



Rijksinstituut voor Volksgezondheid
en Milieu
*Ministerie van Volksgezondheid,
Welzijn en Sport*

Tritium besmetting in Petten en mogelijke risico's voor de omgeving

RIVM Briefrapport 2017-0103
H. Slaper | C. Twenhöfel | Y. van der Knaap



Rijksinstituut voor Volksgezondheid
en Milieu
*Ministerie van Volksgezondheid,
Welzijn en Sport*

Tritium besmetting in Petten en mogelijke risico's voor de omgeving

RIVM Briefrapport 2017-0103
H. Slaper|C. Twenhöfel|Y. van der Knaap

Colofon

© RIVM 2017

Delen uit deze publicatie mogen worden overgenomen op voorwaarde van bronvermelding: Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu (RIVM), de titel van de publicatie en het jaar van uitgave.

DOI 10.21945/RIVM-2017-0103

H. Slaper (auteur), RIVM
C. Twenhöfel (auteur), RIVM
Y. van der Knaap (inbreng hydrologische expertise), RIVM

Contact:
Harry Slaper
RIVM/VLH
harry.slaper@rivm.nl

Dit onderzoek werd verricht in opdracht van ANVS, in het kader van project M390012/17/RI

Dit is een uitgave van:
**Rijksinstituut voor Volksgezondheid
en Milieu**
Postbus 1 | 3720 BA Bilthoven
Nederland
www.rivm.nl

Publiekssamenvatting

Tritium besmetting in Petten en mogelijke risico's voor de omgeving

In 2012 is bij de Hoge Flux Reactor (HFR) in Petten een lekkage ontdekt van de radioactieve stof tritium in de bodem. De beheerder, NRG, heeft inmiddels maatregelen genomen om de lekkage te stoppen. RIVM heeft onderzocht wat de gevolgen voor omwonenden kunnen zijn. Uit dit onderzoek komt dat ook bij zeer ongunstige scenario's de blootstelling voor omwonenden beperkt blijft tot een dosis die als onbeduidend wordt aangemerkt, namelijk minder dan 10 microsievert per jaar. Ter vergelijking: dat is minder dan 0,4 % van de hoeveelheid straling die Nederlanders gemiddeld in een jaar opdoen door bronnen die veelal van nature in de leefomgeving aanwezig zijn (www.rivm.nl/stralingsbelasting). Er zijn geen aanwijzingen dat de lekkage van tritium naar de bodem nog voortduurt, maar de concentraties aan de terreingrens kunnen door grondwaterstroming nog wel hoger worden dan eerder geschat. Voortzetting van een monitoringprogramma is daarom wenselijk.

Het RIVM-onderzoek is gebaseerd op de door NRG uitgevoerde bodemanalyses en de modellering van de grondwaterstromen door het ingenieursbureau Sweco, en is uitgevoerd in opdracht van de Autoriteit Nucleaire Veiligheid en Stralingsbescherming.

RIVM bestudeerde een twintigtal aangeleverde rapportages (tot en met oktober 2016) en onderschrijft de conclusie dat de concentratie van tritium in het grondwater aan de terreingrens in of na 2018 mogelijk hoger kan worden dan de eerder gestelde grenswaarde van 100 Bq/L. Ook schat RIVM dat de totale nog resterende besmetting waarschijnlijk groter is dan door Sweco en NRG aangegeven. De maximale concentratie aan de terreingrens blijft naar verwachting onder een waarde van enkele duizenden Bq/L. Voor tritium hanteert de World Health Organization (WHO) een richtlijn voor drinkwaterbesmetting van 10.000 Bq/L, ruim hoger dan de nu voor het grondwater aan de terreingrens geschatte maximale waarden. Ook in het ongunstigste scenario blijft de blootstelling voor omwonenden beperkt tot maximaal 10 microsievert per jaar.

Maatregelen

NRG heeft als beheerder van de HFR maatregelen genomen om de lekkage te stoppen en de besmetting te beteugelen. Op basis van de beschikbare gegevens concludeert het RIVM dat er geen aanwijzingen zijn dat de lekkage nog voortduurt. Er zijn door NRG verschillende alternatieven beschouwd om de concentraties aan de terreingrens nog verder te beteugelen. Omdat de concentraties al laag zijn en er bij omwonenden geen effecten op de gezondheid verwacht worden, lijken deze maatregelen weinig extra effectief. Wel beveelt het RIVM aan dat NRG het monitoring programma op het terrein in stand houdt, omdat het moeilijk gebleken is om de waterstromen op het terrein goed te voorspellen. In aanvulling daarop beveelt het RIVM aan ook juist buiten

de terreingrens de besmettingsniveaus te bewaken, bijvoorbeeld in de nabijgelegen sloot.

Tritium

Tritium is een radioactieve stof die ontstaat door kernreacties in een watergekoelde kernreactor. De stof komt ook in de natuur voor, door reacties van zonnedeeltjes met onze atmosfeer. Tritium wordt gebruikt in noodverlichting in vliegtuigen, en als lichtbron in militaire apparatuur. De straling van tritium is heel zwak en kan niet door de huid dringen. Alleen na opname in het lichaam (vooral door inslikken of inademen) kan het bijdragen aan de stralingsblootstelling van mensen. Tritium vervalt vrij langzaam: na 12 jaar is nog de helft van de originele hoeveelheid over.

Kernwoorden: radioactiviteit, straling, tritium, bodembesmetting, grondwater

Synopsis

Tritium contamination in Petten and potential risks for the environment

In 2012 a leakage of radioactive tritium to soil was discovered at the High Flux Reactor (HFR) in Petten. NRG, the HFR-operator, took countermeasures to stop the leakage into the soil. RIVM investigated the radiological consequences for residents in the vicinity of the reactor. Even in very unfavourable scenarios, the exposure of local residents remains limited to a dose that is generally considered insignificant, namely less than 10 microsievert per year. To put things into perspective, this is less than 0.4% of the average amount of radiation that people in the Netherlands are exposed to per year from sources that are largely present in the environment (www.rivm.nl/stralingsbelasting). The leakage of tritium to the soil appears to have stopped, but the concentrations at the edge of the site could increase to higher levels than previously estimated. Continuation of a monitoring programme is therefore deemed advisable.

The above conclusions were the result of an investigation carried out by RIVM for the Authority for Nuclear Safety and Radiation Protection. The investigation was based on the soil analyses carried out by NRG and the modelling of the groundwater flows by the Sweco firm of consulting engineers.

RIVM has studied 20 reports submitted on the matter (up to and including October 2016) and supports the conclusion that the concentration of tritium in the groundwater on the edge of the site in or after 2018 could possibly exceed the threshold value of 100 Bq/L that was set previously. RIVM also estimates that the total amount of contamination still remaining is probably greater than the amount indicated by Sweco and NRG. However, the maximum concentration at the edge of the site is expected to remain below a few thousand Bq/L. For tritium contamination of drinking water, the World Health Organisation (WHO) applies a guideline of 10,000 Bq/L, which is considerably higher than the estimated maximum concentrations in the groundwater at the edge of the site. Even in the most unfavourable scenario, the exposure of local residents remains limited to a maximum of 10 microsievert per year.

Measures

As the managing authority of the HFR, NRG has taken measures to stop the leakage and control the contamination. Based on the available information, RIVM has concluded that there are no indications that the leakage is still continuing. NRG has considered various options for further limiting the concentrations at the edge of the site. As the concentrations are already low and no effects are to be expected on the health of the local residents, these measures would appear to have little extra effect. However, RIVM recommends that NRG continues monitoring concentrations at the site, as it has proven difficult to provide adequate predictions of the groundwater flows at the site. In

addition, RIVM recommends monitoring the levels of contamination just outside the edge of the site, for example in the neighbouring ditch.

Tritium

Tritium is a radioactive compound that results from nuclear reactions in a water-cooled nuclear reactor. The compound also exists in nature, as a result of reactions of solar particles with our atmosphere. Tritium is used in emergency lighting in aeroplanes and as a light source in military equipment. The radiation released by tritium is very weak and cannot penetrate the skin. It can only contribute to the exposure of humans to radiation if it is absorbed into the body, especially after swallowing or inhalation. Tritium decays very slowly; after 12 years, half of the original amount still remains.

