



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

# Radioactieve rest- en afvalstromen in Nederland Een inventarisatie







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

## **Radioactieve rest- en afvalstromen in Nederland**

Een inventarisatie

RIVM-rapport 2022-0073

## Colofon

© RIVM 2022

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.

Het RIVM hecht veel waarde aan toegankelijkheid van zijn producten. Op dit moment is het echter nog niet mogelijk om dit document volledig toegankelijk aan te bieden. Als een onderdeel niet toegankelijk is, wordt dit vermeld. Zie ook [www.rivm.nl/toegankelijkheid](http://www.rivm.nl/toegankelijkheid).

DOI 10.21945/RIVM-2022-0073

M. van der Schaaf (auteur), RIVM  
P.D.B.M. Bekhuis (auteur), RIVM  
L.H.A. Boudewijns (auteur), RIVM

Contact:

M. van der Schaaf  
Veiligheid/Stralingsonderzoek, Kennis en Beleid  
[martijn.van.der.schaaf@rivm.nl](mailto:martijn.van.der.schaaf@rivm.nl)

Dit onderzoek werd verricht in opdracht van het ministerie van Infrastructuur en Waterstaat in het kader van het programma 'Onderzoek beleid Nucleair'.

Dit is een uitgave van:  
**Rijksinstituut voor Volksgezondheid  
en Milieu**  
Postbus 1 | 3720 BA Bilthoven  
Nederland  
[www.rivm.nl](http://www.rivm.nl)

## Publiekssamenvatting

### **Radioactieve rest- en afvalstromen in Nederland**

Een inventarisatie

Radioactieve rest- en afvalstoffen kunnen bij verschillende handelingen ontstaan. Voorbeelden zijn de productie van kernenergie en medische behandelingen van patiënten, maar ook de productie van staal uit ijzererts of de winning van olie en gas. Het RIVM heeft geïnventariseerd waar in Nederland radioactieve rest- en afvalstoffen ontstaan, en om welke soorten en hoeveelheden het gaat.

Het RIVM heeft hiervoor de producenten van radioactieve rest- en afvalstoffen ingedeeld in dertien sectoren. Per sector zijn de belangrijkste rest- en afvalstromen beschreven die tussen 2018 en 2020 zijn afgevoerd. Ook is in beeld gebracht hoe de producenten omgaan met deze stoffen, en waarheen zij ze uiteindelijk afvoeren. Tot slot is informatie verzameld over mogelijkheden om de productie van dit afval in de toekomst te verminderen. Aanleiding voor deze inventarisatie is een Europese afspraak, waardoor lidstaten een 'Nationaal Programma radioactief afvalbeheer' moeten opstellen.

Bij radioactieve afvalstoffen maakt het RIVM een onderscheid in de hoeveelheid radioactief materiaal en in hoe radioactief het is. De afvalstoffen die de *meeste straling afgeven* ontstaan bij de productie van zogeheten medische isotopen en in de nucleaire sector. In beide gevallen gaat het om door de mens opgewekte radioactiviteit, en het afval moet daarom worden afgevoerd naar de Centrale Organisatie Voor Radioactief Afval (COVRA). Die twee afvalstromen vormen samen ongeveer 98 procent van de radioactiviteit die jaarlijks naar de COVRA wordt afgevoerd.

Wat de *hoeveelheid* radioactief afval betreft, ontstaan de grootste stromen bij de productie van wit pigment (onder meer voor verf, papier en tandpasta) en staal. Deze stromen vormen samen ongeveer 90 procent van de hoeveelheid radioactieve afvalstoffen die per jaar wordt afgevoerd. Bij dit materiaal gaat het om natuurlijke radioactiviteit, en mag het op een stortplaats worden gestort.

Bij enkele soorten radioactief afval van natuurlijke oorsprong lijkt het technisch mogelijk om er minder van over te houden, bijvoorbeeld door het te recyclen. Of dit in de praktijk mogelijk is, hangt vooral af van de kosten, sociaal-maatschappelijke factoren, beleid en regelgeving. Het RIVM beveelt onder meer aan om het beleid voor de verwerking van radioactieve afvalstoffen verder te ontwikkelen. Het onderzoek is gedaan in opdracht van het ministerie van Infrastructuur en Waterstaat.

Kernwoorden: radioactief afval, inventarisatie, circulaire economie, radioactief afvalbeheer, radioactiviteit, hergebruik, deponie, ministerie IenW



## Synopsis

### **Radioactive residue and waste streams in the Netherlands**

#### An inventory

Various practices generate radioactive residues and waste materials. Examples include the production of nuclear energy, medical treatments, the production of steel from iron ore and the extraction of oil and gas. RIVM has made an inventory of which types and quantities of radioactive residues and waste materials are generated in the Netherlands.

In this inventory RIVM has applied a division by sector, identifying thirteen sectors where radioactive residues and waste materials are generated. For each of these sectors RIVM has identified the main residue and waste streams disposed of between 2018 and 2020. RIVM has also catalogued how the generators manage these materials and to which facilities the materials are transported for processing or disposal. Finally, RIVM has also gathered information on options for reducing the generation of this waste in the future. The inventory was prompted by a European agreement, requiring EU member states to draw up a National Programme for the management of radioactive waste and spent fuel.

When it comes to radioactive waste, RIVM makes a distinction between the quantity of radioactive materials and their level of radioactivity. The waste streams that *emit the most radiation* are those generated in the production of medical isotopes and in the nuclear energy sector. Both streams contain man-made radioactivity and must therefore be transported to the Central Organisation for Radioactive Waste (COVRA) for disposal. These two waste streams together account for approximately 98% of the radioactivity annually transported to the COVRA for disposal.

In terms of the *quantity* of radioactive waste, the largest streams originate from the production of white pigment (which is used in products such as paint, paper and toothpaste) and steel. Annually these streams account for approximately 90% of the total quantity of disposed radioactive waste materials. These materials contain natural radioactivity and can therefore be disposed of at landfill sites.

For certain types of radioactive waste of natural origin it appears to be technologically feasible to reduce the quantity to be disposed of, through recycling for example. Whether this is also practically feasible, however, depends on factors such as the costs involved, societal factors, policies and regulations. RIVM has made several recommendations, such as to develop a policy for the processing of radioactive waste materials. The research was commissioned by the Ministry of Infrastructure and Water Management.

Keywords: radioactive waste, inventory, circular economy, radioactive waste management, radioactivity, reuse, landfill, Ministry of Infrastructure and Water Management





## Inhoudsopgave

### Samenvatting – 15

#### **1 Inleiding – 19**

- 1.1 Aanleiding en achtergrond – 19
- 1.2 Doelstellingen – 20
- 1.3 Afbakening van het onderzoek – 21
- 1.4 Aanpak – 21
  - 1.4.1 Inventarisatie mogelijke producenten radioactieve rest- en afvalstoffen – 21
  - 1.4.2 Indeling in sectoren – 22
  - 1.4.3 Onderzoek naar de productie en afvoer van rest- en afvalstoffen – 24
  - 1.4.4 Onderzoek naar de aanvoer van radioactieve afvalstoffen op eindbestemmingen – 25
  - 1.4.5 Specifiek vrijgegeven afvalstoffen binnen scope onderzoek – 26
- 1.5 Leeswijzer – 27
- 1.6 Dankwoord – 27

#### **2 Begrippen, concepten en wettelijke voorschriften – 29**

- 2.1 Afvalstoffen, radioactieve stoffen, radioactieve reststoffen en radioactieve afvalstoffen – 29
- 2.2 Overige begrippen – 31
- 2.3 Voorschriften voor beheer van radioactieve rest- en afvalstoffen – 35
- 2.4 Voorschriften voor beheer van afvalstoffen – 36
- 2.5 Vrijgave – 37
- 2.6 Over beheerroutes – 37
  - 2.6.1 Beheer op locatie – 37
  - 2.6.2 (Inzameling en) hergebruik – 38
  - 2.6.3 Bewerking van radioactieve reststoffen door externe dienstverleners – 38
  - 2.6.4 Eindverwerking – 38
  - 2.6.5 Specifieke vrijgaveroute – 39
  - 2.6.6 Lozing naar water of lucht – 39
  - 2.6.7 Acceptatiecriteria – 39
- 2.7 Over de implementatie van richtlijn 2013/59/Euratom – 40

#### **3 Radioactieve rest- en afvalstromen – conclusies samengevat – 43**

- 3.1 Reguliere radioactieve afvalstoffen: omvang, herkomst en beheerroutes – 43
  - 3.1.1 Nucleair – 49
  - 3.1.2 Productie medische isotopen – 49
  - 3.1.3 Medisch – 49
  - 3.1.4 Onderzoek en onderwijs – 50
  - 3.1.5 Pigmentproductie – 50
  - 3.1.6 Staalproductie – 51
  - 3.1.7 Zirkoon – 51
  - 3.1.8 Olie- en gasproductie – 51
  - 3.1.9 Geothermie – 52
  - 3.1.10 Schrootverwerking – 52
  - 3.1.11 Fosforproductie – 53

3.1.12	Overig — 53
3.1.13	Ontmanteling, decontaminatie en bewerking — 54
3.1.14	Stromen van en naar het buitenland — 54
3.2	Prognoses, inclusief ontmanteling — 55
3.3	Impact implementatie richtlijn 2013/59/Euratom — 58
3.4	Specifieke vrijgave — 59
3.5	Preventie en minimalisatie — 60
3.5.1	Algemeen — 60
3.5.2	Preventie — 61
3.5.3	Minimalisatie — 62
3.5.4	Perspectieven voor verdere minimalisatie — 63
3.6	Discussie — 65
3.6.1	Algemeen — 65
3.6.2	Onderlinge consistentie basisinformatie — 66
3.6.3	Overlap sectoren — 66
3.6.4	Bewerking in buitenland — 66
3.6.5	Bruto en nette hoeveelheden afvalstoffen — 67
3.6.6	Cijfers over conventionele afvalstoffen — 67
3.6.7	Restcapaciteit aangewezen deponieën — 68
3.7	Aanbevelingen — 68
3.7.1	Beleid — 68
3.7.2	Stortcapaciteit — 69
3.7.3	Monitoring van radioactieve rest- en afvalstromen — 69
3.7.4	Laaghangend fruit voor minimalisatie — 70
<b>4</b>	<b>Nucleair — 71</b>
4.1	Inleiding — 71
4.2	Definitie sector — 71
4.2.1	Kerncentrale Borssele — 71
4.2.2	Kerncentrale Dodewaard — 72
4.2.3	Urenco — 72
4.2.4	Historisch afval Petten — 72
4.3	Productie radioactieve rest- en afvalstoffen — 73
4.3.1	Radioactieve rest- en afvalstoffen uit reguliere bedrijfsvoering — 75
4.3.2	Inventaris van radioactieve rest- en afvalstoffen bij ontmanteling — 79
4.4	Beheer reguliere radioactieve rest- en afvalstoffen — 82
4.4.1	(Verval)opslag — 82
4.4.2	Scheiding en decontaminatie op locatie — 82
4.4.3	Conditionering op locatie — 83
4.4.4	Afvoer voor bewerking — 83
4.4.5	Afvoer naar aangewezen deponie als registratieplichtig radioactief afval — 84
4.4.6	Afvoer naar de COVRA — 84
4.4.7	Lozing — 85
4.5	Prognose toekomstige productie rest- en afvalstoffen — 85
4.5.1	Reguliere bedrijfsvoering — 85
4.5.2	Inventaris t.b.v. ontmanteling — 85
4.6	Perspectief op verdere preventie en minimalisatie — 86
4.6.1	Beheerroutes voor besmet metaal en licht radioactief besmette olie — 86
4.6.2	Specifieke vrijgave ten behoeve van recycling — 86
<b>5</b>	<b>Productie medische isotopen — 87</b>
5.1	Inleiding — 87

5.2	Definitie sector — 87
5.3	Productie radioactieve rest- en afvalstoffen — 90
5.3.1	Radioactieve rest- en afvalstoffen uit reguliere bedrijfsvoering — 92
5.3.2	Inventaris van rest- en afvalstoffen bij ontmanteling — 96
5.4	Beheer reguliere radioactieve rest- en afvalstoffen — 97
5.4.1	(Verval)opslag — 97
5.4.2	Scheiding en decontaminatie op locatie — 97
5.4.3	Afvoer voor bewerking — 98
5.4.4	Afvoer naar aangewezen deponie — 98
5.4.5	Afvoer naar de COVRA — 98
5.4.6	Lozing — 98
5.5	Prognose toekomstige productie rest- en afvalstoffen — 99
5.5.1	Reguliere bedrijfsvoering — 99
5.5.2	Inventaris t.b.v. ontmanteling — 100
5.6	Perspectief op verdere preventie en minimalisatie — 100
<b>6</b>	<b>Medisch — 103</b>
6.1	Inleiding — 103
6.2	Definitie van de medische sector — 103
6.3	Productie radioactieve rest- en afvalstoffen — 106
6.3.1	Radioactieve rest- en afvalstoffen uit reguliere bedrijfsvoering — 108
6.3.2	Inventaris van rest- en afvalstoffen bij ontmanteling — 120
6.4	Beheer reguliere radioactieve rest- en afvalstoffen — 121
6.4.1	(Verval)opslag — 121
6.4.2	Scheiding en decontaminatie op locatie — 123
6.4.3	Retour leverancier — 124
6.4.4	Afvoer voor hergebruik — 124
6.4.5	Afvoer voor bewerking — 125
6.4.6	Afvoer naar deponie — 125
6.4.7	Afvoer als vrijgegeven materiaal naar een verbrandingsinstallatie — 125
6.4.8	Afvoer als specifiek vrijgegeven materiaal naar een verbrandingsinstallatie — 125
6.4.9	Afvoer naar de COVRA — 126
6.4.10	Lozing — 127
6.5	Prognose toekomstige productie rest- en afvalstoffen — 127
6.5.1	Reguliere bedrijfsvoering — 127
6.5.2	Inventaris t.b.v. ontmanteling — 128
6.6	Perspectief op verdere preventie en minimalisatie — 129
6.6.1	Verlenging termijn voor vervalopslag op locatie — 129
6.6.2	Onderzoek naar verruiming acceptatiecriteria ZAVIN — 130
6.6.3	Specifiek vrijgegeven materiaal — 130
<b>7</b>	<b>Onderzoek en onderwijs — 131</b>
7.1	Inleiding — 131
7.2	Definitie sector — 131
7.3	Productie radioactieve rest- en afvalstoffen — 133
7.3.1	Radioactieve rest- en afvalstoffen uit reguliere bedrijfsvoering — 135
7.3.2	Inventaris van rest- en afvalstoffen bij ontmanteling — 138
7.4	Beheer reguliere radioactieve rest- en afvalstoffen — 139
7.4.1	(Verval)opslag — 139
7.4.2	Scheiding en decontaminatie op locatie — 139
7.4.3	Retour leverancier — 139
7.4.4	Afvoer voor hergebruik — 139
7.4.5	Afvoer voor bewerking — 140

7.4.6	Afvoer naar deponie — 140
7.4.7	Afvoer als specifiek vrijgegeven materiaal — 140
7.4.8	Afvoer naar de COVRA — 140
7.4.9	Lozing — 141
7.5	Prognose toekomstige productie rest- en afvalstoffen — 142
7.5.1	Reguliere bedrijfsvoering — 142
7.5.2	Inventaris t.b.v. ontmanteling — 142
7.6	Perspectief op verdere preventie en minimalisatie — 143
<b>8</b>	<b>Pigmentproductie — 145</b>
8.1	Inleiding — 145
8.2	Definitie van sector en overzicht van bedrijven binnen de sector — 145
8.3	Productie radioactieve rest- en afvalstoffen — 145
8.3.1	Radioactieve rest- en afvalstoffen uit reguliere productie — 147
8.3.2	Inventaris van rest- en afvalstoffen bij ontmanteling — 148
8.4	Beheer reguliere radioactieve rest- en afvalstoffen — 150
8.4.1	(Verval)opslag — 150
8.4.2	Scheiding en decontaminatie op locatie — 150
8.4.3	Afvoer voor bewerking — 150
8.4.4	Afvoer naar deponie — 150
8.4.5	Afvoer naar de COVRA — 151
8.4.6	Lozing — 151
8.4.7	Massabalans — 152
8.5	Prognose toekomstige productie rest- en afvalstoffen — 152
8.5.1	Reguliere bedrijfsvoering — 152
8.5.2	Inventaris t.b.v. ontmanteling — 152
8.6	Perspectief op verdere preventie en minimalisatie — 152
8.6.1	Bewerking van filterkoek ten behoeve van nuttige toepassing — 152
<b>9</b>	<b>Staalproductie — 155</b>
9.1	Inleiding — 155
9.2	Definitie sector — 156
9.3	Productie radioactieve rest- en afvalstoffen — 156
9.3.1	Radioactieve rest- en afvalstoffen uit reguliere bedrijfsvoering — 158
9.3.2	Inventaris van rest- en afvalstoffen bij ontmanteling — 160
9.4	Beheer reguliere radioactieve rest- en afvalstoffen — 162
9.4.1	(Verval)opslag — 162
9.4.2	Scheiding en decontaminatie op locatie — 162
9.4.3	Afvoer voor bewerking — 162
9.4.4	Afvoer voor hergebruik — 162
9.4.5	Afvoer naar aangewezen deponie als specifiek vrijgegeven materiaal — 162
9.4.6	Afvoer naar aangewezen deponie als registratieplichtige radioactieve afvalstof — 163
9.4.7	Afvoer naar de COVRA — 163
9.4.8	Lozing — 164
9.5	Prognose productie radioactieve rest- en afvalstoffen — 164
9.5.1	Reguliere bedrijfsvoering — 164
9.5.2	Inventaris t.b.v. ontmanteling — 165
9.6	Perspectief op verdere preventie en minimalisatie — 165
<b>10</b>	<b>Zirkoon — 167</b>
10.1	Inleiding — 167
10.2	Definitie sector — 167

10.3	Productie radioactieve rest- en afvalstoffen — 172
10.3.1	Radioactieve rest- en afvalstoffen uit reguliere bedrijfsvoering — 174
10.3.2	Inventaris van rest- en afvalstoffen bij ontmanteling — 178
10.4	Beheer reguliere radioactieve rest- en afvalstoffen — 178
10.4.1	(Verval)opslag — 178
10.4.2	Scheiding en decontaminatie op locatie — 178
10.4.3	Afvoer voor bewerking — 178
10.4.4	Afvoer naar aangewezen deponie als registratieplichtige radioactieve afvalstof — 179
10.4.5	Afvoer naar de COVRA — 179
10.4.6	Lozing — 179
10.5	Prognose productie radioactieve rest- en afvalstoffen — 179
10.5.1	Reguliere bedrijfsvoering — 179
10.5.2	Radioactieve afvalstoffen t.g.v. ontmanteling — 179
10.6	Perspectief op verdere preventie en minimalisatie — 180
10.6.1	Recycling van ZAC-materiaal — 180
10.6.2	ZKV, slijpstenen en brandkasten — 180

## **11 Olie- en gasproductie — 181**

11.1	Inleiding — 181
11.2	Definitie sector — 181
11.3	Productie radioactieve rest- en afvalstoffen — 182
11.3.1	Radioactieve rest- en afvalstoffen uit reguliere bedrijfsvoering — 184
11.3.2	Inventaris van rest- en afvalstoffen bij ontmanteling — 187
11.4	Beheer reguliere radioactieve rest en afvalstoffen — 190
11.4.1	(Verval)opslag — 190
11.4.2	Scheiding en decontaminatie op locatie — 190
11.4.3	Afvoer voor bewerking — 191
11.4.4	Afvoer naar aangewezen deponie als registratieplichtige radioactieve afvalstof — 192
11.4.5	Afvoer naar aangewezen deponie als specifiek vrijgegeven materiaal — 192
11.4.6	Afvoer naar de COVRA — 193
11.4.7	Lozing — 193
11.5	Prognose productie radioactieve rest- en afvalstoffen — 193
11.5.1	Reguliere bedrijfsvoering — 193
11.5.2	Ontmanteling infrastructuur voor olie- en gasproductie — 193
11.6	Perspectief op verdere preventie en minimalisatie — 194

## **12 Geothermie — 195**

12.1	Inleiding — 195
12.2	Definitie sector — 195
12.3	Productie radioactieve rest- en afvalstoffen — 196
12.3.1	Radioactieve rest- en afvalstoffen uit reguliere bedrijfsvoering — 198
12.3.2	Inventaris van rest- en afvalstoffen bij ontmanteling — 200
12.3.3	Inventaris van rest en afvalstoffen bij realisatie van installatie — 201
12.4	Beheer reguliere radioactieve rest- en afvalstoffen — 203
12.4.1	(Verval)opslag — 203
12.4.2	Scheiding en decontaminatie op locatie — 203
12.4.3	Afvoer voor bewerking — 203
12.4.4	Afvoer naar aangewezen deponie als registratieplichtig radioactief afval — 204
12.4.5	Afvoer als specifiek vrijgegeven materiaal — 204
12.4.6	Afvoer naar de COVRA — 204

