

**Bijlagen bij
Deel A: Kew-deel**

Revisie van Bijlage A14:

**Risico analyse handelingen
protonentherapie en
medische beeldvorming**

Revisie 11/03/2015

Revisieoverzicht

Wijzigingsdatum

11/03/2015

Aanleiding van de wijzigingen

Sinds de op 16 juni 2013 toegekende Kew vergunning heeft HollandPTC voor andere leverancier van protonenapparatuur gekozen dan eerder was voorzien. Dit heeft veranderingen tot gevolg in de technische specificaties van het cyclotron en op detailniveau in het gebouwwontwerp. Hierdoor zijn nieuwe dosisberekeningen nodig. Dit biedt tevens de gelegenheid om de nieuwste inzichten omtrent de relevante parameters mee te nemen om zo tot realistischere schattingen te komen, alsmede om onvolkomenheden in de eerdere versie van deze bijlage te adresseren.

Samenvatting van de wijzigingen

- De ingeschatte effectieve dosis voor reguliere, dagelijkse behandelingen in de behandelgantries ("H1") is omlaag bijgesteld van 1.5 mSv naar 1.0 mSv in overeenstemming met de operationele grenswaarde voor de protonentherapie apparatuur.
- De effectfactoren voor verschillende handelingen zijn gecorrigeerd (H1, G1H1, G2H1, H2, G1H2, G2H2, H3, H4). De waarden zijn gebaseerd op Bijlage A13 maar waren in eerdere instantie ruim genomen in het kader van een 'worst case scenario'. Door de correcte getallen uit Tabel 3.2.1 uit Bijlage A13 over te nemen, is er nu sprake van een realistische beschrijving in plaats van een 'worst case' beschrijving.
- De situatie m.b.t. de diagnostische CT is uitgebreid met een extra bijdrage ("H4") vanwege dagelijkse handelingen in de aangrenzende PET-CT ruimte.
- De situatie m.b.t. de PET/CT is uitgebreid met een extra bijdrage ("H7") vanwege dagelijkse handelingen in de aangrenzende CT ruimte.

Conclusie van de wijzigingen

In de gewijzigde situatie wordt onverminderd aan de voorschriften van de vergunning voldaan. Er wordt hierin dan ook geen wijziging aangevraagd. Wel wordt gevraagd om Bijlage A14 zoals genoemd in de vigerende vergunning te vervangen door deze gewijzigde bijlage als beschrijving van de handelingen (**vergunning V, onder L, onder 1**).

Risico analyse handelingen protonentherapie en medische beeldvorming

1. Inleiding

In deze bijlage wordt een schatting gemaakt van de dosis ten gevolge van het verrichten van handelingen (zowel reguliere als voorziene onbedoelde) die relevant zijn voor protonentherapie en medische beeldvorming t.b.v. protonentherapie. Op het moment dat deze handelingen daadwerkelijk kunnen starten, zal eerst een interne vergunning aangevraagd moeten worden, met daarbij een uitgebreide risico analyse voor zowel handelingen (*handelingen-rias*) als personen (*personen-rias*) volgens de bijgevoegde vaste procedure.

- Zie Bijlage “Procedure voor het opstellen van risico analyses als onderdeel van een interne vergunning”.

Bepaald zijn de volgende parameters:

- Effectieve dosis
- Effectfactor (E_f)
- Belastingfactor (B)
- Waarschijnlijkheidsfactor (W)
- Risicogetal ($R = E_f \times B \times W$)

Het risicogetal R dient als maat voor de verplichting van extra stralings-beschermende maatregelen, zie Bijlage “Procedure voor het opstellen van risico analyses als onderdeel van een interne vergunning”.

