

---

# **Praktische stralingshygiëne voor de mondzorg**

Jos van den Eijnde

Leen van der Meulen

Lars Roobol

Syntax Media – Utrecht

---

© 2020, Syntax Media, Utrecht

Alle rechten voorbehouden. Niets uit deze uitgave mag worden veelevoudigd, opgeslagen in een geautomatiseerd gegevensbestand, of openbaar gemaakt, in enige vorm of op enige wijze, hetzij elektronisch, mechanisch, door fotokopieën, opnamen, of enige andere manier, zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van de uitgever. Voor zover het maken van reprografische veelevoudingen uit deze uitgave is toegestaan op grond van Artikel 16h Auteurswet 1912 dient men de daarvoor verschuldigde vergoedingen te voldoen aan Stichting Reprorecht ([www.reprorecht.nl](http://www.reprorecht.nl)). Voor het overnemen van gedeelte(n) uit deze uitgave in bloemlezingen, readers en andere compilatiewerken (artikel 16 Auteurswet 1912) kan men zich wenden tot Stichting PRO ([www.stichting-pro.nl](http://www.stichting-pro.nl)).

ISBN: 978 94 91764 40 0

Ontwerp omslag: Lapis Vivus grafisch ontwerp, Oosterbeek  
Opmaak binnenwerk: AlphaZet prepress, Bodegraven

Illustratieverantwoording

Foto's:

Omslag: L. van der Meulen (met dank aan Stratec Services B.V.)

Afbeelding 1.23 + 8.8: Kavo Arseus Dental

Afbeelding 7.2 Wiki commons

Afbeelding 7.3 + 7.5 Stratec Services B.V.

Afbeelding 7.7: Mirion Dosimetry Services

Afbeelding 8.4: Wiki commons, Dr. H. Grobe

Overige foto's: L. van der Meulen

Getekende illustraties en grafieken:

L. van der Meulen, en afkomstig uit het boek Praktische Stralingshygiëne, 2019

Vragen en opmerkingen over deze uitgave kunt u richten aan:

Uitgeverij Syntax Media BV

Hooghiemstraplein 124

3514 AZ Utrecht

*[www.syntaxmedia.nl](http://www.syntaxmedia.nl)*

*e-mail: [info@syntaxmedia.nl](mailto:info@syntaxmedia.nl)*

Auteurs en uitgever verklaren dat deze publicatie met de grootst mogelijke zorgvuldigheid tot stand is gekomen. Zij staan echter niet in voor mogelijke (druk) fouten en/of onvolledigheid in de tekst of de afbeeldingen en aanvaarden derhalve geen enkele aansprakelijkheid voor schade, van welke aard dan ook, die uit het gebruik van de informatie uit deze publicatie zou kunnen voortvloeien.

---

# Woord vooraf

In dit boek geven we systematisch inzicht in de mogelijke gezondheidseffecten van de toepassing van röntgentoestellen in de mondzorg en in de maatregelen die betrokkenen kunnen treffen om de toepassing zo te beheersen dat een aanvaardbaar stralingsrisico ontstaat. Het betreft dan de stralingsrisico's voor zowel patiënten als medewerkers. De opzet van het boek volgt deze doelstelling: na drie voorbereidende hoofdstukken behandelen we eerst de mogelijke gezondheidseffecten en dan de te treffen maatregelen. De hoofdstukken 1, 2 en 3 zijn de voorbereidende hoofdstukken. Hoofdstuk 1 gaat over de opwekking van röntgenstraling. Met die kennis wordt vervolgens de werking toegelicht van de toestellen die in gebruik zijn in de mondzorg. Daarna volgt in hoofdstuk 2 de beschrijving van de wisselwerking van röntgenstraling met materie, dus hoe straling wordt geabsorbeerd, verstrooid en afgeschermd. In hoofdstuk 3 volgt dan de taal van de stralingsveiligheid, dus de gebruikte grootheden en eenheden, en ook enig inzicht in de ordes van grootte.

Na deze drie hoofdstukken bespreken we dan in hoofdstuk 4 de gezondheidseffecten van straling, toegespitst op de situatie in de mondzorg. In de daaropvolgende hoofdstukken komt de beheersing van de toepassing aan de orde. Hoofdstuk 5 gaat over de beheersingsmaatregelen die in de wetgeving verplicht zijn gesteld of door de beroepsgroep als stand van de techniek worden gezien. In hoofdstuk 6 worden berekeningen uitgevoerd, waarmee de toezichthouder op de stralingsveiligheid, maar ook de gebruiker zelf (tandarts, mondhygiënist, enzovoort) kan bepalen hoe hoog de dosis is bij de diverse toepassingen. In dat hoofdstuk staat ook wat de noodzaak en het effect van zelf te treffen dosisbeheersende maatregelen zal zijn.

Een van de maatregelen is een adequate behandeling van stralingsmeetapparatuur; dit wordt in hoofdstuk 7, over meetapparatuur, uitgewerkt. In hoofdstuk 8 gaan we in op de principes van de beeldvorming en de praktische consequenties daarvan. Kennis daarvan is nodig om tot een goede afweging te komen tussen enerzijds de eisen voor een optimaal beeld en anderzijds een optimale stralingsbescherming; in hoofdstuk 9 wordt dan die afweging behandeld.

Hoofdstuk 9 wil zo nauw mogelijk aansluiten bij de dagelijkse mondzorgpraktijk. Vandaar de titel van het boek: Praktische stralingshygiëne in de mondzorg. Hoofdstuk 9 is het belangrijkste hoofdstuk; de voorafgaande hoofdstukken werken naar dit hoofdstuk toe.