Keywords: radioactivity, radiation, tritium, soil contamination, groundwater

Inhoudsopgave

Samenvatting – 9

- 1 Probleem- en vraagstelling – 13**
- 2 Tritium in het milieu – 15**
- 3 Internationale normen – 17**
- 4 Brontermschatting en Verspreiding – 19**
 - 4.1 Brontermschatting – 19
 - 4.2 Verspreiding – 20
 - 4.3 Verspreiding buiten de terreingrens – 23
- 5 Scenario's voor Radiologische consequenties – 25**
 - 5.1 Drinkwater – 25
 - 5.2 Lokale consumptie van voedsel – 26
- 6 Discussie en conclusies – 27**
- 7 Geraadpleegde documenten en referenties – 31**
 - 7.1 Documenten NRG – 31
 - 7.2 Referenties – 32

Samenvatting

Bij de HFR in Petten zijn enkele tientallen GBq tritium in de ondergrond terechtgekomen door de onbedoelde en onvoorziene lekkage van een ondergrondse pijpleiding. De lozing in de bodem was niet vergund en kan leiden tot een besmetting van grond- en oppervlaktewater aan en buiten de terreingrens. NRG, als beheerder van de HFR, heeft maatregelen genomen om de lekkage te stoppen en de besmetting te beteugelen. Op basis van de beschikbare gegevens zijn er geen aanwijzingen dat de lekkage nog voortduurt. Er is nu, in radiologische zin conform de nieuwe Europese richtlijn, sprake van een bestaande situatie, waarbij de inschatting van NRG was dat na de genomen maatregelen de concentraties in grondwater buiten de terreingrens beneden 100 Bq/L zouden blijven. Een concentratie van 100 Bq/L in drinkwater leidt bij inname van 2 L/dag tot een jaardosis van 1,3 microSv/jaar. Een dosis die lager is dan de 10 microSv/jaar die in de stralingsbescherming doorgaans als triviaal of onbeduidend wordt beschouwd. Recent gaf NRG aan dat de concentratie van 100 Bq/L aan de terreingrens bij de huidige maatregelen wellicht in de komende jaren toch overschreden zou kunnen gaan worden. Maximale waarden van 200-700 Bq/L zijn daarbij genoemd. RIVM is gevraagd de analyses en conclusies van NRG nader te bezien en te voorzien van een onafhankelijk deskundigen advies. Hoofdvragen:

1. Worden de conclusies van NRG onderschreven over de te verwachten concentraties aan de terreingrens?
2. Wat zijn de radiologische consequenties van de te verwachten besmettingsniveaus?
3. Zijn er redelijkerwijs alternatieven denkbaar ter beperking van de radiologische consequenties?

Beantwoording op hoofdlijn:

1. Het lijkt aannemelijk dat de tot dusverre gehanteerde bovenschatting voor de concentratie aan de terreingrens van 100 Bq/L overschreden kan gaan worden bij een realistisch/proportioneel scenario van vervolgsanereringen. Merk daarbij wel op dat een concentratie van 100 Bq/L ook voor drinkwater geen harde norm is maar een parameterwaarde¹. Er is grote onzekerheid over de nog resterende besmetting in de bodem, en ook over de mate waarin de besmetting zich aan en buiten de terreingrens zal manifesteren. Gelet op die onzekerheden kan de concentratie aan de terreingrens mogelijk duidelijk hoger (of lager) worden dan nu geschat. Buiten de terreingrens is extra verdunning aannemelijk. De door het ingenieursbureau Sweco in opdracht van NRG aangegeven schatting van de totale resterende tritiumbesmetting van 8,2 GBq² is mogelijk onderschat. Dat geldt daarmee ook voor de op basis daarvan door Sweco ingeschatte besmettingsniveaus aan de terreingrens (200-700 Bq/L). Op basis van de nu beperkt

¹ parameterwaarde geeft aan dat dit niet een echte norm is maar een waarde waarboven het nodig is om na te gaan of er sprake is van verdere besmetting.

² Recent heeft NRG/Sweco, na vragen van RIVM, een hogere resterende besmetting geschat van 12 GBq (document V). Een hogere waarde is niet uit te sluiten, indicatief houdt RIVM 20-25 GBq als maximum aan.

beschikbare gegevens lijkt een bovengrens van enkele duizenden Bq/L nabij de terreingrens niet te worden overschreden. Waarschijnlijk blijft de werkelijke concentratie buiten het terrein daar ruim onder door de extra verdunning die bij de sloot juist buiten de terreingrens kan ontstaan.

- 2 De nu nog in de bodem aanwezige besmetting met tritium is beduidend lager dan de jaarlijks naar de lucht geloosde en vergunde hoeveelheid. Zelfs in het totaal onrealistische geval dat de totale resterende besmetting in de bodem als water wordt geconsumeerd dan zal dat maximaal een collectieve dosis van 0,15 -0,45 manSv opleveren. RIVM bekeek enkele conservatieve scenario's en berekende welke tritiumconcentratie in het besmette water leidt tot een extra dosis van 10 microSv/jaar (doorgaans beschouwd als onbeduidend niveau ("trivial dose")):
 - a. Drinken van 2L/dag aan besmet water (HTO):
760 Bq/L.
 - b. Eten van blad- en andere groenten dat in kassen volledig met besmet water wordt geïrrigeerd en berekend:
7100 Bq/L.
 - c. Drinken van melk van koeien die besmet gras eten:
4000 Bq/L.
 - d. Eten van aardappelen die uitsluitend met besmet water worden geïrrigeerd en berekend:
7700 Bq/L.
 - e. Eten van granen die met besmet water zijn geïrrigeerd en berekend:
4000 Bq/L.

In al deze gevallen is het scenario conservatief, omdat voor elk van de producten wordt verondersteld dat de volledige (gemiddelde) jaarconsumptie besmet is met de aangegeven concentratie. Voor granen, aardappelen en het drinken van koeienmelk lijkt dit een flinke overschatting, omdat het niet aannemelijk is dat het totale te consumeren product afkomstig is van het besmette gebied. Het drinkwater scenario (a) is extreem conservatief, omdat er geen drinkwater inlaatpunten zijn in de omgeving van de besmette pluim en der halve zal besmetting van drinkwater niet optreden.

Op basis van deze afwegingen en scenario's komen we tot de inschatting dat zelfs indien een maximale besmetting buiten de terreingrens van 5000 Bq/L zou ontstaan, die concentratie niet zal leiden tot een overschrijding van de dosis van 10 microSv/jaar voor omwonenden. Wij nemen daarbij in aanmerking dat volgens de nieuwe Europese richtlijn bij de blootstellingsschatting bij bestaande situaties moet worden uitgegaan van een representatieve persoon, behorend tot de groep van meest blootgestelden zonder dat sprake is van extreem gedrag. De risico's zijn berekend voor hypothetische situaties voor hooguit enkele families in de directe omgeving. Merk nog op dat de WHO een richtlijn voor drinkwaterbesmettingen hanteert van 10.000 Bq/L, tweemaal zo hoog als de door ons hier aangegeven besmetting. WHO baseert haar richtlijn op een jaardosis door drinkwater consumptie van 100 microSv/jaar. In de EU-BSS is sprake van een

“indicatorwaarde”³ van 100 Bq/L voor drinkwater, een waarde die ook als parameterwaarde voor de indicator tritium³ is aangemerkt in het huidige Nederlandse drinkwaterbesluit.

- 3 Er zijn door NRG verschillende alternatieven beschouwd om de concentraties aan de terreingrens nog verder te beteugelen. Bij de proportionaliteit van dergelijke extra en veelal kostbare maatregelen kunnen vraagtekens worden gezet, indien men deze afzet tegen de geringe te behalen winst in het beperken van radiologische risico's. De radiologische blootstellingen in de directe omgeving zullen naar huidige inschatting onder het niveau van 10 microSv/jaar blijven.

Een voortzetting van het NRG-monitoring programma op het terrein is wel aan te bevelen, onder meer omdat de concentraties in de pluim-as in de afgelopen periode nog enigszins zijn toegenomen. Ook een beperkt aanvullend meetprogramma in de aan de besmette pluim grenzende sloot buiten het NRG terrein is te overwegen. Radiologisch gezien lijkt dit een afdoende zekerheid te bieden dat de risico's beperkt blijven. De opdracht aan het RIVM richtte zich op de radiologische aspecten van de opgetreden besmetting en niet op de juridische en communicatieve aspecten.