Genoemde parameters zijn bepaald voor handelingen in de volgende ruimtes:

- Behandelbunkers (protonengantry)
- Oogbunker
- Diagnostische CT
- PET/CT

2. Uitkomsten van de risico analyse

Handeling	Protonen gantry-bunker	Effectieve dosis (mSv)	Ef	B	W	R
H1	<i>Reguliere handeling</i> Dagelijkse handelingen (patient setup, beeldvorming, e.d.)	1.0	7	1	15	105
G1H1	<i>Voorziene, onbedoelde gebeurtenis</i> Ongebruikelijke aanwezigheid in de bestralingsbunker ten tijde van protonetherapie-behandeling	0.02	1	10	0.1	1
G2H1	Ongebruikelijke aanwezigheid in de bestralingsbunker ten tijde van CT-scan	0.026	3	10	0.1	3
G3H1	Ongebruikelijke aanwezigheid in de bestralingsbunker ten tijde van orthogonale Röntgenbeeldvorming, op 1 meter afstand	0.014	1	10	0.1	1
G4H1	Ongebruikelijke aanwezigheid in de bestralingsbunker ten tijde van orthogonale Röntgenbeeldvorming, in de directe bundel	0.13	4	10	0.1	4

Handeling	Oogbunker	Effectieve dosis (mSv)	Ef	B	W	R
H2	<i>Reguliere handeling</i> Dagelijkse handelingen (patient setup, beeldvorming, e.d.)	1.0	7	1	15	105
G1H2	<i>Voorziene, onbedoelde gebeurtenis</i> Ongebruikelijke aanwezigheid in de bestralingsbunker ten tijde van protonetherapie-behandeling	0.1	3	6	0.1	1.8
G2H2	Ongebruikelijke aanwezigheid in de bestralingsbunker ten tijde van orthogonale Röntgenbeeldvorming, op 1 meter afstand	<.001	0	6	0.1	0
G3H2	Ongebruikelijke aanwezigheid in de bestralingsbunker ten tijde van orthogonale Röntgenbeeldvorming, in de directe bundel	0.002	1	6	0.1	0.6

Handeling	Diagnostische CT	Effectieve dosis (mSv)	Ef	B	W	R
H3	<i>Reguliere handeling</i> Dagelijkse handelingen (beeldvorming)	0.1	3	1	15	45
H4	Bijdrage van PET-CT in aangrenzende ruimte	0.1	3	1	15	45
G1H3	<i>Voorziene, onbedoelde gebeurtenis</i> Ongebruikelijke aanwezigheid in de bestralingsbunker ten tijde van CT beeldvorming	0.026	3	10	0.1	3

Handeling	PET/CT	Effectieve dosis (mSv)	Ef	B	W	R
H5	<i>Reguliere handeling</i> Dagelijkse handelingen CT beeldvorming	0.1	3	1	15	45
H6	Dagelijkse handelingen PET	2.525	15	1	15	225
H7	Bijdrage van CT in aangrenzende ruimte	0.1	3	1	15	45
G1H5	<i>Voorziene, onbedoelde gebeurtenis</i> Ongebruikelijke aanwezigheid in de bestralingsbunker ten tijde van CT beeldvorming	0.026	3	10	0.1	3
G1H6	Lekkende spuit, 10%,buiten LAF-kast	0.001	1	10	0.2	2
G1H6	Medisch nucleair werker of reanimatieteam 1 uur op 1 meter afstand van patient	0.035	3	10	0.5	15
G1H6	Extremitetendosis bij opruimen vrijgekomen activiteit (10%)	12.7	4	10	0.5	20
G1H6	Laborant staat 30 minuten naast transportcollie met gevulde spuiten	0.024	3	6	1	18
G1H6	Transportcollie valt bij verplaatsen spuiten van leverancierskluis naar hotlab	0	0	6	1	0

3. Toelichting per berekening

Bestralingsbunker (protonengantry)

H1

Effectfactor: 7

Ingeschatte effectieve dosis: **1.0 mSv**

Deze waarde is de operationele grenswaarde voor de jaardosis binnen de gantries (zie bijlage "A22 Jaardosis ruimten") en wordt ondersteund door een analyse van het Francis H. Burr protonencentrum van het Massachusetts General Hospital (MGH), dat als poster gepresenteerd is op PTCOG congres in Essen¹. Gemeten was een jaardosis van minder dan 1.5 mSv voor laboranten die in protonentherapie werken, over alle handelingen (bestraling van uit de controlekamer, beeldvorming in de bunker en aanwezigheid in de bunker in de buurt van geactiveerde protonentherapie onderdelen). Deze exposie was in de studie gelijk aan die van laboranten die op MGH op de fotonen afdeling werken. Met correctie voor achtergrondstraling (van typisch 1 mSv per jaar) is deze jaardosis onder de 1 mSv. De werkelijke exposie van laboranten is naar verwachting veel lager op HollandPTC want:

- De beeldvorming vindt plaats van buiten de behandelbunker
- De activering van onderdelen van de protonen-nozzle is veel lager (factor 10) aangezien HollandPTC alleen pencil beam scanning gebruikt en geen passive-scattering.

