

Inhoud

1 Inleiding	3
2 Deel 1: Risico identificatie	5
2.1 A: Inventarisatie bronnen (NCS 4.1)	5
Eigenschappen van de bronnen	5
2.2 B: Inventarisatie handelingen (NCS 4.2)	6
Inventarisatie handelingen met toestellen	6
Inventarisatie handelingen met ingekapselde bronnen	6
2.3 C Aantal (deel) handelingen en werknemers (NCS 4.3)	7
aantal handelingen	7
medewerkers	8
2.4 D Locatie (NCS 4.4)	9
2.5 E Blootstellingspaden (NCS 4.5)	9
2.6 F Voorziene onbedoelde gebeurtenissen (NCS 4.6)	10
2.8 Technische en organisatorische getroffen maatregelen (NCS 4.7)	10
3 Deel 2 Bepalen van de blootstelling (Risicoberekening)	12
3.1 reguliere blootstelling (NCS 5.1)	12
3.2 Potentiële blootstelling (NCS 5.2) en kans op het zich voordoen (NCS 5.3)	13
3.3 Effect van persoonlijke beschermings middelen (NCS 5.4)	15
4 Deel 3 Risico-evaluatie (NCS 6)	16
4.1 Basisprincipes: rechtvaardiging en optimalisatie	16
4.2 Dosislimieten	16
4.3 Dosisbeperkingen (NCS 6.3)	17
4.4 Identificatie en indeling van blootgestelde werknemers (NCS 6.4 en 6.5)	17
4.5 Identificatie en indeling van ruimte (NCS 6.6)	18
4.6 Actualiseren getroffen maatregelen (NCS 6.7)	19
6. Referenties	20
Bijlage 1	21
Overzicht factoren en conclusie risicofactor R.	21
Bijlage 2	22
Zone indeling	22

1 Inleiding

De afdeling Brachytherapie van stichting Dr. Bernard Verbeeten Instituut (BVI) maakt voor patiëntenbehandeling gebruik van ingekapselde bronnen. Deze bronnen worden geïmplantéerd (jodium-125 bij prostaatbehandelingen) of met een HDR afterloader via een applicator tijdelijk naar het doelgebied gebracht.

Jodium-125 zaadjes worden door het BVI naar behoefte ingekocht voor implantaties van patiënten met prostaatkanker. Na ontvangst/controles worden de bronnen kortdurend opgeslagen in de kluisruimte C-vleugel. Op de dag van implantatie worden ze vervoerd naar de urologie-operatiekamer van het TweeSteden ziekenhuis (TSZ). Na de implantatie verblijft de patiënt enkele uren op een van de C-vleugel kamers tot ze zelfstandig kunnen plassen. Resterende zaadjes worden opgeslagen in de kluisruimte.

Het BVI beschikt over een afterloader voor brachytherapie: Flexitron HDR. Doelgroep is m.n. gynaecologie en soms mamma en huid. HDR applicaties worden uitgevoerd op de OK/behandelruimte (voorheen veelal de "OK" genoemd) van de C-vleugel. In 2020 worden er geen andere radionucliden bronnen gebruikt voor brachytherapie.

Met de risicoanalyse wordt het risico van werknemers bij blootstelling aan ioniserende straling in beeld gebracht. Hierbij worden de werkzaamheden en handelingen met daarbij de eventuele risico's weergegeven. Op basis van de risicoanalyse kan er een personeelsindeling, een ruimte indeling en een aantal veiligheidsinstructies worden opgesteld. Eventueel volgt er een advies over personeelsindeling, ruimte indeling of veiligheidsinstructies, als de bestaande indelingen en instructies afwijken van de eigenlijk te volgen indeling en instructies.

Volgens het Besluit Basisveiligheidsnormen stralingsbescherming 2018 is een medewerker is een blootgestelde medewerker, als uit een risicoanalyse blijkt dat hij mogelijk meer dan 1 mSv effectieve dosis op jaarbasis kan ontvangen bij reguliere blootstellingen en voorziene onbedoelde gebeurtenissen. Aan een blootgestelde medewerker dient de werkgever een passend, persoonlijk dosiscontrolemiddel ter beschikking te stellen.

Ook dient er een indeling te worden gemaakt betreffende de ruimtes van het BVI. Er zijn twee bijzondere indeling categorieën van toepassing: bewaakte zone en gecontroleerde zone. Een ruimte is een gecontroleerde zone als er een mogelijke overschrijding is van 6 mSv/a (tot max. 20 mSv/a). Een ruimte is een bewaakte zone wanneer er een mogelijke overschrijding is van 1 mSv/a (tot max. 6 mSv/a).

De risicoanalyse als onderdeel van het Kernenergiewet dossier wordt opgesteld voor het direct en indirect betrokken personeel. Hierbij wordt de patiënt, de belasting op de terreingrens en het gevolg van eventuele lozingen van radioactieve stoffen niet meegenomen.

Bij de patiëntenbehandeling op de afdeling radiotherapie is het personeel niet in de ruimte aanwezig waar de patiënt behandeld wordt. Een uitzondering is de brachyprostaat procedure; deze procedure wordt uitgevoerd op de OK, TSZ.

De risicoanalyse in dit rapport is uitgevoerd volgens de "Leidraad risicoanalyse stralingstoepassingen"¹ van het RIVM en conform Bijlage A van het BbS.

In de hoofdstuknummers wordt steeds verwezen naar de nummering van NCS publicatie;
RIAS Samenvatting NEDERLANDSE COMMISSIE VOOR STRALINGSDOSIMETRIE
NCS Communicatie Mei 2019

¹ Leidraad risicoanalyse stralingstoepassingen RIVM 2010

2 Deel 1: Risico identificatie

2.1 A: Inventarisatie bronnen (NCS 4.1)

Brachytherapie vindt alleen plaats in de vestiging Tilburg. Voor de brachytherapie zijn 2 toestellen van belang. Een overzicht van deze toestellen, inclusief eigenschappen (systeemidentificatie, locatie, merk, type, jaar van ingebruikname, maximale buisspanning, en aard van de toepassing) is toegevoegd tabel 2.1.