Dit boek behandelt de leerstof die in de stralingswetgeving voorgeschreven is voor de opleiding tot Toezichthoudend Medewerker Stralingsbescherming (TMS) 'Tandheelkunde basisniveau'. Extra in dit boek is enige aandacht voor de conebeam CT in diverse hoofdstukken, zonder alle aspecten te behandelen die vereist zijn voor de opleiding tot TMS 'Tandheelkunde conebeam CT'. Sommige hoofdstukken gaan iets dieper in op de materie dan echt nodig voor de opleiding op basisniveau, zoals bijvoorbeeld de tekst over de gereduceerde halveringsdiktes van materialen. Dat is dan in de tekst aangegeven. We denken dat deze verdergaande behandeling voor veel studenten interessant en verduidelijkend zal zijn en eraan zal bijdragen dat zij een goede discussiepartner zijn voor de ondersteunend stralingsbeschermingsdeskundige.

Door de opzet van het boek is het niet alleen bruikbaar voor tandartsen en mondhygiënisten bij hun opleiding en bijscholing voor de TMS 'Tandheelkunde basisniveau', maar bijvoorbeeld ook als achtergrond bij de opleiding TMS 'Tandheelkunde conebeam CT' en voor stralingsbeschermingsdeskundigen die betrokken zijn bij de mondzorg.

Drs. Jos van den Eijnde, Stralingsdeskundige niveau 2 en Hoger Veiligheidskundige. Gepensioneerd gastmedewerker bij de Stralingsbeschermingsgroep van het Amsterdam UMC, locatie AMC. Leen van der Meulen MSc., Radiodiagnostisch laborant en hogeschooldocent medische radiologie. Werkzaam als TMS en regisseur van het radiologie-onderwijs bij de opleiding Mondzorgkunde van de Hogeschool Utrecht.

Dr. Lars Roobol, Stralingsdeskundige niveau 2. Werkzaam als hoofd Afdeling Meten en Monitoring bij het RIVM in Bilthoven. We bedanken de volgende collega's voor het leveren van commentaar op diverse hoofdstukken: Erwin Berkhout, Flip Bomert, Wout Moerman en Susan Verschoore-de la Houssaije.

Waar in dit boek een persoon met 'hij' wordt beschreven bedoelen we 'hij of zij'.

Leiderdorp, Haarlem, Stompvoren, februari 2020

---

# Inhoud

---

## Woord vooraf v

## 1 Röntgentoestellen 1

1.1	Inleiding	1
1.2	Opbouw van een atoom	1
1.3	Opwekking van röntgenstraling	3
1.4	Elektromagnetische straling, röntgenstraling	4
1.5	Werking van een röntgentoestel	5
1.5.1	Inleiding	5
1.5.2	Kathode	6
1.5.3	Potentiaalverschil (kV) en energie van de röntgenstraling (keV)	7
1.5.4	Buisstroom en belichtingstijd	7
1.5.5	Anode	7
1.5.6	Koeling van de röntgenbuis	9
1.5.7	Filtering	9
1.5.8	Begrenzing van de bundel (diafragma en tubus)	10
1.5.9	Het resulterende spectrum	11
1.5.10	Invloed van het mAs-getal op het spectrum	12
1.5.11	Invloed van de buisspanning op het spectrum	12
1.5.12	Effect van de gelijkrichters op het spectrum	13
1.6	Toestellen in de mondzorg	15
1.6.1	Toestel voor intraorale radiologie (de intraorale röntgenbuis)	15
1.6.2	Orthopantomografie-toestel	18
1.6.3	Ter informatie: conebeam CT (CBCT)	23
1.6.4	Overzicht van de toestellen	26

## 2 Wisselwerking van straling met materie 27

2.1	Inleiding	27
2.2	Foto-elektrisch effect	27
2.3	Compton-effect	28
2.4	Ionisaties en excitaties	29
2.5	Ter informatie: alfa-, bèta- en gammastraling	30
2.6	Halveringsdikte (HVD)	31
2.7	Halveringsdiktes bij röntgenstraling	33
2.8	Lineïeke verzwakkingscoëfficiënt ( $\mu$ )	35
2.9	Gereduceerde halveringsdikte en massieke verzwakkingscoëfficiënt	36
2.10	Samenvatting	39

<b>3</b>	<b>Grootheden en eenheden</b>	<b>41</b>
3.1	Inleiding	41
3.2	Exposie	41
3.3	Dosis	42
3.4	Equivalente dosis	42
3.5	Effectieve dosis	43
3.6	Operationele grootheden en andere begrippen	46
	3.6.1 Inleiding	46
	3.6.2 Omgevingsdosisequivalent $H^*(10)$ en $H^*(0,07)$	47
	3.6.3 DOP-waarde	48
	3.6.4 Intreedosis, uitreedosis en transmissieverhouding	48
	3.6.5 Totale hoeveelheid straling	49
3.7	Ordes van grootte	49
<b>4</b>	<b>Effecten en risico's van straling</b>	<b>53</b>
4.1	Inleiding	53
4.2	Effecten op moleculair en cellulair niveau	53
4.3	Effecten op de mens	54
4.4	Schadelijke weefselreacties	55
	4.4.1 Dosiswaarden	55
	4.4.2 Relevantie voor de mondzorg	57
4.5	Kansgebonden effecten	58
	4.5.1 Kanker: onderzoeken waarop de risicoschattingen zijn gebaseerd	58
	4.5.2 Risicoschatting voor fatale kanker voor een lid van de bevolking	58
	4.5.3 Risicoschatting voor fatale kanker voor specifieke groepen	60
	4.5.4 Risico per orgaan en weegfactoren	62
	4.5.5 Risico op niet-fatale kanker: huid, schildklier en hersenvlies	63
	4.5.6 Risico op kanker door toepassingen in de mondzorg	65
4.6	Effecten op het nageslacht	65
4.7	Effecten op het ongeboren kind	66
4.8	Risico's in perspectief	67
	4.8.1 Inleiding	67
	4.8.2 Vergelijking met risico's op het werk	67
	4.8.3 Risico's in de samenleving	69
	4.8.4 Communicatie over risico's	70
	4.8.5 Beheersing van risico's	71
<b>5</b>	<b>Regelgeving</b>	<b>73</b>
5.1	Inleiding	73
5.2	Opleidingen en indicatiestelling	73
5.3	Terminologie	74
5.4	Het systeem van stralingsbescherming	77
	5.4.1 De drie beginselen	77
	5.4.2 Rechtvaardiging	78

