



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

Inventarisatie mogelijke bestaande blootstellingsituaties in Nederland

Onderzoek voor de implementatie van richtlijn
2013/59/Euratom

RIVM Briefrapport 2017-0047
M. van der Schaaf | E. Folkertsma | D. Valk



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

Inventarisatie mogelijke bestaande blootstellingsituaties in Nederland

Onderzoek voor de implementatie van richtlijn
2013/59/Euratom

RIVM Briefrapport 2017-0047

M. van der Schaaf | E. Folkertsma | D. Valk

Colofon

© RIVM 2018

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-2017-0047

M. van der Schaaf (auteur), RIVM
E. Folkertsma (auteur), RIVM
D. Valk (auteur), RIVM

Contact:
Martijn van der Schaaf
Centrum Veiligheid
martijn.van.der.schaaf@rivm.nl

Dit onderzoek werd verricht in opdracht van Autoriteit Nucleaire Veiligheid en Stralingsbescherming, in het kader van het programma Ondersteuning beleid stralingsbescherming 2016

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

Publiekssamenvatting

Inventarisatie mogelijke bestaande blootstellingsituaties in Nederland

Onderzoek voor de implementatie van richtlijn 2013/59/Euratom

Het RIVM heeft situaties in kaart gebracht die sinds 6 februari 2018 mogelijk onder de stralingsregelgeving vallen en waarin mensen kunnen blootstaan aan ioniserende straling. Dergelijke situaties worden 'bestaande blootstellingsituaties' genoemd. Deze inventarisatie is nodig voor eventuele beleidskeuzes over dergelijke situaties. Het gaat dus niet om situaties die nu al onder toezicht staan van de Autoriteit Nucleaire Veiligheid en Stralingsbescherming (ANVS), zoals kerncentrales of röntgentoestellen.

Sinds 6 februari 2018 moeten lidstaten bestaande blootstellingsituaties inventariseren op grond van nieuwe Europese voorschriften over stralingsbescherming. Deze voorschriften zijn geïmplementeerd in het Besluit basisveiligheidsnormen stralingsbescherming (Bbs). In dit onderzoek zijn 24 blootstellingsituaties geïnventariseerd waarvan er vijftien zijn aangemerkt als mogelijke bestaande blootstellingsituatie. De overige negen zijn situaties waarop het Bbs niet van toepassing is, of situaties die al onder het controlestelsel blijken te vallen ('geplande blootstellingsituaties').

De blootstelling in gebouwen aan radon en thoron, en aan externe straling behoren sinds de nieuwe wetgeving tot mogelijke bestaande blootstellingsituaties. Deze drie blootstellingsituaties leiden voor een gemiddelde inwoner van Nederland gezamenlijk tot een dosis van ongeveer 1 millisievert per jaar. Dit komt overeen met circa 40 procent van de totale gemiddelde jaarlijkse blootstelling aan ioniserende straling in Nederland. Een blootstelling van 1 millisievert per jaar is relatief laag in vergelijking met de in Europese regelgeving gebruikte 'referentieniveaus', die tussen de 1 en 20 millisievert per jaar moeten liggen. Voor de resterende twaalf mogelijke bestaande blootstellingsituaties is de mate van blootstelling aanzienlijk lager, en in bijna alle gevallen lokaal van aard.

De inventarisatie is uitgevoerd in opdracht van de Autoriteit Nucleaire Veiligheid en Stralingsbescherming (ANVS).

Kernwoorden: bestaande blootstellingsituatie, ICRP, radioactiviteit van natuurlijke oorsprong, richtlijn 2013/59/Euratom

Synopsis

Survey of possible existing exposure situations in the Netherlands

Research to support the implementation of Directive 2013/59/Euratom

RIVM has carried out a survey of situations in which people are (amenable to be) exposed to ionising radiation that have not been subject to radiation protection legislation, but are so since 6 February 2018. These situations are called 'existing exposure situations'. The survey is a first step for possible policy development on this matter. Existing exposure situations do not encompass situations that already are under regulatory control of the competent regulatory authorities, as for instance is the case for nuclear power plants and radiation generators.

Since 6 February 2018, new European radiation protection legislation requires member states to identify existing exposure situations. These requirements are implemented in the Dutch Decree on Basic Safety Standards for Radiation Protection ("Bbs"). Of the 24 situations identified in the survey, 15 are considered as possible existing exposure situations. The remaining 9 situations are situations that are excluded from regulation, or situations that appeared to be under regulatory control ('planned exposure situations').

The exposure to radon and thoron and exposure to external radiation in buildings are possible existing exposure situations. Taken together, these situations account for a dose of approximately 1 millisievert per year for an average member of the population. This corresponds with approximately 40% of the total average annual exposure to ionising radiation in the Netherlands. An dose of 1 millisievert per year is relatively low in comparison to the 'reference levels', as laid down in European legislation, which should range between 1 and 20 millisievert per year. The exposure in the remaining 12 situations is much lower and is also of a more local nature.

The survey was carried out at the request of the Authority for Nuclear Safety and Radiation Protection (ANVS).

Keywords: existing exposure situation, ICRP, naturally occurring radioactivity, directive 2013/59/Euratom

Inhoudsopgave

Samenvatting — 9

1 **Introductie — 13**

- 1.1 Aanleiding voor dit onderzoek — 13
- 1.2 Aanpak — 13
- 1.3 Afbakening — 14
- 1.4 Leeswijzer — 14
- 1.5 Disclaimer — 14

2 **Achtergrond concept bestaande blootstellingsituaties — 17**

- 2.1 Bestaande blootstellingsituaties in ICRP-103 (en 104) — 17
- 2.2 Bestaande blootstellingsituaties in de richtlijn — 20
- 2.3 Bestaande blootstellingsituaties in het Besluit basisveiligheidsnormen stralingsbescherming — 21
 - 2.3.1 Blootstellingsituaties die zijn uitgesloten van het Bbs — 22
 - 2.3.2 Voorschriften aan bestaande blootstellingsituaties — 22
 - 2.3.3 Aangemerkte bestaande blootstellingsituaties — 23
 - 2.3.4 Indicatieve lijst bestaande blootstellingsituaties — 24
- 2.4 Indeling van situaties uit de inventarisatie — 24

3 **Blootstellingsituaties die zijn uitgesloten van het Bbs — 27**

- 3.1 Blootstelling aan terrestrische straling — 27
- 3.2 Blootstelling aan kosmische straling op zeeniveau — 27
- 3.3 Blootstelling aan kosmische straling van leden van de bevolking in de luchtvaart — 28
- 3.4 Blootstelling aan straling ten gevolge van radioactiviteit in voedsel — 28

4 **Blootstellingsituaties die niet zijn uitgesloten van het Bbs — 31**

- 4.1 Blootstelling wegens verontreiniging van zones door materiaal met residuele radioactiviteit — 31
 - 4.1.1 Residuele radioactiviteit uit activiteiten uit het verleden die (mogelijk) niet conform de voorschriften uit de richtlijn zijn behandeld — 31
 - 4.1.1.1 NIKHEF/IKO-terrein, Amsterdam — 31
 - 4.1.1.2 Voormalig KEMA-terrein, Arnhem — 32
 - 4.1.1.3 Katalysatorberging, Geleen — 33
 - 4.1.1.4 Voormalige Polderwegterrein Amsterdam — 34
 - 4.1.1.5 Thermphos-terrein, Vlissingen-Oost — 35
 - 4.1.1.6 Voormalige Billiton-terrein Arnhem — 36
 - 4.1.1.7 Hergebruik van (voorheen) vrijgegeven met cesium-137 besmet puin onder Polderbaan — 37
 - 4.1.1.8 Verhoogde concentraties radioactiviteit in oppervlaktewateren — 37
 - 4.1.1.9 Mogelijk verhoogde concentraties van radionucliden van natuurlijke oorsprong in Nieuwe Waterweg t.g.v. lozingen van voormalige kunstmestfabrieken — 38
 - 4.1.1.10 Hergebruik geactiveerd materiaal van versnellers — 39
 - 4.1.1.11 Stort van (voorheen) vrijgegeven radioactief afval van kunstmatige oorsprong op deponieën — 40
 - 4.1.1.12 Stort van (voorheen) vrijgegeven radioactief afval met radionucliden van natuurlijke oorsprong op deponieën — 42

- 4.1.2 Residuele radioactiviteit uit een noodsituatie, nadat de blootstelling in een noodsituatie beëindigd werd verklaard, als bepaald in het rampenbestrijdings-systeem; — 43
 - 4.1.2.1 Externe straling ten gevolge van fall-out — 43
 - 4.1.2.2 Tritium-besmetting grondwater Onderzoekslocatie Petten — 43
 - 4.1.2.3 Verloren gegane radioactieve bronnen in de ondergrond — 44
- 4.1.3 Residuele radioactiviteit uit activiteiten in het verleden waarvoor de onderneming niet langer wettelijk aansprakelijk is — 44
- 4.2 Blootstelling aan natuurlijke stralingsbronnen — 44
 - 4.2.1 Blootstelling aan radon en thoron binnenshuis, op werkplekken, in woningen en andere gebouwen; — 44
 - 4.2.1.1 Blootstelling aan radon (radon-222) in gebouwen — 44
 - 4.2.1.2 Blootstelling aan thoron (radon-220) in gebouwen — 46
 - 4.2.2 Uitwendige blootstelling binnenshuis ten gevolge van bouwmaterialen. — 47
- 4.3 Blootstelling aan grondstoffen (met uitsluiting van voedsel, diervoeder en drinkwater) — 48
 - 4.3.1 Blootstelling aan grondstoffen met radionucliden uit zones die zijn verontreinigd door materiaal met residuele radioactiviteit; — 48
 - 4.3.2 Blootstelling aan grondstoffen met radionucliden van natuurlijke oorsprong. — 48
 - 4.3.2.1 Hergebruik slakken uit de ertsverwerkende industrie — 48
 - 4.3.2.2 Hergebruik van slakkenwol — 50
- 5 Conclusies — 53**
 - 5.1 Gevonden mogelijke bestaande blootstellingsituaties — 53
 - 5.2 De mate van blootstelling — 55
 - 5.3 De impact van beleidswijzingen — 56
- 6 Belangrijkste conclusies uit contact met SSM (bevoegde autoriteit Zweden) — 57**
- 7 Referenties — 59**

Samenvatting

Ten behoeve van de implementatie van richtlijn 2013/59/Euratom (hierna: de richtlijn) in de Nederlandse regelgeving is op verzoek van de Autoriteit Nucleaire Veiligheid en Stralingsbescherming (ANVS) een inventarisatie uitgevoerd van mogelijke "bestaande blootstellings-situaties" in Nederland. De term bestaande blootstellingsituaties is afkomstig van Publicatie 103 van de International Commission on Radiological Protection (ICRP) en is overgenomen in de richtlijn en in het Besluit basisveiligheidsnormen stralingsbescherming (Bbs). Het gaat hierbij kort gezegd om situaties waarbij niet-gereguleerde blootstelling van leden van de bevolking of van werknemers aan ioniserende straling bestaat, en waarvoor nog geen beslissing is genomen over de regulering van de blootstelling. De dosis die een representatief lid van de bevolking of een werknemer kan oplopen door blootstelling in een bestaande blootstellingsituatie is niet zodanig hoog dat dringende maatregelen zijn vereist. Wanneer dat wel het geval is spreekt men van een "noodsituatie".

Op basis van zowel de richtlijn als Publicatie 103 van de ICRP is onderzocht wat precies onder een bestaande blootstellingsituatie moet worden verstaan. Vervolgens is op basis van gesprekken en emailwisselingen met diverse experts en een korte scan van beschikbare literatuur, een overzicht samengesteld van 24 situaties in Nederland die mogelijk kunnen worden aangemerkt als bestaande blootstellingsituatie. Daarbij is, vanwege de aanzienlijke beleidsruimte en bij gebrek aan een hard criterium in de richtlijn, breed gekeken naar mogelijke blootstellingen. Voor de geïnventariseerde situaties is daarna bepaald of deze zijn uitgesloten van het Bbs of kunnen worden aangemerkt als geplande blootstellingsituatie. Zo niet, dan is de situatie in dit briefrapport aangeduid als mogelijke bestaande blootstellingsituatie.

Een aantal geïnventariseerde situaties zijn uitgesloten van het Bbs. Dit geldt voor de blootstelling als gevolg van onder andere terrestrische straling, kosmische straling op zeeniveau en natuurlijke radioactiviteit in voedsel. Van vijf van de twintig resterende situaties is geconcludeerd dat deze moeten worden beschouwd als een geplande blootstellingsituatie. Dat houdt in dat hiervoor momenteel een vergunning is verleend, een melding is gedaan/registratie is aangevraagd, de handeling is vrijgesteld of het materiaal is vrijgegeven.

Uiteindelijk zijn vijftien situaties aangemerkt als mogelijke bestaande blootstellingsituaties. Voor zover mogelijk is voor deze situaties een eerste orde inschatting gemaakt van de mate van blootstelling van leden van de bevolking en in enkele gevallen van werknemers.

Wat betreft de mate van blootstelling van leden van de bevolking in de (mogelijke) bestaande blootstellingsituaties kan worden vastgesteld dat radon, thoron en externe straling in gebouwen verreweg de belangrijkste zijn. De effectieve dosis van een representatief lid van de bevolking ten gevolge van deze bijdragen samen ligt in de orde van 1 mSv per jaar, en betreft vrijwel de gehele Nederlandse bevolking. Dit

komt overeen met circa 40% van de gemiddelde blootstelling van een inwoner van Nederland. Een blootstelling van 1 mSv per jaar is relatief laag in vergelijking met de door de Europese Commissie gehanteerde "referentieniveaus" voor bestaande blootstellingsituaties, die tussen de 1 en 20 mSv per jaar moeten liggen. Voor de overige twaalf mogelijke bestaande blootstellingsituaties geldt dat de mate van blootstelling aanzienlijk kleiner is. Bovendien is de blootstelling lokaal van aard.

Voor de meeste van deze situaties geldt dat deze het gevolg zijn van in het verleden doorgevoerde beleidswijzigingen. Het kan daarbij bijvoorbeeld gaan om een aanpassing van de scope van regelgeving en/of aanscherping van grenswaarden voor vrijstelling en vrijgave van wettelijke controle. Afhankelijk van de precieze formulering van deze regelgeving kunnen dergelijke wijzigingen er in beginsel toe leiden dat rechtspersonen die een dergelijke situatie beheren onder wettelijke controle (bijvoorbeeld vergunningplicht) komen te vallen.

Van belang is op te merken dat de gegevens in dit briefrapport zijn gebaseerd op (soms onvolledige) informatie afkomstig uit archieven en interviews met (voormalig) medewerkers van diverse organisaties. Waar mogelijk is getracht deze informatie te "objectiveren" door relevante literatuur te raadplegen. De gekozen onderzoeksmethode brengt echter met zich mee dat niet valt uit te sluiten dat situaties die als (mogelijke) bestaande blootstellingsituatie zouden moeten worden aangemerkt niet zijn geïdentificeerd. Verder is van belang dat de cijfers voor de blootstelling enkel als indicatief mogen worden beschouwd. Om meer zekerheid te krijgen zouden aanvullende metingen kunnen worden uitgevoerd, eventueel in combinatie met een (arbeidsintensieve) studie in archieven.

De huidige inventarisatie volgt uit de voorschriften in het Bbs en is nodig voor eventuele beleidskeuzes op het gebied van bestaande blootstellingsituaties, zoals het besluit of in bepaalde situaties maatregelen nodig zijn.

In Tabel 1 zijn de gevonden mogelijke bestaande blootstellingsituaties samengevat.

Tabel 1: Samenvatting van de gevonden situaties die als mogelijke bestaande blootstellings situatie zijn geclassificeerd, en de bijbehorende inschatting van de blootstelling

Situatie	Grootteorde blootstelling leden van de bevolking	Percentage van totale gemiddelde stralingsbelasting	Blootgestelden	Pag.
Mogelijke bestaande blootstellings situaties/verontreinigde zones				
NIKHEF/IKO-terrein	Blootstelling ligt niet voor de hand	n.v.t.	Blootstelling werknemers niet uit te sluiten bij grondaafgraving	31
Voormalig KEMA-terrein	Geen blootstelling	n.v.t.	Blootstelling werknemers niet uit te sluiten bij grondaafgraving	32
Voormalig Polderweg-terrein	Geen blootstelling	n.v.t.	Blootstelling werknemers niet uit te sluiten bij grondaafgraving	36
Voormalige Billiton-terrein	Geen blootstelling	n.v.t.	Blootstelling werknemers niet uit te sluiten bij grondaafgraving	36
Polderbaan	Naar verwachting niet of nauwelijks meetbaar	n.v.t.	Blootstelling werknemers niet uit te sluiten bij werkzaamheden	37
Nederlandse oppervlaktewateren	<< 0,1 mSv per jaar	<< 4 %	Lokaal + regionaal	37
Nieuwe Waterweg	< 0,01 mSv per jaar	< 0,4 %	Lokaal + regionaal	38
Stort vrijgegeven kunstmatig radioactief afval op deponie	< 0,01 mSv per jaar	< 0,4 %	Lokaal + werknemers	40
Stort vrijgegeven afval met radionucliden van natuurlijke oorsprong op deponie	< 0,01 mSv per jaar	< 0,4 %	Lokaal + werknemers	42

Vervolg tabel 1: Samenvatting van de gevonden situaties die als mogelijke bestaande blootstellingsituatie zijn geïdentificeerd, en de bijbehorende inschatting van de blootstelling

Situatie	Grootteorde blootstelling leden van de bevolking	Percentage van totale gemiddelde stralingsbelasting	Blootgestelden	Pag.
(Mogelijke) bestaande blootstellingsituaties/ Natuurlijke stralingsbronnen				
Radon in gebouwen ¹	Gemiddeld 0,5 mSv per jaar, maximum van 10 mSv per jaar.	19%	Gehele bevolking + werknemers	44
Thoron in gebouwen	Gemiddeld 0,20 mSv per jaar, maximum van 10 mSv per jaar.	7,7%	Gehele bevolking+ werknemers	46
Externe straling in gebouwen ^{2,3}	0,35 mSv per jaar	13%	Gehele bevolking+ werknemers	47
Mogelijke bestaande blootstellingsituaties/Residuele activiteit na noodsituatie				
Fall-out Tsjernobyl	0,01 mSv per jaar	0,4 %	Gehele bevolking	43
Mogelijke bestaande blootstellingsituaties/Blootstelling aan grondstoffen				
Slakkenwegen ^{4,5}	0,035 mSv per jaar	1,3%	Met name in de Provincie Zeeland	48
Slakkenwol ⁶	Onbekend, maar vermoedelijk zeer beperkt	Onbekend, maar vermoedelijk zeer beperkt	Enkel lokaal	50

1 In het Bbs (artikel 7.38 en 9.10) aangemerkt als bestaande blootstellingsituatie.

2 In het Bbs (artikel 9.10) aangemerkt als bestaande blootstellingsituatie.

3 Het betreft hier de resultante van afscherming van kosmische en terrestrische straling door bouwmaterialen en de gammastraling afkomstig van in gebouwen toegepaste bouwmaterialen.