Tabel 2.1a Overzicht toestellen mbt brachytherapie

systeem identificatie	locatie	merk	type	jaar van ingebruikname	maximale buisspanning	toepassing
CT1	(A1.C12.2)	GE	Optima 580W	2011	140 kV,	radiotherapie voorbereiding
CT2	(A1.C14.4)	GE	Optima 580W	2012	140 kV,	radiotherapie voorbereiding

Daarnaast wordt 1 ingekapselde bronnen toegepast (exclusief I-125 bronnen). Een voorbeeld overzicht van deze ingekapselde bron inclusief eigenschappen (nuclide, omschrijving, bergplaats en activiteit) is toegevoegd in Tabel 2.1B. Voor een aanwezig bronnummer worden lijsten van de HDR bron wordt digitaal bijgehouden.

Tabel 2.1B

10-05-2019

Nuclide	Kalibratie-datum	Kalibratie-activiteit (MBq)	Huidige activiteit (MBq)	Omschrijving	Lokatie
Ir-192	17-04-2019	4.36E+05	3.50E+05	HDR	Kluisruimte C-vleugel

Voor de LDR brachytherapie gebruikt het Instituut I-125 ingekapselde zaadjes. In 2020 zijn er 6049 I-125 zaadjes ingekocht voor in totaal 82 patiënten.

Eigenschappen van de bronnen

De bronnen in de afterloaders zijn van Ir-192, de jodiumzaadjes bevatten I-125. In onderstaande tabel (2.1c) staat een overzicht van de eigenschappen van deze bronnen.

Tabel 2.1C: Eigenschappen bronnen

Bron	Soort straling	Energie	Halveringstijd	H(10) per MBq op 1 m
Ir-192	bèta straling (β^-)	256 keV (6%), 536 keV (41%); 672 keV (48%), 296 keV (29%), 308 keV (30%)	74,2 dagen	0,139 $\mu\text{Sv/h}$
	gammastraling	317 keV (83%); 468 keV (48%); 604 keV (8%)		
I-125	bèta min straling (β^-) gammastraling	35,3 keV / 35,5 keV 27,5 keV	59.4 dagen	0,034 $\mu\text{Gv/h}$

Overige gegevens voor I-125 zijn overgenomen van de NCS publicatie
Tabel 2.1D Gegevens I-125 volgens NCS

activiteit per zaadje (MBq)	15.0	Uit: L.T. Dauer, brachytherapy, 2004: 1,5 GBq geeft 6 $\mu\text{Sv/uur}$ op 30 cm Uit: Bos (overgenomen uit ICRP-74, tabel A.17)
gemiddelde aantal zaadjes per implantaat	80.0	
dosistempo op 30 cm van de patient ($\mu\text{Gy h}^{-1}$ per zaadje)	0.068	
conversiefactor E/K_a (Sv/Gy)	0.122	
conversiefactor equivalente huiddosiss (Sv/Gy)	1.000	

2.2 B: Inventarisatie handelingen (NCS 4.2)

Alleen de handelingen die verricht worden door BVI-personeel zijn meegenomen in deze risicoanalyse. Voor de risicoanalyse worden de volgende behandelingen onderscheiden:

Inventarisatie handelingen met toestellen

Voor zowel de HDR als de LDR brachytherapie wordt een CT gemaakt van de patiënt. Bij HDR is dat voor treatment planning en voor LDR voor postplanning. Deze handelingen worden uitgevoerd door de CT laboranten (BVB). De HDR patiënt is op dat moment niet actief. Dit wordt meegenomen in de RIE BVB en niet in deze RIE.

Inventarisatie handelingen met ingekapselde bronnen

HDR Behandeling

Bij deze behandeling worden bij de patiënt applicatoren aangebracht in het te bestralen gebied (doelgebied). Tijdens de bestralingen worden de bronnen vanuit de HDR op afstand in het doelgebied gebracht. Buiten deze periodes van bestraling zijn de bronnen opgeslagen in de afgeschermdde kluis in de afterloader. De bronnen worden alleen in de patiënt (het doelvolumen) ingebracht wanneer het personeel zich buiten de behandelruimte/ patiëntenkamer bevindt. Bediening van de bronnen (afterloader) vindt plaats vanaf een console. Bij deze vorm van behandeling is er geen reguliere blootstelling van het personeel. Bij het verifiëren van de locatie van de applicator bij de HDR toepassingen kan gebruik gemaakt worden van CT beeldvorming.

NB. Bij het uitvoeren van werkzaamheden aan het apparaat of het verwisselen van de bronnen (elk kwartaal) kan blootstelling aan straling plaatsvinden. Deze handelingen, die extern zijn ondergebracht, vallen buiten de scope van deze risicoanalyse. De kwaliteitscontroles na bronwisseling worden uitgevoerd door de KFM.

LDR Jodium-125 zaadjes (seeds of strands)

Bij deze behandeling worden de radioactieve bronnen operatief in het doelgebied geplaatst. De bronnen blijven na implantatie in de patiënt en worden slechts bij uitzondering verwijderd. De laagenergetische straling van de jodium-125 bronnen veroorzaakt buiten het lichaam van de patiënt een stralingstempo van <50 µGy/h (na implantatie van 80 zaadjes van ca. 15 MBq). De ingreep vindt plaats in het TSZ. Handelingen van OK personeel TSZ worden in deze risicoanalyse niet meegenomen. Bronnen worden aangeleverd vanuit het BVI (kluisruimte). Na de ingreep verblijft de patiënt gedurende korte tijd tot ontslag in een eigen patiëntenkamer.