³ Indicatorwaarde of parameterwaarde geeft aan dat dit niet een echte norm is maar een waarde waarboven het nodig is om na te gaan of er sprake is van verdere besmetting.

1 Probleem- en vraagstelling

Als gevolg van een lekkage nabij de de HFR in Petten is in het verleden tritium in het grondwater terechtgekomen. Metingen van het RIVM in oktober 2012 gaven aan dat in een sloot naast het NRG-terrein geen tritium aantoonbaar was boven de detectiegrens van enkele Bq/L. NRG heeft door Grontmij een saneringsplan laten opstellen voor de tritiumverontreiniging nabij de HFR en in de directe omgeving. Na de ontdekking van de tritiumlekkages vond een eerste sanering van hotspots plaats, waarna vanaf mei 2014 gewerkt is aan de definitieve sanering. Voorzien was dat de sanering buiten het terrein zou leiden tot concentraties tritium die de 100 Bq/l niet zouden overschrijden. In december 2014 en juli 2015 zijn de saneringsplannen uitgebreid. Naast de sanering vinden op het terrein metingen plaats om de daadwerkelijke verspreiding van de besmetting te monitoren. Daarbij blijkt de pluim van de verspreiding zich anders te gedragen dan in het verleden door modelsimulaties was voorspeld. De pluim blijkt zich noordelijker en meer oostwaarts te verplaatsen dan verwacht en de smallere pluimbreedte zorgt bovendien voor een hoger dan verwachte concentratie op de pluim-as. In mei 2016 gaf NRG aan te voorzien dat de concentraties in het grondwater aan de terreingrens de 100 Bq/L zullen gaan overschrijden. Berekend werd dat de maximale concentraties aan de terreingrens zo'n 200-700 Bq/L kunnen bedragen in de periode 2020-2022 (document J). Daarbij is de 700 Bq/L gebaseerd op een scenario zonder verdere sanering en de 200 Bq/L op een scenario met zwaardere sanering (document J). Tussen 2025 en 2030 zou de maximale concentratie dan weer onder de 100 Bq/L uitkomen.

NRG geeft aan dat ze weinig reële mogelijkheden zien om de concentraties aan de terreingrens substantieel te beperken.

Aan RIVM wordt gevraagd de analyses en conclusies van NRG nader te bezien en te voorzien van een onafhankelijk deskundigen advies.

De hoofdvragen zijn daarbij:

- Worden de conclusies die NRG en Grontmij trekken onderschreven ten aanzien van de te verwachten maximale concentraties aan de terreingrens?
- Wat zijn de radiologische consequenties van de te verwachten besmettingsniveaus buiten de terreingrens?
- Zijn er redelijkerwijs alternatieven denkbaar ter beperking van de radiologische consequenties?

In deze notitie geven we allereerst enkele achtergronden met betrekking tot tritium in het milieu (sectie 2) en gaan we kort in op ongewenste tritiumbesmettingen in grondwater die zich in andere landen voordoen. Vervolgens geven we een overzicht van indicatorwaarden en/of normen voor tritiumbesmetting van drinkwater die internationaal gehanteerd worden (sectie 3).

Daarna bespreken we de vanuit NRG aangeleverde informatie over de geschatte resterende besmetting (sectie 4a), en de gemeten en berekende concentraties op en buiten het terrein (secties 4b en 4c). In sectie 5 geven we een aantal scenario's voor inname van tritium en

berekenen we de besmettingsniveaus die leiden tot een blootstelling van 10 microSv/jaar. In sectie 6 volgen de discussie en conclusies.

2 Tritium in het milieu

Tritium is de radioactieve vorm van waterstof en heeft een halfwaardetijd van 12,4 jaar. Het verval door uitzending van een laag energetische beta. Straling van tritium is eenvoudig af te schermen, en het zal ook niet door de (dode) buitenste huidlaag heen komen. Radiologisch levert tritium alleen een risico bij ingestie via drinkwater en voedsel, bij inhalatie en bij opname van waterdamp via de huid. Een deel van het tritium kan worden gebonden in organisch materiaal (OGT, organisch gebonden tritium). Tritium in OGT-vorm kent een iets langere verblijftijd in het lichaam, hierdoor is de dosisconversiefactor voor ingestie van tritium in OGT-vorm iets hoger: $4,2 \times 10^{-11}$ Sv/Bq versus $1,8 \times 10^{-11}$ Sv/Bq.

Tritium wordt in de natuur gevormd in de bovenste luchtlagen via de interactie van kosmische deeltjes met stikstof. Omdat het dezelfde chemische eigenschappen heeft als waterstof vormt het met waterstof en zuurstof getritieerd water (HTO) en wordt onderdeel van de watercyclus. Van nature zijn de concentraties tritium in het oppervlaktewater niet hoger dan 1 Bq/L. Fall-out van kernbomexplosies hebben in het verleden geleid tot een aanzienlijke toename van de hoeveelheid tritium in de atmosfeer. Rond 1960-1963 werden op het noordelijk halfrond piekwaarden in de tritiumconcentraties in regenwater tot wel 470 Bq/L gemeten [IRSN, 2010]. Inmiddels zijn de concentraties door verval gedaald tot waarden tussen 1 en 4 Bq/L in oppervlakte water en 1.5 – 2.5 Bq/kg in organisch materiaal met variabele verhoudingen tussen OGT en HTO. Deze waarden gelden in gebieden zonder invloed van nucleaire installaties [IRSN, 2010].

In de omgeving van nucleaire installaties kunnen sterk verhoogde concentraties van tritium in grond- en oppervlaktewater worden aangetroffen. Deze gebieden strekken zich uit van enkele km² tot meer dan 100 km². In Frankrijk bedragen deze verhogingen tot 10 Bq/L rond de grotere installaties, en van enkele 10-tallen tot enkele 100-en Bq/L rond installaties in Valduc, Marcoule, La Hague, Bruyère-le-Châtel, Saclay. In de benedenstroom van de rivier de Rhône, en in de nabijheid van kerncentrales, zijn waarden in het rivierwater gemeten tot 50 Bq/L [IRSN 2010].

Rond nucleaire installaties in de VS worden vergelijkbare of hogere besmettingen gevonden in het grondwater. Deze besmettingen zijn afkomstig van lekken in het systeem, verdamping van vloeistoffen, condensatie en vanwege (vergunde) routine lozingen [NRC 2016A]. Op de lijst met "Leaks and Spills at U.S. Commercial Power Plants (Juni 2016) [NRC 2016B] staan momenteel 46 sites van de in totaal 65 sites van kernenergiecentrales met besmettingen boven de 740 Bq/L. Gemeten maximum concentraties in 2016 zijn rond 130 kBq/L (Brunswick, Indian Point).

In Nederland liggen de gemeten concentraties in oppervlaktewater de afgelopen jaren tussen ruwweg 2,7 en 25 Bq/L. De hoogste waarden worden in de Maas gemeten met jaargemiddelden tussen 15 en 25 Bq/L [RIVM, 2015]. Bij drinkwaterinlaatpunten wordt regelmatig gemeten op tritium hoeveelheden. De jaarlijks gemiddelde in 2013 was minder dan 4.1 Bq/L, de maximaal gemeten waarde bedroeg 12 Bq/L [RIVM, 2015].

3 Internationale normen

Voor tritium in zoet- en zeewater geldt in Nederland een streefwaarde van 10 Bq/L, die is aangegeven in de vierde nota Waterhuishouding. In Nederlandse wateren worden deze streefwaarden in de Maas en Schelde regelmatig overschreden.

Voor drinkwater volgt Nederland de Europese richtlijnen die spreken over een indicator waarde van 100 Bq/L. In de Nederlandse regelgeving zijn deze waarden opgenomen in het drinkwaterbesluit. De indicator waarde voor de tritium concentratie is overigens geen harde norm, maar een waarde waarboven actie moet worden ondernomen om te onderzoeken wat de oorzaak van de verhoging is, en wat de eventuele met de totale besmetting samenhangende dosis is.