4 Aangemerkt als mogelijke bestaande blootstellingsituatie, omdat onbekend is waar deze zich bevinden.

5 De blootstelling aan slakken in (zee)dijklichamen is naar verwachting aanzienlijk lager dan die aan de zo genoemde "slakkenwegen".

6 De situaties waarin slakkenwol niet als zodanig wordt herkend zijn aangemerkt als mogelijke bestaande blootstellingsituatie. In situaties waar slakkenwol wel als zodanig wordt herkend, en maatregelen worden getroffen ten aanzien van het voorhanden hebben en de verwijdering ervan, is sprake van een geplande blootstellingsituatie.

Conform het verzoek van de ANVS is via informele contacten met collega's van overheden in België, Duitsland, het Verenigd Koninkrijk, Spanje en Zweden, geprobeerd de interpretatie van het begrip bestaande blootstellingsituatie en de resultaten van de inventarisatie te toetsen. Omdat, met uitzondering van Zweden, deze landen op het moment van het onderzoek nog geen concrete stappen hadden gezet richting implementatie van de richtlijn, heeft dit slechts op zeer beperkte schaal bruikbare resultaten opgeleverd. De belangrijkste conclusie uit het contact met Zweden is dat de interpretatie in dit briefrapport van de verplichtingen in de richtlijn met betrekking tot bestaande blootstellingsituaties, alsmede het in kaart brengen van blootstellingen, door hen in grote lijnen wordt onderschreven.

1 Introductie

1.1 Aanleiding voor dit onderzoek

Richtlijn 2013/59/Euratom (hierna: de richtlijn) introduceert een nieuw Europees beleidskader voor het beheer van zogenoemde "bestaande blootstellingsituaties". Deze term is afkomstig uit Publicatie 103 van de International Commission on Radiological Protection (ICRP) uit 2007 (ICRP-103 (2007)) en is overgenomen in de richtlijn en in het Besluit basisveiligheidsnormen stralingsbescherming (hierna: Bbs). Op grond van artikel 100 van deze richtlijn zijn Lidstaten verplicht een inventarisatie uit te voeren van bestaande blootstellingsituaties binnen hun landsgrenzen, als eerste stap richting het ontwikkelen van beleid voor dergelijke situaties.

Met het oog op de implementatie van de voorschriften in de richtlijn met betrekking tot bestaande blootstellingsituaties heeft de Autoriteit Nucleaire Veiligheid en Stralingsbescherming (ANVS) het RIVM in 2015 verzocht een toelichting te geven op het concept "bestaande blootstellingsituatie", te onderzoeken welke aanpak andere (buur)landen hanteren bij het beleid voor dergelijke situaties, en te inventariseren welke situaties in Nederland kunnen worden aangemerkt als een bestaande blootstellingsituatie.

1.2 Aanpak

Voor de interpretatie van het begrip bestaande blootstellingsituatie in de richtlijn is Publicatie 103 van de ICRP geraadpleegd. Dit document ligt aan de basis van de meeste voorschriften en definities in de richtlijn, welke ten grondslag ligt aan het Bbs. Voor wat betreft de inventarisatie van mogelijke bestaande blootstellingsituaties in Nederland is van belang dat, als gevolg van de definitie van een bestaande blootstellingsituatie, de oorsprong van een groot deel van dergelijke situaties zich in het verleden bevindt. Het uitvoeren van een dergelijke inventarisatie betekent dan ook voor een belangrijk deel het uitvoeren van historisch onderzoek. Hierbij is geconstateerd dat het geregeld ontbreekt aan voldoende systematisch beheerde basisinformatie. Er is daarom in eerste instantie gekozen voor het raadplegen of interviewen van ervaren medewerkers of oud-medewerkers van de (rechtsvoorgangers van de) ANVS, beleidsdirecties en inspecties, gevolgd door een gerichtere zoektocht in relevante rapporten. Rechtsvoorgangers van de ANVS zijn onder andere de Kernfysische dienst (KFD), VROM Inspectie Zuid-West (VI-ZW) en het Ministerie van Economische Zaken, Landbouw en Innovatie (EL&I).

Dit heeft geleid tot een uitgebreide lijst van situaties. Per situatie is een korte beschrijving gegeven, en een schatting van de grootteorde van de jaarlijkse effectieve dosis van een representatief lid van de bevolking. Ter illustratie is deze schatting in Tabel 1 uitgedrukt als fractie van de gemiddelde jaarlijkse effectieve dosis van een lid van de bevolking in

Nederland. Deze bedraagt 2,6 mSv per jaar¹. Ook is, waar mogelijk, een indicatie gegeven van het aantal blootgestelden.

Vervolgens zijn de situaties ingedeeld in categorieën, op basis van de voorschriften in het Bbs, waarbij onderscheid is gemaakt tussen situaties die zijn uitgesloten van de werking van het Bbs, situaties die onder het controlestelsel van het Bbs vallen (geplande situaties) en mogelijke bestaande blootstellingsituaties. Deze onderverdeling is uitsluitend gedaan op basis van interpretatie van de vigerende voorschriften in het Bbs, en hebben geen relatie met een eventuele noodzaak tot het treffen van maatregelen.

Verder is de door het RIVM gehanteerde interpretatie van het begrip bestaande blootstellingsituatie uitgewisseld met collega's in Duitsland, België, het Verenigd Koninkrijk, Spanje en Zweden, met als doel een collegiale toetsing van zowel de interpretatie als de resultaten. De bevindingen hieruit zijn meegenomen in deze rapportage.

1.3 Afbakening

Dit onderzoek richt zich op het inventariseren van blootstellingsituaties in Nederland die mogelijk anderszins aangemerkt zouden kunnen worden als bestaande blootstellingsituatie. De opdracht voor dit onderzoek is als volgt afgebakend:

- De inventarisatie is in beginsel beperkt tot blootstelling van leden van de bevolking;
- het doen van metingen en archiefonderzoek valt buiten de scope van dit onderzoek;
- er wordt niet ingegaan op de toepasbaarheid van mogelijke maatregelen om de blootstelling te reduceren.

1.4 Leeswijzer

Dit briefrapport gaat in hoofdstuk 2 in op de achtergronden van het begrip bestaande blootstellingsituatie, zoals beschreven door de ICRP, in de richtlijn en in het Bbs. Vervolgens worden in hoofdstuk 3 en 4 de gevonden situaties beschreven die in een eerste brede inventarisatiefase als mogelijke bestaande blootstellingsituatie zijn aangemerkt. Daarbij is een onderscheid gemaakt tussen situaties die buiten het toepassingsgebied van het Bbs vallen (hoofdstuk 3) en situaties waarop het Bbs van toepassing is (hoofdstuk 4). Verder is aangegeven of de situatie bij nader inzien moet worden aangemerkt als een geplande blootstellingsituatie, of als mogelijke bestaande blootstellingsituatie. Tevens is geprobeerd om per situatie een schatting te geven van de effectieve dosis van leden van de bevolking als gevolg van deze situaties. In hoofdstuk 5 worden de conclusies samengevat. Hoofdstuk 6 bevat een korte weergave van de contacten met Zweden.

1.5 Disclaimer

- Het RIVM heeft zo goed als mogelijk geprobeerd de teksten van richtlijn 2013/59/Euratom en ICRP-103 te interpreteren. Het is

¹ http://www.rivm.nl/Onderwerpen/S/Stralingsbelasting_in_Nederland/Aandeel_per_stralingsbron

echter niet uit te sluiten dat op bepaalde punten een andere (juridische) uitleg mogelijk of zelfs noodzakelijk is.

- Een groot deel van de informatie in dit briefrapport is, bij gebrek aan adequate en volledige schriftelijke basisinformatie, afkomstig uit mondelinge interviews met diverse experts. Waar mogelijk is getracht deze informatie te "objectiveren" door relevante publicaties en rapportages te raadplegen. De gekozen onderzoeksmethode brengt echter met zich mee dat niet valt uit te sluiten dat situaties die als bestaande blootstellingsituaties zouden moeten worden aangemerkt niet zijn geïdentificeerd. Verder is van belang dat de cijfers voor de blootstelling enkel als indicatief mogen worden beschouwd. Om meer zekerheid te krijgen zouden op diverse plaatsen metingen kunnen worden uitgevoerd, eventueel in combinatie met een studie in archieven van organisaties als de ANVS.

2 Achtergrond concept bestaande blootstellingsituaties

Het concept “bestaande blootstellingsituatie” is nieuw in Europese regelgeving, en overgenomen uit Publicatie 103 van de International Commission on Radiological Protection (ICRP) (ICRP-103 (2007)). In dit hoofdstuk worden in paragraaf 2.1 de belangrijkste aanbevelingen uit ICRP-103 (2007) beschreven, en vervolgens de definitie en de belangrijkste voorschriften in de richtlijn opgesomd in paragraaf 2.2. Ten slotte wordt in paragraaf 2.3 de implementatie van het concept “bestaande blootstellingsituatie” in het Bbs samengevat. Deze paragraaf wordt afgesloten met een samenvattende interpretatie van het concept en een schema dat in dit rapport gebruikt is voor het indelen van blootstellingsituaties.

2.1 Bestaande blootstellingsituaties in ICRP-103 (en 104)

De aanbevelingen in ICRP-103 (2007) vormen de basis van richtlijn 2013/59/Euratom. Een belangrijk verschil is dat de voorschriften in de richtlijn juridisch bindend zijn voor de Euratom-Lidstaten, waar de aanbevelingen van de ICRP dat niet zijn. Het raadplegen van de aanbevelingen van de ICRP biedt enige context voor interpretatie van de voorschriften in de richtlijn.

Een belangrijke wijziging ten opzichte van eerdere aanbevelingen van de ICRP is dat in ICRP-103 primair wordt gekeken vanuit de blootgestelde mens (en indien van toepassing ook naar de natuur), in plaats van vanuit de verschillende mogelijke bronnen van ioniserende straling. De ICRP maakt onderscheid tussen drie soorten blootstellingsituaties, welke in de *Glossary* in ICRP-103 (2007) als volgt zijn gedefinieerd:

- **Planned exposure situation:** Everyday situations involving the planned operation of sources including decommissioning, disposal of radioactive waste and rehabilitation of the previously occupied land. Practices in operation are planned exposure situations.
- **Emergency exposure situation:** An unexpected situation that occurs during the operation of a practice, requiring urgent action. Emergency exposure situations may arise from practices.
- **Existing exposure situation:** A situation that already exists when a decision on control has to be taken, including natural background radiation and residues from past practices that were operated outside the Commission’s recommendations.

In hoofdstuk 5 van ICRP-103 (2007) zijn de blootstellingsituaties op een iets andere manier gedefinieerd:²

- **Planned exposure situations** are situations involving the deliberate introduction and operation of sources. Planned exposure situations may give rise both to exposures that are anticipated to occur (normal exposures) and to exposures that are not anticipated to occur.
- **Emergency exposure situations** are situations that may occur during the operation of a planned situation, or from a malicious

² ICRP-103 (2007), paragraaf 176. Het is niet duidelijk waar dit verschil vandaan komt.

act, or from any other unexpected situation, and require urgent action in order to avoid or reduce undesirable consequences.

- **Existing exposure situations** are exposure situations that already exist when a decision on control has to be taken, including prolonged exposure situations after emergencies.

In dit briefrapport wordt niet verder ingegaan op blootstelling in geplande blootstellingsituaties en op blootstelling in noodsituaties. Voor bestaande blootstellingsituaties wordt op basis van ICRP-103 (2007) en ICRP-104 (2008) het volgende geconcludeerd:

- Uitgaande van de hierboven geciteerde ICRP-definities (ICRP-103 (2007)) gaat het bij een bestaande blootstellingsituatie om een blootstellingsituatie die al bestaat op het moment dat (door de bevoegde autoriteit) een beslissing moet worden genomen over de controle ervan. Hierbij gaat het bijvoorbeeld om een blootstelling als gevolg van een toepassing van radioactiviteit die in het verleden als acceptabel werd beschouwd, maar vandaag de dag niet meer. Dit kan het geval zijn doordat de reikwijdte van de regelgeving is veranderd (het type blootstelling is niet meer uitgezonderd, of vrijstellingsnormen zijn aangescherpt), maar het kan ook zijn dat een blootstelling in het verleden (ten onrechte) niet als geplande blootstelling onder wettelijke controle viel. Verder kan het gaan om blootstelling als gevolg van een incident met radioactiviteit uit het verleden.
- Voor sommige bestaande blootstellingsituaties geldt dat het niet of slechts tegen hoge maatschappelijke kosten mogelijk is om met behulp van regulering de blootstelling aan straling te reduceren. Voor dergelijke situaties geldt dat regulering niet te rechtvaardigen is, en deze worden daarom beschouwd als (redelijkerwijs) niet-beheersbaar. Bij een dergelijke overweging moeten (door de bevoegde autoriteit) economische en sociale factoren worden meegewogen.³
- In ICRP-104 (2008) stelt de ICRP onder meer dat de cruciale beslissingen voor de stralingsbescherming in bestaande blootstellingsituaties zijn (i) of het te rechtvaardigen is om beschermingsmaatregelen te introduceren, te handhaven of te schrappen met het oog op dosisreductie door deze maatregelen; en (ii) zo ja, hoeveel de blootstelling moet worden gereduceerd.⁴ De "beslissing over de controle" in de definitie van bestaande blootstellingsituaties gaat om de beslissing om een bestaande blootstellingsituatie wel of niet uit te zonderen of vrij te stellen van regelgeving op grond van de antwoorden op bovenstaande vragen.
- Wordt (verdere) optimalisatie nodig geacht, dan is onder meer de vraag of er een rechtspersoon bestaat, aan wie verplichtingen kunnen worden opgelegd, gericht op de bescherming van personen tegen ioniserende straling. Is dat het geval, dan kan de bevoegde autoriteit overwegen om de blootstelling te beschouwen en te behandelen als een geplande blootstellingsituatie, indien de blootstelling dat vereist. Dat

³ ICRP-104 (2008), paragraaf 111

⁴ ICRP-104 (2008), paragraaf 113

betekent in de praktijk dan mogelijk het nader regelen van de (optimalisatie van de) bescherming in een (registratie of) vergunning op grond van de Kernenergiewet, en het vaststellen van een dosisbeperking voor de betreffende situatie. Indien er geen rechtspersoon is aan te wijzen, wordt de situatie behandeld als bestaande blootstellingsituatie, en kan de bevoegde autoriteit een referentieniveau vaststellen. De vaststelling van een referentieniveau is de uitkomst van een optimalisatieproces, waarbij gestreefd wordt naar een zo laag als redelijkerwijs mogelijke blootstelling voor leden van de bevolking, waarbij ook sociale, maatschappelijke en economische factoren worden afgewogen. De keuze voor een referentieniveau is dan ook altijd afhankelijk van de omstandigheden, en het is daarom ook niet zo dat een optimalisatieproces, en een uiteindelijk gekozen referentieniveau, altijd uitkomt op de laagst mogelijke dosis. Een referentieniveau fungeert eveneens als benchmark waartegen achteraf de effectiviteit van getroffen maatregelen ter reductie van de dosis kan worden afgezet. Verder is belangrijk op te merken dat de prioriteit weliswaar dient te worden gelegd bij het reduceren van blootstellingen boven het referentieniveau, maar dat het optimalisatieproces daar in beginsel niet eindigt.⁵ ICRP merkt verder nog op⁶ dat de bevoegde autoriteit in beginsel eveneens referentieniveaus kan vaststellen waaronder het treffen van (verdere) maatregelen niet wenselijk of gerechtvaardigd wordt geacht.

- In veel gevallen wordt uiteindelijk een blootstellingsniveau in de buurt van "normale" niveaus wenselijk geacht.⁷ Wat normaal is verschilt van land tot land, en zelfs van regio tot regio, met name als gevolg van de regionale verschillen in de (natuurlijke) achtergrondstraling. Optimalisatie van de bescherming tegen ioniserende straling in bestaande blootstellingsituaties betekent dan ook vaak reductie van blootstelling tot aan of in de buurt van het niveau van de natuurlijke achtergrondstraling, indien dit redelijkerwijs mogelijk is. Bij het bepalen van de redelijkerwijs mogelijke reductie van blootstelling wegen ook economische en sociale factoren mee. Dat betekent dat een optimaal beschermingsniveau niet noodzakelijkerwijs correspondeert met de laagst mogelijke blootstelling.
- Alleen voor bestaande blootstellingsituaties die goed te beheersen zijn, geldt dat een referentieniveau overeen zou moeten komen met een blootstellingsniveau dat voor geplande blootstellingsituaties acceptabel wordt geacht.⁸ Hiervoor geldt als uiterste grens 1 mSv per jaar, en in de praktijk vaak veel minder. Het gaat daarbij meestal om situaties waarbij individuele personen worden blootgesteld die daar zelf niet direct van profiteren, maar waarbij de blootstelling wel leidt tot een meerwaarde voor de maatschappij als geheel.⁹ Voor bestaande situaties met blootstelling van personen die daarvan directe

⁵ ICRP-104 (2008), paragraaf 115

⁶ ICRP-104 (2008), paragraaf 116

⁷ ICRP-103 (2007), paragraaf 288

⁸ ICRP-103 (2007), paragraaf 234

⁹ ICRP-103 (2007), paragraaf 239

voordelen ondervinden is een referentieniveau tussen 1 en 20 mSv per jaar acceptabel.¹⁰ Voor overige bestaande situaties beschouwt de ICRP 100 mSv per jaar als uiterste grens voor een te kiezen referentieniveau.¹¹ Het gaat in dit laatste geval om situaties waarbij beschermingsmaatregelen “ontwrichtend” uitwerken. Als nuancering merkt de ICRP daarbij op dat het optreden van deterministische effecten in organen met beschermingsmaatregelen zou moeten worden voorkomen. Merk op dat in de richtlijn 20 mSv per jaar als maximaal referentieniveau wordt gehanteerd voor bestaande blootstellingsituaties.

2.2 Bestaande blootstellingsituaties in de richtlijn

Een bestaande blootstellingsituatie wordt in artikel 4 van de richtlijn gedefinieerd als:

“Een blootstellingsituatie die al bestaat op het ogenblik dat een beslissing over de controle ervan wordt genomen en die niet of niet langer dringende maatregelen vereist”.

In tegenstelling tot de ICRP biedt de richtlijn geen nadere toelichting op het concept bestaande blootstellingsituatie. Evenmin wordt er ingegaan op (een onderscheid tussen “beheersbare” en) “niet-beheersbare” bestaande blootstellingsituaties. Wel wordt in artikel 100, tweede lid, aangegeven dat lidstaten, gelet op het algemene beginsel van rechtvaardiging, kunnen besluiten dat een bestaande blootstellingsituatie geen grond is voor (de overweging van) beschermings- of remediëringmaatregelen.