2.3 C Aantal (deel) handelingen en werknemers (NCS 4.3)

De volgende reguliere handelingen worden onderscheiden:

Tabel 2.2: Overzicht reguliere handelingen

Nr.	Omschrijving	Doel	Beroepsgroepen*
H1	Bereiden bronnen	Juiste hoeveelheid bronnen voor implantatie	KFM
H2	Implantie bronnen I-125	Juiste verdeling van bronnen over doelgebied	RTO, BL, KFM, overigen **
H3	verwerking I-125	afval verwerking, natellen restant	BL , KFM
H4	HDR bediening	patientbehandeling	BL, overigen
H5	QA metingen HDR dagelijks	positie controle bron	BL
H6	QA metingen HDR kwartaal	calibratie controle en plan controles	KFM

**Met overigen wordt hier met name bedoeld op de doktersassistente die als 'omloop' fungeert. Deze doktersassistente is een medewerkster BVI.

aantal handelingen

Handelingen H1 t/m 3 wordt onderverdeeld in een aantal deelhandelingen. Deze handelingen zijn in Tabel 2.3 weergegeven.

Tabel 2.3: Overzicht deelhandelingen

Nr. deelhandeling H2	Deelhandelingen	aantal handelingen	Beroepsgroep*	aantal betrokken medewerkers/handeling
H1a	Openen van de verpakking met de zaadjes (5 sec, 90 zaadjes, op 0,5 m)	100	KFM	1
H1b	Controleren activiteit van strands (5 sec)	100	KFM	1

H1c	Bereiden strands (600 sec, 10 zaadjes, op 0,5 m)	100	KFM	1
H2a	Vullen van vleugels (20 per patient; 20 sec per naald)	100	RTO	1
H2b	Implanteren patiënt (30 min, 80 zaadjes, 0,5 m)	100	RTO	1
	Implanteren patiënt (30 min, 80 zaadjes, 2 m) incl afwikkeling	100	BL	1
H3a	Natellen zaadjes na afloop procedure (10 sec, 10 zaadjes, 0,5 m)	100	KFM	1
H3b	Nameten afval en kamer (op 2 m)	100	BL	1
H4	HDR behandeling in bedieningsruimte	120	RTO/ BL/DA	1/1/1
H5	HDR positie controle dagelijks	60	BL	1
H6	HDR kalibraties na bronwissel	4	KFM	1

Voor de handelingen met I-125 zijn 100 verrichtingen opgenomen per jaar. Bij de I-125 implantaties is dit gelimiteerd door de vergunning van het ETZ. Voor de HDR behandelingen is gerekend met 120 verrichtingen (fracties) per jaar. Gewoonlijk zijn er 2 tot 3 verrichtingen per patiënt.

medewerkers

In deze risicoanalyse wordt een inschatting gemaakt voor de blootstelling aan straling als gevolg van reguliere handelingen en bij voorziene onbedoelde gebeurtenissen bij brachytherapie verrichtingen. Het betreft de betrokken radiotherapeut-oncoloog, klinisch fysicus, klinisch fysisch medewerker, brachylaborant, en overigen (waarmee doorgaans de omloop = doktersassistente wordt bedoeld of een enkele keer ook verplegend personeel).

Hierbij worden de volgende opmerkingen gemaakt.

(i) Met uitzondering van de RTO worden alle genoemde groepen van personen ingeschakeld bij alle vormen van brachytherapie. De RTO's hebben echter hun eigen subspecialisatie: een deel voert de I-125 prostaatimplantaties uit; een ander deel houdt zich m.n. bezig met de gynaecologische brachytherapie. Weer anderen doen de huidbestralingen. In grove lijn houden we een onderverdeling aan tussen de RTO's die zich met I-125 bezig houden, en de andere RTO's betrokken bij brachytherapie.

(ii) Er is nog een categorie medewerkers die kan worden blootgesteld aan straling als gevolg van brachytherapie: de verpleegkundigen ETZ, die vanuit het naastgelegen ziekenhuis zorg verlenen aan opgenomen patiënten op de C-vleugel: voor brachytherapie en voor Open Bronnen therapie (m.n. I-131 voor de schildklier, zijnde een nucleaire geneeskundige verrichting). Hier is voor gekozen om weliswaar de blootstelling van deze verpleegkundigen te benoemen en te kwantificeren, omdat uit de huidige brachytherapie analyse op relatief eenvoudige wijze volgt wat de blootstelling kan zijn onder bepaalde aannames.

Omdat van de Open Bronnen therapie (NG) een separate analyse is opgesteld, worden deze gegevens hier slechts gerubriceerd maar niet nader geanalyseerd. Ze worden overgenomen in de risicoanalyse voor Open Bronnen.

Het reguliere brachyteam in deze RIE bestaat naast de 2 RTO's uit 2 doktersassistenten, 2 brachylaboranten, en 2 KFM ers. Daarmee is een minimale bezetting doorgerekend.

2.4 D Locatie (NCS 4.4)

Een deel van de handelingen vindt plaats binnen het BVI. Een deel van de handelingen wordt uitgevoerd in het OK-complex van het ETZ (locatie TSZ) (feitelijke implanteren I-125 en de plaatsing van de applicatoren HDR in geval narcose toediening noodzakelijk is). Stralingsblootstelling van personen in deze ruimtes wordt meegenomen in deze RI&E. Niet-narcose verrichtingen vinden plaats in de OK/behandelruimte BVI.

