




# Luchtverspreidings- berekening locatie Maastricht Randwyck

Een nadere analyse van  
de gevolgen van  
ioniserende straling

**Vertrouwelijk**

In opdracht van de Universiteit Maastricht

auteur(s):		beoordeeld:	
naam:	17 142947 RK Nadere analyse Randwyck	goedgekeurd:	
referentienr.:	2.3919.03/17.142947	status:	Definitief
26 pagina's	19-4-2017		



## Inhoudsopgave

<b>1</b>	<b>Inleiding</b>	<b>5</b>
<b>2</b>	<b>Berekeningsmethode</b>	<b>6</b>
<b>3</b>	<b>Gegevens ten behoeve van NUDOS berekening</b>	<b>7</b>
3.1	Informatie over de locatie	7
3.2	Berekende emissie	8
3.2.1	Grootte en locatie van de emissie	8
3.2.2	Chemisch/fysische vorm van de vrijgezette nucliden	8
3.3	Bepaling ontbrekende coëfficiënten van kortlevende nucliden	9
<b>4</b>	<b>Resultaten</b>	<b>11</b>
4.1	Uitkomst NUDOS berekening	11
4.2	Toetsing luchtlozing	13
<b>5</b>	<b>Discussie en conclusies</b>	<b>14</b>
<b>6</b>	<b>Referenties</b>	<b>15</b>
	<b>Lijst van tabellen</b>	<b>16</b>
	<b>Lijst van figuren</b>	<b>16</b>
	<b>Bijlage A Berekende individuele dosis</b>	<b>17</b>
	<b>Bijlage B Bijdragen organisaties op locatie Randwyck</b>	<b>19</b>
	<b>Bijlage C NUDOS2 invoerfile</b>	<b>21</b>
	<b>Bijlage D Bepaling dosisconversiecoëfficiënten kortlevende isotopen</b>	<b>24</b>



# 1 Inleiding

Op het terrein van de Universiteit Maastricht (UM), het Academisch Ziekenhuis Maastricht (azM), BioPartner Center Maastricht B.V., Stichting Maastricht Radiation Oncology Maastricht-Clinic en Zuidoost Nederland Protonen Therapie Centrum (ZON-PTC) vinden handelingen plaats met ioniserende straling. Deze handelingen vinden plaats in het kader van een complexvergunning. De SBE van de UM ziet toe op de handelingen bij deze vergunningshouders en coördineert de handelingen binnen de complexvergunning. Eén van de gevolgen van deze handelingen is de emissie van radioactieve stoffen in de lucht.

De emissie op het complex Randwyck bestaat globaal uit 4 bijdragen (zie tevens Bijlage B):

1. De emissie van open radioactieve stoffen t.b.v. patiëntenzorg bij de afdeling nucleaire geneeskunde van het azM ( $L_{\max} = 22.2 Re_{inh}$ ). Verder is er een emissie van Xe-133.
2. De emissie van open radioactieve stoffen t.b.v. research bij het radionuclidenlab van de UM ( $L_{\max} = 1.16 Re_{inh}$ ).
3. De emissie van geactiveerde deeltjes t.g.v. protonetherapie bij ZON-PTC ( $L_{\max} = 1.5 \cdot 10^{-3} Re_{inh}$  op basis van inhalatie bijdragen). Verder is er een emissie van radioactieve edelgassen. (de handelingen bij ZON-PTC zullen pas najaar 2018 aanvangen)
4. De emissie van open radioactieve stoffen t.b.v. patiëntenzorg bij MAASTRO clinic ( $L_{\max} = 0.01 Re_{inh}$ ).

Vanwege de omvang van de emissie en de aanwezigheid van radioactieve edelgassen dient er conform de voorschriften in Bijlage 1.5 van de Ur-Sb [1] een nadere analyse plaats te vinden m.b.t. de gevolgen van deze emissie voor het milieu.

Wat is hiervan de onderbouwing?

- a. Onderdeel van de eenvoudige analyse is een toetsing van de totale emissie in lucht  $L_{\max}$  aan het secundair niveau. Vanwege de minimale afstand van het emissiepunt naar de terreingrens van 124 meter, dient  $L_{\max}$  kleiner dan  $10 Re_{inh}$  te zijn. De totaal berekende  $L_{\max}$  is echter  $23.39 Re_{inh}$  (zie Bijlage B).
- b. De blootstelling ten gevolge submersie door radioactieve edelgassen is niet door middel van een eenvoudige analyse vast te stellen.

De berekeningen voor de nadere analyse zijn daarom door NRG uitgevoerd met het rekenprogramma NUDOS2.

## 2 Berekeningsmethode

De dosisberekening is uitgevoerd met het programma NUDOS2[2]. Dit programma berekent de dosis voor reguliere emissies conform de DOVIS-A [3] methode, zoals voorgeschreven in Bijlage 1.5 van de Ur-Sb [1].

De belangrijkste eigenschappen van NUDOS2 zijn:

1. Verspreidingsberekening conform het Nieuw Nationaal Model (NNM) [4], tegenwoordig ook Standaard Reken Methode (SRM-3) genoemd.
2. Het NNM genereert de meteodata voor de locatie Maastricht.  
De dosisberekening worden uitgevoerd volgens de specificaties in DOVIS-A.

