

## 1 HS14-044 – Kritische parameters – onzekerheden en gevoeligheidsanalyse

In § 14.5.4.7 aangaande de behandeling van de onzekerheden in het biosfeermodel (gebruikt in het referentiescenario) worden noch onzekerheden noch gevoeligheidsanalyses voorgesteld. Er wordt wel door NIRAS geconcludeerd dat, gezien de conservatieve keuze van de putlocatie en de volledige zelfvoorziening van de representatieve personen, de deterministische berekeningen met “best-estimate” waarden voor de omgevingsparameters en gemiddelde karakteristieken voor de representatieve personen robuust genoeg zijn om te garanderen dat de radiologische impact niet wordt onderschat.

Het FANC en Bel V vragen om bij de gebruikte biosfeermodellen:

- aan te duiden waar de analyses (gevoeligheidsanalyses, onzekerheidsanalyses) zich bevinden conform de leidraad “biosfeer” (zie § 6.2.3) [1] die de kritische parameters identificeren;
- de lijst van deze kritische parameters aan te duiden;
- en de keuze van de waarden van de kritische omgevingsparameters te argumenteren, mede op basis van de grootte van hun onzekerheid, hun invloed op de berekende dosis en het globaal conservatisme van het biosfeermodel.

De verdelingscoëfficiënt  $K_d$  en de irrigatieparameters zijn alvast twee voorbeelden van parameters waarvoor het FANC en Bel V een meer traceerbare argumentatie van de gekozen waarden verwachten, rekening houdend met de onzekerheden.

## 2 Antwoord NIRAS

### 2.1 Context

Variabiliteit en onzekerheid zijn inherent aanwezig in het proces van de definitie van individuele karakteristieken en het schatten van doses. De biosfeermodellen werden ontwikkeld binnen een referentiebiosfeermethodologie, in het licht van de (intrinsieke en inherent niet-reduceerbare) onzekerheden geassocieerd met de biosfeer. De evaluatiebiosfeer heeft een *gestileerd* karakter in termen van menselijke gewoontes die gebaseerd zijn op de huidige gedragingen. De biosfeerkarakteristieken die tussenkomen in de modellering van de representatieve transfer- en blootstellingswegen, zijn waar mogelijk gebaseerd op sitespecifieke kenmerken (bv. de bodemsamenstelling, de aard van de geteelde gewassen,...), in overeenstemming met §6.2.6.3 van de leidraad biosfeer [1].

Binnen een deterministische analyse is de bedoeling dan ook vooral een *grootteorde* van mogelijke impact te berekenen voor de groep personen voor wie de hoogste blootstelling wordt verwacht, rekening houdend met alle blootstellingswegen. De gemiddelde karakteristieken van deze groep worden gebruikt bij de berekening van de dosis opgelopen door de representatieve persoon zoals beschouwd in §(54) van ICRP Publicatie 101a [2]. De spreiding van de onzekerheden, bepaald op basis van

een (eveneens deterministische) gevoeligheidsanalyse (cf. §6.2.3 van de leidraad biosfeer [1]), vormt het onderwerp van dit antwoord.

Zoals beschreven in het antwoord op HS14-045 wordt tijdens de volledige periode relevant voor de evaluatie van de veiligheid op lange termijn, na sluiting van de bergingsinrichting, een subtropische (Cs/Cr) klimaattoestand verwacht. Om een range van mogelijke klimaatomstandigheden te definiëren op basis van de beschikbare voorspellingen, wordt gebruikt gemaakt van de CCI-HYDR studies [3] waarin 3 scenario's worden beschouwd:

- een “hoog/nat” scenario met natte winters en droge zomers, met een hoge hydrologische impact;
- een “laag/droog” scenario met droge winters en droge zomers, met een lage hydrologische impact;
- een “gemiddeld” scenario.

Rond elk scenario wordt een evaluatiebiosfeer ontwikkeld met een agrarisch landgebruik, wat in de praktijk betekent dat de benodigde irrigatie en de infiltratie in de ondergrond variëren naargelang het beschouwde klimaatscenario (zie verder §2.2 en §2.3.1.1).

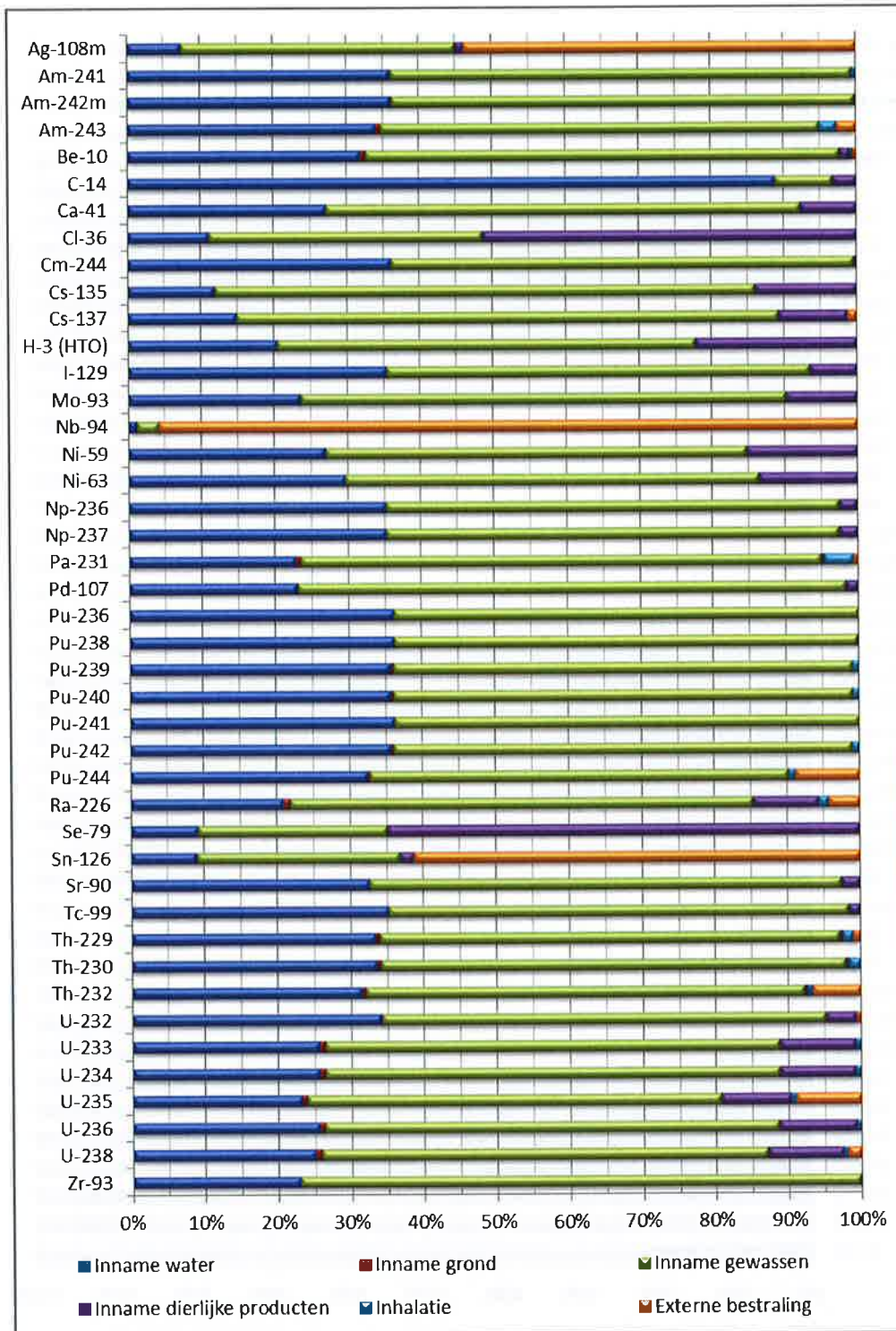
Of een parameter al dan niet kritisch is voor de biosfeermodellering is afhankelijk van de bijdrage van de verschillende transfer- en blootstellingswegen tot de totale dosis en de onzekerheid m.b.t. de betreffende parameter. Voor de meeste radionucliden levert de dosis door ingestie de belangrijkste bijdrage tot de totale impact (zie Figuur 30, Figuur 31 en Figuur 32 voor de bijdrage van de verschillende blootstellingswegen tot de BCFs onder de drie CCI-HYDR klimaatscenario's).

Uit Figuur 30, Figuur 31 en Figuur 32 blijkt verder dat, onder alle drie CCI-HYDR klimaatscenario's, inname van voedingsgewassen (groen) en drinkwater (blauw) veelal de belangrijkste blootstellingswegen zijn. De inname van dierlijke producten (paars) is voor de meeste radionucliden, met uitzondering van  $^{36}\text{Cl}$  en  $^{79}\text{Se}$  waarvoor dit de belangrijkste blootstellingsweg vormt, van ondergeschikt belang; de bijdrage van inname van grond (donkerrood) is marginaal.

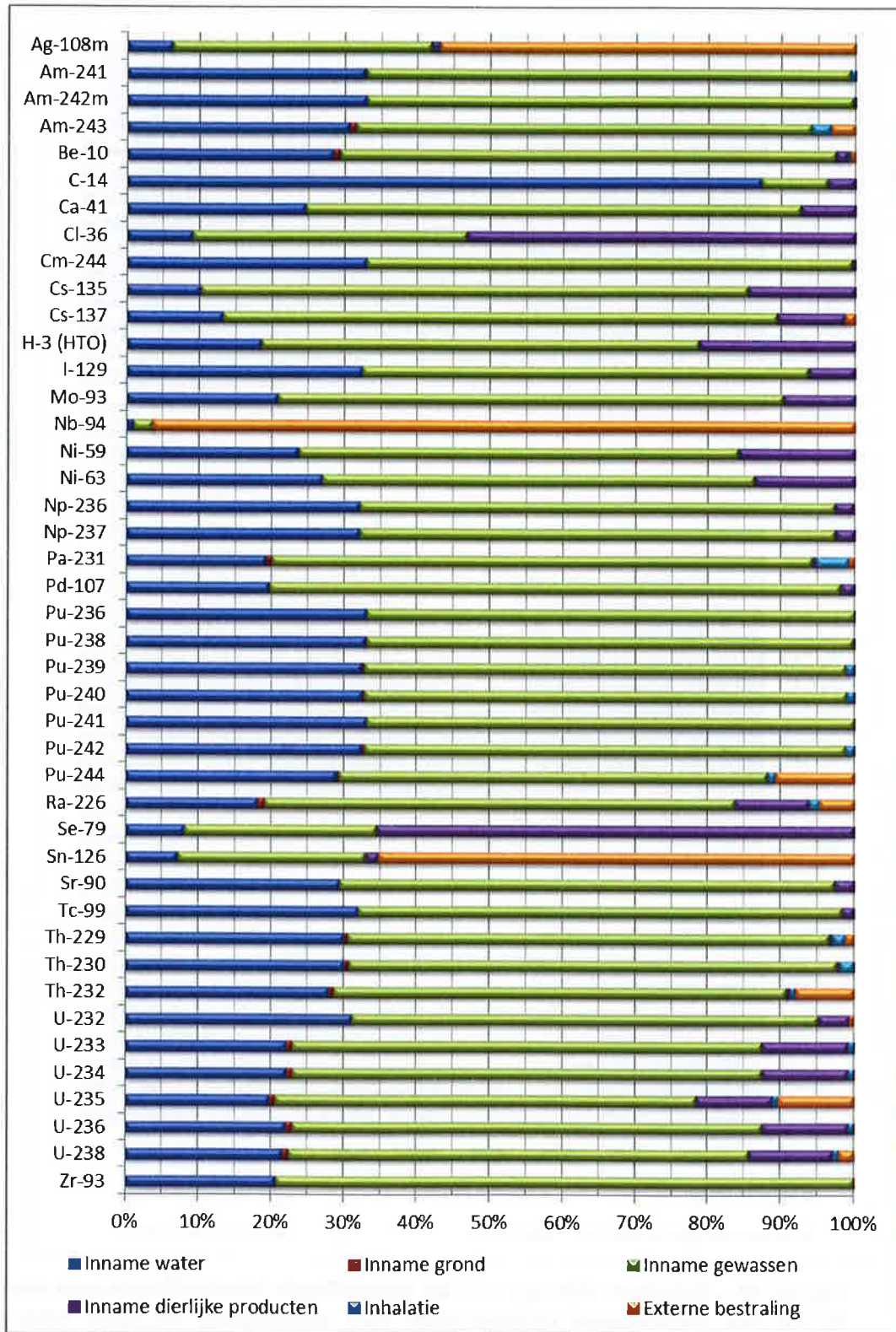
Externe bestraling (oranje) is slechts voor een beperkt aantal radionucliden belangrijk ( $^{108\text{m}}\text{Ag}$ ,  $^{94}\text{Nb}$  en  $^{126}\text{Sn}$  waarvoor dit de belangrijkste blootstellingsweg vormt), terwijl inhalatie (lichtblauw) in het algemeen niet significant bijdraagt tot de impact (maximale bijdrage van ~ 4,5% voor  $^{231}\text{Pa}/^{227}\text{Ac}$  onder het 'lage' CCI-HYDR klimaatscenario).

In de tabellen in bijlage, waar het effect van onzekerheden bestudeerd wordt, wordt daarom ook specifiek ingegaan op het effect van parameteronzekerheden op de bijdrage door inname van voedingsgewassen.

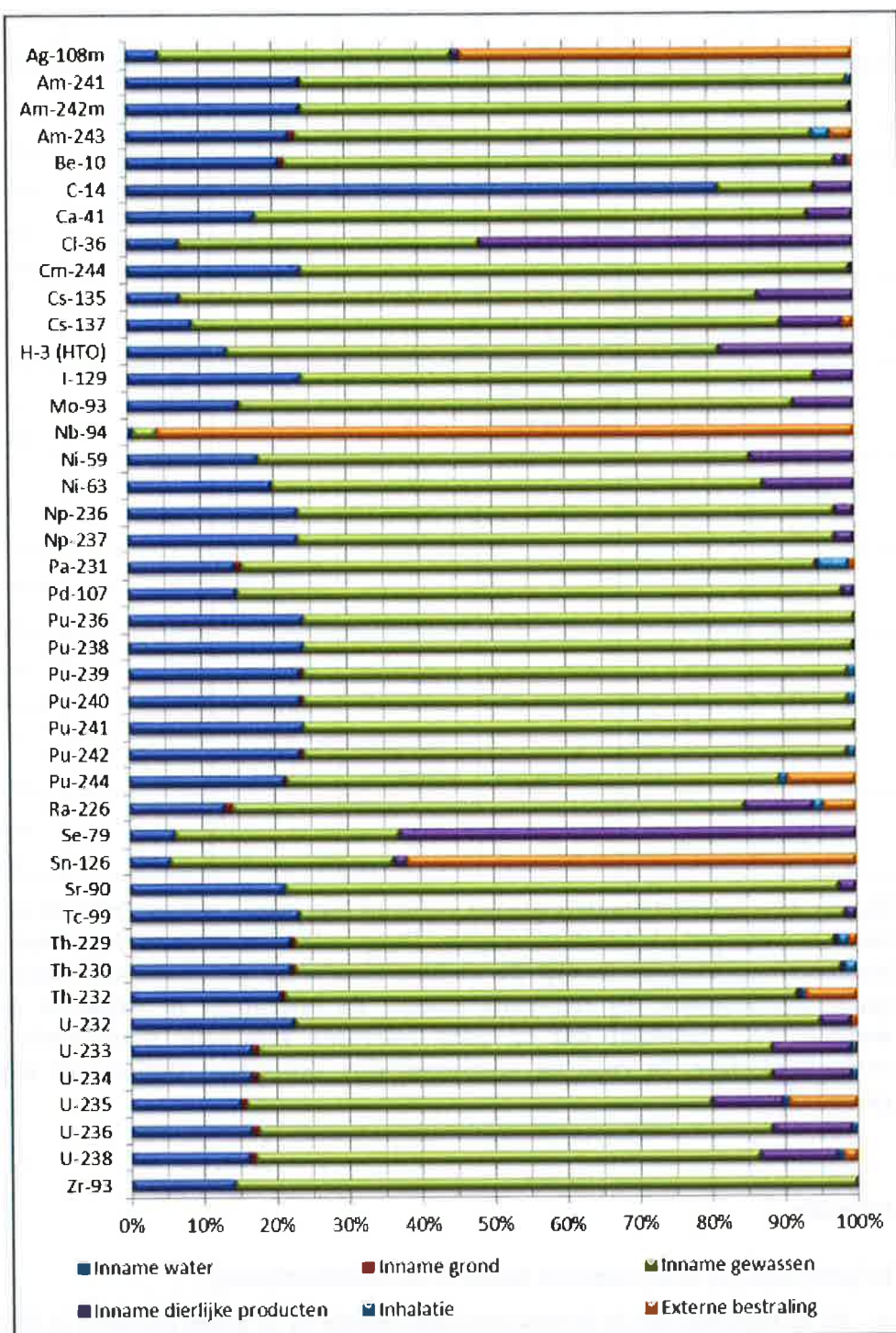
In Figuur 33 wordt de interactiematrix van de biosfeermodellering hernomen teneinde de belangrijkste processen die leiden tot de transfer van radionucliden tussen componenten of menselijke blootstelling in herinnering te brengen. In wat volgt worden de belangrijkste processen en parameters besproken.



**Figuur 30 – Relatieve bijdrage van de verschillende blootstellingswegen aan de BCF's van verschillende radionucliden voor volwassenen (receptor waterput voor privégebruik) onder het 'gemiddelde' CCI-HYDR klimaatscenario.**



**Figuur 31 – Relatieve bijdrage van de verschillende blootstellingswegen aan de BCF's van verschillende radionucliden voor volwassenen (receptor waterput voor privégebruik) onder het 'lage' CCI-HYDR klimaatscenario.**



**Figuur 32 – Relatieve bijdrage van de verschillende blootstellingswegen aan de BCF's van verschillende radionucliden voor volwassenen (receptor waterput voor privégebruik) onder het 'hoge' CCI-HYDR klimaatscenario.**

	1	2	3	4	5	6	7	8
1	putwater	irrigatie	X	irrigatie (interceptie, translocatie)	irrigatie (interceptie)	drinken	X	Inname van drinkwater
2	X	grond van de wortelzone	uitloging	wortelopname; transpiratie van <sup>3</sup> H	wortelopname; transpiratie van <sup>3</sup> H	Inname (met voeder)	resuspensie Rn exhalatie evasie <sup>14</sup> CO <sub>2</sub>	externe bestraling onopzettelijke inname van grond
3	toevoer	X	onderliggende grondlagen	X	X	X	X	X
4	X	verwerking oogst	X	voedingsgewassen	X	maïscconsumptie	X	inname van voedingsgewassen
5	X	verwerking oogst	X	X	grasland	inname	X	X
6	X	bemesting	X	X	X	vee	X	Inname van dierlijke producten
7	X	afzetting van geresuspendeerde deeltjes	X	afzetting (interceptie) van geresuspendeerde deeltjes fotosynthese ( <sup>14</sup> CO <sub>2</sub> )	afzetting (interceptie) van geresuspendeerde deeltjes fotosynthese ( <sup>14</sup> CO <sub>2</sub> )	inhalatie van geresuspendeerde deeltjes inhalatie van Rn	lucht	inhalatie van geresuspendeerde deeltjes Rn inhalatie
8	X	X	X	X	X	X	X	representatief persoon

**Figuur 33 – Interactiematrix die het verband legt tussen milieumedia en de mens voor de waterput als biosfeerreceptor. Diagonale elementen vertegenwoordigen biosfeercomponenten, terwijl de andere elementen de interacties voorstellen (biosfeerprocessen). Bij conventie moeten de interacties in wijzerzin gelezen worden. “X” betekent dat er geen relevante interactie plaatsvindt in de evaluatiebiosfeer. In rood en schuingedrukte processen werden niet expliciet gemodelleerd.**

## 2.2 Irrigatie

Irrigatie komt op twee manieren tussen in de dosisberekening:

- bij de bepaling van de (evenwichts)concentratie in de grond (element [1,2] van de interactiematrix); en
- in de berekening van de concentratie in de gewassen te wijten aan interceptie (elementen [1,4] en [1,5] van de interactiematrix).

De benodigde irrigatie is afhankelijk van de meteorologische omstandigheden (temperatuur, neerslag), de bodemkarakteristieken en het type gewas.

Zoals beschreven in §2.1 van het antwoord op HS14-045 betreffen de verwachtingen m.b.t. klimaatsverandering een vrij snelle (i.e. tegen het einde van deze eeuw) transitie naar een (subtropische) Cr of – rekening houdend met het feit dat de modellen ten zuiden van 55° N een afname van de neerslag verwachten in de zomermaanden – Cs klimaattoestand. Ook na het eind van de eeuw wordt verwacht dat de klimaatopwarming zich doorzet; waarbij de temperaturen aan het aardoppervlak zich stabiliseren na een tijdschaal van enkele honderden tot duizenden jaren indien de stralingsforcing gestabiliseerd is. Coherent met de ontwikkeling van een Cs of Cr klimaat in de regio's in Centraal Engeland en Noordoost Frankrijk zoals voorspeld door BIOCLIM [4], verwachten we dan ook een instandhouding van een dergelijke subtropische klimaattoestand –warmer dan vandaag, met drogere zomers – gedurende de volledige periode van ongeveer 10 000 jaar relevant voor de evaluatie van de oppervlaktebergingsinrichting in Dessel (zie antwoord op HS14-006) en zelfs daarna.

De aanwezige onzekerheden hebben niet zozeer betrekking op de *aard* van de klimaattoestand dan wel op de grootte van de temperatuur- en neerslagrespons. Voor de te beschouwen range doen we, zoals hoger beschreven (zie §2.1.2 van HS14-045 voor verdere details), een beroep op de CCI-HYDR studies [3].

Een schatting van de benodigde irrigatie onder de verschillende CCI-HYDR klimaatscenario's werd gemaakt op basis van het *neerslagdeficit* (precipitatie minus potentiële evapotranspiratie voor een grasvegetatie), zoals beschreven in §1.3.1 van Appendix 1 aan dit antwoord. In §1.3.2 van Appendix 1 wordt ook een alternatieve benadering uiteengezet, die wordt aangereikt in de BIOCLIM studie [4]. De resultaten hiervan duiden erop dat de schatting op basis van het neerslagdeficit veeleer omhullend is, i.h.b. voor het 'hoge/natte' CCI-HYDR scenario.

- Onder het 'gemiddelde' CCI-HYDR scenario, dat gekarakteriseerd wordt door een minder uitgesproken seizoengebondenheid van de neerslag en meer bepaald minder droge zomers, is de benodigde irrigatie het laagst.
- Onder het 'hoge/natte' CCI-HYDR scenario met een uitgesproken seizoengebondenheid van de neerslag (natte winter / droge zomer) en sterkere opwarming (leidend tot een groter evapotranspiratiepotentieel) is de benodigde irrigatie het hoogst.

De onzekerheid op de irrigatiehoeveelheid is dus direct afhankelijk van de onzekerheid m.b.t. de klimaattevolutie. Naast de irrigatiehoeveelheid is ook de infiltratiesnelheid in de wortelzone afhankelijk van de heersende klimaatomstandigheden – er bestaat m.a.w. een correlatie tussen deze parameters, waardoor hun effect samen wordt beschouwd (zie ook §2.3.1.1 hieronder, alsook §2 van Appendix 1 aan dit antwoord).

Een vergelijking tussen de lagere en hogere irrigatiewaarden – en de ermee geassocieerde infiltratiesnelheid – wordt beschreven in Tabel 7 in bijlage aan dit antwoord. Voor de meeste radionucliden is de BCF voor het 'hoge' CCI-HYDR

klimaatscenario ongeveer een factor 1,5 hoger dan de BCF voor het ‘gemiddelde’ CCI-HYDR klimaatscenario; enkel voor  $^{14}\text{C}$  is het verschil beperkt<sup>17</sup>.

Wanneer enkel naar inname van voedingsgewassen als blootstellingsweg wordt gekeken, bedraagt de verhouding voor de meeste radionucliden een factor 1,8 – wat overeenkomt met de verhouding tussen de maximale en minimale benodigde irrigatie.

**In wat volgt worden telkens de BCFs voor het ‘hoge’ CCI-HYDR klimaatscenario als vergelijkingspunt gebruikt, welke dus conservatief zijn t.o.v. de onzekerheden op de verwachte klimaatomstandigheden.**

### 2.3 Uitloging (element [2,3] van de interactiematrix)

De evenwichtsconcentratie in de grond resulteert uit contaminatie die wordt toegevoegd door irrigatie en afgevoerd door uitloging, radioactief verval en (voor  $^{14}\text{C}$ ) evasie van  $^{14}\text{CO}_2$ . De *uitlogingsconstante* [ $\text{a}^{-1}$ ] zoals bepaald door Equation 11 op blz. 62 van OD-030 [1] is opgebouwd uit de infiltratiesnelheid  $Inf$  [ $\text{m/a}$ ], de dikte van de wortelzone  $d_{s,v}$  [ $\text{m}$ ], de volumetrische waterinhoud van de grond  $\vartheta_s$  [-], de dichtheid van de grond  $\rho$  [ $\text{kg/m}^3$ ] en de (elementafhankelijke) distributiecoëfficiënt  $K_{d,i}$  [ $\text{m}^3/\text{kg}$ ]:

$$\lambda_{l,i} = \frac{Inf}{d_{s,v}(\vartheta_s + \rho_s K_{d,i})}$$

De onzekerheid op de uitlogingsconstante wordt voornamelijk bepaald door de onzekerheid op de distributiecoëfficiënt en in mindere mate die op de infiltratiesnelheid en de dikte van de wortelzone.

De onzekerheid op de bulkdichtheid is (veel) minder belangrijk dan die op de distributiecoëfficiënt (Table 5 uit OD-043 [5] – merk op dat de gebruikte waarde van  $1350 \text{ kg/m}^3$  laag<sup>18</sup> is t.o.v. de gemeten waarden op de zanden van Mol in de omgeving van de installatie ( $1640 \text{ kg/m}^3$  – zie Table 33 op blz. 100 van OD-051 [7])). De volumetrische waterinhoud is enkel een licht gevoelige parameter voor zeer mobiele radionucliden ( $K_{d,i}$  orde  $10^{-3} \text{ m}^3/\text{kg}$  of lager). De onzekerheid op deze parameters is ook beperkt (minder dan een factor 2).

Het effect van onzekerheden op infiltratiesnelheid, distributiecoëfficiënt en dikte van de wortelzone wordt beschreven in Tabel 8 t.e.m. Tabel 11 in bijlage aan dit antwoord.

#### 2.3.1 Infiltratiesnelheid $Inf$ [ $\text{m/a}$ ]

De infiltratiesnelheden (drainage) die worden aangewend in het biosfeermodel, werden gesimuleerd voor een grasvegetatie op typische bodemprofielen in de

<sup>17</sup> Dit kan toegeschreven worden aan het overheersende belang van inname van drinkwater voor de BCF van  $^{14}\text{C}$  (zie ook Figuur 30 en Figuur 32).

<sup>18</sup> Het omploegen van grond, typisch voor landbouw, geeft veelal aanleiding tot een verlaging van de bulkdichtheid. Het gebruik van een vrij lage waarde voor de bulkdichtheid is veeleer omhullend.



omgeving van de site van Dessel. Verdere details kunnen gevonden worden in §2 van Appendix 1 aan dit antwoord, alsook in de bijlage aan het antwoord op HS14-040.

Zoals hierboven werd aangestipt, is de infiltratiesnelheid afhankelijk van de heersende klimaatomstandigheden (§2.3.1.1). Daarnaast is de infiltratie ook afhankelijk van het type begroeiing, de karakteristieken van deze begroeiing en de bodemeigenschappen (§2.3.1.2).

### 2.3.1.1 Klimaatafhankelijkheid

Zoals aangegeven in §2.2 is de infiltratiesnelheid afhankelijk van de heersende klimaatomstandigheden (CCI-HYDR klimaatscenario's) en is ze dus gecorreleerd met de irrigatiehoeveelheid.

Gelet op het feit dat het biosfeermodel uitgaat van *evenwichtsomstandigheden* voor de berekening van de concentratie in de bodem (zie §3.2.5 van OD-030 [1]) en dat dergelijk evenwicht voor de meeste radionucliden strikt genomen pas na meerdere decennia of meer bereikt wordt, is het gebruik van een *gemiddelde* jaarlijkse infiltratie aangewezen (hierbij abstractie makend van interjaarlijkse variabiliteit, zie verder §2.3.1.2). Het 'lage' CCI-HYDR klimaatscenario geeft aanleiding tot de laagste gemiddelde infiltratie, het 'hoge' CCI-HYDR klimaatscenario tot de hoogste.

De onzekerheidsrange voor de (gemiddelde) infiltratie is beperkter dan die voor irrigatie. In principe verwacht men voor een lagere infiltratiesnelheid een tragere uitloging uit de wortelzone en dus een verhoging van BCFs – dit effect wordt echter meer dan gecompenseerd door het verschil in irrigatiehoeveelheid, zoals blijkt uit Tabel 8 in bijlage aan dit antwoord.

Voor de meeste radionucliden is de BCF voor het 'hoge' CCI-HYDR klimaatscenario ongeveer een factor 1,4 hoger dan de BCF voor het 'lage' CCI-HYDR klimaatscenario.

Wanneer enkel naar inname van voedingsgewassen als blootstellingsweg wordt gekeken, bedraagt de verhouding voor de meeste radionucliden een factor 1,5 à 1,6 – wat opnieuw overeenkomt met de verhouding van de benodigde irrigatie onder beide klimaatscenario's.

De gevoeligheid voor de infiltratiesnelheid op zich is dan ook eerder beperkt.

### 2.3.1.2 Andere onzekerheden op de gemiddelde infiltratie

De gemiddelde waarden van de infiltratie kunnen ook variëren als functie van het type begroeiing, de karakteristieken van de begroeiing en de karakteristieken van de bodem (*Zcg vs. Zeg*), zoals aangegeven in §2 van Appendix 1 aan dit antwoord. De onzekerheidsrange bepaald voor het 'hoge' CCI-HYDR klimaatscenario is in dit geval breder dan zuiver op basis van de gemiddelde waarden voor klimaat evoluties in de vorige paragraaf.

Toch blijkt ook hier de gevoeligheid van de BCFs beperkt te zijn tot een factor 1,5 of minder (Tabel 9 in bijlage aan dit antwoord): de infiltratiesnelheid is enkel een enigszins gevoelige parameter voor de radionucliden waarvoor de dosis sterk bepaald wordt door de concentratie in de bodem, i.e. de radionucliden waarvoor externe

bestraling belangrijk is ( $^{94}\text{Nb}$ ,  $^{126}\text{Sn}$ ,  $^{108\text{m}}\text{Ag}$ ) of waarvoor wortelopname een relatief belangrijke bijdrage levert tot de concentratie in gewassen ( $^{36}\text{Cl}$ ,  $^{79}\text{Se}$ , isotopen van U).