Belastingsfactor: 1 (reguliere handeling)

Waarschijnlijkheidsfactor: 15 (reguliere handeling)

G1H1

Effectfactor: 1

Ingeschatte effectieve dosis: **0.02 mSv**

Gezien de aard van protonentherapie kan de laborant zich niet in de directe bundel bevinden. Er is geen ruimte voor de laborant om zich tussen de nozzle en de patiënt te bevinden, en er is geen uittredende protonenbundel. De enige mogelijke exposie is daardoor gelimiteerd tot (neutronen) strooistraling van de patiënt.

Hierbij is uitgegaan van het scenario dat een persoon zich op 1 meter van het isocentrum bevindt en er 5 sec over doet om een noodstop in te drukken (of het labrynt in te lopen).

Volgens Zhang et al.² is de maximale equivalente dosis op 1 meter afstand 2 mSv per afgeleverde Gy aan de patiënt. Volgens de leverancier duurt afgifte van 1 Gy (naar 1 liter) ten minste 60 seconden. De afgegeven dosis naar de patiënt in deze 5 seconden is 0.1 Gy. Maximale dosis naar een persoon op 1 meter afstand in 5 seconden is dus 0.2 mSv.

Bovendien is het geschatte neutronen equivalente dosis op 1 meter afstand (van 2 mSv per therapeutische Gray) een *worst-case* schatting. Het gaat uit van een monoenergetische protonenbundel van maximale energie (235 MeV) die geheel gestopt wordt in een messing aperture. In *pencil beam scanning*, de methode van protonentherapie te HollandPTC, waarbij vrijwel alle protonen pas in de patiënt afgeremd worden, is de verwachte

¹ Daartz et al. "Radiation safety for pregnant staff in proton therapy centers", <http://www.ptcog52.org/index.php?id=67&ald=144&zid=65>

² Phys Med Biol. 2010 Dec 7;55(23):6975-85

neutronen productie, en daarmee de onbedoelde dosis op 1 meter van de patiënt, typisch een factor 10 lager.³

Belastingsfactor: 10

Per behandelbunker worden, in een achturige shift, maximaal 32 patiënten behandeld waarbij de afgifte van meerdere velden een continu proces is met tussen de bundels door geen aanwezigheid van personeel binnen de bestralingsbunker.

Waarschijnlijkheidsfactor: 0.1

Op het Erasmus MC, met 8 versnellers en 36.000 handelingen per jaar, is dit risico dat iemand zich onbedoeld in de bunker bevindt ingeschat op eens per 10 jaar, over het hele instituut, oftewel een waarschijnlijkheid van $3 \cdot 10^{-6}$. Het maximum aantal handelingen op HollandPTC in een gantry bunker, rekening houdend met toekomstige ontwikkelingen in het aantal te behandelen patiënten is 7500 fracties in een enkele shift. De waarschijnlijkheid is daarom ingeschat op 10^{-6} .

G2H1

Effectfactor: 3

Ingeschatte effectieve dosis: **0.026 mSv**

Ten tijde van het maken van de CT-scan loopt een persoon de bunker in, of deze bevindt zich al in de bunker. Aanname is dat het vijf seconden duurt voordat de scan geïnterrupteerd wordt, en dat de persoon zich op 2 meter van het CT isocentrum bevindt. Maximale strooi-straling op 2 meter is $0.021 \mu\text{Gy/mAs}$. In vijf seconden, op 250 mA, dus 0.026 mSv.