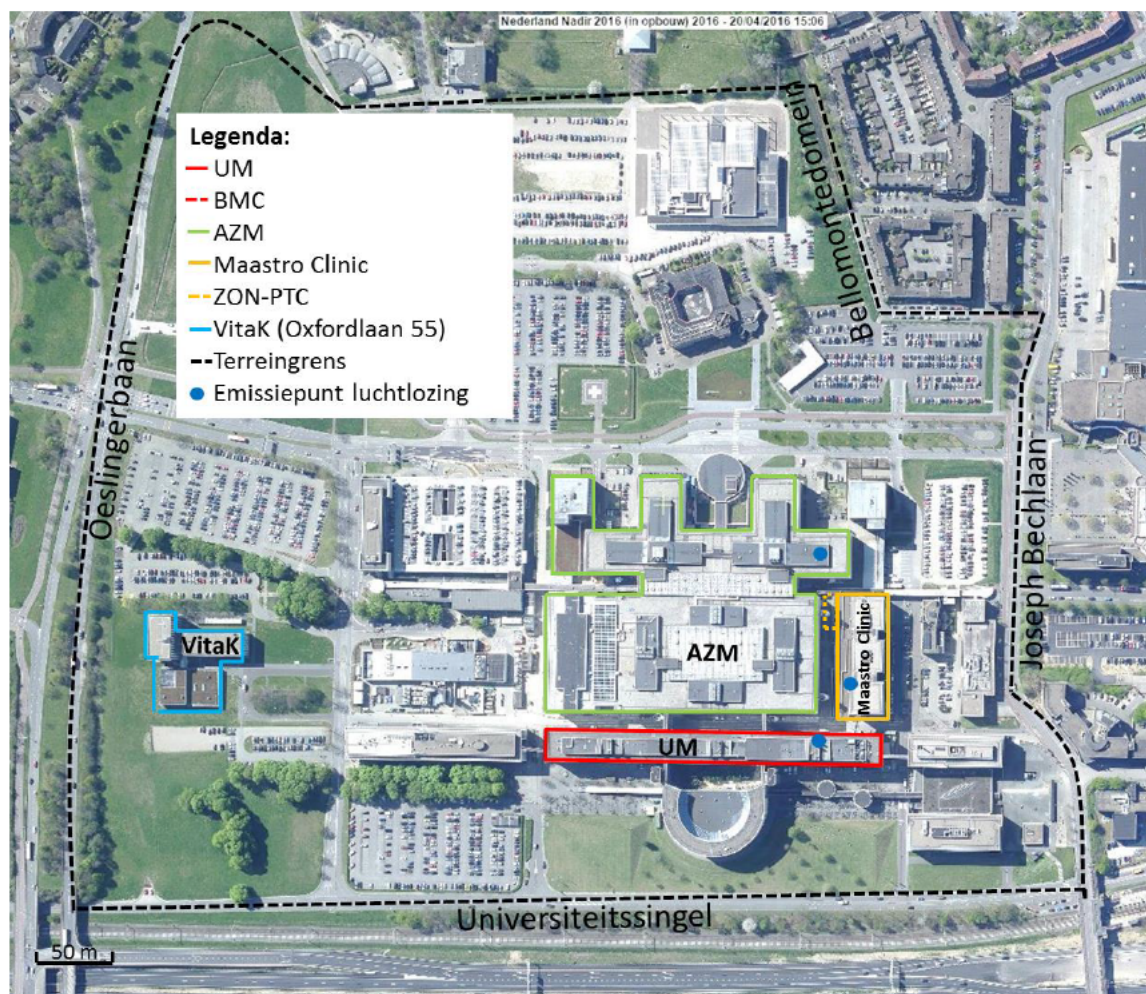
Bij de berekeningen zijn de volgende blootstellingspaden meegenomen:

- inhalatie
- submersie (externe straling uit de 'wolk')
- externe straling van gedeponerd materiaal ('grond dosis')
- ingestiedosis van materiaal dat na depositie op de bodem wordt opgenomen in de voedselketen.

### 3 Gegevens ten behoeve van NUDOS berekening

#### 3.1 Informatie over de locatie

De te beschouwen locatie Randwyck is gelegen ten zuiden van Maastricht en bestaat uit een viertal bijdragen, te weten de emissie van het azM, UM, ZON-PTC en MAASTRO. Figuur 1 geeft globaal de situatie op het terrein weer.



Figuur 1 Ligging Randwyck en de emissiepunten van het azM, Maaastro Clinic/ZON-PTC en de UM ten opzichte van het complex. ZON-PTC grenst aan Maaastro Clinic, het emissiepunt van ZON-PTC ligt binnen het terrein van Maaastro.

## 3.2 Berekende emissie

### 3.2.1 Grootte en locatie van de emissie

In Tabel 1 zijn de gegevens over de emissie in lucht weergegeven. De bijdragen van de radionucliden aan de inhalatiedosis zijn allen berekend op basis van de (jaarlijks) aanwezige activiteit met correcties voor effectiviteit van het filtersysteem (factor  $s_i$ ) en verspreidingskans (factor  $p_i$ ). De CRL factoren, die rekening houden met langere halfwaardetijden en gebruikt worden in de berekening van  $L_{max}$ , zijn niet meegenomen in de berekening van de activiteit in Tabel 1. De waarden in deze tabel bestaan uit de som van de emissies van het azM, UM, ZON-PTC en MAASTRO. De onderliggende individuele bijdragen staan in Bijlage B.

Omdat de grootste bijdrage aan de emissie afkomstig is van de afdeling nucleaire geneeskunde van het azM (zie Bijlage B) is ervoor gekozen om de emissie met één emissiepunt ter hoogte van de afdeling nucleaire geneeskunde van het azM te modelleren (zie Figuur 1). De hoogte van de lucht uitlaatschacht bedraagt 2 meter ten opzichte van een gebouwhoogte van 27 meter. De effectieve lozingshoogte is hiermee 29 meter boven het maaiveld.

De berekende emissie voor de protonenversneller is gebaseerd op het gebruik van dit toestel gedurende 50 weken per jaar, met een toestelworkload van 1000 Gy per week. Deze workload is gebruikelijk bij gewone fotonenversnellers. Voor protonenversnellers zal de workload in de praktijk lager zijn. Bij de vertaalslag van de onderliggende publicatie uit Lausanne is rekening gehouden met een aangestraald volume in de bunker van 1042 m<sup>3</sup>. De onderliggende berekening uit Lausanne gaat van een veel minder conservatief scenario uit waarbij voor hetzelfde type versneller slechts met een bunkervolume van 125 m<sup>3</sup> is rekening gehouden.

### 3.2.2 Chemisch/fysische vorm van de vrijgezette nucliden

Voor jodium is een droge depositiesnelheid van 0.02 m/s en een menglaag-uitwascoëfficiënt van  $7 \cdot 10^{-5}$  (1/s) aangenomen om rekening te houden met jodium in elementaire vorm. Dit depositiemodel is eenvoudiger dan het depositiemodel beschreven in DOVIS-A. De parameterwaardes zijn daarom zo gekozen dat er een lichte overschatting ontstaat ca. (10%) ten opzichte van het DOVIS-A jodiumdepositiemodel.

Fluor is een zeer reactief element dat komt vrijwel alleen in samengestelde vormen voor. Bijna al het geproduceerde fluor is FDG (waterige oplossing) en dat komt vrij (als het vrijkomt) als aerosol. Daarom is voor F-18 is aangenomen dat het aerosol is.