De bergplaats van de ingekapselde bronnen is genoemd in Tabel 2.1B
In tabel 5 staat een overzicht van de verschillende ruimtes waar de handelingen plaats kunnen vinden. De bestralingen met de afterloader vinden plaats in de patiëntenkamers brachytherapie (HDR: C1. Q25.1 of C1.N24.1). Voor deze bestralingen zijn echter geen handelingen benoemd, omdat de blootgestelde medewerkers zich achter de console bevinden.

Op bouwtekeningen van het BVI is een oude ruimtenummering gebruikt. Op Excel-sheets waar in dit document naar verwezen wordt is een nieuwe nummering gebruikt. Om verwarring te voorkomen, is er in tabel 2.4B weergegeven welke nummering er nu wordt gebruikt en welke nummering is weergegeven op de bouwtekeningen van het BVI.

Tabel .2.4: Locaties handelingen

Nr.	Omschrijving	Ruimte(s)
H1	Bereiden bronnen	Kluisruimte brachytherapie (C1.N28.1) en behandelruimte ETZ
H2	Implanteren bronnen	Behandelruimte brachytherapie (ETZ)
H3	verwerking	patiëntenkamer / behandelruimte ETZ
H4 en 5	HDR behandeling	C1.Q28.1 of C1.Q25.1
H6	QA kwartaal	C1.Q28.1

Tabel 2.4b: Weergave oude en nieuwe nummering

Ruimte	Oude nummering /naamgeving	Nieuwe nummering/naamgeving
Patiëntenkamer (HDR)	C-103	C1. Q25.1 C1 .N24.1
Kluisruimte	C-115	C1.N28.1
OK/Behandelruimte (BVI)	C-113 (OK)	C1.Q28.1

Zie ook plattegrond in bijlage 2

2.5 E Blootstellingspaden (NCS 4.5)

De blootstellingspaden bij HDR brachytherapie zijn beperkt tot externe blootstelling van het lichaam. Bij LDR brachytherapie komt daar blootstelling van extremiteiten bij.

2.6 F Voorziene onbedoelde gebeurtenissen (NCS 4.6)

In Tabel 2.5 is een overzicht gegeven van de voorziene onbedoelde gebeurtenissen, waarbij personeel wordt blootgesteld aan straling. In paragraaf 3.3, wordt elke gebeurtenis uitgebreid beschreven, zodat alle benodigde gegevens voor de risicoberekening overzichtelijk bij elkaar staan.

Tabel 2.5: Overzicht voorziene onbedoelde gebeurtenissen

Nr.	Omschrijving	Oorzaak	Beroepsgroepen*
G2	Bron keert niet terug in afterloader HDR	Storing in applicator/sturing die niet met noodgreep (gouden greep) op te lossen is	KFM, BL, KF
G3	Jodium-bron blijft in naald vastzitten	-	RTO, KFM, BL
G4	Patiënt heeft bron verloren na permanente implantatie (blijkt uit telling)	-	KFM, BL (overig)
G5	Bron blijft achter in behandelruimte Volledig verval	Bron kwijt blijkt pas later bij telling	Overig

NB: G1 is vervallen

2.8 Technische en organisatorische getroffen maatregelen (NCS 4.7)

De maatregelen per locatie staan uitgebreid beschreven in het Beveiligingsplan straling BVI 2013², het onderzoek naar de noodprocedure van de HDR² is opgenomen in het KF&I Kwaliteitshandboek³. Ook de organisatorische maatregelen zijn beschreven in het KF&I Kwaliteitshandboek.

Tabel 2.6: Getroffen maatregelen

Nr	Omschrijving	Getroffen maatregelen
H1	Bereiden bronnen	Organisatorische maatregelen (veiligheidsinstructies) Afscherming op werkblad
H2	Implanteren bronnen	Organisatorische maatregelen laborant Toediensysteem/ afterloader
H3=-	CT	Organisatorische maatregelen, aparte bedieningsruimte met loodafscherming
H3	Controle voorraad	Organisatorische maatregelen (veiligheidsinstructies) Loodafscherming
HDR	bediening / calibratie	Organisatorische maatregelen, aparte bedieningsruimte met beton- / loodafscherming

² Onderzoek naar de noodprocedure voor de Flexitron afterloaders Instituut Verbeeten (waarin opgenomen: Onderzoek noodprocedure PDR, interne Rapportage Radiotherapie, UMCU 2005) met bijlage Flexitron (2013).

³ KF&I Kwaliteitshandboek

3 Deel 2 Bepalen van de blootstelling (Risicoberekening)

3.1 reguliere blootstelling (NCS 5.1)

Bij deze gegevens horen de rekenbladen

RIE Brachytherapy HDR 2019.xls

RIE Brachytherapy LDR (prostaatimplantaties) 2021.xls

conform het RIVM /NCS model

In Tabel 3.1 staat de berekende dosis van reguliere handelingen per medewerker. De kolom "Dosis per FTE" geeft per modaliteit de jaardosis indien de medewerker een heel jaar op deze modaliteit / activiteit werkzaam is. Indien maar een deel van de werkzaamheden op deze modaliteit / activiteit plaatsvinden dan wordt hier een overeenkomende fractie van genomen. Elke medewerker kan op basis van de eigen case mix (% aanwezigheid op een modaliteit /activiteit) het eigen jaartotaal bepalen.

Tabel 3.1 Reguliere handelingen en berekende dosis lichaam en hand per implantatie van gemiddeld 80 zaadjes.