12.4.7	Lozing — 205
12.5	Prognose productie radioactieve rest- en afvalstoffen — 205
12.5.1	Reguliere bedrijfsvoering — 205
12.5.2	Inventaris t.b.v. ontmanteling — 206
12.6	Perspectief op verdere preventie en minimalisatie — 206
<b>13</b>	<b>Schrootverwerking — 209</b>
13.1	Inleiding — 209
13.2	Definitie sector — 209
13.3	Productie en beheer radioactieve rest- en afvalstoffen — 209
13.3.1	Radioactieve rest- en afvalstoffen uit reguliere bedrijfsvoering — 211
13.3.2	Inventaris van rest- en afvalstoffen bij ontmanteling — 212
13.4	Prognose productie radioactieve rest- en afvalstoffen — 212
13.5	Perspectief op verdere preventie en minimalisatie — 212
<b>14</b>	<b>Fosforproductie — 213</b>
14.1	Inleiding — 213
14.2	Definitie sector — 213
14.3	Productie radioactieve rest- en afvalstoffen — 213
14.3.1	Radioactieve rest- en afvalstoffen uit reguliere bedrijfsvoering — 215
14.3.2	Inventaris van rest- en afvalstoffen bij ontmanteling — 219
14.4	Beheer reguliere radioactieve rest- en afvalstoffen — 222
14.4.1	(Verval)opslag — 222
14.4.2	Scheiding, decontaminatie en overige bewerking op locatie — 222
14.4.3	Afvoer voor bewerking of hergebruik naar derden — 222
14.4.4	Afvoer naar aangewezen deponie als meldingsplichtige of registratieplichtige radioactieve afvalstof — 223
14.4.5	Afvoer naar aangewezen deponie als specifiek vrijgegeven materiaal — 223
14.4.6	Afvoer naar de COVRA — 224
14.4.7	Lozing — 224
14.5	Prognose productie radioactieve rest- en afvalstoffen — 224
14.6	Perspectief op verdere preventie en minimalisatie — 224
<b>15</b>	<b>Overig — 225</b>
15.1	Inleiding — 225
15.2	Definitie sector — 225
15.2.1	Ondernemingen met ingekapselde bronnen en verarmd uranium — 227
15.2.2	Ondernemingen met doorzet grote hoeveelheden radioactieve materialen van natuurlijke oorsprong — 227
15.2.3	Ondernemingen met open radioactieve bronnen — 228
15.2.4	Ondernemingen met radioactiviteit in installaties — 228
15.3	Productie radioactieve rest- en afvalstoffen — 229
15.3.1	Reguliere productie en beheer van radioactieve rest- en afvalstoffen — 231
15.3.2	Inventaris van rest- en afvalstoffen bij ontmanteling — 236
15.4	Beheer reguliere radioactieve rest- en afvalstoffen — 238
15.4.1	(Verval)opslag — 238
15.4.2	Scheiding en decontaminatie op locatie — 238
15.4.3	Hergebruik op locatie — 239
15.4.4	Afvoer voor hergebruik — 239
15.4.5	Afvoer naar buitenland — 239
15.4.6	Afvoer voor bewerking — 239
15.4.7	Afvoer naar aangewezen deponie — 240

15.4.8	Afvoer naar de COVRA — 240
15.4.9	Lozing — 240
15.5	Prognose productie radioactieve rest- en afvalstoffen — 240
15.6	Perspectief op verdere preventie en minimalisatie — 241
<b>16</b>	<b>Ontmanteling, decontaminatie en bewerking — 243</b>
16.1	Inleiding — 243
16.2	Definitie sector — 243
16.2.1	Ontmanteling en decontaminatie — 243
16.2.2	Overige bewerking — 245
16.3	Productie radioactieve rest- en afvalstoffen — 248
16.3.1	Radioactieve rest- en afvalstoffen uit reguliere bedrijfsvoering — 248
16.3.2	Radioactieve afvalstoffen met oorsprong in het buitenland — 252
16.3.3	Inventaris van rest- en afvalstoffen bij ontmanteling — 253
16.4	Beheer reguliere radioactieve rest- en afvalstoffen — 255
16.4.1	(Verval)opslag — 255
16.4.2	Scheiding en decontaminatie op locatie — 255
16.4.3	Afvoer voor bewerking — 255
16.4.4	Afvoer naar aangewezen deponie als registratieplichtig radioactief afval — 255
16.4.5	Afvoer vacuümdestillatieresidu naar aangewezen deponie als specifiek vrijgegeven materiaal — 256
16.4.6	Afvoer bewerkt AVI-slib naar aangewezen deponie als specifiek vrijgegeven materiaal — 256
16.4.7	Afvoer vergunningplichtig vacuümdestillaat naar deponie Maasvlakte ten behoeve van nuttige toepassing — 256
16.4.8	Afvoer naar de COVRA — 257
16.4.9	Lozing — 257
16.5	Prognose productie radioactieve rest- en afvalstoffen — 257
16.5.1	Reguliere bedrijfsvoering — 257
16.5.2	Inventaris t.b.v. ontmanteling — 258
16.6	Perspectief op verdere preventie en minimalisatie — 258
16.6.1	Hergebruik residuen van sludgebewerking — 258
16.6.2	Lokale smeltoven voor metaal — 258
<b>17</b>	<b>Eindbestemmingen radioactief afval — 259</b>
17.1	Inleiding — 259
17.2	Definitie sector — 259
17.3	Eindbestemming: COVRA — 260
17.3.1	Juridische status — 260
17.3.2	Dienstverlening — 260
17.3.3	Veiligheidsbeschouwing — 261
17.3.4	Acceptatiecriteria — 261
17.3.5	Capaciteit — 262
17.4	Eindbestemming: Aangewezen deponieën — 262
17.4.1	Juridische status — 262
17.4.2	Dienstverlening — 263
17.4.3	Specifieke vrijgave voor stort op een aangewezen deponie — 263
17.4.4	Veiligheidsbeschouwing — 264
17.4.5	Acceptatiecriteria — 265
17.4.6	Capaciteit — 265

## **Bijlage 1 Leidraad interviews — 267**

**Bijlage 2 Hogere grenswaarden voor specifieke  
vrijgave 2018-2020 – 268**

**Bijlage 3 Cijfers beheer niet-radioactieve afvalstoffen – 272**

**Referenties – 273**



## Samenvatting

Het Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu (RIVM) en de Centrale Organisatie voor Radioactief Afval (COVRA) hebben op verzoek van het Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat (I&W) gezamenlijk onderzoek gedaan naar de productie en het beheer van radioactieve rest- en afvalstoffen<sup>1</sup> in Nederland. Ook is in dit onderzoek gekeken naar de te verwachten radioactieve stoffen als gevolg van ontmanteling en mogelijkheden voor (verdere) minimalisatie van de productie van radioactieve rest- en afvalstoffen. Deze informatie is nodig voor het opstellen van een geactualiseerd Nationaal programma radioactief afval door het ministerie van I&W in 2023. Parallel hieraan heeft COVRA in een apart onderzoek gekeken naar de radioactief afvalinventaris, en de mogelijke ontwikkeling daarvan in de toekomst.

Als eerste stap in dit onderzoek is een lijst opgesteld van ondernemingen<sup>2</sup> die een vergunning of registratie hebben op grond van de Kernenergiewet voor handelingen met radioactieve stoffen of met deeltjesversnellers. Deze handelingen kunnen immers in verband worden gebracht met de productie van radioactieve rest- en afvalstoffen. Om deze informatie enigszins te abstraheren (onder meer met het oog op vertrouwelijkheid van gegevens) zijn deze ondernemingen - voor zover mogelijk - toegedeeld aan 'sectoren'. Hiertoe zijn dertien sectoren gedefinieerd, gebaseerd op vergelijkbare handelingen en/of op kenmerken van potentiële radioactieve rest- of afvalstoffen. Hierbij is waar nodig een onderscheid gemaakt tussen radioactiviteit van natuurlijke en kunstmatige oorsprong. Voorbeelden van sectoren zijn de medische sector, de nucleaire sector en de olie- en gasproductiesector.

Vervolgens is een uitgebreide literatuurstudie uitgevoerd, waarbij vergunningen, registraties, aanvraagdocumentatie, jaarverslagen stralingshygiëne en algemene literatuur zijn geraadpleegd. Ook is een aantal ondernemingen benaderd voor een interview. De op deze manier verkregen gegevens zijn vergeleken en zo nodig gecompleteerd met informatie uit de administratie van de COVRA, en waar mogelijk met informatie van exploitanten van deponieën waar radioactieve afvalstoffen van natuurlijke oorsprong worden gestort.

Uit deze informatie zijn de belangrijkste typen radioactieve rest- en afvalstoffen gedestilleerd, alsmede de eigenschappen, de herkomst, de beheerroutes, en de gemiddelde productie over de periode 2018-2020 in ton, m<sup>3</sup> en/of GBq per jaar. Daarnaast is - voor zover beschikbaar gekomen - ook informatie over lozingen van radioactiviteit en over de te verwachten radioactieve inventaris bij ontmanteling verzameld. Ten slotte zijn opties verkend voor het minimaliseren van de productie van radioactief afval, bijvoorbeeld door preventie of recycling.

Samenvattend kan worden geconcludeerd dat in Nederland in 2018-2020 in totaal jaarlijks gemiddeld  $1,2 \times 10^8$  GBq aan radioactieve afvalstoffen is

<sup>1</sup> Zie voor terminologie paragraaf 2.1.

<sup>2</sup> Zie voor terminologie paragraaf 2.1.

afgevoerd. Iets minder dan 60% van deze activiteit is afkomstig van de sector *Productie medische isotopen*. Meer dan 97% van de door deze sector afgevoerde activiteit is afkomstig van één onderneming. De sector *Nucleair* heeft een aandeel van iets meer dan 39% in de jaarlijks afgevoerde activiteit. Het betreft vooral radioactieve afvalstoffen met activiteit van kunstmatige oorsprong, die (uiteindelijk) worden afgevoerd naar de COVRA.

De stromen van radioactieve rest- en afvalstoffen kunnen ook worden beschouwd in termen van afgevoerde massa. In totaal is gemiddeld over de periode 2018-2020 jaarlijks  $8,7 \times 10^4$  ton aan radioactieve afvalstoffen afgevoerd. Van belang is om op te merken dat hierin ook de specifiek vrijgegeven<sup>3</sup> stromen zijn opgenomen (zie paragraaf 2.5). Voor 97% van de massa ( $8,5 \times 10^4$  ton) was de eindbestemming een aangewezen deponie. Het grootste deel van de jaarlijks afgevoerde massa is afkomstig uit de sectoren *Pigmentproductie* (53%) en *Staalproductie* (37%), beide bestaande uit één onderneming. Een orde van grootte kleiner zijn de stromen afkomstig uit de sectoren *Nucleair* (2,4%) en *Zirkoon* (1,8%). Ook voor deze sectoren geldt dat het leeuwendeel (van de massa) afkomstig is van één onderneming. Indien de eenmalige stromen uit de sector *Fosforproductie* analoog aan de andere stromen worden uitgemiddeld over de periode 2018-2020, dan bedragen deze in totaal 5% van de afgevoerde massa radioactieve afvalstoffen. Ook deze stromen zijn afkomstig van één onderneming. Met uitzondering van  $2,2 \times 10^3$  ton, die vanuit de sector *Nucleair* is afgevoerd naar de COVRA, is praktisch de gehele hierboven genoemde totale massa radioactieve afvalstoffen afgevoerd naar een aangewezen deponie.

Naast de hierboven genoemde hoeveelheden radioactieve afvalstoffen zijn ook radioactieve reststoffen voor bewerking naar derden afgevoerd. Het betreft in totaal gemiddeld  $1,5 \times 10^4$  ton ( $> 1,4 \times 10^1$  GBq) per jaar. Dit is inclusief  $1,25 \times 10^4$  ton (0,1 GBq) aan (delen van) gebruikte offshore platformen. Als de platformen (die slechts voor een zeer klein deel bestaan uit 'radioactieve massa') buiten beschouwing worden gelaten, gaat het om  $2,5 \times 10^3$  ton radioactieve reststoffen per jaar. Hiervan is ca. 55% (27% van de activiteit) afkomstig uit het buitenland. 34% van de massa (62% van de activiteit) is afkomstig van de sector *Olie- en gasproductie*. Bijna de helft daarvan is afkomstig van één onderneming.

In verband met de aanpassing van grenswaarden voor vrijgave voor diverse nucliden, als gevolg van de implementatie van richtlijn 2013/59/Euratom in de Nederlandse regelgeving, moet sinds 6 februari 2018 meer materiaal als 'radioactief' worden aangemerkt, in vergelijking met de periode daarvoor. Dit is vooral het geval voor materialen met radioactiviteit van natuurlijke oorsprong. Het gevolg is dat sindsdien de jaarlijkse productie van radioactieve rest- en afvalstoffen is toegenomen. Bij wijze van flankerende beleid zijn voor een aantal stromen hogere grenswaarden vastgesteld voor zogenoemde specifieke vrijgave. In de periode 2018-2020 betrof dit diverse materialen afkomstig van de ontmanteling van Thermphos, en reststoffen uit de sectoren *Staalproductie* en *Olie- en gasproductie*. Hoewel deze specifiek vrijgegeven materialen niet zijn aangemerkt als radioactieve

<sup>3</sup> Zie voor uitleg paragraaf 2.4 en 2.5.5.

afvalstoffen, is een groot deel ervan uiteindelijk wel afgevoerd via de gebruikelijke beheerroutes voor radioactieve afvalstoffen.

Informatie over in de toekomst te verwachten hoeveelheden radioactieve rest- en afvalstoffen die zullen vrijkomen bij ontmanteling is slechts in beperkte mate beschikbaar gekomen. Uit deze informatie blijkt dat de radioactieve inventaris in de sector *Nuclear* met  $6 \times 10^3$  ton het omvangrijkst is, gevolgd door die in de sectoren *Productie medische isotopen* ( $2 - 4 \times 10^3$  ton) en *Overig* ( $1,3 \times 10^3$  ton).

Ten slotte zijn enkele perspectieven naar voren gekomen voor (verdere) minimalisatie van de productie van met name radioactieve afvalstoffen van natuurlijke oorsprong. Het betreft vooral technische opties, waarbij wordt gesignaleerd dat economische, sociaal-maatschappelijke en beleidsmatige aspecten een uitdaging vormen.

Ten slotte zijn enkele perspectieven naar voren gekomen voor (verdere) minimalisatie van de productie van met name radioactieve afvalstoffen van natuurlijke oorsprong. Hierbij wordt gesignaleerd dat economische, sociaal-maatschappelijke en beleidsmatige aspecten een uitdaging vormen. Aanbevolen wordt het beleid voor preventie en minimalisatie van verder uit te werken.

In de hoofdstukken 4 tot en met 16 wordt per sector nader ingegaan op de bovenstaande punten.



# 1 Inleiding

## 1.1 Aanleiding en achtergrond

Uiteenlopende handelingen kunnen leiden tot het ontstaan van radioactieve afvalstoffen<sup>4</sup>. Voorbeelden zijn elektriciteitsproductie in kernenergiecentrales, het toepassen van radioactieve meet- en regelbronnen in een industrieel proces en het bewerken van materialen die van nature radionucliden bevatten. Daarnaast kunnen bij handelingen met (deeltjes)versnellers materialen geactiveerd raken. Ook deze materialen moeten soms als radioactief afval worden aangemerkt.

Het voorhanden hebben van radioactieve afvalstoffen kan leiden tot blootstelling van personen aan ioniserende straling. Omdat blootstelling aan straling kan leiden tot gezondheidseffecten gelden voor het beheer van radioactieve afvalstoffen wettelijke voorschriften, gericht op de bescherming van mens en milieu. Deze voorschriften vinden hun oorsprong in de Nota radioactief afval [1], die is gepubliceerd in 1984. In deze nota is de keuze gemaakt voor centrale lange-termijnopslag van radioactieve afvalstoffen, uiteindelijk gevolgd door geologische eindberging. De wettelijke voorschriften voor het beheer van radioactief afval zijn opgenomen in de Kernenergiewet en onderliggende regelgeving.

Voor de uitvoering van het beleid is in 1982 de Centrale Organisatie Voor Radioactief Afval (COVRA) opgericht, die zorg draagt voor het beheer van het Nederlandse radioactieve afval. In de praktijk betekent dit dat radioactief afval sindsdien - zo snel als redelijkerwijs mogelijk naar het ontstaan ervan - moet worden afgevoerd naar de COVRA. Sinds 2001 kunnen ook afvalstoffen met radioactiviteit van natuurlijke oorsprong als radioactieve afvalstoffen worden aangemerkt. Voor deze afvalstoffen bestaat de mogelijkheid om deze - onder voorwaarden - af te voeren naar een aangewezen deponie.

Het overheidsbeleid is in 2016 door de toenmalige Minister van Infrastructuur en Milieu verder uitgewerkt in het eerste Nationale Programma voor het beheer van radioactief afval en verbruikte splijtstoffen [2] (hierna: Nationale Programma). Een dergelijk programma is verplicht op grond van artikel 5 van richtlijn 2011/70/Euratom [3] tot vaststelling van een communautair kader voor een verantwoord en veilig beheer van verbruikte splijtstof en radioactief afval. Dit Nationale Programma herbevestigt de eerder vastgestelde uitgangspunten van het beleid voor radioactief afval, bevat een uitwerking van de beleidsuitgangspunten en formuleert een route naar eindberging. Ook biedt het Nationale Programma informatie over de hoeveelheden radioactieve afvalstoffen in Nederland en een raming van toekomstige hoeveelheden, met inbegrip van die welke voortkomen uit ontmanteling van onder meer nucleaire installaties. Deze informatie is gebaseerd op een rapport van de COVRA uit 2014 [4]. Ten slotte is in

<sup>4</sup> In dit rapport worden bestraalde splijtstofelementen die niet worden opgewerkt geschaard onder de term "radioactieve afvalstoffen".

het Nationale Programma op hoofdlijnen aandacht besteed aan de herkomst van de belangrijkste radioactieve afvalstromen en hun eindbestemmingen. Deze informatie over hoeveelheden, oorsprong en eindbestemming wordt, samen met de beleidsuitgangspunten en implementatie daarvan, betrokken in de beoordeling van het Nationale Programma door de Europese Commissie, zoals vereist op grond van de hierboven genoemde richtlijn.

Om diverse redenen is het nodig om de informatie over de radioactief afvalproductie en -inventaris uit het Nationale Programma te actualiseren. Een formele reden hiervoor is dat uiterlijk in 2025 een geactualiseerd Nationaal Programma moet worden ingediend bij de Europese Commissie, voorzien van geactualiseerde informatie over radioactief afval, waaronder een inventaris en informatie over oorsprong en stromen. Daarnaast is in 2018 richtlijn 2013/59/Euratom [5] in de Nederlandse regelgeving geïmplementeerd, waardoor de grenswaarden voor vrijstelling en vrijgave voor een groot aantal nucliden zijn gewijzigd. Op basis van een toetsing aan deze grenswaarden wordt bepaald of een afvalstof als radioactieve afvalstof moet worden aangemerkt. De implementatie heeft daarmee een - nog niet volledig in beeld gebracht - effect op de totale inventaris van radioactief afval en de radioactieve afvalstromen. Ten slotte moet in het kader van het *Joint Convention*-verdrag [6] elke drie jaar aan het IAEA worden gerapporteerd over het radioactief afvalbeleid. Ook hiervoor is actuele informatie over het Nederlandse radioactief afval nodig.

In verband met het voorgaande heeft het Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat (hierna: I&W) het RIVM en de COVRA opdracht gegeven onderzoek te doen naar de radioactieve afvalstoffen in Nederland. De COVRA is verzocht een nieuwe radioactief afvalinventaris op te stellen, met een doorkijk naar de toekomst. Het RIVM is gevraagd de productie, herkomst en beheerroutes van radioactieve rest- en afvalstoffen in Nederland te beschrijven. Met het oog op het beleidsuitgangspunt 'minimalisatie' is het RIVM daarnaast verzocht de mogelijkheden tot verdere minimalisatie, al dan niet door hergebruik, in beeld te brengen. Beide onderzoeken zijn uitgevoerd in de periode 2021-2022.

## 1.2 Doelstellingen

De doelstellingen van het onderzoek door het RIVM zijn:

1. Het inventariseren van radioactieve rest- en afvalstromen<sup>5</sup> in Nederland, zowel kwalitatief als kwantitatief;
2. Het verkennen van in de toekomst te voorziene ontwikkelingen in de productie van radioactieve rest- en afvalstoffen, met inbegrip van de afvalstoffen die ontstaan als gevolg van ontmanteling;
3. Het identificeren van mogelijkheden tot verdere minimalisatie van de productie van radioactieve afvalstoffen.

Het voorliggende rapport doet verslag van het onderzoek, dat is uitgevoerd in samenwerking met de COVRA.

<sup>5</sup> Zie voor terminologie paragraaf 2.1.

De COVRA heeft daarnaast een aparte rapportage opgesteld over de totale radioactieve inventaris in Nederland<sup>6</sup>.

### 1.3 Afbakening van het onderzoek

Dit onderzoek is als volgt afgebakend:

- Eventuele radioactieve rest- en afvalstoffen die in Caribisch Nederland (Bonaire, Saba en Sint Eustatius) worden geproduceerd vallen buiten de scope van dit onderzoek.
- Radioactieve stoffen die de locatie van een onderneming verlaten in het lichaam van een patiënt, na toediening van radiofarmaca, vallen buiten de scope van dit onderzoek. Deze stoffen worden niet als radioactieve rest- of afvalstoffen aangemerkt.
- Generiek vrijgestelde en vrijgegeven materialen (zie paragraaf 2.5) vallen buiten de scope van dit onderzoek.

### 1.4 Aanpak

Om radioactieve rest- en afvalstromen te inventariseren en mogelijkheden tot verdere minimalisatie te identificeren is niet alleen informatie nodig over de afgevoerde hoeveelheden radioactieve rest- en afvalstoffen en hun belangrijkste eigenschappen, maar ook over de oorsprong en de (eind)bestemmingen ervan. Daarnaast moet informatie worden verzameld over de verwachtingen voor de toekomst. Ten slotte is het van belang om - in verband met vergelijkbaarheid<sup>7</sup> - zoveel mogelijk aan te sluiten bij de inventaris uit het eerste Nationale Programma. Om dit te realiseren is de volgende aanpak gekozen:

#### 1.4.1

##### *Inventarisatie mogelijke producenten radioactieve rest- en afvalstoffen*

Bij het in beeld brengen van radioactieve rest- en afvalstromen ligt het voor de hand om te beginnen bij de bron. Met dit doel is door het RIVM een bestand opgebouwd van de (mogelijke) producenten van radioactieve rest- en afvalstoffen in Nederland. Het betreft een bestand van in Nederland opererende ondernemingen waaraan vergunning of registratie<sup>8</sup> op grond van de Kernenergiewet is verleend voor het uitvoeren van handelingen met radioactieve stoffen. Het zijn deze ondernemingen waarvan redelijkerwijs kan worden verwacht dat zij radioactieve rest- en afvalstoffen (kunnen) produceren en afvoeren. Zoals opgemerkt in paragraaf 1.1 kunnen ook radioactieve stoffen ontstaan als gevolg van het uitvoeren van handelingen met (deeltjes)versnellers. Om deze reden zijn ook die ondernemingen toegevoegd waaraan vergunning is verleend voor dergelijke handelingen.