Het is aangenomen dat resterende radionucliden worden vrijgezet als aerosol. Conform DOVIS-A worden voor aerosol de depositie-eigenschappen van 'middelfijn stof' gebruikt. Bij gebrek aan informatie over chemische vorm van de vrijgestelde radionuclide is er voor de meest conservatieve inhalatieklasse gekozen.

Voor een volledig overzicht van de invoergegevens wordt verwezen naar Bijlage C, waar de NUDOS-invoerfile is weergegeven.

Tabel 1 Uitgezonden radioactiviteit via het emissiepunt.

Radionuclide	Emissiepad	Depositieklasse	Emissie [Bq/j]
F-18	inhalatie	middel-fijnstof	1.09E+10
Ga-67	inhalatie	middel-fijnstof	1.00E+05
Ga-68	inhalatie	middel-fijnstof	1.50E+09
I-123	inhalatie	Iodine	2.06E+08
I-124	inhalatie	Iodine	5.50E+06
I-125	inhalatie	Iodine	5.46E+06
I-131	inhalatie	Iodine	2.02E+08
In-111	inhalatie	middel-fijnstof	5.51E+07
Xe-133	submersie	Gas	5.00E+09
Lu-177	inhalatie	middel-fijnstof	1.00E+09
P-32	inhalatie	middel-fijnstof	3.03E+08
Ra-223	inhalatie	middel-fijnstof	4.80E+05
Re-186	inhalatie	middel-fijnstof	7.90E+04
Sm-153	inhalatie	middel-fijnstof	7.60E+06
Tc-99m	inhalatie	middel-fijnstof	1.59E+11
Y-90	inhalatie	middel-fijnstof	1.39E+07
Zr-89	inhalatie	middel-fijnstof	1.01E+07
C-14	inhalatie	Gas	1.85E+05
Cr-51	inhalatie	middel-fijnstof	1.00E+06
H-3	inhalatie	Gas	8.33E+06
S-35	inhalatie	Gas	4.20E+07
Th-232	inhalatie	middel-fijnstof	3.60E-03
Li-8	inhalatie	middel-fijnstof	8.34E+08
O-15	inhalatie	Gas	8.34E+08
N-16	submersie	Gas	4.17E+08
N-13	submersie	Gas	4.17E+08
C-11	inhalatie	Gas	8.34E+07
O-14	inhalatie	Gas	1.04E+08
Ar-41	submersie	Gas	2.08E+07
Cl-39	inhalatie	Gas	8.34E+05
Be-7	inhalatie	middel-fijnstof	1.25E+05
Si-31	inhalatie	middel-fijnstof	1.67E+05
Ar-37	submersie	Gas	1.67E+03
S-35	inhalatie	Gas	1.25E+02
Ar-39	submersie	Gas	1.25E+00

### 3.3 Bepaling ontbrekende coëfficiënten van kortlevende nucliden

Voor een aantal isotopen (met name kort levende isotopen die door de protonenversneller in lucht worden geactiveerd) zijn geen inhalatie- en submersiedosisconversiecoëfficiënten beschikbaar. De betreffende isotopen zijn weergegeven in Tabel 2. Voor de meest relevante isotopen is een berekening gemaakt van de dosiscoëfficiënt op basis van enkele conservatieve aannamen. De resultaten zijn opgenomen in de tabel. Voor verdere onderbouwing wordt verwezen naar Bijlage D.

Tabel 2 Overzicht van de verschillende isotopen met ontbrekende conversiecoëfficiënten. Voor de onderbouwing van de aanvullende getallen wordt verwezen naar Bijlage D.

Isotoop Eenheid	T1/2	Submersie Sv per Bq s m <sup>-3</sup>	Grond dosis	Inhalatie Sv/Bq	Ingestie
8Li	839.9 ms	vervallen	vervallen	vervallen	vervallen
15O	122.24 s	beschikbaar	n.v.t.	1.43E-13	n.v.t.
16N	7.13 s	beschikbaar	n.v.t.	geen opname	n.v.t.
13N	9.965 m	beschikbaar	n.v.t.	geen opname	n.v.t.
14O	70.62 s	1.80E-13	n.v.t.	2.33E-13	n.v.t.

## 4 Resultaten

### 4.1 Uitkomst NUDOS berekening

De maximale individuele jaardosis ten gevolge van de vrijgezette activiteit (zoals is beschreven in hoofdstuk 3) in het lozingspunt is weergegeven in Tabel 3. Een volledig overzicht van de maximale individuele dosis als functie van de afstand is terug te vinden in Bijlage A.

De inhalatiedosis is een functie van de activiteitsconcentraties in lucht, het jaarlijkse ademdebiet in lucht en de dosiscoëfficiënt(en) voor inhalatie, zoals wordt aangegeven in §6.4.3 van de Bijlage 1.5 van de Ur-Sb [1]. De submersiedosis is eveneens een functie van de activiteitsconcentraties in lucht en daarnaast van de duur van de blootstelling per jaar en de dosiscoëfficiënt(en) voor submersie voor de betreffende (edel)gassen, zoals wordt aangegeven in §6.4.4 van de AGIS bijlage.

De jaargemiddelde dosis op een cirkel op een gegeven afstand van de bron is niet constant. Ten noordoosten van de bron worden de maximale waarden gevonden, omdat meest voorkomende windrichting wind uit het zuidwesten is. Tabel 3 geeft deze maximale waarden voor de individuele dosis (ID) voor de afzonderlijke belastingspaden. In Tabel 4 is tevens de multifunctionele individuele dosis (MID) per belastingspad weergegeven. De actuele individuele dosis (AID) hoeft volgens §7.1 van Mr-AGIS, niet te worden berekend omdat de MID aan de terreingrens (zie tabel 2, 124 meter) minder dan 1  $\mu\text{Sv}/\text{jaar}$  bedraagt.

Aan de zijzijde van het gebouw bevindt zich de recirculatiezone. Deze strekt zich uit tot maximaal drie maal de gebouwhoogte (27 m). De netto windsnelheid in de recirculatiezone ligt meestal tussen 1/2 en 1/3 van de windsnelheid buiten het recirculatiegebied. Om het effect van de lagere windsnelheid in de recirculatiezone in rekening te brengen op de berekende dosis, zijn de dosis in het recirculatiegebied (tot 80 m) met een factor 3 vermenigvuldigd.

Omdat de grond dosis ook een vorm van externe straling is, is er bij de MID berekening ook een factor 0.25 gebruikt in verband met afscherming door bewoning. Voor de submersiedosis is dit volgens AGIS niet voorgeschreven (MID = ID), hoewel DOVIS-A hier wel de ruimte voor biedt.