De resultaten in Tabel 9 brengen wel duidelijk naar voren dat een *lagere* infiltratiesnelheid leidt tot een tragere uitloging uit de wortelzone en dus een verhoging van BCFs. Het gebruik van de *gemiddelde* infiltratiewaarden voor grasland is echter verantwoord door de beperkte gevoeligheid en het feit dat voor een gemengd landgebruik een hogere infiltratiesnelheid wordt verwacht dan voor grasland in de regio (+27% voor de huidige klimaatomstandigheden [8]).

### 2.3.2 Distributiecöefficient $K_{d,i}$ [ $\text{m}^3/\text{kg}$ ]

De distributiecöefficient  $K_{d,i}$  is afhankelijk van de bodemkarakteristieken en het beschouwde element. De bodems in de omgeving van de bergingsite zijn zand (Z..) en lemig zandbodems (S.); daarom worden in het biosfeermodel waarden voor zandbodems gebruikt.

De waarden zijn gebaseerd op een uitgebreide literatuurstudie en de variabiliteit is veelal groot – voor sommige elementen strekt de range zich uit over meer dan 4 grootteordes.

Het geometrisch gemiddelde van de representatieve literatuurwaarden wordt als beste schattingswaarde gebruikt in de biosfeermodellen aangezien  $K_{d,i}$ 's veelal lognormaal verdeeld zijn (§2.2.3 van OD-041 [6]); bovendien is er een inherente variabiliteit van de waarden in eenzelfde omgeving (zie bv. blz. 179 van [10]). Zoals blijkt uit de vergelijkende tabellen in OD-041 [6] liggen de beste schattingswaarden uit deze studie in lijn met de waarden uit een recente compilatie van IAEA [11].

Zowel in de compilatie van IAEA [11] als in OD-041 [6] werden ruime criteria gehanteerd om bodems in de “zandgroep” in te delen, i.e. een zandfractie groter dan of gelijk aan 65% en een kleifractione kleiner dan 18%. Hierdoor werden ook waarden die niet noodzakelijk representatief zijn voor de zandige bodems in de omgeving van de site in aanmerking genomen. Voor een aantal elementen (Ni, Nb, Tc en U) werd de range van  $K_{d,i}$  waarden daarom verfijnd. Tijdens deze oefening werden enkele fouten in de gegevensdatabank gespot, wat geleid heeft tot een systematische verificatie van alle  $K_{d,i}$  waarden voor zandbodems. Voor ieder element werd vervolgens de BE-waarde en de range aangepast n.a.v. de eventuele correcties die zich opdrongen in de gegevensdatabank en/of de beschouwde verfijning van de range (Ni, Nb, Tc, U), zodat een coherente en traceerbare dataset werd verkregen. De finale ranges van  $K_{d,i}$  waarden worden gedocumenteerd in Appendix 2 aan dit antwoord<sup>19</sup>; in de overzichtstabel in §4 van deze Appendix wordt systematisch aangegeven welke waarden gewijzigd zijn t.o.v. OD-041 [6].

<sup>19</sup>

De elementen beschreven in Appendix 2 aan dit antwoord worden verwerkt in de update van OD-041 [6] die bij het herwerkte vergunningsaanvraagdossier beschikbaar zal zijn.

In Tabel 10 wordt het effect van de minimale en maximale  $K_{d,i}$ -waarden, zoals uiteindelijk beschouwd in Tabel 4 van Appendix 2 aan dit antwoord, gekwantificeerd. Voor de meeste elementen / radionucliden is het effect beperkt tot minder dan een factor 2; echter is er een aantal radionucliden waarvoor het effect van extreme waarden belangrijker is, bijvoorbeeld Th-isotopen (variatie  $K_{d,Th}$  over 5 grootteordes). Deze zijn echter minder bepalend voor de globale impact onder uitlogingsscenario's.

Voor de meeste radionucliden is wortelopname minder belangrijk dan interceptie, waardoor de variabiliteit in  $K_d$ -waarden zich minder uitgesproken manifesteert op het gebied van de component "inname van voedingsgewassen" van de BCF dan op de BCF zelf (Tabel 10).

### 2.3.3 Dikte van de wortelzone

De wortelzone is voor de meeste gewassen niet meer dan enkele tientallen centimeters diep. In Table 3 van OD-043 [5] wordt een range van 0,15m tot 0,6m beschouwd voor voedingsgewassen en een range van 0,075m tot 0,3m voor weiland.

Uit de analyse gegeven in Tabel 11 blijkt het effect op de BCF verwaarloosbaar te zijn. Enkel voor relatief kortlevende radionucliden en radionucliden waarvoor externe bestraling een belangrijke bijdrage levert tot de impact, is er een merkbaar effect.

## 2.4 Wortelopname

Wortelopname betreft de opname door gewassen van contaminatie uit de grond (elementen [2,4] en [2,5] van de interactiematrix). Naast de evenwichtsconcentratie in de grond komen ook de transferfactor van de grond naar de plant  $TF_{v,i}$  [ $\text{kg}_{\text{dw,grond}}/\text{kg}_{\text{dw,plant}}$ ] en (voor voedingsgewassen) de fractie droog gewicht  $DW_v$  [ $\text{kg}_{\text{dw}}/\text{kg}_{\text{rW}}$ ] per kilogram vers gewicht tussen in de bepaling van de concentratie in de plant door wortelopname.

De onzekerheid op de fractie drooggewicht is zeer beperkt (Table 10 uit OD-043 [5]) waardoor het effect op de BCFs niet significant zal zijn.

Voor de bodem-plant transferfactoren worden in het model de geometrisch gemiddelde waarden uit een literatuurstudie (zie OD-041 [6]) als BE gebruikt. De onzekerheden kunnen meerdere grootteordes<sup>20</sup> beslaan.

In Tabel 12 wordt een overzicht gegeven van de onzekerheidsrange (i.e. de verhouding max/min) voor de verschillende gewassen, gebaseerd op de gegevens uit OD-041 [6]. Voor  $^{14}\text{C}$  (waarvoor de opname in de plant voornamelijk gebeurt door fotosynthese – elementen [7,4] en [7,5] van de interactiematrix) wordt de onzekerheid op de fractie koolstof in de verschillende gewassen beschouwd.

<sup>20</sup>

Er bestaat eveneens een negatieve correlatie tussen de distributiecoëfficiënt  $K_{d,i}$  en de bodem-plant transferfactor – een hoge  $K_{d,i}$  beperkt de mobiliteit van het element in de bodem en dus de beschikbaarheid ervan voor wortelopname.

Deze onzekerheid is vrij beperkt. Aangezien inname van gewassen bovendien niet de belangrijkste blootstellingsweg voor  $^{14}\text{C}$  (zie §2.1), blijft ook het effect op de BCF van  $^{14}\text{C}$  beperkt.

In de analyse van Tabel 12 werden de transferfactoren voor alle types gewassen tegelijkertijd op hun minimale en maximale waarde gezet, zodat een maximale range van effecten wordt bekomen. Het effect van het beschouwen van maximale waarden voor de bodem-plant transferfactoren blijkt significant voor een groot aantal radionucliden.

Teneinde het gebruik van BE waarden verder te onderbouwen in het geval waar de maximale waarde tot een sterke verhoging (meer dan een factor 2) van de BCF leidt, wordt de selectie van transferfactoren voor elementen met isotopen die mede bepalend zijn voor de impact onder uitlogingssscenario's – met name chloor, nikkel, technetium, uranium, plutonium en americium – hieronder verder in detail beschreven.

#### 2.4.1 Chloor

Bij definitie impliceert het concept van bodem-plant transferfactoren evenwichtsomstandigheden (of een toestand die daar dicht bij in de buurt komt). Voor de meeste elementen stelt zich inderdaad een evenwichtssituatie in: de transfer van radionucliden vanuit de bodem naar de plant is immers verwaarloosbaar in vergelijking met de totale concentratie in de bodem.

Voor zeer mobiele radionucliden, zoals  $^{36}\text{Cl}$ , is dit echter niet het geval. Door zijn mobiliteit (BE  $K_{d,Cl} \sim 0,001 \text{ m}^3/\text{kg}$ ) is chloor onderhevig zijn aan snelle migratie in de bodem, waardoor de concentratie in de bodem aan het einde van de groeiperiode van gewassen veel lager kan zijn dan in het begin. Wortelopname gebeurt doorheen de volledige groeiperiode, maar transferfactoren worden meestal experimenteel gemeten aan het einde van de groeiperiode. Dit leidt tot zeer hoge waarden voor de transferfactoren, wat in een geabstraheerd biosfeermodel kan leiden tot een sterke overschatting van de radionuclidenconcentratie in de gewassen (zie ook blz. 63 van IAEA TRS472 [11]).

Daarom is het gebruik van gemiddelde (BE) waarden uit de range gejustifieerd t.o.v. het feit dat de maximale waarden leiden tot een 2,3 keer hogere waarde van de BCF (Tabel 12).

#### 2.4.2 Nikkel

Voor  $^{59}\text{Ni}$  leidt het gebruik van de maximale bodem-plant transferfactoren tot een 2,8 keer hogere waarde van de BCF in vergelijking met de BE bodem-plant transferfactoren (Tabel 12).

Kijken we in meer detail naar de berekende BCF voor de maximale transferfactoren, dan is de impact voor 36,4% toe te schrijven aan inname van fruit en bessen en voor 32,6% aan inname van granen.

Voor nikkel zijn er tijdens de literatuurstudie [6] geen gegevens gevonden m.b.t. de transfer vanuit de bodem naar fruit en bessen. Daarom werden de generieke

waarden voor alle types gewassen én alle bodemtypes aangewend voor fruit en bessen (zie §8.3.1 van OD-041 [6]). De maximale transferfactor van  $9,34 \text{ kg}_{\text{dw,grond}}/\text{kg}_{\text{dw,plant}}$  die wordt gebruikt in de onzekerheidsanalyse betreft een meetwaarde voor klavers (veevoer) welke niet representatief is voor voedingsgewassen (met inbegrip van fruit en bessen). Bovendien betreft het een meetwaarde uit het eerste jaar van een langetermijnstudie waarbij contaminatie werd geïntroduceerd kort (1-2 weken) voor het zaaien [12]. Onder deze omstandigheden heerst nog geen evenwichtstoestand in de bodem, deze meetwaarden dienen, zoals aangestipt door Mascanzoni [12], dan ook met de nodige omzichtigheid behandeld te worden.

Bovendien zijn er indicaties dat er geen significante accumulatie optreedt van nikkel in zaden, vruchten of knollen van gewassen met uitzondering van peulen – Coughtrey en Thorne stellen dat de transfer vermoedelijk ongeveer 0,1 bedraagt in de meeste gewassen en 0,5 in peulvruchten, wat coherent is met meetgegevens [13].

De maximale gemeten transferfactor van nikkel voor voedingsgewassen in zandgrond, met uitzondering van peulvruchten, bedraagt  $0,75 \text{ kg}_{\text{dw,grond}}/\text{kg}_{\text{dw,plant}}$  voor granen. Indien men deze waarde zou hanteren voor fruit en bessen, bedraagt de verhouding der BCFs max / BE minder dan een factor 2 (1,9 voor een maximale BCF van  $2,95 \times 10^{-10} \text{ Sv/a per Bq/m}^3$ ) voor  $^{59}\text{Ni}$ .

Het gebruik van de BE transferfactoren is dan ook gerechtvaardigd in het licht van bovenstaande.

### 2.4.3 Technetium

De overwegingen in §2.4.1 van dit document voor chloor zijn ook geldig voor het zeer mobiele technetium (zie ook Appendix 2 aan dit antwoord voor de distributiecoëfficiënt).

De beschikbare gegevens voor bodem-plant transferfactoren van Tc in een subtropische omgeving (zie ook Table 21, blz. 77 van IAEA TRS472 [11]), conform de verwachte klimaatevolutie, zijn bovendien systematisch meer dan een grootteorde lager dan de meetwaarden voor een gematigd klimaat.

Het gebruik van gemiddelde (BE) waarden is dan ook gejustificeerd.

### 2.4.4 Uranium

Voor U-isotopen, met uitzondering van  $^{232}\text{U}$ , bedraagt de verhouding van de BCFs max/BE voor de bodem-plant transferfactoren 6,9 tot 7,5 (Tabel 12).

Kijken we in meer detail naar de berekende BCF voor de maximale transferfactoren, dan is de impact voor ~ 58% toe te schrijven aan inname van bladgroenten en voor ~ 18,5% aan inname van granen. Een overzicht van de range van transferfactoren voor deze gewastypes wordt gegeven in Tabel 4: het verschil tussen de BE en de max waarde bedraagt ongeveer 2 grootteordes voor bladgroenten en een factor 20 voor granen.

**Tabel 4 – Transferfactoren  $TF_{v,i}$  [kgdw,grond/kgdw,plant] voor U voor granen en bladgroenten in zandgrond.**

	Granen			Bladgroenten		
	min	BE	max	min	BE	max
§23.3.1 van OD-041 [6]	2,1E-04	6,0E-03	1,2E-01	5,1E-03	1,1E-01	8,8E+00

Typisch is de uraniumconcentratie in planten verschillende grootteordes lager dan de concentratie in de grond (zie bv. [14]). Bovendien bestaat er een negatieve correlatie bestaat tussen de bodem-plant transferfactor en de distributiecoëfficiënt in de bodem en wordt uranium goed gesorbeerd in de zandbodem (BE  $K_{d,U} = 1,28 \text{ m}^3/\text{kg}$ ). De maximale  $TF_{v,U}$  waarden voor granen en vooral bladgroenten zijn niet in overeenstemming met deze observaties: accumulatie in de bodem en beschikbaarheid voor opname in gewassen mogen niet als onafhankelijke variabelen beschouwd worden.

De maximale waarde voor granen, ontleend aan [15], is bovendien van toepassing op de pel van rijstkorrels, terwijl de waarden voor de korrels zelf een grootteorde lager liggen.

Gegeven de hoge sorptie op de bodem zijn de BE-waarden van  $TF_{v,U}$  veel realistischer en voor bladgroenten zelfs nog aan de hoge (dus omhullende) kant, wat het gebruik ervan verantwoordt.

Verwijzen we in deze context bv. ook naar de op een literatuurstudie gebaseerde distributies gehanteerd in de biosfeerevaluatie van het Yucca Mountain project [16]:

- voor bladgroenten een BE/GM waarde van 1,1E-02 in een range van 1,8E-03 – 6,6E-02;
  - voor granen een BE/GM waarde van 1,1E-03 in een range van 4,1E-05 – 3,1E-02;
- en dit bij een BE  $K_{d,U}$  van 0,033  $\text{m}^3/\text{kg}$ .

In het licht van bovenstaande is het gebruik van de BE transferfactoren dan ook gerechtvaardigd.

#### 2.4.5 Plutonium

Voor  $^{239}\text{Pu}$ ,  $^{240}\text{Pu}$ ,  $^{242}\text{Pu}$  en  $^{244}\text{Pu}$  bedraagt de verhouding van de BCFs max/BE voor de bodem-plant transferfactoren ongeveer 2,5 (Tabel 12).

Kijken we in meer detail naar de berekende BCF voor de maximale transferfactoren, dan is de impact voor > 60% toe te schrijven aan inname van granen.

Een overzicht van de range van transferfactoren voor granen wordt gegeven in Tabel 5: het verschil tussen de BE en de max waarde bedraagt 4 grootteordes.

**Tabel 5 – Transferfactoren  $TF_{v,i}$  [ $kg_{dw,grond}/kg_{dw,plant}$ ] voor Pu voor granen in zandgrond.**

	Granen		
	min	BE	max
§25.3.1 van OD-041 [6]	5,0E-07	2,7E-05	2,6E-01

De maximale waarden uit OD-041 [6] zijn ontleend aan de IUR database (1989). Merken we op dat hierin voor granen slechts 2 waarden (op een totaal van 253 voor zandgrond) van de grootteorde  $10^{-1}$  werden gevonden.

Het aantal gegevens is voldoende om een relevant betrouwbaarheidsinterval te kunnen afleiden. Transferfactoren zijn veelal lognormaal verdeeld, de bovengrens van het 95% betrouwbaarheidsinterval kan dan bepaald worden als  $GM \times GSD^2$ . Dit leidt tot een bovengrenswaarde van  $2,7E-05 \times 7,38^2 = 1,5E-03$  voor granen.

Wanneer deze waarde als maximum van de range gehanteerd wordt, bedraagt de verhouding van de BCFs max/BE voor Pu nog slechts 1,2 à 1,3.

In het licht van bovenstaande is het gebruik van de BE transferfactoren dan ook gerechtvaardigd.

#### 2.4.6 Americium ( $^{241}\text{Am}$ , $^{243}\text{Am}$ )

Voor  $^{243}\text{Am}$  bedraagt de verhouding van de BCFs max/BE voor de bodem-plant transferfactoren 7,1; voor  $^{241}\text{Am}$  is dit 2,6 (Tabel 12).

Kijken we in meer detail naar de berekende BCF voor de maximale transferfactoren, dan is de impact voor het overgrote deel toe te schrijven aan inname van granen (68% voor  $^{241}\text{Am}$  en bijna 80% voor  $^{243}\text{Am}$ ).

Een overzicht van de range van transferfactoren voor granen wordt gegeven in Tabel 6: het verschil tussen de BE en de max waarde bedraagt ongeveer 4 grootteordes.

**Tabel 6 – Transferfactoren  $TF_{v,i}$  [ $kg_{dw,grond}/kg_{dw,plant}$ ] voor Am voor granen in zandgrond.**

	Granen		
	min	BE	max
§26.3.1 van OD-041 [6]	6,0E-07	8,1E-05	5,3E-01

De maximale waarden uit OD-041 [6] zijn ontleend aan de IUR database (1989). Merken we op dat hierin voor granen slechts 2 waarden (op een totaal van 226 voor zandgrond) van de grootteorde  $10^{-1}$  werden gevonden. Deze afwijkende maximale waarden van de transferfactor voor granen is niet compatibel met de vaststelling dat de transfer van americium van bodem naar gewas veelal laag is – zoals eerder aangehaald voor U bestaat er een negatieve correlatie bestaat tussen de transferfactor

en de distributiecoëfficiënt in de bodem. Americium wordt goed gesorbeerd in de zandbodem (BE  $K_{d,Am} = 1,23 \text{ m}^3/\text{kg}$ ).

Het aantal gegevens is bovendien voldoende om een relevant betrouwbaarheidsinterval te kunnen afleiden. Transferfactoren zijn veelal lognormaal verdeeld, de bovengrens van het 95% betrouwbaarheidsinterval kan dan bepaald worden als  $GM \times GSD^2$ . Dit leidt tot een bovengrenswaarde van  $8,1E-05 \times 9,9^2 = 7,9E-03$ .

Op basis van de meer realistische maximale waarden van de range (95% betrouwbaarheidsinterval), bedraagt de verhouding van de BCFs max/BE nog slechts 1,2 voor  $^{241}\text{Am}$  en 1,9 voor  $^{243}\text{Am}$ .

In het licht van bovenstaande is het gebruik van de BE transferfactoren dan ook gerechtvaardigd.

## 2.5 Interceptie

Tijdens het irrigeren door beregening komt, wanneer de plant voldoende groot is, een deel van het irrigatiewater rechtstreeks terecht op de bovengrondse delen van de plant door interceptie (elementen [1,4] en [1,5] van de interactiematrix). De hieruit resulterende concentratie aan radionucliden in de gewassen voor consumptie is onderhevig aan verwerking (elementen [4,2] en [5,2] van de interactiematrix, in het geval van rechtstreekse depositie van irrigatiewater op de eetbare gedeelten van de gewassen) of translocatie (in het geval waarin de eetbare delen zich onder de grond bevinden, in casu voor wortelgewassen en aardappelen).

### 2.5.1 Interceptie

De belangrijkste parameters die tussenkomen bij interceptie zijn de irrigatiehoeveelheden (welke op omhullende wijze geschat werd – zie §2.2 en Appendix 1 van dit antwoord) en de massieke interceptiefactor  $R_v/Y_v$  [ $\text{m}^2/\text{kg}_{\text{fw}}$  of  $\text{m}^2/\text{kg}_{\text{dw}}$ ], naast de externe blootstellingsduur aan irrigatiewater (deze laatste is korter dan de irrigatieperiode omdat er niet op continue basis wordt geïrrigeerd). De modelaanname voor deze laatste zijn echter voorzichtig (50% van de irrigatieperiode voor de meeste gewassen) waardoor de onzekerheid niet verder beschouwd dient te worden.

In het model wordt ook weer de geometrisch gemiddelde waarde voor de massieke interceptiefactor gebruikt. Het effect van de minimale en maximale waarden uit Table 11 en Table 12 van OD-043 [5] wordt beschreven in Tabel 13 en blijft beperkt tot een factor 2 à 3. Merken we op dat een groot deel van de impact (~ 50% voor de meeste radionucliden) in dit geval toe te schrijven is aan inname van granen.

Het gebruik van BE waarden van de massieke interceptiefactor bij de berekening van de concentratie in granen door interceptie is gejustifieerd in het licht van de voorzichtige aannames m.b.t. de andere parameters die tussenkomen in de berekening hiervan:

- de irrigatiehoeveelheden, die geschat worden uit het ‘hoge’ CCI-HYDR klimaatscenario (Cs-klimaat), dat omhullend is aan de verwachtingen en ranges



van temperatuur- en neerslagrespons (hogere temperatuur in de zomermaanden en lagere (jaarlijkse) neerslag). Deze parameters beïnvloeden de potentiële evapotranspiratie en dus de irrigatiebehoefte, welke hoger is in een warmer en droger klimaat;

- de schatting van de irrigatiehoeveelheden is met name voor granen welke, met uitzondering van maïs, ook niet intensief geïrrigeerd worden in droge streken<sup>21</sup>. Zo vermeldt Annex 2 van het BioMoSA rapport [17] een irrigatie van 161 mm/a voor granen in het biosfeermodel van de oppervlaktebergingsinrichting van El Cabril (Spanje), wat meer dan een factor 2 lager ligt dan voor andere voedingsgewassen en ook meer dan een factor 2 lager dan de generieke irrigatiehoeveelheid van 360 mm/a voor het ‘hoge/natte’ CCI-HYDR scenario. De bijdrage van (inname van) granen tot de BCF zou op basis hiervan evenredig afnemen;
- de aanname dat er irrigatie wordt toegepast tot vlak voor de oogst, terwijl granen zoals tarwe, gerst en rogge idealiter kunnen drogen op het veld voorafgaand aan de oogst. Bovendien vertonen rijpe granen de neiging tot kiemen in vochtige omstandigheden, waardoor ze niet langer geschikt zijn voor consumptie. Het beschouwen van een tijd van 10 dagen tussen het einde van de irrigatie en de oogst voor granen (naar analogie met de modellering van LLWR [18]) leidt voor de meeste radionucliden tot een reductie van de BCFs tussen 15 en 20%, het beschouwen van een tijd van 30 dagen (naar analogie met bladgroenten en fruit) tot een reductie van de BCFs van 30 à 40%.

### 2.5.2 Verwerking

Het proces van verwerking wordt beschreven door de verweringsconstante  $\lambda_w$  [ $a^{-1}$ ] en dus de halfwaardetijd voor verwerking  $T_w$  [a]. Experimenteel werd vastgesteld dat deze halfwaardetijd toeneemt met de ontwikkeling van de plant. In de literatuurstudie voor het biosfeermodel werd geselecteerd voor waarden die representatief zijn voor een langere tijdschaal (m.b.t. de ontwikkeling van de plant) en dus inherent aan de hogere kant. Voor wortelgewassen en aardappelen worden verliezen door verwerking niet beschouwd, omdat translocatie (§2.5.3) daar het belangrijkste mechanisme is dat leidt tot contaminatie van de eetbare gedeelten van de gewassen t.g.v. interceptie.

In Tabel 14 wordt het effect van de minimale en maximale waarden uit Table 13 van OD-043 [5] beschreven; dit effect is beperkt.

21

zie bv. [http://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=File:Share of irrigated crop area in total crop area, semi-intensive crops \(maize and cereals excluding maize and rice\), 2010, \(%25\).png&oldid=284094](http://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=File:Share_of_irrigated_crop_area_in_total_crop_area,_semi-intensive_crops_(maize_and_cereals_excluding_maize_and_rice),_2010_(%25).png&oldid=284094)

### 2.5.3 Translocatie

Translocatiefactoren, die voor knolgewassen en wortelgewassen beschrijven welke fractie afgezette radioactiviteit naar de eetbare gedeelten van de gewassen migreert zijn moeilijk te kwantificeren (zie §2.5.2 van OD-041 [6]). De gegevens zijn schaars en stoelen vaak op analogen. In vergelijking met de waarden uit IAEA TRS 472 [11] zijn de gegevens uit het biosfeermodel vrij hoog (conservatief). Daarom worden ze als maxima gebruikt in de analyse van Tabel 15.

Op basis van de (beperkte) onzekerheidsranges in [11] gebruiken we een onzekerheidsfactor van 50 gebruikt om tot een minimale waarde vast te stellen. Het effect op de totale dosis is voor de meeste nucliden nauwelijks merkbaar (Tabel 15).

## 2.6 Dierlijke producten

Inname van dierlijke producten is belangrijk voor een beperkt aantal radionucliden, i.h.b.  $^{36}\text{Cl}$  en  $^{79}\text{Se}$ . De transfer naar dierlijke producten wordt gemodelleerd op basis van de concentratie in veevoer (gras/hooi of graan), water en grond, de inname door dieren (elementen [1,6], [2,6], [4,6] en [5,6] van de interactiematrix) en de transferfactoren voor dierlijke producten (melk, vlees, eieren).

### 2.6.1 Inname door dieren

De onzekerheid op de inname door dieren is relatief beperkt (zie §3.4 van OD-043 [5]). Gegeven de beperkte bijdrage van inname van dierlijke producten (Figuur 30, Figuur 31 en Figuur 32) is er geen significant effect op de BCFs.

### 2.6.2 Transferfactoren voor dierlijke producten

Zoals beschreven in §2.4 van OD-041 [6] is de kwaliteit van de waarden voor de transferfactoren voor dierlijke producten veel lager dan voor andere parameters, daar zij gebaseerd zijn op een zeer beperkt aantal gegevens / experimenten.

Voor Cl en Se vallen de data, voor zover beschikbaar, evenwel binnen eenzelfde orde van grootte (Table 25 en Table 50 uit OD-041 [6]). Er is dan ook geen significant effect op de BCFs.

## 2.7 Blootstellingswegen

### 2.7.1 Ingestie: Consumptiehoeveelheden

Zoals gesteld in §2.1 is ingestie voor vele radionucliden de belangrijkste blootstellingsweg. De dosis door ingestie is logischerwijs evenredig met de consumptiehoeveelheden.

Deze werden (voor volwassenen) bepaald op basis van de gegevens uit een voedselconsumptiepeiling uitgevoerd in 2004 (zie §5.1.1.1 van OD-043 [5]) en de gemiddelde waarden worden in het biosfeermodel gebruikt

De reële consumptiehoeveelheden van de Belgische bevolking blijken te verschillen van de op basis van de voedselpiramide aanbevolen hoeveelheden, zoals gedocumenteerd in Annex 4

van OD-043 [5]. Deze geven aanleiding tot een hogere BCF, het effect blijft evenwel beperkt tot minder dan een factor 2 (

Tabel 16).

### 2.7.2 Inhalatie en externe bestraling: Blootstellingsduur

Aangezien de dosis door inhalatie niet significant is (Figuur 30, Figuur 31 en Figuur 32), dient vooral te worden ingezoomd op de blootstellingsduur vanuit het standpunt “externe blootstelling”. De dosis door externe bestraling is evenredig met de blootstellingsduur. In het model wordt een waarde van 1500 h/a gehanteerd, wat betekent dat de landbouwer 4u per dag op zijn (gecontamineerde) velden werkt en dit iedere dag. Gelet op het feit dat de activiteiten op de landbouwgrond in de winter veelal beperkt zijn en dat de directe blootstelling in de moderne landbouw (gebruik van machines) beperkt is, kan deze waarde als voorzichtig / hoog worden beschouwd.

### 2.7.3 Dosiscoëfficiënten

Voor alle blootstellingswegen leidt een toename/afname van de *dosiscoëfficiënt* tot een evenredige toename/afname van de impact door die blootstellingsweg.

Zoals uitgelegd in §3.5 van OD-042 [9] worden onzekerheden m.b.t. de dosiscoëfficiënten niet beschouwd in de langetermijnveiligheidsevaluatie, waarin de geschatte doses veelal betrekking hebben op hypothetische blootstellingssituaties voor referentiepersonen in de verre toekomst. De ingestie- en inhalatiedosiscoëfficiënten zijn bovendien vastgelegd in de Belgische wetgeving stralingsbescherming [20].

Onzekerheden met betrekking tot de dosiscoëfficiënten worden impliciet beschouwd door het voorzichtig vaststellen van dosisbeperkingen en -referentiewaarden (§(47) van ICRP Publicatie 101a [2]).

## 2.8 Conclusie

Op basis van de analyses beschreven in bijlage en de argumenten hierboven aangehaald blijkt dat de massieke interceptiefactoren, de irrigatiehoeveelheden en voor sommige radionucliden ook de bodem-plant transferfactoren gevoelige parameters zijn, naast de consumptiehoeveelheden.

Rekening houdend met het feit dat de biosfeermodellering stoelt op een groot aantal parameters die vaak ook met elkaar gecorreleerd zijn, is haar eerste doel een *grootteorde* van impacts kwantificeren. De spreiding van de onzekerheden, bepaald op basis van de (eveneens deterministische) gevoeligheidsanalyse zoals hierboven gedocumenteerd, bevestigt deze grootteorde.

De dosis wordt bepaald voor een zelfvoorzienende landbouwgemeenschap die bovendien al haar voedsel betreft van de sterkst gecontamineerde zone (i.e. die volledig geïrrigeerd wordt met water uit een put op de plaats met de hoogste concentratie). Voor een duurzame zelfvoorzienende landbouwproductie voor een gezin van 4 personen is al een minimale oppervlakte van 2 ha nodig (zie [21]). Hierdoor wordt een inherent conservatisme geïntroduceerd: de grootte van de groep die in aanmerking komt als representatieve personen – gebruik makend van water uit

de waterput voor privégebruik – wordt beperkt door het feit dat dergelijke waterput niet kan voorzien in de waterbehoefte voor een zeer uitgestrekt landbouwgebied.

Bovendien wordt het ‘hoge’ CCI-HYDR klimaatscenario als referentie gebruikt, waardoor de irrigatiehoeveelheden en de BCFs inherent – en *a fortiori* door de irrigatiebehoefte voor alle types gewassen gelijk te stellen aan het neerslagdeficit tijdens de droogste maanden – conservatief zijn t.o.v. de onzekerheden verwachte toekomstige klimaatomstandigheden.

Dit alles in aanmerking genomen, kan het biosfeermodel met zijn BE parameterwaarden binnen de referentiebiosfeermethodologie als adequaat worden beschouwd voor de berekening van doses in de (verre) toekomst.

### 3 Aanpassingen aan het veiligheidsrapport

De onzekerheidsanalyses beschreven in bijlage aan dit antwoord zullen integraal worden opgenomen in de herziening van OD-030 [1]. In Hoofdstuk 14 van het veiligheidsrapport zal een beknopt overzicht worden gegeven bij de bespreking van de biosfeermodellen.