Nr. deel- hande- ling	Deelhandelingen	Beroeps groep*	Dosisraming per deelhandeling per patiënt	Handdosis per patient
H1 a	Openen van de verpakking met de zaadjes (5 sec, 90 zaadjes, op 0,5 m)	KFM	0,028 µSv	12 µSv
H1b	Controleren activiteit van strands (5 sec)	KFM	0,028 µSv	35 µSv
H1c	Bereiden strands (10 min, 10 zaadjes, op 0,5 m)	KFM	1.66 µSv	690 µSv
H2a	Vullen van vleugels	RTO	2.2 µSv	93 µSv
H2b	Implanteren patiënt (30 min, 90 zaadjes, 0,5 m)	RTO	10 µSv	
H2c	Implanteren patiënt (30 min, 90 zaadjes, 2 m) incl afwikkeling	BL	0,062µSv	
H3a	Natellen zaadjes na afloop procedure (10 sec, 10 zaadjes, 0,5 m)	KFM	0,083 µSv	0 µSv
H3b	Afval verwerking	BL	0.001 µSv	0 µSv
H4	HDR behandeling in bedieningsruimte	RTO/ BL	0.71 µSv	nvt
H5	HDR kalibraties in bediening	KFM/BL	0.29 µSv	nvt
H6a	HDR QA dagelijks	BL	0.15	nvt
H6b	HDR QA kwartaal	KFM	4.3	nvt

In Tabel 3.2 is dit omgerekend naar een jaardosis door te vermenigvuldigen met het totaal aantal handelingen en te delen door het totaal aantal personen die die handeling uitvoeren.

Tabel 3.2 Dosis per FTE bij reguliere handelingen bij 100 patiënten per jaar.

Handeling	Beroepsgroep*	Dosis op lichaam per r jaar per FTE (mSv)	Dosis op handen per per jaar per FTE
LDR voorbereiding en verwerking	KFM	0.09	37 mSv
LDR implantatie	RTO	0.61	0.46 mS
LDR implantatie en begeleiding	BL	0.	0.03µSv
LDR begeleiding patiënt	overigen*	0.02	
HDR behandeling	BL/RTO	0.041	nvt
HDR calibratie (4 per jaar)	KFM / BL	0.0057	nvt

* overige FTE is onbekend dus uitgegaan van 1 persoon die alle werk doet.

Voor de HDR calibratie is uitgegaan van 4 calibraties per jaar gedaan met twee personen. (2 per FTE) en uitgaande van werk in de applicatie / OK ruimte, wat het reguliere protocol is.

3.2 Voorzien onbedoelde blootstelling (NCS 5.2) en kans op het zich voordoen (NCS 5.3)

De potentiële blootstellingen zijn ook berekend in bovengenoemde rekenbladen.

In deze paragraaf worden de voorziene onbedoelde gebeurtenissen beschreven, waarbij een dosisschatting wordt gemaakt voor het bepalen van de effectfactor, de belastingsfactor wordt gegeven op basis van het voorkomen van de handelingen en de kans op voorkomen van de gebeurtenis wordt geschat in relatie tot het voorkomen van de handelingen voor het bepalen van de waarschijnlijkheidsfactor. Voor het bepalen van de effectfactor, belastingsfactor en waarschijnlijkheidsfactor zijn tabellen gebruikt uit de leidraad risicoanalyses van het RIVM. Deze tabellen zijn in bijlage 2 weergegeven.

G2: Bron keert niet terug in afterloader HDR

In uitzonderlijke gevallen kan het voorkomen dat de bron niet correct terugkomt in de afterloader nadat hier via de console opdracht toe gegeven is. In deze gevallen kan de bron direct met een noodknop worden teruggetrokken. Niet alleen op de console (bedieningsruimte) is een dergelijke noodknop aanwezig, ook op de afterloader zelf zit een noodknop. In die gevallen dat de bron niet met de noodknop in de afterloader teruggeplaatst kunnen worden, wordt de noodprocedure in werking gesteld. Het betrokken personeel wordt minimaal tweejaarlijks geïnstrueerd in deze noodprocedures. De handeling waarbij de gebeurtenis plaats kan vinden wordt gemiddeld 1x per dag uitgevoerd.

De belastingfactor $B = 6 = \text{'dagelijks'}$.

De kans dat de gebeurtenis tijdens de handeling plaatsvindt, is veel kleiner dan eenmaal per jaar.

De waarschijnlijkheidsfactor $W = 0,1 = \text{'bijna niet denkbaar'} = 10^{-6}$.

De dosis wordt veroorzaakt door externe blootstelling aan straling van de iridium-192 bron die in de tubes (in de patiënt) aanwezig is.

Uitgaande van een bron van 384 GBq, een verblijftijd van maximaal 5 minuten op ca 50 cm afstand van de bron is een effectieve dosis berekend van ca. 17,8 mSv voor degene

die de bron daadwerkelijk verwijdert en in een loodpot doet (noodprocedure). In deze dosisraming is geen rekening gehouden met het gebruik van een afschermend mobiel loodscherm. De effectfactor wordt gebaseerd op de onafgeschermd maximaal geschatte dosis van 17,8 mSv en is dan gelijk aan 40 (Eff. = 40).

Dosis (mSv)	VOG G2: Bron keert niet terug		
	kans	dosis lichaam	dosis extremiteit
5 min op 50 cm noodprocedure	< 1x per jaar bijna niet denkbaar	17.8 mSv	

Voor HDR afterloading geldt dat een potentieel zeer ernstig incident in deze analyse buiten beschouwing wordt gelaten: het eventueel loskomen van de bron van de drive-kabel. In de afgelopen 30 jaar is een dergelijk incident wereldwijd eenmaal in de open literatuur beschreven en kan om die reden als zeer zeldzaam worden beschouwd. De dosis die een medewerker hierbij kan oplopen (anders dan in de beschreven gebeurtenis G2) wordt niet meegenomen in de dosissommatie voor de indeling van medewerkers. Dit laat onverlet de noodzaak van het hebben van goede instructies (zoals voor bronwissel).

G3: Jodium-bron blijft in naald vastzitten

Om de jodiumbronnen te kunnen implanteren worden de bronnen voorafgaand aan de procedure in een naald gedaan. Bij het implanteren kan het voorkomen dat de bronnen niet goed uit de naald komen. In deze gevallen worden de betreffende naald met bron afgevoerd.