Voor de ondernemingen met een vergunning kon gebruik worden gemaakt van een overzicht van de Autoriteit Nucleaire Veiligheid en Stralingsbescherming (hierna: ANVS), met daarin informatie over de per 19 maart 2020 vigerende vergunningen [7]. Hieruit zijn de ondernemingen geselecteerd waaraan een vergunning is verleend voor

<sup>6</sup> E. Burggraaff, J. Welbergen, E. Verhoef, Nationale afval inventarisatie COVRA N.V., oktober 2022

<sup>7</sup> Overigens is de vergelijkbaarheid van een nieuw op te stellen radioactief afvalinventaris met een inventaris van vóór het in werking treden van het Bbs in verband met de aangepaste grenswaarden voor vrijstelling en vrijgave beperkt.

<sup>8</sup> Voor handelingen met natuurlijke bronnen kan onder voorwaarden worden volstaan met een 'registratie' in plaats van een vergunning. De belangrijkste voorwaarden hiervoor zijn dat voor de betreffende locatie niet al een vergunning is verleend, en dat de activiteitsconcentratie maximaal gelijk is aan 10 keer de vrijstellingsgrenswaarden. Een registratie is feitelijk een bondige standaard-vergunning.

handelingen met radioactieve stoffen en/of (deeltjes)versnellers. Ondernemingen met enkel een vergunning voor röntgenapparatuur zijn buiten beschouwing gelaten, omdat het niet waarschijnlijk is dat deze ondernemingen radioactieve afvalstoffen zullen produceren. Verder is gecorrigeerd voor het feit dat aan diverse ondernemingen meerdere Kernenergiewet-vergunningen zijn verleend. Opgemerkt wordt dat een onderneming kan bestaan uit meerdere locaties.

Een overzicht van ondernemingen met een registratie voor handelingen met natuurlijke radioactieve stoffen is opgesteld op basis van een door de ANVS beschikbaar gesteld statusoverzicht van aanvragen voor een registratie voor handelingen met natuurlijke bronnen per 8 juni 2020 [8]. Dit overzicht is vergeleken en waar nodig aangevuld met informatie die over deze ondernemingen wordt beheerd in het 'Zaak-systeem' van de ANVS, en kennis en informatie over handelingen met natuurlijke bronnen binnen het RIVM.

Bij wijze van kwaliteitscontrole is de informatie die op deze manier is verzameld over handelingen met radioactieve stoffen van natuurlijke oorsprong vergeleken met een bestand met per 1 december 2017 vigerende 'NABIS-meldingen'<sup>9</sup>. Het idee daarachter is dat de handelingen waarvoor destijds meldingen zijn gedaan met het in werking treden van het Besluit basisveiligheidsnormen stralingsbescherming [9] (hierna: Bbs) in 2018 registratie- dan wel vergunningplichtig zijn geworden. Daarnaast is - waar mogelijk en relevant - een korte vergelijking gemaakt met eerder RIVM-onderzoek [10]. De informatie over medische instellingen is ter controle vergeleken met de data in het *Informatiesysteem Medische Stralingstoepassingen* (IMS). Ten slotte is een review op de resultaten uitgevoerd door de COVRA.

#### 1.4.2 *Indeling in sectoren*

De ondernemingen die in de hiervoor beschreven stap zijn geïdentificeerd als mogelijke producent van radioactieve rest- en afvalstoffen zijn vervolgens ingedeeld in 'sectoren'. Hierbij is uitgegaan van de sectorindeling die was gekozen in het eerste Nationale Programma, welke met name is gebaseerd op type handelingen en type afvalstoffen. De destijds gedefinieerde sector 'NORM' is verder onderverdeeld, vanwege grote onderlinge verschillen in hoeveelheden en typen rest- en afvalstoffen en in perspectieven voor verdere minimalisatie. Ook de destijds gedefinieerde sector 'Medisch' is verder onderverdeeld in ondernemingen die medische isotopen produceren en ondernemingen die deze toepassen. Hierbij is overwogen dat er momenteel veel aandacht is voor de productie en productietechnieken van medische isotopen. In verband met het onderscheid tussen radioactieve reststoffen en radioactieve afvalstoffen (zie paragraaf 2.2), is ten slotte een aparte sector gecreëerd voor de ondernemingen die radioactieve reststoffen bewerken. In Tabel 1 is een overzicht gegeven van de gedefinieerde sectoren. In de hoofdstukken 4 t/m 16 worden de sectoren één voor één nader toegelicht.

<sup>9</sup> Meldingen gedaan door ondernemers aan het bevoegd gezag op grond van de destijds vigerende ministeriële regeling Natuurlijke Bronnen van Ioniserende Straling (NABIS).



Opgemerkt moet worden dat elke keuze voor een indeling van ondernemingen in sectoren in zekere mate arbitrair is, en dat er daarmee discussie kan bestaan over welke ondernemingen tot welke sector behoren. In paragraaf 3.6 wordt hierop nader ingegaan.

*Tabel 1 Definitie van de sectoren die zijn gehanteerd in dit onderzoek*

<b>Sector</b>	<b>Toelichting</b>
1. Nucleair	Ondernemingen die elektriciteit produceren (of produceerden) m.b.v. kernreactoren en ondernemingen die uranium verrijken
2. Productie medische isotopen	Ondernemingen die medische isotopen produceren m.b.v. kernreactoren of deeltjesversnellers
3. Medisch	Ondernemingen die medische zorg verlenen, inclusief hun dienstverleners
4. Onderzoek en onderwijs	Ondernemingen die onderzoek uitvoeren of onderwijs verzorgen
5. Pigmentproductie	Ondernemingen die pigment produceren
6. Staalproductie	Ondernemingen die staal produceren
7. Zirkoon	Ondernemingen die werken met zirkoonhoudende materialen
8. Olie- en gasproductie	Ondernemingen die olie en gas produceren
9. Geothermie	Ondernemingen die geothermische installaties exploiteren
10. Schrootverwerking	Ondernemingen die schroot inzamelen en verwerken
11. Fosforproductie	Ondernemingen die fosfor produceren (of produceerden)
12. Overig	Overige ondernemingen, die niet in te delen zijn in de andere sectoren.
13. Ontmanteling, decontaminatie en bewerking	Ondernemingen die radioactieve reststoffen van derden bewerken

De sectoren 1 t/m 4 hebben betrekking op ondernemingen die voornamelijk handelingen uitvoeren met radioactiviteit van kunstmatige oorsprong, en/of met splijtstoffen. Voor het toewijzen van ondernemingen en afvalstromen aan deze sectoren is van belang dat - met het oog op de functies ervan - de Hoge Flux Reactor onderdeel vormt van sector 2, en de Hoger Onderwijs Reactor valt onder sector 4. Dit is conform de keuzes die zijn gemaakt in het eerste Nationale Programma.

De sectoren 5 t/m 11 hebben betrekking op ondernemingen die voornamelijk handelingen uitvoeren met radioactiviteit van natuurlijke oorsprong. De sector *Fosforproductie* is inmiddels niet meer aanwezig in

Nederland, maar is meegenomen omdat in de beschouwde periode nog wel radioactieve rest- en afvalstoffen zijn afgevoerd. Een tweede reden is dat in deze sector het instrument 'specifieke vrijgave' (zie paragraaf 2.3) voor het eerst op grote schaal is toegepast, wat heeft bijgedragen aan de ontwikkeling van nieuwe beheerroutes.

#### 1.4.3

##### *Onderzoek naar de productie en afvoer van rest- en afvalstoffen*

Na het afronden van de inventarisatie van mogelijke producenten en het indelen daarvan in sectoren, is informatie verzameld over de productie en afvoer van radioactieve rest- en afvalstoffen door deze ondernemingen. Voor de sector *Ontmanteling, decontaminatie en bewerking* is daarnaast ook onderzoek gedaan naar de aangevoerde radioactieve reststoffen die door hen worden bewerkt. Hiervoor geraadpleegde bronnen zijn: Kernenergiewetvergunningen, registraties, risico-inventarisatie en -evaluaties (RIE's), jaarverslagen stralingshygiëne, ontmantelingsplannen, algemene literatuur en openbare registers, zoals de Afvalmonitor databank [11] en de registratie van de EVOA<sup>10</sup>-meldingen voor overbrenging van afvalstoffen [12].

Vervolgens is een aantal ondernemingen of brancheorganisaties benaderd voor een interview. Deze ondernemingen is gevraagd naar verwachtingen voor de toekomst en naar mogelijke opties voor verdere minimalisatie van radioactief afval. Indien en voor zover aan de orde is daarnaast een toelichting gevraagd op door deze ondernemingen gepubliceerde jaarverslagen en eventuele andere documenten. Ter voorbereiding op deze interviews is van tevoren een aantal standaardvragen geformuleerd (zie Bijlage 1), aangevuld met eventuele specifieke vragen naar aanleiding van de jaarrapportages. Daarnaast is een aantal zelfstandige (algemeen) coördinerend stralingsdeskundigen geraadpleegd, die voor diverse ondernemingen optreden als externe stralingsbeschermingsdeskundige. Op deze manier is voor elke sector tenminste één interview gehouden.

Op basis van alle verzamelde informatie is per sector, en zoveel mogelijk ook per type rest- en afvalstof, de gemiddelde jaarlijkse 'reguliere' productie van radioactieve rest- en afvalstoffen bepaald, voor zover mogelijk zowel in ton als in GBq. In de hoofdstukken 4 tot en met 16 is - voor zover beschikbaar - informatie gegeven over de radiologische samenstelling. In veel gevallen bleek informatie over nucliden echter niet beschikbaar. Bovendien moet hierbij worden aangetekend dat gerapporteerde cijfers over de activiteit in veel gevallen betrekking hebben op de (ongewogen) som van de activiteit van verschillende nucliden of deelketens. Hiermee moet rekening worden gehouden bij het toepassen van de gerapporteerde getallen over (totale) activiteit.

Naast de reguliere productie van radioactieve rest- en afvalstoffen is - voor zover mogelijk - een 'inventaris' aan rest- en afvalstoffen bepaald, die in de toekomst eenmalig zal ontstaan als gevolg de ontmanteling van installaties en gebouwen. Het gaat daarbij om de beëindiging van

<sup>10</sup> Europese Verordening Overbrenging Afvalstoffen (Verordening (EG) nr. 1013/2006 van het Europees Parlement en de Raad van 14 juni 2006)

alle of het grootste deel van de handelingen op de betreffende locatie, en niet om bijvoorbeeld het periodiek vervangen van onderdelen in een installatie.

Voor de 'reguliere rest- en afvalstoffen' is een gemiddelde jaarlijkse productie bepaald over de periode 2018-2020. Dit is gedaan omdat de productie van radioactieve rest- en afvalstoffen vóór 2018 niet goed vergelijkbaar is met de productie na deze datum, als gevolg van de implementatie van richtlijn 2013/59/Euratom in 2018 in de Nederlandse regelgeving. Daarnaast zijn bepaalde beheerroutes sinds deze datum niet meer beschikbaar (zie paragraaf 2.7 voor een nadere toelichting).

Bestraalde splijtstoffen en opwerkingsafval worden slechts incidenteel afgevoerd, en het beperken tot 2018-2020 kan daarom een verkeerd beeld scheppen. Voor deze materialen zijn daarom gemiddelden bepaald voor de periode 2015-2020. Gezien de radioactiviteitsniveaus van deze materialen heeft de implementatie van de richtlijn geen invloed op de classificatie van dit type materiaal.

#### 1.4.4 *Onderzoek naar de aanvoer van radioactieve afvalstoffen op eindbestemmingen*

Parallel aan het bepalen van de productie en afvoer van radioactieve rest- en afvalstoffen is onderzoek gedaan naar de aanvoer van radioactieve afvalstoffen op de eindbestemmingen. In Nederland zijn twee type eindbestemmingen mogelijk: aangewezen deponieën of de COVRA (zie hoofdstuk 17 over *Eindbestemmingen*).

De aanvoer van radioactieve afvalstoffen op de deponieën is - voor zover mogelijk - bepaald op basis van de meldingen die door ontdoeners zijn gedaan aan het Landelijk Meldpunt Afvalstoffen (LMA), dat wordt beheerd door Rijkswaterstaat. Het melden van de afvoer van afvalstoffen<sup>11</sup> is voor de grotere ondernemingen verplicht op grond van het Besluit melden bedrijfsafvalstoffen en gevaarlijke afvalstoffen [13]. De LMA-meldingen bevatten onder meer informatie over de ontdoener en de bestemming, de afgevoerde massa en een aanduiding van het type afval. In overleg met het RIVM heeft Rijkswaterstaat met behulp van diverse zoekopdrachten meldingen van afvoer van radioactieve afvalstoffen richting deponieën uit de LMA-database gefilterd. Vervolgens zijn deze meldingen door het RIVM ingedeeld in typen afvalstoffen en sectoren. In aanvulling hierop zijn de exploitanten van de aangewezen deponieën benaderd om informatie beschikbaar te stellen, en is van één van de deponieën het beschikbare jaarverslag stralingshygiëne geraadpleegd. Helaas bleek dat niet alle exploitanten van de aangewezen deponieën in dezelfde mate bereid waren mee te werken aan het onderzoek: in sommige gevallen is alleen cumulatieve informatie beschikbaar gesteld. Daarnaast bleek het niet mogelijk om alle radioactieve afvalstromen uit de LMA-meldingen te filteren, omdat het LMA niet is ingericht voor het aanmerken van een afvalstof als 'radioactieve afvalstof'. Deze twee zaken maakten dat het niet voor alle afvalstromen mogelijk was om de herkomst te achterhalen.

<sup>11</sup> Merk op dat het hierbij gaat om 'afvalstoffen' zoals bedoeld in de Wet milieubeheer, zie ook paragraaf 2.3.

Data over de aanvoer van radioactieve afvalstoffen naar de COVRA is door de COVRA - in verband met de vertrouwelijkheid van gegevens geanonimiseerd en op niveau van sector - beschikbaar gesteld aan het RIVM. Omdat een aantal ondernemingen op grond van de uitgevoerde handelingen aan meerdere sectoren kon worden toegedeeld, is er daarbij in een aantal gevallen sprake van een zekere overlap. Dit is nader toegelicht in paragraaf 6.2 en 7.2.

Net als bij de afvoer (zie paragraaf 1.4.3) is per sector en waar mogelijk per afvalstroom de gemiddelde jaarlijkse aanvoer naar de deponieën en de COVRA bepaald voor de periode 2018-2020. De resultaten van deze exercitie zijn vergeleken met de hierboven genoemde cijfers over de afvoer, en op basis hiervan zijn uiteindelijk cijfers per sector en per afvalstroom opgenomen in hoofdstuk 4 t/m 16.

#### 1.4.5 *Specifiek vrijgegeven afvalstoffen binnen scope onderzoek*

Een punt van aandacht in de bovenstaande benadering vormen radioactieve materialen die 'specifiek' zijn vrijgegeven. Het gaat daarbij om materiaal dat op grond van een toetsing aan de grenswaarden voor generieke vrijstelling en vrijgave registratie- of vergunningplichtig is, maar (onder eventueel door ANVS vastgestelde voorwaarden) op basis van een toetsing aan 'hogere grenswaarden voor specifieke vrijgave' is vrijgegeven.

Specifieke vrijgave kan worden ingezet ten behoeve van hergebruik, recycling, verwijdering<sup>12</sup> of verbranding van registratie- of vergunningplichtig materiaal. De eerste twee opties zijn op het moment van schrijven van dit rapport nog niet toegepast. Wel zijn voor bepaalde materialen inmiddels specifieke vrijgaveroutes gecreëerd, onder de voorwaarde van stort op een aangewezen deponie (zie bijvoorbeeld paragraaf 17.4.3) of verbranding in een verbrandingsinstallatie (zie paragraaf 6.4.7).

Op grond van artikel 10.7, tweede lid, van het Bbs geldt dat een specifiek vrijgegeven radioactieve stof niet als radioactieve afvalstof wordt aangemerkt. Dit ligt voor de hand, aangezien het aanmerken als radioactieve afvalstof onmiddellijk een afvoerverplichting naar de COVRA of aangewezen deponie met zich meebrengt op grond van artikel 10.7, derde lid, van het Bbs. Het niet aanmerken als radioactieve afvalstof en vervolgens (specifiek) vrijgeven van het materiaal betekent dat het materiaal als 'afvalstof' moet worden beheerd, en dat de regels en voorschriften op grond van de Wet milieubeheer gaan gelden, naast de eventueel aan de specifieke vrijgave verbonden voorwaarden.

Het voorgaande betekent dat als een onderneming een hoeveelheid radioactiviteit onder specifieke vrijgave als 'afvalstof' afvoert naar een deponie of afvalverbrandingsinstallatie, dit om formele redenen niet tot de radioactieve rest- en afvalstromen zou mogen worden gerekend. Omdat dit de stromenanalyse vertroebelt, is in overleg met de opdrachtgever besloten specifiek vrijgegeven materialen wel mee te nemen in de analyse.

<sup>12</sup> In het Nederlandse beleid voor radioactief afvalbeheer wordt met 'verwijdering' bedoeld op afvoer naar COVRA of een aangewezen deponie. In het beleid voor conventioneel afval wordt hiermee bedoeld: 'stort' of 'verbranding'.

## 1.5 Leeswijzer

Dit rapport is opgebouwd uit een meer 'algemeen' deel, en een deel dat nader ingaat op de productie en het beheer van rest- en afvalstoffen in de diverse sectoren.

Het algemene deel bestaat naast hoofdstuk 1 - over de achtergrond en aanpak - uit hoofdstuk 2 en 3. In hoofdstuk 2 wordt een toelichting gegeven op een aantal in dit rapport gebruikte termen en concepten, en op de van toepassing zijnde regelgeving. Hoofdstuk 3 vat op hoofdlijnen de conclusies van het onderzoek samen, en bevat daarnaast een discussie en enkele aanbevelingen.

In de hoofdstukken 4 tot en met 16 is per sector een beschrijving gegeven van de sector, de productie van radioactieve rest- en afvalstoffen binnen deze sector, de beheerroutes, prognoses voor de toekomst, en opties voor verdere minimalisatie van de productie van radioactieve afvalstoffen. De in Nederland aanwezige eindbestemmingen voor radioactieve afvalstoffen worden beschreven in hoofdstuk 17.

## 1.6 Dankwoord

Dit onderzoek was niet mogelijk geweest zonder de input van een groot aantal partijen. Het RIVM spreekt in het bijzonder dank uit aan:

- N.V. Afvalzorg Holding
- Applus RTD
- Autoriteit Nucleaire Veiligheid en Stralingsbescherming
- BMT Europe
- Centrale Organisatie Voor Radioactief Afval
- Cleanstream B.V.
- GE Healthcare
- Geothermie Nederland
- Elektriciteitsproductiemaatschappij Zuid-Nederland
- Hoondert Services and Decommissioning
- Jeroen Welbergen (Welbergen consultancy)
- Lonneke van Bochove (Stralingsupport B.V.)
- Nedmag B.V.
- Netherlands Oil and Gas Exploration and Production Association
- Nuclear Research and Consultancy Group
- PALLAS reactor
- Radiatco
- Rijkswaterstaat
- Sanquin
- SHINE
- Tata Steel Nederland
- Technische Universiteit Delft
- Tronox B.V.
- UMC Utrecht
- Urenco Nederland B.V.
- Van Overeem Nuclear b.v.
- VU Medisch Centrum Amsterdam



## 2 Begrippen, concepten en wettelijke voorschriften

Dit hoofdstuk definieert een aantal begrippen en concepten die in dit rapport worden gebruikt. Daarnaast wordt ingegaan op de belangrijkste wettelijke voorschriften die van toepassing zijn.