De (wijziging van de) blootstelling van personen in bestaande blootstellingsituaties moet op grond van artikel 5 zijn gerechtvaardigd, en indien gerechtvaardigd bovendien zijn geoptimaliseerd, rekening houdend met de huidige stand van de technische kennis en met economische en sociale factoren.

In artikel 100, derde lid, wordt gesteld dat bestaande blootstellingsituaties die vanuit het oogpunt van de stralingsbescherming aanleiding geven tot bezorgdheid en waarvoor wettelijke verantwoordelijkheid kan worden aangewezen, dienen te worden onderworpen aan de relevante voorschriften voor geplande blootstellingsituaties. Dit kan betekenen dat op een dergelijke rechtspersoon een vergunningplicht komt te rusten.

Op grond van artikel 7 moeten voor de blootstelling in bestaande blootstellingsituaties referentieniveaus worden vastgesteld. Definitie 84 definieert een referentieniveau als een *dosisniveau of activiteitsconcentratie waarboven blootstelling als ongepast wordt beschouwd, hoewel het geen limiet is die niet mag worden overschreden*. Het referentieniveau voor de blootstelling aan radon dient te worden vastgesteld als radon-activiteitsconcentratie in de lucht, en

¹⁰ Bijvoorbeeld het bewonen van een woning, waarin blootstelling aan radon voorkomt

¹¹ ICRP-103 (2007), paragraaf 236 en 240

niet meer te bedragen dan 300 Bq/m³. Voor de overige bestaande blootstellingsituaties dient rekening te worden gehouden met de in Bijlage I bij de richtlijn genoemde waarden. Dit houdt in dat in effectieve doses uitgedrukte referentieniveaus voor bestaande blootstellingsituaties moeten liggen tussen de 1 en 20 mSv per jaar. In specifieke situaties kan een referentieniveau onder deze waarden worden overwogen.

Voorbeelden van bestaande blootstellingsituaties worden genoemd in Bijlage XVII bij de richtlijn, welke een indicatieve (niet limitatieve) lijst bevat van typen bestaande blootstellingsituaties:

- a) *Blootstelling wegens verontreiniging van bepaalde zones door materiaal met residuele radioactiviteit uit:*
 - i. *activiteiten in het verleden die nooit aan een wettelijke controle onderworpen werden of niet overeenkomstig de in deze richtlijn bedoelde voorschriften geregeld werden;*
 - ii. *een noodsituatie, nadat de blootstelling in een noodsituatie beëindigd werd verklaard, als bepaald in het rampenbestrijdingssysteem;*
 - iii. *restmaterialen uit activiteiten in het verleden waarvoor de onderneming niet langer wettelijk aansprakelijk is;*
- b) *Blootstelling aan natuurlijke stralingsbronnen, waaronder:*
 - i. *blootstelling aan radon en thoron (en radioactieve vervalproducten) binnenshuis, op werkplekken, in woningen en andere gebouwen;*
 - ii. *uitwendige blootstelling binnenshuis uit bouwmaterialen;*
- c) *Blootstelling aan grondstoffen met uitsluiting van voedsel, diervoeder en drinkwater:*
 - i. *radionucliden uit verontreinigde zones als bedoeld in punt (a), of*
 - ii. *van nature voorkomende radionucliden.*

In overweging 25 in de richtlijn wordt gesteld dat een situatie waarbij radon uit de grond werkruimtes binnenshuis binnendringt dient te worden beschouwd als een bestaande blootstellingsituatie.

2.3 Bestaande blootstellingsituaties in het Besluit basisveiligheidsnormen stralingsbescherming

De Nederlandse implementatie van het concept van bestaande blootstellingsituaties is, net als de rest van de richtlijn, doorgevoerd in (onder meer) het Bbs, de Regeling basisveiligheidsnormen stralingsbescherming en de ANVS-verordening basisveiligheidsnormen stralingsbescherming (verder respectievelijk: Rbs en Vbs).

De definitie van bestaande blootstellingen is gegeven in Bijlage 1 van het Bbs en is identiek aan de definitie in de richtlijn, luidend:

"blootstellingsituatie die al bestaat op het ogenblik dat een beslissing over de controle ervan wordt genomen en die niet of niet langer dringende maatregelen vereist".

Net als in de richtlijn wordt geen concreet criterium gegeven voor het maken van een onderscheid tussen "beheersbare" en "niet-beheersbare"

bestaande blootstellingsituaties. Wel geldt (eveneens in lijn met de richtlijn) dat op grond van artikel 6.16 van het Bbs de Minister van Infrastructuur en Waterstaat¹² (I&W) en de Minister van Sociale Zaken en Werkgelegenheid (SZW) kunnen besluiten dat, gelet op het risico en het vereiste van rechtvaardiging, een bestaande blootstellingsituatie geen grond is voor het overwegen van beschermings- of remediëringsmaatregelen.

2.3.1

Blootstellingsituaties die zijn uitgesloten van het Bbs

Omdat het voor sommige blootstellingsituaties niet of slechts tegen hoge maatschappelijke kosten mogelijk is om met behulp van regulering de blootstelling aan straling te reduceren (zie paragraaf 2.1) zijn in het 3^e lid van artikel 1.1 van het Bbs enkele blootstellingsituaties uitgesloten van de toepassing van het Bbs. Het betreft *“blootstellingsituaties met blootstelling aan natuurlijke stralingsniveaus, waaronder in ieder geval wordt begrepen blootstelling aan radionucliden die van nature in het menselijk lichaam aanwezig zijn, kosmische straling ter hoogte van het aardoppervlak of tijdens de vlucht van een luchtvaartuig of ruimtevaartuig van leden van de bevolking of werknemers die niet behoren tot de bemanning, bovengrondse blootstelling aan radionucliden in de onverstoorde aardkorst.”* Dit is in overeenstemming met de afbakening in de richtlijn en de aanbeveling in ICRP-103 (2007).

In de artikelsgewijze toelichting bij het Bbs worden deze blootstellingsituaties verder toegelicht, waarbij onder andere is vermeld dat de uitzondering ook geldt indien *“radionucliden via voedsel et cetera in het lichaam gekomen zijn maar ooit afkomstig waren van kunstmatige bronnen, zoals de fall-out van wapentests en de restanten van het ongeval te Tsjernobyl, en ten aanzien waarvan door de overheid geen actie meer wordt genomen, omdat de kosten dat niet rechtvaardigen gezien de geringe dosisreductie die daar tegenover staat of omdat het niet te beheersen valt”*.

In het tweede lid van artikel 1.1 van het Bbs is daarnaast opgenomen dat het Bbs van toepassing is op iedere blootstellingsituatie *waarvan het risico op blootstelling niet-verwaarloosbaar is vanuit het oogpunt van stralingsbescherming of milieubescherming, met het oog op de gezondheidsbescherming op lange termijn*. Er bestaat dus de ruimte om op grond van dit artikel het Bbs niet van toepassing te verklaren op blootstellingsituaties met een verwaarloosbare blootstelling. Het concept “niet-verwaarloosbaar” is in de regelgeving echter niet verder uitgewerkt. Om deze reden wordt het criterium “(niet-)verwaarloosbaar” in dit onderzoek niet gehanteerd om blootstellingsituaties in te delen.

2.3.2

Voorschriften aan bestaande blootstellingsituaties

Afdeling 6.2 van het Bbs stelt voorschriften aan bestaande blootstellingsituaties die niet zijn uitgesloten van het Bbs. Artikel 6.15 van het Bbs belast de ANVS, in overeenstemming met de Minister van I&W, met het inventariseren van mogelijke bestaande blootstellingsituaties met een blootstelling die “niet veronachtzaamd kan

¹² Over het algemeen zal in het Bbs met “de betrokken minister”, de Minister van I&W worden bedoeld. Echter, in specifieke situaties kunnen hier ook andere (mede) betrokken ministers mee bedoeld worden.

worden” vanuit het oogpunt van stralingsbescherming, alsmede het bepalen van die blootstelling.

Indien uit de inventarisatie blijkt dat er een bestaande blootstellingsituatie is “waarvoor vanuit het oogpunt van de stralingsbescherming bezorgdheid bestaat”, moet er een programma van maatregelen worden vastgesteld om de bestaande blootstellingsituatie te beoordelen en om de blootstelling te bepalen, zoals opgenomen in artikel 6.16. De Minister van I&W is, in overeenstemming met de Minister van SZW, belast met de gecoördineerde voorbereiding, het opstellen en het mede uitvoeren van dit programma met maatregelen. Deze ministers zijn eveneens verantwoordelijk voor de beoordeling en bepaling van de blootstelling.

Wanneer een ondernemer¹³ verantwoordelijk is voor een bestaande situatie waarover bezorgdheid bestaat, dan zijn op deze blootstellingsituatie de regels van geplande blootstellingen van toepassing. Dit is geregeld in artikel 6.17. Bij dergelijke blootstellingsituaties kan op de verantwoordelijke ondernemer bijvoorbeeld een vergunningplicht komen te rusten.

Wanneer géén wettelijke verantwoordelijke is aan te wijzen voor een bestaande situatie waarover bezorgdheid bestaat, stellen de Minister van I&W en de Minister van SZW een strategie vast, die voorziet in een passend beheer. De strategie dient in elk geval de doelstellingen ervan te bevatten en de toepasselijke referentieniveaus. Een referentieniveau moet worden gezien als een richtwaarde, en blootstelling daarboven wordt ongepast geacht.

Vervolgens zullen de ministers ter uitvoering van de strategie, zoals vastgesteld in artikel 6.19 van het Bbs, een uitvoeringsprogramma vaststellen. De ANVS is belast met de gecoördineerde voorbereiding, het opstellen en het mede uitvoeren van het uitvoeringsprogramma. Opgemerkt wordt dat de maatregelen uit de strategie en het uitvoeringsprogramma redelijk en maatschappelijk acceptabel moeten zijn (Nota van Toelichting bij artikel 6.28 van het Bbs).

In artikel 9.10 van het Bbs zijn de kaders vastgelegd voor het vaststellen van referentieniveaus voor blootstelling van leden van de bevolking in bestaande blootstellingsituaties.

2.3.3

Aangemerkte bestaande blootstellingsituaties

De wetgever heeft in afdelingen 7.4 en 9.3 van het Bbs reeds enkele blootstellingsituaties in Nederland aangemerkt als bestaande blootstellingsituatie. Het betreft de blootstelling van werknemers aan radon in de lucht op de werkplek, de blootstelling van leden van de bevolking aan radon in de lucht in woningen en in voor de bevolking toegankelijke gebouwen, en de externe blootstelling in het binnenmilieu aan door bouwmaterialen uitgezonden gammastraling. Voor deze laatste

¹³ Een “ondernemer is in het Bbs gedefinieerd als: natuurlijke persoon, rechtspersoon of bestuursorgaan onder wiens verantwoordelijkheid een handeling wordt verricht of maatregel wordt uitgevoerd”.

categorie is geen onderscheid gemaakt tussen blootstelling van leden van de bevolking en van werknemers.

Voor deze bestaande blootstellingsituaties zijn specifieke referentieniveaus vastgesteld. Op grond van artikel 9.10, zesde lid, geldt een referentieniveau voor de radonconcentratie in woningen en in voor de bevolking toegankelijke gebouwen van 100 Bq/m³. Een referentieniveau met dezelfde waarde geldt voor de radonconcentratie op werkplekken (artikel 7.38). Ten slotte geldt op grond van artikel 9.10, achtste lid, een referentieniveau van 1 mSv per jaar voor de externe blootstelling in het binnenmilieu aan door bouwmaterialen uitgezonden gammastraling.

2.3.4 *Indicatieve lijst bestaande blootstellingsituaties*

In Bijlage 7, behorend bij artikel 6.15 van het Bbs is de volgende indicatieve lijst van soorten bestaande blootstellingsituaties opgenomen:

1. *Blootstelling wegens verontreiniging van bepaalde zones door materiaal met residuele radioactiviteit uit:*
 - a. *activiteiten in het verleden die nooit aan een controle overeenkomstig afdeling 3.2 van het besluit onderworpen werden of niet overeenkomstig de in het besluit opgenomen regels gereguleerd werden;*
 - b. *een radiologische noodsituatie, nadat de blootstelling in een radiologische noodsituatie beëindigd werd verklaard, als bepaald in het rampenbestrijdingssysteem;*
 - c. *restmaterialen uit activiteiten in het verleden waarvoor niet langer een ondernemer verantwoordelijk is.*
2. *Blootstelling aan natuurlijke stralingsbronnen, waaronder:*
 - a. *blootstelling aan radon en thoron, in woningen, op werkplekken binnenshuis en in andere gebouwen;*
 - b. *uitwendige blootstelling binnenshuis uit bouwmaterialen.*
3. *Blootstelling aan grondstoffen, met uitsluiting van voedsel, diervoeder en drinkwater, die:*
 - a. *radionucliden uit verontreinigde zones als bedoeld in onderdeel 1 bevatten, of*
 - b. *van nature voorkomende radionucliden bevatten.*

Deze indicatieve lijst bevat, op een punt na, geen noemenswaardige verschillen met Bijlage XVII bij de richtlijn. Alleen valt op dat uit punt 2a "en radioactieve vervalproducten" is geschrapt. Dit is echter opgevangen door de volgende definitie in bijlage 1 van het Bbs: "*blootstelling aan radon: blootstelling aan de dochternucliden van radon*".

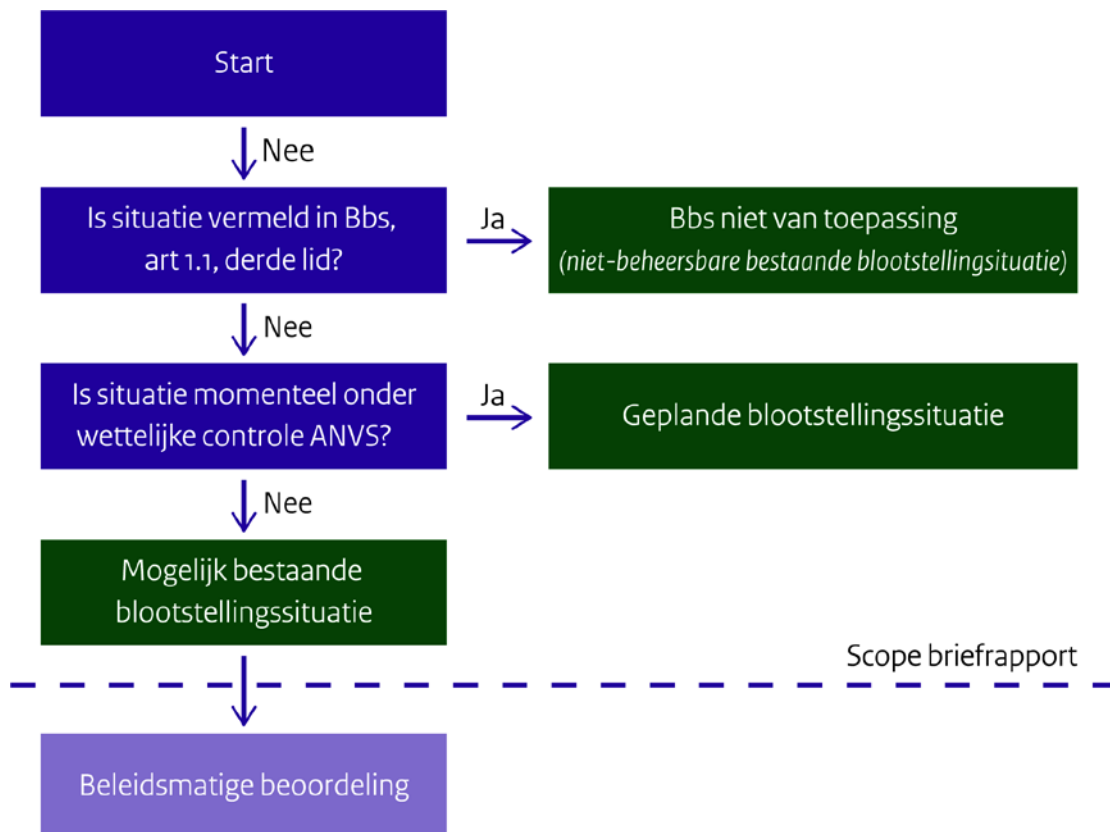
2.4 **Indeling van situaties uit de inventarisatie**

Op grond van de hiervoor beschreven voorschriften en de indicatieve lijst in het Bbs, en met in achtneming van ICRP-103 en de richtlijn, is een schema voor het indelen van blootstellingsituaties opgesteld (Figuur 1). Aan de hand van dit schema zijn de in de inventarisatie gevonden blootstellingsituaties ingedeeld in blootstellingsituaties waarop het **Bbs niet van toepassing is**, **geplande** blootstellingsituaties en **mogelijke bestaande** blootstellingsituaties. De beoordeling of op een bepaalde situatie het Bbs van toepassing is wordt gedaan op basis van de in artikel 1.1, derde lid, van het Bbs benoemde blootstellingsituaties.

Indien een situatie hierin is genoemd, is het Bbs hierop niet van toepassing. Wanneer deze daar niet wordt genoemd wordt gekeken of het op dit moment onder wettelijke controle van de ANVS valt. Is dit niet het geval is, dan betreft het mogelijk een bestaande blootstellingsituatie.

Een beoordeling van de blootstelling en de noodzaak van eventuele maatregelen is vervolgens een beleidsmatige keuze. Dat houdt in dat een nadere onderverdeling van mogelijke bestaande blootstellingsituaties (in situaties waarvoor bezorgdheid bestaat, of die niet veronachtzaamd kan worden) buiten de scope valt van dit onderzoek.

In hoofdstukken 3 en 4 zullen één voor één de verschillende geïnventariseerde blootstellingsituaties worden besproken. Hierbij zal per blootstellingsituatie eerst een situatieschets worden gegeven, daarna zal deze, indien en voor zover mogelijk op basis van de beschikbare informatie, worden ingedeeld in één van de categorieën blootstellingsituaties zoals weergegeven in dit schema.



Figuur 1: Schema voor het indelen van blootstellingsituaties

3 Blootstellingsituaties die zijn uitgesloten van het Bbs

De blootstellingsituaties die in deze inventarisatie zijn gevonden, en zijn uitgesloten van het Bbs, zijn hieronder opgesomd.

3.1 Blootstelling aan terrestrische straling

Met terrestrische straling wordt bedoeld op externe straling afkomstig van de bodem. Deze straling is (met name) afkomstig van de radionucliden uranium-238, uranium-235, thorium-232 en hun vervalproducten, en kalium-40. Deze radionucliden zijn van nature in de aardkorst aanwezig sinds het ontstaan van de aarde.