5.4.3	ALARA	79
5.4.4	Dosislimitering	83
5.5	Internationale en nationale regelgeving	85
5.5.1	Diverse wetten en regels	85
5.5.2	Het controlestelsel	86
5.5.3	Betrokken overheidsinstanties	88
5.6	Betrokkenen binnen de instelling	88
5.6.1	Het hoogste gezag	88
5.6.2	Taken van de TMS	89
5.6.3	Taken van de stralingsbeschermingsdeskundige	90
5.6.4	Taken bij gevaarlijke situaties	91
5.6.5	Taakverdeling binnen grote instellingen	92
5.7	Enkele algemene voorschriften uit de besluiten, regelingen, verordeningen en vergunningen	93
<b>6</b>	<b>Bepaling van de ontvangen doses</b>	<b>97</b>
6.1	Inleiding	97
6.2	Kwadratenwet	97
6.3	Berekeningen voor de dosis van de patiënt bij een intraoraal toestel	99
6.3.1	Opzet van de berekeningen	99
6.3.2	Bepaling van de intreedosis en de uittreedosis	100
6.3.3	Directe bundel en de verstrooide straling	102
6.3.4	Richting van de invallende straling	103
6.3.5	Effectieve dosis op de speekselklieren	104
6.3.6	Effectieve dosis op de schildklier	106
6.3.7	De lage effectieve dosis op het mondslijmvlies	108
6.3.8	De lage effectieve dosis op rood beenmerg en botoppervlak	108
6.3.9	De zeer lage effectieve dosis op de huid	108
6.3.10	De verwaarloosbaar lage effectieve dosis op borstweefsel en gonaden	108
6.3.11	De verwaarloosbare dosis op de ooglenzen	109
6.3.12	De dosis van het ongeboren kind	109
6.3.13	Conclusie over de dosis bij intraorale toepassing	110
6.4	Dosis bij de OPG	112
6.5	Conclusie over de berekeningen van de dosis voor de patiënt	113
6.6	Dosis voor de medewerker en de omgeving	113
6.6.1	Inleiding	113
6.6.2	Dosis door lekstraling	114
6.6.3	Dosis door de patiënt bij een intraoraal röntgentoestel	114
6.6.4	Dosis door de patiënt bij de OPG en de conebeam CT	117
6.6.5	Consequenties voor de stralingsveiligheid van medewerkers	118
6.6.6	Dosis in een ruimte naast de patiënt	118

<b>7</b>	<b>Meetapparatuur</b>	<b>119</b>
7.1	Inleiding	119
7.2	Aandachtspunten bij metingen	120
7.3	Fysische aspecten van de meetapparatuur	121
	7.3.1 Meetapparatuur op basis van ionisaties	121
	7.3.2 Meetapparatuur op basis van scintillaties	123
7.4	Meters voor werknemers	125
7.5	Meters voor kwaliteitscontroles	126
	7.5.1 DOP-meter	126
	7.5.2 Multidosimeter	127
7.6	Meters voor de patiënt	128
<b>8</b>	<b>Digitale beeldvorming in de mondzorg- praktijk</b>	<b>129</b>
8.1	Inleiding	129
8.2	Metten van de beeldkwaliteit van röntgenopnames	129
8.3	Ter informatie: resulterende beeldkwaliteit en MTF	130
8.4	Beeldplaten in de mondzorgpraktijk	133
	8.4.1 Het fysische proces	133
	8.4.2 Verschillende technieken en hun detectoren	134
	8.4.3 Fosforplaatjes bij de computed radiography (CR)	135
	8.4.2 Mogelijke fouten bij de fosforplaatjes	136
	8.4.5 Sensors bij de digitale radiologie (DR)	137
	8.4.6 Keuze voor een beeldplaat op basis van de DQE	137
8.5	Onscherpte	138
	8.5.1 Bepaling en definitie	138
	8.5.2 Intrinsieke onscherpte of materiaal- onscherpte ( $O_i$ )	139
	8.5.3 Geometrische onscherpte of focus- onscherpte ( $O_g$ )	140
	8.5.4 Bewegingsonscherpte ( $O_b$ )	141
8.6	Contrast	142
	8.6.1 Inleiding	142
	8.6.2 Zwarting en grijswaarden	142
	8.6.3 Contrast of beeldcontrast	146
	8.6.4 Effect van beeldruis op het beeldcontrast	146
8.7	Invloed van opnameparameters op de stralings- belasting en de beeldkwaliteit	148
	8.7.1 Invloed van de kV-waarde op de dosis en de beeldkwaliteit	148
	8.7.2 Invloed van het mAs-getal op de dosis en de beeldkwaliteit	151
	8.7.3 Invloed van de focus-detectorafstand (FD) op de dosis en de beeldkwaliteit	151
	8.7.4 Samenvatting van de invloed van de opname- parameters	152