Veel andere Europese landen hanteren ook de waarde van 100 Bq/L als actieniveau of norm voor drinkwater (onder meer België, Duitsland, Frankrijk, Groot Brittannië, Italië, Spanje, Zweden en Noorwegen). Een aantal Europese landen hanteert hogere waarden: in Finland is dat 30.000 Bq/L, in Zwitserland 10.000 Bq/L en Rusland 7700 Bq/L. In landen buiten Europa zijn veelal hogere actiewaarden/normen voor drinkwater van kracht. In de VS geldt een norm van 740 Bq/L, in Canada 7.000 Bq/L. De WHO hanteert een drinkwaterlimiet van 10.000 Bq/L corresponderend met een referentieniveau van 100 microSv/jaar. Er zijn dus wereldwijd, maar ook binnen Europa, behoorlijk uiteenlopende actiewaarden voor drinkwater.

Internationale normen en richtlijnen voor tritium in drinkwater zijn gebaseerd op de aanbevelingen van de ICRP en de WHO [WHO, 2004]. De WHO richtlijn voor een referentieniveau in drinkwater is gebaseerd op een maximaal door drinkwater toegevoegde effectieve dosis van 100 microSv per jaar. Omdat mensen aan meerdere besmette bronnen blootgesteld kunnen worden ligt dit referentieniveau voor drinkwater een factor tien onder de door ICRP gehanteerde dosislimiet van 1000 microSv/jaar voor alle door handelingen toegevoegde doses voor leden van de bevolking. Voor tritium komt de met het referentieniveau overeenkomende concentratie (GRL=Guideline Reference Level) in drinkwater op: $7610 \text{ Bq/L} (= 100 \text{ microSv/jr} / ((730 \text{ L/jr}) \times (\text{dosisconversie } 1,8 \times 10^{-11} \text{ Sv/Bq}))$.

Hogere dosisconversiefactoren voor kinderen worden volledig gecompenseerd door een lagere consumptie van water [WHO 2004]. De WHO heeft het GRL gesteld op 10.000 Bq/L. De norm is daarmee iets minder conservatief, anders gezegd: een deel van het water wordt geconsumeerd via andere bronnen dan het besmette deel van het drinkwater. Drinkwater met een tritiumconcentratie tot aan het GRL is volgens de WHO norm acceptabel. Het ALARA principe blijft echter van toepassing. Richtlijnen die gelden in verschillende landen zijn meestal afgeleid uit de (afgeronde) WHO norm [WHO 2004]. Er zijn echter afwijkingen bij onder meer de US en EU en Noorwegen (zie tabel).

Tabel Referentie-, indicator- waarden en normen voor drinkwater

	Concentratie Bq/L	Effectieve dosis mSv/jaar
WHO	10.000	0.1
VS	740	0.04
Canada	7.000 ^{*)}	0.1
Australië	76.103	1
EU, waaronder Nederland België Duitsland Frankrijk Groot Brittannië Italië Spanje Zweden	100 ^{**)}	Indicatorwaarde (komt op zich overeen met 0.0013 mSv/jr) Totale besmetting in drinkwater maximaal 0.1 mSv/jr
Noorwegen	100 ^{**)}	Conform EU
Japan	Geen norm	-
Rusland	7.700	0.1
Zwitserland	10.000	0.1
Finland	30.000	0.5

^{*)} Waarde is onder revisie

^{**)} te interpreteren als indicatorwaarde (zie tekst)

Een aantal landen hebben de ICRP aanbeveling niet (volledig) overgenomen en hanteren afwijkende dosislimieten voor de consumptie van drinkwater: US 0.04 mSv/jaar (4 mrem) levert 740 Bq/L als maximum acceptabele concentratie, Australië: 1 mSv/jaar en 7.603 Bq/L en Finland: 0.5 mSv/jaar en 30.000 Bq/L. De EU volgt de ICRP en BSS aanbevelingen van 100 microSv/jaar toegevoegde dosis wel, maar zet het GRL voor drinkwater toch op de lage waarde van 100 Bq/L. De EU interpreteert deze waarde niet als een harde limiet maar als een attentie- of screeningwaarde voor de aanwezigheid van mogelijk andere schadelijke (kunstmatige) radionucliden in water. Een waarde dus waarboven actie moet worden ondernomen om te onderzoeken wat de oorzaak van de verhoging is. Er zijn dus wereldwijd, maar ook binnen Europa behoorlijk uiteenlopende actiewaarden voor drinkwater. In de Nederlandse regelgeving is het actieniveau van 100 Bq/L opgenomen in de drinkwaterrichtlijn (Drinkwaterbesluit, 2015), en heet daar parameterwaarde (met eenzelfde betekenis als de hiervoor genoemde indicatorwaarde uit de EU-richtlijn).

4 Brontermschatting en Verspreiding

4.1 Brontermschatting

De totale hoeveelheid tritium die in de vorm van getritieerd water in de ondergrond is terechtgekomen, de bronterm, is niet goed bekend. NRG (document D) maakte een schatting van de bronterm op basis van het in 2012 gemeten lektempo, waarbij ook de duur van het aantal reactorstops werd meegenomen. De op deze wijze geschatte totale hoeveelheid die in de bodem is gelekt kwam uit op 6 GBq, uitgaande van een geschatte lekperiode van 12 jaar. Die hoeveelheid blijkt echter een veel te lage schatting, omdat in juni 2016 al 36,4 GBq met de sanering is opgepompt [document L]: zes keer de door NRG geschatte bronterm! Op basis van de in 2012 en 2013 waargenomen besmetting in de bodem zijn schattingen van de totale besmetting bijgesteld. Golder (document C, december 2012) schatte de totale hoeveelheid tritium in de bodem op 48 GBq, en Grontmij (document F, september 2013) kwam tot een schatting van 25-50 GBq. De door Grontmij gegeven beste schatting van 33 GBq is oorspronkelijk gehanteerd als bronterm. Ook die blijkt dus nu te laag afgeschat. Op basis van de situatie in april 2016 is de resterende besmetting in de bodem door Sweco (=opvolger van Grontmij) geschat op 8,2 GBq [document U, document J]. Dat brengt de totale besmetting in de bodem eind 2012 op ten minste 44,6 GBq. Als bovenschatting hanteert NRG een totale besmetting van 50 GBq (beantwoording door NRG op vragen van RIVM)⁴.

RIVM concludeert dat de totale besmetting in de bodem een forse onzekerheid heeft, omdat het lekproces kennelijk niet goed is ingeschat. Ook de berekening vanuit de waargenomen bodembesmetting is onzeker omdat het aantal metingen in de pluim (op 2 diepten) te beperkt is om de diepte- en breedte-profielen en maximale concentraties nauwkeurig te bepalen. Zo blijken bijvoorbeeld de maximaal gemeten concentraties in de pluim-as in augustus gemiddeld zo'n 25-30% hoger dan in juni 2016 (document T, zie ook grafiek 2B hierna) en zelfs 80-90% hoger dan in april 2016. Deze toegenomen concentraties kunnen veroorzaakt worden doordat de pluim-as over de meetpunten schuift, en zou betekenen dat de maximale concentraties op de pluim-as in april niet samenvielen met de meetpunten⁵. Dit is een aanwijzing dat de op de aprilmetingen gebaseerde schatting van de totale resterende besmetting (8,2 GBq) te laag is (document J, U). Na vragen van RIVM is door Sweco bevestigd dat deze inschatting te laag is (document V). Sweco geeft nu een schatting van 12 GBq voor de resterende bronterm, maar niet helder is waarop deze nieuwe schatting precies is gebaseerd.

RIVM schat in dat een hogere waarde voor de restbesmetting zeker niet is uit te sluiten. De toename van de maximale concentraties in de pluim-as tussen april en augustus lijkt te wijzen op een verhoging van de rest besmetting met bijna een factor 2 ten opzichte van de in april geschatte

⁴ Dit leidt tot een boven schatting van de bronterm van circa 14 GBq (=50-36 GBq)

⁵ Theoretisch zou ook een toename van de besmetting een verklaring kunnen zijn, maar dat ligt niet voor de hand omdat de besmetting en de toename gemeten worden in de diepere laag en de pluim zich inmiddels niet meer nabij de bron (HFR) bevindt (zie figuren 1A en 1B).

waarde. Samen met een marge van 50% onzekerheid door de interpolatiemethode die Sweco aangaf (document V) komen wij met een indicatieve boven schatting van 20-25 GBq voor de medio 2016 resterende besmetting.

De onzekerheid in de resterende besmetting kan ook gevolgen hebben voor de te verwachten maximale tritiumconcentraties aan de terreingrens. Verwacht mag worden dat die, bij een ongewijzigd saneringsscenario, naar evenredigheid schalen met de resterende besmetting.