De handeling waarbij de gebeurtenis plaats kan vinden wordt wekelijks uitgevoerd.

De belastingfactor $B = 3$

De kans dat de gebeurtenis tijdens de handeling plaatsvindt, wordt geschat op een op de honderd.

De waarschijnlijkheidsfactor $W = 3 = \text{'ongewoon'} = 10^{-2}$.

De dosis wordt veroorzaakt door externe blootstelling aan straling van de jodium-125 bron. Door de laagenergetische straling die uitgezonden wordt is een effectieve lichaamsdosis laag. Voor de dosisschatting wordt uitgegaan van een naald met vier bronnen (totaal: 60 MBq). De blootstellingstijd op ca 10 centimeter wordt geschat op ca 1 minuut. Hierbij is met name sprake van handdosis.

Dosis	VOG G3: Jodium blijft steken in naald		
	kans	dosis lichaam	dosis extremiteit (mSv/jr)
1 min op 10 cm 4 bronnen	1x per jaar	nvt	0.003

De situatie uit G3 kan worden uitgebreid . Eén bron blijft achter en wordt niet gevonden. Daardoor vervalt de bron volledig op die plek in de applicatie ruimte. De medewerkers zijn echter niet permanent aanwezig in de kamer. Er wordt uitgegaan van 3 uur verblijf per dag en de afstand tot de bron 1.5 m. Dit levert een dosis van 0.007 mSv per keer op. Dit is echter in de 10 jaar dat we de zaadjes gebruikten nog maar een enkele keer voorgekomen. De afgelopen vier jaar slechts 1 keer. Daarom is de frequentie minder dan 1 keer per jaar. De dosis wordt daarom niet meegenomen in de jaardosis van de medewerkers.

G4: Patiënt verliest bron na permanente implantatie

Wanneer uit de controlefoto's die na implantatie gemaakt worden blijkt dat minder bronnen in het doelgebied zitten dan geïmplantieerd moet men er vanuit gaan dat één of meerdere jodiumzaadjes 'verloren' zijn. Conform de noodprocedure I-125 worden de

bronnen in de patiëntkamer (waar de patiënt tot 24 uur na implantatie opgenomen wordt) gezocht. De bron wordt gezocht met een besmettingsmonitor op alle plaatsen waar de bron mogelijk zou kunnen liggen (katheter, bed, po, vloer, stoel, etc.). Gevonden zaadjes worden met een pincet in een loodcontainer geplaatst en opgeslagen in de kluisruimte brachytherapie.

De handeling waarbij de gebeurtenis plaats kan vinden wordt wekelijks uitgevoerd.

De belastingfactor $B = 3$

De kans dat de gebeurtenis tijdens de handeling plaatsvindt, wordt geschat op meer dan eenmaal per jaar.

De waarschijnlijkheidsfactor $W = 3 = \text{'ongewoon'} = 10^{-2}$.

De dosis wordt veroorzaakt door externe blootstelling aan straling van de jodium-125 bron. Door de laagenergetische straling die uitgezonden wordt is een effectieve lichaamsdosis laag. De activiteit van een enkele bron is maximaal 15 MBq. De blootstellingstijd op ca 1 meter wordt geschat op ca 30 minuten (tijd tot vinden van de bron). De effectieve dosis voor de uitvoerder (doorgaans KFM, BL) kan hiermee geschat worden op 0,003 mSv⁴.

De effectfactor is hiermee gelijk aan 1 (Eff. = 1).

Een verbijzondering van een dergelijk geval is dat de gebeurtenis een verpleegkundige ongemerkt overkomt. Dan wordt haar blootstelling gedurende het veronderstelde 1 uur verzorging/patiënt een factor 6 hoger geschat, uitkomend op 0,026 µSv. Hiermee verandert de effectfactor echter niet.

Dosis	VOG G4: Patient verlies zaadje		
	kans	dosis lichaam	dosis extremiteit
10 min op 1 m 1 bron	> 1x per jaar	0.0043 µSv	-

3.3 Effect van persoonlijke beschermingsmiddelen (NCS 5.4)

Bij het bepalen van de blootstelling is geen rekening gehouden met persoonlijke beschermingsmiddelen. Bij de LDR implantaties wordt geen loodschoort gedragen. Bij de HDR behandelingen wordt gebruik gemaakt van de bouwkundige aanpassingen. Er zijn geen verdere hulpmiddelen die verrekend worden.

4 Deel 3 Risico-evaluatie (NCS 6)

4.1 Basisprincipes: rechtvaardiging en optimalisatie

Zie algemeen document.

Bij LDR is de afweging tussen chirurgie, brachytherapie en watchfull waiting gemaakt in overleg met de patiënt. Alle drie (afhankelijk van de gradatie) zijn standard of care. HDR is een aanvulling op de standaard behandeling. Er is geen alternatief beschikbaar. Alle indicatie stellingen worden gedaan volgens de richtlijnen en waar nodig via een multi disciplinair overleg.

4.2 Dosislimieten

De inventarisatie en berekening uit onderdelen van hoofdstuk 3 tonen aan dat er geen dosislimieten worden overschreden.

Fysisch technische werkzaamheden zoals bronwissel, kalibraties en kwaliteitscontroles worden doorgaans met een frequentie van 4x per jaar uitgevoerd aan de HDR afterloader, deels door KFM, BL, deels door externen (de 'firma'). Deze werkzaamheden zijn dus laag-frequent en worden als reguliere handeling beschouwd. Tijdens deze handelingen bevinden medewerkers zich aan de bedieningsconsole en om die reden wordt aangenomen dat ze niets noemenswaardig toevoegen aan de blootstelling die al berekend wordt voor de veel frequentere klinische handelingen. Een beschrijving van de kenmerken van de HDR apparatuur is opgesteld en beschikbaar.⁷

De jaardosis wordt opgesplitst in de blootstelling van het lichaam (tabel 4.1) en de blootstelling van de handen (tabel 4.2). Ook de blootstelling aan voorziene onbedoelde gebeurtenissen wordt weergegeven (tabel 4.3).