<b>9</b>	<b>Praktische stralingshygiëne in de mondzorgpraktijk</b>	<b>153</b>
9.1	Inleiding	153
9.2	Organisatorische taken van een TMS in de mondzorgpraktijk	154
9.2.1	Inleiding	154
9.2.2	Monitoringsprogramma (Bbs, artikel 7.2.4.b)	154
9.2.3	Adequate administratie (artikel 7.2.4.c) en regelmatige rapportage (artikel 7.2.4.g)	157
9.2.4	Periodieke beoordelingen van waarschuwings-systemen (artikel 7.2.4.d)	159
9.2.5	Voorlichting en scholing van medewerkers (artikel 7.2.4.g en 7.2.4.l)	159
9.2.6	Samenwerking met de stralingsbeschermings-deskundige (artikel 7.2.4.m)	160
9.2.7	Uitvoering van de toezichhoudende taak	160
9.3	Het rechtvaardigingsprincipe	161
9.3.1	Inleiding	161
9.3.2	Radiologische screening wettelijk zeer beperkt toegestaan	162
9.3.3	Beschikbare opnames en alternatieve methoden	163
9.3.4	Rechtvaardiging van een röntgenopname	163
9.4	Het ALARA-principe en het optimale beeld	164
9.4.1	Optimalisering met behulp van DRN	164
9.4.2	Verlaging dosis door aanpassen aan patiënt	165
9.4.3	Verlaging van de dosis, keuze van de juiste instellingen	166
9.4.4	Veelvoorkomende mogelijke maatregelen	168
9.4.5	Overwegingen bij de keuze van röntgen-apparatuur en het beeldverwerkingsysteem	171
9.4.6	Conebeam computed tomography (conebeam CT)	171
9.5	Stralingsveiligheid van medewerkers en omstanders	172
	<b>Bijlagen</b>	<b>175</b>
Bijlage 1	Voorbeeld werkinstructie	176
Bijlage 2	Beschrijving van de ICDAS-classificatie	179
Bijlage 3	Bepaling van alveolair botverlies	180
Bijlage 4	Overige toepassingen van röntgenstraling	181
	<b>Trefwoordenregister</b>	<b>183</b>

Het woord ‘intraoraal’ is hierbij gebaseerd op het feit dat we de beeldplaat in de mondholte plaatsen. De tubus wordt dicht tegen de wang geplaatst, en de beeldplaat (fosforplaat of sensor, zie hoofdstuk 8) bevindt zich in de mondholte achter de gebits-elementen (afbeelding 1.12).

De intraorale röntgenopname is scherper dan een orthopantomografie (OPG)-opname (zie paragraaf 1.6.2). Dat komt door de kleinere pixelgrootte (dus meer lijnenparen per mm of lp/mm) van de beeldplaat en het feit dat de beeldplaat direct achter de gebitselementen geplaatst wordt. Daarnaast is er bij een intra-orale opname, in tegenstelling tot een OPG-opname, geen sprake van overprojectie (superpositie) van de andere kaakhelft. Door de grotere scherpte en betere projectie van premolaren zijn intra-orale opnames beter geschikt om glazuurcariës te detecteren. Bijna elke mondzorgpraktijk heeft wel een intra-orale röntgenbuis in gebruik. Er worden in Nederland jaarlijks ongeveer acht miljoen intra-orale röntgenopnames gemaakt.

Bij intra-orale opnames kunnen we een onderscheid maken tussen een *bitewing-opname* en een *periapicale opname*.



Afbeelding 1.12

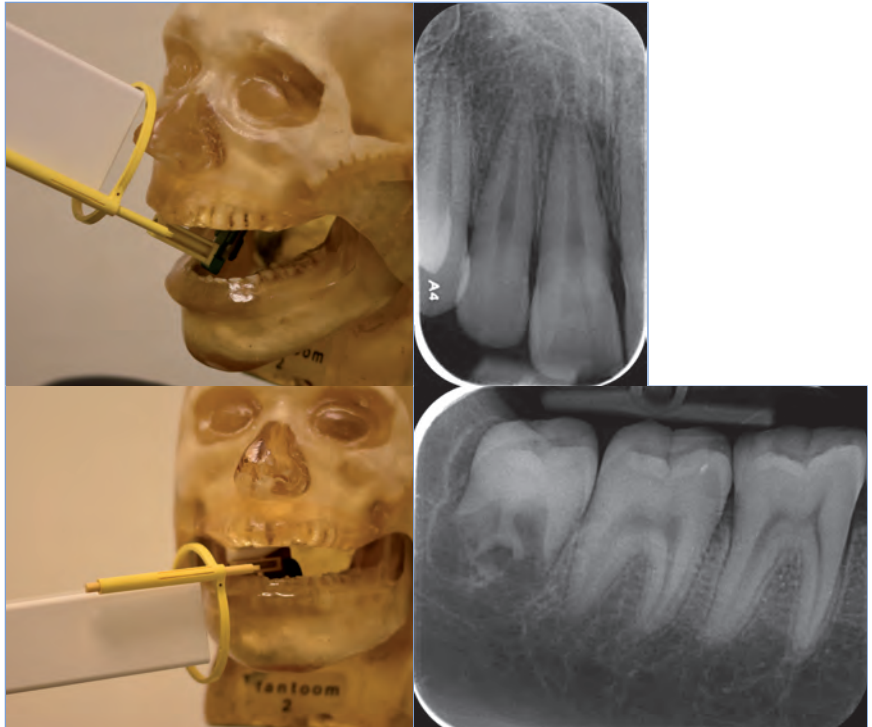
Bitewing-opname met instelapparaat bij een fantoom.

### *Bitewing-opname*

Bij een bitewing-opname (afbeelding 1.12) worden in één opname drie tot vier gebitselementen uit de bovenkaak en de onderkaak afgebeeld, zonder dat de kaak in beeld komt. Bitewing-opnames worden met name uitgevoerd bij kinderen en adolescenten ten behoeve van cariësdagnostiek. Bij bitewing-opnames is de röntgenbundel vrijwel horizontaal of ongeveer 10 graden naar beneden gericht.

*Periapicale opname*

Bij periapicale opnames is de interesse met name gericht op het kaakbot en het gebied om de wortel van het gebitselement in de kaak. Bij ouderen worden behalve bitewings ook regelmatig periapicale opnames gemaakt, om het botverlies tussen de gebitselementen te bepalen of om apicale pathologie te beoordelen. Voor opnames van de bovenkaak is de röntgenbundel ongeveer 15-30 graden naar beneden gericht. Voor periapicale opnames van de onderkaak is de röntgenbundel ongeveer 15-30 graden naar boven gericht (afbeelding 1.13).