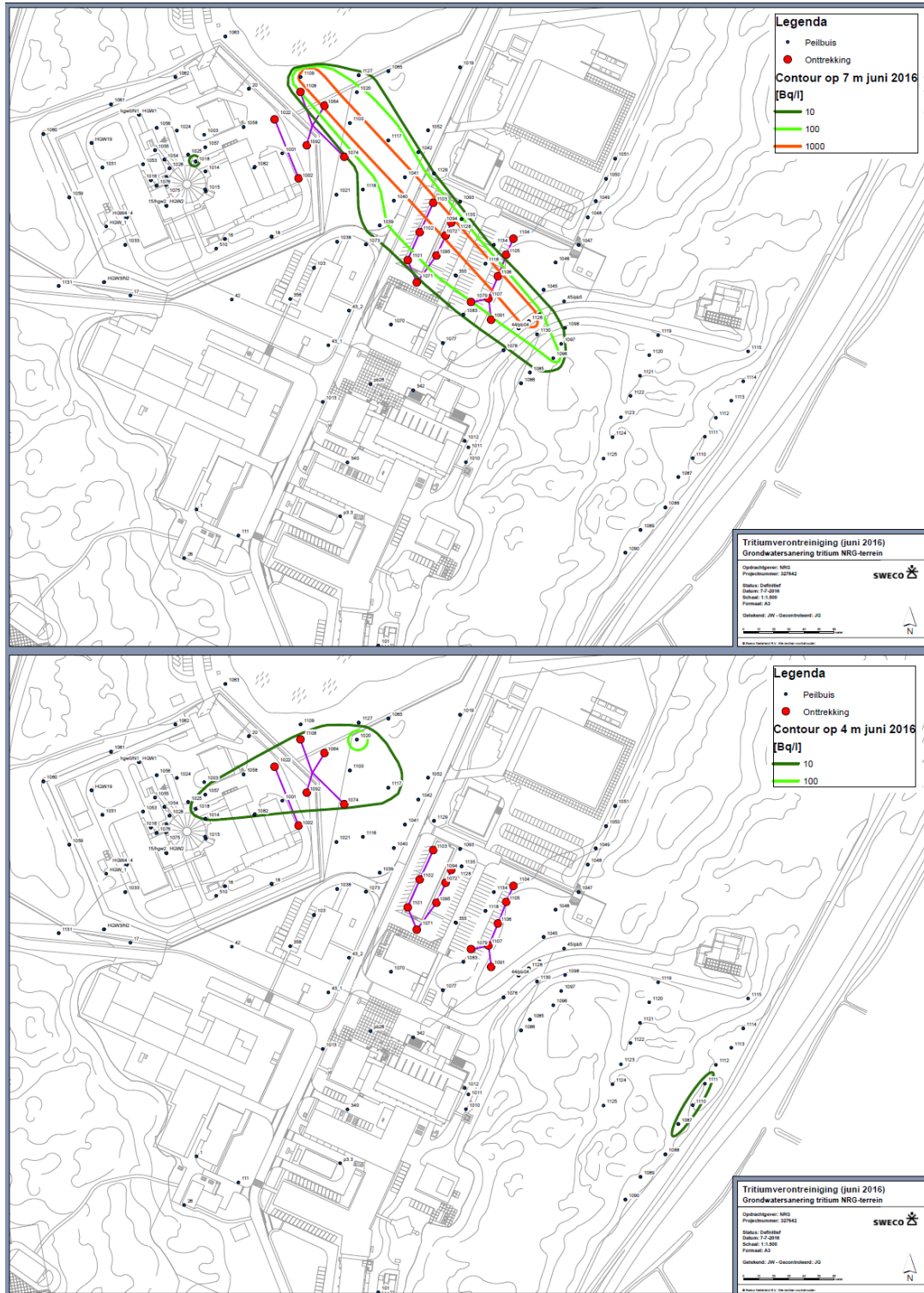
4.2 Verspreiding

Waar de besmetting begin 2013 nog nabij de HFR-installatie gesitueerd was (document B, bijlage 2), is het hart van de pluim door de saneringsmaatregelen en de grondwaterstroming inmiddels nog maar beperkt meetbaar nabij de HFR en worden de zwaarste besmettingen gemeten op een diepte van 7m in een contour die los is van de HFR (zie figuur 1 A). De hoogste besmettingsniveaus in het grondwater op 7m diepte bevinden zich ten noordoosten van de HFR, nabij de Rietplas, en bedragen 20-30.000 Bq/L. De pluim strekt zich van daaruit naar het zuidoosten uit met lager wordende concentraties: op zo'n 200 m afstand is de concentratie nog 1000 Bq/L. Op 4m diepte (zie figuur 1 B) ligt de pluim nog wel dichtbij de HFR, maar zijn de concentraties bij de HFR inmiddels beperkt tot tientallen Bq/L met een hoogste waarde ten noordoosten van de HFR rond 800 Bq/L.

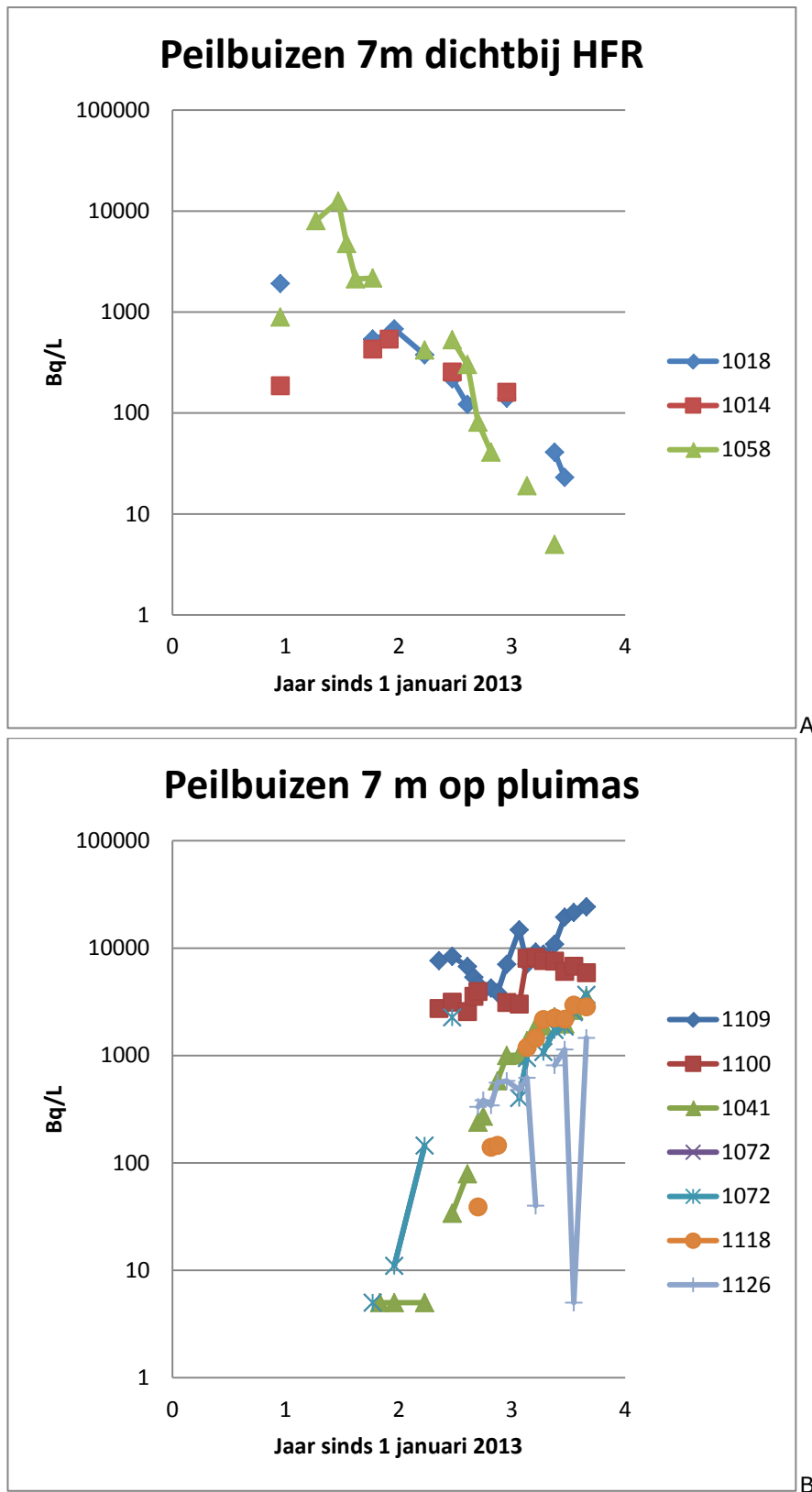
Kijken we naar de metingen nabij de HFR op een diepte van 7 m, dan zien we in de tijd een tendens van dalende waarden tot onder het niveau van 100 Bq/L (figuur 2A). Dit leidt tot de conclusie dat geen nieuwe substantiële besmettingen optreden.