### 4 Referenties

- [1] Federaal Agentschap voor Nucleaire Controle, *Leidraad “Veiligheidsevaluatie : biosfeer”*, nota 008-217 rev. 3, 19 augustus 2010
- [2] International Commission on Radiological Protection, *Assessing dose of the representative person for the purpose of radiation protection of the public*, ICRP Publication 101a, Annals of the ICRP 36(3), 2006
- [3] P. Baguis, V. Ntegeka, P. Willems & E. Roulin, *Extension of CCI-HYDR climate change scenarios for INBO*, Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek (INBO) & Belgian Science Policy – SSD Research Programme, Technical Report by K.U. Leuven – Hydraulics Section & Royal Meteorological Institute of Belgium, 31 pp., January 2009
- [4] BIOCLIM, *Modelling Sequential Biosphere Systems under Climate change for Radioactive Waste Disposal*, Deliverable D10-12: *Development and Application of a Methodology for Taking Climate-Driven Environmental Change into Account in Performance Assessments*, 2004
- [5] ONDRAF/NIRAS, *Biosphere model report*, NIROND-TR 2008-19E Version 2, 3 October 2011
- [6] ONDRAF/NIRAS, *Element independent biosphere parameters*, NIROND-TR 2008-28E Version 2, 4 July 2012
- [7] ONDRAF/NIRAS, *Geological, hydrogeological and hydrological data for the Dessel disposal site*, NIROND-TR 2009-05E Version 1, September 2010
- [8] B. Leterme & D. Mallants, *Climate and land use change impacts on groundwater recharge*, ModelCARE 2011. Models – Repositories of knowledge UFZ, Leipzig, 18 – 22 September 2011

- [9] ONDRAF/NIRAS, *Element dependent environmental input parameters for the biosphere model*, NIROND-TR 2008-26E Version 2, 3 December 2010
- [10] International Atomic Energy Agency, “*Reference biospheres*” for solid radioactive waste disposal, IAEA-BIOMASS-6, IAEA, Vienna, July 2003
- [11] International Atomic Energy Agency, *Handbook of parameter values for the prediction of radionuclide transfer in terrestrial and freshwater ecosystems*, Technical Reports Series No. 472, IAEA, Vienna, January 2010
- [12] D. Mascanzoni, *Long-term transfer from soil to plant of radioactive corrosion products*, Environmental Pollution 57(1), pp. 49-62, 1989
- [13] P.J. Coughtrey & M.C. Thorne, *Radionuclide distribution and transport in terrestrial and aquatic ecosystems – A critical review of data*, Volume II, prepared for the Directorate-General Employment, Social Affairs and Education, Health and Safety Directorate, Commission of the European Communities, EUR 8115 II, 1983
- [14] S.C. Sheppard & W.G. Evenden, *Critical compilation and review of plant/soil concentration ratios for uranium, thorium and lead*, Journal of Environmental Radioactivity 8, pp. 255-285, 1988
- [15] A.R. Lakshmanan & K.S. Venkateswarlu, *Uptake of uranium by vegetables and rice*, Water, Air and Soil Pollution 38(1), pp. 151-153, March 1988
- [16] Bechtel SAIC Company, LLC, *Environmental transport input parameters for the biosphere model*, ANL-MGR-MD-000007 Rev. 02, prepared for U.S. Department of Energy under contract number DE-AC28-01RW12101, September 2004
- [17] G. Pröhl, G. Olyslaegers, T. Zeevaert, B. Kanyar, P. Pinedo, I. Simón, U. Bergström, B. Hallberg, S. Mobbs, Q. Chen, R. Kowe, *Biosphere models for safety assessment of radioactive waste disposal*, GSF-Bericht 06/04, Institut für Strahlenschutz, 2006
- [18] Low Level Waste Repository Ltd., *Consolidation and documentation of biosphere models*, SERCO/TAS/E003796/005 Issue 1, 15 March 2010
- [19] ONDRAF/NIRAS, *Compendium of dose coefficients and related quantities for assessing human exposure*, NIROND-TR 2008-27E Version 2, 2 November 2010
- [20] Koninkrijk België, *Koninklijk besluit van 20 juli 2001 houdende algemeen reglement op de bescherming van de bevolking, van de werknemers en het leefmilieu tegen het gevaar van ioniserende stralingen*, Belgisch Staatsblad van 30 augustus 2001
- [21] Food and Agriculture Organization, *Soil loss Accelerating Worldwide*, FAO, Rome, Italy, 1993 (geciteerd in [22])
- [22] N. Myers, *The next green revolution: its environmental underpinnings*, Current Science 76(4), 25 February 1999

## Bijlage – Effect van onzekerheden m.b.t. biosfeerparameters

Tabel 7 – Effect van de onzekerheid op irrigatiehoeveelheid  $I_{r,v}/T_{ir,v}$  [m/a] en corresponderende infiltratiesnelheid  $Inf$  [m/a] op de BCFs voor volwassenen voor de waterput als receptor. <sup>(1)</sup>voedingsgewassen; <sup>(2)</sup>weiland.

	Irrigatiehoeveelheid $I_{r,v}/T_{ir,v}$ [m/a]				BCF inname voedingsgewassen [Sv/a per Bq/m <sup>3</sup> ]			Totale BCF [Sv/a per Bq/m <sup>3</sup> ]		
	min	BE	max	max /min	$I_{r,v}/T_{ir,v}$ min	$I_{r,v}/T_{ir,v}$ max	max / min	$I_{r,v}/T_{ir,v}$ min	$I_{r,v}/T_{ir,v}$ max	max / min
<sup>108m</sup> Ag					5,15E-09	9,26E-09	1,8	1,37E-08	2,29E-08	1,7
<sup>241</sup> Am					1,55E-07	2,79E-07	1,8	2,45E-07	3,71E-07	1,5
<sup>242m</sup> Am					1,55E-07	2,79E-07	1,8	2,43E-07	3,68E-07	1,5
<sup>243</sup> Am					1,56E-07	2,81E-07	1,8	2,60E-07	3,95E-07	1,5
<sup>10</sup> Be	Irrigatie CCI-HYDR		Irrigatie CCI-HYDR	Irrigatie:	9,89E-10	1,76E-09	1,8	1,52E-09	2,32E-09	1,5
	'gemiddeld':		'hoog':	1,8 <sup>(1)</sup>						
<sup>14</sup> C	0,20 <sup>(1)</sup>		0,36 <sup>(1)</sup>	1,8 <sup>(2)</sup>	2,30E-11	4,15E-11	1,8	2,87E-10	3,13E-10	1,1
	0,13 <sup>(2)</sup>	n.v.t.	0,23 <sup>(2)</sup>							
<sup>41</sup> Ca	Corresponderende infiltratie:		Corresponderende infiltratie:	Corresponderende infiltratie:	2,01E-10	3,61E-10	1,8	3,08E-10	4,74E-10	1,5
<sup>36</sup> Cl	0,19		0,21	1,1	1,38E-09	2,37E-09	1,7	3,68E-09	5,71E-09	1,6
<sup>244</sup> Cm					9,29E-08	1,67E-07	1,8	1,46E-07	2,21E-07	1,5
<sup>135</sup> Cs					5,52E-09	9,74E-09	1,8	7,45E-09	1,23E-08	1,7
<sup>137</sup> Cs					2,88E-08	5,18E-08	1,8	3,86E-08	6,39E-08	1,7
<sup>3</sup> H					2,21E-11	3,94E-11	1,8	3,86E-11	5,81E-11	1,5

	Irrigatiehoeveelheid $I_{r,v}/T_{ir,v}$ [m/a]				BCF inname voedingsgewassen [Sv/a per Bq/m <sup>3</sup> ]			Totale BCF [Sv/a per Bq/m <sup>3</sup> ]		
	min	BE	max	max /min	$I_{r,v}/T_{ir,v}$ min	$I_{r,v}/T_{ir,v}$ max	max / min	$I_{r,v}/T_{ir,v}$ min	$I_{r,v}/T_{ir,v}$ max	max / min
<sup>129</sup> I					7,94E-08	1,43E-07	1,8	1,37E-07	2,02E-07	1,5
<sup>93</sup> Mo					3,99E-09	7,06E-09	1,8	5,99E-09	9,26E-09	1,5
<sup>94</sup> Nb					2,05E-09	3,64E-09	1,8	6,81E-08	1,11E-07	1,6
<sup>59</sup> Ni					5,96E-11	1,05E-10	1,8	1,03E-10	1,55E-10	1,5
<sup>63</sup> Ni					1,26E-10	2,26E-10	1,8	2,22E-10	3,34E-10	1,5
<sup>236</sup> Np					1,32E-08	2,37E-08	1,8	2,12E-08	3,21E-08	1,5
<sup>237</sup> Np					8,61E-08	1,55E-07	1,8	1,38E-07	2,09E-07	1,5
<sup>231</sup> Pa					7,57E-07	1,33E-06	1,8	1,37E-06	2,13E-06	1,6
<sup>107</sup> Pd					5,31E-11	9,21E-11	1,7	7,07E-11	1,10E-10	1,6
<sup>236</sup> Pu					6,74E-08	1,21E-07	1,8	1,06E-07	1,59E-07	1,5
<sup>238</sup> Pu					1,78E-07	3,21E-07	1,8	2,80E-07	4,22E-07	1,5
<sup>239</sup> Pu					1,94E-07	3,49E-07	1,8	3,08E-07	4,66E-07	1,5
<sup>240</sup> Pu					1,94E-07	3,49E-07	1,8	3,08E-07	4,66E-07	1,5
<sup>241</sup> Pu					3,72E-09	6,69E-09	1,8	5,82E-09	8,80E-09	1,5



	Irrigatiehoeveelheid $I_{r,w}/T_{ir,v}$ [m/a]				BCF inname voedingsgewassen [Sv/a per Bq/m <sup>3</sup> ]			Totale BCF [Sv/a per Bq/m <sup>3</sup> ]		
	min	BE	max	max /min	$I_{r,w}/T_{ir,v}$ min	$I_{r,w}/T_{ir,v}$ max	max / min	$I_{r,w}/T_{ir,v}$ min	$I_{r,w}/T_{ir,v}$ max	max / min
<sup>242</sup> Pu					1,86E-07	3,36E-07	1,8	2,96E-07	4,48E-07	1,5
<sup>244</sup> Pu					1,87E-07	3,37E-07	1,8	3,26E-07	4,97E-07	1,5
<sup>226</sup> Ra					2,98E-07	5,36E-07	1,8	5,89E-07	9,38E-07	1,6
<sup>79</sup> Se					3,59E-09	6,37E-09	1,8	1,39E-08	2,06E-08	1,5
<sup>126</sup> Sn					6,96E-09	1,24E-08	1,8	2,50E-08	4,03E-08	1,6
<sup>90</sup> Sr					2,69E-08	4,82E-08	1,8	4,14E-08	6,32E-08	1,5
<sup>99</sup> Tc					5,05E-10	9,07E-10	1,8	7,99E-10	1,21E-09	1,5
<sup>229</sup> Th					5,09E-07	9,13E-07	1,8	8,06E-07	1,23E-06	1,5
<sup>230</sup> Th					1,76E-07	3,15E-07	1,8	2,75E-07	4,19E-07	1,5
<sup>232</sup> Th					8,91E-07	1,59E-06	1,8	1,48E-06	2,25E-06	1,5
<sup>232</sup> U					3,71E-07	6,68E-07	1,8	6,09E-07	9,24E-07	1,5
<sup>233</sup> U					5,45E-08	9,56E-08	1,8	8,74E-08	1,35E-07	1,5
<sup>234</sup> U					5,24E-08	9,19E-08	1,8	8,41E-08	1,30E-07	1,5
<sup>235</sup> U					5,08E-08	8,89E-08	1,8	8,94E-08	1,39E-07	1,6

	Irrigatiehoeveelheid $I_{r,v}/T_{r,v}$ [m/a]				BCF inname voedingsgewassen [Sv/a per Bq/m <sup>3</sup> ]			Totale BCF [Sv/a per Bq/m <sup>3</sup> ]		
	min	BE	max	max /min	$I_{r,v}/T_{r,v}$ min	$I_{r,v}/T_{r,v}$ max	max / min	$I_{r,v}/T_{r,v}$ min	$I_{r,v}/T_{r,v}$ max	max / min
<sup>236</sup> U					5,04E-08	8,83E-08	1,8	8,08E-08	1,25E-07	1,5
<sup>238</sup> U					5,20E-08	9,09E-08	1,8	8,47E-08	1,31E-07	1,5
<sup>93</sup> Zr					1,79E-09	3,22E-09	1,8	2,33E-09	3,77E-09	1,6
<sup>227</sup> Ac					2,19E-07	3,57E-07	1,6	n.v.t. (opgenomen bij <sup>231</sup> Pa)		
<sup>210</sup> Pb					5,72E-08	9,55E-08	1,7	n.v.t. (opgenomen bij <sup>226</sup> Ra)		
<sup>210</sup> Po					1,83E-08	3,05E-08	1,7	n.v.t. (opgenomen bij <sup>226</sup> Ra)		

**Tabel 8 – Effect van de onzekerheid op infiltratiesnelheid  $Inf$  [m/a] en corresponderende irrigatiehoeveelheid  $I_{r,v}/T_{ir,v}$  [m/a] op de BCFs voor volwassenen voor de waterput als receptor. <sup>(1)</sup>voedingsgewassen; <sup>(2)</sup>weiland.**

	Infiltratiesnelheid $Inf$ [m/a]				BCF inname voedinggewassen [Sv/a per Bq/m <sup>3</sup> ]			Totale BCF [Sv/a per Bq/m <sup>3</sup> ]		
	min	BE	max	max /min	$Inf$ min	$Inf$ max	max / min	$Inf$ min	$Inf$ max	max / min
<sup>108m</sup> Ag					5,93E-09	9,26E-09	1,6	1,66E-08	2,29E-08	1,4
<sup>241</sup> Am					1,78E-07	2,79E-07	1,6	2,69E-07	3,71E-07	1,4
<sup>242m</sup> Am					1,78E-07	2,79E-07	1,6	2,67E-07	3,68E-07	1,4
<sup>243</sup> Am					1,80E-07	2,81E-07	1,6	2,88E-07	3,95E-07	1,4
<sup>10</sup> Be					1,16E-09	1,76E-09	1,5	1,70E-09	2,32E-09	1,4
<sup>14</sup> C	Infiltratie CCI-HYDR 'laag': 0,162		Infiltratie CCI-HYDR 'hoog': 0,21	Infiltratie: 1,3	2,65E-11	4,15E-11	1,6	2,92E-10	3,13E-10	1,1
<sup>41</sup> Ca	Corresponderende irrigatie:	n.v.t.	Corresponderende irrigatie:	Corresponderende irrigatie:	2,32E-10	3,61E-10	1,6	3,40E-10	4,74E-10	1,4
<sup>36</sup> Cl	0,23 <sup>(1)</sup> 0,15 <sup>(2)</sup>		0,36 <sup>(1)</sup> 0,23 <sup>(2)</sup>	1,6 <sup>(1)</sup> 1,5 <sup>(2)</sup>	1,73E-09	2,37E-09	1,4	4,57E-09	5,71E-09	1,3
<sup>244</sup> Cm					1,07E-07	1,67E-07	1,6	1,60E-07	2,21E-07	1,4
<sup>135</sup> Cs					6,58E-09	9,74E-09	1,5	8,75E-09	1,23E-08	1,4
<sup>137</sup> Cs					3,31E-08	5,18E-08	1,6	4,34E-08	6,39E-08	1,5
<sup>3</sup> H					2,59E-11	3,94E-11	1,5	4,30E-11	5,81E-11	1,3
<sup>129</sup> I					9,14E-	1,43E-	1,6	1,49E-	2,02E-	1,4

	Infiltratiesnelheid <i>inf</i> [m/a]				BCF inname voedingsgewassen [Sv/a per Bq/m <sup>3</sup> ]			Totale BCF [Sv/a per Bq/m <sup>3</sup> ]		
	min	BE	max	max /min	<i>Inf</i> min	<i>Inf</i> max	max / min	<i>Inf</i> min	<i>Inf</i> max	max / min
					08	07		07	07	
<sup>93</sup> Mo					4,71E- 09	7,06E- 09	1,5	6,79E- 09	9,26E- 09	1,4
<sup>94</sup> Nb					2,41E- 09	3,64E- 09	1,5	9,04E- 08	1,11E- 07	1,2
<sup>59</sup> Ni					7,07E- 11	1,05E- 10	1,5	1,17E- 10	1,55E- 10	1,3
<sup>63</sup> Ni					1,46E- 10	2,26E- 10	1,5	2,45E- 10	3,34E- 10	1,4
<sup>236</sup> Np					1,52E- 08	2,37E- 08	1,6	2,33E- 08	3,21E- 08	1,4
<sup>237</sup> Np					9,90E- 08	1,55E- 07	1,6	1,52E- 07	2,09E- 07	1,4
<sup>231</sup> Pa					9,12E- 07	1,33E- 06	1,5	1,63E- 06	2,13E- 06	1,3
<sup>107</sup> Pd					6,51E- 11	9,21E- 11	1,4	8,30E- 11	1,10E- 10	1,3
<sup>236</sup> Pu					7,75E- 08	1,21E- 07	1,6	1,16E- 07	1,59E- 07	1,4
<sup>238</sup> Pu					2,05E- 07	3,21E- 07	1,6	3,06E- 07	4,22E- 07	1,4
<sup>239</sup> Pu					2,23E- 07	3,49E- 07	1,6	3,39E- 07	4,66E- 07	1,4
<sup>240</sup> Pu					2,23E- 07	3,49E- 07	1,6	3,38E- 07	4,66E- 07	1,4
<sup>241</sup> Pu					4,28E- 09	6,69E- 09	1,6	6,38E- 09	8,80E- 09	1,4

	Infiltratiesnelheid <i>Inf</i> [m/a]				BCF inname voedingsgewassen [Sv/a per Bq/m <sup>3</sup> ]			Totale BCF [Sv/a per Bq/m <sup>3</sup> ]		
	min	BE	max	max /min	<i>Inf</i> min	<i>Inf</i> max	max / min	<i>Inf</i> min	<i>Inf</i> max	max / min
<sup>242</sup> Pu					2,15E-07	3,36E-07	1,6	3,25E-07	4,48E-07	1,4
<sup>244</sup> Pu					2,15E-07	3,37E-07	1,6	3,66E-07	4,97E-07	1,4
<sup>226</sup> Ra					3,44E-07	5,36E-07	1,6	6,84E-07	9,38E-07	1,4
<sup>79</sup> Se					4,25E-09	6,37E-09	1,5	1,60E-08	2,06E-08	1,3
<sup>126</sup> Sn					8,19E-09	1,24E-08	1,5	3,17E-08	4,03E-08	1,3
<sup>90</sup> Sr					3,11E-08	4,82E-08	1,5	4,58E-08	6,32E-08	1,4
<sup>99</sup> Tc					5,85E-10	9,07E-10	1,6	8,80E-10	1,21E-09	1,4
<sup>229</sup> Th					5,92E-07	9,13E-07	1,5	8,97E-07	1,23E-06	1,4
<sup>230</sup> Th					2,05E-07	3,15E-07	1,5	3,07E-07	4,19E-07	1,4
<sup>232</sup> Th					1,04E-06	1,60E-06	1,5	1,67E-06	2,25E-06	1,4
<sup>232</sup> U					4,28E-07	6,68E-07	1,6	6,68E-07	9,24E-07	1,4
<sup>233</sup> U					6,56E-08	9,56E-08	1,5	1,02E-07	1,35E-07	1,3
<sup>234</sup> U					6,31E-08	9,19E-08	1,5	9,78E-08	1,30E-07	1,3
<sup>235</sup> U					6,11E-08	8,89E-08	1,5	1,06E-07	1,39E-07	1,3

	Infiltratiesnelheid <i>Inf</i> [m/a]				BCF inname voedingsgewassen [Sv/a per Bq/m <sup>3</sup> ]			Totale BCF [Sv/a per Bq/m <sup>3</sup> ]		
	min	BE	max	max /min	<i>Inf</i> min	<i>Inf</i> max	max / min	<i>Inf</i> min	<i>Inf</i> max	max / min
<sup>235</sup> U					6,08E-08	8,83E-08	1,5	9,40E-08	1,25E-07	1,3
<sup>238</sup> U					6,25E-08	9,09E-08	1,5	9,89E-08	1,31E-07	1,3
<sup>93</sup> Zr					2,06E-09	3,22E-09	1,6	2,60E-09	3,77E-09	1,4
<sup>227</sup> Ac					2,96E-07	3,57E-07	1,2	n.v.t. (opgenomen bij <sup>231</sup> Pa)		
<sup>210</sup> Pb					7,44E-08	9,55E-08	1,3	n.v.t. (opgenomen bij <sup>226</sup> Ra)		
<sup>210</sup> Po					2,38E-08	3,05E-08	1,3	n.v.t. (opgenomen bij <sup>226</sup> Ra)		

**Tabel 9 – Effect van de onzekerheid op de infiltratie *Inf* [m/a] (variabiliteit) op de BCFs voor volwassenen voor de waterput als receptor.**

	Infiltratiesnelheid <i>Inf</i> [m/a]				BCF inname voedingsgewassen [Sv/a per Bq/m <sup>3</sup> ]			Totale BCF [Sv/a per Bq/m <sup>3</sup> ]								
	min	BE	max	max /min	<i>Inf</i> max	<i>Inf</i> min	min / max	<i>Inf</i> max	<i>Inf</i> BE	<i>Inf</i> min	min / max	min / BE	BE / max			
<sup>108m</sup> Ag	0,130	0,210	0,290	2,2	9,22E- 09	9,33E- 09	1,0	2,03E- 08	2,29E- 08	2,76E- 08	1,4	1,2	1,1			
<sup>241</sup> Am					2,79E- 07	2,79E- 07	1,0	3,70E- 07	3,71E- 07	3,71E- 07	1,0	1,0	1,0			
<sup>242m</sup> Am					2,79E- 07	2,79E- 07	1,0	3,69E- 07	3,68E- 07	3,69E- 07	1,0	1,0	1,0			
<sup>243</sup> Am					2,81E- 07	2,82E- 07	1,0	3,89E- 07	3,95E- 07	4,07E- 07	1,0	1,0	1,0			
<sup>10</sup> Be					1,71E- 09	1,87E- 09	1,1	2,26E- 09	2,32E- 09	2,47E- 09	1,1	1,1	1,0			
<sup>14</sup> C					4,15E- 11	4,15E- 11	1,0	3,13E- 10	3,13E- 10	3,13E- 10	1,0	1,0	1,0			
<sup>41</sup> Ca					3,59E- 10	3,65E- 10	1,0	4,72E- 10	4,74E- 10	4,79E- 10	1,0	1,0	1,0			
<sup>36</sup> Cl					2,05E- 09	3,08E- 09	1,5	4,77E- 09	5,71E- 09	7,84E- 09	1,6	1,4	1,2			
<sup>244</sup> Cm					1,67E- 07	1,67E- 07	1,0	2,21E- 07	2,21E- 07	2,21E- 07	1,0	1,0	1,0			
<sup>135</sup> Cs					9,21E- 09	1,09E- 08	1,2	1,15E- 08	1,23E- 08	1,40E- 08	1,2	1,1	1,1			
<sup>137</sup> Cs					5,18E- 08	5,18E- 08	1,0	6,39E- 08	6,39E- 08	6,40E- 08	1,0	1,0	1,0			
<sup>3</sup> H					3,82E- 11	4,19E- 11	1,1	5,65E- 11	5,81E- 11	6,14E- 11	1,1	1,1	1,0			
<sup>129</sup> I					1,43E- 07	1,43E- 07	1,0	2,02E- 07	2,02E- 07	2,03E- 07	1,0	1,0	1,0			
<sup>93</sup> Mo	6,76E- 11	7,71E- 11	1,1	8,89E- 11	9,26E- 11	1,01E- 10	1,1	1,1	1,0							

	Infiltratiesnelheid <i>Inf</i> [m/a]				BCF inname voedingsgewassen [Sv/a per Bq/m³]			Totale BCF [Sv/a per Bq/m³]					
	min	BE	max	max /min	<i>Inf</i> max	<i>Inf</i> min	min / max	<i>Inf</i> max	<i>Inf</i> BE	<i>Inf</i> min	min / max	min / BE	BE / max
					09	09		09	09	08			
<sup>94</sup> Nb					3,51E- 09	3,91E- 09	1,1	8,27E- 08	1,11E- 07	1,72E- 07	2,1	1,5	1,3
<sup>59</sup> Ni					1,01E- 10	1,16E- 10	1,1	1,48E- 10	1,55E- 10	1,73E- 10	1,2	1,1	1,0
<sup>63</sup> Ni					2,24E- 10	2,29E- 10	1,0	3,30E- 10	3,34E- 10	3,42E- 10	1,0	1,0	1,0
<sup>236</sup> Np					2,37E- 08	2,37E- 08	1,0	3,21E- 08	3,21E- 08	3,21E- 08	1,0	1,0	1,0
<sup>237</sup> Np					1,55E- 07	1,55E- 07	1,0	2,09E- 07	2,09E- 07	2,09E- 07	1,0	1,0	1,0
<sup>231</sup> Pa					1,24E- 06	1,53E- 06	1,2	1,90E- 06	2,13E- 06	2,63E- 06	1,4	1,2	1,1
<sup>107</sup> Pd					8,31E- 11	1,12E- 10	1,3	1,01E- 10	1,10E- 10	1,31E- 10	1,3	1,2	1,1
<sup>236</sup> Pu					1,21E- 07	1,21E- 07	1,0	1,59E- 07	1,59E- 07	1,59E- 07	1,0	1,0	1,0
<sup>238</sup> Pu					3,21E- 07	3,21E- 07	1,0	4,23E- 07	4,22E- 07	4,23E- 07	1,0	1,0	1,0
<sup>239</sup> Pu					3,49E- 07	3,50E- 07	1,0	4,64E- 07	4,66E- 07	4,71E- 07	1,0	1,0	1,0
<sup>240</sup> Pu					3,49E- 07	3,50E- 07	1,0	4,64E- 07	4,66E- 07	4,70E- 07	1,0	1,0	1,0
<sup>241</sup> Pu					6,69E- 09	6,69E- 09	1,0	8,80E- 09	8,80E- 09	8,80E- 09	1,0	1,0	1,0
<sup>242</sup> Pu					3,35E- 07	3,36E- 07	1,0	4,46E- 07	4,48E- 07	4,53E- 07	1,0	1,0	1,0
<sup>244</sup> Pu					3,37E- 07	3,38E- 07	1,0	4,82E- 07	4,97E- 07	5,32E- 07	1,1	1,1	1,0



	Infiltratiesnelheid <i>Inf</i> [m/a]				BCF inname voedingsgewassen [Sv/a per Bq/m <sup>3</sup> ]			Totale BCF [Sv/a per Bq/m <sup>3</sup> ]					
	min	BE	max	max /min	<i>Inf</i> max	<i>Inf</i> min	min / max	<i>Inf</i> max	<i>Inf</i> BE	<i>Inf</i> min	min / max	min / BE	BE / max
					07	07		07	07	07			
<sup>226</sup> Ra					5,33E- 07	5,40E- 07	1,0	8,70E- 07	9,38E- 07	1,06E- 06	1,2	1,1	1,1
<sup>79</sup> Se					6,10E- 09	6,96E- 09	1,1	1,91E- 08	2,06E- 08	2,41E- 08	1,3	1,2	1,1
<sup>126</sup> Sn					1,19E- 08	1,33E- 08	1,1	3,29E- 08	4,03E- 08	5,68E- 08	1,7	1,4	1,2
<sup>90</sup> Sr					4,77E- 08	4,91E- 08	1,0	6,27E- 08	6,32E- 08	6,43E- 08	1,0	1,0	1,0
<sup>99</sup> Tc					9,00E- 10	9,25E- 10	1,0	1,20E- 09	1,21E- 09	1,23E- 09	1,0	1,0	1,0
<sup>229</sup> Th					8,98E- 07	9,42E- 07	1,0	1,20E- 06	1,23E- 06	1,28E- 06	1,1	1,0	1,0
<sup>230</sup> Th					3,09E- 07	3,28E- 07	1,1	4,10E- 07	4,19E- 07	4,39E- 07	1,1	1,0	1,0
<sup>232</sup> Th					1,56E- 06	1,67E- 06	1,1	2,18E- 06	2,25E- 06	2,45E- 06	1,1	1,1	1,0
<sup>232</sup> U					6,69E- 07	6,69E- 07	1,0	9,24E- 07	9,24E- 07	9,25E- 07	1,0	1,0	1,0
<sup>233</sup> U					8,89E- 08	1,10E- 07	1,2	1,25E- 07	1,35E- 07	1,58E- 07	1,3	1,2	1,1
<sup>234</sup> U					8,54E- 08	1,06E- 07	1,2	1,20E- 07	1,30E- 07	1,52E- 07	1,3	1,2	1,1
<sup>235</sup> U					8,26E- 08	1,03E- 07	1,2	1,25E- 07	1,39E- 07	1,69E- 07	1,4	1,2	1,1
<sup>236</sup> U					8,20E- 08	1,02E- 07	1,2	1,15E- 07	1,25E- 07	1,46E- 07	1,3	1,2	1,1
<sup>238</sup> U					8,45E- 08	1,05E- 07	1,2	1,20E- 07	1,31E- 07	1,55E- 07	1,3	1,2	1,1

	Infiltratiesnelheid <i>Inf</i> [m/a]				BCF inname voedingsgewassen [Sv/a per Bq/m³]			Totale BCF [Sv/a per Bq/m³]					
	min	BE	max	max /min	<i>Inf</i> max	<i>Inf</i> min	min / max	<i>Inf</i> max	<i>Inf</i> BE	<i>Inf</i> min	min / max	min / BE	BE / max
					08	07		07	07	07			
<sup>93</sup> Zr					3,22E- 09	3,23E- 09	1,0	3,76E- 09	3,77E- 09	3,76E- 09	1,0	1,0	1,0
<sup>227</sup> Ac					2,57E- 07	5,77E- 07	2,2	n.v.t. (opgenomen bij <sup>231</sup> Pa)					
<sup>210</sup> Pb					7,25E- 08	1,35E- 07	1,9	n.v.t. (opgenomen bij <sup>226</sup> Ra)					
<sup>210</sup> Po					2,31E- 08	4,34E- 08	1,9	n.v.t. (opgenomen bij <sup>226</sup> Ra)					

**Tabel 10 – Effect van de onzekerheid op distributiecoëfficiënt  $K_{d,i}$  [ $m^3/kg$ ] voor zandgrond op de BCFs voor volwassenen voor de waterput als receptor voor het ‘hoge’ CCI-HYDR klimaatscenario. \* Data voor alle bodemtypes; § geen onzekerheidsinterval gekend, default onzekerheidsfactor UF = 100.**