De mate van blootstelling wordt bepaald door de activiteitsconcentratie van de genoemde radionucliden en is daarmee vooral afhankelijk van het bodemtype. Bijgevolg varieert het dosisequivalenttempo ten gevolge van terrestrische straling per locatie. In Smetsers, R. en Blaauboer, R. (1996) is dit in detail in kaart gebracht. Gemiddeld genomen bedraagt in Nederland het dosisequivalenttempo buitenshuis ten gevolge van terrestrische straling 40 nSv per uur. Binnenshuis wordt circa 90% van de terrestrische straling afgeschermd (Blaauboer R. et al. (1991)), maar ook bestrating kan leiden tot forse afscherming. Rekening houdend met verblijfstijden en afscherming bedraagt de effectieve dosis ten gevolge van terrestrische straling voor een gemiddelde inwoner van Nederland 0,04 mSv per jaar.¹⁴ Dit komt overeen met ongeveer 2% van de totale gemiddelde stralingsbelasting. Iedereen wordt hieraan blootgesteld.

In artikel 1.1, derde lid, onder c, van het Bbs is vastgesteld dat de voorschriften in en op grond van het **Bbs niet van toepassing** zijn op de bovengrondse blootstelling aan radionucliden in de onverstoorde aardkorst.

3.2 Blootstelling aan kosmische straling op zeeniveau

Kosmische straling is straling afkomstig van bronnen buiten het zonnestelsel en van de zon. Kosmische straling op zeeniveau betreft voornamelijk secundaire straling, die ontstaat uit interacties van straling uit de ruimte met atomen in de atmosfeer.

Het dosistempo ten gevolge van kosmische straling in Nederland op zeeniveau is vrij constant gedurende een jaar, en bedraagt circa 40 nSv per uur (Blaauboer, R. (2001)). Vanwege de zonnecyclus kan het gemiddelde dosistempo op jaarbasis nog enkele nSv per uur hiervan afwijken. Rekening houdend met afscherming door gebouwen en verblijfstijden in gebouwen bedraagt de stralingsbelasting door kosmische straling op zeeniveau voor een gemiddelde inwoner van Nederland circa 0,29 mSv per jaar (Eleveld, H, (2003), en Bader S., et al. (2010)). Dit komt overeen met ongeveer 11% van de totale gemiddelde stralingsbelasting. Hieraan wordt iedereen blootgesteld.

¹⁴ http://www.rivm.nl/Onderwerpen/S/Stralingsbelasting_in_Nederland/Aandeel_per_stralingsbron

In artikel 1.1, derde lid, onder a, van het Bbs is vastgesteld dat het **Bbs niet van toepassing** is op blootstelling aan kosmische straling ter hoogte van het aardoppervlak.

3.3 Blootstelling aan kosmische straling van leden van de bevolking in de luchtvaart

Tijdens een vliegreis zullen personen tijdelijk worden blootgesteld aan hogere dosistemporen kosmische straling dan op zeeniveau. Vooral vliegtuigbemanning en frequente vliegers lopen daardoor een (extra) stralingsdosis op.

Het dosistempo ten gevolge van blootstelling aan kosmische straling (40 nSv per uur op zeeniveau) loopt op tot 4 µSv per uur of meer op vlieghoogte. Voor regionale vluchten in West-Europa betekent dit een dosis voor een individu van ongeveer 4 µSv per vlucht. Voor een vlucht naar Noord-Amerika is dit circa 50 µSv. Uitgaande van 1100 mens·Sv (Blaauboer, R. (2003)) en 17 miljoen inwoners bedraagt de blootstelling aan kosmische straling van een gemiddelde inwoner van Nederland in de luchtvaart circa 0,060 mSv per jaar. Dit komt overeen met ongeveer 2% van de totale gemiddelde stralingsbelasting. Afhankelijk van het vlieggedrag zullen individuen hier in meer of mindere mate aan worden blootgesteld.

De blootstelling van vliegtuigbemanning wordt in artikel 7.5 van het Bbs beschouwd als geplande beroepsmatige blootstelling. Echter, op de blootstelling aan kosmische straling tijdens de vlucht van leden van de bevolking of van werknemers die niet behoren tot de bemanning is op grond van artikel 1.1 derde lid, onder b, **het Bbs niet van toepassing**.

3.4 Blootstelling aan straling ten gevolge van radioactiviteit in voedsel

Inname van voedsel met daarin radionucliden van voornamelijk natuurlijke oorsprong leidt tot blootstelling van personen aan ioniserende straling. De radionucliden kalium-40, lood-210 en polonium-210 zijn voor 90% bepalend voor de mate van blootstelling (Eleveld, H, (2003)).

Voor een gemiddelde inwoner van Nederland bedraagt de blootstelling aan ioniserende straling ten gevolge van radioactiviteit in voedsel circa 0,3 mSv per jaar.¹⁵ Dit komt overeen met ongeveer 12% van de totale gemiddelde stralingsbelasting. Hieraan zal iedereen worden blootgesteld.

Op de blootstelling aan straling ten gevolge van radioactiviteit die van nature aanwezig is in (voedsel en in) het lichaam is op grond van artikel 1.1 derde lid, onder a, van het Bbs **het Bbs niet van toepassing**. Dit is tevens nader toegelicht in de Nota van Toelichting bij het Bbs, artikel 1.1, derde lid, waarin een aantal voorbeelden worden genoemd: kalium-40 en andere radionucliden van natuurlijke oorsprong, zoals uranium en bijbehorende dochternucliden en ook radionucliden die ooit afkomstig

¹⁵ http://www.rivm.nl/Onderwerpen/S/Stralingsbelasting_in_Nederland/Aandeel_per_stralingsbron

waren van kunstmatige bronnen, zoals de fall-out van wapen-tests en de restanten van het ongeval te Tsjernobyl.

4 Blootstellingsituaties die niet zijn uitgesloten van het Bbs

De situaties die in deze inventarisatie zijn genoemd door de geïnterviewde experts, en niet expliciet zijn uitgesloten van de werking van het Bbs, zijn in dit hoofdstuk opgesomd aan de hand van Bijlage 7, behorend bij artikel 6.15 van het Bbs en het schema in Figuur 1 uit §2.4 van dit briefrapport. Voor een aantal van deze situaties is na toepassing van het schema geconcludeerd dat het niet gaat om een mogelijke bestaande blootstellings situatie, maar een geplande blootstellings situatie, aangezien daarvoor een vergunning is verleend, een melding gedaan/registratie is aangevraagd, de handeling vrijgesteld is, of het materiaal of de locatie is vrijgegeven van wettelijke controle.

Waar mogelijk is per situatie een inschatting gegeven van de blootstelling van een representatief lid van de bevolking, en het aantal blootgestelden. Waar mogelijk is eveneens een schatting van de mate werknemers, die al dan niet als 'blootgestelde werknemers' moeten worden aangemerkt, gegeven.

4.1 Blootstelling wegens verontreiniging van zones door materiaal met residuele radioactiviteit

4.1.1 *Residuele radioactiviteit uit activiteiten uit het verleden die (mogelijk) niet conform de voorschriften uit de richtlijn zijn behandeld*

4.1.1.1 NIKHEF/IKO-terrein, Amsterdam

Het IKO-laboratorium, later onderdeel van het Nederlands Instituut voor Kern- en Hoge Energie Fysica (NIKHEF), was vanaf 1946 ondergebracht in een voormalige gasfabriek in Amsterdam. De hier gevestigde MEA (Medium Energy Accelerator) deeltjesversneller van het NIKHEF is in 1998 buiten bedrijf gesteld, en in de jaren daarna volledig ontmanteld en afgevoerd. Enkele onderdelen van de versneller zijn verkocht, en restmateriaal met activiteitsconcentraties boven de 100 Bq/g is afgevoerd naar de COVRA. Al het overige metaal is bij gebrek aan een afnemer uiteindelijk gestort op C3-deponie Nauerna (zie paragraaf 4.1.1.11). Alle betreffende gebouwen zijn gesloopt, inclusief de kelders. Verder zijn ook alle structuren van de voormalige gasfabriek, inclusief de vloeren van de gashouders, verwijderd.

Tijdens de ontmanteling en sloop is uitgebreid bodemonderzoek gedaan, inclusief een radiologisch onderzoek. Daarbij is na het vrijgeven van het terrein een afvoerput met een stuk pijpleiding aangetroffen met daarin afzettingen van radionucliden van zowel natuurlijke (radium-226) als kunstmatige oorsprong (cobalt-60 en cesium-137). De totale activiteitsconcentratie (gesommeerd over alle verschillende radionucliden) in deze pijpleiding bedroeg 135 Bq/g. Het materiaal is afgevoerd naar COVRA. Het Landelijk Kernenergie Archief (LAKA) rapporteert in LAKA (1999) dat in drie monsters uit de bodem rond de deur van de voormalige B-026 ruimte (B-gebouw) een concentratie cesium-137 werd aangetroffen tussen de 2 en 10 Bq/g.¹⁶ Dit is hoger

¹⁶ Merk op dat dit, t.g.v. verval, inmiddels een factor 1,4 lager is.

dan de huidige vrijgavegrens voor radioactieve materialen¹⁷ in het Bbs (0,1 Bq/g). Voor andere radionucliden werden geen activiteitsconcentraties boven de (destijds geldende) vrijstellingsgrenzen gevonden. Een deel van de grond is in twee containerzakken afgevoerd naar Nauerna. Het terrein is nu afgedekt met ca. 5 meter zand waarop de Carolina Mac Gillavry weg is aangelegd.

Het is op grond van de in dit onderzoek gevonden informatie niet uit te sluiten dat zich in de bodem nog radioactiviteit bevindt die het gevolg is van de vroegere activiteiten van het NIKHEF, en waarvan de activiteitsconcentratie de huidige grenswaarden voor vrijstelling van wettelijke controle overschrijdt. Op basis van de hierboven vermelde activiteitsconcentraties in de bodem, en in aanmerking nemende radioactief verval en afscherming door 5 meter bodemmateriaal, lijkt het niet waarschijnlijk dat deze radioactiviteit op leefniveau meetbaar is.¹⁸ Blootstelling van personen in deze situatie ten gevolge van vroegere activiteiten van het NIKHEF ligt dan ook niet voor de hand, alhoewel een zeer beperkte blootstelling van werknemers niet is uit te sluiten in een scenario dat de grond weer volledig zou worden afgegraven.

De situatie valt momenteel niet onder het controlestelsel. Daarom kan deze situatie worden aangemerkt als **mogelijke bestaande blootstellingsituatie**.

4.1.1.2 Voormalig KEMA-terrein, Arnhem

Op het voormalige KEMA-terrein is in het verleden de KEMA Suspensie TestReactor (KSTR) geëxploiteerd. Verder vond op deze locatie onder meer onderzoek plaats naar splijtstoffen in de vorm van mengoxiden. De reactor is samen met de bijbehorende gebouwen in de jaren negentig volledig ontmanteld. Al het restmateriaal is afgevoerd, waarbij een vrijgavegrens van 1 Bq/g is gehanteerd. Dit is voor sommige nucliden (waaronder cobalt-60 en cesium-137) hoger dan de vigerende grenswaarden voor vrijstelling en vrijgave in het Bbs. In 1996 werd de Kernenergiewet-vergunning voor de KSTR en het splijtstoffen-laboratorium ingetrokken. Van de ontmanteling bestaan gedetailleerde rapporten in het archief van de voormalige Kernfysische dienst.

Daarnaast is in het verleden (voor de jaren '80) op het KEMA-terrein radioactief afval in de grond begraven. Later is al dit afval weer opgegraven en afgevoerd. Onder druk van de publieke opinie is uitgebreid bodemonderzoek gedaan, waarbij ook het riool is onderzocht. De bodem is uiteindelijk gesaneerd, en alle putten en het riool zijn gecontroleerd. Daarbij is als saneringsnorm het lokale achtergrondniveau in de bodem gehanteerd.

Ervan uitgaande dat bij de hierboven beschreven ontmanteling adequaat is uitgevoerd en bij de sanering van de bodem inderdaad het achtergrondniveau is gehanteerd, kan worden geconcludeerd dat geen blootstelling resteert die kan worden gerelateerd aan de vroegere

¹⁷ Merk op dat er geen grenswaarden bestaan voor vrijgave van de bodem. De genoemde grenswaarde is van toepassing op materiaal dat uit de bodem wordt verwijderd.

¹⁸ Ter illustratie: In SKB R-06-68 (2006) wordt voor Cs-137 voor 1 m grond een afscherming van $4,2 \times 10^{-8}$ vermeld.

activiteiten op het voormalige KEMA-terrein. Hoewel niet waarschijnlijk, is niet uit te sluiten dat nog materiaal in de bodem aanwezig is dat strikt genomen vergunningplichtig is (geworden), vanwege het aanscherpen van de grenswaarden voor vrijstelling en vrijgave van wettelijke controle. Indien dergelijke materialen nog aanwezig zijn in de bodem, en in de toekomst de grond zou worden afgegraven is een zeer beperkte blootstelling van werknemers is niet uit te sluiten.

Deze situatie valt momenteel niet onder het controlestelsel, en is daarom aangemerkt als **mogelijke bestaande blootstellingsituatie**.

4.1.1.3 Katalysatorberging, Geleen

Op het Chemelot-terrein in Geleen is een (permanente) katalysatorberging in beheer. Het betreft een nageïsoleerde bezinkvijver in de voormalige Louisegroeve, waarin door rechtsvoorgangers geruime tijd een katalysator is geloosd die o.a. uraanantimoonoxide bevatte. Het betreft splijtstofhoudend¹⁹ chemisch afval, afkomstig van de acrylonitril-productie. De bezinkvijver is tot januari 1974 in bedrijf geweest. Ook zijn er diverse met katalysator verontreinigde materialen en vaten met katalysator en slib achtergelaten. In totaal is er 686 ton splijtstofhoudend materiaal geborgen. Sinds 1975 is er geen sprake meer van stortactiviteiten. Volgens Haskoning (1992) en Glasbergen, P. en Kusse, A. (1985) bevat het slib in de katalysatorberging 80 gram uranium per kilogram droge stof, en bevat de bodem daaronder 70 milligram uranium per kilogram droge stof. Dit komt dus neer op een ruim duizend maal verhoogde concentratie aan uranium van het slib ten opzichte van de bodem.

Het geheel is in 1975 met een laag mijnsteen afgedekt, en teneinde de infiltratie met regenwater te voorkomen zijn er twee lagen asfalt aangebracht. In 1991 is een bodemsanering uitgevoerd. Binnen het bestek van dit onderzoek is niet duidelijk geworden tegen welke norm destijds is gesaneerd. Tevens is toen de bezinkvijver geïsoleerd volgens de gangbare Isoleren, Beheren en Controleren (IBC)-criteria, met behulp van onder meer verticale damwanden, een bovenafdekking en de onderliggende klei/bruinkoollaag, teneinde verontreiniging van grond en grondwater tegen te gaan. Daarmee is feitelijk een opslagplaats gecreëerd voor zeer langlevende radionucliden. De situatie valt onder een vergunning op grond van de Kernenergiewet die in 1993 is verleend aan DSM NL Services B.V. voor het uitsluitend voorhanden hebben van 686.000 kilogram katalysator op basis van verarmd uranium. Volgens de vergunning mag 250 ingestie-ALI²⁰ per jaar worden geloosd. Tevens is een Beheers- en Controle Plan (BCP) onderdeel van de vergunning. In deze vergunning zijn geen limieten vastgesteld voor stralingsbelasting buiten de katalysatorberging.

Lozing van 250 ingestie-ALI natuurlijk uranium in seculair evenwicht (overeenkomend met ca. 3 MBq) naar water levert naar verwachting slechts een fractie van het dosiscriterium van 0,01 mSv per jaar voor

¹⁹ Hiermee wordt bedoeld dat het materiaal bevat dat volgens de definitie in artikel 1, onder b van de Kernenergiewet onder de term "splijtstoffen" valt.

²⁰ De Annual Limit of Intake (ALI) was destijds (zie ICRP-61 (1991)) gedefinieerd als de hoeveelheid activiteit die leidt tot een effectieve volgdosis van 20 mSv (werknemers).

lozingen van radionucliden van natuurlijke oorsprong naar water (Van der Schaaf, M. (2018)).²¹ Blootstelling van personen op het Chemelot terrein is naar verwachting beperkt omdat er een nog altijd geldend BCP van kracht is. De daadwerkelijke blootstelling van werknemers en leden van de bevolking op het terrein is op basis van de verkregen informatie niet goed te schatten. Verondersteld mag worden dat de blootstelling van leden van de bevolking buiten de terreingrens de 0,010 mSv per jaar, de waarde die door de ANVS doorgaans gehanteerd wordt voor de maximale stralingsbelasting buiten de terreingrens als gevolg van vergunde handelingen, niet zal overschrijden. Dit komt overeen met minder dan 0,4% van de totale gemiddelde stralingsbelasting.

Dit betreft een situatie waarvoor een vergunning is verleend. Deze situatie is feitelijk een (vergunde) **geplande blootstellingsituatie**.

4.1.1.4

Voormalige Polderwegterrein Amsterdam

Tussen 1885 en 1906 werden in de openbare verlichting van de stad Amsterdam thoriumhoudende gloeikousjes gebruikt. Aan het voormalige Polderweg-terrein in Amsterdam Oost was in het verleden een fabriek gevestigd waar dergelijke gloeikousjes werden geproduceerd. In 2001 is door de VROM Inspectie Zuid-West (VI-ZW) een oriënterend onderzoek uitgevoerd naar mogelijk verhoogde stralingsniveaus op het voormalige Polderweg-terrein. Uit dat onderzoek bleek dat op enkele plaatsen in een nieuw gebouw op dit terrein, waarin een fysiotherapiepraktijk gevestigd was, op de begane grond en onder de vloer van de begane grond het stralingsniveau aanmerkelijk (en op sommige plaatsen tot 7 keer) hoger was dan van de natuurlijke achtergrond in een gebouw redelijkerwijs verwacht kan worden. In Van Weers, A.W. en Verhagen H.W. (2001) wordt aangegeven dat er destijds van uit moest worden gegaan dat onder de vloer van de doucheruimten van deze fysiotherapiepraktijk op Polderweg 92 zich een "aanmerkelijke inventaris" van thorium bevond. Toegang tot de kruipruimten voor uitvoering van werkzaamheden onder de grond in de omgeving van de doucheruimten diende daarom uitgesloten te worden. Deze aanbeveling gold tevens voor de kruipruimte onder de "IJsruimte" in Polderweg 92, en voor de kruipruimte onder het atelier op Polderweg 96. Inmiddels staan er nieuwe gebouwen aan de Polderweg en volgens een geraadpleegde inspecteur is de bodem gesaneerd. Het is niet duidelijk geworden wanneer de gebouwen gesloopt zijn en wanneer er precies gesaneerd is. Volgens de geraadpleegde inspecteur is er na sanering geen relevante blootstelling meer over. Het is niet duidelijk geworden of er in het verleden sprake is geweest van een (tijdelijke) Kernenergiewet-vergunning.