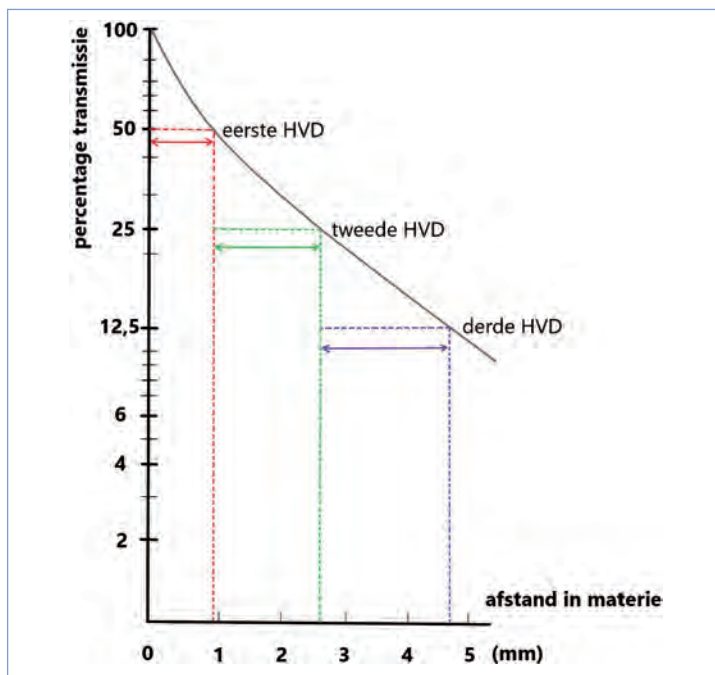


**Afbeelding 1.13**

Periapicale opname van de bovenkaak (boven) en de onderkaak (onder).

*mAs-getal*

Het mAs-getal zal per opname variëren, omdat dit aangepast moet worden aan de noodzakelijke beeldkwaliteit, die per opname anders is. We moeten streven naar een blootstelling die zo laag is als redelijkerwijs mogelijk is (as low as reasonably achievable, ALARA, zie hoofdstuk 5). De laagst mogelijke blootstelling is niet voor elke indicatie gelijk. Bij een opname ten behoeve van parodontale diagnostiek kan bijvoorbeeld meer beeldruis worden geaccepteerd dan bij een bitewing-opname ten behoeve van cariësdagnostiek. Omdat de meeste intraorale röntgentoestellen een vaste buisstroom hebben, moeten we een variatie in het mAs-getal bewerkstelligen door de opnametijd aan te passen.



Afbeelding 2.4

Verzwakking door materie is effectiever in de eerste millimeters.

Doordat de halveringsdikte toeneemt als de bundel dieper in het lichaam doordringt, kunnen we niet spreken over ‘de’ halveringsdikte die hoort bij een bundel. Daar komt nog bij dat de oorspronkelijke kwaliteit van de röntgenbundel ook van invloed is. Een röntgenbundel uit een 70 kV-toestel met een totaal filter van 1,5 mm aluminium is zachter dan een bundel uit een 70 kV-toestel met een totaal filter van 2,0 mm en zal dus andere halveringsdiktes kennen. Ook het materiaal van de anode en de methode van gelijkrichting (aantal fasen en pulsen) zijn van invloed op de halveringsdiktes.

We bespreken in hoofdstuk 6 een situatie waarin sprake is van een beperkt aantal halveringsdiktes (ongeveer 6) en gaan daarbij uit van een gemiddelde halveringsdikte van 2,5 cm in weefsel voor een 70 kV-toestel met een aluminium filter van 2 mm. In tabel 2.1 is te zien dat dit ongeveer overeenkomt met de halveringsdikte in water van 40 keV mono-energetische straling.

Voor bot gebruiken we in hoofdstuk 6 de waarde van 40 keV-straling uit tabel 2.1, dus 0,7 cm.

## 2.8 Lineaire verzwakkingscoëfficiënt ( $\mu$ )

Een kansproces zoals bij de wisselwerking tussen fotonen en materie komt in de natuur veel voor. We gebruiken dan een schrijfwijze om formule 2.1 ‘mooier’ op te schrijven, met het getal  $e$ . Er geldt bij benadering dat  $e = 2,72$ . Met de hulp van dit getal  $e$  is formule 2.1 mooier te schrijven als:

$$I(d) = I(0) \cdot e^{-\mu \cdot d} \quad (2.2)$$

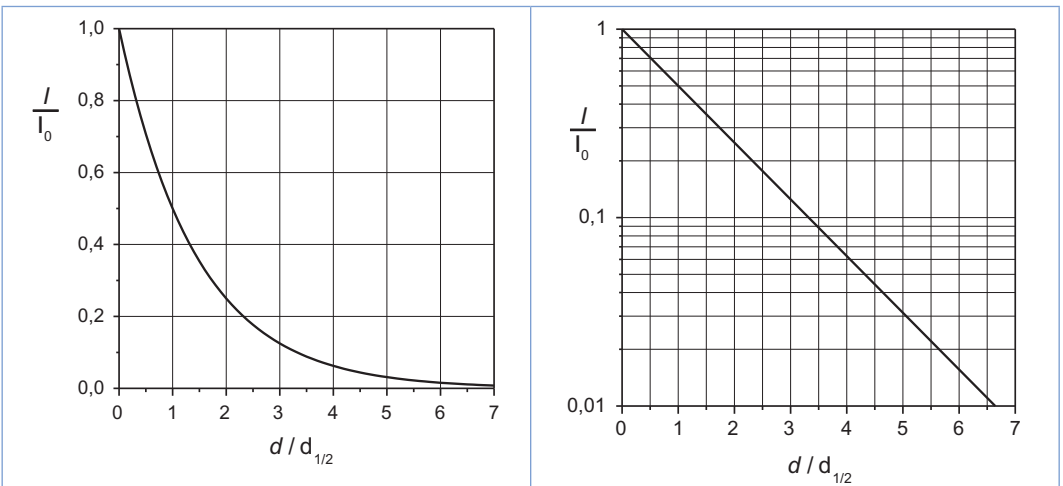
Hierbij heet  $\mu$  de *lineaire verzwakkingscoëfficiënt*. Het is net als de halveringsdikte een maat voor de verzwakking per doorstraalde dikte van het absorberend materiaal. De eenheid is echter de reciproke (het omgekeerde) van de eenheid van  $d$  en heeft dus meestal de dimensie  $\text{cm}^{-1}$ .

