONISERENDE STRALING 347

21.1 Inleiding 347
21.2 Kunstmatige optische straling 348
21.2.1 Bronnen 348

21.2.2 Gezondheidsrisico 348
21.2.3 Wet- en regelgeving 349
21.2.4 Risicoinventarisatie en -evaluatie 349
21.2.5 Maatregelen 349
21.2.5.1 Brongerichte maatregelen 350
21.2.5.2 Groepsgerichte maatregelen 350
21.2.5.3 Individugerichte maatregelen 350
21.2.6 Zorgsysteem 350
21.3 Elektromagnetische velden 351
21.3.1 Bronnen 351
21.3.2 Gezondheidsrisico 352
21.3.3 Wet- en regelgeving 352
21.3.4 Risicoinventarisatie en -evaluatie 352
21.3.5 Maatregelen 353
21.3.6 Zorgsysteem 353

22 APPENDICES 355

A 1 Fysische constanten 355
A 2 Voorvoegsels 355
A 3 Soortelijke massa van enkele materialen 355
A 4 Hedendaagse grootheden en eenheden in de stralingshygiëne 356
A 5 Oude grootheden en eenheden in de stralingshygiëne 356
A 6 Enkele nuttige relaties in de stralingshygiëne 356
A 7 Alfabetische lijst van chemische elementen 357
A 8 ICRP-gegevens voor ^{99m}Tc 358

23 LIJST VAN TREFWOORDEN 363

24 LIJST VAN AFKORTINGEN 371

25 BIBLIOGRAFIE 375