	Distributiecoëfficiënt $K_{d,i}$ [ $m^3/kg$ ]				BCF inname voedingsgewassen [Sv/a per Bq/ $m^3$ ]			Totale BCF [Sv/a per Bq/ $m^3$ ]					
	min	BE	max	max /min	$K_{d,i}$ min	$K_{d,i}$ max	max / min	$K_{d,i}$ min	$K_{d,i}$ BE	$K_{d,i}$ max	max / min	BE / min	max / BE
$^{108m}Ag$	3,60E-02	1,30E-01	7,00E-01	1,94E+01	9,14E-09	9,49E-09	1,0	1,47E-08	2,29E-08	4,02E-08	2,7	1,6	1,8
$^{241}Am$	8,20E-02	1,23E+00	4,35E+01	5,30E+02	2,79E-07	2,80E-07	1,0	3,68E-07	3,71E-07	3,72E-07	1,0	1,0	1,0
$^{242m}Am$	8,20E-02	1,23E+00	4,35E+01	5,30E+02	2,79E-07	2,79E-07	1,0	3,67E-07	3,68E-07	3,68E-07	1,0	1,0	1,0
$^{243}Am$	8,20E-02	1,23E+00	4,35E+01	5,30E+02	2,80E-07	2,87E-07	1,0	3,71E-07	3,95E-07	5,00E-07	1,3	1,1	1,3
$^{10}Be$	2,40E-01*	9,90E-01*	3,00E+00*	1,25E+01	1,63E-09	2,11E-09	1,3	2,14E-09	2,32E-09	2,80E-09	1,3	1,1	1,2
$^{14}C$	1,90E-03	1,66E-02	1,80E-01	9,47E+01	4,11E-11	4,16E-11	1,0	3,12E-10	3,13E-10	3,13E-10	1,0	1,0	1,0
$^{41}Ca$	7,00E-04	3,00E-03	2,80E-02	4,00E+01	3,56E-10	4,12E-10	1,2	4,69E-10	4,74E-10	5,35E-10	1,1	1,0	1,1
$^{36}Cl$	4,00E-05*	1,04E-03	1,25E-03*	3,13E+01	1,48E-09	2,55E-09	1,7	3,11E-09	5,71E-09	6,28E-09	2,0	1,8	1,1
$^{244}Cm$	5,24E-01	1,10E+00	3,80E+00	7,25E+00	1,67E-07	1,67E-07	1,0	2,21E-07	2,21E-07	2,21E-07	1,0	1,0	1,0
$^{135}Cs$	1,00E-03	2,80E-01	3,52E+01	3,52E+04	7,83E-09	2,43E-07	31	9,46E-09	1,23E-08	3,55E-07	38	1,3	29
$^{137}Cs$	1,00E-03	2,80E-01	3,52E+01	3,52E+04	5,09E-08	5,19E-08	1,0	6,15E-08	6,39E-08	6,41E-08	1,0	1,0	1,0
$^3H$	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	/	/	/	/	/	5,81E-11	/	/	/	/

	Distributiecoëfficiënt $K_{d,i}$ [m³/kg]				BCF inname voedingsgewassen [Sv/a per Bq/m³]			Totale BCF [Sv/a per Bq/m³]					
	min	BE	max	max /min	$K_{d,i}$ min	$K_{d,i}$ max	max / min	$K_{d,i}$ min	$K_{d,i}$ BE	$K_{d,i}$ max	max / min	BE / min	max / BE
<sup>129</sup> I	1,00E-05	1,60E-03	4,00E-02	4,00E+03	1,43E-07	1,55E-07	1,1	2,02E-07	2,02E-07	2,17E-07	1,1	1,0	1,1
<sup>99</sup> Mo	7,40E-03	3,80E-02	1,30E-01	1,76E+01	6,19E-09	9,57E-09	1,5	8,20E-09	9,26E-09	1,23E-08	1,5	1,1	1,3
<sup>94</sup> Nb	1,87E-01	8,24E-01	1,77E+00	9,45E+00	3,28E-09	4,13E-09	1,3	2,93E-08	1,11E-07	2,21E-07	7,5	3,8	2,0
<sup>59</sup> Ni	6,84E-03	1,09E-01	8,58E-01	1,25E+02	8,89E-11	2,24E-10	2,5	1,29E-10	1,55E-10	3,47E-10	2,7	1,2	2,2
<sup>63</sup> Ni	6,84E-03	1,09E-01	8,58E-01	1,25E+02	2,12E-10	2,36E-10	1,1	3,07E-10	3,34E-10	3,58E-10	1,2	1,1	1,1
<sup>236</sup> Np	1,60E-04	5,10E-03	3,90E-01	2,44E+03	2,37E-08	2,60E-08	1,1	3,20E-08	3,21E-08	3,79E-08	1,2	1,0	1,2
<sup>237</sup> Np	1,60E-04	5,10E-03	3,90E-01	2,44E+03	1,55E-07	1,70E-07	1,1	2,09E-07	2,09E-07	2,37E-07	1,1	1,0	1,1
<sup>231</sup> Pa	5,50E-01	5,50E-01	6,60E+00	1,20E+01	1,33E-06	4,27E-06	3,2	2,13E-06	2,13E-06	9,45E-06	4,4	1,0	4,4
<sup>107</sup> Pd	5,50E-02	1,80E-01	6,70E-01	1,22E+01	6,93E-11	1,81E-10	2,6	8,67E-11	1,10E-10	2,03E-10	2,3	1,3	1,8
<sup>236</sup> Pu	3,30E-02	4,38E-01	6,87E+00	2,08E+02	1,21E-07	1,21E-07	1,0	1,59E-07	1,59E-07	1,59E-07	1,0	1,0	1,0
<sup>238</sup> Pu	3,30E-02	4,38E-01	6,87E+00	2,08E+02	3,21E-07	3,21E-07	1,0	4,22E-07	4,22E-07	4,23E-07	1,0	1,0	1,0
<sup>239</sup> Pu	3,30E-02	4,38E-01	6,87E+00	2,08E+02	3,48E-07	3,61E-07	1,0	4,59E-07	4,66E-07	5,51E-07	1,2	1,0	1,2
<sup>240</sup> Pu	3,30E-02	4,38E-01	6,87E+00	2,08E+02	3,48E-07	3,56E-07	1,0	4,59E-07	4,66E-07	5,12E-07	1,1	1,0	1,1
<sup>241</sup> Pu	3,30E-02	4,38E-01	6,87E+00	2,08E+02	6,69E-09	6,69E-09	1,0	8,80E-09	8,80E-09	8,80E-09	1,0	1,0	1,0

	Distributiecoëfficiënt $K_{d,i}$ [m <sup>3</sup> /kg]				BCF inname voedingsgewassen [Sv/a per Bq/m <sup>3</sup> ]			Totale BCF [Sv/a per Bq/m <sup>3</sup> ]					
	min	BE	max	max /min	$K_{d,i}$ min	$K_{d,i}$ max	max / min	$K_{d,i}$ min	$K_{d,i}$ BE	$K_{d,i}$ max	max / min	BE / min	max / BE
<sup>242</sup> Pu	3,30E-02	4,38E-01	6,87E+00	2,08E+02	3,35E-07	3,50E-07	1,0	4,40E-07	4,48E-07	5,60E-07	1,3	1,0	1,3
<sup>244</sup> Pu	3,30E-02	4,38E-01	6,87E+00	2,08E+02	3,36E-07	3,52E-07	1,0	4,46E-07	4,97E-07	1,31E-06	2,9	1,1	2,6
<sup>226</sup> Ra	2,50E-02	5,17E-01	6,03E+00	2,41E+02	5,23E-07	5,59E-07	1,1	6,63E-07	9,38E-07	1,54E-06	2,3	1,4	1,6
<sup>79</sup> Se	3,70E-04	2,90E-02	4,80E-01	1,30E+03	5,42E-09	2,12E-08	3,9	1,51E-08	2,06E-08	1,07E-07	7,1	1,4	5,2
<sup>126</sup> Sn	1,30E-01	1,50E-01	1,69E-01	1,30E+00	1,21E-08	1,25E-08	1,0	3,67E-08	4,03E-08	4,37E-08	1,2	1,1	1,1
<sup>90</sup> Sr	4,00E-05	1,00E-02	2,42E+00	6,05E+04	4,58E-08	5,36E-08	1,2	6,05E-08	6,32E-08	6,97E-08	1,2	1,0	1,1
<sup>99</sup> Tc	1,00E-05	5,00E-05	3,20E-04	3,20E+01	9,03E-10	9,34E-10	1,0	1,20E-09	1,21E-09	1,24E-09	1,0	1,0	1,0
<sup>229</sup> Th	1,60E-02	7,03E-01	1,50E+02	9,38E+03	8,56E-07	1,35E-06	1,6	1,13E-06	1,23E-06	1,98E-06	1,8	1,1	1,6
<sup>230</sup> Th	1,60E-02	7,03E-01	1,50E+02	9,38E+03	2,94E-07	1,60E-06	5,4	3,86E-07	4,19E-07	2,34E-06	6,1	1,1	5,6
<sup>232</sup> Th	1,60E-02	7,03E-01	1,50E+02	9,38E+03	1,48E-06	2,56E-05	17	1,95E-06	2,25E-06	6,79E-05	35	1,2	30
<sup>232</sup> U	7,00E-03	1,28E+00	4,20E+00	6,00E+02	6,60E-07	6,68E-07	1,0	9,05E-07	9,24E-07	9,24E-07	1,0	1,0	1,0
<sup>233</sup> U	7,00E-03	1,28E+00	4,20E+00	6,00E+02	7,12E-08	1,50E-07	2,1	9,75E-08	1,35E-07	2,18E-07	2,2	1,4	1,6
<sup>234</sup> U	7,00E-03	1,28E+00	4,20E+00	6,00E+02	6,84E-08	1,45E-07	2,1	9,36E-08	1,30E-07	2,11E-07	2,3	1,4	1,6
<sup>235</sup> U	7,00E-03	1,28E+00	4,20E+00	6,00E+02	6,61E-08	1,41E-07	2,1	9,05E-08	1,39E-07	2,49E-07	2,8	1,5	1,8

	Distributiecoëfficiënt $K_{d,i}$ [m <sup>3</sup> /kg]				BCF inname voedingsgewassen [Sv/a per Bq/m <sup>3</sup> ]			Totale BCF [Sv/a per Bq/m <sup>3</sup> ]					
	min	BE	max	max /min	$K_{d,i}$ min	$K_{d,i}$ max	max / min	$K_{d,i}$ min	$K_{d,i}$ BE	$K_{d,i}$ max	max / min	BE / min	max / BE
<sup>235</sup> U	7,00E-03	1,28E+00	4,20E+00	6,00E+02	6,57E-08	1,40E-07	2,1	8,98E-08	1,25E-07	2,05E-07	2,3	1,4	1,6
<sup>238</sup> U	7,00E-03	1,28E+00	4,20E+00	6,00E+02	6,76E-08	1,45E-07	2,1	9,25E-08	1,31E-07	2,19E-07	2,4	1,4	1,7
<sup>93</sup> Zr	1,50E-03	3,20E-02	6,00E-01	4,00E+02	3,22E-09	3,28E-09	1,0	3,76E-09	3,77E-09	3,84E-09	1,0	1,0	1,0
<sup>227</sup> Ac	4,50E-01	4,50E-01	5,40E+00	1,20E+01	3,57E-07	3,57E-06	10	n.v.t. (opgenomen bij <sup>231</sup> Pa)					
<sup>210</sup> Pb	1,90E-02	1,41E-01	1,35E+00	7,11E+01	3,92E-09	2,91E-07	74	n.v.t. (opgenomen bij <sup>226</sup> Ra)					
<sup>210</sup> Po	1,70E-02	3,28E-02	1,88E-01	1,11E+01	1,24E-09	9,36E-08	75	n.v.t. (opgenomen bij <sup>226</sup> Ra)					

**Tabel 11 – Effect van de onzekerheid op dikte van de wortelzone  $d_{s,v}$  [m] op de BCFs voor volwassenen voor de waterput als receptor. <sup>(1)</sup> voedingsgewassen, <sup>(2)</sup> weiland.**

	Dikte van de wortelzone $d_{s,v}$				BCF inname voedingsgewassen			Totale BCF					
	[m]				[Sv/a per Bq/m <sup>3</sup> ]			[Sv/a per Bq/m <sup>3</sup> ]					
	min	BE	max	max /min	$d_{s,v}$ max	$d_{s,v}$ min	min / max	$d_{s,v}$ min	$d_{s,v}$ BE	$d_{s,v}$ max	min / max	min / BE	BE / max
<sup>108m</sup> Ag	0,15 <sup>(1)</sup> 0,075 <sup>(2)</sup>	0,30 <sup>(1)</sup> 0,15 <sup>(2)</sup>	0,60 <sup>(1)</sup> 0,30 <sup>(2)</sup>	4 <sup>(1,2)</sup>	9,22E-09	9,28E-09	1,0	2,51E-08	2,29E-08	2,01E-08	1,2	1,1	1,1
<sup>241</sup> Am					2,79E-07	2,80E-07	1,0	3,73E-07	3,71E-07	3,69E-07	1,0	1,0	1,0
<sup>242m</sup> Am					2,79E-07	2,79E-07	1,0	3,69E-07	3,68E-07	3,67E-07	1,0	1,0	1,0
<sup>243</sup> Am					2,81E-07	2,82E-07	1,0	3,98E-07	3,95E-07	3,91E-07	1,0	1,0	1,0
<sup>10</sup> Be					1,76E-09	1,76E-09	1,0	2,32E-09	2,32E-09	2,32E-09	1,0	1,0	1,0
<sup>14</sup> C					4,14E-11	4,18E-11	1,0	3,13E-10	3,13E-10	3,13E-10	1,0	1,0	1,0
<sup>41</sup> Ca					3,61E-10	3,61E-10	1,0	4,74E-10	4,74E-10	4,74E-10	1,0	1,0	1,0
<sup>36</sup> Cl					2,37E-09	2,38E-09	1,0	5,84E-09	5,71E-09	5,68E-09	1,0	1,0	1,0
<sup>244</sup> Cm					1,67E-07	1,67E-07	1,0	2,21E-07	2,21E-07	2,21E-07	1,0	1,0	1,0
<sup>135</sup> Cs					9,74E-09	9,74E-09	1,0	1,23E-08	1,23E-08	1,23E-08	1,0	1,0	1,0
<sup>137</sup> Cs					5,13E-08	5,26E-08	1,0	6,60E-08	6,39E-08	6,27E-08	1,1	1,0	1,0
<sup>3</sup> H					3,88E-11	4,05E-11	1,0	5,97E-11	5,81E-11	5,71E-11	1,0	1,0	1,0
<sup>129</sup> I	1,43E-07	1,43E-07	1,0	2,02E-07	2,02E-07	2,02E-07	1,0	1,0	1,0				

	Dikte van de wortelzone $d_{s,v}$ [m]				BCF inname voedingsgewassen [Sv/a per Bq/m <sup>3</sup> ]			Totale BCF [Sv/a per Bq/m <sup>3</sup> ]					
	min	BE	max	max /min	$d_{s,v}$ max	$d_{s,v}$ min	min / max	$d_{s,v}$ min	$d_{s,v}$ BE	$d_{s,v}$ max	min / max	min / BE	BE / max
<sup>93</sup> Mo					7,05E-09	7,07E-09	1,0	9,27E-09	9,26E-09	9,25E-09	1,0	1,0	1,0
<sup>94</sup> Nb					3,62E-09	3,65E-09	1,0	1,14E-07	1,11E-07	1,06E-07	1,1	1,0	1,0
<sup>59</sup> Ni					1,05E-10	1,05E-10	1,0	1,56E-10	1,55E-10	1,55E-10	1,0	1,0	1,0
<sup>63</sup> Ni					2,20E-10	2,34E-10	1,1	3,46E-10	3,34E-10	3,24E-10	1,1	1,0	1,0
<sup>236</sup> Np					2,37E-08	2,37E-08	1,0	3,21E-08	3,21E-08	3,21E-08	1,0	1,0	1,0
<sup>237</sup> Np					1,55E-07	1,55E-07	1,0	2,09E-07	2,09E-07	2,09E-07	1,0	1,0	1,0
<sup>231</sup> Pa					1,32E-06	1,33E-06	1,0	2,12E-06	2,13E-06	2,12E-06	1,0	1,0	1,0
<sup>107</sup> Pd					9,20E-11	9,20E-11	1,0	1,10E-10	1,10E-10	1,10E-10	1,0	1,0	1,0
<sup>236</sup> Pu					1,21E-07	1,21E-07	1,0	1,59E-07	1,59E-07	1,59E-07	1,0	1,0	1,0
<sup>238</sup> Pu					3,21E-07	3,21E-07	1,0	4,23E-07	4,22E-07	4,22E-07	1,0	1,0	1,0
<sup>239</sup> Pu					3,48E-07	3,48E-07	1,0	4,66E-07	4,66E-07	4,66E-07	1,0	1,0	1,0
<sup>240</sup> Pu					3,48E-07	3,48E-07	1,0	4,66E-07	4,66E-07	4,65E-07	1,0	1,0	1,0
<sup>241</sup> Pu					6,69E-09	6,69E-09	1,0	8,80E-09	8,80E-09	8,80E-09	1,0	1,0	1,0
<sup>242</sup> Pu					3,36E-07	3,36E-07	1,0	4,48E-07	4,48E-07	4,48E-07	1,0	1,0	1,0



	Dikte van de wortelzone $d_{s,v}$ [m]				BCF inname voedingsgewassen [Sv/a per Bq/m <sup>3</sup> ]			Totale BCF [Sv/a per Bq/m <sup>3</sup> ]					
	min	BE	max	max /min	$d_{s,v}$ max	$d_{s,v}$ min	min / max	$d_{s,v}$ min	$d_{s,v}$ BE	$d_{s,v}$ max	min / max	min / BE	BE / max
<sup>244</sup> Pu					3,37E-07	3,37E-07	1,0	4,97E-07	4,97E-07	4,97E-07	1,0	1,0	1,0
<sup>226</sup> Ra					5,31E-07	5,37E-07	1,0	9,62E-07	9,38E-07	8,82E-07	1,1	1,0	1,1
<sup>79</sup> Se					6,38E-09	6,38E-09	1,0	2,06E-08	2,06E-08	2,06E-08	1,0	1,0	1,0
<sup>126</sup> Sn					1,24E-08	1,24E-08	1,0	4,03E-08	4,03E-08	4,03E-08	1,0	1,0	1,0
<sup>90</sup> Sr					4,76E-08	4,87E-08	1,0	6,38E-08	6,32E-08	6,26E-08	1,0	1,0	1,0
<sup>99</sup> Tc					9,06E-10	9,13E-10	1,0	1,21E-09	1,21E-09	1,21E-09	1,0	1,0	1,0
<sup>229</sup> Th					9,07E-07	9,15E-07	1,0	1,23E-06	1,23E-06	1,22E-06	1,0	1,0	1,0
<sup>230</sup> Th					3,15E-07	3,15E-07	1,0	4,19E-07	4,19E-07	4,18E-07	1,0	1,0	1,0
<sup>232</sup> Th					1,59E-06	1,59E-06	1,0	2,25E-06	2,25E-06	2,25E-06	1,0	1,0	1,0
<sup>232</sup> U					6,64E-07	6,76E-07	1,0	9,44E-07	9,24E-07	9,13E-07	1,0	1,0	1,0
<sup>233</sup> U					9,53E-08	9,57E-08	1,0	1,35E-07	1,35E-07	1,35E-07	1,0	1,0	1,0
<sup>234</sup> U					9,17E-08	9,20E-08	1,0	1,30E-07	1,30E-07	1,30E-07	1,0	1,0	1,0
<sup>235</sup> U					8,88E-08	8,88E-08	1,0	1,39E-07	1,39E-07	1,39E-07	1,0	1,0	1,0
<sup>236</sup> U					8,84E-08	8,84E-08	1,0	1,25E-07	1,25E-07	1,25E-07	1,0	1,0	1,0

	Dikte van de wortelzone $d_{s,v}$ [m]				BCF inname voedingsgewassen [Sv/a per Bq/m <sup>3</sup> ]			Totale BCF [Sv/a per Bq/m <sup>3</sup> ]					
	min	BE	max	max /min	$d_{s,v}$ max	$d_{s,v}$ min	min / max	$d_{s,v}$ min	$d_{s,v}$ BE	$d_{s,v}$ max	min / max	min / BE	BE / max
<sup>238</sup> U					9,09E-08	9,09E-08	1,0	1,31E-07	1,31E-07	1,31E-07	1,0	1,0	1,0
<sup>93</sup> Zr					3,23E-09	3,23E-09	1,0	3,77E-09	3,77E-09	3,76E-09	1,0	1,0	1,0
<sup>227</sup> Ac					3,56E-07	3,49E-07	1,0	n.v.t. (opgenomen bij <sup>231</sup> Pa)					
<sup>210</sup> Pb					7,73E-08	1,02E-07	1,3	n.v.t. (opgenomen bij <sup>226</sup> Ra)					
<sup>210</sup> Po					2,48E-08	3,22E-08	1,3	n.v.t. (opgenomen bij <sup>226</sup> Ra)					

**Tabel 12 – Effect van de onzekerheid op bodem-plant transferfactoren  $TF_{v,i}$  [ $kg_{dw,grond}/kg_{dw,plant}$ ] voor zandgrond op de BCFs voor volwassenen voor de waterput als receptor. De range geeft de verhouding max/min weer, welke verschillend is voor verschillende gewastypes. \* max/min voor de hoeveelheid stabiele koolstof in de plant [ $gC/kg_{dw}$ ].**

	Bodem-plant transferfactor $TF_{v,i}$ [ $kg_{dw,grond}/kg_{dw,plant}$ ]	BCF inname voedingsgewassen [Sv/a per Bq/m <sup>3</sup> ]			Totale BCF [Sv/a per Bq/m <sup>3</sup> ]					
	Range (max / min)	$TF_{v,i}$ min	$TF_{v,i}$ max	max / min	$TF_{v,i}$ min	$TF_{v,i}$ BE	$TF_{v,i}$ max	max / min	BE / min	max / BE
<sup>108m</sup> Ag	33 – 1,9E+04	9,09E-09	3,20E-08	3,5	2,27E-08	2,29E-08	4,66E-08	2,1	1,0	2,0
<sup>241</sup> Am	36 – 8,8E+05	2,79E-07	8,89E-07	3,2	3,70E-07	3,71E-07	9,81E-07	2,7	1,0	2,6
<sup>242m</sup> Am	36 – 8,8E+05	2,79E-07	5,10E-07	1,8	3,68E-07	3,68E-07	5,99E-07	1,6	1,0	1,6
<sup>243</sup> Am	36 – 8,8E+05	2,80E-07	2,68E-06	9,6	3,94E-07	3,95E-07	2,80E-06	7,1	1,0	7,1
<sup>10</sup> Be	2,7 – 2,8E+02	1,66E-09	7,41E-09	4,5	2,21E-09	2,32E-09	8,01E-09	3,6	1,0	3,5
<sup>14</sup> C	1,2 – 4,3*	3,53E-11	4,98E-11	1,4	3,07E-10	3,13E-10	3,21E-10	1,0	1,0	1,0
<sup>41</sup> Ca	76 – 8,3E+04	3,54E-10	9,05E-10	2,6	4,67E-10	4,74E-10	1,19E-09	2,5	1,0	2,5
<sup>36</sup> Cl	2,5 – 2,5E+02	1,65E-09	6,59E-09	4,0	3,48E-09	5,71E-09	1,30E-08	3,7	1,6	2,3
<sup>244</sup> Cm	4,7 – 8,6E+03	1,67E-07	1,68E-07	1,0	2,21E-07	2,21E-07	2,22E-07	1,0	1,0	1,0
<sup>135</sup> Cs	3,9 – 1,3E+04	7,89E-09	1,05E-07	13	9,97E-09	1,23E-08	1,89E-07	19	1,2	15
<sup>137</sup> Cs	3,9 – 1,3E+04	5,09E-08	9,79E-08	1,9	6,27E-08	6,39E-08	1,73E-07	2,8	1,0	2,7
<sup>3</sup> H	/	/	/	/	/	5,81E-11	/	/	/	/
<sup>129</sup> I	8,0 – 8,4E+03	1,42E-	1,57E-	1,1	2,02E-	2,02E-	2,19E-	1,1	1,0	1,1

	Bodem-plant transferfactor $TF_{v,i}$ [kg <sub>dw,grond</sub> /kg <sub>dw,plant</sub> ]	BCF inname voedingsgewassen [Sv/a per Bq/m <sup>3</sup> ]			Totale BCF [Sv/a per Bq/m <sup>3</sup> ]					
	Range (max / min)	$TF_{v,i}$ min	$TF_{v,i}$ max	max / min	$TF_{v,i}$ min	$TF_{v,i}$ BE	$TF_{v,i}$ max	max / min	BE / min	max / BE
		07	07		07	07	07			
<sup>93</sup> Mo	6,6 – 3,3E+02	6,16E-09	1,02E-08	1,7	8,19E-09	9,26E-09	1,29E-08	1,6	1,1	1,4
<sup>94</sup> Nb	1,5E+04	3,17E-09	7,45E-08	24	1,11E-07	1,11E-07	1,82E-07	1,6	1,0	1,6
<sup>59</sup> Ni	2,6 – 7,2E+03	9,15E-11	3,70E-10	4,0	1,36E-10	1,55E-10	4,38E-10	3,2	1,1	2,8
<sup>63</sup> Ni	2,6 – 7,2E+03	2,13E-10	4,84E-10	2,3	3,13E-10	3,34E-10	6,15E-10	2,0	1,1	1,8
<sup>236</sup> Np	1,7 – 2,5E+05	2,37E-08	2,57E-08	1,1	3,20E-08	3,21E-08	3,41E-08	1,1	1,0	1,1
<sup>237</sup> Np	1,7 – 2,5E+05	1,55E-07	1,68E-07	1,1	2,09E-07	2,09E-07	2,22E-07	1,1	1,0	1,1
<sup>231</sup> Pa	1,6E+02	9,98E-07	2,35E-06	2,4	1,46E-06	2,13E-06	2,38E-05	16	1,5	11
<sup>107</sup> Pd	4,8 – 6,8E+01	7,06E-11	1,88E-10	2,7	8,80E-11	1,10E-10	2,10E-10	2,4	1,3	1,9
<sup>236</sup> Pu	10 – 5,2E+05	1,21E-07	1,22E-07	1,0	1,59E-07	1,59E-07	1,61E-07	1,0	1,0	1,0
<sup>238</sup> Pu	10 – 5,2E+05	3,21E-07	4,01E-07	1,2	4,22E-07	4,22E-07	5,04E-07	1,2	1,0	1,2
<sup>239</sup> Pu	10 – 5,2E+05	3,48E-07	1,01E-06	2,9	4,65E-07	4,66E-07	1,13E-06	2,4	1,0	2,4
<sup>240</sup> Pu	10 – 5,2E+05	3,48E-07	9,72E-07	2,8	4,65E-07	4,66E-07	1,09E-06	2,3	1,0	2,3
<sup>241</sup> Pu	10 – 5,2E+05	6,69E-09	7,01E-09	1,0	8,80E-09	8,80E-09	9,11E-09	1,0	1,0	1,0
<sup>242</sup> Pu	10 – 5,2E+05	3,35E-	9,86E-	2,9	4,47E-	4,48E-	1,10E-	2,5	1,0	2,5

	Bodem-plant transferfactor $TF_{v,j}$ [kg <sub>dw,grond</sub> /kg <sub>dw,plant</sub> ]	BCF inname voedingsgewassen [Sv/a per Bq/m <sup>3</sup> ]			Totale BCF [Sv/a per Bq/m <sup>3</sup> ]					
	Range (max / min)	$TF_{v,j}$ min	$TF_{v,j}$ max	max / min	$TF_{v,j}$ min	$TF_{v,j}$ BE	$TF_{v,j}$ max	max / min	BE / min	max / BE
		07	07		07	07	06			
<sup>244</sup> Pu	10 – 5,2E+05	3,36E-07	9,90E-07	2,9	4,96E-07	4,97E-07	1,15E-06	2,3	1,0	2,3
<sup>226</sup> Ra	4,1 – 4,3E+02	5,23E-07	6,19E-07	1,2	8,20E-07	9,38E-07	1,67E-06	2,0	1,1	1,8
<sup>75</sup> Se	8,1 – 2,1E+03	5,51E-09	3,73E-08	6,8	1,57E-08	2,06E-08	2,45E-07	16	1,3	12
<sup>126</sup> Sn	43 – 3,3E+02	1,09E-08	3,71E-08	3,4	3,87E-08	4,03E-08	6,69E-08	1,7	1,0	1,7
<sup>90</sup> Sr	6 – 9,1E+05	4,59E-08	7,59E-08	1,7	6,06E-08	6,32E-08	9,22E-08	1,5	1,0	1,5
<sup>99</sup> Tc	1,3 – 2,6E+05	8,80E-10	3,51E-09	4,0	1,18E-09	1,21E-09	3,83E-09	3,2	1,0	3,2
<sup>229</sup> Th	2,5 – 1,3E+03	8,64E-07	1,22E-06	1,4	1,18E-06	1,23E-06	1,54E-06	1,3	1,0	1,3
<sup>230</sup> Th	2,5 – 1,3E+03	2,96E-07	4,33E-07	1,5	4,00E-07	4,19E-07	5,38E-07	1,3	1,0	1,3
<sup>232</sup> Th	2,5 – 1,3E+03	1,50E-06	2,20E-06	1,5	2,16E-06	2,25E-06	2,86E-06	1,3	1,0	1,3
<sup>232</sup> U	3,3E+01 – 2,9E+04	6,60E-07	9,83E-07	1,5	9,15E-07	9,24E-07	1,24E-06	1,4	1,0	1,3
<sup>233</sup> U	3,3E+01 – 2,9E+04	7,33E-08	9,51E-07	13	1,12E-07	1,35E-07	1,00E-06	8,9	1,2	7,4
<sup>234</sup> U	3,3E+01 – 2,9E+04	7,05E-08	9,17E-07	13	1,08E-07	1,30E-07	9,67E-07	9,0	1,2	7,4
<sup>235</sup> U	3,3E+01 – 2,9E+04	6,80E-08	8,91E-07	13	1,17E-07	1,39E-07	9,53E-07	8,1	1,2	6,9
<sup>236</sup> U	3,3E+01 – 2,9E+04	6,76E-08	8,85E-07	13	1,03E-07	1,25E-07	9,34E-07	9,1	1,2	7,5

	Bodem-plant transferfactor $TF_{v,i}$ [kg <sub>dw,grond</sub> /kg <sub>dw,plant</sub> ]	BCF inname voedingsgewassen [Sv/a per Bq/m <sup>3</sup> ]			Totale BCF [Sv/a per Bq/m <sup>3</sup> ]					
	Range (max / min)	$TF_{v,i}$ min	$TF_{v,i}$ max	max / min	$TF_{v,i}$ min	$TF_{v,i}$ BE	$TF_{v,i}$ max	max / min	BE / min	max / BE
		08	07		07	07	07			
<sup>238</sup> U	3,3E+01 – 2,9E+04	6,97E-08	9,12E-07	13	1,09E-07	1,31E-07	9,64E-07	8,8	1,2	7,4
<sup>93</sup> Zr	1,8E+00 – 4,0E+03	3,23E-09	3,25E-09	1,0	3,77E-09	3,77E-09	3,79E-09	1,0	1,0	1,0
<sup>227</sup> Ac	9,4 – 1,1E+03	1,95E-08	2,10E-05	1,1E+03	n.v.t. (opgenomen bij <sup>231</sup> Pa)					
<sup>210</sup> Pb	2,6 – 1,4E+02	1,67E-08	4,16E-07	25	n.v.t. (opgenomen bij <sup>226</sup> Ra)					
<sup>210</sup> Po	1,5 – 6,0E+03	1,05E-08	3,05E-07	29	n.v.t. (opgenomen bij <sup>226</sup> Ra)					

**Tabel 13 – Effect van de onzekerheid op massieke interceptiefactor  $R_w/Y_v$  [ $m^2/kg_{fw}$  of  $m^2/kg_{dw}$ ] op de BCFs voor volwassenen voor de waterput als receptor.**  
<sup>(1)</sup>granen (fw), <sup>(2)</sup>fruit (default UF = 5), <sup>(3)</sup>bladgroenten, <sup>(4)</sup>vruchtgroenten,  
<sup>(5)</sup>peulvruchten, <sup>(6)</sup>wortelgewassen, <sup>(7)</sup>aardappelen, <sup>(8)</sup>weiland, <sup>(9)</sup>granen (dw).