Er zijn geen aanwijzingen gevonden om aan te nemen dat de bewering van de inspecteur niet correct is. Op grond daarvan kan worden geconcludeerd dat geen relevante blootstelling resteert die kan worden

²¹ Om een schatting te maken van wat de activiteit van een ingestie-ALI is in Becquerel, is analoog aan ICRP-61 (1990), 0,02 Sv gedeeld door de dosisconversiecoëfficiënt van U-nat ($1,6 \times 10^{-6}$ Sv/Bq, Keverling Buisman (2015)). Vermenigvuldigd met 250 levert dit ongeveer 3 MBq. In Van der Schaaf, M. (2018) is doorgerekend dat lozing van 10 GBq U-natsec (natuurlijke verhouding tussen uranium-isotopen, in evenwicht met alle dochters) naar water, via verschillende blootstellingsscenario's, tot een dosis van 0,01 mSv kan leiden. 3 MBq is slechts een fractie van deze 10 GBq en zal dus ook tot slechts een fractie van de berekende dosis leiden.

gerelateerd aan de vroegere activiteiten op het voormalige Polderweg-terrein. Een onderscheid tussen blootstelling van leden van de bevolking en van werknemers is voor deze situatie niet zinvol.

Hoewel niet waarschijnlijk, is niet uit te sluiten dat nog materiaal in de bodem aanwezig is dat strikt genomen registratie- of vergunningplichtig is (geworden), vanwege het aanscherpen van de grenswaarden voor vrijstelling en vrijgave van wettelijke controle. Indien dergelijke materialen nog aanwezig zijn in de bodem, en in de toekomst de grond zou worden afgegraven is een zeer beperkte blootstelling van werknemers is niet uit te sluiten.

Deze situatie valt niet onder het controlestelsel, en is daarom aangemerkt als **mogelijke bestaande blootstellingsituatie**.

4.1.1.5 Thermphos-terrein, Vlissingen-Oost

Op een industrieterrein in de nabijheid van Vlissingen, aan de noordkant van de Westerschelde, is een fabriekscomplex gelegen waar tot eind 2012 onder meer elementair fosfor en fosforzuur werden geproduceerd uit fosfaaterts. Tot 2000 was deze fabriek eigendom van het Hoechst-concern. Na een reorganisatie werd de productie gecontinueerd onder de naam Thermphos international B.V. Dit bedrijf is op 21 november 2012 failliet verklaard, en daarmee zijn de reguliere activiteiten beëindigd. Momenteel vinden op het terrein diverse werkzaamheden plaats in het kader van de (voorbereiding op de) ontmanteling van de voormalige Thermphos-installaties.

Bij het productieproces speelde radioactiviteit een belangrijke bijrol. Door de bewerking van grote hoeveelheden fosfaaterts met daarin geringe concentraties radionucliden van natuurlijke oorsprong ontstonden onder meer grote volumina aan "fosforslakken" (zie paragraaf 4.3.2.1) en radioactief "calcinaat". Daarnaast vond lozing plaats van lood-210 en polonium-210 naar de lucht en oppervlaktewater, en werden kunstmatige bronnen toegepast. Ook zijn diverse fabrieksgebouwen besmet met radioactiviteit. Alle handelingen en werkzaamheden vonden plaats onder het regime van een Kernenergiewetvergunning en diverse meldingen.

Als gevolg van de beëindiging van de reguliere werkzaamheden behoren de (vergunde) lozingen van radioactiviteit naar lucht en oppervlaktewater, en de daarmee gepaard gaande blootstelling van leden van de bevolking, grotendeels tot het verleden. Depositie van geloosd lood-210 en polonium-210 op het terrein heeft op en in de directe nabijheid van het terrein geleid tot lokaal verhoogde concentraties van deze radionucliden in de bodem.

In het verleden hebben al diverse bodemsaneringsacties plaats gevonden. De Provincie Zeeland is op grond van de Wet bodembescherming bevoegd gezag voor bodemverontreiniging en -sanering, en beheert in dat kader de hiervoor relevante actuele informatie.

Inmiddels wordt het complex beheerd door *Van Citters Beheer B.V.*, onder het regime van een Kernenergiewetvergunning ten behoeve

van de definitieve verwijdering van alle radioactieve stoffen, binnen de locatie. Daarin is vastgelegd dat de blootstelling van leden van de bevolking buiten de terreingrens de waarde van 0,010 mSv per jaar niet mag overschrijden. Dit niveau wordt doorgaans door de ANVS gehanteerd in de vergunningverlening en komt overeen met minder dan 0,4% van de totale gemiddelde stralingsbelasting. De blootstelling van werknemers wordt door de vergunninghouder conform de vigerende regelgeving gecontroleerd.

Ook radioactiviteit in de bodem valt onder de hierboven genoemde vergunning. Daarin is opgenomen dat indien wordt vastgesteld dat de bodem radionucliden van natuurlijke oorsprong bevat, waarbij de vrijstellingsgrens, zoals bedoeld in artikel 3.17 van het Bbs, wordt overschreden, er een plan van aanpak moet worden ingediend bij de betrokken inspectie(s) over de wijze van verwijdering van de radioactieve stoffen en over de be- en verwerking hiervan. De toekomstige blootstelling van leden van de bevolking na de uiteindelijke vrijgave van het terrein is (mede) afhankelijk van de precieze keuzes bij de sanering van de bodem.

Omdat voor deze situatie op dit moment een vergunning geldt, kan deze worden aangemerkt als een **geplande blootstellingsituatie**.

4.1.1.6 Voormalige Billiton-terrein Arnhem

Hollandsche Metallurgische Industrie Billiton B.V. (hierna HMB) was een bedrijf in Arnhem dat vanaf 1928 allerlei (zware) metalen bewerkte en/of vrijmaakte uit ertsen. Ook werden er door dit bedrijf loodaccu's gerecycled. Het bedrijf loosde afvalwater op de sloten en in de Malburger Haven. Bij het vrijmaken van tin uit thoriumhoudend tinerts zijn radioactieve slakken ontstaan, die voor het overgrote deel zijn afgevoerd. HMB was tot de sluiting van de fabriek in 1994 gevestigd op een industrieterrein aan de Rijn. De activiteiten van HMB leidden tot verontreiniging van de bodem en het rivierslib, met onder meer kwik, cadmium en thallium. Ook was gruis van de slakken aanwezig in de bodem met daarin verhoogde concentraties radionucliden van natuurlijke oorsprong.

De bodem is in 1995 gesaneerd, waarbij ook de Kernfysische dienst betrokken is geweest. Een deel van de verontreinigde grond is geïsoleerd. Rondom is een damwand geplaatst, onder de verontreinigde grond zit een natuurlijke kleilaag en er is ook een bovenafdichting aangebracht met schone grond. Binnen de geïsoleerde grond wordt het grondwaterpeil kunstmatig laag gehouden, het water wat hier uitkomt wordt gefilterd. Tijdens de sanering is materiaal als radioactief afval afgevoerd naar de COVRA, en is ander materiaal als vrijgegeven conventioneel afval afgevoerd naar een onbekende deponie. Het is niet bekend welke vrijgavenorm voor radioactiviteit daarbij is gehanteerd. Ook is niet duidelijk geworden of er destijds een melding of vergunning op grond van de Kernenergiewet bestond.

Volgens de destijds betrokken inspecteur is er geen relevante blootstelling meer over. Er is dan ook geen redenen om aan te nemen dat er ter plaatse sprake is van een significant verhoogde blootstelling van leden van de bevolking, of dat deze blootstelling veel personen betreft. Op grond van de in deze studie gevonden informatie is niet uit

te sluiten dat in deze situatie enige blootstelling van werknemers aan de orde zal zijn bij toekomstige werkzaamheden aan de geïsoleerde grond. De mate van blootstelling is echter niet te bepalen, omdat onbekend is wat de huidige activiteitsconcentraties zijn. Dat betekent ook dat niet kan worden uitgesloten dat vandaag de dag op grond van de grenswaarden in het Bbs strikt genomen een registratie- of vergunningplicht bestaat.

Deze situatie valt niet onder het controlestelsel, en is daarom aangemerkt als **mogelijke bestaande blootstellingsituatie**.

4.1.1.7 Hergebruik van (voorheen) vrijgegeven met cesium-137 besmet puin onder Polderbaan

Bij de sloop en ontmanteling van delen van het Instituut voor Kernfysisch Onderzoek (IKO) in 1998 is met cesium-137 besmet beton- en metselpuin vrijgekomen. Dit materiaal is deels afgevoerd naar de COVRA. Het (op 10 Bq/g²²) vrijgegeven puin is vermoedelijk hergebruikt in de fundering onder de Polderbaan van Schiphol. Bij de verwerking van het materiaal is waarschijnlijk een verdunning opgetreden. Bovendien is er sprake van aanzienlijke afscherming door de constructie zelf. Tevens wordt opgemerkt dat rekening moet worden gehouden met reductie van de activiteit als gevolg van verval²³.

Sinds de inwerkingtreding van het Bbs op 6 februari 2018 is de vrijgavegrens van cesium-137 met een factor 100 verlaagd naar 0,1 Bq/g. Feitelijk is onbekend of verdunning en verval samen zodanig is dat de activiteitsconcentratie nu voldoet aan de nieuwe grenswaarde van 0,1 Bq/g. Daarmee is niet uit te sluiten dat er nu, strikt genomen, alsnog sprake is van vergunningplichtig materiaal.

Evenmin kan op basis van deze informatie worden vastgesteld wat het stralingsniveau ter plekke is. De straling zal ten gevolge van de constructie vermoedelijk grotendeels worden afgeschermd. Bovendien zijn de blootstellingstijden van personen ter plekke zeer gering. De daadwerkelijke blootstelling van zowel leden van de bevolking als voor werknemers is als gevolg van de hierboven genoemde factoren verblijfstijd, afscherming en verval daarom naar verwachting vermoedelijk niet of nauwelijks meetbaar. Een aandachtspunt is, vanwege de lange halfwaardetijd van cesium-137, dat enige blootstelling van werknemers door bijvoorbeeld inhalatie van stofdeeltjes bij toekomstige onderhouds- of sloopwerkzaamheden niet kan worden uitgesloten.

Deze situatie valt niet onder het controlestelsel, en is daarom aangemerkt als **mogelijke bestaande blootstellingsituatie**.

4.1.1.8 Verhoogde concentraties radioactiviteit in oppervlaktewateren Conform Europese afspraken meet Rijkswaterstaat jaarlijks de radioactiviteitsniveaus in (onder meer) het oppervlaktewater. Namens Nederland rapporteert het RIVM hier jaarlijks over (Knetsch, G. (2017).

²² Destijds de grenswaarde voor vrijstelling en vrijgave voor cesium-137.

²³ De halfwaardetijd van cesium-137 is 30 jaar. Dat houdt in dat de activiteit(sconcentratie) sinds de sloop met een factor 1,6 is afgenomen.

Hieruit valt op te maken dat meetbare concentraties van verschillende radionucliden in de Nederlandse oppervlaktewateren worden aangetroffen. Voor de meeste radionucliden geldt dat deze concentraties niet veel variëren.

In het kader van eerdere vragen van de ANVS zijn door het RIVM op basis van conservatieve aannames inschattingen gemaakt van de maximale effectieve dosis ten gevolge van inname door een persoon van (enkel) ongezuiverd oppervlaktewater met de gemeten concentraties radionucliden. De op deze manier berekende dosis bedraagt 0,1 mSv per jaar, waarbij opgemerkt moet worden dat de dosis in de praktijk veel lager is, mede door zuivering van het drinkwater. Dit komt overeen met minder dan 4% van de totale gemiddelde stralingsbelasting. Een onderscheid tussen blootstelling van leden van bevolking en van werknemers is voor deze situatie niet van betekenis.

De blootstelling aan straling ten gevolge van (inname van) radionucliden in het oppervlaktewater valt niet onder het controlestelsel. Dit houdt in dat deze situatie moet worden beschouwd als een **mogelijke bestaande blootstellingsituatie**.

4.1.1.9

Mogelijk verhoogde concentraties van radionucliden van natuurlijke oorsprong in Nieuwe Waterweg t.g.v. lozingen van voormalige kunstmestfabrieken

Door twee, inmiddels niet meer bestaande, (fosfor)kunstmestfabrieken zijn in de vorige eeuw grote hoeveelheden fosfogips, met daarin onder meer verhoogde concentraties radium-226, lood-210 en polonium-210, geloosd op de Nieuwe Waterweg. Kemira Agro Pernis B.V. (hierna: Kemira) loosde vanaf de zuidoever, Hydro-Agri Rotterdam B.V. (hierna: Hydro-Agri) vanaf de noordoever. Of deze praktijk geleid heeft tot blijvende afzettingen van fosfogips of radium is niet duidelijk. Het lozen van fosfogips had destijds veel aandacht in verband met de daarmee gepaard gaande grote waterzijdige cadmium-lozingen. Beide bedrijven hadden destijds een vergunning op grond van de Kernenergiewet. Fosfogips kwam als restproduct vrij bij de productie van (fosfaat)kunstmest uit fosfaaterts, en kon vanwege de hoge activiteitsconcentraties niet direct verwerkt worden als (chemisch) afval. Dit probleem speelde in meerdere Europese landen, waarbij in andere landen meestal werd gekozen voor opslag van het fosfogips. In Nederland werd het overgrote deel op het oppervlaktewater geloosd, met als gevolg dat deze twee bedrijven samen meer dan de helft van de Europese lozingen van fosfogips naar het oppervlaktewater voor hun rekening namen. In Eggink, G. (1995) wordt melding gemaakt van ongeveer een megaton per jaar per bedrijf, corresponderend met een orde grootte van 10^{11} tot 10^{12} Bq per jaar.

De bovenstaande praktijk bij Hydro-Agri en Kemira bestaat niet meer. Hydro-Agri ging uiteindelijk verder onder de naam Tessenderlo Chemie, en produceert fosfaten voor veevoedertoepassingen, welke worden verkocht onder de merknamen Windmill en Aliphos. Voor de betreffende werkzaamheden is door dit bedrijf in het verleden een melding gedaan aan het bevoegd gezag. Aan Kemira werd in 2001 een vergunning verleend voor het voorhanden hebben en het toepassen van radioactieve stoffen verband houdende met de ontmanteling en sloop

van de fosforzuurfabriek. Inmiddels heeft Kemira geen Kernenergiewetvergunning meer, en sinds eind 1999/begin 2000 vinden de hierboven genoemde lozingen niet meer plaats.

Door Bijwaard, H., et al. (2003) zijn voor het laatst de radium-226-gehalten bepaald in baggerspecie afkomstig uit de Rotterdamse havens en de Nieuwe Waterweg. Zoals ook in eerdere meetcampagnes was vastgesteld, worden hoge radiumgehalten gevonden in de omgeving van de voormalige lozingspunten. In de meetcampagne van 2002 is het hoogst gemeten radium-226-gehalte circa 0,21 Bq/g. De totale hoeveelheid radium van industriële oorsprong blijkt gemiddeld over 2000-2002 ongeveer de helft te bedragen van het gemiddelde over de periode 1995-1997. Daarmee lijkt het stoppen van de lozingen er inderdaad toe te hebben geleid dat het overschotgehalte aan radium-226 in het havenslib is afgenomen.

In 2015 is volgens Knetsch, G. (2017) de jaargemiddelde radium-226-activiteitsconcentratie in de Nieuwe Waterweg 12 mBq/L. Deze concentratie is vergelijkbaar met de activiteitsconcentratie in de Schelde en iets hoger dan die in de Rijn en de Maas. Deze jaargemiddelde activiteitsconcentratie valt binnen dezelfde range van de voorgaande jaren. Het is overigens van belang op te merken dat het hierbij gaat om metingen van het totaal van de bijdrage van de natuurlijke achtergrond en de bijdrage van menselijke activiteiten samen. De activiteitsconcentraties zijn vergelijkbaar met die in de Noordzee, zoals bepaald door OSPAR.

In OSPAR (2009) is gerapporteerd dat de hoogste concentraties radium-226 in gemonitord zeewater worden gemeten in de Noordzee in de buurt van de Nederlandse kust (monitoring area 8). Daarbij wordt eveneens vermeld dat deze concentraties sinds 1995 een dalende trend vertonen. OSPAR gaat niet in op (vermoedens van) de oorzaak hiervan. De meest actuele inschatting van de hierbij behorende dosis voor leden van bevolking in OSPAR (2009) is 0,014 mSv per jaar voor het jaar 2004. De blootstelling van een lid van de bevolking is in het verleden ook in diverse documenten berekend op basis van scenario's van inname van zeevoedsel waarin polonium-210 (dochternuclide van radium-226) is opgehoopt. De op basis hiervan berekende effectieve dosis bedraagt tussen de 12 (VROM (1985)) en 0,017 mSv per jaar (Hegeman, W. (2000)), waarbij is aangegeven dat dit effect na het beëindigen van de lozingen langzaam "uitdempt". Op basis van deze cijfers, en verdere "uitdemping" in aanmerking nemende, kan worden gesteld dat de huidige dosis minder is dan 0,010 mSv per jaar. Dit komt overeen met minder dan 0,4% van de totale gemiddelde stralingsbelasting. Een onderscheid tussen leden van bevolking en werknemers is voor deze situatie niet van betekenis.

De aanwezigheid van radionucliden valt niet onder het controlestelsel. Daarmee kan deze situatie worden beschouwd als een **mogelijke bestaande blootstellingsituatie**.

- 4.1.1.10 Hergebruik geactiveerd materiaal van versnellers
Door één van de geïnterviewde experts is gerefereerd aan het hergebruik van geactiveerd materiaal dat is ontstaan ten gevolge van het bedrijven van deeltjesversnellers. Het betreft de twee volgende

voorbeelden. Omstreeks 1990 is bij de Rijksuniversiteit Groningen (RUG) het Philips cyclotron stilgelegd en ontmanteld. Een deel van het geactiveerde juk is door de RUG hergebruikt als afscherming voor het huidige AGOR cyclotron. In eerste instantie was de opslag van geactiveerde versnelleronderdelen vergund als onderdeel van de Kernenergiewet-complexvergunning. Momenteel is deze situatie vergund via een interne toestemming. Bij de Technische Universiteit Eindhoven zijn op vergelijkbare wijze geactiveerde bouwdelen afkomstig van het AVF cyclotron opgeslagen. Voor beide gevallen geldt dat de situatie valt onder het beheersysteem van de vigerende Kernenergiewet-complexvergunning van de universiteit.

In beide vergunningen is een maximum opgenomen van 0,010 mSv per jaar voor de blootstelling van leden van de bevolking ten gevolge van alle handelingen op de locaties. Dit komt overeen met minder dan 0,4% van de totale gemiddelde stralingsbelasting. Dit niveau wordt doorgaans door de ANVS gehanteerd in de vergunningverlening.

Die hierboven beschreven situaties vallen beiden onder een vigerende Kernenergiewet-complexvergunning, en daarmee onder het controlestelsel van het Bbs. Op grond hiervan kan deze situatie worden beschouwd als een **geplande blootstellingsituatie**.