Tabel 3 Doses ( $\mu\text{Sv}/\text{jaar}$ ) ten gevolge van de gespecificeerde emissie vanuit het emissiepunt in het azM

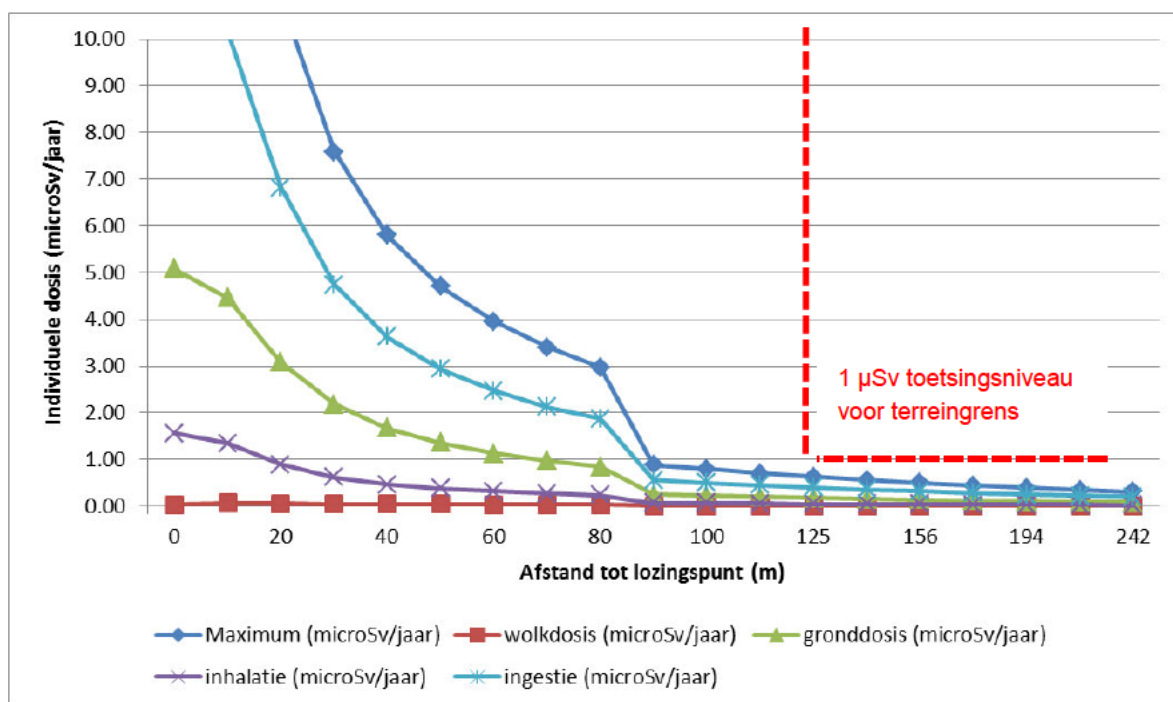
Afstand (m)	ID <sub>submersie</sub>	ID <sub>grond</sub>	ID <sub>inhalatie</sub>	ID <sub>ingestie</sub>	Totaal
10	0.07	4.47	1.35	10.16	16.04
20	0.06	3.08	0.89	6.82	10.85
30	0.05	2.18	0.61	4.74	7.59
40	0.04	1.67	0.46	3.62	5.80
50	0.04	1.36	0.37	2.94	4.71
60	0.03	1.13	0.31	2.47	3.95
70	0.03	0.97	0.27	2.13	3.40
80	0.03	0.84	0.24	1.87	2.98
90	0.01	0.25	0.07	0.55	0.88
100	0.01	0.22	0.06	0.50	0.79
111	0.01	0.20	0.06	0.45	0.70
124	0.01	0.17	0.05	0.40	0.63

Tabel 4 MID ( $\mu\text{Sv}/\text{jaar}$ ) ten gevolge van de gespecificeerde emissie in lozingspunt aan de dichtst bijzijnde terreingrens

Afstand (m)	MID <sub>submersie</sub>	MID <sub>grond</sub>	MID <sub>inhalatie</sub>	MID <sub>ingestie</sub>	MID <sub>totaal</sub>
124	0.007	0.043	0.049	0.40	0.50

Dichtbij het lozingspunt (< 70 meter) geeft de ingestiedosis de grootste bijdrage aan de totale individuele dosis. Deze dosisbijdrage is feitelijk niet van toepassing daar dit het dak van het gebouw betreft en hier bepaald geen sprake is van gewassen die geconsumeerd kunnen worden.

Figuur 2 geeft de resultaten van de uitgevoerde berekening in grafische vorm weer. De individuele dosis is hier uitgezet tegen de afstand tot het lozingspunt. Een volledige tabel met resultaten is opgenomen in Bijlage A.



Figuur 2 Individuele dosis ten gevolge van de lozing. Gestreepte lijn is de 1  $\mu\text{Sv}/\text{jaar}$  waarde bij de terreingrensafstand van 124 meter.

## 4.2 Toetsing luchtlozing

De MID aan de terreingrens ten gevolge van de emissie bedraagt 0,50  $\mu\text{Sv}/\text{jaar}$  en is daarmee lager het secundair toetsingsniveau van 1  $\mu\text{Sv}$ .

## 5 Discussie en conclusies

De grootte van de individuele dosis vlakbij het emissiepunt (tot maximaal 60 meter) wordt vooral bepaald door ingestie. Feitelijk is er binnen de terreingrens geen sprake van ingestie, het gaat hier om het dak van het gebouw waar het lozingspunt zich op bevindt, en verder is er sprake van bestrating en parkeerplaatsen.

De MID ten gevolge van de lozing uit het emissiepunt, waarbij alle bijdragen van de vier organisaties gesommeerd zijn ligt met  $0,50 \mu\text{Sv}/\text{jaar}$  onder het toetsingsniveau van  $1 \mu\text{Sv}/\text{jaar}$ , waaronder bij verlening van de vergunning nooit bezwaar bestaat indien de handeling gerechtvaardigd is.