	Massieke interceptiefactor $R_w/Y_v$ [ $m^2/kg_{fw}$ ] <sup>(1-7)</sup> [ $m^2/kg_{dw}$ ] <sup>(8,9)</sup>				BCF inname voedingsgewassen [Sv/a per Bq/m <sup>3</sup> ]			Totale BCF [Sv/a per Bq/m <sup>3</sup> ]					
	min	BE	max	max /min	$R_w/Y_v$ min	$R_w/Y_v$ max	min / max	$R_w/Y_v$ min	$R_w/Y_v$ BE	$R_w/Y_v$ max	max / min	BE / min	max / BE
	<sup>108m</sup> Ag					2,12E-09	2,75E-08	13,0	1,57E-08	2,29E-08	4,15E-08	2,6	1,5
<sup>241</sup> Am					1,08E-07	1,03E-06	9,5	1,99E-07	3,71E-07	1,12E-06	5,6	1,9	3,0
<sup>242m</sup> Am					1,07E-07	1,03E-06	9,6	1,97E-07	3,68E-07	1,12E-06	5,7	1,9	3,0
<sup>243</sup> Am					1,09E-07	1,03E-06	9,5	2,23E-07	3,95E-07	1,15E-06	5,2	1,8	2,9
<sup>10</sup> Be	0,11 <sup>(1)</sup> , 3,8E-02 <sup>(2)</sup> , 0,15 <sup>(3)</sup> ,	0,66 <sup>(1)</sup> , 0,19 <sup>(2)</sup> , 0,69 <sup>(3)</sup> ,	3,05 <sup>(1)</sup> , 0,95 <sup>(2)</sup> , 3 <sup>(3)</sup> ,	28 <sup>(1)</sup> , 25 <sup>(2)</sup> , 20 <sup>(3)</sup> ,	7,69E-10	5,97E-09	7,8	1,32E-09	2,32E-09	6,55E-09	5,0	1,8	2,8
<sup>14</sup> C	0,9 <sup>(4)</sup> , 0,34 <sup>(5)</sup> , 0,11 <sup>(6,7)</sup> , 0,3 <sup>(8)</sup> , 0,13 <sup>(9)</sup>	1,06 <sup>(4)</sup> , 1,65 <sup>(5)</sup> , 0,91 <sup>(6,7)</sup> , 2 <sup>(8)</sup> , 0,76 <sup>(9)</sup>	1,22 <sup>(4)</sup> , 14,62 <sup>(5)</sup> , 2,4 <sup>(6,7)</sup> , 7,6 <sup>(8)</sup> , 3,5 <sup>(9)</sup>	1,4 <sup>(4)</sup> , 43 <sup>(5)</sup> , 22 <sup>(6,7)</sup> , 25 <sup>(8)</sup> , 27 <sup>(9)</sup>	/	/	/	/	3,13E-10	/	/	/	/
<sup>41</sup> Ca					1,20E-10	1,22E-09	10,2	2,22E-10	4,74E-10	1,37E-09	6,2	2,1	2,9
<sup>36</sup> Cl					1,52E-09	5,07E-09	3,3	4,58E-09	5,71E-09	9,59E-09	2,1	1,2	1,7
<sup>244</sup> Cm					6,45E-08	6,16E-07	9,6	1,18E-07	2,21E-07	6,72E-07	5,7	1,9	3,0
<sup>135</sup> Cs					3,59E-09	2,54E-08	7,1	5,65E-09	1,23E-08	2,99E-08	5,3	2,2	2,4
<sup>137</sup> Cs					1,19E-08	1,54E-07	12,9	2,10E-08	6,39E-08	1,79E-07	8,5	3,0	2,8
<sup>3</sup> H					1,30E-11	1,07E-10	8,2	2,91E-11	5,81E-11	1,37E-10	4,7	2,0	2,4

	Massieke interceptiefactor $R_w/Y_v$ [m <sup>2</sup> /kg <sub>w</sub> ] <sup>(1-7)</sup> [m <sup>2</sup> /kg <sub>d,w</sub> ] <sup>(8,9)</sup>				BCF inname voedingsgewassen [Sv/a per Bq/m <sup>3</sup> ]			Totale BCF [Sv/a per Bq/m <sup>3</sup> ]					
	min	BE	max	max /min	$R_w/Y_v$ min	$R_w/Y_v$ max	min / max	$R_w/Y_v$ min	$R_w/Y_v$ BE	$R_w/Y_v$ max	max / min	BE / min	max / BE
<sup>129</sup> I					4,24E-08	4,63E-07	10,9	9,75E-08	2,02E-07	5,38E-07	5,5	2,1	2,7
<sup>93</sup> Mo					2,99E-09	2,15E-08	7,2	4,98E-09	9,26E-09	2,44E-08	4,9	1,9	2,6
<sup>94</sup> Nb					1,48E-09	1,13E-08	7,6	1,09E-07	1,11E-07	1,19E-07	1,1	1,0	1,1
<sup>59</sup> Ni					5,15E-11	3,41E-10	6,6	9,64E-11	1,55E-10	4,09E-10	4,2	1,6	2,6
<sup>63</sup> Ni					9,76E-11	7,86E-10	8,1	1,94E-10	3,34E-10	9,38E-10	4,8	1,7	2,8
<sup>236</sup> Np					9,16E-09	8,73E-08	9,5	1,69E-08	3,21E-08	9,80E-08	5,8	1,9	3,1
<sup>237</sup> Np					5,97E-08	5,70E-07	9,5	1,10E-07	2,09E-07	6,40E-07	5,8	1,9	3,1
<sup>231</sup> Pa					7,20E-07	3,98E-06	5,5	1,52E-06	2,13E-06	4,78E-06	3,1	1,4	2,2
<sup>107</sup> Pd					5,36E-11	2,43E-10	4,5	7,16E-11	1,10E-10	2,62E-10	3,7	1,5	2,4
<sup>236</sup> Pu					4,67E-08	4,46E-07	9,6	8,49E-08	1,59E-07	4,84E-07	5,7	1,9	3,0
<sup>238</sup> Pu					1,24E-07	1,18E-06	9,5	2,25E-07	4,22E-07	1,28E-06	5,7	1,9	3,0
<sup>239</sup> Pu					1,35E-07	1,28E-06	9,5	2,52E-07	4,66E-07	1,40E-06	5,6	1,8	3,0
<sup>240</sup> Pu					1,35E-07	1,28E-06	9,5	2,51E-07	4,66E-07	1,40E-06	5,6	1,9	3,0
<sup>241</sup> Pu					2,57E-09	2,46E-08	9,6	4,69E-09	8,80E-09	2,67E-08	5,7	1,9	3,0



	Massieke interceptiefactor $R_w/Y_v$ [m <sup>2</sup> /kg <sub>bw</sub> ] <sup>(1-7)</sup> [m <sup>2</sup> /kg <sub>aw</sub> ] <sup>(8,9)</sup>				BCF inname voedingsgewassen [Sv/a per Bq/m <sup>3</sup> ]			Totale BCF [Sv/a per Bq/m <sup>3</sup> ]					
	min	BE	max	max /min	$R_w/Y_v$ min	$R_w/Y_v$ max	min / max	$R_w/Y_v$ min	$R_w/Y_v$ BE	$R_w/Y_v$ max	max / min	BE / min	max / BE
<sup>242</sup> Pu					1,30E-07	1,23E-06	9,5	2,42E-07	4,48E-07	1,34E-06	5,5	1,9	3,0
<sup>244</sup> Pu					1,30E-07	1,24E-06	9,5	2,91E-07	4,97E-07	1,40E-06	4,8	1,7	2,8
<sup>226</sup> Ra					1,80E-07	1,80E-06	10,0	5,79E-07	9,38E-07	2,21E-06	3,8	1,6	2,4
<sup>79</sup> Se					2,69E-09	1,94E-08	7,2	1,27E-08	2,06E-08	4,85E-08	3,8	1,6	2,4
<sup>126</sup> Sn					4,75E-09	3,73E-08	7,9	3,24E-08	4,03E-08	6,65E-08	2,0	1,2	1,7
<sup>90</sup> Sr					1,94E-08	1,68E-07	8,7	3,38E-08	6,32E-08	1,85E-07	5,5	1,9	2,9
<sup>99</sup> Tc					3,74E-10	3,27E-09	8,7	6,63E-10	1,21E-09	3,62E-09	5,5	1,8	3,0
<sup>229</sup> Th					3,87E-07	3,20E-06	8,3	6,99E-07	1,23E-06	3,52E-06	5,0	1,8	2,9
<sup>230</sup> Th					1,35E-07	1,10E-06	8,1	2,38E-07	4,19E-07	1,20E-06	5,0	1,8	2,9
<sup>232</sup> Th					6,82E-07	5,55E-06	8,1	1,34E-06	2,25E-06	6,22E-06	4,6	1,7	2,8
<sup>232</sup> U					2,63E-07	2,43E-06	9,2	4,95E-07	9,24E-07	2,79E-06	5,6	1,9	3,0
<sup>233</sup> U					5,18E-08	2,86E-07	5,5	8,87E-08	1,35E-07	3,36E-07	3,8	1,5	2,5
<sup>234</sup> U					4,99E-08	2,75E-07	5,5	8,54E-08	1,30E-07	3,23E-07	3,8	1,5	2,5
<sup>235</sup> U					4,83E-08	2,65E-07	5,5	9,58E-08	1,39E-07	3,25E-07	3,4	1,5	2,3

	Massieke interceptiefactor $R_w/Y_v$ [m <sup>2</sup> /kg <sub>dw</sub> ] <sup>(1-7)</sup> [m <sup>2</sup> /kg <sub>dw</sub> ] <sup>(8,9)</sup>				BCF inname voedingsgewassen [Sv/a per Bq/m <sup>3</sup> ]			Totale BCF [Sv/a per Bq/m <sup>3</sup> ]					
	min	BE	max	max /min	$R_w/Y_v$ min	$R_w/Y_v$ max	min / max	$R_w/Y_v$ min	$R_w/Y_v$ BE	$R_w/Y_v$ max	max / min	BE / min	max / BE
<sup>236</sup> U					4,80E-08	2,64E-07	5,5	8,21E-08	1,25E-07	3,10E-07	3,8	1,5	2,5
<sup>238</sup> U					4,94E-08	2,72E-07	5,5	8,70E-08	1,31E-07	3,22E-07	3,7	1,5	2,5
<sup>95</sup> Zr					8,42E-10	1,03E-08	12,2	1,38E-09	3,77E-09	1,08E-08	7,8	2,7	2,9
<sup>227</sup> Ac					/	/	/	n.v.t. (opgenomen bij <sup>231</sup> Pa)					
<sup>210</sup> Pb					/	/	/	n.v.t. (opgenomen bij <sup>226</sup> Ra)					
<sup>210</sup> Po					/	/	/	n.v.t. (opgenomen bij <sup>226</sup> Ra)					

**Tabel 14 – Effect van de onzekerheid op de halfwaardetijd voor verwerking  $T_w$  [a] op de BCFs voor volwassenen voor de waterput als receptor, (1) voedingsgewassen, (2) weiland,**

	Halfwaardetijd voor verwerking $T_w$ [m <sup>3</sup> /kg]				BCF inname voedingsgewassen [Sv/a per Bq/m <sup>3</sup> ]			Totale BCF [Sv/a per Bq/m <sup>3</sup> ]					
	min	BE	max	max /min	$T_w$ min	$T_w$ max	max / min	$T_w$ min	$T_w$ BE	$T_w$ max	max / min	BE / min	max / BE
<sup>108m</sup> Ag	0,014 <sup>(1)</sup> ; 0,02 <sup>(2)</sup>	0,047 <sup>(1)</sup> ; 0,032 <sup>(2)</sup>	0,118 <sup>(1)</sup> ; 0,055 <sup>(2)</sup>	8,42 <sup>(1)</sup> ; 2,75 <sup>(2)</sup>	7,11E- 09	1,17E- 08	1,6	2,07E- 08	2,29E- 08	2,55E- 08	1,2	1,1	1,1
<sup>241</sup> Am	0,014 <sup>(1)</sup> ; 0,02 <sup>(2)</sup>	0,047 <sup>(1)</sup> ; 0,032 <sup>(2)</sup>	0,118 <sup>(1)</sup> ; 0,055 <sup>(2)</sup>	8,42 <sup>(1)</sup> ; 2,75 <sup>(2)</sup>	9,28E- 08	4,93E- 07	5,3	1,84E- 07	3,71E- 07	5,85E- 07	3,2	2,0	1,6
<sup>242m</sup> Am	0,014 <sup>(1)</sup> ; 0,02 <sup>(2)</sup>	0,047 <sup>(1)</sup> ; 0,032 <sup>(2)</sup>	0,118 <sup>(1)</sup> ; 0,055 <sup>(2)</sup>	8,42 <sup>(1)</sup> ; 2,75 <sup>(2)</sup>	9,26E- 08	4,93E- 07	5,3	1,82E- 07	3,68E- 07	5,82E- 07	3,2	2,0	1,6
<sup>243</sup> Am	0,014 <sup>(1)</sup> ; 0,02 <sup>(2)</sup>	0,047 <sup>(1)</sup> ; 0,032 <sup>(2)</sup>	0,118 <sup>(1)</sup> ; 0,055 <sup>(2)</sup>	8,42 <sup>(1)</sup> ; 2,75 <sup>(2)</sup>	9,42E- 08	4,96E- 07	5,3	2,08E- 07	3,95E- 07	6,11E- 07	2,9	1,9	1,5
<sup>10</sup> Be	0,014 <sup>(1)</sup> ; 0,02 <sup>(2)</sup>	0,047 <sup>(1)</sup> ; 0,032 <sup>(2)</sup>	0,118 <sup>(1)</sup> ; 0,055 <sup>(2)</sup>	8,42 <sup>(1)</sup> ; 2,75 <sup>(2)</sup>	7,37E- 10	2,94E- 09	4,0	1,29E- 09	2,32E- 09	3,50E- 09	2,7	1,8	1,5
<sup>14</sup> C	/	/	/	/	/	/	/	/	3,13E- 10	/	/	/	/
<sup>41</sup> Ca	0,014 <sup>(1)</sup> ; 0,02 <sup>(2)</sup>	0,047 <sup>(1)</sup> ; 0,032 <sup>(2)</sup>	0,118 <sup>(1)</sup> ; 0,055 <sup>(2)</sup>	8,42 <sup>(1)</sup> ; 2,75 <sup>(2)</sup>	1,84E- 10	5,64E- 10	3,1	2,91E- 10	4,74E- 10	6,86E- 10	2,4	1,6	1,4
<sup>36</sup> Cl	0,013 <sup>(1)</sup> ; 0,008 <sup>(2)</sup>	0,026 <sup>(1)</sup> ; 0,022 <sup>(2)</sup>	0,047 <sup>(1)</sup> ; 0,044 <sup>(2)</sup>	3,61 <sup>(1)</sup> ; 5,5 <sup>(2)</sup>	2,00E- 09	2,90E- 09	1,5	5,15E- 09	5,71E- 09	6,50E- 09	1,3	1,1	1,1
<sup>244</sup> Cm	0,014 <sup>(1)</sup> ; 0,02 <sup>(2)</sup>	0,047 <sup>(1)</sup> ; 0,032 <sup>(2)</sup>	0,118 <sup>(1)</sup> ; 0,055 <sup>(2)</sup>	8,42 <sup>(1)</sup> ; 2,75 <sup>(2)</sup>	5,55E- 08	2,96E- 07	5,3	1,09E- 07	2,21E- 07	3,50E- 07	3,2	2,0	1,6
<sup>135</sup> Cs	0,014 <sup>(1)</sup> ; 0,02 <sup>(2)</sup>	0,047 <sup>(1)</sup> ; 0,032 <sup>(2)</sup>	0,118 <sup>(1)</sup> ; 0,055 <sup>(2)</sup>	8,42 <sup>(1)</sup> ; 2,75 <sup>(2)</sup>	7,87E- 09	1,19E- 08	1,5	1,00E- 08	1,23E- 08	1,47E- 08	1,5	1,2	1,2
<sup>137</sup> Cs	0,014 <sup>(1)</sup> ; 0,02 <sup>(2)</sup>	0,047 <sup>(1)</sup> ; 0,032 <sup>(2)</sup>	0,118 <sup>(1)</sup> ; 0,055 <sup>(2)</sup>	8,42 <sup>(1)</sup> ; 2,75 <sup>(2)</sup>	3,96E- 08	6,56E- 08	1,7	4,96E- 08	6,39E- 08	8,00E- 08	1,6	1,3	1,3
<sup>3</sup> H	0,0065 <sup>(1)</sup> ; 0,004 <sup>(2)</sup>	0,01 <sup>(1,2)</sup>	0,0235 <sup>(1)</sup> ; 0,022 <sup>(2)</sup>	3,61 <sup>(1)</sup> ; 5,5 <sup>(2)</sup>	3,50E- 11	5,64E- 11	1,6	5,23E- 11	5,81E- 11	8,06E- 11	1,5	1,1	1,4

	Halfwaardetijd voor verwerking $T_w$ [m <sup>3</sup> /kg]				BCF inname voedingsgewassen [Sv/a per Bq/m <sup>3</sup> ]			Totale BCF [Sv/a per Bq/m <sup>3</sup> ]					
	min	BE	max	max /min	$T_w$ min	$T_w$ max	max / min	$T_w$ min	$T_w$ BE	$T_w$ max	max / min	BE / min	max / BE
<sup>129</sup> I	0,013 <sup>(1)</sup> ; 0,008 <sup>(2)</sup>	0,026 <sup>(1)</sup> ; 0,022 <sup>(2)</sup>	0,047 <sup>(1)</sup> ; 0,044 <sup>(2)</sup>	3,61 <sup>(1)</sup> ; 5,5 <sup>(2)</sup>	9,97E- 08	2,05E- 07	2,1	1,55E- 07	2,02E- 07	2,70E- 07	1,7	1,3	1,3
<sup>99</sup> Mo	0,014 <sup>(1)</sup> ; 0,02 <sup>(2)</sup>	0,047 <sup>(1)</sup> ; 0,032 <sup>(2)</sup>	0,118 <sup>(1)</sup> ; 0,055 <sup>(2)</sup>	8,42 <sup>(1)</sup> ; 2,75 <sup>(2)</sup>	4,07E- 09	1,05E- 08	2,6	6,15E- 09	9,26E- 09	1,28E- 08	2,1	1,5	1,4
<sup>94</sup> Nb	0,014 <sup>(1)</sup> ; 0,02 <sup>(2)</sup>	0,047 <sup>(1)</sup> ; 0,032 <sup>(2)</sup>	0,118 <sup>(1)</sup> ; 0,055 <sup>(2)</sup>	8,42 <sup>(1)</sup> ; 2,75 <sup>(2)</sup>	2,06E- 09	5,46E- 09	2,7	1,10E- 07	1,11E- 07	1,13E- 07	1,0	1,0	1,0
<sup>59</sup> Ni	0,014 <sup>(1)</sup> ; 0,02 <sup>(2)</sup>	0,047 <sup>(1)</sup> ; 0,032 <sup>(2)</sup>	0,118 <sup>(1)</sup> ; 0,055 <sup>(2)</sup>	8,42 <sup>(1)</sup> ; 2,75 <sup>(2)</sup>	4,67E- 11	1,73E- 10	3,7	9,37E- 11	1,55E- 10	2,27E- 10	2,4	1,7	1,5
<sup>63</sup> Ni	0,014 <sup>(1)</sup> ; 0,02 <sup>(2)</sup>	0,047 <sup>(1)</sup> ; 0,032 <sup>(2)</sup>	0,118 <sup>(1)</sup> ; 0,055 <sup>(2)</sup>	8,42 <sup>(1)</sup> ; 2,75 <sup>(2)</sup>	8,64E- 11	3,87E- 10	4,5	1,87E- 10	3,34E- 10	5,04E- 10	2,7	1,8	1,5
<sup>236</sup> Np	0,014 <sup>(1)</sup> ; 0,02 <sup>(2)</sup>	0,047 <sup>(1)</sup> ; 0,032 <sup>(2)</sup>	0,118 <sup>(1)</sup> ; 0,055 <sup>(2)</sup>	8,42 <sup>(1)</sup> ; 2,75 <sup>(2)</sup>	7,88E- 09	4,18E- 09	5,3	1,58E- 08	3,21E- 08	5,07E- 08	3,2	2,0	1,6
<sup>237</sup> Np	0,014 <sup>(1)</sup> ; 0,02 <sup>(2)</sup>	0,047 <sup>(1)</sup> ; 0,032 <sup>(2)</sup>	0,118 <sup>(1)</sup> ; 0,055 <sup>(2)</sup>	8,42 <sup>(1)</sup> ; 2,75 <sup>(2)</sup>	5,15E- 08	2,73E- 07	5,3	1,03E- 07	2,09E- 07	3,31E- 07	3,2	2,0	1,6
<sup>231</sup> Pa	0,014 <sup>(1)</sup> ; 0,02 <sup>(2)</sup>	0,047 <sup>(1)</sup> ; 0,032 <sup>(2)</sup>	0,118 <sup>(1)</sup> ; 0,055 <sup>(2)</sup>	8,42 <sup>(1)</sup> ; 2,75 <sup>(2)</sup>	6,68E- 07	2,09E- 06	3,1	1,47E- 06	2,13E- 06	2,89E- 06	2,0	1,4	1,4
<sup>107</sup> Pd	0,014 <sup>(1)</sup> ; 0,02 <sup>(2)</sup>	0,047 <sup>(1)</sup> ; 0,032 <sup>(2)</sup>	0,118 <sup>(1)</sup> ; 0,055 <sup>(2)</sup>	8,42 <sup>(1)</sup> ; 2,75 <sup>(2)</sup>	5,76E- 11	1,32E- 10	2,3	7,57E- 11	1,10E- 10	1,50E- 10	2,0	1,5	1,4
<sup>236</sup> Pu	0,014 <sup>(1)</sup> ; 0,02 <sup>(2)</sup>	0,047 <sup>(1)</sup> ; 0,032 <sup>(2)</sup>	0,118 <sup>(1)</sup> ; 0,055 <sup>(2)</sup>	8,42 <sup>(1)</sup> ; 2,75 <sup>(2)</sup>	4,02E- 08	2,14E- 07	5,3	7,84E- 08	1,59E- 07	2,53E- 07	3,2	2,0	1,6
<sup>238</sup> Pu	0,014 <sup>(1)</sup> ; 0,02 <sup>(2)</sup>	0,047 <sup>(1)</sup> ; 0,032 <sup>(2)</sup>	0,118 <sup>(1)</sup> ; 0,055 <sup>(2)</sup>	8,42 <sup>(1)</sup> ; 2,75 <sup>(2)</sup>	1,06E- 07	5,66E- 07	5,3	2,08E- 07	4,22E- 07	6,69E- 07	3,2	2,0	1,6
<sup>239</sup> Pu	0,014 <sup>(1)</sup> ; 0,02 <sup>(2)</sup>	0,047 <sup>(1)</sup> ; 0,032 <sup>(2)</sup>	0,118 <sup>(1)</sup> ; 0,055 <sup>(2)</sup>	8,42 <sup>(1)</sup> ; 2,75 <sup>(2)</sup>	1,17E- 07	6,17E- 07	5,3	2,33E- 07	4,66E- 07	7,34E- 07	3,2	2,0	1,6
<sup>240</sup> Pu	0,014 <sup>(1)</sup> ; 0,02 <sup>(2)</sup>	0,047 <sup>(1)</sup> ; 0,032 <sup>(2)</sup>	0,118 <sup>(1)</sup> ; 0,055 <sup>(2)</sup>	8,42 <sup>(1)</sup> ; 2,75 <sup>(2)</sup>	1,17E- 07	6,17E- 07	5,3	2,33E- 07	4,66E- 07	7,33E- 07	3,2	2,0	1,6

	Halfwaardetijd voor verwerking $T_w$ [m <sup>3</sup> /kg]				BCF inname voedingsgewassen [Sv/a per Bq/m <sup>3</sup> ]			Totale BCF [Sv/a per Bq/m <sup>3</sup> ]					
	min	BE	max	max /min	$T_w$ min	$T_w$ max	max / min	$T_w$ min	$T_w$ BE	$T_w$ max	max / min	BE / min	max / BE
<sup>241</sup> Pu	0,014 <sup>(1)</sup> ; 0,02 <sup>(2)</sup>	0,047 <sup>(1)</sup> ; 0,032 <sup>(2)</sup>	0,118 <sup>(1)</sup> ; 0,055 <sup>(2)</sup>	8,42 <sup>(1)</sup> ; 2,75 <sup>(2)</sup>	2,22E- 09	1,18E- 08	5,3	4,33E- 09	8,80E- 09	1,39E- 08	3,2	2,0	1,6
<sup>242</sup> Pu	0,014 <sup>(1)</sup> ; 0,02 <sup>(2)</sup>	0,047 <sup>(1)</sup> ; 0,032 <sup>(2)</sup>	0,118 <sup>(1)</sup> ; 0,055 <sup>(2)</sup>	8,42 <sup>(1)</sup> ; 2,75 <sup>(2)</sup>	1,12E- 07	5,92E- 07	5,3	2,24E- 07	4,48E- 07	7,05E- 07	3,1	2,0	1,6
<sup>244</sup> Pu	0,014 <sup>(1)</sup> ; 0,02 <sup>(2)</sup>	0,047 <sup>(1)</sup> ; 0,032 <sup>(2)</sup>	0,118 <sup>(1)</sup> ; 0,055 <sup>(2)</sup>	8,42 <sup>(1)</sup> ; 2,75 <sup>(2)</sup>	1,12E- 07	5,94E- 07	5,3	2,73E- 07	4,97E- 07	7,55E- 07	2,8	1,8	1,5
<sup>226</sup> Ra	0,014 <sup>(1)</sup> ; 0,02 <sup>(2)</sup>	0,047 <sup>(1)</sup> ; 0,032 <sup>(2)</sup>	0,118 <sup>(1)</sup> ; 0,055 <sup>(2)</sup>	8,42 <sup>(1)</sup> ; 2,75 <sup>(2)</sup>	2,74E- 07	8,35E- 07	3,0	6,75E- 07	9,38E- 07	1,24E- 06	1,8	1,4	1,3
<sup>79</sup> Se	0,014 <sup>(1)</sup> ; 0,02 <sup>(2)</sup>	0,047 <sup>(1)</sup> ; 0,032 <sup>(2)</sup>	0,118 <sup>(1)</sup> ; 0,055 <sup>(2)</sup>	8,42 <sup>(1)</sup> ; 2,75 <sup>(2)</sup>	3,67E- 09	9,48E- 09	2,6	1,54E- 08	2,06E- 08	2,68E- 08	1,7	1,3	1,3
<sup>126</sup> Sn	0,014 <sup>(1)</sup> ; 0,02 <sup>(2)</sup>	0,047 <sup>(1)</sup> ; 0,032 <sup>(2)</sup>	0,118 <sup>(1)</sup> ; 0,055 <sup>(2)</sup>	8,42 <sup>(1)</sup> ; 2,75 <sup>(2)</sup>	7,62E- 09	1,78E- 08	2,3	3,54E- 08	4,03E- 08	4,59E- 08	1,3	1,1	1,1
<sup>90</sup> Sr	0,014 <sup>(1)</sup> ; 0,02 <sup>(2)</sup>	0,047 <sup>(1)</sup> ; 0,032 <sup>(2)</sup>	0,118 <sup>(1)</sup> ; 0,055 <sup>(2)</sup>	8,42 <sup>(1)</sup> ; 2,75 <sup>(2)</sup>	1,96E- 08	8,11E- 08	4,1	3,42E- 08	6,32E- 08	9,66E- 08	2,8	1,8	1,5
<sup>99</sup> Tc	0,014 <sup>(1)</sup> ; 0,02 <sup>(2)</sup>	0,047 <sup>(1)</sup> ; 0,032 <sup>(2)</sup>	0,118 <sup>(1)</sup> ; 0,055 <sup>(2)</sup>	8,42 <sup>(1)</sup> ; 2,75 <sup>(2)</sup>	3,11E- 10	1,59E- 09	5,1	6,03E- 10	1,21E- 09	1,90E- 09	3,2	2,0	1,6
<sup>229</sup> Th	0,014 <sup>(1)</sup> ; 0,02 <sup>(2)</sup>	0,047 <sup>(1)</sup> ; 0,032 <sup>(2)</sup>	0,118 <sup>(1)</sup> ; 0,055 <sup>(2)</sup>	8,42 <sup>(1)</sup> ; 2,75 <sup>(2)</sup>	3,41E- 07	1,57E- 06	4,6	6,54E- 07	1,23E- 06	1,88E- 06	2,9	1,9	1,5
<sup>230</sup> Th	0,014 <sup>(1)</sup> ; 0,02 <sup>(2)</sup>	0,047 <sup>(1)</sup> ; 0,032 <sup>(2)</sup>	0,118 <sup>(1)</sup> ; 0,055 <sup>(2)</sup>	8,42 <sup>(1)</sup> ; 2,75 <sup>(2)</sup>	1,19E- 07	5,39E- 07	4,5	2,23E- 07	4,19E- 07	6,44E- 07	2,9	1,9	1,5
<sup>232</sup> Th	0,014 <sup>(1)</sup> ; 0,02 <sup>(2)</sup>	0,047 <sup>(1)</sup> ; 0,032 <sup>(2)</sup>	0,118 <sup>(1)</sup> ; 0,055 <sup>(2)</sup>	8,42 <sup>(1)</sup> ; 2,75 <sup>(2)</sup>	6,03E- 07	2,72E- 06	4,5	1,27E- 06	2,25E- 06	3,39E- 06	2,7	1,8	1,5
<sup>232</sup> U	0,014 <sup>(1)</sup> ; 0,02 <sup>(2)</sup>	0,047 <sup>(1)</sup> ; 0,032 <sup>(2)</sup>	0,118 <sup>(1)</sup> ; 0,055 <sup>(2)</sup>	8,42 <sup>(1)</sup> ; 2,75 <sup>(2)</sup>	2,28E- 07	1,17E- 06	5,1	4,65E- 07	9,24E- 07	1,45E- 06	3,1	2,0	1,6
<sup>233</sup> U	0,014 <sup>(1)</sup> ; 0,02 <sup>(2)</sup>	0,047 <sup>(1)</sup> ; 0,032 <sup>(2)</sup>	0,118 <sup>(1)</sup> ; 0,055 <sup>(2)</sup>	8,42 <sup>(1)</sup> ; 2,75 <sup>(2)</sup>	4,81E- 08	1,50E- 07	3,1	8,55E- 08	1,35E- 07	1,91E- 07	2,2	1,6	1,4
<sup>234</sup> U	0,014 <sup>(1)</sup> ; 0,02 <sup>(2)</sup>	0,047 <sup>(1)</sup> ; 0,032 <sup>(2)</sup>	0,118 <sup>(1)</sup> ; 0,055 <sup>(2)</sup>	8,42 <sup>(1)</sup> ; 2,75 <sup>(2)</sup>	4,63E- 08	1,44E- 07	3,1	8,23E- 08	1,30E- 07	1,84E- 07	2,2	1,6	1,4