- 4.1.1.11 Stort van (voorheen) vrijgegeven radioactief afval van kunstmatige oorsprong op deponieën
- Radioactief afval van kunstmatige oorsprong mag sinds de jaren '80 alleen nog naar COVRA worden afgevoerd. Afval met activiteitsconcentraties onder de grenswaarden voor vrijstelling en vrijgave mag worden afgevoerd naar een deponie, op voorwaarde dat geen strijd bestaat met milieuregelgeving. In de praktijk is dat slechts toegestaan als er redelijkerwijs geen (materiaal)hergebruik of verbrandingsopties bestaan, en wordt voldaan aan strenge voorwaarden met betrekking tot conditionering van het materiaal.

Van belang is dat de grenswaarden voor vrijstelling en vrijgave in 2001 en 2018 zijn aangescherpt. Het is niet uit te sluiten dat materiaal dat hiervoor als (vrijgegeven) conventioneel afval is afgevoerd naar een deponie activiteitsconcentraties bevat die hoger zijn dan de vigerende vrijstellingsgrenzen in het Bbs of onderliggende regelgeving. Dat zou kunnen betekenen dat dergelijk materiaal strikt genomen vergunningplichtig is. Hieronder worden enkele voorbeelden gegeven.

In de buurt van Assendelft bevindt zich de deponie Nauerna, waar zogenoemd C3-afval is gestort. De deponie te Nauerna is onder meer voorzien van een onder- en bovenafdichting, een waterzuivering en een monitoringsysteem. Het metaalafval dat tussen 1998 en 2000 vrijkwam bij de ontmanteling van de NIKHEF-versneller (paragraaf 4.1.1.1), en dat niet is verkocht of afgevoerd naar de COVRA, is destijds vrijgegeven en bij gebrek aan een afnemer uiteindelijk gestort op de Nauerna-deponie. Het betreft deels materiaal met activiteitsconcentraties hoger dan de huidige grenswaarden voor vrijstelling en vrijgave. Vanwege de relatief lange halfwaardetijd van cobalt-60 in vergelijking met andere in dit afval aanwezige nucliden, is een partij van 20 ton metaal met een activiteitsconcentratie van destijds 10 Bq/g cobalt-60 bepalend voor de

op dit moment aanwezige radioactiviteit. Indien radioactief verval in aanmerking wordt genomen correspondeert dit met een huidige activiteitsconcentratie van tussen de 1 en de 2 Bq/g cobalt-60. Op basis van de huidige vrijstellingsgrens voor cobalt-60 van 0,1 Bq/g is dat momenteel nog vergunningplichtig.

Daarnaast is een onbekende hoeveelheid vrijgegeven puin gestort bij Nauerna, besmet met cesium-137 (lager dan de voormalige vrijgavegrens van 10 Bq/g). Hiervoor geldt eveneens dat inmiddels enig radioactief verval in rekening kan worden gebracht. Echter, het is waarschijnlijk dat de activiteit nog boven de huidige vrijstellingsgrens voor cesium-137 van 0,1 Bq/g uitkomt. Voor overige sleutelnucliden uit het puin (mangaan-54 en natrium-22) geldt dat deze inmiddels vrijwel geheel zijn vervallen. Verder is bij het saneren van de bodem van het Instituut voor Kernfysisch Onderzoek (zie ook paragraaf 4.1.1.1) in Amsterdam circa 30 m³ grond afgevoerd naar Nauerna. Dit materiaal bevatte circa 3 Bq/g cesium-137, en was verpakt in zakken die normaal gesproken worden gebruikt voor de afvoer van asbest. Ook hiervoor geldt dat inmiddels enig radioactief verval in rekening kan worden gebracht maar dat de activiteit na ongeveer 10 jaar verval met ruim 2 Bq/g, nog boven de nieuwe vrijgavegrens voor cesium-137 uitkomt en daarmee strikt genomen vergunningplichtig is.

Verder zijn resten staal besmet met cobalt-60 en nikkel-63, en beton besmet met europium-154 afkomstig van de ontmanteling van de KSTR-reactorgebouwen in Arnhem gestort bij Nauerna en stortplaats De Keijenberg. Onbekend is wat destijds de activiteitsconcentraties waren. Daarnaast is een onbekende hoeveelheid beton en betonijzer afkomstig van de voormalige ITAL-reactor afgevoerd naar stortplaats De Keijenberg. Ook hiervan is onbekend wat destijds de activiteitsconcentraties waren.

Tot slot is vrijgegeven metaalafval dat tussen december 2013 tot juni 2014 vrijkwam bij de ontmanteling van het 411-gebouwencomplex van het NIKHEF in bigbags afgevoerd naar de deponie Afvalzorg in Lelystad. Ook voor een deel van dit afval geldt dat het bij het in werking treden van het Bbs in 2018 strikt genomen vergunningplichtig is geworden.

Hoewel bovenstaande informatie mogelijk niet compleet is, kan op grond van deze voorbeelden worden geconcludeerd dat er in Nederland deponieën zijn waar strikt genomen vergunningplichtig radioactief materiaal ligt. Uiteindelijk is dit een tijdelijke situatie, omdat vanwege radioactief verval de activiteitsconcentraties zullen afnemen, en de betreffende materialen niet meer vergunningplichtig zullen zijn. Een volledig overzicht van welke deponieën het betreft is binnen het bestek van dit onderzoek echter niet te geven.

Onder de aanname dat deponieën niet publiek toegankelijk zijn, en ervan uitgaande dat, indien dit nodig is ter voorkoming van onder andere uitloging of verwaaiing, afval bewerkt wordt voorafgaande aan de stort, is voor leden van de bevolking buiten de locatie de verwachting dat de stralingsbelasting ruim onder het triviale niveau voor kunstmatige

radioactiviteit van 0,010 mSv per jaar blijft.²⁴ Dit triviale niveau komt overeen met minder dan 0,4 % van de totale gemiddelde stralingsbelasting, en betreft alleen de lokale bevolking. De blootstelling van werknemers is op basis van de beschikbare informatie niet vast te stellen. Het lijkt, gegeven de geringe activiteitsconcentraties, echter niet waarschijnlijk dat de dosislimiet uit het Bbs van 1 mSv per jaar voor werknemers die niet als 'blootgestelde werknemers' worden aangemerkt, zal worden overschreden.

De hierboven beschreven voorbeelden vallen niet onder het controlestelsel. Het gaat daarmee dus om een **mogelijke bestaande blootstellingsituatie**.

4.1.1.12 Stort van (voorheen) vrijgegeven radioactief afval met radionucliden van natuurlijke oorsprong op deponieën

Analoog aan de hierboven beschreven stort van vrijgegeven radioactief afval van kunstmatige oorsprong, zijn (en worden) grote hoeveelheden vrijgegeven en meldingsplichtig (nu registratieplichtig) afval uit de procesindustrie met daarin radionucliden van natuurlijke oorsprong gestort op deponieën, indien geen hergebruikopties bestaan. Ook hiervoor geldt in beginsel dat als gevolg van aanscherping van een aantal vrijstellingsgrenswaarden een deel van het gestorte materiaal strikt genomen registratie- of vergunningplichtig is geworden. In tegenstelling tot afval met radionucliden van kunstmatige oorsprong, is afname van activiteit door radioactief verval bij radionucliden van natuurlijke oorsprong vaak verwaarloosbaar door de zeer lange halfwaardetijden.

Informatie over type en hoeveelheden afval is in dit onderzoek niet beschikbaar gekomen, evenals een overzicht van welke deponieën het betreft.

Door gebrek aan detailinformatie is blootstelling van leden van de bevolking en van werknemers is niet te bepalen. Analoog aan de redenering in paragraaf 4.1.1.11 ligt het niet in de lijn der verwachting dat de blootstelling van leden van de bevolking buiten de locatie in de buurt komt van 0,010 mSv per jaar. Voor werknemers zou de dosis in een pessimistisch scenario²⁵ in de orde van 0,10 mSv per jaar kunnen liggen. Deze waarden komen overeen met minder dan 0,4% en een kleine 4% van de totale gemiddelde stralingsbelasting, respectievelijk.

Net als de deponieën met radioactief afval van kunstmatige oorsprong (zie paragraaf 4.1.1.11) vallen deze situaties niet (volledig²⁶) onder het controlestelsel. Het gaat daarmee dus om een **mogelijke bestaande blootstellingsituatie**.

²⁴ Ter illustratie: In Radiation Protection 65 is de blootstelling voor deze situatie berekend, behorende bij de gehanteerde grenswaarden. Deze is maximaal 10 µSv per jaar, onder de aanname van 300 uur per jaar wandelen over een deponie.

²⁵ Uitgaande van het scenario A1w in Timmermans, C.W.M. (1996), waarbij grote hoeveelheden materiaal met activiteitsconcentraties lood-210 worden gestort. Resultaten zijn een factor 10 naar beneden geschaald, om rekening te houden met enige conditionering van het materiaal.

²⁶ Er zijn enkele uitzonderingen: Door Nauerna is wel een melding gedaan, die waarschijnlijk is (of wordt) omgezet naar een registratie. De melding ziet echter niet op materiaal dat met het inwerking treden van de nieuwe regelgeving vergunningplichtig is geworden. Mineralz in Rotterdam beschikt over een vergunning op grond van de Kernenergiewet. Niet onderzocht is of deze vergunning ook daadwerkelijk ziet op het voorhanden hebben van het hier beschreven materiaal.

4.1.2 *Residuele radioactiviteit uit een noodsituatie, nadat de blootstelling in een noodsituatie beëindigd werd verklaard, als bepaald in het rampenbestrijdings-systeem;*

4.1.2.1 Externe straling ten gevolge van fall-out

In het milieu neergeslagen radioactiviteit ("fall-out") afkomstig van het ongeval in Tsjernobyl leidt nog steeds tot blootstelling van personen in Nederland aan ioniserende straling. Daarnaast is fall-out deels het gevolg van kernwapenproeven in het verleden. De blootstelling wordt voornamelijk bepaald door het nuclide cesium-137. De activiteit daarvan is inmiddels deels afgenomen door radioactief verval (halfwaardetijd van ongeveer 30 jaar). Daarnaast wordt de blootstelling deels gereduceerd door indringing in de bodem, die daardoor een deel van de straling afschermt.

Rekening houdend met afscherming door verblijf binnenshuis, bedraagt de (voornamelijk externe) blootstelling van een gemiddelde inwoner van Nederland niet meer dan 0,010 mSv per jaar. Dit komt overeen met minder dan 0,4% van de totale gemiddelde stralingsbelasting. Iedereen wordt in enige mate hieraan blootgesteld.

De externe blootstelling aan *fall-out* is niet expliciet uitgesloten op grond van artikel 1.1, derde lid, van het Bbs. Evenmin is het controlestelsel hierop van toepassing. De blootstelling wordt daarom aangemerkt als een **mogelijke bestaande blootstellingsituatie**.

4.1.2.2 Tritium-besmetting grondwater Onderzoekslocatie Petten

Op de Onderzoekslocatie Petten is, als gevolg van een lek in één van de installaties van de Hoge Flux Reactor, tritium (waterstof-3) in het grondwater terecht gekomen. Deze situatie is op 3 maart 2014 door de Minister van Economische Zaken op grond van artikel 119, eerste lid, van het Besluit stralingsbescherming aangewezen als een "situatie die leidt tot langdurige blootstelling als gevolg van een vroegere handeling of werkzaamheid". Dit komt feitelijk nauw overeen met wat in de richtlijn wordt bedoeld met een bestaande blootstellingsituatie. Tegelijkertijd is vergunninghouder Nuclear Research and consultancy Group (NRG) opgedragen interventies uit te voeren met als doel een saneringsniveau van 100 Bq/L voor het grondwater te realiseren.

Tritiumbesmetting van grondwater kan in principe leiden tot blootstelling, indien besmetting van drinkwater optreedt, of indien het besmette grondwater wordt gebruikt voor beregening van gewassen. Besmetting van drinkwater is potentieel het belangrijkste belastingspad, onder de (zeer) conservatieve aanname dat een in het grondwater waargenomen besmetting ook geheel in het drinkwater terecht komt. Uitgaande van het gestelde saneringsniveau is door Slaper, H. en Tanzi, C. (2013) in opdracht van het Ministerie van Economische Zaken (als rechtsvoorganger van de ANVS) een zeer conservatief scenario doorgerekend, waarbij wordt uitgegaan van het gebruik van het besmette water als drinkwater. De blootstelling van een lid van de bevolking komt in dit zeer conservatieve scenario overeen met maximaal 0,001 – 0,002 mSv per jaar, en is beperkt tot de bevolking in de regio. Dit is minder dan 0,1% van de totale gemiddelde stralingsbelasting. Blootstelling van werknemers vindt plaats onder het regime van de Kernenergiewetvergunning van NRG. Het is niet

waarschijnlijk dat scenario's, anders dan inname van drinkwater, zullen leiden tot een blootstelling van werknemers aan tritium die hoger is dan dit scenario.

Omdat alle handelingen en maatregelen plaatsvinden onder het regime van een Kernenergievergunning en daarmee vallen onder wettelijke controle, wordt deze situatie beschouwd als **geplande blootstellingsituatie**.

- 4.1.2.3 Verloren gegane radioactieve bronnen in de ondergrond
Bij de olie en gaswinning zijn en worden voor diverse toepassingen radioactieve bronnen gebruikt. Bij enkele van deze activiteiten zijn in het verleden bewust bronnen in de (diepe) ondergrond aangebracht. In andere gevallen zijn bronnen onbedoeld achtergebleven. Het gaat om radioactieve markers, perforatiekogels en zogenoemde "well logging tools" met daarin hoogactieve²⁷ cesium-137 en americium-241 bronnen. Momenteel worden dergelijke bronnen (vrijwel) niet meer toegepast

In Van der Schaaf, M., et al. (2014) wordt aangegeven dat het onwaarschijnlijk is dat de hoogactieve bronnen die in de diepe ondergrond (op enkele km diepte) zijn achtergebleven kunnen leiden tot overschrijding van radiologische normen in de biosfeer. Ook voor de minder sterke bronnen, die op geringere diepten (ten minste circa 300 m) zijn achtergebleven, geldt dat niet verwacht wordt dat ze, ter plaatse van de biosfeer, kunnen leiden tot overschrijding van vrijstellingsgrenzen. Dat betekent dat blootstelling van de bevolking of van werknemers ook in dergelijke scenario's onder de 0,010 mSv per jaar blijft. Dit komt overeen met minder dan 0,4% van de totale gemiddelde stralingsbelasting. Door de betreffende bedrijven zijn maatregelen getroffen gericht op de bescherming van leden van de bevolking en werknemers, welke zijn voorgelegd aan de bevoegde autoriteiten en waarop toezicht wordt gehouden.

Alle hoogactieve bronnen, markers en perforatiekogels zijn vergund, en waar nodig zijn daarnaast ook interventiebeschikkingen afgegeven. Deze situatie kan daarom worden beschouwd als een **geplande blootstellingsituatie**.

- 4.1.3 *Residuele radioactiviteit uit activiteiten in het verleden waarvoor de onderneming niet langer wettelijk aansprakelijk is*
Er zijn in de inventarisatie geen situaties aangetroffen die mogelijk zijn te scharen onder dit type bestaande blootstellingsituatie.

4.2 Blootstelling aan natuurlijke stralingsbronnen

- 4.2.1 *Blootstelling aan radon en thoron binnenshuis, op werkplekken, in woningen en andere gebouwen;*

- 4.2.1.1 Blootstelling aan radon (radon-222) in gebouwen
Inademing van radon (radon-222, één van de radioactieve isotopen van het edelgas radon, vaak kortweg "radon"), en (vooral) de vervalproducten daarvan, leidt tot blootstelling aan ioniserende straling.

²⁷ (Ingekapselde) radioactieve bron waarvan de activiteit groter is dan de waarde in Bijlage 1.3 van de Uitvoeringsregeling stralingsbescherming EZ.

Radon ontstaat door verval van radionucliden uit de natuurlijke reeks uranium-238. Het moedernuclide van radon, radium-226, treffen we in meer of mindere mate aan in bodemmateriaal, en dus ook in bouwmaterialen die zijn geproduceerd op basis van bodemmateriaal. De meeste blootstelling aan radon vindt plaats in de woning. Radon in woningen is afkomstig uit bouwmaterialen. Ook ontstaat het in de bodem en komt het vandaar, vaak via de kruipruimte, de woning in. De radonconcentratie binnenshuis wordt mede bepaald door de mate van uitwisseling van radonrijke lucht in de woning met lucht van buiten, die doorgaans radonarm is (ventilatie). De locatieafhankelijkheid van radon in woningen hangt vooral samen met verschillen in bodemtype. Twee factoren zijn daarbij van belang: de concentratie van radium-226 in de bodem ter plaatse, en de doorlaatbaarheid van de bodem voor het gasvormige radon. Beide factoren bepalen hoeveel radon beschikbaar is om vanuit de bodem in de woning te komen. Eigenschappen van de woning (woningtype, ventilatiesysteem, doorlaatbaarheid bodemplaat etc.) bepalen vervolgens in welke mate radon binnenkomt en opbouwt tot een radonconcentratie binnenshuis.

Het RIVM heeft in de periode 2013 - 2014 in een representatieve steekproef van circa 2500 Nederlandse woningen de jaargemiddelde concentraties bepaald van radon en van thorondochters (zie §4.2.1.2) (Smetsers, R., et al. (2015)). De jaargemiddelde radonconcentratie bedraagt gemiddeld over alle onderzochte woningen 15,6 Bq/m³. In de helft van de woningen is de jaargemiddelde radonconcentratie lager dan 12,2 Bq/m³, en in 95 procent lager dan 37,9 Bq/m³. In 0,4 procent van de huizen zijn waarden gevonden tussen 100 en 200 Bq/m³. In de data is een plaatsafhankelijkheid waar te nemen, die samenhangt met de bodemsoorten ter plaatse. Verhoogde radonconcentraties zijn vooral te vinden in Zuid-Limburg (regio-gemiddelde waarde ca. 40 Bq/m³) en in iets mindere mate in het gebied tussen Nederrijn, Waal en Maas (regio-gemiddelde waarde ca. 25 Bq/m³).