Er is conservatief aangenomen dat alle emissies plaatsvinden vanuit één emissiepunt, waardoor de berekende dosis ter plekke van het maximum altijd groter is dan de doses die berekend kunnen worden als de emissiepunten ruimtelijk gescheiden zijn. De bijdrage van het emissiepunt van de nucleaire geneeskunde is, vergeleken met de individuele bijdragen, wat betreft de inhalatiedosis het hoogst (22 van de 23  $Re_{\text{inh}}$ , zie Bijlage B). In deze sommatie kan de bijdrage van submersie t.g.v. edelgassen die ontstaan bij de protontherapie niet worden meegenomen. De bijdrage van de geactiveerde edelgassen aan de blootstelling aan de terreingrens is echter niet hoger dan de totale submersie. Deze blijft echter zeer beperkt: op een afstand van 124 meter is de dosis door submersie  $0.01 \mu\text{Sv}/\text{jaar}$ . Daarmee is bevestigd dat de bijdrage van de protontherapie aan de totale blootstelling marginaal is

## 6 Referenties

- [1] Uitvoeringsregeling Stralingsbescherming EZ, d.d. 18 oktober 2013, nr. WJZ/12066857
- [2] J. Grupa, "Programmabeschrijving NUDOS2 - Dosisberekeningen voor KeW vergunningen," NRG-22165/10.104414, 2011.
- [3] R. Blaauboer, "Dosisberekening voor de Omgeving bij Vergunningverlening Ioniserende Straling - DOVIS A. Lozingen in lucht en water," RIVM, Bilthoven, 2002.
- [4] Projectgroep Revisie Nationaal Model, Nieuw Nationaal Model. Model voor de verspreiding van luchtverontreiniging uit bronnen over korte afstanden., Den Haag: Infomil, 1998.
- [5] C.W.M. Timmermans, Berekening dosisconversiecoëfficiënt submersie O-14, NRG-23919.01/17.142838 C&S/CRP/CT/IO, 2017.
- [6] Inleiding tot de Stralingshygiëne, A.J.J. Bos, F.S. Draaisma, W.J.C. Okx, 2007.
- [7] Report on the Task Group on Reference Man, ICRP Publication 23, 1975.
- [8] Federal Guidance Report No. 12: External Exposure to Radionuclides in Air, Water, and Soil, pag. 58, 1993, <https://www.epa.gov/radiation/federal-guidance-report-no-12-external-exposure-radionuclides-air-water-and-soil> .

## Lijst van tabellen

Tabel 1	Uitgezonden radioactiviteit via het emissiepunt.	9
Tabel 2	Overzicht van de verschillende isotopen met ontbrekende conversiecoëfficiënten. Voor de onderbouwing van de aanvullende getallen wordt verwezen naar Bijlage D.	10
Tabel 3	Doses ( $\mu\text{Sv}/\text{jaar}$ ) ten gevolge van de gespecificeerde emissie vanuit het emissiepunt in het azM	12
Tabel 4	MID ( $\mu\text{Sv}/\text{jaar}$ ) ten gevolge van de gespecificeerde emissie in lozingspunt aan de dichtst bijzijnde terreingrens	12
Tabel 5	Samenvatting berekende individuele doses voor 0 – 25 km afstand tot lozingspunt.	17
Tabel 6	Bijdrage Patiëntenzorg azM aan emissie	19
Tabel 7	Bijdrage Research UM aan emissie	19
Tabel 8	Bijdrage MAASTRO aan totale emissie	20
Tabel 9	Bijdrage ZON-PTC aan totale emissie	20
Tabel 10	Overzicht van isotopen met onvolledige gegevens voor dosisberekening, met de ontbrekende bijdragen (aangeduid met kruisje) in de categorieën submersie, grond dosis, inhalatie en ingestie.	24
Tabel 11	Berekende inhalatie dosiscoëfficiënten voor O-14 en O-15.	25

## Lijst van figuren

Figuur 1	Ligging Randwyck en de emissiepunten van het azM, Maastric/ZON-PTC en de UM ten opzichte van het complex.	7
Figuur 2	Individuele dosis ten gevolge van de lozing. Gestreepte lijn is de $1 \mu\text{Sv}/\text{jaar}$ waarde bij de terreingrensafstand van 124 meter.	13

## Bijlage A Berekende individuele dosis

Tabel 5 Samenvatting berekende individuele doses voor 0 – 25 km afstand tot lozingspunt.

X (m)	Maximum (µSv/jaar)	Submersie dosis (µSv/jaar)	Grond dosis (µSv/jaar)	Inhalatie (µSv/jaar)	Ingestie (µSv/jaar)
0	18.40	0.04	5.08	1.56	11.72
10	16.04	0.07	4.47	1.35	10.16
20	10.85	0.06	3.08	0.89	6.82
30	7.59	0.05	2.18	0.61	4.74
40	5.80	0.04	1.67	0.46	3.62
50	4.71	0.04	1.36	0.37	2.94
60	3.95	0.03	1.13	0.31	2.47
70	3.40	0.03	0.97	0.27	2.13
80	2.98	0.03	0.84	0.24	1.87
90	0.88	0.01	0.25	0.07	0.55
100	0.79	0.01	0.22	0.06	0.50
112	0.70	0.01	0.20	0.06	0.45
125	0.63	0.01	0.17	0.05	0.40
139	0.56	0.01	0.15	0.04	0.36
156	0.49	6E-03	0.13	0.04	0.32
174	0.44	5E-03	0.12	0.03	0.28
194	0.39	5E-03	0.10	0.03	0.25
217	0.34	4E-03	0.09	0.03	0.22
242	0.30	4E-03	0.08	0.02	0.20
270	0.27	4E-03	0.07	0.02	0.18
302	0.24	3E-03	0.06	0.02	0.16
337	0.21	3E-03	0.05	0.02	0.14
376	0.19	3E-03	0.04	0.01	0.13
420	0.16	2E-03	0.04	0.01	0.11
469	0.15	2E-03	0.03	0.01	0.10
524	0.13	2E-03	0.03	0.01	0.09
585	0.11	2E-03	0.02	0.01	0.08
654	0.10	2E-03	0.02	7E-03	0.07
730	0.09	1E-03	0.02	6E-03	0.07
815	0.08	1E-03	0.01	5E-03	0.06
910	0.07	1E-03	0.01	4E-03	0.06
1017	0.07	9E-04	0.01	4E-03	0.05
1135	0.06	8E-04	0.01	3E-03	0.05
1268	0.06	7E-04	0.01	3E-03	0.04