Belastingsfactor: 10

Aanname is dat er voor elke protonentherapie bestralingsfractie een CT-scan gemaakt wordt (32 per shift van 8 uur).

Waarschijnlijkheidsfactor: 0.1

Op het Erasmus MC, met 8 versnellers en 36.000 handelingen per jaar, is het risico dat iemand zich onbedoeld in de bunker bevindt ingeschat op eens per 10 jaar, over het hele instituut, oftewel een waarschijnlijkheid van $3 \cdot 10^{-6}$. Het maximum aantal handelingen op HollandPTC in een gantry bunker, rekening houdend met toekomstige ontwikkelingen in het aantal te behandelen patiënten is 7500 fracties in een enkele shift. De waarschijnlijkheid is daarom ingeschat op 10^{-6} .

G3H1

Effectfactor: 1

Ingeschatte effectieve dosis: **14 μSv**

De laborant/radiotherapeut bevindt zich per ongeluk op 1 meter afstand van de patiënt terwijl (tegelijk) een orthogonaal paar van kV images gemaakt wordt voor positionering. De laborant bevindt zich buiten de bundel. Uitgangspunt is een opname in het bekkengebied, vanwege de hoge kV en mAs waarde. Gegevens betreffende de dosis naar de patiënt en strooi-straling zijn gebaseerd op tabel II uit AAPM Report 95⁴. Deze data voor het Brainlab Novalis systeem is vergelijkbaar met die in de protonengantry waar de focus-huid-afstand

³ Moteabbed et al., Phys Med Biol. 2012;57(2):499-515

⁴ The management of imaging dose during image-guided radiotherapy: Report of the AAPM Task Group 75

ook ongeveer 2 meter is, en de panels zich ongeveer een meter achter de patiënt bevinden. Intreedosis is 0.55 mGy. Bundeloppervlak is 1200 cm² met daarmee een DAP = 660 mGy.cm². Scatterfactor op 1 meter voor 125 kV is 11 µGy/(Gy.cm²) (Figuur 2.2 in Sutton and Williams "Radiation Shielding for Diagnostic X-Rays", 2000). De effectieve dosis aan strooistraling op 1 meter afstand is daarmee 2 (images) * 660.10⁻³ * 11.10⁻⁶ = 14 microSv.

Belastingsfactor: 10

Aanname is dat er voor elke protonentherapie bestralingsfractie minstens één keer orthogonale beeldvorming gedaan wordt (32 keer per shift van 8 uur).

Waarschijnlijkheidsfactor: 0.1

Op het Erasmus MC, met 8 versnellers en 36.000 handelingen per jaar, is het risico dat iemand zich onbedoeld in de bunker bevindt ingeschat op eens per 10 jaar, over het hele instituut, oftewel een waarschijnlijkheid van 3*10⁻⁶. Het maximum aantal handelingen op HollandPTC in een gantry bunker, rekening houdend met toekomstige ontwikkelingen in het aantal te behandelen patiënten is 7500 fracties in een enkele shift. De waarschijnlijkheid is daarom ingeschat op 10⁻⁶.

G4H1

Effectfactor: 4

Ingeschatte effectieve dosis: **0.13 mSv**

De laborant/radiotherapeut bevindt zich per ongeluk in de primaire bundel van één van de imagers (beide imagers onmogelijk, want dat is in het isocentrum waar de patiënt zich bevindt). De persoon bevindt zich dan halverwege het isocentrum en de Röntgenbuis. De dosis is dus vier keer hoger dan dat de patiënt van één image zou krijgen: intreedosis is 4* 0.55 mGy = 2.20 mGy.

Met behulp van TG-75 wordt de intreedosis omgerekend naar effectieve dosis.

$$\text{Effectieve dosis} = D \times A \times F$$

$$D = 2.20 \text{ mGy}$$

$$A = \text{oppervlak} = 20 \times 15 \text{ cm}^2 \text{ (} 40 \times 30 \text{ cm}^2 \text{ in isocentrum)}$$

$$F = 19.9 \cdot 10^{-5} \text{ mSv/mGy cm}^2$$

$$\text{De effectieve dosis} = 2.20 \times 300 \times 19.9 \cdot 10^{-5} = 0.13 \text{ mSv.}$$

Belastingsfactor: 10

Aanname is dat er voor elke protonentherapie bestralingsfractie minstens één keer orthogonale beeldvorming gedaan wordt (32 keer per shift van 8 uur).