### 2.1 Afvalstoffen, radioactieve stoffen, radioactieve reststoffen en radioactieve afvalstoffen

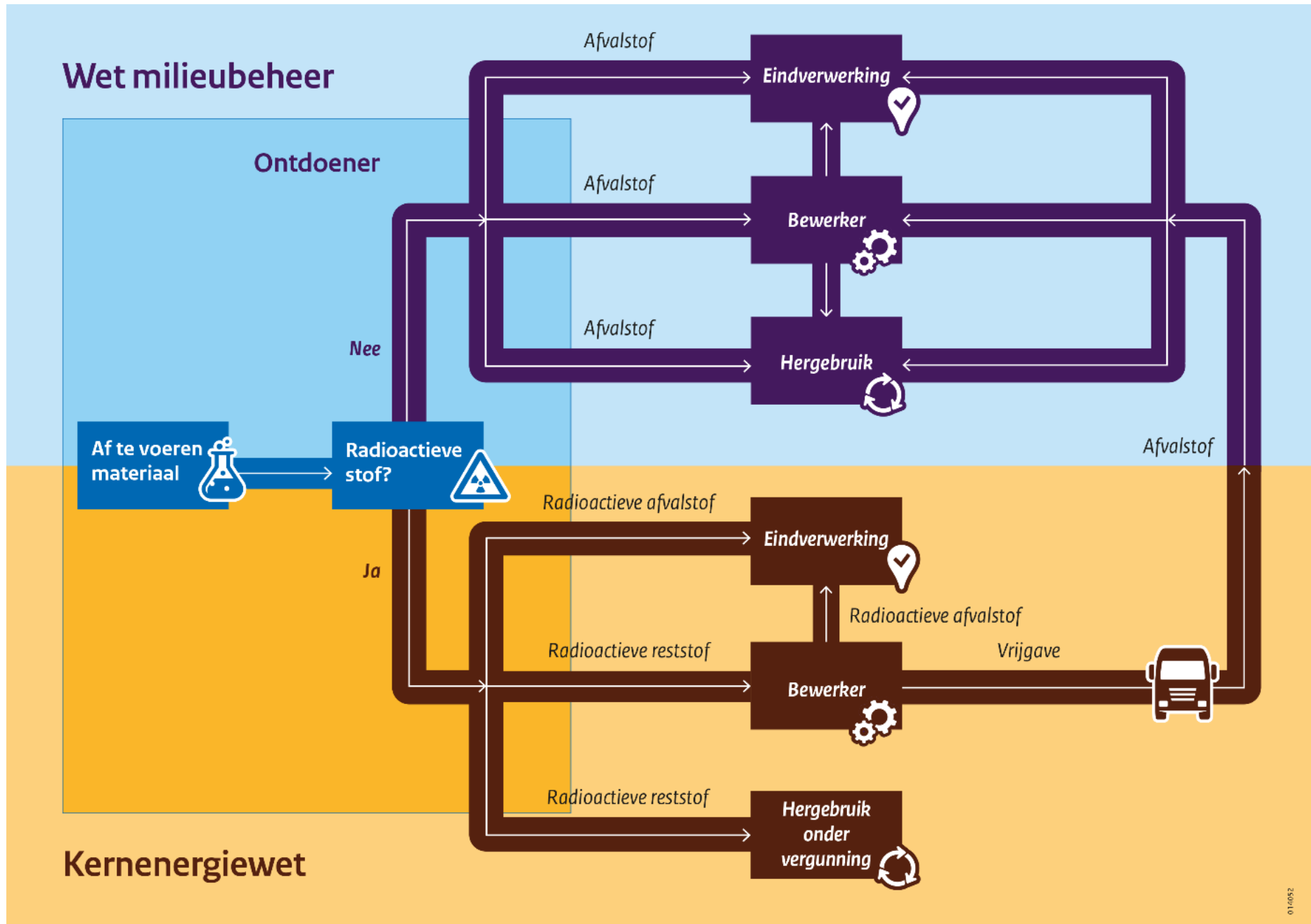
In Figuur 1 op de volgende pagina zijn de belangrijkste begrippen en concepten weergegeven die in dit rapport worden gehanteerd. Deze begrippen en concepten worden in het vervolg van de paragraaf toegelicht.

**Radioactieve stoffen** zijn in artikel 1, onder d, van de Kernenergiewet gedefinieerd als *stoffen met uitzondering van splijtstoffen en ertsen, die in zodanige mate radionucliden bevatten dat zij, voorzover het de bescherming tegen ioniserende straling betreft, niet mogen worden verwaarloosd*. In de praktijk wordt als criterium de betreffende grenswaarde<sup>13</sup> voor generieke vrijstelling en vrijgave aangehouden (Tabel A in onderdeel B van Bijlage 3 bij het Bbs).

**Radioactieve afvalstoffen** zijn in Bijlage 1 van het Bbs gedefinieerd als *radioactief materiaal in gasvormige, vloeibare of vaste staat dat door de ANVS of de ondernemer als radioactieve afvalstof is aangemerkt*. In dezelfde bijlage is radioactief materiaal gedefinieerd als *materiaal dat radioactieve stoffen bevat*. Daarmee zijn radioactieve afvalstoffen een deelverzameling van 'radioactieve stoffen'. Op grond van artikel 10.7, eerste lid, van het Bbs kan een radioactieve stof als radioactieve afvalstof worden aangemerkt indien *voor deze stof geen gebruik of product- of materiaalhergebruik is voorzien door de Autoriteit of door de ondernemer en er geen sprake is van lozing van de stof*. Een afvalstof wordt niet als radioactieve afvalstof aangemerkt indien de activiteitsconcentratie van die afvalstof lager is dan de betreffende grenswaarde voor vrijgave. Dit wordt nader toegelicht in paragraaf 2.5.

Voor het beheer van radioactieve afvalstoffen gelden de voorschriften op grond van de Kernenergiewet, zoals beschreven in paragraaf 2.3. Deze voorschriften houden onder meer in dat door het aanmerken van een radioactieve stof als radioactieve afvalstof een afvoerverplichting ontstaat. Vervolgens is van belang dat alleen de COVRA en aangewezen deponieën gerechtigd zijn deze radioactieve afvalstoffen te ontvangen. Indien afvoer naar COVRA of een aangewezen deponie (nog) niet aan de orde is, of (nog) niet wenselijk is, dan wordt een radioactieve stof (nog) niet als radioactieve afvalstof aangemerkt.

<sup>13</sup> Indien er sprake is van meerdere nucliden moet hier en in vergelijkbare zinnen in de rest van dit rapport worden gelezen: 'grenswaarden'.



Figuur 1 Concepten en definities.



**Radioactieve reststoffen** is een term die niet is gedefinieerd in regelgeving, maar die in dit rapport als concept wordt geïntroduceerd. Met 'radioactieve **reststoffen**' wordt in dit rapport bedoeld op radioactieve stoffen die ontstaan bij een proces en die (nog) niet als radioactieve **afvalstof** zijn aangemerkt (zie boven), en waarvan een ondernemer zich ontdoet voor hergebruik, al dan niet voorafgaand door bewerking.

De eventuele bewerking van een radioactieve reststof kan leiden tot het ontstaan van radioactieve afvalstoffen. In enkele specifieke gevallen is het mogelijk dat een radioactieve stof nog moet worden bewerkt voordat het als radioactieve afvalstof kan worden afgevoerd. In dit rapport zijn ook deze gevallen beschouwd als radioactieve reststof.

Merk op dat – zolang een radioactieve reststof niet als radioactieve afvalstof is aangemerkt - een afvoerplicht niet van toepassing is. Wel gelden de gangbare voorschriften voor radioactieve stoffen op grond van de Kernenergiewet.

Voorbeelden van radioactieve reststoffen zijn radioactief besmette onderdelen die worden afgevoerd voor decontaminatie, radioactieve sludge die wordt afgevoerd voor pyrolyse of vacuümdestillatie, en gebruikte ingekapselde bronnen die retour worden gezonden aan de leverancier.

**Afvalstoffen** zijn in artikel 1.1 van de Wet milieubeheer gedefinieerd als *alle stoffen, preparaten of voorwerpen, waarvan de houder zich ontdoet, voornemens is zich te ontdoen of zich moet ontdoen*. Anders dan bij radioactieve stoffen wordt er dus geen onderscheid gemaakt op basis van een perspectief op bewerking of hergebruik. In [14] wordt uitgebreid ingegaan op de onderlinge vergelijking van de begrippen afvalstoffen en radioactieve afvalstoffen.

Voor het beheer van afvalstoffen gelden de voorschriften op grond van de Wet milieubeheer, zoals beschreven in paragraaf 2.4.

## 2.2 Overige begrippen

De overige begrippen die van belang zijn in dit rapport zijn hieronder in alfabetische volgorde opgesomd.

**Beheerroute:** In dit rapport wordt met 'beheerroute' bedoeld op de gehele keten, van het voorkomen en minimaliseren van het ontstaan van radioactieve rest- en afvalstoffen op de locatie van de 'ontdoener' tot en met de eindverwerking op de eindbestemming. In paragraaf 2.6 wordt nader ingegaan op beheerroutes.

**Decontaminatie:** *het verwijderen van radioactieve stoffen van besmette oppervlakken*. In Kernenergiewetvergunningen (zie bijvoorbeeld [15]) wordt door de toezichthouder onderscheid gemaakt tussen:

- Eenvoudige decontaminatie: *het verwijderen van radioactieve stoffen van besmette installatieonderdelen, hulpmiddelen en*

*gereedschappen door reiniging met behulp van spoelen en/of met een (zachte) borstel en zeepreinigingsmiddel;*

- *Complexe decontaminatie: het verwijderen van radioactieve stoffen van besmette installatieonderdelen, hulpmiddelen en gereedschappen door reiniging anders dan omschreven bij eenvoudige decontaminatie (voorbeelden: abrasief (grit)stralen, hoge druk waterstralen, thermisch, zuren of andere chemische reacties).*

**Deponie:** Een locatie die is ingericht voor de ontvangst van (al dan niet gevaarlijke) afvalstoffen voor 'stort'.

**Eindverwerking** (ook wel verwijdering): Hierbij gaat het om de afvoer van (al dan niet radioactieve) afvalstoffen voor stort op een deponie of verbranding in een verbrandingsinstallatie, of de afvoer van radioactieve afvalstoffen naar de COVRA voor lange-termijnopslag en uiteindelijke eindberging. Dit is verder beschreven in hoofdstuk 17.

**Hoogactief radioactief afval (HRA):** Een radioactieve afvalstof wordt door de COVRA als 'hoogradioactief afval' aangemerkt indien sprake is van een dosistempo van 10 mSv/h of meer op het oppervlak van de eindverpakking.

**Hoogradioactieve bron: (ook wel 'HASS'-bron):** *Ingekapselde bron, waarvan de activiteit van de erin vervatte radionuclide gelijk is aan of hoger is dan de relevante waarde voor die activiteit, opgenomen in bijlage 4 bij het Besluit basisveiligheidsnormen stralingsbescherming (Bbs, Bijlage 1);*

**Ingekapselde bron:** *Radioactieve stof die ingebed of gehecht is aan vast, niet-radioactief dragermateriaal, omgeven is door een omhulling van niet-radioactief materiaal, die intact blijft bij langere opslag en bewerking (Bbs, Bijlage 1).*

**Laag- en middelactief radioactief afval (LMRA):** Een radioactieve afvalstof wordt door de COVRA als 'laag en middelradioactief afval' aangemerkt indien sprake is van een dosistempo van minder dan 10 mSv/h op het oppervlak van de eindverpakking.

**Lozing** is in Bijlage 1 bij het Bbs gedefinieerd als *lozing op of in de bodem, in de lucht, in het openbare riool of in het oppervlaktewater*. Lozing kan worden beschouwd als een manier van afvoeren van (al dan niet radioactieve) reststoffen. In artikel 10.7, eerste lid, van het Bbs is vastgelegd dat een radioactieve stof in geval van lozing niet als radioactieve afvalstof wordt aangemerkt. Er is bij lozing dus geen sprake van afvoer van radioactieve afvalstoffen.

**Onderneming:** Verreweg de meeste voorschriften op grond van de Kernenergiewet adresseren 'de ondernemer'. Dit begrip is in Bijlage 1 bij het Bbs gedefinieerd als *natuurlijke persoon, rechtspersoon of bestuursorgaan onder wiens verantwoordelijkheid een handeling wordt verricht of maatregel wordt uitgevoerd*. De regelgeving schrijft voor dat voor handelingen met radioactieve rest- en afvalstoffen een registratie of vergunning op grond van de Kernenergiewet vereist is. Dit betekent

dat de voor dit rapport relevante ondernemers in principe altijd registratie- of vergunninghouder zijn. Om enerzijds zoveel mogelijk aan te sluiten bij het begrip ondernemer, maar anderzijds te benadrukken dat het in dit onderzoek gaat om het geheel van ondernemer, organisatie en installaties is in dit rapport het begrip 'onderneming' gebruikt. Merk op dat in de beschrijving van 'onderneming' in de Van Dale is opgenomen dat bij een onderneming sprake is van een winstoogmerk. In dit onderzoek worden onderneming echter ook staatsbedrijven, ziekenhuizen, universiteiten, etc. verstaan.

**Ontdoener:** Met ontdoener wordt bedoeld de onderneming die zich ontdoet van afvalstoffen die binnen de onderneming zijn ontstaan.

**Ontmanteling:** In dit rapport wordt onder ontmanteling verstaan het definitief beëindigen<sup>14</sup> van de vergunde of geregistreerde handelingen met radioactieve stoffen of andere bronnen van ioniserende straling op de betreffende locatie, gevolgd door het verwijderen van alle radioactieve rest- en afvalstoffen van de locatie, inclusief het verwijderen van installaties en sanering van de bodem, indien en voor zover noodzakelijk. Uiteindelijk wordt dit proces afgesloten met het intrekken van de Kernenergiewetvergunning. Het periodiek vervangen van onderdelen in een installatie wordt niet beschouwd als ontmanteling.

**Pyrolyse:** Endotherm proces waarbij koolstofhoudend materiaal wordt ontleed, door het zonder blootstelling aan zuurstof te verhitten tot hoge temperaturen (200 - 900 °C).

**Radioactieve inventaris:** De radioactieve rest- en afvalstoffen die zullen vrijkomen bij de ontmanteling van gebouwen en installaties.

**Radioactieve rest- en afvalstoffen van kunstmatige oorsprong:** Indien een radioactieve stof van kunstmatige oorsprong als radioactieve afvalstof wordt aangemerkt, spreken we in dit rapport van een 'radioactieve afvalstof van kunstmatige oorsprong'. Op vergelijkbare wijze gebruiken we bij een radioactieve reststof met niet-vrijgestelde concentraties radionucliden van kunstmatige oorsprong de term 'radioactieve reststof van kunstmatige oorsprong'.

**Radioactieve rest- en afvalstoffen van natuurlijke oorsprong:** Indien een radioactieve stof van natuurlijke oorsprong als radioactieve afvalstof wordt aangemerkt, spreken we in dit rapport van 'radioactieve afvalstof van natuurlijke oorsprong'. Op vergelijkbare wijze gebruiken we bij een radioactieve reststof met niet-vrijgestelde concentraties radionucliden van natuurlijke oorsprong de term 'radioactieve reststof van natuurlijke oorsprong'.

**Radioactieve stoffen van kunstmatige oorsprong:** Met radioactieve stoffen van kunstmatige oorsprong wordt in dit rapport bedoeld op radioactieve stoffen met radionucliden die door de mens zijn geproduceerd, waarvan de activiteitsconcentratie groter is dan de

<sup>14</sup> In beleid en regelgeving wordt een onderscheid gemaakt tussen 'ontmanteling' en 'beëindiging', waarbij met het eerste doorgaans bedoeld wordt op nucleaire installaties, en met het tweede op niet-nucleaire installaties.

betreffende grenswaarde voor vrijstelling (Tabel A, deel 1, in onderdeel B van Bijlage 3 bij het Bbs). Radioactieve stoffen van kunstmatige oorsprong zijn ontstaan als gevolg van kernreacties in een kernreactor of deeltjesversneller. Voorbeelden van radioactieve stoffen van kunstmatige oorsprong zijn ingekapselde bronnen en radioisotopen die worden toegepast voor medische diagnose of therapie.

**Radioactieve stoffen van natuurlijke oorsprong:** Met radioactieve stoffen van natuurlijke oorsprong wordt in dit rapport bedoeld op radioactieve stoffen met radionucliden die van nature in onze leefomgeving voorkomen, waarvan de activiteitsconcentratie groter is dan de betreffende grenswaarde voor vrijstelling (Tabel A, deel 2, in onderdeel B van Bijlage 3 bij het Bbs). Het betreft in verreweg de meeste gevallen zogenoemde primordiale<sup>15</sup> radionucliden en hun vervalproducten, die vaak in geringe concentraties worden aangetroffen in ertsen en andere bodemmateriële.

Er kan een onderscheid worden gemaakt tussen materialen die zonder te zijn bewerkt als 'radioactieve stof van natuurlijke oorsprong' moeten worden aangemerkt, en materialen waarvan de activiteitsconcentratie als gevolg van bewerking is toegenomen tot boven de betreffende grenswaarde voor vrijstelling. In beide gevallen wordt hiervoor soms het acroniem 'NORM' gebruikt, dat staat voor *Naturally Occurring Radioactive Material*. Omdat deze term geregeld ter discussie staat, spreken we in dit rapport van radioactieve reststoffen of radioactieve afvalstoffen van natuurlijke oorsprong.

**Splijstofhoudende rest- en afvalstoffen:** Indien het gehalte uranium, thorium of plutonium in een afvalstof hoger is dan de betreffende grenswaarde die wordt gehanteerd in de definitie voor splijststoffen, wordt een dergelijke afvalstof als 'splijstofhoudende afvalstof' aangemerkt. Op vergelijkbare wijze gebruiken we bij een radioactieve reststof met een gehalte uranium, thorium of plutonium hoger dan de betreffende grenswaarde die wordt gehanteerd in de definitie voor splijststoffen de term 'splijstofhoudende reststof'. Een belangrijk voorbeeld van een splijstofhoudende reststof is verbruikte splijststof afkomstig uit een kernreactor, waarvoor opwerking is voorzien. Verbruikte splijststof waarvoor geen opwerking is voorzien, wordt aangemerkt als splijstofhoudende afvalstof.

Voor het beheer van splijstofhoudende afvalstoffen gelden dezelfde voorschriften als voor radioactieve afvalstoffen, zoals beschreven in paragraaf 2.3.

**Splijststoffen** worden in artikel 1a van het Besluit kerninstallaties, splijststoffen en ertsen (Bkse) in samenhang met artikel 1, onder d, van de Kernenergiewet gedefinieerd als *stoffen, welke ten minste 0,1 massa% uranium, 0,1 massa% plutonium of 3 massa% thorium bevatten*. Naast splijststoffen in de nucleaire industrie moeten sommige materialen die worden toegepast in niet-nucleaire toepassingen op grond van het gehalte uranium, thorium of plutonium als 'splijststoffen'

<sup>15</sup> Primordiale radionucliden (ook wel 'oer-isotopen' genoemd) zijn radionucliden die in de natuur voorkomen, en die in hun huidige vorm al bestonden voordat de aarde werd gevormd.

worden aangemerkt. Voorbeelden zijn de toepassing van verarmd uranium als afscherming van hoogactieve radioactieve bronnen, en de toepassing van uranyl-acetaatoplossingen ten behoeve van elektronenmicroscopie.

In het bijzonder voor uranium geldt daarnaast dat - afhankelijk van het massa% van het isotoop U-235 - een onderscheid wordt gemaakt tussen 'natuurlijk' (0,7%), 'verarmd' (minder dan 0,7%), 'laagverrijkt' (tussen 0,7% en 20% ) en 'hoogverrijkt' (meer dan 20%) uranium [16].

**Vacuümdestillatie:** Het achtereenvolgens verdampen en condenseren onder zeer lage druk, vaak met als doel componenten uit een mengsel af te scheiden.

### 2.3 Voorschriften voor beheer van radioactieve rest- en afvalstoffen

Op grond van artikel 29 van de Kernenergiewet geldt een vergunningplicht voor handelingen (waaronder het voorhanden hebben) met radioactieve stoffen, waaronder radioactieve rest- en afvalstoffen. Hetzelfde geldt op grond van artikel 15 van deze wet voor handelingen met splijtstoffen en splijtstofhoudende rest- en afvalstoffen. Voor handelingen met radioactieve stoffen met radionucliden van natuurlijke oorsprong in activiteitsconcentraties lager dan tien keer de grenswaarde voor generieke vrijstelling en vrijgave geldt in plaats daarvan een registratieplicht. Een registratie<sup>16</sup> op grond van de Kernenergiewet kan worden beschouwd als een lichte 'standaardvergunning'. Aan vergunningen kunnen voorschriften worden verbonden, waaronder voorschriften die zien op het beheer van radioactieve rest- en afvalstoffen. Dergelijke voorschriften gelden enkel voor de betreffende vergunninghouder. Het kan dan gaan om voorschriften over de opslag van afvalstoffen in een geschikte bergplaats, en/of een termijn die is verbonden aan de afvoer daarvan.

Naast een vergunning- of registratieplicht geldt op grond van artikel 10.2 van het Bbs voor alle ondernemers die handelingen verrichten met radioactieve stoffen een 'zorgplicht', die is gericht op het zo veel als redelijkerwijs mogelijk voorkomen van het ontstaan van radioactieve afvalstoffen en het minimaliseren daarvan. Dat houdt in dat ondernemers verplicht zijn om radioactieve bronnen zo veel als redelijkerwijs mogelijk te hergebruiken, en radioactieve componenten te scheiden van niet-radioactieve componenten. Verder gelden alle gebruikelijke regels met betrekking tot de bescherming van mensen tegen blootstelling aan straling.

Wordt een stof eenmaal aangemerkt als radioactieve afvalstof, dan ontstaat op grond van artikel 10.7, derde lid, van het Bbs de verplichting om deze zo snel als redelijkerwijs mogelijk af te voeren. De enige uitzondering hiervoor geldt voor afvalstoffen met radionucliden met halveringstijden van minder dan 100 dagen, die voor een periode van maximaal twee jaar op locatie mogen worden opgeslagen, met het oog op verval tot onder de grenswaarden voor generieke vrijgave. Dit

<sup>16</sup> Een 'registratie' is goed vergelijkbaar met de eerdere 'melding', die op grond van het Besluit stralingsbescherming gold voor radioactieve stoffen van natuurlijke oorsprong met activiteitsconcentraties tot tien maal de grenswaarde voor vrijstelling.

wordt ook wel 'vervalopslag' genoemd. Afvoer van radioactieve afvalstoffen kan enkel naar de COVRA (zie paragraaf 17.3) of - in geval van registratieplichtige radioactieve afvalstoffen - een aangewezen deponie (zie paragraaf 17.4).

## 2.4 Voorschriften voor beheer van afvalstoffen

Voor het beheer van 'afvalstoffen' gelden krachtens hoofdstuk 10 van de Wet milieubeheer regels en voorschriften, gebaseerd op beginselen als preventie, minimalisatie en bescherming van mensen tegen gevaarlijke stoffen. Deze regels en voorschriften zijn uitgewerkt in het Landelijk Afvalbeheerplan 2017-2029 ([17], hierna: LAP3). In het LAP3 zijn Europese verplichtingen op het gebied van afvalbeheer (richtlijnen 2018/851/EU en 2008/98/EG) geïmplementeerd, en wordt geanticipeerd op de aankomende Omgevingswet en de transitie naar een circulaire economie.

Onderdeel van het LAP3 zijn de zogenoemde Sectorplannen, waarin minimumstandaarden zijn opgenomen voor een groot aantal afvalstoffen. Deze minimumstandaarden zijn het resultaat van een afweging van milieuhygiënische aspecten, kosten, arbeidsveiligheid, etc., en beschrijven de eisen die worden gesteld aan het beheer van deze afvalstoffen. Uitgebreide informatie over het LAP3 en minimumstandaarden is te vinden op <https://lap3.nl>. Een aantal van deze minimumstandaarden is indirect relevant voor het beheer van radioactieve rest- en afvalstoffen. Voorbeelden zijn die voor 'Metalen' (Sectorplan 12), 'Afval van gezondheidszorg bij mens of dier' (Sectorplan 19), 'Steenachtig materiaal' (Sectorplan 29), 'Olie/water mengsels' (Sectorplan 58) en 'Kwik en kwikhoudend afval' (Sectorplan 82).