1416	0.05	6E-04	0.01	2E-03	0.04
1581	0.05	6E-04	5E-03	2E-03	0.04
1766	0.04	5E-04	4E-03	2E-03	0.04
1972	0.04	4E-04	4E-03	1E-03	0.04
2202	0.04	4E-04	3E-03	1E-03	0.03
2459	0.04	3E-04	2E-03	1E-03	0.03
2746	0.04	3E-04	2E-03	9E-04	0.03
3067	0.03	2E-04	2E-03	8E-04	0.03
3425	0.03	2E-04	1E-03	6E-04	0.03
3825	0.03	2E-04	1E-03	5E-04	0.03
4272	0.03	1E-04	1E-03	5E-04	0.03
4770	0.03	1E-04	8E-04	4E-04	0.03
5327	0.03	1E-04	7E-04	3E-04	0.03
5949	0.03	8E-05	6E-04	3E-04	0.03
6644	0.03	7E-05	5E-04	2E-04	0.03
7420	0.03	6E-05	4E-04	2E-04	0.03
8286	0.03	5E-05	3E-04	2E-04	0.03
9254	0.03	4E-05	3E-04	1E-04	0.03
10334	0.03	3E-05	2E-04	1E-04	0.03
11541	0.03	3E-05	2E-04	1E-04	0.03
12888	0.03	2E-05	1E-04	8E-05	0.03
14393	0.03	2E-05	1E-04	7E-05	0.03
16073	0.03	1E-05	1E-04	6E-05	0.03
17950	0.03	1E-05	8E-05	5E-05	0.03
20046	0.03	9E-06	7E-05	4E-05	0.03
22386	0.03	7E-06	5E-05	3E-05	0.03
25000	0.03	5E-06	4E-05	3E-05	0.03

## Bijlage B Bijdragen organisaties op locatie Randwyck

Tabel 6 Bijdrage Patiëntenzorg azM aan emissie

Patiënten zorg (azM)	Verwacht 2017	einh [Sv/Bq]	pi	si	Reinh [Bq]	AL [Bq]	Lmax [Reinh]
F-18 complex	1.00E+12	5.90E-11	-3	1	1.69E+10	1.00E+10	0.59
F-18 eenvoudig	7.00E+11	5.90E-11	-1	0	1.69E+10	7.00E+08	0.04
Ga-67	1.00E+08	2.40E-10	-1	0	4.17E+09	1.00E+05	0.00
Ga68	1.50E+11	4.90E-11	-2	0	2.04E+10	1.50E+09	0.07
I-123	6.15E+09	7.40E-11	-1	0	1.35E+10	6.15E+06	0.00
I-124 complex	2.00E+10	4.40E-09	-3	3	2.27E+08	2.00E+06	0.01
I-124 eenvoudig	3.50E+09	4.40E-09	-1	0	2.27E+08	3.50E+06	0.02
I-125 complex	5.00E+07	5.10E-09	-3	0	1.96E+08	5.00E+06	0.03
I-125 eenvoudig	9.50E+07	5.10E-09	-1	0	1.96E+08	9.50E+04	0.00
I-131 complex	2.00E+10	7.40E-09	-3	3	1.35E+08	2.00E+06	0.01
I-131 eenvoudig	2.00E+11	7.40E-09	-1	0	1.35E+08	2.00E+08	1.48
In-111	4.02E+09	2.30E-10	-1	0	4.35E+09	4.02E+06	0.00
Lu-177	1.00E+11	1.10E-09	-2	0	9.09E+08	1.00E+09	1.10
P-32	4.50E+08	3.40E-09	-1	0	2.94E+08	4.50E+05	0.00
Ra-223	1.80E+09	8.70E-06	-1	0	1.15E+05	1.80E+06	15.66
Re-186	7.90E+07	1.10E-09	-1	0	9.09E+08	7.90E+04	0.00
Sm-153	7.60E+09	6.30E-10	-1	0	1.59E+09	7.60E+06	0.00
Tc99m	3.85E+11	2.00E-11	-3	0	5.00E+10	3.85E+10	0.77
Tc99m	1.20E+13	2.00E-11	-2	0	5.00E+10	1.20E+11	2.40
Y-90	1.39E+10	1.50E-09	-1	0	6.67E+08	1.39E+07	0.02
Xe-133	5.00E+10	-	-3	0	-	5.00E+09	-
Zr-89	1.00E+09	5.50E-10	-2	0	1.82E+09	1.00E+07	0.01
<b>Lozing lucht totaal azM:</b>						<b>22.21</b>	

Tabel 7 Bijdrage Research UM aan emissie

Research (UM)	Verwacht 2017	einh [Sv/Bq]	pi	si	Reinh [Bq]	AL [Bq]	Lmax [Reinh]
C-14	1.85E+07	5.80E-10	-2	0	1.72E+09	1.85E+07	0.01
Cr-51	1.00E+08	3.70E-11	-2	0	2.70E+10	1.00E+06	0.00
F-18	5.76E+10	5.90E-11	-2	2	1.69E+10	5.76E+06	0.00
Ga68	9.93E+09	4.90E-11	-2	2	2.04E+10	9.93E+05	0.00
H-3	8.33E+07	2.60E-10	-3	0	3.85E+09	8.33E+06	0.00
I-123	2.00E+09	7.40E-11	-3	0	1.35E+10	2.00E+08	0.01
I-125	3.62E+07	5.10E-09	-2	0	1.96E+08	3.62E+05	0.00
In-111	5.11E+09	2.30E-10	-2	0	4.35E+09	5.11E+07	0.01
P-32	3.03E+09	3.40E-09	-3	0	2.94E+08	3.03E+08	1.03
S-35	4.20E+08	1.90E-09	-3	0	5.26E+08	4.20E+07	0.08
Tc99m	5.93E+10	2.00E-11	-2	0	5.00E+10	5.93E+08	0.01
Th-232	3.60E-01	1.10E-04	-2	0	9.09E+03	3.60E-01	0.00
Zr-89	4.60E+08	5.50E-10	-2	2	1.82E+09	4.60E+04	0.00
<b>Lozing lucht total UM</b>						<b>1.16</b>	

Tabel 8 Bijdrage MAASTRO aan totale emissie

Patiënte-zorg (MAASTRO)	Verwacht 2017	einH [Sv/Bq]	pi	si	Reinh [Bq]	AL [Bq]	Lmax [Reinh]
F-18	1.82E+11	5.90E-11	-1	0	1.69E+10	1.82E+08	0.01
Zr-89	6.33E+07	5.50E-10	-1	0	1.82E+09	6.33E+04	0.00
<b>Lozing lucht totaal Maastro</b>							<b>0.01</b>