	Halfwaardetijd voor verwerking $T_w$ [m <sup>3</sup> /kg]				BCF inname voedingsgewassen [Sv/a per Bq/m <sup>3</sup> ]			Totale BCF [Sv/a per Bq/m <sup>3</sup> ]					
	min	BE	max	max /min	$T_w$ min	$T_w$ max	max / min	$T_w$ min	$T_w$ BE	$T_w$ max	max / min	BE / min	max / BE
<sup>235</sup> U	0,014 <sup>(1)</sup> ; 0,02 <sup>(2)</sup>	0,047 <sup>(1)</sup> ; 0,032 <sup>(2)</sup>	0,118 <sup>(1)</sup> ; 0,055 <sup>(2)</sup>	8,42 <sup>(1)</sup> ; 2,75 <sup>(2)</sup>	4,49E- 08	1,40E- 07	3,1	9,28E- 08	1,39E- 07	1,91E- 07	2,1	1,5	1,4
<sup>236</sup> U	0,014 <sup>(1)</sup> ; 0,02 <sup>(2)</sup>	0,047 <sup>(1)</sup> ; 0,032 <sup>(2)</sup>	0,118 <sup>(1)</sup> ; 0,055 <sup>(2)</sup>	8,42 <sup>(1)</sup> ; 2,75 <sup>(2)</sup>	4,46E- 08	1,39E- 07	3,1	7,91E- 08	1,25E- 07	1,77E- 07	2,2	1,6	1,4
<sup>238</sup> U	0,014 <sup>(1)</sup> ; 0,02 <sup>(2)</sup>	0,047 <sup>(1)</sup> ; 0,032 <sup>(2)</sup>	0,118 <sup>(1)</sup> ; 0,055 <sup>(2)</sup>	8,42 <sup>(1)</sup> ; 2,75 <sup>(2)</sup>	4,58E- 08	1,43E- 07	3,1	8,39E- 08	1,31E- 07	1,84E- 07	2,2	1,6	1,4
<sup>93</sup> Zr	0,014 <sup>(1)</sup> ; 0,02 <sup>(2)</sup>	0,047 <sup>(1)</sup> ; 0,032 <sup>(2)</sup>	0,118 <sup>(1)</sup> ; 0,055 <sup>(2)</sup>	8,42 <sup>(1)</sup> ; 2,75 <sup>(2)</sup>	2,09E- 09	4,53E- 09	2,2	2,63E- 09	3,77E- 09	5,08E- 09	1,9	1,4	1,3
<sup>227</sup> Ac	/	/	/	/	/	/	/	n.v.t. (opgenomen bij <sup>231</sup> Pa)					
<sup>210</sup> Pb	/	/	/	/	/	/	/	n.v.t. (opgenomen bij <sup>226</sup> Ra)					
<sup>210</sup> Po	/	/	/	/	/	/	/	n.v.t. (opgenomen bij <sup>226</sup> Ra)					

**Tabel 15 – Effect van de onzekerheid op de translocatiefactor  $f_{t,v}$  [-] op de BCFs voor volwassenen voor de waterput als receptor (default UF = 50),  
(<sup>1</sup>) wortelgewassen, (<sup>2</sup>) aardappelen,**

	Translocatiefactor $t_v$			BCF inname voedingsgewassen			Totale BCF		
	[m <sup>3</sup> /kg]			[Sv/a per Bq/m <sup>3</sup> ]			[Sv/a per Bq/m <sup>3</sup> ]		
	min	BE = max	max / min	$t_v$ min	$t_v$ max	max / min	$t_v$ min	$t_v$ max	max / min
<sup>108m</sup> Ag	0,01	0,5	50	3,38E-09	9,25E-09	2,7	1,71E-08	2,29E-08	1,3
<sup>241</sup> Am	0,0002	0,01	50	2,69E-07	2,80E-07	1,0	3,60E-07	3,71E-07	1,0
<sup>242m</sup> Am	0,0002	0,01	50	2,69E-07	2,79E-07	1,0	3,58E-07	3,68E-07	1,0
<sup>243</sup> Am	0,0002	0,01	50	2,72E-07	2,82E-07	1,0	3,85E-07	3,95E-07	1,0
<sup>10</sup> Be	0,0004	0,02	50	1,65E-09	1,76E-09	1,1	2,21E-09	2,32E-09	1,1
<sup>14</sup> C	/	/	/	/	/	/	/	3,13E-10	/
<sup>41</sup> Ca	0,002	0,1	50	2,64E-10	3,61E-10	1,4	3,77E-10	4,74E-10	1,3
<sup>36</sup> Cl	0,002	0,1	50	1,89E-09	2,37E-09	1,3	5,24E-09	5,71E-09	1,1
<sup>244</sup> Cm	0,0002	0,01	50	1,61E-07	1,67E-07	1,0	2,15E-07	2,21E-07	1,0
<sup>135</sup> Cs	0,006 <sup>(1)</sup>	0,3 <sup>(1)</sup>	50	4,69E-09	9,74E-09	2,1	7,22E-09	1,23E-08	1,7
	0,01 <sup>(2)</sup>	0,5 <sup>(2)</sup>							
<sup>137</sup> Cs	0,006 <sup>(1)</sup>	0,3 <sup>(1)</sup>	50	1,90E-08	5,17E-08	2,7	3,12E-08	6,39E-08	2,0
	0,01 <sup>(2)</sup>	0,5 <sup>(2)</sup>							
<sup>3</sup> H	0,002	0,1	50	1,79E-11	3,94E-11	2,2	3,66E-11	5,81E-11	1,6
<sup>129</sup> I	0,002	0,1	50	8,68E-08	1,43E-07	1,6	1,46E-07	2,02E-07	1,4
<sup>93</sup> Mo	0,002	0,1	50	5,42E-09	7,06E-09	1,3	7,61E-09	9,26E-09	1,2
<sup>94</sup> Nb	0,002	0,1	50	2,77E-09	3,64E-09	1,3	1,10E-07	1,11E-07	1,0
<sup>59</sup> Ni	0,0002	0,01	50	1,02E-10	1,05E-10	1,0	1,52E-10	1,55E-10	1,0
<sup>63</sup> Ni	0,0002	0,01	50	2,18E-10	2,26E-10	1,0	3,27E-10	3,34E-10	1,0
<sup>236</sup> Np	0,0002	0,01	50	2,28E-08	2,37E-08	1,0	3,12E-08	3,21E-08	1,0
<sup>237</sup> Np	0,0002	0,01	50	1,49E-07	1,55E-07	1,0	2,03E-07	2,09E-07	1,0
<sup>231</sup> Pa	0,0002	0,01	50	1,29E-06	1,33E-06	1,0	2,09E-06	2,13E-06	1,0

	Translocatiefactor $t_v$			BCF inname voedingsgewassen			Totale BCF		
	[m <sup>3</sup> /kg]			[Sv/a per Bq/m <sup>3</sup> ]			[Sv/a per Bq/m <sup>3</sup> ]		
	min	BE = max	max / min	$t_v$ min	$t_v$ max	max / min	$t_v$ min	$t_v$ max	max / min
<sup>107</sup> Pd	0,001	0,05	50	8,26E-11	9,20E-11	1,1	1,01E-10	1,10E-10	1,0
<sup>236</sup> Pu	0,0002	0,01	50	1,17E-07	1,21E-07	1,0	1,55E-07	1,59E-07	1,0
<sup>238</sup> Pu	0,0002	0,01	50	3,09E-07	3,21E-07	1,0	4,11E-07	4,22E-07	1,0
<sup>239</sup> Pu	0,0002	0,01	50	3,36E-07	3,48E-07	1,0	4,53E-07	4,66E-07	1,0
<sup>240</sup> Pu	0,0002	0,01	50	3,36E-07	3,48E-07	1,0	4,53E-07	4,66E-07	1,0
<sup>241</sup> Pu	0,0002	0,01	50	6,44E-09	6,69E-09	1,0	8,56E-09	8,80E-09	1,0
<sup>242</sup> Pu	0,0002	0,01	50	3,23E-07	3,36E-07	1,0	4,35E-07	4,48E-07	1,0
<sup>244</sup> Pu	0,0002	0,01	50	3,25E-07	3,37E-07	1,0	4,85E-07	4,97E-07	1,0
<sup>226</sup> Ra	0,002	0,1	50	3,92E-07	5,35E-07	1,4	7,95E-07	9,38E-07	1,2
<sup>79</sup> Se	0,002	0,1	50	4,89E-09	6,38E-09	1,3	1,91E-08	2,06E-08	1,1
<sup>126</sup> Sn	0,003	0,15	50	8,47E-09	1,24E-08	1,5	3,64E-08	4,03E-08	1,1
<sup>90</sup> Sr	0,01 <sup>(1)</sup> 0,0002 <sup>(2)</sup>	0,5 <sup>(1)</sup> 0,01 <sup>(2)</sup>	50	4,38E-08	4,82E-08	1,1	5,89E-08	6,32E-08	1,1
<sup>99</sup> Tc	0,0001	0,005	50	8,91E-10	9,07E-10	1,0	1,19E-09	1,21E-09	1,0
<sup>229</sup> Th	0,0002	0,01	50	8,81E-07	9,12E-07	1,0	1,20E-06	1,23E-06	1,0
<sup>230</sup> Th	0,0002	0,01	50	3,04E-07	3,15E-07	1,0	4,08E-07	4,19E-07	1,0
<sup>232</sup> Th	0,0002	0,01	50	1,54E-06	1,59E-06	1,0	2,21E-06	2,25E-06	1,0
<sup>232</sup> U	0,0002	0,01	50	6,44E-07	6,68E-07	1,0	9,00E-07	9,24E-07	1,0
<sup>233</sup> U	0,0002	0,01	50	9,29E-08	9,56E-08	1,0	1,32E-07	1,35E-07	1,0
<sup>234</sup> U	0,0002	0,01	50	8,94E-08	9,20E-08	1,0	1,27E-07	1,30E-07	1,0
<sup>235</sup> U	0,0002	0,01	50	8,64E-08	8,88E-08	1,0	1,36E-07	1,39E-07	1,0
<sup>236</sup> U	0,0002	0,01	50	8,60E-08	8,84E-08	1,0	1,22E-07	1,25E-07	1,0
<sup>238</sup> U	0,0002	0,01	50	8,84E-08	9,09E-08	1,0	1,28E-07	1,31E-07	1,0
<sup>93</sup> Zr	0,005	0,25	50	1,67E-09	3,23E-09	1,9	2,21E-09	3,77E-09	1,7



	Translocatiefactor $t_v$ [m <sup>3</sup> /kg]			BCF inname voedingsgewassen [Sv/a per Bq/m <sup>3</sup> ]			Totale BCF [Sv/a per Bq/m <sup>3</sup> ]		
	min	BE = max	max / min	$t_v$ min	$t_v$ max	max / min	$t_v$ min	$t_v$ max	max / min
<sup>227</sup> Ac	/	/	/	/	/	/	n.v.t. (opgenomen bij <sup>231</sup> Pa)		
<sup>210</sup> Pb	/	/	/	/	/	/	n.v.t. (opgenomen bij <sup>226</sup> Ra)		
<sup>210</sup> Po	/	/	/	/	/	/	n.v.t. (opgenomen bij <sup>226</sup> Ra)		

**Tabel 16 – Effect van de onzekerheid op de consumptiehoeveelheden  $Q$  [kg/a of  $m^3/a$  (drinkwater)] op de BCFs voor volwassenen voor de waterput als receptor. De BE waarden stemmen overeen met de gemiddelde reële consumptiehoeveelheden, de aanbevolen hoeveelheden worden als ‘rec’ aangeduid. <sup>(1)</sup>drinkwater, <sup>(2)</sup>koemelk, <sup>(3)</sup>schapenmelk, <sup>(4)</sup>geitenmelk, <sup>(5)</sup>rundvlees, <sup>(6)</sup>varkenvlees, <sup>(7)</sup>schapenvlees, <sup>(8)</sup>geitenvlees, <sup>(9)</sup>gevogelte, <sup>(10)</sup>peulgewassen, <sup>(11)</sup>bladgroenten, <sup>(12)</sup>niet-bladgroenten, <sup>(13)</sup>wortelgewassen, <sup>(14)</sup>knolgewassen, <sup>(15)</sup>granen, <sup>(16)</sup>fruit, <sup>(17)</sup>eieren.**

	Consumptiehoeveelheden $Q$			BCF inname voedingsgewassen			Totale BCF		
	[kg/a of $m^3/a$ ]			[Sv/a per Bq/ $m^3$ ]			[Sv/a per Bq/ $m^3$ ]		
	BE = gem	rec	max/min	Q BE	Q rec	rec / BE	Q BE	Q rec	rec / BE
<sup>108m</sup> Ag				9,25E-09	1,31E-08	1,4	2,29E-08	2,71E-08	1,2
<sup>241</sup> Am				2,80E-07	5,95E-07	2,1	3,71E-07	7,08E-07	1,9
<sup>242m</sup> Am				2,79E-07	5,96E-07	2,1	3,68E-07	7,07E-07	1,9
<sup>243</sup> Am	0,439 <sup>(1)</sup>	0,518 <sup>(1)</sup>		2,82E-07	5,99E-07	2,1	3,95E-07	7,35E-07	1,9
	75,1 <sup>(2)</sup>	183,1 <sup>(2)</sup>							
<sup>10</sup> Be	4,2 <sup>(3)</sup>	10,2 <sup>(3)</sup>		1,76E-09	3,61E-09	2,1	2,32E-09	4,27E-09	1,8
<sup>14</sup> C	0,8 <sup>(4)</sup>	2,0 <sup>(2)</sup>		4,15E-11	7,59E-11	1,8	3,13E-10	4,12E-10	1,3
<sup>41</sup> Ca	18,2 <sup>(5)</sup>	10,7 <sup>(5)</sup>	1,25 <sup>(1)</sup>	3,61E-10	6,69E-10	1,9	4,74E-10	8,40E-10	1,8
<sup>36</sup> Cl	11,7 <sup>(6)</sup>	6,9 <sup>(6)</sup>	2,44 <sup>(2,3,4)</sup>	2,37E-09	4,07E-09	1,7	5,71E-09	9,18E-09	1,6
	3,6 <sup>(7)</sup>	2,1 <sup>(7)</sup>							
<sup>244</sup> Cm	0,03 <sup>(8)</sup>	0,00 <sup>(8)</sup>	0,59 <sup>(5,6,7,8,9)</sup>	1,67E-07	3,57E-07	2,1	2,21E-07	4,23E-07	1,9
			2,17 <sup>(10,11,12,13)</sup>						
<sup>135</sup> Cs	10,5 <sup>(9)</sup>	6,2 <sup>(9)</sup>	0,97 <sup>(14)</sup>	9,74E-09	1,37E-08	1,4	1,23E-08	1,64E-08	1,3
<sup>137</sup> Cs	2,1 <sup>(10)</sup>	4,6 <sup>(10)</sup>	2,14 <sup>(15)</sup>	5,17E-08	7,26E-08	1,4	6,39E-08	8,57E-08	1,3
<sup>3</sup> H	23,7 <sup>(11)</sup>	51,4 <sup>(11)</sup>	2,65 <sup>(16)</sup>	3,94E-11	5,79E-11	1,5	5,81E-11	8,33E-11	1,4
	19,4 <sup>(12)</sup>	42,1 <sup>(12)</sup>	0,9 <sup>(17)</sup>						
<sup>129</sup> I	5,3 <sup>(13)</sup>	11,5 <sup>(13)</sup>		1,43E-07	2,43E-07	1,7	2,02E-07	3,23E-07	1,6
<sup>93</sup> Mo	111,9 <sup>(14)</sup>	108,6 <sup>(14)</sup>		7,06E-09	1,32E-08	1,9	9,26E-09	1,55E-08	1,7
<sup>94</sup> Nb	48,5 <sup>(15)</sup>	104 <sup>(15)</sup>		3,64E-09	6,72E-09	1,8	1,11E-07	1,14E-07	1,0
	43,1 <sup>(16)</sup>	114,1 <sup>(16)</sup>							
<sup>59</sup> Ni	3,7 <sup>(17)</sup>	3,3 <sup>(17)</sup>		1,05E-10	2,25E-10	2,1	1,55E-10	3,04E-10	2,0
<sup>63</sup> Ni				2,26E-10	4,82E-10	2,1	3,34E-10	6,48E-10	1,9
<sup>236</sup> Np				2,37E-08	5,06E-08	2,1	3,21E-08	6,05E-08	1,9
<sup>237</sup> Np				1,55E-07	3,30E-07	2,1	2,09E-07	3,94E-07	1,9

	Consumptiehoeveelheden Q			BCF inname voedingsgewassen			Totale BCF		
	[kg/a of m³/a]			[Sv/a per Bq/m³]			[Sv/a per Bq/m³]		
	BE = gem	rec	max / min	Q BE	Q rec	rec / BE	Q BE	Q rec	rec / BE
<sup>231</sup> Pa				1,33E-06	2,73E-06	2,0	2,13E-06	3,90E-06	1,8
<sup>107</sup> Pd				9,20E-11	1,78E-10	1,9	1,10E-10	2,03E-10	1,8
<sup>236</sup> Pu				1,21E-07	2,59E-07	2,1	1,59E-07	3,06E-07	1,9
<sup>238</sup> Pu				3,21E-07	6,84E-07	2,1	4,22E-07	8,11E-07	1,9
<sup>239</sup> Pu				3,48E-07	7,45E-07	2,1	4,66E-07	8,89E-07	1,9
<sup>240</sup> Pu				3,48E-07	7,45E-07	2,1	4,66E-07	8,88E-07	1,9
<sup>241</sup> Pu				6,69E-09	1,43E-08	2,1	8,80E-09	1,69E-08	1,9
<sup>242</sup> Pu				3,36E-07	7,15E-07	2,1	4,48E-07	8,54E-07	1,9
<sup>244</sup> Pu				3,37E-07	7,19E-07	2,1	4,97E-07	9,05E-07	1,8
<sup>226</sup> Ra				5,35E-07	9,95E-07	1,9	9,38E-07	1,53E-06	1,6
<sup>79</sup> Se				6,38E-09	1,16E-08	1,8	2,06E-08	2,15E-08	1,0
<sup>126</sup> Sn				1,24E-08	2,19E-08	1,8	4,03E-08	5,02E-08	1,2
<sup>90</sup> Sr				4,82E-08	1,02E-07	2,1	6,32E-08	1,22E-07	1,9
<sup>99</sup> Tc				9,07E-10	1,96E-09	2,2	1,21E-09	2,33E-09	1,9
<sup>229</sup> Th				9,12E-07	1,93E-06	2,1	1,23E-06	2,31E-06	1,9
<sup>230</sup> Th				3,15E-07	6,65E-07	2,1	4,19E-07	7,91E-07	1,9
<sup>232</sup> Th				1,59E-06	3,37E-06	2,1	2,25E-06	4,15E-06	1,8
<sup>232</sup> U				6,68E-07	1,42E-06	2,1	9,24E-07	1,72E-06	1,9
<sup>233</sup> U				9,56E-08	1,95E-07	2,0	1,35E-07	2,36E-07	1,7
<sup>234</sup> U				9,20E-08	1,87E-07	2,0	1,30E-07	2,27E-07	1,7
<sup>235</sup> U				8,88E-08	1,81E-07	2,0	1,39E-07	2,32E-07	1,7
<sup>236</sup> U				8,84E-08	1,80E-07	2,0	1,25E-07	2,18E-07	1,7
<sup>238</sup> U				9,09E-08	1,85E-07	2,0	1,31E-07	2,27E-07	1,7
<sup>93</sup> Zr				3,23E-09	5,17E-09	1,6	3,77E-09	5,84E-09	1,5

	Consumptiehoeveelheden Q			BCF inname voedingsgewassen			Totale BCF		
	[kg/a of m³/a]			[Sv/a per Bq/m³]			[Sv/a per Bq/m³]		
	BE = gem	rec	max /min	Q BE	Q rec	rec / BE	Q BE	Q rec	rec / BE
<sup>227</sup> Ac				3,57E-07	6,51E-07	1,8	n.v.t. (opgenomen bij <sup>231</sup> Pa)		
<sup>210</sup> Pb				9,55E-08	1,83E-07	1,9	n.v.t. (opgenomen bij <sup>226</sup> Ra)		
<sup>210</sup> Po				3,05E-08	5,57E-08	1,8	n.v.t. (opgenomen bij <sup>226</sup> Ra)		

## 1 HS14-045 – Veranderingen in de biosfeer

In § 14.2.3.1 op p14-13 wordt gesteld dat “*factoren die een invloed kunnen hebben op de radiologische impact in termen van veranderingen in geosfeer en biosfeer, maar de bergingsinstallaties zelf ongemoeid laten, worden afgedekt tijdens de ontwikkeling van de geosfeer- en biosfeermodellen en dus niet verder beschouwd tijdens de identificatie van de relevante AES'en*”.

Gezien de door NIRAS gekozen benadering, waarbij toekomstige evoluties afgedekt worden door het gebruikte model, vragen FANC en Bel V om een argumentatie voor te leggen die op een traceerbare wijze aantoont op welke manier de mogelijke toekomstige veranderingen van de biosfeer afgedekt worden door de hypothesen en parameterwaarden van het gebruikte model.

## 2 Antwoord NIRAS

De tijdschalen waarover radionucliden kunnen vrijkomen uit het bergingssysteem bestrijken honderden tot duizenden jaren. Over dergelijke tijdschalen kunnen enorme veranderingen optreden in de biosfeer zelf en de gewoonten van de mensen die erin leven. Inderdaad stelt het Internationaal Atoomenergie Agentschap (IAEA) dat [1]

*“the treatment of the biosphere is particularly different from other parts of the system under assessment because the likely changes in the biosphere will be larger and occur more quickly than in other parts of the disposal system (domain)”*

Omdat de kennis m.b.t. de toestand van de biosfeer en de levensstijl van de mensen erin louter speculatief is, wordt in de veiligheidsevaluatie uitgegaan van diverse hypothetische onderstellingen die hun weerslag kunnen hebben op de berekende dosis. De methodologie voor ontwikkeling van “referentiebiosferen” wordt in deze context internationaal erkend en aanvaard.

Over de betrokken tijdschalen is de aanname dat de huidige omstandigheden blijven voortbestaan moeilijk te verantwoorden. Een natuurlijke evolutie die zich met grote waarschijnlijkheid zal voordoen en een significante invloed zal hebben op de uiteindelijke blootstelling, is *klimaatsverandering* (§2.1).

Ook een *verandering in landgebruik* (§2.2) – al dan niet ten gevolge van klimaatsverandering – kan aanleiding geven tot een verschillende ontwikkeling en gebruik van de biosfeer en wijzigingen van de transfer- en blootstellingswegen over de tijdschalen waarover de kwantitatieve evaluatie loopt.

M.b.t. de keuze van de representatieve personen, kadert het in de referentiebiosfeermethodologie om deze te baseren op de huidige levensstijl, voor zover die in grote lijnen representatief is voor het klimaat dat zich instelt.

### 2.1 Klimaatsverandering

#### 2.1.1 Verwachte evolutie en onzekerheden

*Verwachte evolutie*

**België kent vandaag een gematigd zeeklimaat (DO in de Köppen-Trewartha classificatie) – gegevens m.b.t. de maandelijks gemiddelde neerslaghoeveelheid en temperatuur in Dessel (periode 1990 – 2009) zijn opgenomen in**

Tabel 19 en Tabel 20 in §2.1.2 van dit antwoord. De gemiddelde breedtegraad van België (50°50' N) wordt gekarakteriseerd door de convergentie van koude polaire en warme tropische luchtmassa's. De atmosferische circulatie wordt gedomineerd door westenwinden, welke vochtige lucht aanvoeren van boven de Atlantische oceaan. De zomers zijn eerder koel en regenachtig, de winters vrij mild en nat (zie ook §3.4 van OD-077 [2]).

Op basis van klimaatmodellering verwacht IPCC tegen 2100 een globale temperatuurstijging in de range van 1,8°C tot 4°C (onzekerheidsrange 1,1°C – 6,4°C). Voor Europa zouden de temperaturen sterker toenemen dan het globale gemiddelde, met in Noord-Europa (48° N – 75° N dus met inbegrip van België) vooral een opwarming van de winters. Onder het A1B scenario wordt een temperatuurstijging gesimuleerd tussen 2,3°C en 5,1°C. De gesimuleerde temperatuurstijging per seizoen wordt gegeven in Tabel 17.

**Tabel 17 – Regionaal gemiddelde voor Noord-Europa van temperatuur- en neerslagvoorspellingen op basis van 21 globale modellen onder het A1B scenario. Er worden waarden gegeven voor de minimale en maximale voorspelde respons alsook voor het 25ste, 50ste en 75ste percentiel.**

Seizoen	Temperatuurrepons [°C]					Neerslagrespons [%]				
	min	25	50	75	max	min	25	50	75	max
Winter (DJF)	2,6	3,6	4,3	5,5	8,2	9	13	15	22	25
Lente (MAM)	2,1	2,4	3,1	4,3	5,3	0	8	12	15	21
Zomer (JJA)	1,4	1,9	2,7	3,3	5,0	-21	-5	2	7	16
Herfst (SON)	1,9	2,6	2,9	4,2	5,4	-5	4	8	11	13
Jaar	2,3	2,7	3,2	4,5	5,3	0	6	9	11	16

Ook de jaarlijkse neerslaghoeveelheid zou zeer waarschijnlijk toenemen (0 – 16%) in het grootste deel van Noord-Europa. De grootste toename van de neerslaghoeveelheid wordt verwacht in de winter. In de zomer wordt niet systematisch door alle modellen een toe- of afname gesimuleerd – wel is het zo dat de meeste modellen ten zuiden van 55° N een vermindering in de neerslag verwachten.

Verder zijn er indicaties voor wijzigingen in de windcirculatie, die een invloed hebben op de neerslaghoeveelheden: in de winter wordt een toename van de neerslag verwacht (onder invloed van toenemende westenwinden), in de zomer veelal een afname (meer oostenwinden).

Met uitzondering van de laagste waarden<sup>22</sup> in Tabel 17 betekenen deze verwachtingen m.b.t. klimaatsverandering een vrij snelle (i.e. tegen het einde van deze eeuw)

22

Hiervoor blijft de opwarming beperkt & de temperatuur in de koudste maanden bijgevolg te laag om van een subtropisch klimaattype te kunnen spreken.

transitie naar een (subtropische) Cr of – rekening houdend met het feit dat de modellen ten zuiden van 55° N een afname van de neerslag verwachten in de zomermaanden – Cs klimaattoestand.

Ook na het eind van de eeuw wordt verwacht dat de klimaatopwarming zich doorzet; waarbij de temperaturen aan het aardoppervlak zich wel stabiliseren na een tijdschaal van enkele honderden tot duizenden jaren indien de stralingsforcing gestabiliseerd is (zie bijv. §10.7.2 van [3] en §12.5 van [4]).

Coherent met de ontwikkeling van een Cs klimaat in de regio's in Centraal Engeland en Noordoost Frankrijk zoals voorspeld door BIOCLIM op basis van de B3 en B4 scenario's<sup>23</sup> [4], verwachten we dan ook een instandhouding van een dergelijke klimaattoestand – warmer dan vandaag, met drogere zomers – gedurende de volledige periode van ongeveer 10 000 jaar (zie antwoord op HS14-006) relevant voor de evaluatie van de oppervlaktebergingsinrichting in Dessel en zelfs daarna.

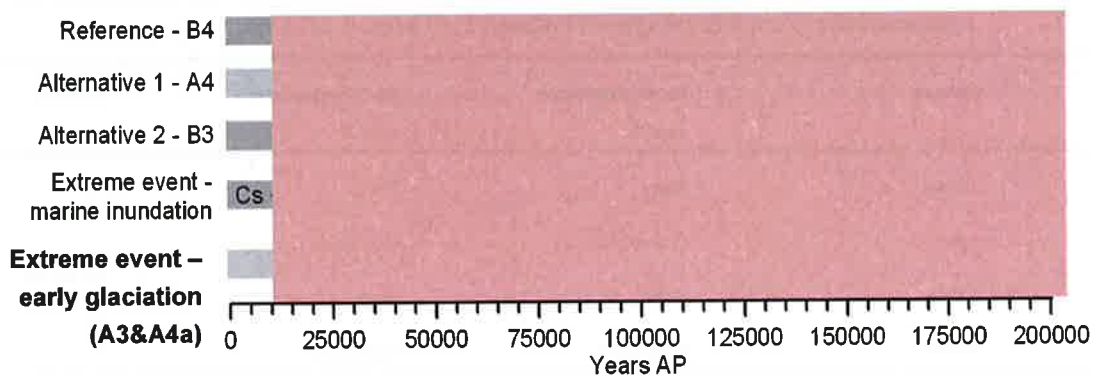
#### *Onzekerheden*

De belangrijkste drijvende krachten voor klimaatsverandering zijn zonnestraling (stralingsforcing) en CO<sub>2</sub> (natuurlijke variaties en verhoogde concentraties door menselijke activiteit). De komende 50 000 jaar worden relatief beperkte variaties in de amplitude van de zonnestraling verwacht [6], waardoor de verhoogde CO<sub>2</sub> concentratie in de atmosfeer en de lange verblijftijd van CO<sub>2</sub> in de atmosfeer een grote invloed kunnen hebben op het klimaat.

Binnen BIOCLIM worden 15 CO<sub>2</sub> scenario's voorgesteld, waarvan er enkele naar voren worden geschoven als meest relevant [6]:

- In een eerste set simulaties worden enkel natuurlijke variaties in de CO<sub>2</sub>-concentratie beschouwd (A3, A4a en A4b). Onder deze omstandigheden wordt de klimaatevolutie sterk gestuurd door de zonnestraling, maar de CO<sub>2</sub> concentratie kan de effecten hiervan op de variaties in ijsvolumes versterken dan wel beperken. Uit deze simulaties blijkt dat een klimaattoestand vergelijkbaar met de hedendaagse (DO) gedurende meerdere tienduizenden jaren standhoudt, waarna een afkoeling zich doorzet (zie Figuur 34).
- In een tweede set simulaties wordt de natuurlijke CO<sub>2</sub>-variatie gecombineerd met verschillende bijdragen door menselijke activiteit (fossiele brandstof, scenario's B1, B3 en B4). Door deze menselijke invloed te beschouwen, wordt een opwarming verwacht t.o.v. het huidige klimaat, die gedurende meer dan 100 000 jaar standhoudt (zie Figuur 34). Hoewel de jaargemiddelde beschikbare hoeveelheid water ongeveer constant zou blijven, worden drogere zomers voorspeld.