Naast de minimumstandaarden gelden krachtens de Wet milieubeheer voorschriften voor stort en stortplaatsen (deponieën). Het betreft voorschriften die zijn opgenomen in de Omgevingsvergunningen van exploitanten van deponieën, en meer algemene voorschriften op grond van de Wet milieubeheer en het Besluit stortplaatsen en stortverboden afvalstoffen ([18], hierna: Bssa), waaronder criteria voor acceptatie van afvalstoffen voor stort.

Voor de rest- en afvalstoffen in dit onderzoek is onder meer relevant dat het op grond van de Wet milieubeheer in beginsel niet is toegestaan om beton en metaalafval te storten op een deponie. Dit geldt ook voor afvalstoffen met kwikconcentraties boven de 50 mg/kg (droge stof). Voor deze stoffen geldt op grond van Sectorplan 82 [19] - behoudens enkele uitzonderingen - als minimumstandaard dat kwik wordt verwijderd totdat het kwikgehalte maximaal 50 mg/kg (droge stof) bedraagt. Voor afvalstoffen met kwikconcentraties tussen 10 en 50 mg/kg geldt als minimumstandaard stort. Afhankelijk van het risico op verspreiding in het milieu vindt daarbij immobilisatie plaats. Op vergelijkbare wijze geldt voor olie/watermengsels op grond van Sectorplan 58 [20] de minimumstandaard '*Scheiden in een oliefractie, een zand/slibfractie (als van toepassing) en een waterfractie*'. Verder gelden voor stort maxima voor het gehalte aan koolwaterstoffen.

Bovenstaande criteria zijn relevant voor het beheer van sludge en sludge-achtig materiaal.

## 2.5 Vrijgave

Radioactieve stoffen waarvan de activiteitsconcentratie lager is dan de grenswaarden voor (vrijstelling en) vrijgave kunnen worden 'vrijgegeven'. De gedachte hierachter is dat het radiologisch risico dan nog slechts 'triviaal' wordt geacht. Vrijgave houdt in dat er vanaf dat moment geen sprake meer is van een radioactieve rest- of afvalstof, maar van een 'afvalstof'. De in paragraaf 2.3 beschreven afvoerverplichtingen zijn dan niet (meer) van toepassing, en worden vervangen door de in paragraaf 2.4 beschreven voorschriften op grond van de Wet milieubeheer voor het beheer van afvalstoffen. Bij de toetsing aan de grenswaarden wordt in de praktijk uitgegaan van de activiteitsconcentratie in droge stof.

Een bijzondere vorm van vrijgave is de 'specifieke vrijgave', die het mogelijk maakt om een specifiek materiaal dat strikt genomen registratie- of vergunningplichtig is onder voorwaarden tóch vrij te geven. Vervolgens kan het materiaal als (niet-radioactieve) afvalstof worden beheerd. De ANVS kan hiervoor zogenoemde 'hogere grenswaarden' vaststellen, op basis waarvan het materiaal 'specifiek' kan worden vrijgegeven. Deze hogere grenswaarden moeten zijn afgeleid van de 'algemene vrijstellingscriteria', die zijn opgenomen in Bijlage 3 bij het Bbs. Aan het gebruik van dergelijke hogere grenswaarden kunnen voorwaarden worden verbonden. Op een vergelijkbare manier bestaat in beginsel ook de mogelijkheid van 'specifieke vrijstelling', als gevolg waarvan specifieke materialen in het geheel niet als radioactieve stof – en dus t.z.t. ook niet als radioactieve afvalstof – behoeven te worden aangemerkt.

Voor een nadere toelichting op het concept vrijgave wordt verwezen naar bijvoorbeeld [21] en [22].

## 2.6 Over beheerroutes

In dit rapport worden de routes beschreven voor het beheer van diverse radioactieve rest- en afvalstoffen. Dergelijke beheerroutes beslaan een keten vanaf het ontstaan van radioactieve afvalstoffen op de locatie van de ontdoener tot en met de eindverwerking ervan op de eindbestemming. De beheerroutes bestaan uit combinaties van onderstaande maatregelen, en kunnen meerdere ondernemingen beslaan. In Figuur 1 is dit conceptueel weergegeven. Doorgaans blijven te bewerken materialen eigendom van de ontdoener, tot het moment van overdracht aan een eindverwerker. Beheerroutes worden voornamelijk bepaald door regelgeving, kostenoverwegingen en acceptatiecriteria van bewerkers en eindbestemmingen.

Beheerroutes kunnen bestaan uit één of meer van de volgende elementen:

### 2.6.1 *Beheer op locatie*

Beheermaatregelen op locatie zijn over het algemeen beperkt tot opslag, scheiding aan de bron en eenvoudige decontaminatie.

Opslag van radioactieve afvalstoffen op locatie met als doel verval tot onder de grenswaarde(n) voor vrijgave ('vervalopslag') is een maatregel die vrij algemeen wordt toegepast, waar dit mogelijk is. Zoals aangegeven in paragraaf 2.3 is dit enkel toegestaan voor radioactieve afvalstoffen met halveringstijden kleiner dan 100 dagen. Vervalopslag draagt bij aan het reduceren van de hoeveelheid materiaal die als radioactieve afvalstof moet worden afgevoerd. Op het moment dat sprake is van vrijgave van materiaal zijn onmiddellijk de in paragraaf 2.4 beschreven voorschriften op grond van de Wet milieubeheer op dat materiaal van toepassing, en daarmee bepalend voor de verdere beheerroute. Andere redenen voor tijdelijke opslag van radioactieve afvalstoffen kunnen zijn: het laten afnemen van het dosistempo in het kader van optimalisatie van bescherming, of om een efficiënte afvoer mogelijk te maken. De maximale opslagtermijn wordt vaak in vergunningen vastgelegd. Er moet rekening worden gehouden met de beschikbaarheid van geschikte opslagcapaciteit en de maximaal toegestane hoeveelheid activiteit op locatie.

Naast opslag zijn scheiding aan de bron en eenvoudige decontaminatie de meest gebruikelijke bewerkingen op locatie. Het afscheiden van de niet-radioactieve componenten draagt bij aan het reduceren van de hoeveelheid als radioactieve afvalstoffen aan te merken en af te voeren materiaal. Net als bij vervalopslag zijn op materiaal dat na scheiding of decontaminatie kan worden vrijgegeven de voorschriften op grond van de Wet milieubeheer van toepassing. Op kleinere schaal zijn conditionering van afvalstoffen op locatie en chemische bewerking voorbeelden van beheermaatregelen op locatie.

#### 2.6.2 *(Inzameling en) hergebruik*

Het verzamelen en opnieuw gebruiken van radioactieve reststoffen, vaak door producenten of leveranciers, draagt bij aan het minimaliseren van radioactieve afvalstoffen en voorkomt kosten voor afvoer daarvan. Voorbeelden van hergebruik van radioactieve reststoffen zijn gebruikte ingekapselde radioactieve bronnen, generatoren of versnellers. Van belang hierbij is dat voor deze vorm van hergebruik een vergunning of registratie is vereist.

#### 2.6.3 *Bewerking van radioactieve reststoffen door externe dienstverleners*

Veel vormen van bewerking van radioactieve reststoffen vergen vaak specialistische kennis en middelen, en bovendien moeten de noodzakelijke handelingen zijn vergund. Bewerking kan noodzakelijk zijn om het materiaal te kunnen afvoeren naar eindverwerkers, of wenselijk in verband met reductie van de hoeveelheid als radioactieve afvalstof af te voeren materiaal. Ontdoeners kiezen er daarom in veel gevallen voor niet zelf te investeren in bewerkingscapaciteit, maar radioactieve reststoffen voor bewerking af te voeren naar een externe onderneming. Diverse ondernemingen hebben zich gespecialiseerd in het decontamineren van materialen (vooral metalen), het ontmantelen van installaties, het bewerken van afvalwater en sludges, of het demonteren van radioactieve bronnen. Dit is verder beschreven in hoofdstuk 16.

#### 2.6.4 *Eindverwerking*

Bij eindverwerking worden (al dan niet radioactieve) afvalstoffen op een veilige manier in beginsel voor altijd uit de maatschappij verwijderd.



Voor radioactieve afvalstoffen zijn hiervoor twee opties: afvoer naar de COVRA of afvoer naar een aangewezen deponie. Eindverwerking van radioactieve afvalstoffen is verder beschreven in hoofdstuk 17.

#### 2.6.5 *Specifieke vrijgaveroute*

Het creëren van een specifieke vrijgaveroute kan wenselijk zijn indien de kosten van de afvoer van een bepaald materiaal als radioactief afval niet in verhouding staan tot het radiologische risico van het materiaal. Ook recycling kan een reden zijn om een specifieke vrijgaveroute te creëren. Voor specifieke vrijgave zijn radiologische criteria vastgelegd in regelgeving. Uiteindelijk wordt het specifiek vrijgegeven materiaal – vaak onder bepaalde voorwaarden en eventueel na bewerking - als afvalstof beheerd en afgevoerd, conform de voorschriften op grond van de Wet milieubeheer. Het materiaal wordt in dit geval niet als radioactieve afvalstof aangemerkt, zoals beschreven in paragraaf 2.5.

#### 2.6.6 *Lozing naar water of lucht*

Lozing naar water of lucht kan een manier zijn om een beperkte hoeveelheid radioactieve reststoffen af te voeren. Indien sprake is van lozing van vergunningplichtige hoeveelheden radioactiviteit, gaat hier een beoordeling van de blootstelling van leden van de bevolking aan vooraf. Net als bij specifieke vrijgave wordt het materiaal niet als radioactieve afvalstof aangemerkt. Bij lozing moet ook rekening worden gehouden met de voorschriften op grond van de Wet milieubeheer en de Waterwet.

#### 2.6.7 *Acceptatiecriteria*

In het geval van afvoer naar een externe onderneming voor bewerking of eindverwerking zijn de acceptatiecriteria van deze ondernemingen vaak medebepalend voor de beheerroute.

Voor afvoer van radioactieve afvalstoffen naar een deponie gelden op grond van de Wet milieubeheer acceptatiecriteria, die betrekking hebben op onder meer het gehalte kwik, koolwaterstoffen en water, of de uitloging van zware metalen (zie ook hoofdstuk 17). De COVRA hanteert vergelijkbare acceptatiecriteria. Min of meer hetzelfde geldt voor verbranding van specifiek ziekenhuisafval, waarbij radiologische acceptatiecriteria worden gehanteerd die feitelijk strenger zijn dan de grenswaarden voor vrijstelling en vrijgave (zie ook paragraaf 6.4.7). Dit kan betekenen dat bijvoorbeeld vervalopslag of bewerking van het materiaal nodig is, voorafgaand aan eindverwerking.

Daarnaast kunnen ook bewerkers acceptatiecriteria hanteren. Zo zijn er ondernemingen die maximale waarden stellen aan de activiteitsconcentratie of de kwikconcentratie in afvalwater of sludges. Voor schrootverwerkers geldt dat zij metaalafval met stralingsniveaus hoger dan een à twee keer het achtergrondniveau in de praktijk niet of nauwelijks accepteren voor recycling, ook al wordt voldaan aan de voorschriften voor vrijstelling en vrijgave.

Het voorgaande illustreert dat - hoewel de regels en voorschriften voor afvalstoffen conform artikel 10.1a, eerste lid, van de Wet milieubeheer strikt genomen niet van toepassing zijn op radioactieve rest- en

afvalstoffen - een aantal voorschriften wel degelijk relevant is bij het tot stand komen van beheerroutes.

## 2.7 Over de implementatie van richtlijn 2013/59/Euratom

Op 6 februari 2018 is richtlijn 2013/59/Euratom geïmplementeerd in de Nederlandse regelgeving. Dit betekende de vervanging van het Besluit stralingsbescherming door het Bbs, en een gedeeltelijke herziening van beleid en regelgeving. Deze herziening had onder meer betrekking op de regels voor vrijstelling en vrijgave. Concreet betekende het dat voor een groot aantal nucliden de grenswaarden voor generieke vrijstelling en vrijgave zijn aangepast, en dat grenswaarden voor generieke vrijgave van vloeistoffen zijn vervallen. Daarnaast is voor radionucliden van natuurlijke oorsprong de zogenoemde 'gewogen somregel' voor toetsing aan deze grenswaarden verlaten. De grenswaarden voor oppervlaktebesmetting zijn niet gewijzigd als gevolg van de implementatie.

Het aanpassen van grenswaarden voor generieke vrijstelling en vrijgave heeft tot gevolg gehad dat bepaalde materialen die vóór 6 februari 2018 als (niet-radioactieve) afvalstof konden worden afgevoerd, sinds deze datum strikt genomen als radioactieve (rest- of afval)stof moeten worden aangemerkt en beheerd. Tegelijkertijd zijn er ook materialen waarvoor het tegenovergestelde geldt. Dit is verder uitgewerkt in paragraaf 3.3.

Een tweede effect van de aanscherping van deze grenswaarden is dat wijzigingen zijn opgetreden in de beschikbaarheid van beheerroutes: er zijn materialen die vóór de implementatie van de richtlijn als (niet-radioactieve) afvalstof konden worden afgevoerd naar bijvoorbeeld een afvalverbrandingsinstallatie of deponie, maar die na de implementatie als radioactieve (rest)stof moeten worden aangemerkt. Het bewerken van deze materialen is daarmee registratie- of vergunningplichtig geworden. Als de betreffende ondernemingen niet bereid of niet in staat zijn de daarvoor benodigde registratie of vergunning op grond van de Kernenergiewet aan te vragen, dan vervalt daarmee de beheerroute. Ook is het bijvoorbeeld niet meer mogelijk materialen met Pb-210-activiteitsconcentraties van meer dan 10 Bq/g als radioactieve afvalstof af te voeren naar een aangewezen deponie.

Als flankerend beleid is sindsdien ingezet op het creëren van 'specifieke vrijgaveroutes' voor specifieke stromen (zie paragraaf 2.5). In een aantal gevallen is hierbij door de Minister van Infrastructuur en Milieu in de Nota van Toelichting bij het Bbs<sup>17</sup> overwogen dat een grote toename van het aanbod radioactieve afvalstoffen van natuurlijke oorsprong richting de COVRA als onwenselijk wordt beschouwd. Als reden daarvoor wordt daar aangevoerd dat *[... de COVRA niet geschikt is om grote bulkhoeveelheden op te slaan. Aangezien de activiteit ook nauwelijks vervalt heeft tijdelijke opslag wat dat betreft ook geen zin...]*.

Het introduceren van specifieke vrijgaveroutes heeft tot gevolg gehad dat een aantal van de per 6 februari 2018 vervallen beheerroutes inmiddels in meer of mindere mate weer beschikbaar is. Deze routes zijn

<sup>17</sup> Zie pagina 367 van deze Nota van Toelichting.

kort beschreven in paragraaf 3.4. In afwachting van het beschikbaar komen van deze specifieke vrijgaveroutes heeft de ANVS in de periode tussen 2018 en 2020 voor diverse ondernemingen in de Kernenergiewetvergunning een termijn van drie jaar vastgesteld voor de tijdelijke opslag van radioactieve afvalstoffen op locatie, in plaats van de gebruikelijke twee jaar.



### 3 Radioactieve rest- en afvalstromen – conclusies samengevat

In dit hoofdstuk worden de resultaten van het onderzoek naar radioactieve rest- en afvalstromen op hoofdlijnen besproken. Voor een nadere toelichting en achtergrond wordt verwezen naar de hoofdstukken 4 tot en met 16.

#### 3.1 Reguliere radioactieve afvalstoffen: omvang, herkomst en beheerroutes

In Figuur 2 zijn op hoofdlijnen de herkomst en de beheerroutes weergegeven van de reguliere radioactieve rest- en afvalstoffen in Nederland. De dikte van de stromen geeft een indicatie van de gemiddelde jaarlijks afgevoerde hoeveelheid materiaal in de periode 2018-2020<sup>18</sup> in ton per jaar. De kleur geeft een indicatie van de in deze periode jaarlijks afgevoerde hoeveelheid radioactiviteit in GBq per jaar. Merk op dat massa en activiteit logaritmisch zijn vertaald in diktes en kleuren. Dit is toegelicht in Tabel 2 hieronder.

Tabel 2 Toelichting diktes en kleuren gebruikt in Figuur 2

Afgevoerde massa (ton/jaar)	Dikte in figuur	Afgevoerde activiteit (GBq/jaar)	Kleur in figuur
< 10	1	vrijgesteld	Wit
10 <sup>1</sup> – 10 <sup>2</sup>	2	< 10	Geel
10 <sup>2</sup> – 10 <sup>3</sup>	3	10 <sup>1</sup> – 10 <sup>3</sup>	Oranje
10 <sup>3</sup> – 10 <sup>4</sup>	4	10 <sup>3</sup> – 10 <sup>5</sup>	Rood
> 10 <sup>5</sup>	5	> 10 <sup>5</sup>	Paars

Materialen die onder een specifieke vrijgave zijn afgevoerd naar een deponie zijn in de analyse om praktische redenen beschouwd als radioactieve afvalstoffen (zie paragraaf 1.4). Naast de in dit rapport beschreven sectoren is in Figuur 2 ook een onderdeel 'Buitenland' opgenomen. Het buitenland wordt niet beschouwd als een sector, maar vormt voor enkele stromen een bestemming dan wel een oorsprong. Verder wordt voor de goede orde nogmaals aangegeven dat de radioactieve rest- en afvalstoffen van de sector *Fosforproductie* eenmalige stromen betreffen, afkomstig van de ontmanteling en sanering van Thermphos (zie hoofdstuk 14). Van belang is ten slotte op te merken dat lozingen van radioactiviteit niet zijn meegenomen in Figuur 2.

In Tabel 3 zijn de cijfers over de radioactieve rest- en afvalstoffen uit hoofdstukken 4 tot en met 16 samengevat, welke corresponderen met de stromen in Figuur 2. Voor de cijfers waarvoor een onzekerheid bestaat, is in deze tabel een beste schatting gegeven. Daarnaast zijn in deze tabel per sector het aantal ondernemingen en de belangrijkste typen

<sup>18</sup> Voor enkele relatief hoogradioactieve afvalstromen uit de sectoren *Nucleair*, *Productie medische isotopen* en *Onderzoek en onderwijs* is gemiddeld over de periode 2015-2020, omdat deze slechts incidenteel worden afgevoerd. Zie ook paragraaf 4.3.

radioactieve rest- en afvalstoffen aangegeven. Materialen die voor bewerking werden afgevoerd, zijn in Tabel 3 aangemerkt als radioactieve reststof. Stromen naar het buitenland zijn niet opgenomen. In het vervolg van deze paragraaf worden deze cijfers toegelicht.

#### *Belangrijkste stromen (activiteit)*

Uit Tabel 3 volgt dat in Nederland in de periode 2018-2020 gemiddeld jaarlijks  $1,2 \times 10^8$  GBq aan radioactieve afvalstoffen is afgevoerd. Een kleine 60% van deze activiteit is afgevoerd door de sector *Productie medische isotopen*. De activiteit is voor het overgrote deel afkomstig van één onderneming, die zich bezighoudt met de productie van isotopen via de 'reactor-route'. Het betreft met name vloeibare radioactieve afvalstoffen en bestraalde splijtstofelementen. Voor verdere details wordt verwezen naar hoofdstuk 5.

Iets meer dan 39% van de jaarlijkse afgevoerde activiteit is afkomstig van de sector *Nucleair*. Voor het leeuwendeel betreft dit residuen van opwerking van bestraalde splijtstofelementen, afkomstig van één onderneming. Hoewel opwerking plaatsvindt in Frankrijk, en pas daarna sprake is van afvoer naar de COVRA, is dit in Figuur 2 omwille van de eenvoud als een rechtstreekse stroom weergegeven. De qua activiteit derde sector is *Onderzoek en onderwijs*, verantwoordelijk voor 1,1% van de jaarlijks afgevoerde activiteit. Het betreft vooral bestraalde splijtstofelementen. De sectoren *Medisch* (0,02%, vooral ingekapselde bronnen) en *Overig* (0,001%) staan qua jaarlijks afgevoerde activiteit op de vierde en vijfde plaats.

Met uitzondering van enkele relatief zeer kleine stromen worden alle stromen met kunstmatige activiteit aangemerkt als radioactieve afvalstoffen. De eindbestemming van al deze radioactieve afvalstoffen is de COVRA. De eindbestemming van de meeste radioactieve afvalstoffen van natuurlijke oorsprong is een aangewezen deponie.