Tabel 9 Bijdrage ZON-PTC aan totale emissie

Patiënten zorg (ZON-PTC)	Verwacht 2017	einH [Sv/Bq]	pi	si	Reinh [Bq]	AL [Bq]	Lmax [Reinh]
8Li	8.34E+08						
15O	8.34E+08						
16N	4.17E+08						
13N	4.17E+08						
11C	8.34E+07	1.80E-11	-4	0	5.56E+10	83360000	1.50E-03
14O	1.04E+08						
41Ar	2.08E+07						
39Cl	8.34E+05	4.60E-11	-4	0	2.17E+10	833600	3.83E-05
7Be	1.25E+05	5.50E-11	-4	0	1.82E+10	125040	6.88E-06
31Si	1.67E+05	7.90E-11	-4	0	1.27E+10	166720	1.32E-05
37Ar	1.67E+03						
35S	1.25E+02	1.9E-09	-4	0	5.26E+08	125.04	2.38E-07
39Ar	1.25E+00						
3H	8.34E+02	2.60E-10	-4	0	3.85E+09	833.6	2.17E-07
32P	8.34E+02	3.40E-09	-4	0	2.94E+08	833.6	2.83E-06
14C	4.17E+02	5.80E-10	-4	0	1.72E+09	416.8	2.42E-07
						<b>Totaal</b>	<b>1.56E-03</b>

Lozing lucht totaal  
Randwyck:

23.39

## Bijlage C NUDOS2 invoerfile

INFO MUMC - Nudos nadere analyse  
 INFO uitgaande van 1 emissiepunt

\*MeteoData

meteoSchiphol Schiphol1995-2004.v2005  
 meteoEindhoven Eindhoven1995-2004.v2005  
 startuur 0  
 startdag 1  
 startmaand 1  
 startjaar 1996  
 einduur 23  
 einddag 31  
 eindmaand 12  
 eindjaar 2004  
 precisie 10

\*Lozingscondities

hs 29.  
 hBld 27.  
 bBld 30.  
 qHeat 0.  
 sourceDiam 0.25  
 qs 0.2

kinViscos 13.9e-6  
 rhoLucht 1.28  
 rhoRookgas 1.42  
 rhoStof 1500.

\*Locatiedata

z0lokatie 0.3  
 Coördinatensysteem Rijksdriehoekskoordinaten  
 WestnaarOostAs 178029  
 \*was: 636080  
 ZuidnaarNoordAs 316132  
 \*was: 6592249

\*

xMax 25000  
 linStep 10  
 linMaxDist 100.  
 logStep 50  
 nSectors 360  
 maximumTransportTime 10000.  
 plumeDetails 30  
 \*



\*\* Subklassen (nummer 1 tot het benodigde aantal) van depositie plus specificaties

\* aerosolen: [nummer] [diameter aerosol (m)]

\* andere stoffen: [nummer] [droge depositiesnelheid] [menglaag-uitwascoefficient (1/s)]

\* (andere stoffen: alleen uitwas als regen meer is dan 0.25 mm per uur) \*/

subKlassen 1 2.e-7

subKlassen 2 1.9e-6

subKlassen 3 6.3e-6

subKlassen 4 1.4e-5

subKlassen 5 3.e-5

subKlassen 6 0.0 0.0

subKlassen 7 0.02 7E-5

\*\* Depositieklassen en onderverdeling in subklassen

\* [depositieklasse] [massafractie subklasse 1] [massafractie subklasse 2] .. [massfractie [aantal subklassen]] \*/

depositieKlassen middel-fijnstof 0.53 0.28 0.115 0.042 0.033 0. 0.

depositieKlassen Gas 0 0 0 0 0 1. 0.

depositieKlassen Iodine 0 0 0 0 0 0. 1.

\*\* type vrijzetting - ongeval of continu -

\* bij continu: verder geen data nodig

\* bij ongeval:

\* [stochastisch risicofactor (1/Sv) of

\* [deterministisch LD50 (Sv) v [1] risicodrempel [0 - 1], gewoonlijk 0.01 \*/

releaseType continu

\* Definieer de releasefasen (of 1 releaseTime bij continue releases - meestal 25 jaar bedrijfstijd 7.89e8 seconden)

releaseTimes 7.89e8

\*\* Grootte van de vrijzetting

\* continue emissie van radioactieve materiaal

\* [nuclide] [depositieklasse] [inhalatieklasse G/F/M/S]

[emissie(Bq/jaar)]

emissie F-18 middel-fijnstof M 1.09E+10

emissie Ga-67 middel-fijnstof M 1.00E+05

emissie Ga-68 middel-fijnstof M 1.50E+09

emissie I-123 Iodine F 2.06E+08

emissie I-124 Iodine F 5.50E+06

emissie I-125 Iodine F 5.46E+06

emissie I-131 Iodine F 2.02E+08

emissie In-111 middel-fijnstof M 5.51E+07

emissie Lu-177 middel-fijnstof M 1.00E+09

emissie P-32 middel-fijnstof M 3.03E+08

\* Ra-223 fysische vorm gecorrigeerd

\*emissie Ra-223 Gas G 4.80E+05

emissie Ra-223 middel-fijnstof M 4.80E+05

emissie Re-186 middel-fijnstof M 7.90E+04

emissie Sm-153 middel-fijnstof M 7.60E+06

emissie Tc-99m middel-fijnstof M 1.59E+11

```

emissie Y-90 middel-fijnstof M 1.39E+07
emissie Zr-89 middel-fijnstof M 1.01E+07
emissie C-14 Gas G 1.85E+05
emissie Cr-51 middel-fijnstof M 1.00E+06
emissie H-3 Gas G 8.33E+06
emissie S-35 Gas G 4.20E+07
emissie Th-232 middel-fijnstof M 3.60E-03
emissie Li-8 middel-fijnstof M 8.34E+08
emissie O-15 Gas G 8.34E+08
emissie N-16 Gas G 4.17E+08
emissie N-13 Gas G 4.17E+08
emissie C-11 Gas G 8.34E+07
emissie O-14 Gas G 1.04E+08
emissie Ar-41 Gas G 2.08E+07
emissie Cl-39 Gas G 8.34E+05
emissie Be-7 middel-fijnstof M 1.25E+05
emissie Si-31 middel-fijnstof M 1.67E+05
emissie Ar-37 Gas G 1.67E+03
* zat al in lijst met 4.2e7 Bq
* emissie S-35 Gas G 1.25E+02
emissie Ar-39 Gas G 1.25E+00