Er geldt:

$$d_{1/2} = (\ln 2) / \mu \approx 0,693 / \mu \quad (2.3)$$

We kunnen dus voor een precieze bepaling van intensiteit van de straling achter een afscherming van een materiaal met dikte  $d$  zowel formule 2.1 als 2.2 gebruiken: ze geven hetzelfde antwoord. Welke formule we gebruiken, zal vooral afhangen van de vaardigheid om met de ‘mooiere’ e-machten te kunnen werken.

In afbeelding 2.5 zijn de formules 2.1 en 2.2 grafisch weergegeven. In afbeelding B is de verticale as logaritmisch genomen. Het verband wordt dan weergegeven als een rechte lijn.



Afbeelding 2.5

De lineaire weergave (A) en de semi-logaritmische weergave (B).

ties als consequenties voor de beeldvorming en de stralingsveiligheid. In de gezondheidszorg en dus ook in de mondzorg kun je als vuistregel nemen dat het redelijk is om voor de besparing in de orde van grootte van een microsievert een euro uit te geven. Als het nemen van een dosisbesparende maatregel meer geld kost dan die euro per microsievert, wordt die maatregel meestal niet redelijk geacht, omdat hij te duur is. Als het nemen van die maatregel goedkoper is dan die euro, is het redelijk om hem te treffen en moet de maatregel dus op grond van het ALARA-principe getroffen worden.

#### Voorbeeld

Vraag: Stel dat er bij de aanschaf van een toestel een optie mogelijk is die 100 euro extra kost, waarmee de dosis per opname wordt verlaagd. Is die 100 euro het geld waard, is die 100 euro ALARA? Te denken valt dan bijvoorbeeld aan het vervangen van een ronde tubus door een rechthoekige tubus. Een ander voorbeeld is de aanschaf van een gekalibreerde HR-monitor waarmee cariës kan worden waargenomen bij een lagere dosis.

Antwoord: Dat hangt af van de grootte van de dosisverlaging en van het verwachte aantal opnames. Bij een verwachting van 1000 opnames per jaar over een levensduur van 10 jaar verwachten we in totaal 10.000 opnames. Een rechthoekige tubus verlaagt de kans dat een relevant orgaan (de schildklier) in de directe bundel komt. Als we aannemen dat dat bij 1 op de 10 opnames een verlaging van de effectieve dosis van 1 microsievert oplevert, is de totale verwachte dosisverlaging  $10.000/10 \cdot 1 = 1000$  microsievert. Een investering van 1000 euro zou dan aan ALARA voldoen en een investering van 100 euro dus zeker.

De grens van 1 euro per microsievert is een heel globale grens. Van belang is vooral om in te zien dat er geen dosis is die als *verwaarloosbaar* kan worden beschouwd. Het is echter niet ongebruikelijk om dat wel te doen: geregeld wordt een dosis van 10 microsievert als verwaarloosbaar klein gezien. Het voorbeeld geeft aan dat dat niet juist is. Een dosisverlaging van slechts 1 microsievert kan de moeite waard zijn om aandacht aan te besteden. De grens bij ALARA zit niet in een bepaalde minimale dosis, maar eerder in een bepaald bedrag van de kosten per dosisverlaging.

#### *Dosisbeperking*

In de regelgeving is voor werknemers onder andere invulling gegeven aan ALARA door het begrip *dosisbeperking*. Dat is een waarde die, voorafgaand aan een handeling, is bepaald als verwacht maximum, dus als waarde voor de dosis waarvan het redelijk is dat je daar in ieder geval onder blijft. Er zijn enige dosisbeperkingen van overheidswege vastgesteld, maar niet voor werknemers in de mondzorg.

*Voor patiënten extra aandacht voor ALARA*

Zoals in paragraaf 5.4.1 is beschreven volgt bij geplande blootstelling na rechtvaardiging en ALARA als derde beginsel dat er dosislimieten zijn. Die limieten beschrijven we in paragraaf 5.4.4. Bij medische blootstelling is het echter niet mogelijk om limieten te stellen, omdat er juist een bepaalde minimumdosis nodig is om een diagnose of therapie zinvol te laten zijn. De term ALARA wordt daarom soms omgezet naar *ALADA*: de dosis moet ‘As Low As Diagnostically Achievable’ zijn.

Omdat het derde beginsel (limieten) niet uitgewerkt kan worden, is er voor medische toepassingen in de regelgeving meer aandacht voor de uitwerking van ALARA en is er een apart wetsartikel aan gewijd.

In het Besluit basisveiligheidsnormen stralingsbescherming betreft artikel 8.3 de invulling van het ALARA-beginsel voor wat betreft de medische blootstelling aan ioniserende straling.