#### *Belangrijkste stromen (massa)*

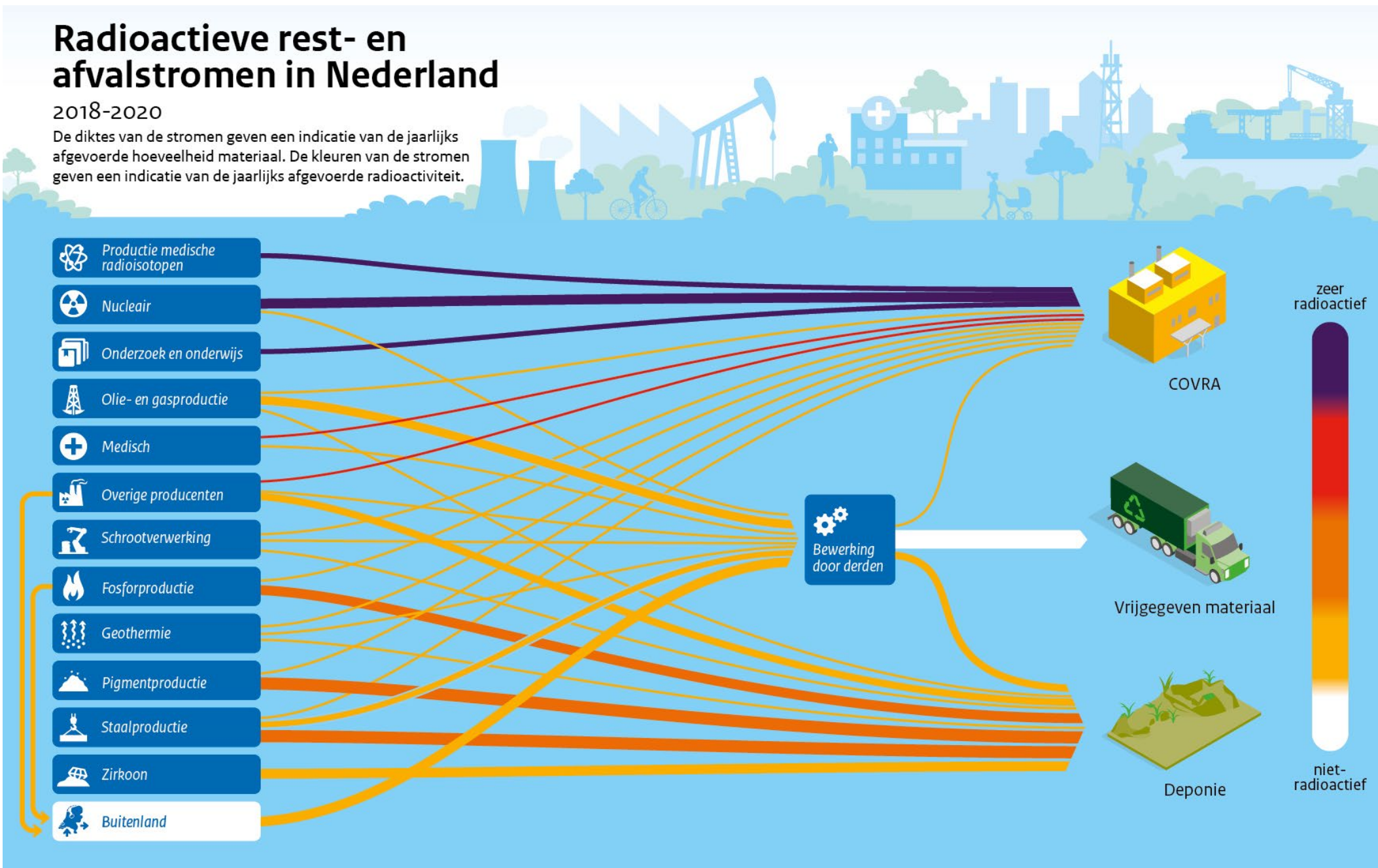
De stromen van radioactieve rest- en afvalstoffen kunnen ook worden beschouwd in termen van afgevoerde massa. In totaal is in de periode 2018-2020 gemiddeld jaarlijks  $8,7 \times 10^4$  ton aan radioactieve afvalstoffen afgevoerd. Dit is inclusief de massa van specifiek vrijgegeven materialen. Voor 97% van de massa ( $8,5 \times 10^4$  ton) was de eindbestemming een aangewezen deponie. Het grootste deel van de totaal afgevoerde massa is afkomstig uit de sectoren *Pigmentproductie* (53%) en *Staalproductie* (37%), beide bestaande uit één onderneming. Een orde van grootte kleiner zijn de stromen afkomstig uit de sectoren *Nucleair* (2,4%) en *Zirkoon* (1,8%). Ook voor deze sectoren geldt dat het leeuwendeel (van de massa) afkomstig is van één onderneming.

Indien de eenmalige stromen uit de sector *Fosforproductie* analoog aan de andere stromen worden uitgemiddeld over de periode 2018-2020, dan bedragen deze in totaal 5% van de afgevoerde massa radioactieve afvalstoffen. Ook deze stromen zijn afkomstig van één onderneming. Met uitzondering van  $2,1 \times 10^3$  ton, die vanuit de sector *Nucleair* is afgevoerd naar de COVRA, is praktisch de gehele hierboven genoemde totale massa radioactieve afvalstoffen afgevoerd naar een aangewezen deponie

# Radioactieve rest- en afvalstromen in Nederland

2018-2020

De diktes van de stromen geven een indicatie van de jaarlijks afgevoerde hoeveelheid materiaal. De kleuren van de stromen geven een indicatie van de jaarlijks afgevoerde radioactiviteit.



Figuur 2 Radioactieve rest- en afvalstromen in Nederland in de periode 2018-2020.

### *Radioactieve reststoffen*

Radioactieve reststoffen zijn voornamelijk afkomstig van de sectoren die grote hoeveelheden materialen met radioactiviteit van natuurlijke oorsprong voorhanden hebben. In totaal is er in de periode 2018-2020 gemiddeld  $1,5 \times 10^4$  ton (14 GBq) per jaar aan radioactieve reststoffen voor bewerking afgevoerd naar de sector *Decontaminatie, ontmanteling en bewerking*. Dit is inclusief  $1,25 \times 10^4$  ton (0,1 GBq) aan (delen van) gebruikte offshore-platformen. Indien de platformen, die slechts voor een zeer klein deel bestaan uit 'radioactieve massa', buiten beschouwing worden gelaten, dan gaat het om  $2,5 \times 10^3$  ton per jaar. Hiervan is ca. 55% (27% van de activiteit) afkomstig uit het buitenland. 34% van de massa (62% van de activiteit) is afkomstig van de sector *Olie- en gasproductie*. Bijna de helft daarvan is afkomstig van één onderneming.

### *Bewerking van radioactieve reststoffen*

Een bijzondere sector is de sector *Decontaminatie, ontmanteling en bewerking*, die grote hoeveelheden radioactieve reststoffen ontvangt van andere sectoren. Na bewerking van deze reststoffen resteren grote hoeveelheden vrijgegeven afvalstoffen, en een in verhouding beperkte hoeveelheid radioactieve afvalstoffen. De als radioactief aan te merken massa (en het volume) wordt dus aanzienlijk gereduceerd. De hoeveelheid activiteit blijft echter praktisch ongewijzigd. De ontstane radioactieve afvalstoffen worden vooral afgevoerd naar aangewezen deponieën, en in mindere mate naar de COVRA. In het geval van kledingreiniging gaat daarnaast ook een deel van de aangevoerde activiteit terug naar de aanbieders. Het bepalen van de hoeveelheden vrijgegeven materiaal valt buiten de scope van dit onderzoek.

### *Afvoer naar en aanvoer uit buitenland*

Een hoeveelheid radioactieve reststoffen is in de periode 2018-2020 voor bewerking vanuit Nederland afgevoerd naar het buitenland (zie ook Figuur 2). Het betreft reststoffen uit de sectoren *Nucleair, Overig* en *Fosforproductie*. Afgezien van de stromen bestraalde spijstofelementen en verarmd uranium (sector *Nucleair*) zijn geen aanwijzingen gevonden dat dit leidt tot retour van radioactieve afvalstoffen naar Nederland.

Tegelijkertijd is ook een deel van de naar de sector *Ontmanteling, decontaminatie en bewerking* in Nederland aangevoerde radioactieve reststoffen afkomstig van ondernemingen die zijn gevestigd in het buitenland. Bewerking van deze reststoffen leidt tot het ontstaan van een relatief beperkte hoeveelheid radioactieve afvalstoffen, en de afvoer daarvan naar Nederlandse eindverwerkers. Indien offshore-platformen worden beschouwd als radioactieve reststoffen, dan is ca. 60% van de naar de sector aangevoerde massa radioactieve reststoffen afkomstig uit het buitenland. Indien deze stroom in verband met het zeer lage aandeel radioactiviteit buiten beschouwing wordt gelaten, dan gaat het om ca. 23%. In beide gevallen bedraagt het aandeel in de aangevoerde activiteit ca. 27%.



Tabel 3 Reguliere radioactieve rest- en afvalstromen. Voor nadere beschrijving zie betreffende hoofdstuk.

Sector	Aantal ondernemingen	Belangrijkste radioactieve rest- en afvalstoffen	Totale jaarlijkse afvoer (2018-2020)					
			Bewerker		Deponie		COVRA	
			(ton)	(GBq)	(ton)	(GBq)	(ton)	(GBq)
Nucleair	4	Opwerkingsresiduen, harsen, operationele afvalstoffen, historisch afval	-		-		$2,2 \times 10^3$	$4,6 \times 10^7$
		Besmette kleding	$4,5 \times 10^0$	$1 \times 10^{-1}$	-		-	
Productie medische isotopen	8	Reactor-route: Bestraalde splijtstofelementen, harsen, uraniumverzamelers	-		-		$7,2 \times 10^1$	$7,0 \times 10^7$
		Cyclotron-route: Geactiveerde materialen	-		-		$2 \times 10^0$	$1 \times 10^0$
Medisch	93	SZA, ingekapselde bronnen, jodiumzaadjes, open radioactieve afvalstoffen, gebruikte generatoren	-		-		$> 3,6 \times 10^0$	$2,7 \times 10^4$
		Gebruikte generatoren	onbekend		-		-	
Onderzoek en onderwijs	69	Bestraalde splijtstofelementen, harsen, ingekapselde bronnen, open bronnen	-		-		$>6,9 \times 10^{-1}$	$1,3 \times 10^6$
Pigmentproductie	1	Filterkoek, filterdoek, besmette onderdelen	-		$4,6 \times 10^4$	$1,2 \times 10^2$	$4 \times 10^0$	$9 \times 10^{-1}$
Staalproductie	1	Filterkoek, slib	-		$3,2 \times 10^4$	$3,7 \times 10^2$	-	
		Ingekapselde bronnen	-		-		$< 1 \times 10^{-1}$	$9 \times 10^{-1}$
		AVI-slib	$1,5 \times 10^2$	$1,3 \times 10^0$	-		-	
Zirkoon	Ca. 200	Zirkoonhoudende afvalstoffen	-		$1,6 \times 10^3$	$3,4 \times 10^0$	-	

Sector	Aantal ondernemingen	Belangrijkste radioactieve rest- en afvalstoffen	Totale jaarlijkse afvoer (2018-2020)					
			Bewerker		Deponie		COVRA	
			(ton)	(GBq)	(ton)	(GBq)	(ton)	(GBq)
Olie- en gasproductie	11	Scale, overige vaste rad. afvalstoffen	$5,8 \times 10^0$	onbekend	$4,1 \times 10^0$	onbekend	$3 \times 10^{-1}$	onbekend
		Sludge en sludge-achtig materiaal, onderdelen en schroot, filtermateriaal	$8,6 \times 10^2$	$1,2 \times 10^1$	-	-	-	-
		(Delen van) platformen	Ca. $5 \times 10^3$	onbekend	-	-	-	-
Geothermie	Onbekend (27 doubletten <sup>19</sup> )	Filtermateriaal, overige vaste afvalstoffen	-		$2,0 \times 10^1$	$8 \times 10^{-2}$	$1 \times 10^{-1}$	$6 \times 10^{-2}$
		Sludge, onderdelen en schroot	$9 \times 10^1$	$8 \times 10^{-1}$	-	-	-	-
Schrootverwerking	3	Schroot	$1,3 \times 10^1$	$1 \times 10^{-2}$	$2,0 \times 10^1$	$1 \times 10^{-1}$	$1,2 \times 10^0$	$4,1 \times 10^1$
Fosforproductie	1	Diverse eenmalige stromen	-		$4,4 \times 10^3$	$1,6 \times 10^2$	$1,8 \times 10^0$	$6,1 \times 10^0$
Overig	Ca. 400	Ingekapselde bronnen, slakkenwol, open radioactieve afvalstoffen	-		$2,1 \times 10^2$	$8 \times 10^{-1}$	$< 1 \times 10^0$	$1,1 \times 10^3$
		Sludge, besmette onderdelen	$1,2 \times 10^0$	$> 5 \times 10^{-2}$	-		-	
Ontmanteling, decontaminatie en bewerking	17	Vacuümdestillaat, scale, overige vaste radioactieve afvalstoffen, residu van kledingreiniging, ontmantelde bronnen	-		$> 1,5 \times 10^2$	$9,3 \times 10^0$	$8,8 \times 10^0$	$> 3,6 \times 10^0$
Buitenland	-	(Delen) boorplatforms, besmette kleding	$8,9 \times 10^3$	5,2	-	-	-	-
<b>Totaal</b>	<b>Ca. 800</b>		<b><math>1,5 \times 10^4</math></b>	<b>19,4</b>	<b><math>8,5 \times 10^4</math></b>	<b><math>6,6 \times 10^2</math></b>	<b><math>2,3 \times 10^3</math></b>	<b><math>1,2 \times 10^8</math></b>

<sup>19</sup> De combinatie van twee naast elkaar gelegen boorputten wordt in de geothermie een 'doublet' genoemd, zie hoofdstuk 12 over Geothermie.

Voor sommige sectoren geldt dat geen of niet-volledige informatie beschikbaar is gekomen over de afgevoerde radioactieve rest- en afvalstoffen. Dit is in Tabel 3 aangegeven met 'onbekend' respectievelijk een '>'-teken.

In het vervolg van deze paragraaf wordt per sector nader ingegaan op de hoeveelheden, herkomst en beheerroutes.

### 3.1.1 *Nucleair*

De door de sector *Nucleair* afgevoerde activiteit is voor meer dan 97% het gevolg van de productie van elektriciteit met behulp van een kernreactor. Het betreft één onderneming. Naast de hoogradioactieve warmte-producerende residuen, die ontstaan bij de opwerking van bestraalde splijtstofelementen, gaat het daarbij om niet-warmte-producerende opwerkingsresiduen en diverse typen operationele radioactieve afvalstoffen. Indien wordt gekeken naar de afgevoerde massa, dan zien de verhoudingen er anders uit: 96% van de massa van de door sector *Nucleair* afgevoerde de radioactieve rest- en afvalstoffen betreft verarmd uranium, afkomstig van uraniumverrijking<sup>20</sup>. Ook dit betreft één onderneming.

Bijzonder aan de sector *Nucleair* is daarnaast dat het de enige sector is waar afvalstoffen op grote schaal op locatie worden geconditioneerd, alvorens te worden aan afgevoerd naar de COVRA. Nadere details over de radioactieve rest- en afvalstoffen uit de sector *Nucleair* zijn opgenomen in hoofdstuk 4.

### 3.1.2 *Productie medische isotopen*

Binnen deze sector worden isotopen geproduceerd via de 'reactor-route' en de 'cyclotron-route'. De reguliere productie van radioactieve rest- en afvalstoffen in deze sector bedroeg in de periode 2018-2020 gemiddeld jaarlijks in totaal  $7,0 \times 10^7$  GBq (74 ton), die vrijwel volledig wordt bepaald door de afvalstoffen die ontstaan op de reactor-route. De activiteit wordt bepaald door de vloeibare afvalstoffen en de bestraalde splijtstofelementen. Daarnaast worden hoogactieve 'uranium-verzamelfilters' en harsen afgevoerd. Al deze afvalstoffen zijn vrijwel geheel toe te rekenen aan één onderneming. De hoeveelheid rest- en afvalstoffen afkomstig van de zeven ondernemingen die isotopen produceren via de cyclotron-route is één of meerdere ordes van grootte kleiner.

Nadere details over de radioactieve rest- en afvalstoffen uit de sector *Productie medische isotopen* zijn opgenomen in hoofdstuk 5.

### 3.1.3 *Medisch*

De sector *Medisch* bestaat uit 93 ondernemingen, waarvan 79 medische instellingen (ziekenhuizen), en 14 dienstverlenende ondernemingen. De medische instellingen zijn verder onder te verdelen in 24 grotere (academische en specialistische) en 55 kleinere medische instellingen. Van de 93 ondernemingen voeren er slechts 19 radioactieve afvalstoffen af. Deze radioactieve afvalstoffen bevatten in praktisch alle gevallen

<sup>20</sup> In het Nederlandse *Nationaal Programma radioactief afval* is het verarmd uranium dat in Frankrijk wordt omgezet in uraniumoxide en opgeslagen bij COVRA aangemerkt als radioactieve afvalstof.

enkel kunstmatige radionucliden. Ook worden zeer kleine hoeveelheden splijtstofhoudende afvalstoffen geproduceerd.

Door de sector is in de periode 2018-2020 jaarlijks gemiddeld in totaal  $2,7 \times 10^4$  GBq afgevoerd naar de COVRA. Deze activiteit wordt vrijwel volledig bepaald door gebruikte hoogactieve ingekapselde bronnen, waarvan 99,9% afkomstig is van de grotere medische instellingen. Van de radioactieve afvalstoffen, niet zijnde ingekapselde bronnen (de 'open radioactieve afvalstoffen'), is 80% van de massa en de activiteit afkomstig van de grotere medische instellingen, en 20% van dienstverleners.

De afvoer van reguliere radioactieve afvalstoffen door de kleinere medische instellingen is over het algemeen beperkt tot enkele ingekapselde bronnen per jaar. Deze bronnen worden afgevoerd naar de COVRA of retour gezonden naar de leverancier.

Nadere details over de radioactieve rest- en afvalstoffen uit de sector *Medisch* zijn opgenomen in hoofdstuk 6.

#### 3.1.4 *Onderzoek en onderwijs*

De sector *Onderzoek en Onderwijs* bestaat uit 69 ondernemingen, waaronder 23 private en publieke onderzoeksinstellingen en 12 universiteiten. Eén van deze universiteiten exploiteert een nucleaire onderzoeksreactor. De overige 34 ondernemingen betreffen onderwijsinstellingen en musea, die geen radioactieve afvalstoffen afvoeren.

De geproduceerde radioactieve afvalstoffen bevatten in praktisch alle gevallen enkel kunstmatige radionucliden. De activiteit van de afvalstoffen afkomstig van deze sector wordt voor meer dan 99% bepaald door de 'nucleaire' afvalstoffen afkomstig van de onderzoeksreactor. De activiteit van de radioactieve afvalstoffen van de overige ondernemingen binnen de sector wordt bepaald door gebruikte ingekapselde bronnen. Er zijn weinig cijfers beschikbaar gekomen over de massa's van de afvalstromen. De afvoerbepemming is in alle gevallen de COVRA.

Nadere details over de radioactieve rest- en afvalstoffen uit de sector *Onderzoek en onderwijs* zijn opgenomen in hoofdstuk 7.

#### 3.1.5 *Pigmentproductie*

De - qua massa - grootste stroom radioactieve afvalstoffen in Nederland is afkomstig uit de sector *Pigmentproductie*. Deze sector bestaat uit één onderneming, die zich richt op de productie van pigment uit titaniumerts. Tijdens het productieproces ontstaat een relatief zeer grote stroom materiaal met registratieplichtige concentraties radioactiviteit van natuurlijke oorsprong. Omdat geen hergebruikroute beschikbaar is, wordt dit materiaal als radioactieve afvalstof afgevoerd naar een aangewezen deponie. Naast deze zeer grote stroom zijn er enkele veel kleinere stromen radioactief afval, die jaarlijks of incidenteel worden afgevoerd naar een deponie of de COVRA.

Nadere details over de radioactieve rest- en afvalstoffen uit de sector *Pigmentproductie* zijn opgenomen in hoofdstuk 8.

### 3.1.6 *Staalproductie*

De - qua massa/volume - één na grootste stroom radioactieve afvalstoffen is afkomstig uit de sector *Staalproductie*. Deze sector bestaat uit één onderneming, die zich richt op de productie van staal uit ijzererts. Tijdens het productieproces ontstaan verschillende grote stromen materiaal met registratieplichtige of vergunningplichtige concentraties radioactiviteit van natuurlijke oorsprong. Voor deze materialen zijn – met uitzondering van een deel van de filterkoek en een deel van het slib, die binnen het productieproces opnieuw worden ingezet - geen hergebruikroutes beschikbaar. Onder het regime van een specifieke vrijgavebeschikking worden deze materialen voor stort afgevoerd naar een aangewezen deponie. Voor een kleinere stroom is voorafgaand aan stort bewerking nodig, wat de reden is dat dit materiaal als radioactieve reststof wordt afgevoerd naar een externe dienstverlener. Naast deze materialen met radioactiviteit van natuurlijke oorsprong worden er incidenteel ingekapselde radioactieve bronnen van kunstmatige oorsprong als radioactieve afvalstof afgevoerd naar de COVRA.

Nadere details over de radioactieve rest- en afvalstoffen uit de sector *Staalproductie* zijn opgenomen in hoofdstuk 9.

### 3.1.7 *Zirkoon*

De sector *Zirkoon* bestaat uit ca. 200 ondernemingen. Van hen gebruiken er circa 170 kleine hoeveelheden zirkoonhoudend straalgrit, die na gebruik worden ingezameld en als registratieplichtige radioactieve afvalstof worden aangemerkt. De overige ondernemingen hebben over het algemeen grotere hoeveelheden zirkoonhoudende materialen voorhanden, voor zeer uiteenlopende toepassingen. Alle zirkoonhoudende materialen zijn registratieplichtig, en worden uiteindelijk als registratieplichtige radioactieve afvalstof gestort op een aangewezen deponie.

Grofweg een derde van de afgevoerde massa aan radioactieve afvalstoffen is afkomstig van één onderneming. Het betreft residuen afkomstig van de reiniging van zirkooncoating. Andere grote stromen zijn ovenpuin en gebruikt vormzand. Een andere mogelijk belangrijke stroom betreft gebruikt registratieplichtig straalgrit, waarvan een onbekende hoeveelheid naar het buitenland wordt afgevoerd.

Nadere details over de radioactieve rest- en afvalstoffen uit de sector *Zirkoon* zijn opgenomen in hoofdstuk 10.

### 3.1.8 *Olie- en gasproductie*

In totaal elf Nederlandse en buitenlandse ondernemingen houden zich op Nederlands grondgebied bezig met de winning van olie en gas. Deze werkzaamheden leiden tot de productie van diverse typen radioactieve rest- en afvalstoffen, voornamelijk van natuurlijke oorsprong. Ongeveer 40 massa% hiervan is afkomstig van één onderneming.