```

```

* toegevoegd
emissie Xe-133 Gas G 5e9

```

```

* persoontypes
personTypes adult-ICRP-continu 1.58E9

```

```

*
blootstellingsPaden luchtconcentratie
blootstellingsPaden depositie
blootstellingsPaden inhalatie
blootstellingsPaden wolkdosis
blootstellingsPaden grond dosis
blootstellingsPaden ingestieLocal
blootstellingsPaden ingestieCOROP
blootstellingsPaden H3Cl4Local
blootstellingsPaden H3Cl4COROP

```

```

* einde

```

## Bijlage D Bepaling dosisconversiecoëfficiënten kortlevende isotopen

### Inleiding

Bij de initiële nadere analyse van de emissie naar lucht voor de Universiteit Maastricht is de bijdrage van een aantal nucliden aan de blootstelling voor het milieu verwaarloosd bij gebrek aan beschikbare inhalatiedosiscoëfficiënten voor leden van de bevolking. Naar aanleiding van vragen van ANVS is een nadere inschatting gemaakt van het effect van de tot dusver verwaarloosde nucliden. Deze bijlage verschaft een onderbouwing van de geschatte dosiscoëfficiënten.

### Methode

In onderstaande tabel is een overzicht gegeven van de isotopen waarvan geen dosiscoëfficiënten beschikbaar is in de Uitvoeringsregeling EZ (of andere standaard werken, NUDOS bevat ook coëfficiënten van andere bronbestanden).

Tabel 10 Overzicht van isotopen met onvolledige gegevens voor dosisberekening, met de ontbrekende bijdragen (aangeduid met kruisje) in de categorieën submersie, grond dosis, inhalatie en ingestie.

Isotoop	T1/2	Activiteit in Bq/jaar	0: subm	1: grond	2: inh	3: ing
8Li	839.9 ms	8.34E+08	X	X	X	X
15O	122.24 s	8.34E+08			X	X
16N	7.13 s	4.17E+08		X	X	X
13N	9.965 m	4.17E+08			X	X
14O	70.620 s	1.04E+08	X	X	X	X

Bij een voor het KNMI weerstation Maastricht langjarig gemiddelde windsnelheid van 4 m/s, geldt dat met een terreingrens op ruim 120 meter het gemiddeld genomen 30 seconde duurt voordat activiteit de terreingrens bereikt. Om die reden kan de bijdrage van Li-8 aan de blootstelling van het milieu worden verwaarloosd i.v.m. de 35 halfwaardetijden die verstreken zijn voordat de activiteit de terreingrens bereikt.

Voor de zuurstof en stikstof isotopen geldt dat deze gasvormige stoffen niet neerslaan op de bodem en er dus geen sprake is van grond dosis of ingestiedosis.

Voor de stikstof isotopen geldt voorts dat deze niet of nauwelijks door het lichaam worden opgenomen, waardoor er geen bijdrage van inhalatie valt te verwachten.

De overblijvende ontbrekende bijdragen betreft daarmee alleen:

- Inhalatie van O-15 en O-14
- Submersie van O-14

Voor bepaling van deze bijdragen is de volgende benadering gekozen:

- 1) Submersie van O-14 afschatten door submersie van een nuclide met een soortgelijke energie (bijv. Na-22).
- 2) Inhalatie van O-14 en O-15 berekenen op basis van de aanname dat alle activiteit in het lichaam wordt opgenomen en daarin ook volledig vervalt.

Voor de bijdrage van inhalatie geldt dat de dosisconversiecoëfficiënt  $E_{50}$  kan worden berekend op basis van gegevens over de specifieke geabsorbeerde fractie en specifieke effectieve energie (SEE, Bos et al, §9.3.2, formule 9.6) [6]. Hierbij is aangenomen dat het gehele lichaam zowel als bron (S) dient als dat het als doel (T) dient, aangezien het zuurstof zich over het gehele lichaam verdeelt.

$$E_{50} = 1,6 \times 10^{-10} \times U_S \times SEE$$

Waarbij de specifieke effectieve energie bepaald wordt op basis van de specifieke geabsorbeerde fractie (SAF), welke per gram (target) is getabelleerd in Tabel I-2 op pagina 462 van ICRP 23 [7] als functie van de gamma energie ( $Q_i=1$ ). De SEE wordt per Bq gevonden uit het product van de yield, energie en SAF.

$$SEE(T \leftarrow S) = \sum_i \frac{Y_i E_i AF(T \leftarrow S)_i Q_i}{M_T} \text{ in } \left( \frac{\text{MeV}}{\text{g}} \right) \text{ per transformatie}$$

## Resultaten

De berekende dosisconversiecoëfficiënt voor inhalatie van de zuurstof nucliden staat in Tabel 11.

Tabel 11 Berekende inhalatie dosiscoëfficiënten voor O-14 en O-15.

Isotoop	O-15	O-14	O-14	O-14
Vervalsactie	beta +	totaal	beta +	gamma
$E_{50}$ (Sv/Bq), o.b.v. volledige opname bij inhalatie	1.43E-13	2.33E-13	8.27E-14	1.50E-13
Constante (J/kg)/(MeV/g)	1.60E-10		1.60E-10	1.60E-10
Us desintegraties (s) $\sim 1/\lambda$	176.36		101.88	101.88
$\lambda$ ( $s^{-1}$ )	5.67E-03		9.82E-03	9.82E-03
Halfwaardetijd T1/2 (s)	122.24		70.62	70.62
Specifieke effectieve energie (MeV/g per Bq)	5.07E-06		5.07E-06	9.2E-06
Yield	1.998		1.998	0.994
Energie (MeV)	0.511		0.511	2.313
Specifieke geabsorbeerde fractie (SAF, $g^{-1}$ )	4.97E-06		4.97E-06	4.00E-06



De berekende dosisconversiecoëfficiënt voor submersie van O-14 bedraagt iets meer dan de dosiscoëfficiënt voor submersie voor Na-22, welke  $1.08 \cdot 10^{-13}$  Sv per Bq s m<sup>-3</sup> bedraagt [8]. Voor de exacte berekening wordt verwezen naar een interne NRG notitie [5]. De voor O-14 berekende dosiscoëfficiënt voor submersie bedraagt  $1.80 \cdot 10^{-13}$  Sv per Bq s m<sup>-3</sup>, waarbij gecorrigeerd is voor de hogere energie van de gamma die door O-14 wordt uitgezonden t.o.v. Na-22.