Waarschijnlijkheidsfactor: 0.1

Zie G3H1. De waarschijnlijkheid is nog een factor 10 lager ingeschat. De laagste waarschijnlijkheidsfactor is echter al 0.1.

Oogbunker

H2

Effectfactor: 7

Ingeschatte effectieve dosis: **1.0 mSv**.

Zie ook **H1**. De werkelijke dosis ligt lager om dezelfde redenen met als uitzondering dat het in de oogbunker wel een passive-scattering bundel betreft. Maar het gebruik van deze

bundel is veel lager dan wat tijdens de MGH studie gesimuleerd is. In de MGH gantry-bunker betrof het 6000 fracties per jaar, terwijl de oogbunker op HollandPTC het geschatte maximum 500 fracties per jaar betreft. Dit leidt tot minder activering van onderdelen, en ook tot minder aanwezigheid in de bunker door personeel.

Belastingsfactor: 1 (reguliere handeling)

Waarschijnlijkheidsfactor: 15 (reguliere handeling)

G1H2

Effectfactor: 3

Ingeschatte effectieve dosis: **0.1 mSv**.

Zie ook G1H1. Het betreft in deze bunker een passive-scattering nozzle (factor 10x hogere dosis dan bij G1H1) die in 60 seconden 20 Gy kan afgeven naar de zeer kleine tumor en dus in 5 seconden 1.5 Gy (factor 15x hogere dosis dan bij G1H1). De tumor is echter veel kleiner dan een liter. Het aantal protonen dat daadwerkelijk in de eerste 5 seconden de behandelbunker binnenkomt is een factor 30 kleiner dan bij G1H1 (Hoge dosisgebied maximaal $4 \times 4 \times 2 \text{ cm} = 30 \text{ cm}^3$). Totaal een factor 5 hogere stroostralingdosis dan bij G1H1.

Belastingsfactor: 6

In de oogbunker worden gemiddeld over een jaar 2 patiënten per dag behandeld.

Waarschijnlijkheidsfactor: 0.1

Zie ook G1H1. Het verwachte aantal handelingen in de bunker is 500 per jaar. De waarschijnlijkheid is daarom ingeschat op 10^{-6} .

G2H2

Effectfactor: 0

Ingeschatte effectieve dosis: **< 1 μSv** .

Zie ook G3H1. Gebaseerd op dezelfde tabel in AAPM report 95 is de effectieve dosis naar de patiënt voor beeldvorming in het hoofd 0.335 mGy per beeld i.p.v. 0.551 mGy per beeld. Het oppervlak van de Röntgenbundel is $10 \times 10 \text{ cm}^2$, waardoor de effectieve dosis op 1 meter afstand ten gevolge van stroostraling een factor 20 lager ligt, dus $14 \mu\text{Sv} / 20 = < 1 \mu\text{Sv}$.

Belastingsfactor: 6

In de oogbunker worden gemiddeld over een jaar 2 patiënten per dag behandeld.

Waarschijnlijkheidsfactor: 0.1

Zie ook G1H1. Het verwachte aantal handelingen in de bunker is 500 per jaar. De waarschijnlijkheid is daarom ingeschat op 10^{-6} .

G3H2

Effectfactor: 1

Ingeschatte effectieve dosis: **0.002 mSv**.

Zie ook G4H1 en G2H2. De laborant/radiotherapeut bevindt zich per ongeluk in de primaire bundel van één van de imagers (beide imagers onmogelijk, want dat is in het isocentrum waar de patiënt zich bevindt). De persoon bevindt zich dan halverwege het isocentrum en

de Röntgenbuis. De dosis is dus vier keer hoger dan dat de patiënt van één image zou krijgen: intreedosis is $4 \cdot 0.335 \text{ mGy} = 1.34 \text{ mGy}$.