Qua hoeveelheid zijn sludges, besmette materialen en filterafval de belangrijkste stromen, die praktisch allemaal als radioactieve reststof voor bewerking of decontaminatie worden afgevoerd. Een bijzondere stroom wordt gevormd door (delen van) platformen met radioactiviteit van natuurlijke oorsprong, die als radioactieve reststof voor ontmanteling en decontaminatie worden afgevoerd. Enerzijds betreft dit qua massa een zeer grote stroom, anderzijds geldt dat de radioactieve component zowel qua massa als qua activiteit relatief zeer klein is.

Materialen die als radioactieve afvalstof worden afgevoerd, zijn beperkt tot relatief kleine hoeveelheden scale en overige vaste radioactieve afvalstoffen. De eindbestemming voor deze materialen is over het algemeen een aangewezen deponie.

Nadere details over de radioactieve rest- en afvalstoffen uit de sector *Olie- en gasproductie* zijn opgenomen in hoofdstuk 11.

### 3.1.9 *Geothermie*

Op het moment van schrijven van dit rapport zijn 27 zogenoemde geothermische 'doubletten' voor de winning van warmte uit de diepe ondergrond in gebruik. Daarnaast zijn nog 40 doubletten in ontwikkeling, wat illustreert dat de sector volop in ontwikkeling is. De productie van radioactieve rest- en afvalstoffen – alle van natuurlijke oorsprong – is nog niet goed in beeld, en is sterk afhankelijk van de eigenschappen van de 'formatie' waaruit warmte wordt gewonnen. De hoeveelheid rest- en afvalstoffen varieert daardoor sterk per installatie. De belangrijkste stromen binnen de sector *Geothermie* betreffen filterafval, sludges en besmette materialen. Voor het grootste deel van het filtermateriaal geldt dat het in de periode 2018-2020 op locatie was opgeslagen, in afwachting van het beschikbaar komen van een specifieke vrijgaveroute. Sludges en besmette onderdelen worden als radioactieve reststoffen voor bewerking afgevoerd, en volgen min of meer dezelfde routes als vergelijkbare stromen uit de sector *Olie- en gasproductie*. Belangrijke verschillen zijn echter dat verwijdering van kwik en koolwaterstoffen uit sludges uit de sector *Geothermie* niet of nauwelijks nodig is, en dat de hoeveelheid radioactieve besmetting van onderdelen hoog is in vergelijking met de sector *Olie- en gasproductie*.

Nadere details over de radioactieve rest- en afvalstoffen uit de sector *Geothermie* zijn opgenomen in hoofdstuk 12.

### 3.1.10 *Schrootverwerking*

Een relatief kleine stroom radioactieve rest- en afvalstoffen is afkomstig van de sector *Schrootverwerking*. In Nederland zijn meer dan honderd ondernemingen actief die gebruikte metalen ('schroot') inzamelen, verwerken en opnieuw in de keten brengen. Het komt geregeld voor dat daarbij materiaal wordt aangetroffen met een verhoogd stralingsniveau. Materiaal dat op grond van de activiteitsconcentratie registratie- of vergunningplichtig is, wordt afhankelijk van de mogelijkheden tot decontaminatie of andere bewerking aangemerkt als radioactieve rest- of afvalstof.

In de periode 2018-2020 is gemiddeld ca. 21 ton (41 GBq) per jaar als radioactieve afvalstof afgevoerd. Deze 41 GBq werd vrijwel volledig

bepaald door twee aangetroffen ingekapselde Co-60-bronnen, die samen met een relatief kleine hoeveelheid radioactiviteit van kunstmatige oorsprong zijn afgevoerd naar de COVRA. Indien wordt gekeken naar afgevoerde massa, dan betrof het vooral (94%) schroot met radioactiviteit van natuurlijke oorsprong, dat als registratieplichtige radioactieve afvalstof is afgevoerd naar een aangewezen deponie. Daarnaast is gemiddeld 13 ton (0,01 GBq) per jaar als radioactieve reststof voor decontaminatie afgevoerd naar de sector *Ontmanteling, decontaminatie en bewerking*.

Nadere details over de radioactieve rest- en afvalstoffen uit de sector *Schrootverwerking* zijn opgenomen in hoofdstuk 13.

#### 3.1.11 *Fosforproductie*

De sector *Fosforproductie* bestaat uit één onderneming, waar tot 2012 fosfor werd geproduceerd uit fosforeerts. Als gevolg van de ontmanteling van de productie-installaties en de sanering van het terrein waar deze installaties waren gevestigd, zijn in de periode 2018-2020 eenmalig grote hoeveelheden materialen vrijgekomen met radioactiviteit van voornamelijk natuurlijke oorsprong. In verband met de vergelijkbaarheid met de andere sectoren zijn deze eenmalige hoeveelheden gemiddeld over de periode 2018-2020.

Voor een aantal materialen afkomstig uit de sector *Fosforproductie* was een hergebruikroute in het buitenland beschikbaar. Deze materialen zijn als radioactieve reststof afgevoerd, zonder dat residuen retour zijn gezonden. Registratieplichtige materialen waarvoor geen hergebruikroute beschikbaar was, zijn als radioactieve afvalstof voor stort afgevoerd naar een aangewezen deponie. Voor een aantal materialen met vergunningplichtige concentraties radioactiviteit zijn specifieke vrijgaveroutes gecreëerd, alle met als eindbestemming een aangewezen deponie. Vermeldenswaardig is dat in deze sector voor het eerst gebruik is gemaakt van de mogelijkheid van stort van materiaal met vergunningplichtige activiteitsconcentraties kunstmatige radioactiviteit onder specifieke vrijgave. Een gevolg van het breed toepassen van het instrument specifieke vrijgave voor stort is dat vanuit de sector *Fosforproductie* relatief veel activiteit is afgevoerd naar aangewezen deponieën, in verhouding tot de hoeveelheid afgevoerd materiaal. Tot slot is een beperkt aantal gebruikte ingekapselde bronnen als radioactieve afvalstof afgevoerd naar de COVRA.

Nadere details over de radioactieve rest- en afvalstoffen uit de sector *Fosforproductie* zijn opgenomen in hoofdstuk 14.

#### 3.1.12 *Overig*

Een groot aantal ondernemingen kan niet worden ingedeeld, en/of voert slechts kleine hoeveelheden radioactieve rest- en afvalstoffen af. Deze ondernemingen zijn opgenomen in de sector *Overig*. Qua massa/volume is ongeveer 90% afkomstig van één onderneming. Het betreft een stroom radioactieve reststoffen die in het buitenland worden hergebruikt, en daarnaast een stroom afvalstoffen die naar het buitenland wordt afgevoerd voor berging in een ondergrondse faciliteit. Deze laatste stroom is deels als registratieplichtig aan te merken. Een andere onderneming is verantwoordelijk voor 7% van de massa/volume.

Het betreft registratieplichtige radioactieve afvalstoffen van natuurlijke oorsprong, die worden afgevoerd naar een aangewezen deponie. Qua activiteit is het beeld sterk verschillend: 99% van de uit deze sector afgevoerde activiteit bestaat uit gebruikte ingekapselde bronnen. Deze bronnen zijn gebruikt in zeer uiteenlopende toepassingen, en afgevoerd naar de COVRA.

Nadere details over de radioactieve rest- en afvalstoffen uit de sector *Overig* zijn opgenomen in hoofdstuk 15.

### 3.1.13 *Ontmanteling, decontaminatie en bewerking*

Radioactieve reststoffen worden door diverse sectoren voor bewerking afgevoerd naar de sector *Ontmanteling, decontaminatie en bewerking*. Bewerking van deze reststoffen leidt in algemene zin tot het afscheiden van een vaak grote hoeveelheid (massa) vrijgesteld materiaal, en tot de productie van een - vergeleken met de aangevoerde massa - bescheiden hoeveelheid radioactieve afvalstoffen.

Het overgrote deel van de aangevoerde reststoffen betreft materiaal met radioactiviteit van natuurlijke oorsprong. Een klein deel betreft radioactiviteit van kunstmatige oorsprong. In beide gevallen is een deel van het aangevoerde materiaal afkomstig uit het buitenland. Daarnaast worden ook gebruikte ingekapselde radioactieve bronnen aangevoerd.

Het grootste deel van de (massa van de) radioactieve afvalstoffen die resteren na bewerking van de reststoffen wordt afgevoerd naar een aangewezen deponie. Het betreft zowel registratieplichtig als vergunningplichtig materiaal, waarbij voor het laatste verschillende specifieke vrijgaveroutes worden gebruikt. Ook is in de periode 2018-2020 vergunningplichtig materiaal afkomstig van de sector *Ontmanteling, decontaminatie en bewerking* nuttig hergebruikt op een aangewezen deponie. Ten slotte is een hoeveelheid vergunningplichtig radioactief afval afgevoerd naar de COVRA.

Nadere details over de radioactieve rest- en afvalstoffen uit de sector *Ontmanteling, decontaminatie en bewerking* zijn opgenomen in hoofdstuk 16.

### 3.1.14 *Stromen van en naar het buitenland*

Niet opgenomen in Tabel 3 zijn enkele stromen naar het buitenland. In de periode 2018-2020 zijn vanuit diverse sectoren radioactieve rest- en afvalstoffen afgevoerd naar ondernemingen in het buitenland, met het oog op hergebruik. Het betreft jaarlijks gemiddeld 400 ton (7 GBq) filterkoek (sector *Overig*), 480 ton (ca. 5 GBq) fosfaatfilterkoek (sector *Fosforproductie*) en mogelijk een onbekende hoeveelheid gebruikte keramische straalmiddelen (sector *Zirkoon*). Er zijn geen aanwijzingen gevonden dat dit leidt tot retour van radioactieve afvalstoffen. Daarnaast is jaarlijks 1.500 ton (ca. 4 GBq) wastorenslib als afvalstof afgevoerd naar het buitenland, voor berging in een ondergrondse deponie. Een deel hiervan zou op grond van de activiteitsconcentratie als radioactieve afvalstof moeten worden aangemerkt.

Vanuit de sector *Nucleair* zijn daarnaast bestraalde splijtstofelementen en verarmd uranium naar het buitenland afgevoerd, voor respectievelijk



opwerking en conversie. De opwerkingsresiduën en het bewerkte verarmde uranium worden uiteindelijk retour gezonden naar Nederland, en direct afgevoerd naar de COVRA. Qua activiteit zijn de retour ontvangen stromen min of meer gelijk aan de verzonden stromen.

Met het oog op bewerking zijn in de periode 2018-2020 vanuit het buitenland radioactieve reststoffen aangevoerd naar de sector *Ontmanteling, decontaminatie en bewerking*. Het betrof jaarlijks gemiddeld ca. 7.500 ton (<0,1 GBq) aan (delen van) boorplatformen en ca. 1.400 ton (5,2 GBq) aan besmette kleding. De activiteit van de uiteindelijk aan buitenlandse ondernemingen toe te rekenen radioactieve afvalstoffen die zijn afgevoerd naar Nederlandse eindverwerkers is in dit onderzoek bepaald op ca. 0,7 GBq per jaar.

Nadere informatie over de afvoer en aanvoer van radioactieve rest- en afvalstoffen naar het buitenland is te vinden in de hoofdstukken over de betreffende sectoren.

### 3.2 Prognoses, inclusief ontmanteling

Per sector is een inschatting gemaakt van de toekomstige ontwikkeling van de reguliere productie van radioactieve rest- en afvalstoffen, en van de radioactieve inventaris die zal vrij komen bij ontmanteling van installaties. Hierbij is uitgegaan van de momenteel geldende regelgeving inzake vrijstelling en vrijgave. Eventueel nieuw beleid inzake (specifieke) vrijgave kan een grote invloed hebben op de onderstaande conclusies.

Voor de - qua activiteit - belangrijkste stromen reguliere radioactieve afvalstoffen (de stromen afkomstig van elektriciteitsproductie met behulp van een kernreactor in de sector *Nucleair*) geldt dat de sluitingsdatum van de kerncentrale Borssele bepalend is. Uitgaande van de afspraken in het coalitieakkoord Rutte IV zal dat zijn na 2033. Na sluiting zullen de verwijderde splijtstofelementen enkele jaren moeten afkoelen, en vervolgens zullen deze naar verwachting voor opwerking worden afgevoerd naar Frankrijk. De laatste opwerkingsresiduen zullen dan - afhankelijk van de precieze sluitingsdatum van de kerncentrale - mogelijk rond 2050 retour worden gezonden naar Nederland. Vanaf dat moment zal sprake zijn van een substantiële reductie van de jaarlijks naar de COVRA aangevoerde activiteit. Tegelijkertijd geldt dat de eventuele bouw van één of meer nieuwe kernreactoren in Nederland zal leiden tot een substantiële toename van de jaarlijkse productie van radioactieve afvalstoffen. Het bepalen van deze impact valt buiten de scope van dit onderzoek, in de studie van COVRA is hier echter wel aandacht aan besteed. Voor prognoses voor de overige sectoren wordt verwezen naar respectievelijke hoofdstukken.

Daarnaast zijn - voor zover mogelijk - de eenmalige stromen die vrijkomen als gevolg van de ontmanteling van momenteel bestaande installaties in beeld gebracht. Deze 'radioactieve inventaris' is per sector opgenomen in Tabel 4 op de volgende pagina. Deze radioactieve inventaris is enkel gegeven in massa. Informatie over de activiteit van de inventaris is niet (voldoende) beschikbaar gekomen.

Uit Tabel 4 blijkt dat de radioactieve inventaris in de sector *Nucleair* het meest omvangrijk is. Het betreft de te verwachten radioactieve rest- en afvalstoffen als gevolg van de ontmanteling van de kerncentrales Borssele en Dodewaard, en in veel mindere mate de installaties voor uraniumverrijking. Indien wordt aangenomen dat de bedrijfsduur van de kerncentrale Borssele met tien jaar wordt verlengd, dan zal de ontmanteling ervan min of meer tegelijk plaatsvinden met die van de kerncentrale Dodewaard. De beschikbaarheid van voldoende capaciteit en infrastructuur voor ontmantelingswerkzaamheden en radioactief afvalbeheer kan dan een aandachtspunt worden.

Voor de sector *Productie medische isotopen* is de radioactieve inventaris geschat op  $2-4 \times 10^3$  ton, waaraan de 16 cyclotrons de grootste bijdrage leveren. In de sector *Onderzoek en onderwijs* wordt de radioactieve inventaris bepaald door de ontmanteling van kernreactoren. Dat betreft vooral de Hoger Onderwijs Reactor in Delft, en in mindere mate de voormalige Athene-reactor in Eindhoven. Daarnaast moet rekening worden gehouden met de ontmanteling van enkele kleinere installaties. Voor de sector *Overig* is de inventaris geschat op  $1,3 \times 10^3$  ton, en voor de sector *Olie- en gasproductie* wordt de uiteindelijke hoeveelheid radioactieve afvalstoffen geschat op tussen de 100 en 400 ton.

Tabel 4 Geschatte inventaris radioactieve rest- en afvalstoffen bij ontmanteling per sector

Sector	Inventaris (ton)	Opmerkingen
Nucleair	$6 \times 10^3$ (rest/afvalstoffen)	Voornamelijk beton en metaal, bepaald door kernenergiecentrales Borssele en Dodewaard.
Productie medische isotopen	$2 - 4 \times 10^3$ (rest/afvalstoffen)	Voornamelijk beton en metaal. Grootste bijdrage van de cyclotron-route.
Medisch	Onbekend	Waarschijnlijk kleiner dan in de sector <i>Productie medische isotopen</i> . Naar verwachting voornamelijk bepaald door de drie installaties voor protonetherapie.
Onderzoek en onderwijs	$4 - 7 \times 10^2$ (rest/afvalstoffen)	Voornamelijk bepaald door onderzoeksreactor en cyclotrons. Betreft orde van grootte.
Pigmentproductie	Ca. 100 (rest/afvalstoffen)	Vrijwel alleen radioactieve rest- en afvalstoffen van voornamelijk natuurlijke oorsprong.
Staalproductie	Onbekend	Vrijwel alleen radioactieve rest- en afvalstoffen van voornamelijk natuurlijke oorsprong.
Zirkoon	Weinig tot geen	Vrijwel alleen radioactieve rest- en afvalstoffen van voornamelijk natuurlijke oorsprong.
Olie- en gasproductie	100 – 400 (afvalstoffen)	Afhankelijk van eventuele hergebruikplannen voor platforms. Betreft radioactieve afvalstoffen van voornamelijk natuurlijke oorsprong, die ontstaan na decontaminatie.
Geothermie	$3 \times 10^3$ (rest/afvalstoffen)	Voornamelijk installatiedelen met radioactiviteit van natuurlijke oorsprong.
Schrootverwerking	Verwaarloosbaar	Naar verwachting verwaarloosbaar ten opzichte van die in de overige sectoren.
Fosforproductie	Geen	Ontmanteling en sanering is in 2020 voltooid.
Overig	$1,3 \times 10^3$ (rest/afvalstoffen)	Deels bepaald door de 'katalysatorberging', waar aanzienlijke hoeveelheden splijtstofhoudend materiaal aanwezig zijn, en daarnaast vooral slakkenwol.
Ontmanteling, decontaminatie en bewerking	Onbekend	Vrijwel alleen radioactieve rest- en afvalstoffen van voornamelijk natuurlijke oorsprong.

Het is bij gebrek aan betrouwbare cijfers niet gelukt een inventaris te bepalen voor de sector *Medisch*. Naar verwachting zal de inventaris worden bepaald door de 3 protonentherapiecentra, en in veel mindere mate door de 134 hoogenergetische versnellers en de 64 radionuclidenlaboratoria. Qua omvang is de verwachting dat deze kleiner zal zijn dan die van de sector *Productie medische isotopen*.

Een bijzondere sector is de sector *Overig*. Deze sector bevat een onderneming die een berging beheert, met daarin 696 ton (ca. 1.270 GBq) materiaal dat als 'spleijstofhoudend' is aangemerkt. Afhankelijk van toekomstige beleidsinitiatieven moet dit materiaal mogelijk in de toekomst als spleijstofhoudende afvalstof worden beheerd en afgevoerd. Daarnaast is voor een aantal ondernemingen vastgesteld dat sprake is van een zekere hoeveelheid radioactiviteit van natuurlijke oorsprong in de installaties. Het gaat hierbij om naar schatting in totaal 65 ton (13 GBq) Pb-210-houdend materiaal en 500 ton (5 GBq) slakkenwol.

Voor de sectoren *Pigmentproductie*, *Staalproductie*, *Geothermie* en *Schrootverwerking* moet rekening worden gehouden met een onbekende, maar waarschijnlijk beperkte inventaris radioactieve rest- en afvalstoffen van natuurlijke oorsprong.

Met de voltooiing van de sanering en ontmanteling in 2020 is de radioactieve inventaris in de sector *Fosforproductie* volledig verwijderd.

### 3.3 Impact implementatie richtlijn 2013/59/Euratom

Bij de implementatie van richtlijn 2013/59/Euratom is een aantal grenswaarden voor vrijstelling en vrijgave aangepast of vervallen, en is daarnaast de regelgeving voor sommatie van activiteitsconcentraties aangepast (zie paragraaf 2.7). Deze aanpassingen hebben een impact op de totale hoeveelheid (massa/volume) als radioactieve rest- en afvalstoffen te beheren en af te voeren materiaal, in vergelijking met de periode daarvoor. Dit maakt dat de cijfers in *Tabel 3* moeilijk zijn te vergelijken met cijfers uit eerdere studies, zoals opgenomen in [10] en [4].

De hierboven genoemde impact op hoeveelheden rest- en afvalstoffen geldt vooral voor materialen met verhoogde activiteitsconcentraties Pb-210+ en Po-210 afkomstig uit de sectoren *Staalproductie*, *Olie- en gasproductie*, *Ontmanteling*, *decontaminatie en bewerking* en *Overig*. Voor deze sectoren geldt dat de toename van de hoeveelheid materiaal die als radioactieve afvalstoffen moest worden aangemerkt uiteindelijk beperkt is gebleven door de inzet van het instrument specifieke vrijgave. Voor slakkenwol geldt dat - afhankelijk van de activiteitsconcentraties U-238 en Th-232 - het materiaal als gevolg van het aanpassen van de regels voor sommatie van activiteitsconcentraties na de implementatie van richtlijn 2013/59/Euratom mogelijk vaker kan worden vrijgesteld dan in de periode daarvoor.

Voor de sector *Fosforproductie* is er sprake van eenmalige stromen, wat een vergelijking met de periode vóór de implementatie lastig maakt. Wel zijn er voorbeelden van materialen met verhoogde activiteitsconcentraties Pb-210+ en Po-210, die tot aan de implementatie als

vrijgestelde afvalstof konden worden afgevoerd, en daarna niet meer. Dit geldt ook voor een materiaalstroom met kunstmatige radioactiviteit. Dit is één van de redenen waarom bij het beheer van de radioactieve rest- en afvalstoffen die na 6 februari 2018 vrijkwamen grootschalig gebruik is gemaakt van het instrument specifieke vrijgave.

Voor rest- en afvalstoffen met verhoogde activiteitsconcentraties Pb-210+ en Po-210 uit de sector *Geothermie* is eveneens een toename te verwachten ten opzichte van de periode voor 6 februari 2018. Omdat veel van dit materiaal in de periode 2018-2020 op locatie in opslag is gehouden, is dit echter niet goed vast te stellen. Bovendien is een eventuele toename in deze sector mede het gevolg van de groei van het aantal installaties in Nederland. Het beschikbaar komen in 2021 van een specifieke vrijgaveroute voor stort op een deponie (zie paragraaf 17.4.3) heeft naar verwachting vanaf dat moment weer een dempend effect op de hoeveelheid afgevoerde radioactieve afvalstoffen.

De productie en afvoer van radioactieve rest- en afvalstoffen door de sectoren *Pigmentproductie* en *Zirkoon* is vrijwel ongewijzigd gebleven, omdat in dit afval de nucliden U-238 en Th-232 bepalend zijn. De grenswaarden voor deze nucliden zijn bij de implementatie van richtlijn 2013/59/Euratom ongewijzigd gebleven, en het vervallen van de somregel heeft hierop evenmin invloed.