Op grond van artikel 103 van de richtlijn 2013/59/Euratom moet een Nationaal actieplan worden opgesteld om de langdurige risico's uit blootstellingen door binnendringing van radon uit de bodem, bouwmaterialen of water in woningen, voor het publiek toegankelijke gebouwen en werkplekken aan te pakken. Daarnaast dient een referentieniveau te worden vastgesteld voor de jaargemiddelde concentratie radon in woningen, waarbij geldt dat dit referentieniveau niet meer mag bedragen dan 300 Bq/m³. Vervolgens moeten gebieden, en de betreffende gebouwen ter plaatse, waar de radonconcentratie als jaargemiddelde het referentieniveau, in een significant aantal woningen en voor het publiek toegankelijke gebouwen of werkplekken kan overschrijden worden geïdentificeerd. Op verzoek van de ANVS heeft het RIVM onderzocht of de keuze voor een relatief laag referentieniveau van 100 Bq/m³ voor Nederland haalbaar is. Op basis van de data van het onderzoek naar radon in Nederlandse woningen (bouwjaar 1930 of later) blijkt dat inderdaad mogelijk. Ongeveer 24 duizend woningen hebben naar verwachting een hogere radonconcentratie. Die zijn vooral te vinden in Zuid-Limburg en het gebied tussen Nederrijn, Waal en Maas, waar van nature meer radon in de bodem ontstaat en van daaruit in de woning kan komen. Vooral eengezinswoningen zonder geforceerde

ventilatie systemen zijn gevoelig voor overschrijding van het referentieniveau (Smetsers, R., et al. (2016), Smetsers, R. (2017)).

Er is momenteel internationaal veel discussie gaande over de effectieve dosis van een lid van de bevolking als gevolg van de aanwezigheid van radon (en radon-220, zie paragraaf 4.2.1.2) in een gebouw. Indien op basis van deze discussies wordt aangenomen dat langdurige blootstelling aan een jaargemiddelde radonconcentratie van 300 Bq/m^3 correspondeert met een effectieve dosis rond de 10 mSv per jaar, dan kan voor de gemiddelde blootstelling van leden van de bevolking in Nederland ten gevolge van radon in woningen uit bovenstaande cijfers een effectieve dosis rond de 0,5 mSv per jaar worden afgeleid. Wat overeenkomt met ongeveer 19% van de totale gemiddelde stralingsbelasting. Deze blootstelling treft de gehele Nederlandse bevolking. Jaargemiddelde radonconcentraties van tien keer het landelijk gemiddelde zijn zeldzaam, maar niet onmogelijk. Een dergelijk situatie levert dan voor een enkeling een effectieve dosis op van 5 à 10 mSv per jaar.

Blootstelling aan verhoogde concentraties radon kan ook aan de orde zijn in andere gebouwen dan woningen. Om dit in kaart te brengen is in Goemans, P. et al. (2018) onderzoek gedaan naar de blootstelling aan radon op de werkplek in Nederland. De resultaten van dit onderzoek zijn goed vergelijkbaar met de hierboven genoemde waarden in woningen. Slechts in enkele zeer specifieke gevallen in dit onderzoek zijn de radonconcentraties hoger dan 300 Bq/m^3 . Dat zijn grondwater zuiveringsstations bij drinkwaterbedrijven, grotten en ondergrondse ruimten.

Blootstelling van leden van de bevolking en van werknemers aan radon en vervalproducten is in de richtlijn en in het Bbs (artikel 7.38 en 9.10) aangemerkt als **bestaande blootstellingsituatie**.

- 4.2.1.2 Blootstelling aan thoron (radon-220) in gebouwen
 Net als bij radon leidt inademing van thoron (radon-220, één van de andere radioactieve isotopen van het edelgas radon, vaak kortweg "thoron"), en met name de vervalproducten daarvan, tot blootstelling aan ioniserende straling. Thoron ontstaat door verval van radionucliden uit de natuurlijke thorium-232 reeks die, evenals de uranium-238 reeks, in lichte concentraties aanwezig zijn in de bodem, en in bouwmaterialen die zijn geproduceerd op basis van bodemmateriale. Vanwege de relatief korte halfwaardetijd van thoron is alleen exhalatie uit bouwmaterialen, en dan vooral uit wandafwerkmaterialen, relevant. In het in de vorige paragraaf genoemde onderzoek is eveneens gekeken naar de thorondochterconcentratie²⁸ in Nederlandse woningen. In dit onderzoek is een jaargemiddelde thorondochterconcentratie bepaald van ongeveer $0,64 \text{ Bq/m}^3$. In de helft van de woningen zijn waarden gevonden die lager dan $0,53 \text{ Bq/m}^3$ en in 95 procent van de woningen is de jaargemiddelde thorondochterconcentratie lager dan $1,37 \text{ Bq/m}^3$. Ongeveer 0,5 procent van de metingen is hoger dan 3 Bq/m^3 . De hoogst gevonden waarde bedraagt $13,3 \text{ Bq/m}^3$ (Smetsers, R., et al. (2015)).

²⁸ Het betreft de zogenoemde equivalente evenwichtsconcentratie van radon-220, afgekort: EETC.

Er is momenteel internationaal veel discussie gaande over de effectieve dosis van een lid van bevolking als gevolg van de aanwezigheid van thoron (en radon) in een gebouw. Indien op basis van deze discussies wordt aangenomen dat langdurige blootstelling aan een jaargemiddelde thorondochterconcentratie van 30 Bq/m^3 een effectieve dosis oplevert rond de 10 mSv per jaar, dan kan voor de gemiddelde blootstelling van leden van de bevolking in Nederland ten gevolge van thorondochters in woningen uit bovenstaande cijfers een effectieve dosis rond de $0,2 \text{ mSv}$ per jaar worden afgeleid. Wat overeenkomt met ongeveer 8% van de totale gemiddelde stralingsbelasting. Jaargemiddelde thorondochterconcentraties in woningen van 20 tot 25 keer het landelijk gemiddelde zijn zeldzaam, maar niet onmogelijk. Een dergelijk situatie levert dan voor een enkeling een effectieve dosis op van 5 à 10 mSv per jaar. Voor meer informatie hierover wordt verwezen naar Smetsers, R., et al. (2015).

Blootstelling aan verhoogde thorondochterconcentraties kan ook aan de orde zijn in andere gebouwen dan woningen. In Goemans, P. et al. (2018) is gerapporteerd over metingen van thorondochterconcentraties op Nederlandse werkplekken. Deze bedragen gemiddeld $0,42 \pm 0,02 \text{ Bq/m}^3$. Op een aantal specifieke meetlocaties zijn thorondochterconcentraties van meer dan 3 Bq/m^3 gemeten. Deze zijn gevonden bij drinkwaterbedrijven, een metrostation, één glastuinbouwbedrijf en één justitiële inrichting. Deze resultaten liggen in lijn met de waarden die volgens internationale organisaties in gebouwen verwacht kunnen worden.

De situatie valt niet onder het controlestelsel. Daarmee moet het worden aangemerkt als een **mogelijke²⁹ bestaande blootstellingsituatie**.

4.2.2 *Uitwendige blootstelling binnenshuis ten gevolge van bouwmaterialen.* Naast radon en thoron bestaat er nog een derde mogelijk blootstellingspad waarmee rekening moet worden gehouden bij de analyse van mogelijke bestaande blootstellingen in gebouwen. Het gaat hierbij om de blootstelling van in gebouwen aanwezige personen aan gammastraling afkomstig van bouwmaterialen. Van belang is daarbij op te merken dat de totale uitwendige blootstelling binnenshuis een resultante is van de afscherming van kosmische en terrestrische straling door bouwmaterialen en gamma afkomstig van bouwmaterialen. In het verleden is (onder meer in het kader van de eerste "VERA"-survey) onderzoek gedaan naar externe straling in Nederlandse nieuwbouwwoningen gebouwd in de periode 1994 - 2003 (o.a. Bader, S., et al. (2010)). In ongeveer 300 woningen zijn de externe stralingsniveaus bepaald in diverse ruimten.

Onderzoek heeft aangetoond dat de effectieve jaardosis van een gemiddeld lid van de bevolking ten gevolge van externe straling binnenshuis ongeveer $0,35 \text{ mSv}$ per jaar bedraagt (De Jong, P. en Van Dijk, J. (2009)). Wat overeenkomt met ongeveer 13% van de totale

²⁹ Merk op dat thoron wordt genoemd in de *Indicatieve lijst van soorten bestaande blootstellingsituaties* in Bijlage VII bij het Bbs.

gemiddelde stralingsbelasting. Tevens is aangetoond dat deze blootstelling niet significant is veranderd ten opzichte van eerdere metingen. Uit Goemans, P. et al. (2018) blijkt het externe stralingsniveau (op werkplekken) in Nederlandse gebouwen goed vergelijkbaar is met het hiervoor vermelde niveau in woningen. Uitgaande van een verblijftijd van ongeveer 2000 uur per jaar kan de blootstelling van werknemers worden geschat op ca. 0,08 mSv/a.

De uitwendige blootstelling van personen aan gammastraling ten gevolge van bouwmaterialen in het binnenmilieu is in de richtlijn en in het Bbs (artikel 9.10) aangemerkt als **bestaande blootstellingsituatie**.

4.3 Blootstelling aan grondstoffen (met uitsluiting van voedsel, diervoeder en drinkwater)

4.3.1 Blootstelling aan grondstoffen met radionucliden uit zones die zijn verontreinigd door materiaal met residuele radioactiviteit;
Er zijn in de inventarisatie geen situaties aangetroffen die mogelijk zijn te scharen onder dit type bestaande blootstellingsituatie.

4.3.2 Blootstelling aan grondstoffen met radionucliden van natuurlijke oorsprong.

4.3.2.1 Hergebruik slakken uit de ertsverwerkende industrie
Bij de aanleg van (zee)dijklichamen (zoals in de Deltawerken) en in de wegenbouw in met name de provincie Zeeland zijn honderdduizenden tonnen slakken uit de ertsverwerkende industrie toegepast. Deze slakken bevatten naast zware metalen ook radionucliden van natuurlijke oorsprong. Verreweg het grootste deel van deze slakken is afkomstig van de voormalige fosforindustrie (Hoechst, later Thermphos), maar ook slakken uit de staalindustrie en de voormalige koperproductie zijn toegepast. Dergelijke "fosforslakken", "staalslakken" en "koperslakken" mogen in principe worden gebruikt in de weg en waterbouw, mits ze zijn voorzien van een door de Minister van I&W erkende kwaliteitsverklaring. Volgens de specificaties van producent "Pelt & Hooijkaas" van het product "hydraulische fosforslak" bevat dit materiaal radionucliden uit de thorium-232 en uranium-238-reeksen, met activiteitsconcentraties onder de registratieplichtige grens van 1 Bq/g. Er zijn echter in het verleden ook op grote schaal fosforslakken toegepast in de weg- en waterbouw, die voor 2001 zijn vrijgegeven onder het regime van het vroegere *Besluit stralingsbescherming*. Deze slakken kunnen activiteitsconcentraties hebben tot 500 Bq/g. Bij wijze van voorbeeld wordt gewezen op slakken die in 2015 bij wegwerkzaamheden in Zeeland zijn aangetroffen in funderingsmaterialen. Deze slakken bleken op grond van de in 2015 geldende *Besluit stralingsbescherming* meldingsplichtig te zijn. Zowel fosforslakken als koperslakken worden momenteel niet meer in Nederland geproduceerd.

Het RIVM (o.a. Dekker, P., et al. (1996)) heeft in het verleden diverse studies uitgevoerd ter onderbouwing van de emissiewaarden voor alle bouwstoffen in het *Besluit bodemkwaliteit*, waaronder staal- en fosforslakken. Hierbij is met name gekeken naar eventuele uitloging van zware metalen. Uitgaande van deze onderbouwing zijn er geen ecologische effecten te verwachten in het (oppervlakte)water.

Fosforslakken zijn in de provincie Zeeland vermoedelijk op veel plekken gebruikt in de wegenbouw. Er is geen administratie gevonden van waar de slakken zijn toegepast. Wel zijn registraties van een verhoogd dosistempo (ten opzichte van andere meetposten in de omgeving) bij enkele meetposten van het Nationaal Meetnet Radioactiviteit (circa 0,125 μSv per uur, bruto signaal), die met grote waarschijnlijkheid is te relateren aan de aanwezigheid van fosforslakken in de bodem (waaronder wegenbouw). Verder is uit metingen in het Sloegebied door de KFD gebleken dat een verhoogd stralingsniveau kan worden vastgesteld op plaatsen waar bekend is dat fosforslakken in (constructies in) de bodem zijn verwerkt. Volgens de KFD werd het hoogste stralingsniveau (2 μSv per uur) in het verleden gemeten op de fosfaatslakken-opslag op het terrein van de fosforfabriek. Op andere plaatsen waar slakken aanwezig zijn, is het stralingsniveau waarschijnlijk (aanzienlijk) lager. Bij het gebruik van de slakken als onderlaag voor geasfalteerde wegen kon boven het wegdek een dosistempo van 0,4 μSv per uur worden gemeten. Boven een niet te dikke laag onafgedekte slakken bedraagt het dosistempo rond 0,8 μSv per uur. Het achtergrondniveau in de omgeving van de toegepaste slakken (bijvoorbeeld in de gemeente Borsele) varieert tussen 0,08 en 0,1 μSv per uur (Smetsers, R. en Blaauboer, R. (1996)).

Slakken afkomstig van de koperproductie zijn verspreid over heel Nederland gebruikt. Ook hiervoor geldt dat geen administratie bekend is. Dergelijke koperslakken leiden, net als fosforslakken, tot een verhoogd dosistempo. De slakken worden inmiddels al enkele decennia niet meer in Nederland geproduceerd.

Op basis van het hierboven genoemde dosistempo voor geasfalteerde wegen van 0,4 μSv per uur, en de in de Bijlage 10 "Rekenregels Analyse Gevolgen Ioniserende Straling (AGIS), behorende bij ANVS-verordening basisveiligheidsnormen stralingsbescherming (Vbs), gehanteerde Actuele Blootstelling Correctiefactor (ABC-factoren, gebaseerd op verblijfsduur) van 0,01 op wegen (overeenkomende met 88 uur per jaar), is de blootstelling van een lid van de bevolking ter plaatse ten gevolge van slakkenwegen te bepalen op circa 0,035 mSv per jaar. Dit komt goed overeen met de waarde van circa 0,040 mSv per jaar, zoals genoemd in Erkens, W. (1997). Dit komt overeen met ongeveer 1,5% van de totale gemiddelde stralingsbelasting. Omdat niet exact bekend is waar de slakkenwegen zich bevinden, is de groep blootgestelden niet precies aan te wijzen. In potentie kan het echter om de gehele bevolking van de Provincie Zeeland gaan. De blootstelling van werknemers bij werkzaamheden aan slakkenwegen is in Timmermans, C. en Van Weers, A.W. (2001) bepaald tussen 0,003 (normale omstandigheden) en 0,8 mSv per jaar (ongunstige omstandigheden). Deze grote variatie in potentiële blootstelling bij werkzaamheden kan verklaard worden door het wel of niet meenemen van het scenario van inwendige besmetting door inhalatie van stofdeeltjes. De blootstelling aan slakken in (zee)dijklichamen is naar verwachting aanzienlijk lager dan de hier berekende potentiële blootstelling aan slakken in de wegenbouw.

Het hierboven beschreven gebruik van industriële slakken in wegen en (zee)dijklichamen, is strikt genomen een handeling met materialen met

radionucliden van natuurlijke oorsprong, waarvoor in het verleden waarschijnlijk een melding is gedaan. Op basis daarvan zou deze situatie kunnen worden beschouwd als een geplande blootstellingsituatie. Echter, niet in alle gevallen heeft er daadwerkelijke registratie van de meldingen plaatsgevonden, waardoor niet altijd bekend is waar de slakken zich bevinden. Tevens zijn slakken verwerkt die door verlaging van vrijgavegrenzen bij het inwerking treden van het Bbs onder de regelgeving zijn gaan vallen. Omdat deze materialen hiervoor niet onder de regelgeving vielen (en er dus geen melding behoefde te worden gedaan) is ook niet bekend waar deze slakken zich bevinden. Het is dus ook niet (volledig) bekend waar de blootstelling precies optreedt. Daarom wordt deze situatie als een **mogelijke bestaande blootstellingsituatie** aangemerkt.

4.3.2.2 Hergebruik van slakkenwol

Slakkenwol is een restproduct uit o.a. de tinindustrie dat radionucliden van natuurlijke oorsprong bevat. Het is in de jaren '50 en '60 van de vorige eeuw in veel industriële gebouwen, branddeuren, transportleidingen en installaties toegepast als (hittebestendig) isolatiemateriaal (niet in woningen). Inmiddels wordt het al enkele decennia niet meer actief toegepast. De stof is toxicologisch en qua structuur verwant met steen- en glaswol, en bevat radionucliden uit de vervalreeksen van thorium-232 en uranium-238. Activiteitsconcentraties liggen rond de 1 Bq/g van beide vervalreeksen in seculair evenwicht, maar kunnen wat variëren, en zijn in sommige gevallen vergunningplichtig. Een volledig overzicht van in welke (delen van) installaties slakkenwol aanwezig is ontbreekt. Slakkenwol wordt nog zeer geregeld (en soms onverwacht) aangetroffen bij de ontmanteling of sloop van fabrieksinstallaties en transportleidingen.

In het verleden kon slakkenwol verwerkt worden bij Thermphos. Inmiddels is een nieuwe verwerkingsroute beschikbaar bij Van Gansewinkel op de Maasvlakte, waar het geshredderd en gemengd wordt met ander materiaal, en hergebruikt wordt als stabilisatiemateriaal. Deze verwerkingsroute gebeurt, afhankelijk van de activiteitsconcentratie, onder een registratie- of vergunningregime.

Leden van de bevolking lopen doorgaans geen risico op blootstelling aan radioactief slakkenwol. Werknemers kunnen risico lopen op blootstelling aan ioniserende straling ten gevolge van slakkenwol. De externe stralingsniveaus zijn doorgaans niet meer dan drie keer het achtergrondniveau. Een belangrijk risico is echter inademing van slakkenwol-deeltjes, leidend tot een inhalatiedosis. De effectieve dosis van werknemers bij het ontmantelen van installaties is in gunstige scenario's geschat op 0,090 mSv per jaar, en in ongunstige situaties op 2 mSv per jaar (Timmermans, C. en Van Weers, A. (2001)). Onder de aanname dat dergelijke sloop- en ontmantelingsprojecten plaatsvinden onder toezicht kan er van uit worden gegaan dat de blootstelling van leden van de bevolking in de praktijk (ver) onder de 0,010 mSv per jaar ligt, en beperkt is tot een lokale groep. Dit komt overeen met minder dan 0,4% van de totale gemiddelde stralingsbelasting.

Er is voor de blootstelling ten gevolge van slakkenwol een onderscheid te maken in twee scenario's:

Op het moment dat slakkenwol wordt aangetroffen, en als zodanig wordt herkend, worden maatregelen genomen ter bescherming van werknemers bij zowel de verwijdering als de verwerking ervan. Er wordt daarvoor dan een vergunning of registratie aangevraagd, en wordt in beginsel toezicht gehouden door de bevoegde autoriteiten. Daarnaast beschikken enkele bedrijven waarvan bekend is dat slakkenwol aanwezig is op hun terrein over een Kernenergiewetvergunning voor het voorhanden hebben en soms ook voor het verwijderen van slakkenwol. Deze gevallen worden in de praktijk behandeld als een **geplande blootstellingsituatie**.