#### Artikel 8.3. Bbs, de invulling van het ALARA-beginsel voor de medische blootstelling

- 1 Alle doses ten gevolge van medische blootstellingen voor radiodiagnostiek, interventieradiologie en planning, sturing en verificatiedoeleinden, worden zo laag gehouden als redelijkerwijs mogelijk is, gelet op de noodzaak om de vereiste medische gegevens te verkrijgen en rekening houdend met economische en sociale factoren.
- 2 De optimalisatie, bedoeld in het eerste lid:
  - a omvat, met inachtneming van economische en sociale factoren, de keuze van de apparatuur, de consistente productie van adequate diagnostische gegevens of behandelingsresultaten, de praktische aspecten van medisch-radiologische procedures, de kwaliteitsborging, de beoordeling en evaluatie van patiëntdoses en de controle van toegediende activiteit;
  - b heeft betrekking op de omvang van de individuele doses en hangt samen met het medische doel van de blootstelling;
  - c wordt, indien dat passend is, tevens toegepast op orgaandoses.
- 3 De medisch deskundige, de klinisch fysicus en de personen die bevoegd zijn om de praktische aspecten van de medisch-radiologische procedure uit te voeren, worden betrokken bij de optimalisatie, bedoeld in het eerste lid.
- 4 Onze Minister van Volksgezondheid, Welzijn en Sport bevordert de vaststelling, de regelmatige herziening en het gebruik van diagnostische referentieniveaus voor radiodiagnostisch onderzoek, indien gepast voor radiologische interventieprocedures, en de beschikbaarheid van richtlijnen op dit gebied.



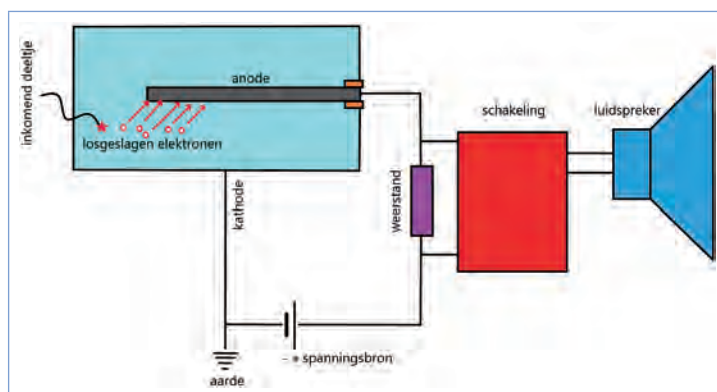
Afbeelding 7.3

Geigertellers. Links is de buis in het instrument verwerkt; rechts is er een externe probe.

Op basis van theoretische berekeningen en kalibratiemetingen is van het aantal binnenvallende fotonen van een bepaalde energie precies bekend hoe hoog het resulterende stralingsdosistempo is. De omrekening van het ‘aantal tikken’ naar dosistempo is dus op basis van die theorie bekend, en op het uitleesscherm van de Geigerteller kunnen we dat dosistempo uitlezen.

Het is belangrijk dat we ons realiseren dat deze omrekeningswaarde afhankelijk is van de energie van de invallende straling. Bij gebruik van de Geigerteller moeten we daarom goed controleren of de Geigerteller geschikt is voor de toegepaste straling; het komt geregeld voor dat we een omrekeningsfactor moeten hanteren.

Geigertellers zijn kleine, goedkope, robuuste apparaten en hebben vaak een dikke wand. Dit kan tot gevolg hebben dat de laag energetische straling bijna volledig in de wand geabsorbeerd wordt en de gebruikte Geigerteller voor de laag-energetische straling volstrekt ongeschikt is.



Afbeelding 7.4

Principe van de Geigerteller en de proportionele teller.





Afbeelding 7.5

Dosis-/dosistempometer.

Er zijn ook GM-buizen in de handel die geen dikke wand hebben, waardoor ze ook lage energieën kunnen meten. Zo heeft de afgebeelde meter een gevoelige pancake Geiger-buis, met een spanningsbereik van 17 keV tot 1,3 MeV en een meetbereik van 0,01  $\mu\text{Sv/h}$  tot 2 mSv/h. Er zijn meer meters die deze specificaties hebben: deze meters zijn daardoor geschikt om lekstraling of strooistraling te meten.

### *Proportionele telbuis (proportionele teller)*

Een *proportionele telbuis (proportionele teller)* wordt niet toegepast in de mondzorgpraktijk. Het is net als een Geigerteller ook een buis, gevuld met een verdund gas; vaak wordt P-10, een mengsel van 90 procent argon en 10 procent methaan gebruikt. Ook bij de proportionele telbuis wordt een elektrode in de buis geplaatst, maar de spanning is lager dan bij de Geigerteller. Net als bij de Geigerteller worden de losgeslagen elektronen en de geïoniseerde gasatomen versneld, de elektronen naar de anode (de hoogspanningselektrode), en de geïoniseerde gasatomen naar de kathode (de wand van de buis). Op hun weg daarnaartoe veroorzaken deze deeltjes door botsing met de gasmoleculen weer nieuwe ionisaties.

Als we de spanning zorgvuldig kiezen, is het aantal ionisaties (de grootte van de stroompuls) echter recht evenredig met (proportioneel aan) de hoeveelheid lading die het invallende deeltje of foton heeft vrijgemaakt, en dus met de energie van dat deeltje of foton. Anders dan bij de Geigerteller is iedere stroompuls in de buis dus verschillend, afhankelijk van de energie van het invallende deeltje of foton. Doordat de teller proportioneel is, zegt die dus iets over de energie van het invallende foton; daarom kunnen we een proportionele telbuis niet alleen gebruiken voor bepaling van het dosistempo, maar ook om na te gaan wat de energie van de invallende straling is. We bepalen de energie door de pulsen op hoogte te selecteren: hoge pulsen worden veroorzaakt door hoog-energetische fotonen en lage pulsen worden veroorzaakt door laag-energetische fotonen.

### **7.3.2 Meetapparatuur op basis van scintillaties**

In hoofdstuk 2 is al uitgelegd dat de invallende straling ervoor zorgt dat het atoom of molecuul harder gaat trillen; het raakt geëxciteerd, er is sprake van *excitatie*s. Deze trillingsenergie raakt het weer kwijt door elektromagnetische straling van lage energie uit te zenden, bijvoorbeeld in het zichtbare gebied. Dat heet dan *scintilleren*. In paragraaf 8.4.1 wordt dit principe uitgelegd voor zover het voor de beeldvorming wordt gebruikt; deze paragraaf gaat nader in op gebruik bij stralingsveiligheidsmetingen.