In de pluim-as (figuur 2B) zien we juist een in de tijd stijgende waarde, en de zes meetpunten met de hoogste concentraties in de pluim-as zijn in de periode juni-augustus met gemiddeld 25-30% gestegen en sinds april zelfs met 80-90%! De pluim is smal, het geen leidt tot een geringe verspreiding, maar ook tot relatief hoog blijvende concentraties, en dit bemoeilijkt ook de schatting van de totale resterende besmetting omdat niet zeker is dat de daarvoor benodigde hoogste waarden in de pluim-as ook bemeten worden. De gemeten toename van de concentraties in de meetpunten nabij de pluim-as in figuur 2B kan daar op wijzen.

Bij het berekenen van de maximale concentraties aan de rand van het NRG terrein heeft Sweco tot dusverre gebruik gemaakt van de schatting van de totale besmetting op basis van metingen uit april 2016.



Figuur 1 Besmettingsprofiel juni 2016, A(boven) op 7 meter diepte en B (onder) op 4m diepte (NRG documenten P en O).



Figuur 2A (boven) Tijdverloop van tritiumconcentraties nabij de HFR en 2B (onder) tijdverloop in de huidige pluim-as (centraal in rode zone van figuur 1A).

4.3 Verspreiding buiten de terreingrens

Aan de terreingrens worden momenteel besmettingen van rond 10 tot maximaal circa 40 Bq/L gemeten. De door Sweco in opdracht van NRG berekende verwachting is dat de concentraties aan de terreingrens bij ongewijzigde sanering de 100 Bq/L zullen gaan overschrijden, met berekende maxima tussen 200 en 700 Bq/L [document J] in de periode 2020-2022 en een afname naar 100 Bq/L in de periode 2025-2030. Voor de eventuele radiologische consequenties is het van belang om te weten hoe de verspreiding buiten het terrein zal verlopen en wat de boven marge is van de te verwachten besmetting aan en voorbij de terreingrens. Deze vragen zijn ook door RIVM aan NRG gesteld. Bij bovenstaande berekening van de concentraties aan de terreingrens is door Sweco uitgegaan van de resterende besmetting van 8,2 GBq. Op grond van de bevindingen in sectie 4b kunnen we niet geheel uitsluiten dat de werkelijk resterende besmetting een factor 2 tot wellicht zelfs 3 maal groter is dan deze raming op basis van de metingen in april 2016. Aan de terreingrens kan in dat laatste geval een concentratie tussen 600 en 2000 Bq/L ontstaan, als boven schatting voor mogelijk toekomstige concentraties in de watervoerende laag.

Dit is een niet met berekeningen geverifieerde voorlopige inschatting. De vraag is vervolgens hoe dit zal verspreiden in het achterland en in welke mate het verontreinigde water beschikbaar komt voor eventueel te verbouwen gewassen in het achterland. Het is zeer waarschijnlijk dat de tritiumconcentratie in het water in het achterland lager is dan de maximale waarden in de watervoerende laag. Een rapportage van Sweco van medio oktober 2016 [document U] geeft geen volledige duidelijkheid over de mate waarin de concentraties lager uitpakken. Een factor 3-5 wordt genoemd voor de lagere concentratie in de sloot (onder meer door menging met onbesmet water).

Een groot deel van het water zal worden afgevangen door de sloot waar het snel zal verdunnen met regenwater en water wat vanuit andere locaties wordt aangevoerd naar de sloot. Een klein deel, volgens Sweco een niet-significant deel, zal onder de sloot doorstromen en opkwellen in de polder. Twee rapportages van Sweco spreken elkaar op dit punt tegen:

- In document J (p 7): "het grootste deel van de pluim zal onder de sloot door verplaatsen en in de achterliggende polder opkwellen" en,
- In document U (p19 punt 3): "opbouw van de bodem en de hydrologie van het gebied... is dusdanig dat geen significante verspreiding voorbij de sloot kan optreden."

Sweco heeft bij navraag aangegeven dat de formulering in document J niet correct was (document V).

Als er water doorstroomt onder de sloot naar het achterland dan zal dit, vanwege de gehanteerde peilen in de polder, waarschijnlijk alleen gebeuren in de zomer, wanneer er een holle grondwaterspiegel optreedt. Dit betekent dat als er verontreinigd water doorstroomt naar de polder, dit in het groeiseizoen gebeurt. Dit kan betekenen dat het verontreinigde water wordt opgenomen door het daar aanwezige gewas. Daarnaast is het waarschijnlijk dat met name het onderste deel van het freatisch pakket onder de sloot doorstroomt, waar de verontreiniging het hoogst is.

Op basis van de voorliggende gegevens is het lastig te beoordelen hoeveel verontreinigd water beschikbaar kan komen voor het gewas en dus door het gewas wordt opgenomen. . In de volgende sectie zullen we uitgaan van simpele scenario's waarbij we de tritiumconcentratie in water uitrekenen die leidt tot een extra dosis van 10 microSv/jaar. Blijft die berekende concentratie boven het niveau van de maximale besmetting in de watervoerende laag aan de terreingrens dan blijft de dosis voor bewoners dus ook zeker onder het niveau van 10 microSv/jaar.

5 Scenario's voor Radiologische consequenties

Tritium in grondwater zal alleen consequenties hebben voor de bevolking indien het via de voedselketen of via drinkwater wordt geconsumeerd. Inhalatie en opname via de huid is hier een weinig realistisch scenario en is buiten beschouwing gebleven. Om het effect van een mogelijke blootstelling te schatten zijn twee *conservatieve* scenario's uitgewerkt: een drinkwater scenario en een scenario waarbij (zeer) lokaal voedsel "uit eigen tuin" wordt geconsumeerd. In de scenario's worden de kwalitatieve en conservatieve inschattingen (zie boven) met betrekking tot de ontwikkeling van pluim als uitgangspunt genomen. Dit maakt de scenario's onzeker. Omdat de scenario's uiterst conservatief zijn hoeft dat geen probleem te zijn in de beoordeling. Doelstelling van de stralingsbescherming is de dosis zo veel als redelijkerwijs mogelijk te beperken (ALARA). Daarbij hoort optimalisatie een hoofdrol te spelen. In ICRP-publicatie 104 wordt uitgebreid stil gestaan bij het concept van "trivial dose", de als onbeduidend te beschouwen dosis (ICRP-104, 2007). Toegepast voor de vrijgave van goederen of materialen wordt veelal een dosis van 10 tot enkele tientallen microSv/jaar als "trivial dose" gehanteerd indien sprake is van blootstelling aan radio-actieve stoffen van niet-natuurlijke oorsprong. In lijn met diverse internationale rapporten hanteren we hier een blootstelling van 10 microSv/jaar als ("trivial") onbeduidende dosis (zie ICRP-104). Merk daarbij op dat een dergelijke blootstelling een heel kleine fractie (<0,4%) is van de dosis die in Nederland gemiddeld wordt opgedaan door leden van de bevolking (zie www.rivm.nl/stralingsbelasting).

5.1 Drinkwater

In het drinkwaterscenario wordt buiten de terreingrens in de polder een waterput geslagen en voor consumptie van drinkwater gebruikt. Een conservatieve aanname voor het drinkwatergebruik, in feite de WHO benadering als boven omschreven, is 2 L per dag gedurende alle dagen van het jaar geconsumeerd door de referentiepersoon. Deze persoon woont en werkt op locatie van de pluim en consumeert zijn volledige jaarbehoefte aan drinkwater uit de waterput. Vanwege de beperkte afmeting van de pluim is de referentiegroep beperkt tot hooguit een 10-tal personen (1-2 families).