Het is echter niet uit te sluiten dat slakkenwol wordt aangetroffen zonder dat dit als zodanig wordt herkend. In een dergelijk geval mag er van worden uitgegaan dat er geen beschermingsmaatregelen zijn getroffen, en geen toezicht wordt gehouden. De blootstelling van werknemers ligt dan in de orde van bovenstaande waarde voor ongunstige scenario's (2 mSv per jaar). De blootstelling van leden van de bevolking in dit scenario is niet bekend, maar zal vermoedelijk zeer beperkt zijn, en slechts een lokale groep personen betreffen. De blootstelling in dit scenario kan worden beschouwd als een **mogelijke bestaande blootstellingsituatie**.

5 Conclusies

5.1 Gevonden mogelijke bestaande blootstellingsituaties

In dit briefrapport zijn in totaal 24 situaties beschreven. Vier van deze situaties zijn uitgesloten van de voorschriften op grond van het Bbs. Voor vijf situaties blijkt bij nader inzien dat de situatie is te beschouwen als een geplande blootstellingsituatie. De overige vijftien situaties zijn aangemerkt als mogelijke bestaande blootstellingsituaties. Alle situaties zijn samengevat in Tabel 2.

Tabel 2: Samenvatting van alle gevonden situaties, en de bijbehorende inschatting van de blootstelling

Situatie	Grootteorde blootstelling leden van de bevolking	Percentage van totale gemiddelde stralingsbelasting	Blootgestelden	Pag.
Bbs niet van toepassing				
Terrestrische straling	0,04 mSv per jaar	2 %	Gehele bevolking	31
Kosmische straling op zeeniveau	0,29 mSv per jaar	11 %	Gehele bevolking	31
Kosmische straling bevolking in luchtvaart	0,06 mSv per jaar	2 %	Luchtvaart-pasagiers	31
Straling t.g.v. radioactiviteit in voedsel	0,3 mSv per jaar	12 %	Gehele bevolking	31
Geplande blootstellingsituaties				
Katalysatorberging Geleen	0,01 mSv per jaar	0,4 %	Omwonenden en werknemers	33
Thermphos-terrein	0,01 mSv per jaar	0,4 %	Omwonenden en werknemers	35
Hergebruik geactiveerd materiaal versneller	0,01 mSv per jaar	0,4 %	Omwonenden en werknemers	39
Grondwater-besmetting Petten	< 0,002 mSv per jaar	< 0,1 %	Omwonenden	43
Verloren gegane bronnen in ondergrond	0,01 mSv per jaar	0,4 %	Omwonenden en werknemers	44

Vervolg tabel 2: Samenvatting van alle gevonden situaties, en de bijbehorende inschatting van de blootstelling

Situatie	Grootteorde blootstelling leden van de bevolking	Percentage van totale gemiddelde stralingsbelasting	Blootgestelden	Pag.
Mogelijke bestaande blootstellingsituaties/verontreinigde zones				
NIKHEF/IKO-terrein	Blootstelling ligt niet voor de hand	n.v.t.	Blootstelling werknemers niet uit te sluiten bij grondaafgraving	31
Voormalig KEMA-terrein	Geen blootstelling	n.v.t.	Blootstelling werknemers niet uit te sluiten bij grondaafgraving	32
Voormalig Polderweg-terrein	Geen blootstelling	n.v.t.	Blootstelling werknemers niet uit te sluiten bij grondaafgraving	36
Voormalige Billiton-terrein	Geen blootstelling	n.v.t.	Blootstelling werknemers niet uit te sluiten bij grondaafgraving	36
Polderbaan	Naar verwachting niet of nauwelijks meetbaar	n.v.t.	Blootstelling werknemers niet uit te sluiten bij werkzaamheden	37
Nederlandse oppervlaktewateren	<< 0,1 mSv per jaar	<< 4 %	Lokaal + regionaal	37
Nieuwe Waterweg	< 0,01 mSv per jaar	< 0,4 %	Lokaal + regionaal	38
Stort vrijgegeven kunstmatig radioactief afval op deponie	< 0,01 mSv per jaar	< 0,4 %	Lokaal + werknemers	40
Stort vrijgegeven afval met radionucliden van natuurlijke oorsprong op deponie	< 0,01 mSv per jaar	< 0,4 %	Lokaal + werknemers	42

Vervolg tabel 2: Samenvatting van alle gevonden situaties, en de bijbehorende inschatting van de blootstelling

Situatie	Grootteorde blootstelling leden van de bevolking	Percentage van totale gemiddelde stralingsbelasting	Blootgestelden	Pag.
(Mogelijke) bestaande blootstellingsituaties/Natuurlijke stralingsbronnen				
Radon in gebouwen ¹	Gemiddeld 0,5 mSv per jaar, maximum van 10 mSv per jaar.	19%	Gehele bevolking + werknemers	44
Thoron in gebouwen	Gemiddeld 0,20 mSv per jaar, maximum van 10 mSv per jaar.	7,7%	Gehele bevolking + werknemers	46
Externe straling in gebouwen ^{2,3}	0,35 mSv per jaar	13%	Gehele bevolking + werknemers	47
Mogelijke bestaande blootstellingsituaties/Residuele activiteit na noodsituatie				
Fall-out Tsjernobyl	0,01 mSv per jaar	0,4 %	Gehele bevolking	43
Mogelijke bestaande blootstellingsituaties/Blootstelling aan grondstoffen				
Slakkenwegen ^{4,5}	0,035 mSv per jaar	1,3%	Met name in de Provincie Zeeland	48
Slakkenwol ⁶	Onbekend, maar vermoedelijk zeer beperkt	Onbekend, maar vermoedelijk zeer beperkt	Enkel lokaal	50

1 In het Bbs (artikel 7.38 en 9.10) aangemerkt als bestaande blootstellingsituatie.

2 In het Bbs (artikel 9.10) aangemerkt als bestaande blootstellingsituatie.

3 Het betreft hier de resultante van afscherming van kosmische en terrestrische straling door bouwmaterialen en de gammastraling afkomstig van in gebouwen toegepaste bouwmaterialen.

4 Aangemerkt als mogelijke bestaande blootstellingsituatie, omdat onbekend is waar deze zich bevinden.

5 De blootstelling aan slakken in (zee)dijklichamen is naar verwachting aanzienlijk lager dan die aan de zo genoemde "slakkenwegen".

6 De situaties waarin slakkenwol niet als zodanig wordt herkend zijn aangemerkt als mogelijke bestaande blootstellingsituatie. In situaties waar slakkenwol wel als zodanig wordt herkend, en maatregelen worden getroffen ten aanzien van het voorhanden hebben en de verwijdering ervan, is sprake van een geplande blootstellingsituatie.

5.2 De mate van blootstelling

In het vorige hoofdstuk is voor elke mogelijke bestaande blootstellingsituaties een inschatting gemaakt van de blootstelling van (representatieve) leden van de bevolking. Deze blootstelling is aangegeven in Tabel 2. Het blijkt dat radon, thoron en externe straling in gebouwen de hoogste blootstelling met zich meebrengen (samen in de orde van 1 mSv per jaar), en dat deze bovendien betrekking hebben op vrijwel de gehele bevolking. De blootstelling van leden van de bevolking in de overige in dit briefrapport beschreven situaties is

minstens een orde van grootte kleiner, en is vaak slechts lokaal. Ter illustratie wordt nog opgemerkt dat voor geplande blootstellingsituaties een "locatielimiet" van 0,1 mSv per jaar wordt aangehouden.

5.3 De impact van beleidswijzingen

Voor een groot aantal in dit rapport beschreven (mogelijk) bestaande blootstellingsituaties geldt dat deze het gevolg zijn van (in het verleden doorgevoerde) beleidswijzingen. Het kan daarbij gaan om (1) een aanpassing van de scope van regelgeving en/of (2) aanscherping van grenswaarden.

Een voorbeeld van het eerste, is de blootstelling aan ioniserende straling ten gevolge van radon in gebouwen, die voorheen was uitgezonderd van de voorschriften op grond van de Kernenergiewet. Implementatie van richtlijn 2013/59/Euratom, waarin gekozen is voor regulering van radon, in de Nederlandse regelgeving heeft tot gevolg gehad dat blootstelling aan radon een bestaande blootstellings situatie is geworden. Blootstelling aan radon komt in vrijwel alle gebouwen voor, en het wordt in het algemeen niet nodig geacht verstrekken verplichtingen op te leggen aan de eigenaren of beheerders van deze gebouwen. Alleen werkgevers die werkplekken beheren waarin het nationale referentieniveau wordt overschreden krijgen te maken met nieuwe verplichtingen.

Een voorbeeld van het tweede is de aanscherping van de grenswaarden voor vrijstelling en vrijgave van radioactieve materialen, zoals voor het laatst is gebeurd in het Bbs uit 2018 ten opzichte van het Besluit stralingsbescherming (Bs) uit 2001. Materialen die voor het inwerking treden van het Bbs zijn vrijgegeven op grond van een toetsing aan destijds geldende (minder strenge) grenswaarden kunnen, afhankelijk van de activiteit(s)concentratie, vandaag de dag strikt genomen registratie- of vergunningplichtig zijn. Dit is bijvoorbeeld het geval voor de "fosforslakken", die in het verleden zijn vrijgegeven tegen een vrijgavegrenswaarde van 500 Bq/g (voor 2001) of een gewogen som op basis van 100 Bq/g lood-210 en/of polonium-210, en zijn hergebruikt in de weg- en waterbouw. Een ander voorbeeld betreft materiaal dat in het verleden is vrijgegeven en dat is afgevoerd naar deponieën voor huishoudelijk of bedrijfsafval. Dit kan het geval zijn bij staal dat is vrijgekomen bij de ontmanteling van een deeltjesversneller, en waarvan de activiteitsconcentratie cobalt-60 boven de huidige vrijgavegrenswaarde van 0,1 Bq/g ligt. De eigenaren van deze deponieën kunnen op grond hiervan in beginsel te maken krijgen met een vergunningplicht voor het voorhanden hebben van radioactief materiaal.

Indien geen rechtspersoon kan worden aangewezen die door de registratie- of vergunningplicht wordt geadresseerd, zal een dergelijke situatie mogelijk als een bestaande blootstellings situatie moeten worden beschouwd.

6 Belangrijkste conclusies uit contact met SSM (bevoegde autoriteit Zweden)

Hieronder worden de belangrijkste conclusies samengevat uit de contacten met Strålsekerhetsmyndigheten (SSM), de Zweedse bevoegde autoriteit voor stralingsbescherming, over de aanpak van bestaande blootstellingsituaties.

- In Zweden is de blootstellingsbenadering uit ICRP-103 al in een eerder stadium integraal overgenomen in de stralingsbeschermingsregelgeving. De definitie van “bestaande blootstellingsituaties” in de Zweedse regelgeving is vrijwel exact gelijk aan die in de richtlijn.
- Zweden is van plan een verplichting op te nemen in de regelgeving gericht aan de bevoegde autoriteit SSM om periodiek een inventarisatie te maken van bestaande blootstellingsituaties. Op deze manier wordt geborgd dat alle relevante situaties in beeld zijn en blijven. Nog niet besloten is of ook de in de richtlijn uitgezonderde blootstellingen moeten worden meegenomen in de inventarisatie.
- Na deze eerste stap van inventarisatie moet een beslissing worden voorbereid over de controle van deze situaties. Daarvoor zal onder meer de blootstelling in beeld moeten worden gebracht.
- Vervolgens zal waarschijnlijk per situatie een strategie worden ontwikkeld. Voor sommige situaties kan dit een zeer beperkte strategie zijn.
- Vooralnog denkt men bij SSM niet aan het introduceren van radiologische criteria voor bestaande situaties ten behoeve van een beslissing over de controle ervan, afgezien van de verplichte referentieniveaus. De redenering hiervoor is dat voor alle (beheersbare) bestaande blootstellingsituaties de verplichting tot optimalisatie geldt. Niet uitgesloten is dat er “non-action-values” worden geïntroduceerd, waaronder geen verdere optimalisatie nodig is, vergelijkbaar met het “triviale blootstellingsniveau³⁰” in geplande blootstellingsituaties.
- Er is nog niet gestart met de inventarisatie van bestaande blootstellingsituaties. Enkele voorbeelden zijn echter al wel te noemen:
 - Radon: radon-niveaus in gebouwen zijn fors hoger dan in Nederland. Momenteel geldt al een referentieniveau van 200 Bq/m³;
 - Externe straling afkomstig van bouwmaterialen;
 - Cesium-137 contaminatie van regio's ten gevolge van Tsjernobyl. Dit kan door accumulatie in de voedselketen leiden tot verhoogde niveaus van cesium-137 in bijvoorbeeld rendiervlees.

³⁰ Het “triviale” niveau ligt rond de 10 µSv/a per jaar, wat internationaal (onder meer ICRP-104 (2008)) wordt gehanteerd als grens waaronder verdere optimalisatie d.m.v. regulering niet zinvol meer wordt geacht

7 Referenties

- Bader S., et al. (2010). Stralingsbelasting in Nederlandse nieuwbouwwoningen, Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu, RIVM Rapport 6107900009, Bilthoven.
- Blaauboer R. et al. (1991). Stralingsbelasting in Nederland in 1988 (eindrapport). RIVM Rapport 249103001, Bilthoven.
- Blaauboer, R. (2001). Blootstelling van de Nederlandse bevolking aan externe straling vanuit de omgeving. Nederlands tijdschrift voor Stralingshygiëne. September 2001
- Blaauboer, R. (2003). Cosmic radiation during air travel. Trends in exposure of aircrews and airline passengers. Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu, RIVM Rapport 861020004/2003, Bilthoven
- Bijwaard, H., et al. (2003). Radium in baggerspecie afkomstig uit het Rijnmondgebied. Resultaten over 2002 en correcties voor 1994-2001, Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu, RIVM Rapport 610100005, Bilthoven
- Dekker, P., et al. (1996), Verspreiding van emissies uit secundaire grondstoffen in bodems, Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu, RIVM Rapport 771402013, Bilthoven.
- De Jong, P. en Van Dijk, J. (2009). Analyse van het externe dosistempo in woningen. VERA survey 2006. Nuclear Research and consultancy Group, NRG Rapport K5098/09.97299, Arnhem.
- Eggink, G. (1995). Radiologische aspecten van opslag en lozing van afvalstoffen door de fosfaatindustrie, Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu, RIVM Rapport 610050003, Bilthoven.
- Eleveld, H. (2003). Ionising radiation exposure in the Netherlands, RIVM Rapport 861020002, Bilthoven.
- Erkens, W. (1997). Electrothermal phosphorus production, radioactivity in the environment and Workplace. Thermphos International BV. 1997.
- Glasbergen, P. en Kusse A. (1985). Groundwater contamination in the surroundings of the catalysator disposal site of "DSM", Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu, RIVM Rapport 840427003, Bilthoven
- Goemans, P. et al. (2018). Radon, thoron en gammastraling op Nederlandse werkplekken en in publiek toegankelijke gebouwen. Resultaten RIVM-meetcampagne 2016-2017. Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu, RIVM-rapport 2018-0027, Bilthoven
- Haskoning (1992). Milieueffectrapport Katalysatorberging DSM. Samenvatting
- Hegeman, W.J.M. (2000). Radioactieve belasting als gevolg van stortingen van baggerspecie in de Noordzee, Water Research Stichting, i.o.v. RIKZ.
- I&M (2000). Vierde Nota Waterhuishouding. Gewijzigde versie Bijlage A: Normen 4e Nota Waterhuishouding, Kamerstuk 26401, Staatscourant, 16 juni 2000, 114, pag 18

- ICRP-61 (1990). Annual Limits on Intake of Radionuclides by Workers Based on the 1990 Recommendations, Pergamon Press, Annals of the ICRP, 61.
- ICRP-103 (2007). The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection, Elsevier, Annals of the ICRP, 103.
- ICRP-104 (2008). Scope of Radiological Protection Control Measures, Elsevier, Annals of the ICRP, 104.
- Keverling Buisman, A.S. (2015). Handboek Radionucliden, Uitgeverij Nucleus, Schoorl, 2015.
- Knetsch, G. (2017). Environmental radioactivity in the Netherlands: Results in 2015, Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu, RIVM Rapport 2016-0183, Bilthoven.
- LAKA (1999). Bodemonderzoek Voormalig NIKHEF-terrein. Een beoordeling door Stichting LAKA.
- OSPAR (2009). Towards the radioactive substance strategy objectives. Third Periodic Evaluation, OSPAR Radioactive Substances series.
- SKB R-06-68 (2006). Methodology for calculation of doses to man and implementation in Pandora. Rodolfo Avila et al., Swepro Project Management AB, July 2006
- Slaper, H. en Tanzi, C. (2013). Tritium in grondwater: radiologische consequenties van saneringswaarden, Notitie voor Ministerie van Economische Zaken, 27 maart 2013. Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu. Bilthoven.
- Smetsers, R. (2017). Woningen in Nederland met mogelijk hogere radonconcentraties – Bouwstenen voor de uitwerking van een actieplan radon. Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu, RIVM-briefrapport 2017-0032 Bilthoven.
- Smetsers, R. en Blaauboer, R. (1996). Variations in Outdoor Radiation Levels in the Netherlands (thesis). Rijksuniversiteit Groningen, ISBN 90-367-0621-1, Groningen.
- Smetsers, R., et al. (2015). Radon en thoron in Nederlandse woningen vanaf 1930 - Resultaten RIVM-meetcampagne 2013-2014, Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu, RIVM Rapport 2015-0087, Bilthoven.
- Smetsers, R., et al. (2016). "Ingredients for a Dutch radon action plan, based on a national survey in more than 2500 dwellings." Journal of Environmental Radioactivity 165: 10.
- Timmermans, C. (1996). Clearance levels for radioactive materials and sources. 40781-NUC 96-9162 Revision 0: KEMA. Arnhem
- Timmermans, C. en Van Weers, A.W. (2001). Werkzaamheden met blootstelling aan natuurlijke stralingsbronnen. Actualisatie van de inventarisatie van 1999, Werkdocument Ministerie van Sociale Zaken en Werkgelegenheid 200
- Van der Schaaf, M., et al. (2014). Radioactieve bronnen in de (diepe) ondergrond, Vertrouwelijke notitie voor Ministerie van Economische Zaken, 25 november 2014. Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu. Bilthoven.
- Van der Schaaf, M., et al. (2018). Evaluatie grenswaarden voor wettelijke controle van lozing van natuurlijke bronnen van

radioactiviteit. Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu, RIVM-Briefrapport 2017-0048, Bilthoven.

Van Weers, A. en Verhagen, H. (2001). Oriënterend onderzoek Oostergasfabriek, 2001, Nuclear Research and Consultancy Group, NRG Rapport 910518/01.40300/I, Petten.

VROM (1985). Radioecologie van en stralingsbelasting door Nederlands afvalgips in het buitenmilieu. Ministerie van volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer. ISBN 9034607321. 's Gravenhage.