Met behulp van TG-75 wordt de intreedosis omgerekend naar effectieve dosis:

$$\text{Effectieve dosis} = D \times A \times F$$

$$D = 1.34 \text{ mGy}$$

$$A = \text{oppervlak} = 5 \times 5 \text{ cm}^2 \text{ (} 10 \times 10 \text{ cm}^2 \text{ in isocentrum)}$$

$$F = 4.5 \cdot 10^{-5} \text{ mSv/mGy cm}^2$$

De effectieve dosis is daarmee $1.34 \times 25 \times 4.5 \cdot 10^{-5} = 0.002 \text{ mSv}$.

Gebaseerd op dezelfde cyberknife is de effectieve dosis naar de patiënt voor beeldvorming in het hoofd 0.22 mGy per beeld i.p.v. 0.91 mGy per beeld. Het oppervlak van de Röntgenbundel in het isocentrum is $10 \times 10 \text{ cm}^2$, waardoor de effectieve dosis op 1 meter afstand ten gevolge van stroostraling een factor 50 lager ligt, dus $12 \text{ } \mu\text{Sv} / 50 = < 1 \text{ } \mu\text{Sv}$.

Belastingsfactor: 6

In de oogbunker worden gemiddeld over een jaar 2 patiënten per dag behandeld.

Waarschijnlijkheidsfactor: 0.1

Zie ook G2H2. De waarschijnlijkheid is nog een factor 10 lager ingeschat. De laagste waarschijnlijkheidsfactor is echter al 0.1.

Diagnostische CT

H3

Effectfactor: 3

Ingeschatte effectieve dosis: **0.1 mSv**.

De afscherming op HollandPTC wordt ontworpen met een doeldosis van 0.1 mSv per jaar. Voor radiologische handelingen zullen de werknemers zich ten alle tijden buiten de CT-ruimte bevinden waardoor deze doeldosis de bovengrens bepaald.

Belastingsfactor: 1 (reguliere handeling)

Waarschijnlijkheidsfactor: 15 (reguliere handeling)

H4

Effectfactor: 3

Ingeschatte effectieve dosis: **0.1 mSv**.

Dit betreft de bijdrage van reguliere handelingen met de aangrenzende PET-CT. De afscherming op HollandPTC van de PET-CT wordt ontworpen met een operationele grenswaarde van 0.1 mSv per jaar. De werkelijke effectieve dosis ligt lager omdat laboranten zich niet ten alle tijden in de CT-ruimte bevinden.

Belastingsfactor: 1 (reguliere handeling)

Waarschijnlijkheidsfactor: 15 (reguliere handeling)

G1H3

Effectfactor: 3

Ingeschatte effectieve dosis: **0.026 mSv**

Zie G2H1.

Belastingsfactor: 10

Zie G2H1

Waarschijnlijkheidsfactor: 0.2

Op het Erasmus MC, met 8 versnellers en 36.000 handelingen per jaar, is het risico dat iemand zich onbedoeld in de bestralingsbunker bevindt ingeschat op eens per 10 jaar, over het hele instituut, oftewel een waarschijnlijkheid van $3 \cdot 10^{-6}$. De inschatting is dat deze waarschijnlijkheid voor een CT-ruimte een factor 10 hoger ligt, dus op $3 \cdot 10^{-5}$.

PET/CT

H5

Effectfactor: 4

Ingeschatte effectieve dosis: **0.1 mSv**.

De afscherming op HollandPTC wordt ontworpen met een doeldosis van 0.1 mSv per jaar. Voor radiologische handelingen zullen de werknemers zich ten alle tijden buiten de PET-CT-ruimte bevinden waardoor deze doeldosis de bovengrens bepaald.

Belastingsfactor: 1 (reguliere handeling)

Waarschijnlijkheidsfactor: 15 (reguliere handeling)

H6

Effectfactor: 15

Ingeschatte effectieve dosis: **2.525 mSv**

Zie bijlage "Dosisberekening F-18 Handelingen".

20.2 mSv per jaar voor alle handelingen, verdeeld over 8 medewerkers.