Per 100 Bq/L besmetting van het grondwater is dit een effectieve volg dosis 1,3 microSv/jaar bij een dosisconversiecoëfficiënt van $1,8 \times 10^{-11}$ Sv/Bq (HTO). Vergelijken we dit met het triviaal niveau voor geplande emissies van 10 microSv/jaar effectieve dosis, dan is de grenswaarde voor de besmetting maximaal 760 Bq/L op locatie van de waterput. Indien de grenswaarde wordt gerelateerd aan de besmetting op de terreingrens dan is door verdunning van de pluim door de verspreiding, verval en toevoer van onbesmet regenwater de toegestane grenswaarde voor de concentratie aan de terreingrens zeker hoger dan 760 Bq/L. Toetsing aan 100 microSv/jaar (locatielimiet) levert een 10 x hogere grenswaarde van 7600 Bq/L. Omdat er geen drinkwaterinlaatpunten zijn in de omgeving van het NRG-terrein waar de

besmetting is geconstateerd, is besmetting van drinkwater vrijwel uitgesloten.

5.2 Lokale consumptie van voedsel

Een vergelijkbaar scenario kan geconstrueerd worden door uit te gaan van een voedingspakket dat volledig uit "eigen tuin" geproduceerde producten bestaat. We gaan uit van een aantal productgroepen die of in een kas of op de koude grond verbouwd kunnen worden. In beide gevallen rekenen we met besmet water van 100 Bq/L en verwaarlozen we het verdunningseffect door toevoer/menging van besmet grondwater met onbesmet regenwater. In tabel staan een aantal product(groepen) vermeld voor eigen consumptie. Geconsumeerde hoeveelheden "uit eigen tuin" gelden voor de referentiepersoon en zijn volgens de definitie in DOVIS-A [RIVM, 2002] met uitzondering van bladgroenten/overige groenten. De consumptie van groenten die we hier hanteren is conservatief afgeleid voor een consumptie van 200 gram/dag en ligt bijna een factor twee hoger dan de waarde in DOVIS-A.

De factor OGT/HTO is een zeer ruwe schatting op basis van ref. [IRSN]. De dosisconversiecoëfficiënten voor OGT en HTO verschillen een factor 2.3. In deze conservatieve benadering speelt deze factor geen grote rol van betekenis. Een verdere aanname is dat de concentratie OGT en HTO in voedsel uiteindelijk in evenwicht komt met de concentratie in grondwater (concentratie per kg voeding is concentratie per L in grondwater).

Tabel Besmettingsniveau van water dat leidt tot een effectieve jaardosis van 10 microSv/jaar.

	Hoeveelheid kg/jaar	Fractie OGT/HTO	Dosis bij 100 Bq/m ³ µSv/j	Grenswaarde bij 10 µSv/jaar Bq/L
Bladgroenten/andere groenten	73	0,05	0,14	7.140
Melk	137	0,06	0,25	4.000
Aardappelen	43	1.00	0,13	7.690
Granen	71	2.30	0,25	4.000

Toegevoegde dosis door consumptie uit eigen tuin is afhankelijk van de hier beschouwde productgroepen rond 0.13 - 0.15 microSv/jaar per 100 Bq/L. Vertaald naar een toetsingsniveau van 10 microSv/jaar levert dat grenswaarden op voor de concentratie tussen de 4000 en 7690 Bq/L grondwater. Als de concentratie aan de terreingrens wordt gehanteerd dan zal door verdunning en menging met schoon regenwater de concentratie van daadwerkelijk gebruikt water duidelijk lager uitvallen. Indien we rekenen met een volledig lokaal ("eigen tuin") geproduceerd consumptiepatroon volgens DOVIS-A [RIVM, 2002], dan volgt een toegevoegde dosis van maximaal 1.6 microSv/jaar. Daarbij nemen we aan dat alle voeding en drinkwater uit het besmette gebied komt en geproduceerd wordt met besmet water. Dat komt overeen met een grenswaarde van 630 Bq/L bij een toetsingsniveau van 10 microSv/jaar. Deze waarde komt goed overeen met die in het conservatieve drinkwater scenario. Gelet op het feit dat de hoogste concentraties in het besmette grondwater ontstaan bij een smalle pluimbreedte zal het niet realistisch zijn dat alle producten uit bovenstaande lijst met maximaal besmet water worden gevoed.

6 Discussie en conclusies

Door lekkage van pijpleidingen nabij de HFR is een hoeveelheid met tritium besmet water in de bodem terechtgekomen. Omdat lozing van tritium naar de bodem niet is vergund, is deze lekkage in feite een onvoorziene en onbedoelde gebeurtenis waarvan de radiologische gevolgen zoveel als redelijkerwijs mogelijk moeten worden beheerst. Deze RIVM-rapportage richt zich vooral op de vraag in welke mate de ontstane en resterende besmetting kan leiden tot een stralingsblootstelling. RIVM heeft daartoe de door NRG verzamelde gegevens en rapportages ter inzage gehad en op basis van deze gegevens een inschatting gemaakt van mogelijke radiologische consequenties. Op basis van de beschikbare gegevens concludeert RIVM:

- Dat er een behoorlijke onzekerheid is over de totale lozing die waarschijnlijk over ten minste tien jaar heeft plaatsgehad. Ook de nog resterende besmetting is daarmee onzeker.
- Hoewel de door NRG/Sweco eerder aangegeven schatting van de nog resterende besmetting van 8 GBq (document U) is verhoogd tot 12 GBq (document V), is niet uit te sluiten dat er zich meer in de ondergrond bevindt.
- De door Sweco berekende resterende besmetting van 8 GBq (met 50% onzekerheid) in de ondergrond is namelijk gebaseerd op meetgegevens van april 2016, en de latere metingen in de as van de verspreidingspluim laten duidelijk hogere waarden zien: in augustus 80-90% hoger dan in april. Indicatief schat RIVM daarom een hogere waarde voor de bovengrens van de resterende besmetting van 20-25 GBq.
- Ook de inschatting door Sweco dat aan de terreingrens de concentratie in het grondwater bij stoppen van het huidige saneringsbeleid kan oplopen tot maximaal circa 700 Bq/L lijkt een redelijke inschatting, maar kan niet worden gezien als een bovengrens voor de besmetting.
- Indicatief schatten we een bovengrens voor de concentratie in grondwater aan de terreingrens in op maximaal enkele duizenden Bq/L. Wel is het aannemelijk dat de waarde in de nabijgelegen sloot en achtergelegen gebied duidelijk lager zal liggen dan het maximum in het grondwater aan de terreingrens, door menging met onbesmet water.
- De gemeten maximale besmettingsniveaus in het grondwater aan de terreingrens bedragen momenteel maximaal enkele tientallen Bq/L. In het voorgaande is al aangegeven dat de door NRG/Sweco aangegeven boven-schatting voor de besmetting aan de terreingrens onzeker is. Echter, gelet op de waarnemingen op het terrein lijkt het niet waarschijnlijk dat de concentratie aan de terreingrens hoger wordt dan enkele duizenden Bq/L, en het is zeer wel mogelijk dat de door NRG/Sweco aangegeven waarden reëel zijn.
- Conform de nieuwe Basis Safety Standard (BSS Euratom 2013/59) is de situatie in Petten op te vatten als bestaande situatie na een stralingsincident (onvoorziene gebeurtenis). In lijn met internationale rapporten over stralingsbescherming