Binnen de paragrafen behandelen we, voor zover relevant, eerst de intraorale toepassing, dan de OPG-toepassingen en ten slotte enige aspecten van de conebeam CT. Voor dit hoofdstuk is onder andere gebruikgemaakt van de *KNMT-richtlijn*, van de ‘European guidelines on radiation protection in dental radiology’ (2004), van het NCRP 147 Report ‘Structural shielding design for medical X-ray imaging facilities’ (2005) en van artikelen over de stralingsveiligheid in de vakliteratuur.

## 9.2 Organisatorische taken van een TMS in de mondzorgpraktijk

### 9.2.1 Inleiding

In paragraaf 5.5.2 zijn de belangrijkste organisatorische taken van de TMS opgenomen, zoals genoemd in artikel 7.2.4 van het Bbs. Het betreft taken ten aanzien van het monitoringsprogramma (artikel 7.2.4.b), de adequate administratie (artikel 7.2.4.c), de periodieke beoordelingen van waarschuwingssystemen (artikel 7.2.4.d), de voorlichting en scholing van medewerkers (artikel 7.2.4.g en 7.2.4.l), de werkplannen (artikel 7.2.4. h en i), de regelmatige rapportage (artikel 7.2.4.g) en de samenwerking met de stralingsbeschermingsdeskundige (artikel 7.2.4.m). Deze taken worden in de volgende paragrafen behandeld.

De paragraaf eindigt met een bespreking van de knelpunten die een TMS kan tegenkomen bij de uitoefening van zijn taak.

### 9.2.2 Monitoringsprogramma (Bbs, artikel 7.2.4.b)

#### *De regelgeving*

Zoals in hoofdstuk 5 aangegeven, is in artikel 8.15 van het Bbs opgenomen dat er ‘passende programma’s voor kwaliteitsborging en evaluaties van doses en toegediende hoeveelheden’ worden toegepast. Voordat een toestel in het gebouw aanwezig is, moet de registratie/vergunning zijn geregeld.

Bij aanschaf van een nieuw toestel of bij een reparatie van een bestaand toestel zijn acceptatietests nodig. Artikel 7.1.5 van het Bbs zegt hierover: ‘De ondernemer zorgt ervoor dat een nieuwe of aangepaste bron niet in gebruik wordt genomen dan na een acceptatietest, anders dan die genoemd in de artikelen 8.8 en 8.15, verricht door of onder toezicht van een stralingsbeschermingsdeskundige, gevolgd door diens toestemming om de bron in gebruik te nemen.’ Merk op dat de tekst spreekt over een ‘bron’. Dat kunnen radioactieve stoffen zijn, maar de wet- en regelgeving is zo opgesteld dat een röntgentoestel ook als bron gezien wordt.

Als het toestel in gebruik is, stelt artikel 4.7 van de verordening van de ANVS dat er een jaarlijkse controle op deugdelijke werking en lekstraling moet zijn.

Een *acceptatietest* en *jaarlijkse prestatietesten* van het toestel zijn dus verplicht en de resultaten ervan worden in het Kernenergie-

wet (KEW)-dossier bewaard. Indien in het verleden geen acceptatietest is gedaan bij installatie van het röntgentoestel, geldt de eerste prestatietest als referentie.

Deze tests kunnen door de toezichthoudend medewerker worden uitgevoerd, de stralingsbeschermingsdeskundige kan ze uitvoeren, of ze kunnen worden uitbesteed aan een bedrijf. Voor deze handelingen is het niet voldoende dat het toestel geregistreerd is; er is een vergunning voor nodig (zie Bbs artikel 3.8.2.i). Er is wel een keuze voor de uitvoering van deze handelingen, maar de controle op de uitvoering moet gebeuren door de stralingsbeschermingsdeskundige (zie Bbs, artikel 5.30).

#### *De uitwerking in de praktijk*

Bij de jaarlijkse kwaliteitscontrole, dus de jaarlijks verplichte prestatietest, worden fysische parameters van een intraorale buis (buisspanning, timer, dosis en halveringsdikte) gecontroleerd en vergeleken met eerdere metingen. Naast de controle op het stralingsniveau en werking van de toestellen is het ook nodig om de beeldvormende systemen te controleren op goede beeldkwaliteit. Een prestatietest beeldkwaliteit staat in het Bbs niet expliciet beschreven als een verplichte test, maar is op grond van ALARA wel noodzakelijk.

In de tabellen 9.1-9.4 worden voorbeelden gegeven van de kwaliteitseisen voor intraorale röntgentoestellen voor acceptatietests en prestatietests die afgeleid zijn van de KNMT-richtlijn.

*Tabel 9.1*

*Voorbeeld van tests die in een bepaalde frequentie bij elk intraoraal röntgentoestel uitgevoerd worden (acceptatie- en prestatietests)*

<i>test</i>	<i>wanneer controleren</i>	<i>hoe/waarmee</i>	<i>acceptatielichtlijn</i>
bundelgrootte	bij aanschaf	tubus	35 × 45 mm
buisspanning	jaarlijks	multidosismeter	60 – 70 kV 1 – 10% afwijking
opnametijd	jaarlijks	multidosismeter	1 – 20% afwijking
waarschuwingssignaal bij belichting	tijdens gebruik	waarneming	
dosis onderkaak-molaar	jaarlijks	multidosismeter	< 1 mGy (DRN = 4 mGy)
HVD	jaarlijks	multidosismeter	> 1,7 mm Al
lekstraling	jaarlijks	multidosismeter	< 1 mSv/uur

De KNMT-richtlijn geeft ook kwaliteitseisen voor het na te streven percentage geslaagde intraorale röntgenopnames en het aantal opnames dat niet bruikbaar is voor diagnostiek. De belangrijkste punten uit deze richtlijn staan in tabel 9.2.