**Figuur 34 – Mogelijke klimaatevolenties voor de site van Dessel op basis van BIOCLIM [6]. DO is het huidige gematigde zeeklimaat; Cs en Cr zijn subtropische klimaattypes al dan niet met droge zomers; EO en FT zijn koude toendrasklimaten zonder en met permafrost. De relevante tijdschalen voor de evaluatie van de oppervlaktebergingsinrichting in Dessel zijn beperkt tot 10 000 jaar.**

Dit wordt schematisch samengevat in Figuur 34. Over de relevante tijdschalen voor de evaluatie van de oppervlaktebergingsinrichting in Dessel worden drie mogelijke klimaattoestanden beschouwd:

- een Cs-klimaat (subtropisch met droge zomers),
- een Cs-klimaat met stijging van de zeespiegel (zie verder §2.1.3.2),
- een DO-klimaat.

### 2.1.2 Keuze van referentiebiosferen met klimaatsverandering

Op basis van de informatie in §2.1.1 verwachten we gedurende de volledige periode relevant voor de evaluatie van de veiligheid op lange termijn, na sluiting van de bergingsinrichting, een subtropische klimaattoestand.

De aanwezige onzekerheden hebben niet zozeer betrekking op de *aard* van de klimaattoestand dan wel op de grootte van de temperatuur- en neerslagrespons (Tabel 17). Om een range van mogelijke klimaatomstandigheden te definiëren op basis van de beschikbare voorspellingen, met bijzondere aandacht voor de temperatuur, neerslaghoeveelheid en verdeling van de neerslag en temperaturen doorheen de seizoenen, wordt gebruikt gemaakt van de CCI-HYDR studies [3]. Hierin worden, op basis van zgn. perturbatiefactoren voor het huidige klimaat, 3 scenario's gedefinieerd:

- een “hoog/nat” scenario met natte winters en droge zomers;
- een “laag/droog” scenario met droge winters en droge zomers;
- een “gemiddeld” scenario.

Tabel 18 geeft aan welke perturbatiefactoren (hoog, gemiddeld of laag) van toepassing zijn op de temperatuur  $T$  en de neerslaghoeveelheid  $P$  onder de drie scenario's. Merken we hierbij op dat het “gemiddelde” scenario ‘gemiddelde’ omstandigheden vertegenwoordigt en in die zin niet noodzakelijk een “beste schatting” voor de toekomst vormt.

**Tabel 18 – CCI-HYDR scenario's en geassocieerde perturbatiefactoren voor temperatuur T en neerslaghoeveelheid P (Table 9 uit [3]).**

Seizoen	Perturbatiefactor voor T	Perturbatiefactor voor P	Scenario
Winter	Hoog	Hoog	<b>Hoog/Nat</b>
Lente	Gemiddeld	Gemiddeld	
Zomer	Hoog	Laag	
Herfst	Gemiddeld	Gemiddeld	
Winter	Gemiddeld	Gemiddeld	<b>Gemiddeld</b>
Lente	Gemiddeld	Gemiddeld	
Zomer	Gemiddeld	Gemiddeld	
Herfst	Gemiddeld	Gemiddeld	
Winter	Laag	Laag	<b>Laag/Droog</b>
Lente	Laag	Gemiddeld	
Zomer	Laag	Laag	
Herfst	Laag	Gemiddeld	

De maandelijkse perturbatiefactoren voor de RCMs<sup>24</sup> uit Table 6 van [3] werden, volgens de principes van Tabel 18, toegepast op de gemiddelde maandelijkse *neerslaghoeveelheden* in Dessel (1990 – 2009) om tot een range van maandelijkse neerslaghoeveelheden te komen onder de drie CCI-HYDR scenario's (

Tabel 19).

Zelfs onder het “hoge/natte” scenario neemt de totale neerslaghoeveelheid *af* in vergelijking met het huidige klimaat. Wel is er onder dat scenario een sterk uitgesproken seizoenseffect met nattere winters en drogere zomers: tijdens de droogste maand (augustus) valt er slechts 18mm neerslag, wat (veel) minder is dan 1/3 van de neerslag in de natste maand (december; 137,5 mm).

**Tabel 19 – Geprojecteerde maandelijkse neerslaghoeveelheid P [mm/maand] voor Dessel, op basis van waarnemingen voor de periode 1990-2009 en perturbatiefactoren voor de “lage”, “gemiddelde” en “hoge” CCI-HYDR scenario’s.**

Maand	Dessel	Neerslag P [mm/maand]		
		“Laag / Droog”	“Gemiddeld”	“Hoog / Nat”
1	74,3	72,9	90,0	122,0
2	71,2	63,2	88,6	119,9
3	65,2	77,7	77,7	77,7
4	48	47,5	47,5	47,5
5	58,1	51,2	51,2	51,2
6	79,2	36,8	58,2	36,8
7	95,5	27,5	58,4	27,5
8	74,5	18,0	42,6	18,0
9	76,5	58,4	58,4	58,4
10	75,3	70,1	70,1	70,1
11	84,9	83,6	83,6	83,6
12	87,5	78,9	100,4	137,5
<b>Jaarlijks [mm/a]</b>	<b>890,3</b>	<b>685,9</b>	<b>826,8</b>	<b>850,2</b>

De maandelijkse perturbatiefactoren voor de RCMs24 uit Table 3 van [3] werden, volgens de principes van Tabel 18, toegepast op de maandelijkse gemiddelde *temperatures* in Dessel (1990 – 2009) om tot een range van maandelijkse gemiddelde *temperatures* te komen onder de drie CCI-HYDR scenario’s (Tabel 20).

**Tabel 20 – Geprojecteerde maandelijkse temperatuur [°C] voor Dessel, op basis van waarnemingen voor de periode 1990-2009 en perturbatiefactoren voor de “lage”, “gemiddelde” en “hoge” CCI-HYDR scenario’s.**

Maand	Dessel	Temperatuur T [°C]		
		“Laag / Droog”	“Gemiddeld”	“Hoog / Nat”
1	3,6	5,1	6,8	7,8
2	4,2	4,9	6,5	8,1
3	6,8	7,9	9,0	9,0
4	9,9	11,4	12,5	12,5
5	13,9	15,4	16,8	16,8

Maand	Dessel	Temperatuur T [°C]		
		“Laag / Droog”	“Gemiddeld”	“Hoog / Nat”
6	16,3	17,9	19,7	21,7
7	18,3	20,8	22,7	25,6
8	18,1	20,9	23,4	27,0
9	14,8	17,8	19,5	19,5
10	11,0	13,4	14,8	14,8
11	6,7	8,8	10,0	10,0
12	3,6	5,1	6,6	8,3
<b>Jaarlijks [°C]</b>	<b>10,6</b>	<b>12,5</b>	<b>14,0</b>	<b>15,1</b>

Het ‘lage’ scenario wordt gekenmerkt door meer dan 4 maanden met een temperatuur < 10°C en stemt dus strikt genomen niet overeen met een ‘subtropisch’ klimaat, hoewel er ook onder dit scenario een belangrijke opwarming wordt genoteerd. Wel kan het als representatief beschouwd worden voor de mogelijke doch niet verwachte instandhouding van een DO klimaat (zie Figuur 34).

De ‘gemiddelde’ en ‘hoge’ scenario’s stemmen wel overeen met de classificatie ‘subtropisch’. In het ‘gemiddelde’ scenario is er geen uitgesproken seizoenseffect van de neerslag (

Tabel 19): het wordt geclassificeerd als een Cr klimaat, terwijl het ‘hoge’ scenario een Cs klimaat vertegenwoordigt.

Hoe dan ook wordt de verwachte klimaatevolutie gekenmerkt door onzekerheden en is er momenteel onvoldoende kennis/validatie om het ene of het andere klimaatscenario uit te sluiten – een klimaatscenario is dan ook eerder “*een plausible beschrijving van een mogelijke toekomstige situatie, i.e. een manier om de mogelijke gevolgen van bepaalde randvoorwaarden (uitstoot van broeikasgassen, economische factoren,...) in kaart te brengen*” dan wel een (realistische) voorspelling. Ook de klimaatclassificatie blijft tot op zekere hoogte artificieel.

Bovendien werden de CCI-HYDR scenario’s in eerste instantie opgesteld met als doel een brede range van (hydrologische) impacts van klimaatsverandering af te dekken. In ieder geval omvatten zij een range van klimaatomstandigheden die zich de komende duizenden jaren kunnen voordoen in Dessel, met inbegrip van het in BIOCLIM voorspelde Cs klimaat. Daarom stellen we voor een (constante) referentiebiosfeer te ontwikkelen rond elk van de drie CCI-HYDR klimaatscenario’s en dit op basis van een agrarisch landgebruik (huidige situatie in Dessel).

In vergelijking met de verwachtingen en ranges van temperatuur- en neerslagrespons (Tabel 17), leidt het ‘hoge’ CCI-HYDR klimaatscenario (Cs-klimaat) tot een omhullende evaluatie, in het licht van de hogere temperatuur in de zomermaanden en de lagere (jaarlijkse) neerslag. Deze parameters beïnvloeden immers de potentiële evapotranspiratie en de hiermee verbonden irrigatiebehoefte, welke hoger is in een warmer en droger klimaat.

### **2.1.3 Verdere overwegingen m.b.t. gevolgen van klimaatsverandering voor de biosfeer**

Klimaatsverandering kan gevolgen hebben voor de biosfeer (zie ook hoofdstuk 9 van OD-077).

De overwegingen uit Tabel 3 van OD-030 [8] hieromtrent kunnen vervangen worden door volgende informatie:

#### **2.1.3.1 ‘Climate change, regional and local’ (FEP 1.3.03)**

Zoals beschreven in §2.1.1, verwachten we voor de periode na sluiting van de bergingsinrichting een subtropische klimaattoestand op de site van Dessel.

Door referentiebiosferen te ontwikkelen rond de CCI-HYDR klimaatscenario’s (§2.1.2) wordt rekening gehouden met deze verwachte klimaatsverandering.

De gevolgen van een subtropisch klimaat voor de biosfeer zijn toe te schrijven aan een mogelijke stijging van de zeespiegel door het smelten van poolijs en drogere zomers (Tabel 21).

**Tabel 21 – Verwachte klimaatverandering en gevolgen voor de biosfeer.**

<b>Fenomeen</b>	<b>Gevolgen voor de biosfeer nabij de site</b>	<b>Behandeling in model</b>
	<i>Ontwikkeling van kustlijn nabij de site; mogelijke overstroming</i>	Zie FEP 1.3.04 (§2.1.3.2)
<b>Stijging van de zeespiegel</b>	<i>Nattere ondergrond (dus lagere irrigatiebehoefte)</i>	Een lagere irrigatiebehoefte zal impactverlagend werken dus het huidige model (met een hoge irrigatiebehoefte) is omhullend.
	<i>Toenemende winderosie van (droge) zandgronden nabij de site</i>	Het model is conservatief (overschatting van de concentratie in de grond) aangezien winderosie niet als verliesmechanisme beschouwd wordt voor de concentratie in de grond – zie § 3.2.4 van OD-030 [5]
<b>Droge zomers</b>	<i>Grotere irrigatiebehoefte</i>	Het model houdt rekening met de evolutie naar een subtropisch klimaat met droge(re) zomers en dus met een toenemende irrigatiebehoefte t.o.v. de huidige omstandigheden. De irrigatiebehoefte in het ‘hoge’ CCI-HYDR klimaatscenario kan als omhullend worden beschouwd (zie ook §2.1.2 en HS14-044).
	<i>Overgang naar (traditionele) mediterrane landbouw (gewassen aangepast aan klimaat) [9]</i>	Typisch voor de mediterrane landbouw zijn gewassen als olijven, druiven, citroenen, sinaasappels, dadels, vijgen,... die behoren tot de hardbladige vegetatie (welke traag uitdrogen) en lange, breed verspreide wortels hebben. Daarnaast worden granen geteeld, veelal tijdens de (natte) winter. De traditionele mediterrane landbouw kenmerkt zich door de afwezigheid van, of een zeer beperkte, irrigatie. In termen van contaminatie kan dan ook gesteld worden dat het model omhullend is voor mediterrane landbouw.

### 2.1.3.2 ‘Sea level change’ (FEP 1.3.04)

Er zijn indicaties dat een stijging van de zeespiegel met 20-25m niet kan worden uitgesloten in de komende 10 000 jaar, hoewel er grote onzekerheden verbonden zijn met een dergelijk scenario (§4.2 van OD-077 [2]). In dat geval zou de kustlijn opschuiven tot in de buurt van de bergingsinrichting in Dessel.

Onder dergelijke omstandigheden verwachten we een verzilting van het grondwater, waardoor de waarschijnlijkheid van een waterput voor privégebruik (en irrigatiedoeleinden) erg laag wordt. Bovendien bestaat bij een nog verder opschuiven van de kustlijn de mogelijkheid van dilutie in zeewater, waardoor de impact verwaarloosbaar is in vergelijking met de referentiebiosfeer geassocieerd met de waterput voor privégebruik.

Treedt overstroming op, dan is de dilutie in zeewater nog sterker en wordt de evaluatiebiosfeer herleid tot een situatie waarin enkel nog blootstelling kan optreden ten gevolge van sedimentatie (strand) en visvangst. Ook de impact hiervan zal verwaarloosbaar zijn in vergelijking met de referentiebiosfeer geassocieerd met de waterput voor privégebruik.

De biosfeerconversiefactoren geassocieerd met een waterput voor privégebruik, waarin de blootstelling het gevolg is van landbouwactiviteit, zijn in ieder geval omhullend in termen van mogelijke impacts.

#### **2.1.3.3 ‘Periglacial effects’ (FEP 1.3.05)**

De overgang naar een koud klimaat zonder permafrost (EO) wordt in de meer waarschijnlijke BIOCLIM klimaatscenario's B1, B3 en B4 (waarin natuurlijke CO<sub>2</sub> gecombineerd wordt met verschillende concentraties veroorzaakt door fossiele brandstoffen – zie § 4.3 van OD-077 [2]) pas verwacht na ~170 000 jaar (Figuur 34).

Voor een oppervlaktebergingsinrichting zijn deze tijdschalen niet relevant; er is dus geen nood aan een referentiebiosfeer rond een dergelijk klimaatscenario.

#### **2.1.3.4 ‘Glacial and ice sheet effects’ (FEP 1.3.06)**

Zelfs onder de strengste klimaatscenario's (enkel natuurlijke CO<sub>2</sub>) wordt een vroege ijstijd pas verwacht na ~53 000 jaar (Figuur 34).

Voor een oppervlaktebergingsinrichting zijn dergelijke tijdschalen niet relevant; er is dus geen nood aan een referentiebiosfeer rond een dergelijk klimaatscenario..

#### **2.1.3.5 ‘Warm climate effects (tropical and desert)’ (FEP 1.3.07)**

Er is geen enkele indicatie dat het klimaat in België naar een tropische toestand zou evolueren (§2.1.1).

Er is dus geen nood aan een referentiebiosfeer rond een dergelijk klimaatscenario.

#### **2.1.3.6 ‘Ecological response to climate change’ (FEP 1.3.09)**

De verwachte klimaattevolutie is van dien aard dat er slechts beperkte effecten verwacht worden voor de fauna. Niettemin zijn er al effecten van klimaatverandering op de biodiversiteit waargenomen in België [10], zoals vroege migratie van bepaalde vogel- en insectensoorten (libellen, vlinders). Het gevaar bestaat erin dat veranderingen in de fenologie van bepaalde biota de interactie met andere biota kan verstoren (bv. gewijzigde bloeiperiode van een bepaalde plant vs. de uitbraak van de insecten die tussenkomen in de voortplanting van die plant). Bovendien zullen biota die aangepast zijn aan een warmer klimaat (bv. tropische insecten) beter gedijen, wat gevolgen kan hebben voor de lokale biota.



Wat betreft de flora moet rekening worden gehouden met een toenemende evapotranspiratie (§ 9.4.2 van OD-077 [2]) en een mogelijke toenemende frequentie van extreme weersomstandigheden (zoals stormen) welke een invloed kunnen hebben op bomen. Bij een stijgende zeespiegel kunnen zich zoutige moerassen vormen in wat nu het binnenland is, en zal de vegetatie zich hieraan moeten aanpassen.

Toch moet men er rekening mee houden dat iedere voorspelling van wijzigingen van ecosystemen speculatief is. Gegeven de huidige state-of-the-art m.b.t. de evaluatie van impact op niet-menselijke biota [11] waarin generieke referentieorganismen worden gebruikt, heeft het geen toegevoegde waarde om mogelijke wijzigingen qua biota te beschouwen.

#### **2.1.3.7 'Human response to climate change' (FEP 1.3.10)**

Bij een beperkte toename van de temperatuur, wat in de lijn der verwachtingen ligt, worden weinig gevolgen van de klimaatsverandering verwacht voor de landbouw in België [10].

Hoewel een hogere gemiddelde temperatuur de opbrengst van bepaalde gewassen verlaagt (snellere groei waardoor de plant sneller klaar is voor oogst en minder organische materie accumuleert), zal dit effect gecompenseerd worden door de verhoogde CO<sub>2</sub> concentratie welke een vruchtbaar effect heeft. CO<sub>2</sub> verhoogt ook de efficiëntie van het watergebruik door de plant.

Externe gebeurtenissen zoals zware regen en de verspreiding van "exotische" plagen kunnen wel een negatief effect hebben. Gegeven de beperkte temperatuurstijging zal de te verwachten impact echter beperkt zijn.

Globaal kan dan ook gesteld worden dat de huidige levensstijl en landbouwmethodes coherent zijn met de referentiebiosferen waarin de verwachte klimaatsverandering wordt beschouwd (§2.1.2).

#### **2.1.3.8 'Human influences on climate' (FEP 1.4.01)**

Menselijke handelingen, die aanleiding geven tot een hoge CO<sub>2</sub>-productie, zijn een drijfveer voor klimaatsverandering en, voor de site in Dessel, de evolutie naar een subtropische klimaattoestand – zie FEP 1.3.03 (§2.1.3.1).

## **2.2 Verandering in landgebruik**

Verandering in landgebruik kan een gevolg zijn van klimaatsverandering, maar kan ook optreden ten gevolge van andere factoren. De overwegingen Tabel 4 van OD-030 [8] hieromtrent kunnen vervangen worden door volgende informatie:

### **2.2.1 'Erosion and sedimentation' (FEP 1.2.07)**

Een stijging van de zeespiegel (ten gevolge van de voortdurende globale opwarming) kan de loop en karakteristieken van de rivieren wijzigen. Het land wordt natter (zie ook FEP 1.3.03 in §2.1.3.1) en sedimentatie kan geleidelijk aan belang winnen. Het

effect hiervan zal vermoedelijk domineren over erosie, waardoor de topografie van de site kan veranderen (§9.1.1 van OD-077 [2]).

Een significante stijging van het zeeniveau, waardoor de kustlijn in de omgeving van de bergingsinrichting komt te liggen, kan eveneens de topografie wijzigen.

De tijdschalen van deze processen strekken zich echter uit in de zeer verre toekomst en ook de precieze gevolgen zijn moeilijk te voorspellen.

De biosfeerconversiefactoren geassocieerd met een waterput voor privégebruik, waarin de blootstelling het gevolg is van landbouwactiviteit, zijn in ieder geval omhullend in termen van mogelijke impacts.

## **2.2.2 ‘Topography and morphology’ (FEP 2.3.01)**

Het reliëf van de site is grotendeels onveranderd gebleven sinds het Holoceen. Toch is het niet uitgesloten dat zich op lange termijn, onder impuls van klimaatsverandering, wijzigingen voordoen. Zie verder FEP 1.2.07 (§2.2.1).

## **2.2.3 ‘Changes to the surface environment’ (FEP 2.3.07)**

Veranderingen in de directe leefomgeving van de mens zijn inherent onvoorspelbaar. Zie verder FEP 1.2.07 (§2.2.1) en 2.4.12 (§2.2.8).

## **2.2.4 ‘Site development’ (FEP 1.4.08)**

Hoe de site ontwikkeld zal worden op tijdschalen van honderden tot duizenden jaren is inherent onvoorspelbaar. Veranderingen in topografie komen aan bod in de bespreking van FEP 2.3.01 (§2.2.2).

Door de mens geïntroduceerde veranderingen betreffen enerzijds wijzigingen in het landgebruik in de onmiddellijke omgeving (zie FEPs 2.4.09, 2.4.10, 2.4.11 en 2.4.12 in §2.2.5 t.e.m. §2.2.8) en anderzijds een hergebruik van de site, waarbij de integriteit van de bergingsinrichting mogelijks gehypothekeerd wordt. Dit is echter een geval van (opzettelijke of onopzettelijke) menselijke intrusie, wat buiten het toepassingsgebied van de biosfeerevaluatie valt.

## **2.2.5 ‘Rural and agricultural land and water use’ (FEP 2.4.09)**

De referentiebiosferen voor zowel de waterput, de rivier als de kwelgebieden gaan uit van landbouwactiviteit op het platteland. Zoals beschreven bij FEP 1.3.10 wordt er geen grote invloed van klimaatsverandering verwacht op de landbouw (§2.1.3.7).

## **2.2.6 Urban and industrial land and water use (FEP 2.4.10)**

In geval van stedelijk en industrieel landgebruik is er geen landbouw in de buurt van de site, waardoor de meest belangrijke blootstellingswegen (ingestie) wegvallen. Het beschouwen van landbouw is omhullend.

De vaste fase van de aquifer kan optreden als biosfeerreceptor. Het potentieel voor zowel contaminatie als blootstelling is echter laag, zoals beschreven in §6.3.2 van OD-029 [12] en §2.3.2 van OD-030 [8].

### **2.2.7 Leisure and other uses of environment (FEP 2.4.11)**

Ingeval de site wordt ontwikkeld tot een recreatiedomein, vallen eveneens de belangrijkste blootstellingswegen (ingestie) weg. Het beschouwen van landbouw is omhullend.

In het geval van de rivier als receptor wordt vrijetijdsbesteding in rekening gebracht (blootstelling aan sediment).

### **2.2.8 Land use changes (FEP 2.4.12)**

Landbouw is in termen van impact omhullend (zie FEP 2.4.09, 2.4.10 en 2.4.11 in vorige paragrafen). Aangezien geen grote invloed van klimaatsverandering wordt verwacht op de landbouw (zie FEP 1.3.10 in §2.1.3.7) is er geen nood aan de ontwikkeling van bijkomende referentiebiosferen waarin een veranderd landgebruik wordt beschouwd.

### **2.2.9 Agricultural and fisheries practice change (FEP 2.4.12.01)**

Aangezien geen grote invloed van klimaatsverandering wordt verwacht op de landbouw (zie FEP 1.3.10 in §2.1.3.7) is er geen nood aan de ontwikkeling van bijkomende referentiebiosferen waarin een veranderd landgebruik wordt beschouwd.

Ingeval in respons op de klimaatsverandering toch zou worden overgeschakeld op (traditionele) mediterrane landbouw, zal de contaminatie lager zijn (zie FEP 1.3.03 in §2.1.3.1).

## **2.3 Conclusie**

Over de relevante tijdschalen voor de evaluatie van de oppervlaktebergingsinrichting in Dessel worden drie mogelijke klimaattoestanden beschouwd:

- een Cs-klimaat (subtropisch met droge zomers),
- een Cs-klimaat met stijging van de zeespiegel,
- een DO-klimaat.

Er wordt een referentiebiosfeer ontwikkeld rond elk van de drie CCI-HYDR klimaatscenario's en op basis van een agrarisch landgebruik conform de huidige levensstijl en technieken die representatief blijven voor de verwachte klimaatsverandering. De representatieve personen zijn leden van de agrarische gemeenschap (volwassenen en kinderen) die in zelfvoorziening leven. In termen van mogelijke impacts is dit omhullend aan de impact bij een belangrijke stijging van de zeespiegel, waarbij de kustlijn tijdens de evaluatieperiode zou opschuiven tot in de buurt van de bergingsite van Dessel.

Gelet op het feit dat het 'hoge' CCI-HYDR klimaatscenario aanleiding geeft tot

- de hoogste infiltratie en, naar verwachting de hoogste piekfluxen uit de installatiemodellen (zie HS14-063); alsook

- de hoogste irrigatiebehoefte en dus de hoogste biosfeerconversiefactoren (zie HS14-044);

en dat de gevoeligheid van de geotransferfactor t.a.v. de onzekerheid in langjarige gemiddelde regionale beperkt blijft (zie HS14-040), draagt het beschouwen van het ‘hoge’ CCI-HYDR klimaatscenario als referentie bij tot het conservatisme van de veiligheidsevaluaties.

### **3 Aanpassingen aan het veiligheidsrapport**

Conform het antwoord in §2 van deze nota zal bij de update van de biosfeermodellering en de beschrijving hiervan rekening worden gehouden met het effect van klimaatsverandering.

### **4 Referenties**

- [1] International Atomic Energy Agency, *Alternative assessment contexts: implications for development of reference biospheres and biosphere modelling*, BIOMASS Theme 0, Working Document BIOMASS/T1/WD02, IAEA, Vienna, 1999
- [2] ONDRAF/NIRAS, *Long-term climate change and effects on disposal facility, geosphere and biosphere*, NIRON-TR 2009-07E Version 1, October 2011
- [3] Intergovernmental Panel on Climate Change, *Climate change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA, 996 pp., 2007
- [4] Intergovernmental Panel on Climate Change, *Climate change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA, 1535 pp., 2013
- [5] BIOCLIM, *Modelling Sequential Biosphere Systems under Climate change for Radioactive Waste Disposal*, Deliverable D10-12: *Development and Application of a Methodology for Taking Climate-Driven Environmental Change into Account in Performance Assessments*, 2004
- [6] BIOCLIM, *Global climatic features over the next million years and recommendation for specific situations to be considered*, Deliverable D3 of the BIOCLIM project on Modelling Sequential BIOSphere systems under CLIMate change for radioactive waste disposal, 2001
- [7] P. Baguis, V. Ntegeka, P. Willems & E. Roulin, *Extension of CCI-HYDR climate change scenarios for INBO*, Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek (INBO) & Belgian Science Policy – SSD Research Programme, Technical Report by K.U. Leuven – Hydraulics Section & Royal Meteorological Institute of Belgium, 31 pp., January 2009
- [8] ONDRAF/NIRAS, *Biosphere model report*, NIRON-TR 2008-19 E Version 2, 3 October 2011

- [9] [http://landbouwgeografie.magix.net/website/mediterrane\\_landbouw.31.html](http://landbouwgeografie.magix.net/website/mediterrane_landbouw.31.html)
- [10] National Climate Commission, *Belgian national climate change adaptation strategy*, December 2010
- [11] ONDRAF/NIRAS, *Environmental non-human biota impact assessment and associated risk linked with biosphere releases from category A waste disposal*, NIROND-TR 2010-09 E Version 1, 6 December 2011
- [12] ONDRAF/NIRAS, *Description of the environment*, NIROND-TR 2008-18E V2, 6 July 2011

## **1 HS14-046 – Biosfeermodel in het penaliserende scenario ‘grondwaterroute’**

De doelstelling van penaliserende scenario's (§14.12), die moeten dienen om de potentiële impact te berekenen wanneer er geen vertrouwen meer is in de voorspelling van de performantie van de bergingsinstallatie [<sup>xii</sup>], kan a priori geen reden zijn om een biosfeermodel te gebruiken dat verschillend is van het model dat gebruikt is in de periode voor de start van deze scenario's. Het kan in elk geval geen reden zijn om een andere referentiepersoon te beschouwen of om de blootstellingwegen die beschouwd werden als relevant voor de periode voor de start van de penaliserende scenario's niet meer te beschouwen in het scenario ‘grondwaterroute’ (§14.12.2).

Het FANC en Bel V vragen om voor het penaliserende scenario ‘grondwaterroute’ de biosfeerberekeningen uit te voeren rekening houdend met alle blootstellingswegen die ook beschouwd werden vóór de start van de penaliserende scenario's, en conform ook de vereiste RBIO3 van leidraad “biosfeer” [<sup>xiii</sup>].

## **2 Antwoord NIRAS**

In de berekeningen voor het (herwerkte) penaliserende grondwaterscenario [<sup>xiv</sup>], uitgevoerd in het kader van de herziening van Hoofdstuk 14 van het veiligheidsrapport, wordt gebruik gemaakt van dezelfde biosfeerconversiefactoren (BCFs) die worden aangewend onder het referentiescenario van geleidelijke uitloging.

Als *biosfeerreceptor* wordt de waterput voor privégebruik op 70m van de modules vooropgesteld, welke aanleiding geeft tot de hoogste impact in vergelijking met de alternatieve receptoren ‘rivier’ en ‘kwelgebieden’.

## **3 Aanpassingen aan het veiligheidsrapport**

Zie §2 van het antwoord.

## **4 Referenties**

## **1 HS14-047 – Potentieel meest blootgestelde groep en representatieve persoon in het biosfeermodel van het penaliserende scenario ‘grondroute’**

De doelstelling van penaliserende scenario's (§14.12), die moeten dienen om de potentiële impact te berekenen wanneer er geen vertrouwen meer is in de voorspelling van de performantie van de bergingsinstallatie [<sup>xv</sup>], kan a priori geen reden zijn om een biosfeermodel te gebruiken dat verschillend is van het model dat gebruikt is in de periode voor de start van deze scenario's.

NIRAS verwijst naar het penaliserend karakter van het scenario om te rechtvaardigen dat alleen de dosis aan een volwassene in acht wordt genomen (§ 14.12.1, p14-232). De potentieel meest blootgestelde groep en representatieve persoon worden echter onvoldoende toegelicht in hoofdstuk 14.

Het FANC en Bel V vragen om de potentieel meest blootgestelde groep en representatieve personen duidelijk te definiëren en ze wijzen erop dat hierbij een zelfvoorzienende gemeenschap in acht dient genomen te worden en dat de drie leeftijdscategorieën beschouwd dienen te worden bij de representatieve persoon, conform ook het gevraagde in vereiste RBIO2 van de leidraad ‘biosfeer’ [<sup>xvi</sup>] dewelke naar ICRP 101a [<sup>xvii</sup>] refereert.

## **2 Antwoord NIRAS**

NIRAS beschouwt drie leeftijdscategorieën (volwassenen, kinderen (10 jaar) en jonge kinderen (1 jaar) bij de representatieve personen voor beide penaliserende scenario's beschreven in Hoofdstuk 14 van het veiligheidsrapport.

### **2.1 Penaliserend grondscenario**

#### **2.1.1 Beschouwde representatieve personen en modelaanpassingen**

De representatieve personen beschouwd onder het penaliserende grondscenario zijn volwassenen, kinderen en jonge kinderen die deel uitmaken van een zelfvoorzienende gemeenschap gevestigd in een door residueel materiaal van de bergingsinstallatie gecontamineerde zone.