Tabel 4.1: Toetsing limieten van blootstelling lichaam (mSv/a); tussen haakjes het aantal betrokken medewerkers per FTE

Beroepsgroep	HDR	I-125	Som
RTO prostaat (2)	-	0.611	0.6
RTO GYN (2)	0.041	-	0.041
KFM (2)	0.0057	0.093	0.099
BL (2)	0.0416	0.034	0.076
Overigen (2)	0	0.02	0.02

Tabel 4.2: Toetsing limieten van blootstelling handen (mSv/a); tussen haakjes het aantal betrokken medewerkers

Beroepsgroep	HDR	I-125
RTO prostaat (2)	-	0.46
RTO GYN (3)	-	-
KFM (2)	-	37
BL (2)	-	0
Overigen (2)	-	0

Deze dosis ligt onder de 150 mSv/jaar en ook onder de 50 mSv/jaar. Daarmee wordt aan de publiekslimiet voldaan.

Tabel 4.3: Som voorziene onbedoelde gebeurtenissen ($\mu\text{Sv/a}$),

Beroepsgroep	G2 (HDR)	G3 (4xI-125 seed)	G4 (1x seed)
RTO prostaat	-	0,16	-
RTO GYN	-	-	-
KF	(17800)**	-	-
KFM	(17800)	0,16	0,0043
BL	(17800)	0,16	0,0043
Overigen	-	-	-
Verpleegkundigen	-	-	0,026***

De kans op optreden van VOG G2 is veel minder dan 1 keer per jaar. Hij wordt daarom niet meegenomen in de optelling voor indeling van de medewerkers. Mocht een dergelijke gebeurtenis zich voordoen dan wordt dit toch beschouwd als een calamiteit en zal contact worden opgenomen met de overheid.

Omdat ingeschat wordt dat de RTO's niet als eersten worden ingeschakeld om een eventuele bron-obstructie (de gebeurtenis G2) op te lossen zal hun jaardosis liggen tussen het referentieniveau en 1 mSv/a.

4.3 Dosisbeperkingen (NCS 6.3)

nvt

4.4 Identificatie en indeling van blootgestelde werknemers (NCS 6.4 en 6.5)

In de Tabel 2.2 staan de betrokken medewerkers genoemd. Daarvan kunnen volgens de berekeningen alleen de klinisch fysisch medewerkers en de brachylaboranten een gesommeerde jaardosis ontvangen die hoger kan zijn dan 1 mSv. Bij de klinisch fysisch medewerkers is dat ook op basis van de werkzaamheden bij nucleaire geneeskunde. Aangezien de dosis niet hoger kan zijn dan 20 mSv worden zij allen ingedeeld als B medewerker. Alle andere medewerkers worden niet ingedeeld.

4.5 Identificatie en indeling van ruimte (NCS 6.6)

In Tabel 4.4 is een overzicht gegeven van de maximale berekende dosiswaarden voor de betreffende ruimtes/gebieden.

Tabel 4.4: Berekende max. dosiswaarden per ruimte waarin personeel kan worden blootgesteld.

Ruimte	Toepassing	Afstand	Dosis per jaar
OK/behandelruimte (BVI)	HDR	1 m	997,5 mSv *
C103	HDR	1 m	39,9 mSv
Gang C-vleugel	HDR tpv OK/behandelruimte (250 fracties/a)	4 m, 30cm beton	662,6 μ Sv ⁵
	HDR tpv C-103 (10 fracties/a)	4 m, 30cm beton	26,5 μ Sv
Bediening	HDR	3 m (afscherming betonmuur 40 cm)	259 μ Sv ⁵
		3 m (afscherming looddeur 50mm)	83,1 μ Sv
Kluis**	Kluisruimte	Nabij containers	10 mSv
	Kluis-gang	0,1 m (afscherming 30 cm beton)	62,4 μ Sv
Openbare gang	HDR tpv OK (250 fracties/a)	4m, 40cm beton	145,7 μ Sv

*In de OK/behandelruimte is de blootstelling berekend op 1 m van kale bron in een bestralingsruimte. Hierbij is de blootstellingswaarde bij de HDR bron 3,99 mSv per fractie⁵. Gerekend wordt met 250 fracties per jaar ($250 \times 3,99 = 997,5$ mSv/a). De dosis per jaar bij HDR is dus 997,5 mSv; op de kamer C103 is dit voor 10 fracties/jaar: $10 \times 3,99 = 39,9$ mSv/a.

**De kluisruimte (C-115) in de C-vleugel wordt gebruikt voor de opslag van een aantal radionucliden die bij brachytherapie worden toegepast. Opgeslagen zijn hier de voorraad I-125 zaadbronnetjes voor de prostaatimplantaties tot een maximum activiteit van 75 GBq; de opslag van Ir-192 HDR bron tot een max. van 2 bronnen met een gezamenlijke activiteit van 400 GBq; en ijkbronnen, m.n. Cs-137, tot een max. van 1,75 GBq. De fysieke verpakking is die van het transport, dan wel na uitpakken en controle in de aanwezige loodkluisjes. De Ir-192 HDR bronnen zijn ofwel aanwezig in de respectievelijke afterloaders; gereed voor klinisch gebruik; ofwel opgeborgen in de daarvoor bestemde transportcontainers. Direct aan de containers/kluisjes kunnen op 10 cm afstand blootstellingsniveaus worden gemeten tussen 1 en 10 μ Sv/h; snel aflopend met de afstand tot deze containers/kluisjes als gevolg van de kwadratenwet. De kluisruimte is slechts toegankelijk voor een zeer beperkte groep medewerkers (KF, KFM), met toegangsbeperking via het pasjessysteem. De kluisruimte wordt als een geheel beschouwd als de bergplaats voor de genoemde bronnen.