- hanteren we in deze rapportage een blootstellingsniveau van 10 microSv/jaar als niveau waar beneden de stralingsdosis als onbeduidend ("trivial") kan worden opgevat.
- RIVM heeft een ruwe en zeer tot extreem conservatieve (= te hoge) schatting opgesteld voor een eventueel lokaal op te lopen stralingsbelasting in relatie tot eventuele besmettingsniveaus van grond/oppervlaktewater buiten de terreingrens. Er zijn vijf scenario's bekeken en daarbij is vastgesteld welk besmettingsniveau van water leidt tot een jaardosis van 10 microSv:
 1. Drinkwater, waar een waterbesmetting met 760 Bq/L leidt tot 10 microSv/jaar.
 2. Groenten, besmettingsniveau: 7140 Bq/L.
 3. Melk, besmettingsniveau: 4000 Bq/L.
 4. Aardappelen, besmettingsniveau: 7690 Bq/L.
 5. Granen, besmettingsniveau: 4000 Bq/L.
 - RIVM beschouwt het eerste scenario als erg onwaarschijnlijk, aangezien er geen drinkwaterinlaatpunten in de nabijheid van het besmette gebied liggen. Het kan alleen indien iemand zelf het eigen drinkwater uit besmet sloot- of grondwater haalt. Scenario 2 is nog altijd zeer conservatief, maar in theorie mogelijk voor een boer/bewoner die louter lokaal besmet grond- en/of oppervlakte- water oppompt voor irrigatie en het jaar rond van de eigen oogst eet.
 - Bij berekening van de dosis voor leden van het publiek moet worden uitgegaan van een representatieve persoon, zijnde een dosis die representatief is voor de hoger blootgestelde individuen in de bevolking, maar zonder dat daarbij extreem of uitzonderlijk gedrag wordt meegenomen. Om die reden beschouwen we scenario 1 als te extreem.
 - Voor scenario's 3 en 5 lijkt het niet waarschijnlijk dat de hele productie aan melk en granen besmet is, gelet op het feit dat de besmette watervoerende laag slechts een beperkt gebied omvat, dan wel dat het waarschijnlijk is dat menging optreedt met verdunning van de besmetting tot gevolg.
 - In bovenstaande scenario's is sprake van vrij uitzonderlijk gedrag, en bovendien is getoetst aan een scherpe eis van maximaal 10 microSv/jaar, een waarde die ook internationaal veelal als vrijgave of vrijstellingsgrens wordt gehanteerd voor blootstelling bij een geplande situatie. We concluderen dan ook dat een tritiumbesmettingsniveau van 5000 Bq/L in het grond/oppervlaktewater aan de terreingrens voor leden van de bevolking niet zal leiden tot overschrijding van het triviale niveau voor geplande blootstellingen (van 10 tot enkele tientallen microSv per jaar; ICRP-104), zelfs bij de conservatieve scenario's 2-5.
 - De parameterwaarden van 100 Bq/L voor drinkwater, en 10 Bq/L voor oppervlaktewater geven radiologische blootstellingen die ruim onder het niveau van 10 microSv/jaar blijven voor leden van de bevolking. Normen voor drinkwater variëren sterk van land tot land. Zo stelt de WHO een referentieniveau voor drinkwater voor van 10.000 Bq/L, hetgeen leidt tot een maximale jaardosis rond de 100 microSv.

- RIVM pleit voor ten minste een voortzetting van het meetprogramma op het terrein. In aanvulling daarop is het aan te bevelen ook juist buiten de terreingrens, met name in de nabijgelegen sloot, de besmettingsniveaus te bewaken. Overwogen kan worden die laatste metingen door een onafhankelijke partij uit te laten voeren.

7 Geraadpleegde documenten en referenties

7.1 Documenten NRG

- A. Grondwateronderzoek NRG te Petten. MJM Vissers, L Borst. Grontmij rapport GM-0086148 revisie D01, 20 december 2012.
- B. Plan van aanpak, sanering locatie HFR-terrein en omgeving te Petten. L Borst, J van Garderen. Grontmij rapport 327397 revisie D1, 11 maart 2013.
- C. Mitigation and Remediation Options Appraisal Support. NRG, Golder Associates (UK) Ltd. Report 12514270722.500/B.0, December 2012.
- D. Tritium Taskforce Final report, Tritium groundwater contamination at the High Flux Reactor Site. R Huiskamp, 14 maart 2013.
- E. Erratum voor rapport GM-0086148 (Concept). Grontmij kenmerk 327397, 17 juli 2013.
- F. Sanering tritiumverontreiniging HFR: Effect hotspotsanering, saneringsvarianten en pluimontwikkeling. M Vissers, L Borst. Grontmij rapport GM-0111793, 16 september 2013.
- G. Notitie Voortgang tritiumsanering NRG. Grontmij PN 327642, 1 september 2014.
- H. Beoordeling en aanbevelingen voortgang sanering tritiumverontreiniging NRG Petten voor deelgebied nabij de rietplas. Notitie Grontmij 327662, 12 februari 2015.
- I. Operationele beoordeling tritiumsanering NRG Petten. Beoordeling voorjaar 2015. MJM Vissers. Grontmij rapport 999099, 23 april 2015.
- J. Beoordeling autonome ontwikkeling pluim vanuit situatie april 2016. Notitie SWECO 327642, revisie D1 (nb er zijn 2 versies met zelfde datum en revisie nummer hier versie 2, 9 pag), M Vissers. 13 juni 2016.
- K. Kwartaalrapportage 3 2015: Tritiumsanering op het NRG/OLP terrein. S Petrus. NRG rapport 25214.80/15.134927, 29-10-2015.
- L. Kwartaalrapportage 2 2016: Tritiumsanering op het NRG/OLP terrein. S Petrus. NRG rapport 25214.80/16.139103, 07-07-2016.
- M. Administratie hotspot sanering (NRG excel spreadsheet).
- N. Administratie tritium sanering (NRG excel spreadsheet).
- O. Birdview tritiumverontreiniging juni 2016 4 m diep contour. SWECO. 7 juli 2016.
- P. Birdview tritiumverontreiniging juni 2016 7 m diep contour. SWECO. 7 juli 2016.
- Q. Birdview situering peilbuizen juni 2016. SWECO. 7 juli 2016.
- R. Beoordeling stroming en effecten kwelscherm. SWECO notitie, M Vissers, 15 juni 2016.
- S. Uitwerking scenario's als randvoorwaarde voor het saneringssysteem. Memo SWECO. J van Garderen, 10 september 2015.
- T. Tritiumsanering op het NRG terrein Q3 2016 (aanvulling ontvangen 7-9-2016).

- U. Aanvullende vragen Tritiumsanering, onzekerheden in vrachten en concentraties, revisie EC-D1, Sweco 14 oktober 2016, M Vissers.
- V. Aanvullende vragen Tritiumsanering, onzekerheden in vrachten en concentraties, revisie D2, Sweco 21 oktober 2016, M Vissers.

7.2 Referenties

BSS Euratom 2013, Council directive 2013/59/EURATOM, Basic safety standards for protection against the dangers arising from exposure to ionizing radiation. Available on the web:

<https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/documents/CELEX-32013L0059-EN-TXT.pdf>

ICRP-104 2007, Scope of radiological protection Control measures. ICRP-publication 104.

CNSC, 2008; Standards and Guidelines for Tritium in Drinking Water. Part of the Tritium Studies project. Catalogue number INFO-0766. Canadian Nuclear Safety Commission (CNSC) (2008). Available on the web:

http://nuclearsafety.gc.ca/pubs_catalogue/uploads/info_0766_e.pdf

Drinkwaterbesluit, 2015; Drinkwaterbesluit BWBR0030111 van 28-11-2015

<http://wetten.overheid.nl/BWBR0030111/2015-11-28>, tabel IV in bijlage A, met parameterwaarde van 100 Bq/L voor tritium en 0,1 mSv (bedoeld is waarschijnlijk 0,1 mSv/jr) als indicatorwaarde voor de dosis.

ICRP-104, 2007; Scope of radiological protection control measures, ICRP publication 104.

IRSN, 2010, Radionuclide fact sheet: Tritium and the environment. Calmon P, Garnier-Laplace J.

NRC, 2016A Groundwater contamination (Tritium) at Nuclear Plants. U.S.NRC. Web page, last updated: 2016. Available on the web:

<http://www.nrc.gov/reactors/operating/ops-experience/grndwtr-contam-tritium.html>

NRC, 2016 B, Leaks and Spills at U.S. Commercial Nuclear Power Plants, June 2016. U.S. NRC. Available on the web:

<http://www.nrc.gov/docs/ML1615/ML16154A745.pdf>

RIVM, 2002; Dosisberekening voor de Omgeving bij Vergunningverlening Ioniserende Straling – DOVIS, A. Lozingen in lucht en water. Blaauboer R, RIVM Rapport 610310006/2002 (2002) met erratum d.d. 14-12-2009.

RIVM, 2015 Environmental radioactivity in the Netherlands. Results in 2013. Knetch GJ (ed.), RIVM Report 2015-0040 (2015)

WHO 2004 Guidelines for Drinking-Water Quality. World Health Organisation, Vol. 1. Third Edition. Genève (2004).

http://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/GDWQ2004web.pdf

RIVM

De zorg voor morgen begint vandaag