Conceptueel leunt het penaliserende grondscenario dan ook dicht aan bij het intrusiescenario ‘residentie na uitgraving’, waardoor het biosfeermodel voor dit scenario ook aansluit bij het model gebruikt voor de impactmodellering onder het scenario ‘residentie na uitgraving’.

Ten opzichte van de rapportering in §14.12 werd daarom, in navolging van het antwoord op vraag HS14-032, ook voor het penaliserende grondscenario de beschouwde gecontamineerde oppervlakte opgetrokken<sup>25</sup>. Ook werden inname van

<sup>25</sup>

teneinde een gezin met een Westers voedingspatroon (i.e. met inbegrip van vlees) toe te laten in zelfvoorziening te leven

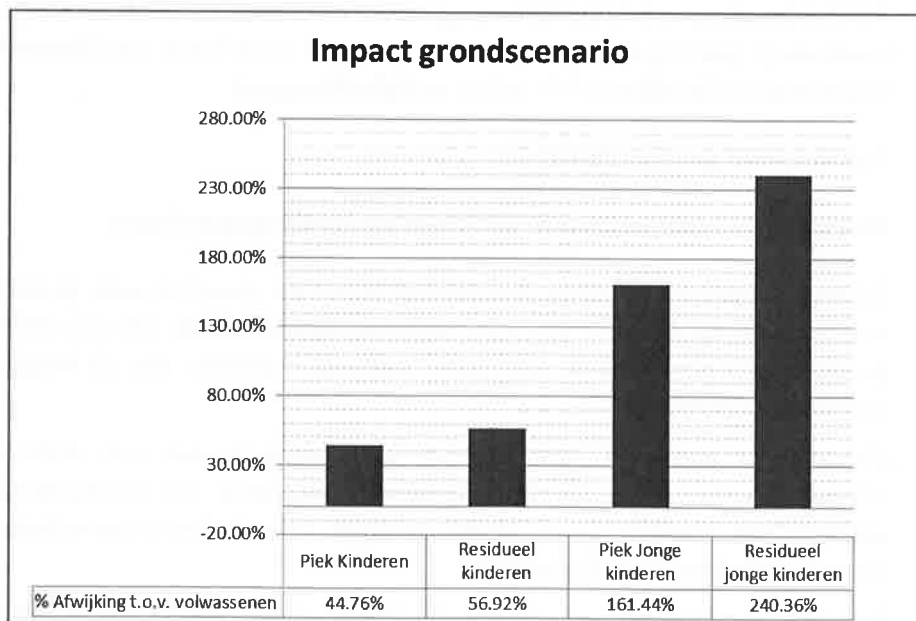
granen en dierlijke producten (koemelk en rundsvlees) toegevoegd als blootstellingswegen (zie ook antwoord op HS14-048) [<sup>xviii</sup>]. Hiermee wordt voldaan aan de eis een zelfvoorzienende gemeenschap in acht te nemen, aangezien het niet beschouwen van inname van drinkwater in deze omstandigheden geen aanleiding geeft tot een onderschatting van de dosis (zie ook §2.2 van het antwoord op HS14-048).

Naar analogie met het biosfeermodel voor scenario's van geleidelijke uitloging werd de jaarlijkse duur van de aanwezigheid buitenshuis op de gecontamineerde site opgetrokken tot 1500 h. Bovendien werd de modellering van de radonconcentratie binnenshuis werd bijgesteld n.a.v. HS14-037.

De resultaten gegeven in dit antwoord werden berekend voor een startmoment van 2000 jaar, op basis van bronterm 2013 V2, die overeenstemt met de operationele limieten (OLI's) voor kritieke radionucliden. Hierbij werd aangenomen dat de in de bronterm aanwezige activiteit over 29 modules verdeeld is.

### 2.1.2 Impact voor verschillende leeftijdscategorieën

We beschouwen de gevoeligheid van de piek- en residuele impact t.o.v. de leeftijdscategorie op volwassenen (referentiegeval), kinderen (10 jaar) en jonge kinderen (1 jaar) in het penaliserende grondscenario (Figuur 35). De piekimpact voor volwassenen bedroeg 2,1 mSv/a, de residuele impact 1,1 mSv/a (zie HS14-033).



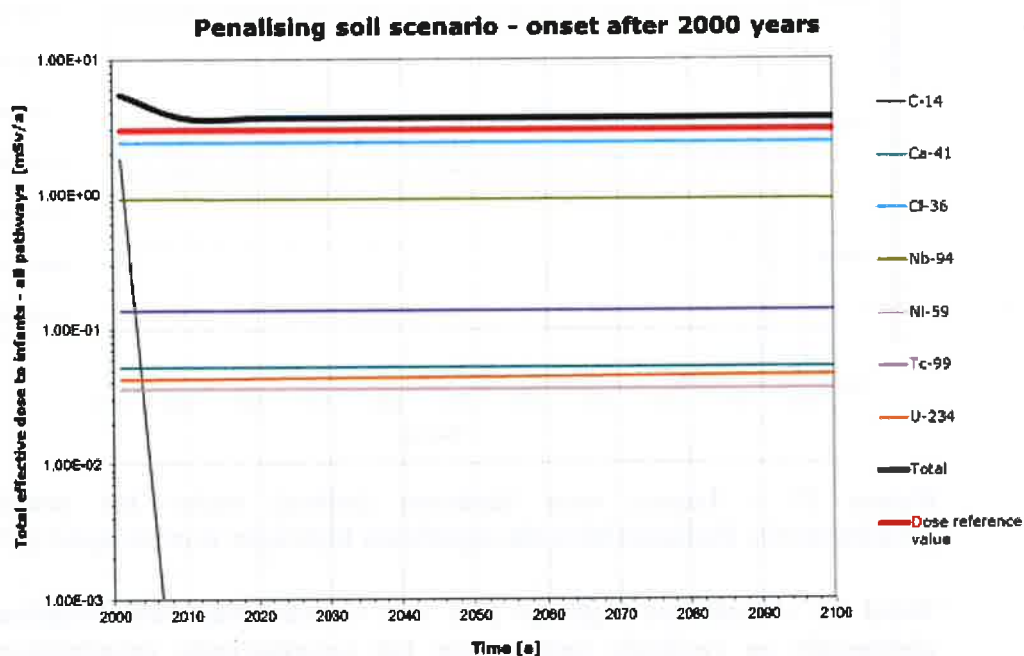
**Figuur 35 – Gevoeligheid van de impact onder het penaliserende grondscenario (startmoment 2000 jaar) t.a.v. de beschouwde leeftijdsgroepen.**



Voor kinderen (10 jaar) is de piekimpact iets minder dan de helft hoger; voor jonge kinderen (1 jaar) is er zelfs meer dan een verdubbeling van de piekimpact. De impacts blijven wel van de orde van de dosisreferentiewaarde van 3 mSv/a.

Voor de residuele impact is het effect nog meer uitgesproken: de residuele impact voor jonge kinderen is 240%, of meer dan 3 keer, hoger dan voor volwassenen (Figuur 35).

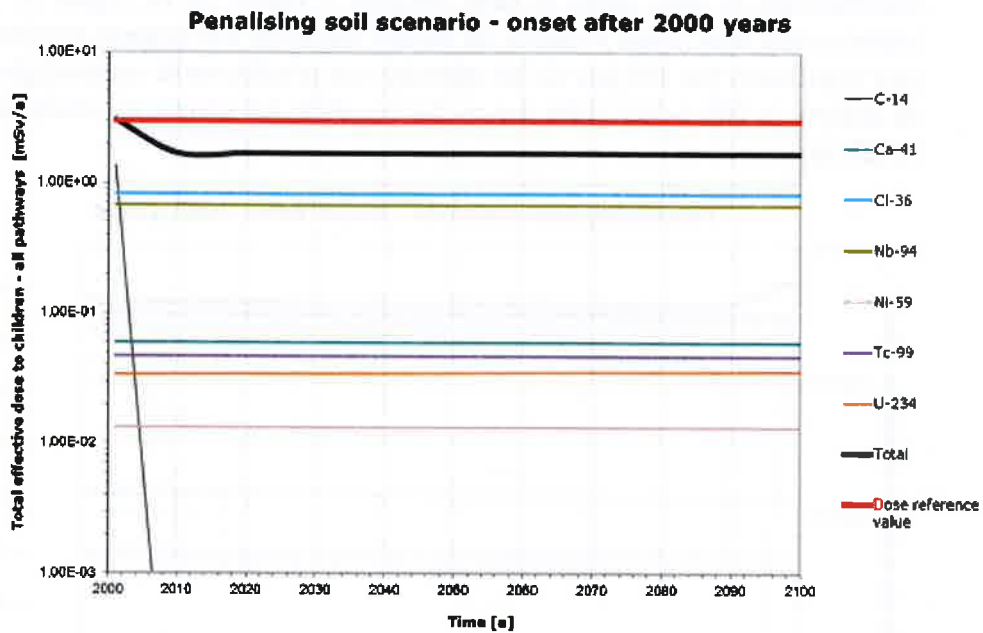
Dit effect kan verklaard worden door de impacts en de bijdragen van verschillende radionucliden in meer detail te gaan bekijken – Figuur 36 en Figuur 37 tonen de impactcurves voor jonge kinderen en oudere kinderen. De impacts worden getoond over tijdschalen van 100 jaar na het optreden van penalisierende omstandigheden – uit de analyse in HS14-033 blijkt dat op dat ogenblik het niveau van residuele impact bereikt is.



**Figuur 36 – Impact voor jonge kinderen [mSv/a] onder het penalisierende grondscenario. Radionucliden die significant bijdragen worden apart getoond.**

Uit Figuur 36 en Figuur 37 blijkt dat  $^{36}\text{Cl}$  de grootste bijdrage levert tot de totale impact (zowel piekimpact als residuele impact). Tabel 22 illustreert dit verder: voor jonge kinderen is  $^{36}\text{Cl}$  verantwoordelijk voor 44% van de piekimpact en 66% van de residuele impact – voor volwassenen is dit aandeel beperkt tot respectievelijk 14% en 27%. Inname van *dierlijke producten* vertegenwoordigt de belangrijkste blootstellingsweg voor  $^{36}\text{Cl}$  (85,6% voor kinderen en zelfs 91,3% voor jonge kinderen). Aangezien de melkconsumptie van (jonge) kinderen significant (meer dan een factor 2) hoger ligt dan voor volwassenen en ook de dosiscoëfficiënt voor ingestie veel hoger is ( $9,3 \times 10^{-10}$  Sv/Bq voor volwassenen t.o.v.  $6,3 \times 10^{-9}$  Sv/Bq voor jonge kinderen), leidt dit tot een sterke verhoging van de impact van deze radionuclide.

We merken op dat  $^{36}\text{Cl}$  een zeer mobiele radionuclide is en dat de hypothese om geen bodemverliezen (door uitloging of oogst van gewassen) te beschouwen voor deze radionuclide bij uitstek aanleiding geeft tot een omhullende impact (zie ook §5.3.2 van [xviii]), zelfs al in het eerste jaar nadat zich penaliserende omstandigheden hebben ingesteld (i.e. het tijdstip van optreden van de piek).



Figuur 37 – Impact voor kinderen [mSv/a] onder het penaliserende grondscenario. Radionucliden die significant bijdragen worden apart getoond.

Tabel 22 – Relatieve bijdrage [%] van verschillende radionucliden tot de piekimpact en residuele impact van het penaliserende grondscenario voor verschillende leeftijdsgroepen.

Radionuclide	Volwassenen		Kinderen		Jonge kinderen	
	Piek	Residueel	Piek	Residueel	Piek	Residueel
$^{14}\text{C}$	48,7%	-	44,4%	-	33,3%	-
$^{41}\text{Ca}$	1,1%	2,1%	2,0%	3,5%	1,0%	1,4%
$^{36}\text{Cl}$	14,2%	27,7%	27,1%	48,7%	44,1%	66,1%
$^{94}\text{Nb}$	31,4%	61,2%	22,2%	39,9%	16,8%	25,1%
$^{59}\text{Ni}$	0,3%	0,6%	0,4%	0,8%	0,7%	1,0%
$^{99}\text{Tc}$	1,4%	2,8%	1,5%	2,8%	2,5%	3,8%
$^{234}\text{U}$	1,3%	2,7%	1,1%	2,1%	0,8%	1,2%
Overige RN	1,6%	2,9%	1,8%	2,2%	0,8%	1,4%

<b>Impact [mSv/a]</b>	<b>2,1</b>	<b>1,1</b>	<b>3,0</b>	<b>1,7</b>	<b>5,5</b>	<b>3,7</b>
---------------------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------

## 2.2 Penaliserend grondwaterscenario

### 2.2.1 Beschouwde representatieve personen en modelaanpassingen

De representatieve personen beschouwd onder het penaliserende grondscenario zijn volwassenen, kinderen en jonge kinderen die deel uitmaken van een zelfvoorzienende gemeenschap die putwater gebruikt als drinkwater voor zichzelf, voor irrigatiedoeleinden en voor het drenken van vee.

Zoals beschreven in het antwoord op HS14-046 worden de berekeningen voor het (herwerkte) penaliserende grondwaterscenario uitgevoerd met de BCFs voor de receptor 'waterput voor privégebruik' die ook worden toegepast in de scenario's van geleidelijke uitloging. Deze gaan uit van een zelfvoorzienende gemeenschap. De waterput voor privégebruik, waarvoor de GTF werd bepaald, bevindt zich op 70m van de bergingsmodules.

In het licht van de gerelateerde vragen HS14-034, HS14-035 en HS14-036, hebben NIRAS en SCK het installatiemodel van het penaliserende grondwaterscenario opnieuw geconceptualiseerd en geïmplementeerd [<sup>xix</sup>].

De resultaten gegeven in dit antwoord werden berekend voor het basisrekengeval met een startmoment van 2000 jaar, op basis van bronterm 2013 V2 die overeenstemt met de operationele limieten (OLI's) voor kritieke radionucliden.

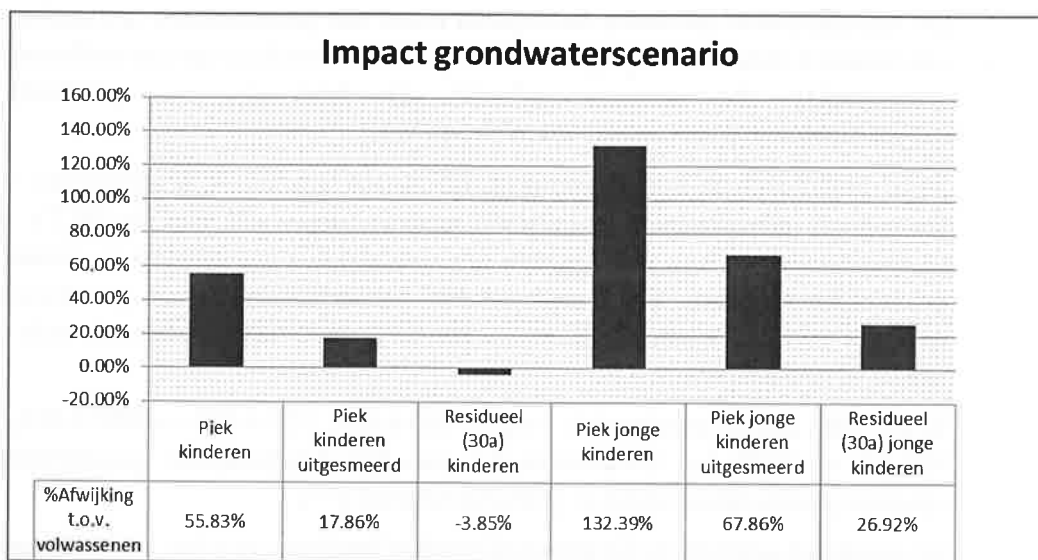
### 2.2.2 Impact voor verschillende leeftijdscategorieën

We beschouwen de gevoeligheid van de piekimpact t.o.v. de leeftijdscategorie op volwassenen (referentiegeval), kinderen (10 jaar) en jonge kinderen (1 jaar) in het herziene basisrekengeval [x] van het penaliserende grondwaterscenario (Figuur 38). De piekimpact voor volwassenen bedroeg 3,77 mSv/a (zie HS14-033). Zoals beargumenteerd in §2.3 van HS14-034 is deze eerste berekende piek fysisch onmogelijk – indien deze piek bovenop de residuele impact van 2,6 mSv/a wordt uitgespreid over 30 jaar, zou de geschatte impact 2,8 mSv/a bedragen, wat van de orde is van de dosisreferentiewaarde van 3 mSv/a.

Voor kinderen (10 jaar) is de piekimpact ongeveer de helft hoger; voor jonge kinderen (1 jaar) is er zelfs meer dan een verdubbeling van de piekimpact (Figuur 38). Dit is een gevolg van het feit dat de piekimpact veroorzaakt wordt door mobiele radionucliden genre <sup>36</sup>Cl, <sup>59</sup>Ni en <sup>129</sup>I die een veel hogere radiotoxiciteit hebben voor kinderen dan voor volwassenen – en dus veel hogere ingestiedosiscoëfficiënten / BCFs. Voor <sup>36</sup>Cl speelt bovendien het feit dat jonge kinderen typisch veel dierlijke producten, i.h.b. koemelk, consumeren, een niet te verwaarlozen rol. Het uitsmeren

van deze fysisch onmogelijke eerste piek verkleint de relatieve toename van de impact, tot minder dan 20% voor kinderen en ongeveer 68% voor jonge kinderen. Voor de residuele impact, in Figuur 38 beschouwd na 30 jaar, zijn de verschillen tussen de leeftijdsgroepen minder uitgesproken.

Op tijdschalen van honderden tot duizenden jaren is de residuele impact van het penaliserende grondwaterscenario (bepaald door isotopen van Pu en U; Nb (externe bestraling) is minder dominant voor (jonge) kinderen – zie ook Tabel 23) zelfs iets lager voor kinderen en jonge kinderen dan voor volwassenen (zie ook HS14-033).

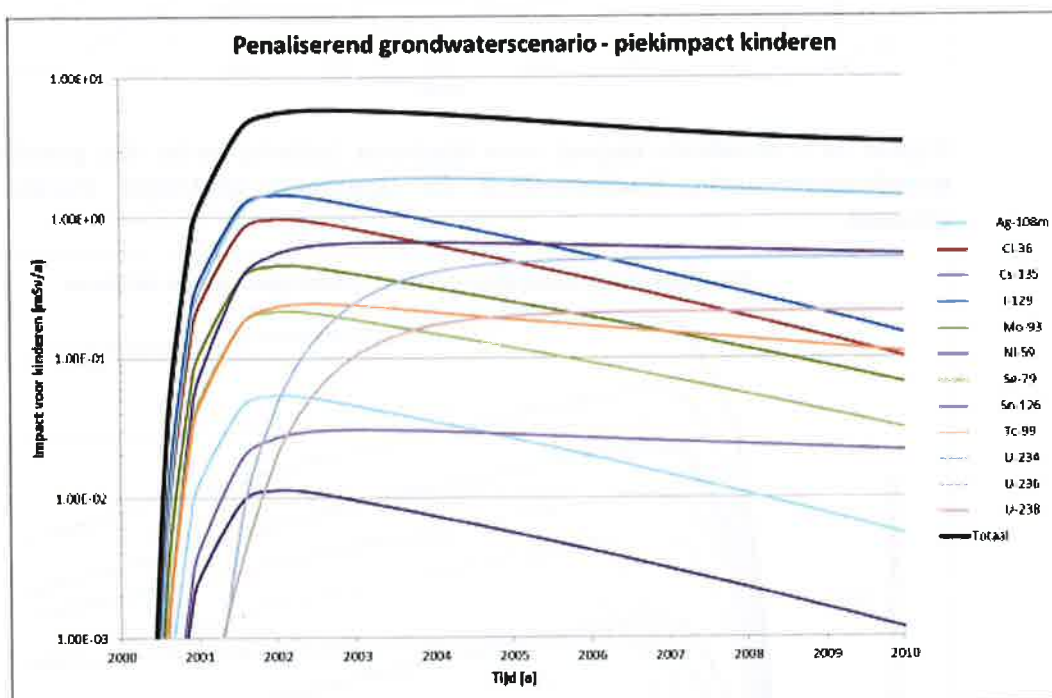


**Figuur 38 – Gevoeligheid van de impact onder het penaliserende grondwaterscenario (startmoment 2000 jaar) t.a.v. de beschouwde leeftijdsgroepen.**

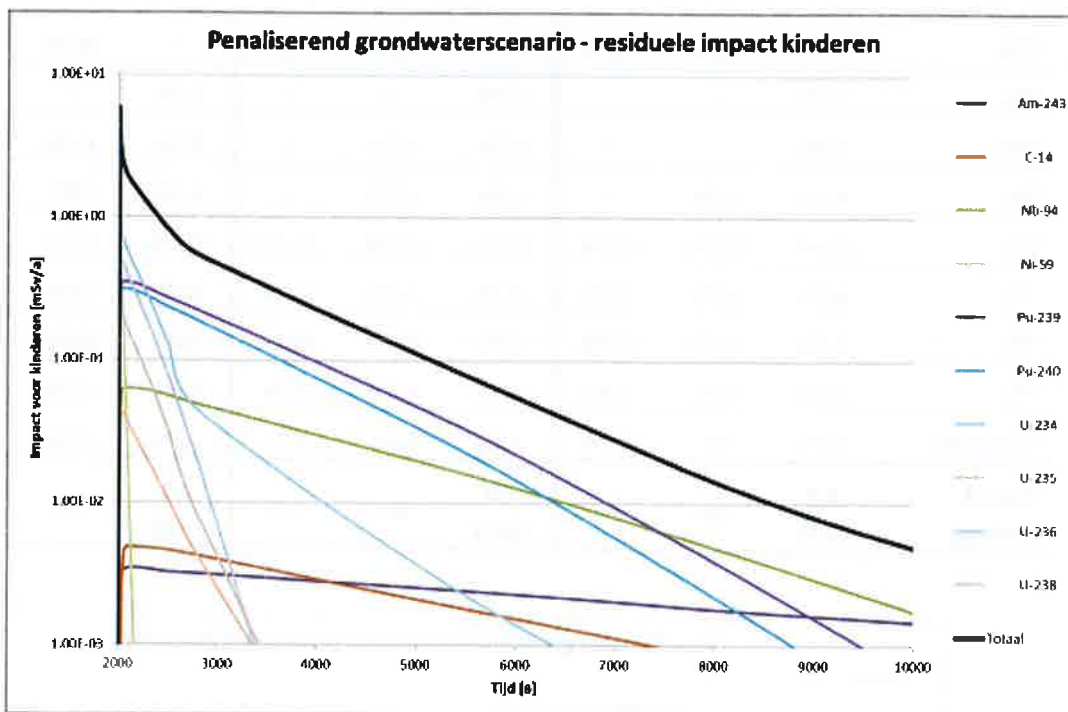
**Tabel 23 – Relatieve bijdrage [%] van verschillende radionucliden tot de piekimpact en residuele impact van het penaliserende grondwaterscenario voor verschillende leeftijdsgroepen. Enkel bijdragen van meer dan 0,5% worden apart getoond.**

Radionuclide	Volwassenen			Kinderen			Jonge kinderen		
	Piek	Res 30a	Res 100a	Piek	Res 30a	Res 100a	Piek	Res 30a	Res 100a
<sup>108m</sup> Ag	1,6%	-	-	0,8%	-	-	0,7%	-	-
<sup>36</sup> Cl	9,5%	-	-	13,8%	-	-	25,2%	-	-
<sup>129</sup> I	23,7%	-	-	20,4%	-	-	10,7%	-	-
<sup>93</sup> Mo	10,2%	-	-	6,6%	-	-	5,2%	-	-
<sup>94</sup> Nb	-	9,5%	12,5%	-	2,4%	3,4%	-	2,4%	3,8%
<sup>59</sup> Ni	11,0%	6,6%	0,4%	11,2%	10,6%	0,8%	17,8%	19,0%	1,5%
<sup>239</sup> Pu	-	16,8%	20,9%	-	13,8%	18,8%	-	11,2%	16,9%

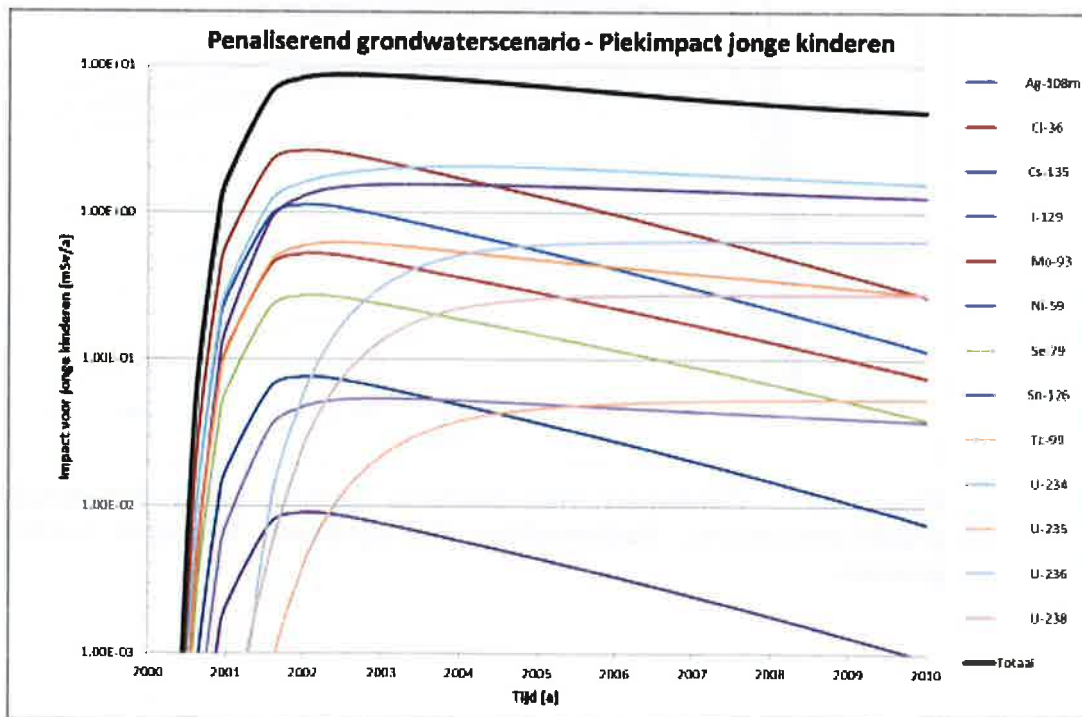
<sup>240</sup> Pu	-	15,1%	18,7%	-	12,4%	16,8%	-	10,1%	15,1%
<sup>79</sup> Se	1,4%	-	-	3,1%	-	-	2,7%	-	-
<sup>126</sup> Sn	1,1%	-	-	0,5%	0,3%	-	0,6%	0,4%	-
<sup>99</sup> Tc	4,0%	0,2%	-	4,0%	0,2%	-	6,9%	0,5%	-
<sup>234</sup> U	27,9%	25,0%	22,7%	31,5%	30,0%	29,3%	22,8%	27,2%	29,4%
<sup>235</sup> U	0,5%	1,7%	1,6%	0,3%	1,8%	1,9%	0,3%	1,6%	1,9%
<sup>236</sup> U	6,1%	17,2%	15,9%	4,4%	19,7%	20,0%	3,8%	19,0%	21,3%
<sup>238</sup> U	2,5%	6,9%	6,4%	1,8%	8,2%	8,3%	1,6%	8,2%	9,2%
Overige RN	0,5%	1%	0,9%	1,6%	0,6%	0,7%	1,7%	0,4%	0,9%
<b>Impact</b>	<b>3,8</b>			<b>5,9</b>			<b>8,8</b>		
<b>[mSv/a]</b>	<b>(2,8)</b>	<b>2,6</b>	<b>2,1</b>	<b>(3,3)</b>	<b>2,5</b>	<b>1,9</b>	<b>(4,7)</b>	<b>3,3</b>	<b>2,2</b>



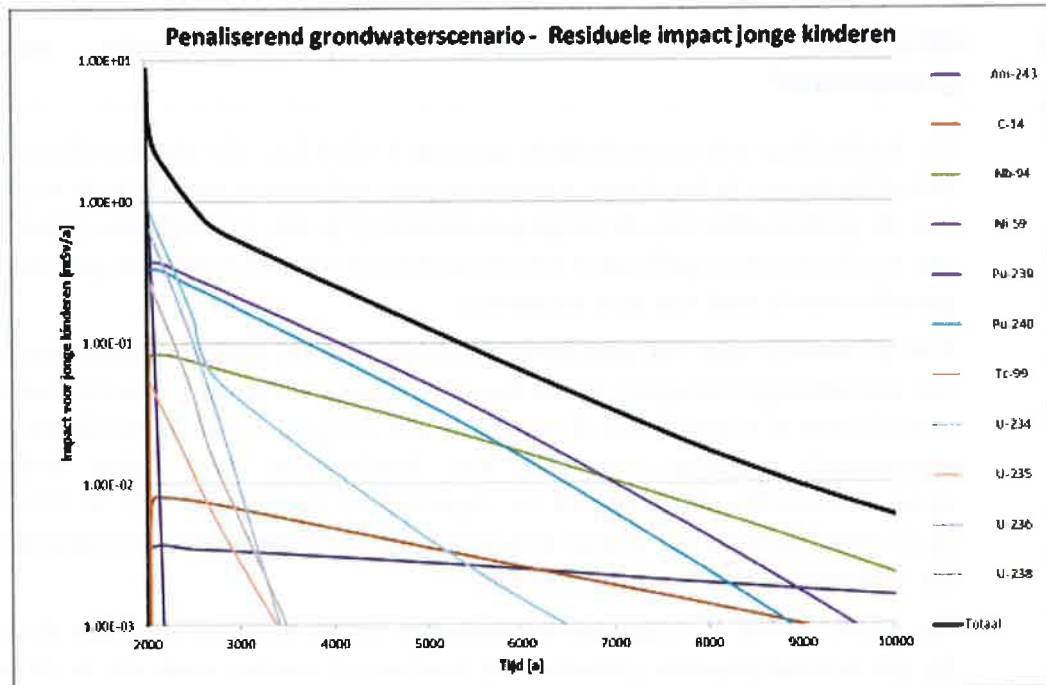
**Figuur 39 – Piekimpact voor kinderen [mSv/a] onder het penaliserende grondwaterscenario. Radionucliden die significant bijdragen worden apart getoond.**



Figuur 40 – Residuele impact voor kinderen [mSv/a] onder het penaliserende grondwaterscenario. Radionucliden die significant bijdragen worden apart getoond.



Figuur 41 – Piekimact voor jonge kinderen [mSv/a] onder het penaliserende grondwaterscenario. Radionucliden die significant bijdragen worden apart getoond.



**Figuur 42 – Residuele impact voor jonge kinderen [mSv/a] onder het penaliserende grondwaterscenario. Radionucliden die significant bijdragen worden apart getoond.**

### 3 Aanpassingen aan het veiligheidsrapport

Bij de herziening van Hoofdstuk 14 van het veiligheidsrapport zullen de beschrijving en resultaten van de penaliserende scenario's gedocumenteerd worden voor de drie leeftijdscategorieën van representatieve personen in een zelfvoorzienende gemeenschap.

### 4 Referenties