Buiten de bergplaats wordt op 10 cm afstand van de muur in de gang C-114 een exposie gemeten die maximaal de waarde heeft van: 0,3 μ Sv/h @ 0,1 m; ofwel max. 62,4 μ Sv/a @ 0,1 m. Deze gang is geen doorgangruimte en wordt slechts zelden gebruikt. Binnen de bergplaats kan bij volledige bezetting (100% werktijd, $F_b = 1$) op een ongunstige plaats nabij de containers een blootstelling bijv. tot 5 μ Sv/h; d.w.z. tot max

10 mSv/a bedragen. In de bergplaats wordt door de KFM per week echter reëlerwijs maximaal 10 minuten doorgebracht i.v.m. uitpakken van bronleveranties en administratie. Dan is de blootstelling maximaal 41,7 μ Sv/a, hetgeen qua werkzaamheden nog wordt gedeeld door meerdere collegae.

4.6 Actualiseren getroffen maatregelen (NCS 6.7)

Zie ook algemeen document.

Bij de voorziene onbedoelde gebeurtenissen is het voorkomen van die gebeurtenissen een belangrijk onderdeel van de planning en organisatie van de handelingen. Toch is het mogelijk dat deze gebeurtenissen optreden. In die gevallen is het zaak om de dosis voor patiënt en medewerkers zo laag mogelijk te houden en de ongewenste situatie zo snel mogelijk op te lossen. De noodprocedures en maatregelen geven hier invulling aan.

Er zijn diverse (extra) maatregelen genomen om de blootstelling te beperken en de veiligheid te vergroten. Hieronder vallen de volgende maatregelen.

- Afspraken met de afdeling Radiotherapie dat zwangere medewerkers niet worden ingezet voor reguliere handelingen m.b.t. de brachytherapie.
- Deskundigheidsbevordering in de vorm van (jaarlijkse) klinische lessen stralingshygiëne.
- Veiligheidsinstructies in/bij de ruimtes. Veiligheidsinstructies in/bij de ruimtes (met o.a.aanwezigheid van kniptang bij HDR bronnen en aanwezigheid van pincet bij gesloten bronnen) (documenten in het Kwaliteits Handboek KF&I "03-C09 Bijlage..")

- Toegangsbeperkingen via het pasjessysteem met beperking van bevoegdheden tot geautoriseerden.

- Beschikbaarheid van stralingsdetectieapparatuur nabij de werkplek.

- Controlesysteem op intact zijn van deze hulpmiddelen.

- Deurcontacten met automatisch terugtrekken van de bron naar de afterloader.

- Waarschuwinglichten boven/naast de deur bij gebruik afterloading.

- Indeling in bewaakte en gecontroleerde zones met de bijbehorende signaleringsborden.

- Separate analyse van de TLD badge (jaar)uitslagen.

6. Referenties

1. Besluit Stralingsbescherming 2002
2. Beveiligingsplan straling BVI 2013 25 september 2013:
"Beveiligingsmaatregelen en stralingsbeschermingsberekeningen voor de bestralingsruimtes van de afdeling Radiotherapie", auteur: ██████████
██████████
3. RIVM Rapport 620850001/2010. "Leidraad risicoanalyse stralingstoepassingen", auteur: ██████████
4. RI&E RT concept model NCS risicoanalyse radiotherapie tabblad I-125 implantatie BVI, auteur: ██████████
5. RI&E RT concept model NCS risicoanalyse radiotherapie tabblad BT HDR in BVI, auteur: ██████████
6. RI&E RT concept model NCS risicoanalyse radiotherapie tabblad BT PDR in BVI, auteur: ██████████
7. Onderzoek naar de noodprocedure voor de Flexitron afterloaders Instituut Verbeeten (waarin opgenomen: Onderzoek noodprocedure PDR, ██████████, interne Rapportage Radiotherapie, UMCU 2005) met bijlage Flexitron (2013).
8. KF&I kwaliteitshandboek, auteur: ██████████
9. Jaarverslagen BVI CSH commissie, auteur: ██████████

Bijlage 1

Overzicht factoren en conclusie risicofactor R.

Bij elke voorziene onbedoelde gebeurtenis een omschrijving gegeven en zijn keuzes voor de effectfactor, belastingsfactor en waarschijnlijkheidsfactor gemotiveerd. Het risicogetal wordt berekend met de formule:

$$R = Eff. \cdot B \cdot W$$

Handeling	B	W	Eff.	R
G2 Niet terugkeren bron HDR	6	0,1	40	24
G3 Jodium-bron zit vast in naald	3	3	5	45
G4 Patiënt verliest bron	3	3	1	9

De risicofactor R wordt gebruikt om de risico's onderling te vergelijken. Vanuit de vergelijking kan worden beoordeeld bij welk risico het het meest zinvol is om er extra aandacht aan te schenken, d.m.v. bijv. aanvullende maatregelen of nadere instructies. Het risicogetal blijft in ieder geval ruim onder de 100 hetgeen vaak als een kritische grens wordt beschouwd voor noodzakelijke snelle actie³.

Bijlage 2

Zone indeling

Figuur van de locatie Tilburg, begane grond. Rechts in de figuur de C-vleugel met daarin aangetekend de gecontroleerde zones als gevolg van handelingen Brachytherapie (NB: de RI&E Nucleaire Geneeskunde gaat in op de situatie van de jodium-131 kamers; nu niet aangetekend).