Belastingsfactor: 1 (reguliere handeling)

Waarschijnlijkheidsfactor: 15 (reguliere handeling)

H7

Effectfactor: 3

Ingeschatte effectieve dosis: **0.1 mSv**.

Dit betreft de bijdrage van reguliere handelingen met de aangrenzende diagnostische CT. De afscherming op HollandPTC van de CT wordt ontworpen met een operationele grenswaarde van 0.1 mSv per jaar. De werkelijke effectieve dosis ligt lager omdat laboranten zich niet ten alle tijden in de PET-CT-ruimte bevinden, en omdat de de afscherming tussen beide ruimtes gedreven wordt door de eisen voor afscherming van het FDG.

Belastingsfactor: 1 (reguliere handeling)

Waarschijnlijkheidsfactor: 15 (reguliere handeling)

G1H4

Effectfactor: 3

Ingeschatte effectieve dosis: **0.026 mSv**

Zie G2H1.

Belastingsfactor: 10

Zie G2H1

Waarschijnlijkheidsfactor: 0.1

Op het Erasmus MC, met 8 versnellers en 36.000 handelingen per jaar, is het risico dat iemand zich onbedoeld in de bestralingsbunker bevindt ingeschat op eens per 10 jaar, over het hele instituut, oftewel een waarschijnlijkheid van $3 \cdot 10^{-6}$. De inschatting is dat deze waarschijnlijkheid voor een PET/CT-ruimte vergelijkbaar is, dus 10^{-6} .

G1H5

Effectfactor: 1

Ingeschatte effectieve dosis: **0.001 mSv**

Zie bijlage "Dosisberekening F-18 Handelingen".

Belastingsfactor: 10

Meerdere spuiten worden dagelijks aangeleverd en uitgepakt.

Waarschijnlijkheidsfactor: 0.2

De waarschijnlijkheid op een lekkende spuit wordt ingeschat op 10^{-5} .

G2H5

Effectfactor: 3

Ingeschatte effectieve dosis: **0.035 mSv**

Zie bijlage "Dosisberekening F-18 Handelingen".

Belastingsfactor: 10

Tot acht patiënten per dag ondergaan een PET-scan.

Waarschijnlijkheidsfactor: 0.5

De waarschijnlijkheid dat een patiënt onwel wordt ten tijde van de scan is ingeschat als erg onwaarschijnlijk: 10^{-4} . Dit betekent dat bij een vol patiëntenprogramma (2080 handelingen per jaar) dit zich eens in de vijf jaar voordoet.

G3H5

Effectfactor: 4

Ingeschatte effectieve dosis: **12.7 mSv**

Zie bijlage "Dosisberekening F-18 Handelingen".

Let op: dit betreft de dosis naar de extremiteit (handen).

Belastingsfactor: 10

Tot acht patiënten per dag ondergaan een PET-scan waarvoor een aangeleverde spuit wordt ontvangen, intern getransporteerd, en gebruikt voor injectie van de patiënt.

Waarschijnlijkheidsfactor: 0.5

Zie G2H5, kans op lekkende spuit.

G4H5

Effectfactor: 3

Ingeschatte effectieve dosis: **0.024 mSv**

Zie bijlage "Dosisberekening F-18 Handelingen".

Belastingsfactor: 6

Twee maal per dag worden spuiten extern aangeleverd en naar de PET-hotlab getransporteerd.

Waarschijnlijkheidsfactor: 1

Volgens protocol zullen de spuiten kort na externe aanlevering vanuit de leverancierskluis naar het hotlab getransporteerd worden. De werkinstructie hierbij is om niet te treuzelen. Ingeschat is dat dit toch eens per jaar zal voorkomen, dus een waarschijnlijkheid van $1/500 = 10^{-3}$.

G5H5

Effectfactor: 0

Ingeschatte effectieve dosis: **0 mSv**

Zie bijlage "Dosisberekening F-18 Handelingen".

Belastingsfactor: 6

Twee maal per dag worden spuiten extern aangeleverd en naar de PET-hotlab getransporteerd.

Waarschijnlijkheidsfactor: 1

Ingeschat is dat de transportcollie eens per 1000 transporten kan vallen, dus een waarschijnlijkheid van 10^{-3} .