Voor de radioactieve rest- en afvalstromen met kunstmatige radioactiviteit is bijzonder lastig vast te stellen wat de impact van de implementatie is op de hoeveelheden. Voor enkele stromen binnen de sectoren *Medisch*, *Productie medische isotopen* en *Onderzoek en onderwijs* is de inschatting dat deze potentieel in omvang (massa/volume) enigszins zijn toegenomen, maar dit is inmiddels deels gecompenseerd door de inzet van het instrument specifieke vrijgave. De omvang van deze stromen is qua massa en volume echter veel kleiner dan de stromen met radioactiviteit van natuurlijke oorsprong. Voor de afgevoerde activiteit van de radioactieve rest- en afvalstromen met kunstmatige radioactiviteit geldt dat deze vooral wordt bepaald door de 'nucleaire stromen' en gebruikte ingekapselde bronnen, die ook voor de implementatie van de richtlijn al als radioactieve afvalstoffen moesten worden aangemerkt. Voor de sectoren *Nucleair*, *Productie medische isotopen* en *Onderzoek en onderwijs* geldt dat daardoor zowel volume als activiteit van de grootste stromen radioactieve rest- en afvalstoffen ongewijzigd zijn.

De implementatie van richtlijn 2013/59/Euratom heeft geen impact op de hoeveelheden materialen die op grond van het overschrijden van de grenswaarden voor oppervlaktebesmetting als vergunningplichtige radioactieve rest- en afvalstof moeten worden aangemerkt. Dergelijke materialen zijn vooral te vinden in de sectoren *Olie- en gasproductie*, *Geothermie* en *Overig*.

### 3.4 Specifieke vrijgave

In de periode 2018-2020 zijn in diverse sectoren specifieke vrijgaveroutes gecreëerd en toegepast. Het betrof routes voor materialen uit de sectoren *Staalproductie*, *Fosforproductie* en

*Ontmanteling, decontaminatie en bewerking*, alle met een aangewezen deponie als eindbestemming. De stromen uit de sector *Ontmanteling, decontaminatie en bewerking* waren oorspronkelijk afkomstig uit de sectoren *Olie- en gasproductie* en *Geothermie*. In totaal is in de periode 2018-2020 gemiddeld jaarlijks ca.  $3,6 \times 10^4$  ton ( $5,3 \times 10^2$  GBq) radioactief materiaal via specifieke vrijgaveroutes afgevoerd. Dit komt overeen met ca. 35% van de totale als radioactief aangemerkte afgevoerde massa. Met uitzondering van één stroom betrof het radioactiviteit van natuurlijke oorsprong.

De specifieke vrijgaveroutes bestaan uit één of meerdere hogere grenswaarden, gecombineerd met voorwaarden die zijn gesteld aan het type en de hoeveelheid materiaal, en aan de beheerroute. In de meeste gevallen is daarnaast ook de herkomst van het materiaal gespecificeerd, op het niveau van sector of op het niveau van onderneming. De grenswaarden en voorwaarden zijn vastgelegd in de Verordening basisveiligheidsnormen stralingsbescherming [15], of in individuele beschikkingen. In Bijlage 2 is een overzicht opgenomen van de tot 31 december 2020 vastgestelde hogere grenswaarden voor specifieke vrijgave. Opgemerkt wordt dat na deze datum aanvullende specifieke vrijgaveroutes zijn gecreëerd, die in dit rapport niet zijn beschreven.

### **3.5 Preventie en minimalisatie**

#### **3.5.1**

##### *Algemeen*

Uit Tabel 3 blijkt dat momenteel ca. 15% van de afgevoerde massa die als 'radioactief' is aangemerkt als radioactieve reststof wordt bewerkt. Indien de stroom (delen van) offshore platformen - die voornamelijk bestaat uit 'schone' massa - buiten beschouwing wordt gelaten, bedraagt dit percentage ca. 5%. De rest van de massa wordt als radioactieve afvalstof direct afgevoerd naar een eindbestemming (COVRA of aangewezen deponie). Afvoer naar een eindbestemming betekent dat deze materialen langdurig of definitief worden verwijderd uit de maatschappij. Uit het oogpunt van duurzaamheid kan dit als onwenselijk worden gezien. Daarom is het zinvol om te kijken naar mogelijkheden voor het voorkomen van het ontstaan van radioactief afval (preventie) en het minimaliseren van de hoeveelheid radioactief afval.

De overheid heeft – anders dan een 'zorgplicht' in artikel 10.2 van het Bbs - geen beleid vastgelegd met betrekking tot preventie en minimalisatie. Evenmin zijn er voorbeelden gevonden waarbij de verwachte productie of preventie van radioactief afval is overwogen bij een besluit over de rechtvaardiging van een handeling, of bij een besluit op de aanvraag voor een registratie of vergunning. Uit interviews blijkt dat de kosten voor het beheer en de afvoer van radioactieve afvalstoffen een drijfveer vormen om het ontstaan ervan te voorkomen of te minimaliseren. Met andere woorden lijkt er ondanks het ontbreken van uitgebreide wettelijke voorschriften een prikkel te bestaan voor preventie en minimalisatie. Daarbij is van belang dat afvoer-tarieven zijn vastgesteld per eenheid van volume (COVRA) of per eenheid van massa (deponie). De drijfveer zit daarmee niet zozeer in het minimaliseren van de afgevoerde activiteit (afgezien van de kosten voor afschermingsmaatregelen), maar in het minimaliseren van volume en

massa. Minimalisatie van activiteit is enkel mogelijk door radioactief verval, of door het kiezen voor niet-radioactieve alternatieven (preventie). Minimalisatie van volume of massa is mogelijk door het scheiden van radioactieve en niet-radioactieve componenten of door persen.

Een ander algemeen punt is de specifieke kennis die nodig is voor het minimaliseren van radioactief afval. Doorgaans zal moeten worden onderbouwd dat een maatregel leidt tot reductie van de hoeveelheid radioactieve afvalstoffen, dat wordt voldaan aan de normen voor stralingsbescherming en milieuhygiëne, en dat één en ander juridisch haalbaar is. Daarnaast zal doorgaans ook de economische haalbaarheid moeten worden aangetoond. Dergelijke kennis is niet in alle sectoren in dezelfde mate aanwezig, en zal daarom waar nodig moeten worden ingekocht. Dit maakt het ontwerpen en treffen van maatregelen ter preventie en minimalisatie van radioactieve afvalstoffen niet altijd even eenvoudig. Dit geldt in het bijzonder voor de kleinere ondernemingen, en/of de ondernemingen waar radioactiviteit en straling 'bijproducten' zijn.

Ten slotte blijkt uit de interviews dat het voorkomen of minimaliseren van de productie van radioactieve afvalstoffen vaak niet het enige doel is van veel maatregelen. Vaak zijn overwegingen met betrekking tot stralingsbescherming of onderhoudsintensiteit leidend, en is minimalisatie van radioactief-afvalproductie een bijkomend voordeel.

### 3.5.2 Preventie

Bij ondernemingen is een beperkt aantal voorbeelden van preventie gevonden. Daarbij moet overigens worden aangetekend dat - zeker in de sectoren die werken met grondstoffen met radioactiviteit van natuurlijke oorsprong - alternatieven die niet leiden tot de productie van radioactief afval slechts beperkt voorhanden zijn.

Voorbeelden van preventiemaatregelen die door geïnterviewden werden genoemd zijn:

- Het zoveel als mogelijk gebruiken van radionucliden met korte halveringstijden in (vooral) de sector *Medisch*. Naast een lagere afvalproductie heeft dit vooral als voordeel dat de stralingsbescherming eenvoudiger te organiseren is. Deze strategie leidt er in de sector *Medisch* mede toe dat ongeveer 1% van de jaarlijks aangeschafte activiteit aan open bronnen uiteindelijk als radioactieve afvalstof wordt afgevoerd. Hierbij moet worden aangetekend dat een belangrijk deel van de activiteit het ziekenhuis uiteindelijk met de patiënt verlaat, wat in dit rapport niet verder is beschouwd.
- Het vervangen van ingekapselde bronnen door röntgentoestellen, met als gevolg dat uiteindelijk minder gebruikte ingekapselde bronnen worden afgevoerd. Ook hiervoor geldt dat er naast afval-minimalisatie ook andere overwegingen zijn om deze veranderingen door te voeren, zoals stralingsbescherming, onderhoudsintensiteit, opslag, beveiliging en eventuele borgstelling. Voorbeelden van toepassingen waarvoor dit geldt zijn in vitro-bestraling (*Medisch*), meet- en regeltoepassingen (*Staalproductie*) en niet-destructief onderzoek (*Overig*).

- Het vervangen van Co-60-bronnen door Cs-137-bronnen leidt tot afvoer van minder gebruikte ingekapselde bronnen, omdat Cs-137-bronnen langzamer vervallen, en daarmee langer bruikbaar blijven voor de bedoelde toepassing. Andere overwegingen voor deze vervanging zijn dat Cs-137 beter is af te schermen met bestaande bronhouders, en dat detectieapparatuur gevoeliger is voor de gammastraling van dit nuclide, in vergelijking met Co-60. Merk op dat met deze maatregel vooral volume wordt bespaard. Deze maatregel wordt toegepast in diverse meet- en regeltoepassingen in de sector *Overig*.
- Het gebruiken van versnellers op lagere versnelspanningen binnen de sector *Medisch* - met als primaire doel de patiënt beter te behandelen - draagt bij aan het zo veel mogelijk voorkomen van activering van bouwstoffen. Dit heeft als gevolg dat bij ontmanteling minder radioactieve rest- en afvalstoffen ontstaan.

### 3.5.3 Minimalisatie

De belangrijkste maatregelen voor minimalisatie van radioactieve afvalstoffen zijn het opslaan van radioactieve afvalstoffen totdat de activiteitsconcentratie als gevolg van verval lager is dan de grenswaarde voor vrijgave (vervalopslag), en het scheiden van radioactieve en niet-radioactieve componenten:

- Voorwaarde voor de toepassing van vervalopslag is het gebruik van nucliden met halveringstijden korter dan 100 dagen. Deze nucliden worden vooral toegepast in de sectoren *Medisch*, *Productie medische isotopen*, en *Onderzoek en onderwijs*. In de twee eerstgenoemde sectoren kan 'vervuiling' met langerlevende nucliden succesvolle toepassingen van vervalopslag echter in de weg staan. Daarnaast kan de beschikbaarheid van zowel fysieke als vergunde opslagcapaciteit een probleem vormen.
- Voor grote hoeveelheden reststoffen uit de sectoren *Geothermie*, *Olie- en gasproductie* en *Overig* geldt dat deze voor bewerking worden afgevoerd naar de sector *Ontmanteling, decontaminatie en bewerking*. In deze sector worden op grote schaal radioactieve en niet-radioactieve componenten van elkaar gescheiden, door het toepassen van (complexe) decontaminatie op besmette onderdelen en het bewerken van afvalwater en sludges. Naast minimalisatie van radioactief afval zijn de wettelijke voorschriften en acceptatiecriteria van eindverwerkers eveneens overwegingen voor de genoemde bewerking.
- Het inzamelen en ontmantelen van ingekapselde radioactieve bronnen, zoals beschreven in paragraaf 16.2.1, is in zekere zin ook te beschouwen als een maatregel ter minimalisatie van het ontstaan van radioactieve afvalstoffen. Deze dienstverlening is wellicht niet algemeen bekend, en daarom hier nogmaals vermeld.
- Een bijzondere *good practice* die in dit onderzoek naar voren kwam, is het hanteren van een 'bronnenbestand' [23]. In deze constructie coördineert één onderneming namens een groot aantal andere ondernemingen op dezelfde locatie de aanschaf en levering van de benodigde radioactieve bronnen. Eén van de doelstellingen hiervan is hergebruik van gebruikte bronnen door één van de andere bedrijven op de locatie. Daarnaast zorgt het voorhanden hebben van een dergelijk bestand van bronnen voor



flexibiliteit, in de vorm van korte levertijden en het beschikken over een range van activiteiten. Een andere overweging hierbij is dat kennis over stralingshygiëne en stralingstoepassingen kan worden gedeeld.

De diverse in dit onderzoek beschreven specifieke vrijgaveroutes hebben boekhoudkundig tot gevolg dat er minder materiaal als radioactief afval hoeft te worden beheerd en afgevoerd. Omdat de meeste van deze routes (nog) niet voorzien in recycling van de vrijgegeven materialen, maar eindigen op een deponie, is de bijdrage aan het daadwerkelijk realiseren van minimalisatiedoelen vooralsnog gering.

Ten slotte wordt opgemerkt dat er een *trade-off* bestaat tussen het minimaliseren van lozingen van radioactiviteit en het minimaliseren van de hoeveelheid als radioactief afval af te voeren materiaal. Dit is bijvoorbeeld aan de orde in de sector *Staalproductie*, waar maatregelen om de lozing naar de lucht terug te dringen tot gevolg zullen hebben dat de hoeveelheid radioactiviteit in het afval - en mogelijk ook de hoeveelheid als radioactief afval af te voeren materiaal - zal toenemen.

#### 3.5.4 *Perspectieven voor verdere minimalisatie*

In het onderzoek zijn enkele perspectieven geschetst voor verdere minimalisatie van de productie van radioactief afval. De belangrijkste worden hieronder samengevat:

- Bij het ontwerp en de bouw van een installatie kunnen al maatregelen worden getroffen om de hoeveelheid bij ontmanteling te verwachten radioactieve rest- en afvalstoffen zoveel als mogelijk te voorkomen. Voorbeelden zijn het 'gelaagd' ontwerpen en bouwen van afscherming, gebaseerd op de verwachte activeringsdiepte, en het toepassen van minder of andere wapening. Het eerste maakt het bij ontmanteling eenvoudiger om vrijgestelde en niet-vrijgestelde lagen van elkaar te scheiden, en met het tweede wordt Co-60-houdend metaalafval gereduceerd. Deze maatregelen worden toegepast in de sector *Productie medische isotopen*.
- In lijn met een 'graduele aanpak' zou kunnen worden verkend of een specifieke vrijstelling voor bepaalde materialen met een gering radiologisch risico een zinvolle optie is. Gedacht kan worden aan voorwerpen met een geringe (niet-vrijgestelde), niet-afwrijfbare besmetting van Pb-210+ in onder meer de sectoren *Olie- en gasproductie* en *Geothermie*. Het radiologische risico van voorzienbare handelingen met deze materialen zou in dat geval moeten worden vergeleken met de dosiscriteria voor vrijstelling en vrijgave.
- Voor de qua massa en volume belangrijkste radioactieve afvalstroom, afkomstig van de sector *Pigmentproductie*, is in het verleden geprobeerd het materiaal geschikt te maken voor toepassing in de wegenbouw. Hiernaar is momenteel onderzoek gaande. Daarnaast is verbranding in een afvalverbrandingsinstallatie mogelijk een optie.
- Voor besmette onderdelen afkomstig uit onder meer de sectoren *Olie- en gasproductie* en *Geothermie* geldt verder dat deze soms worden vrijgegeven op grond van een toetsing aan de grenswaarden voor oppervlaktebesmetting. Een dergelijke

toetsing is toegestaan indien de activiteitsconcentratie geen goede indicatie geeft van het radiologische risico. Dit is bijvoorbeeld het geval wanneer de radioactiviteit is opgenomen in een vaste afzetting, en/of wordt afgeschermd door het dragermateriaal. In interviews kwam naar voren dat onduidelijkheden over de voorwaarden voor het toepassen van de grenswaarden voor oppervlaktebesmetting het hergebruik van dergelijke materialen in de weg staat. Verkend zou kunnen worden in hoeverre verdere *guidance* zou kunnen bijdragen aan het versterken van hergebruik-routes.

- Het versoepelen van de voorwaarden aan vervalopslag op locatie kan een bijdrage leveren aan de minimalisatie in sectoren waar relatief kortlevende nucliden worden toegepast in beperkte activiteits-concentraties. Het gaat dan vooral om de sectoren *Medisch, Onderzoek en Onderwijs, Productie medische isotopen, Nucleair* en *Overig*. De impact van een eventuele verlenging van de toegestane termijn voor vervalopslag op de productie van radioactieve afvalstoffen in ziekenhuizen is onderzocht in [24].
- Voor de sector *Geothermie* zou het ontwikkelen en toepassen van demontabele filters kunnen worden verkend. Het afscheiden van het binnenste deel van de filters, waar de radioactiviteit zich doorgaans concentreert, zou kunnen bijdragen aan het beperken van deze (voor de sector *Geothermie* belangrijkste) stroom radioactief afval.
- Het creëren van specifieke vrijgaveroutes, die zijn gericht op het hergebruiken van materiaal volgens de gangbare beheerroutes voor vrijgesteld materiaal. Dit kan in het bijzonder zinvol zijn voor beton- en metaalstromen, die in veel sectoren qua volume een belangrijk deel van de radioactieve inventaris uitmaken. Voor niet-radioactief metaal en beton gelden de minimumstandaarden, zoals vastgelegd in de respectievelijke LAP3-sectorplannen 12 en 29. De infrastructuur en kennis hiervoor zijn in Nederland aanwezig, en daarnaast zijn in het verleden op Europees niveau al diverse sets grenswaarden afgeleid die voldoen aan de voorwaarden voor specifieke vrijgave in de Nederlandse regelgeving [25]. In het bijzonder voor niet-vrijgesteld beton zijn in eerder onderzoek [26] enkele concrete opties voor hergebruik en recycling geschetst.

Voor alle hierboven genoemde stromen geldt dat het - in het perspectief van de totale productie van afvalstoffen in Nederland - feitelijk gaat om stromen van (zeer) bescheiden omvang. Het is de vraag in hoeverre de afvalstoffen-verwerkende ondernemingen en de aanbieders van deze stromen bereid zijn te investeren in de ontwikkeling van duurzamere beheerroutes voor relatief kleine stromen. Dit geldt nog sterker als moet worden geconcurrereerd met relatief lage kosten voor stort.

Afgezien van de economische kant geldt verder voor de meeste van de hierboven geschetste maatregelen dat eventuele extra blootstelling van werknemers als gevolg van de benodigde handelingen in kaart zal moeten worden gebracht, en afgewogen tegen de reductie van de hoeveelheid radioactieve afvalstoffen. Een afwegingskader hiervoor ontbreekt momenteel. Ook is de publieke acceptatie van vrijgegeven materiaal een randvoorwaarde voor het opnieuw gebruiken van

(vrijgegeven) materialen. In de praktijk is gebleken dat materialen die tijdens ontmantelingsprojecten op grond van een toetsing aan de grenswaarden voor vrijgave konden worden vrijgegeven, bij gebrek aan een afnameroute alsnog moesten worden gestort op een deponie [27]. Ten slotte geldt dat afstemming van beleid op Europees niveau kan voorkomen dat in Nederland vrijgegeven materiaal niet wordt geaccepteerd in het buitenland en vice versa.

## 3.6 Discussie

### 3.6.1

#### *Algemeen*

De cijfers in dit rapport moeten om de volgende redenen met de nodige voorzichtigheid worden geciteerd:

Ten eerste is van belang dat de aantallen ondernemingen zijn bepaald op basis van een vergunningenbestand per 19 maart 2020, en dat sindsdien nieuwe vergunningen zijn verstrekt en vergunningen zijn gewijzigd of ingetrokken, en dat mogelijk fusies hebben plaatsgevonden. Dit betekent dat de aantallen ondernemingen en de overige informatie uit deze vergunningen bij het publiceren van dit rapport per definitie niet meer 100% actueel zijn. Hetzelfde geldt voor ondernemingen met een registratie voor handelingen met natuurlijke radioactieve stoffen.

Ten tweede is bij het verzamelen van cijfers en informatie voor dit rapport gebruik gemaakt van zeer uiteenlopende documenten en administraties van derden. Waar mogelijk zijn deze cijfers en informatie gecontroleerd of is een plausibiliteitscheck uitgevoerd, maar er blijft een afhankelijkheid bestaan van de volledigheid en kwaliteit van de gerapporteerde informatie. Omdat detailniveau, formats en soms ook eenheden onderling sterk verschillen, is vergelijking soms lastig en bewerking vaak noodzakelijk. Bij het onderling vergelijkbaar maken van cijfers moesten daarom soms aannames worden gedaan voor bijvoorbeeld soortelijke massa, vulgraad van verpakkingen, etc. Verder bevat een jaarverslag stralingshygiëne vaak relatief nauwkeurige cijfers, ten behoeve van een toetsing achteraf aan (vergunningen-)voorschriften, en zijn de cijfers in risicoanalyses vaak juist conservatieve ramingen.

Verder betreffen de in dit rapport vermelde getallen voor de totale activiteit per sector (en ook voor een aantal individuele stromen) een optelling van door ondernemingen gerapporteerde activiteiten. Het kan daarbij gaan om opgetelde activiteiten van verschillende nucliden of - voor materialen met nucliden uit de natuurlijke reeksen - deelketens, met elk hun eigen radiotoxiciteit. Er is echter niet door alle ondernemingen in dezelfde mate rekening gehouden met de aanwezigheid of ingroei van dochternucliden. De in dit rapport vermelde activiteiten zijn daarmee van bescheiden betekenis.

Ten slotte geldt dat niet alle ondernemingen in dezelfde mate bereid of in staat waren informatie beschikbaar te stellen. Dit geldt in het bijzonder voor de sector *Geothermie*, die nog sterk in ontwikkeling is, en waar het beheer van radioactief afval vaak één van de 'bijzaken' is.

### 3.6.2 *Onderlinge consistentie basisinformatie*

Er is een verschil geconstateerd tussen de totale hoeveelheden door aangewezen deponieën gerapporteerde ontvangen radioactieve afvalstoffen en de totale hoeveelheden door afvalproducenten gerapporteerde afgevoerde afvalstoffen. Dit verschil bedraagt over de periode 2018-2020 ca.  $3 \times 10^3$  ton (3,9%) gemiddeld per jaar. Het verschil is het grootst in 2018, wat mogelijk is te verklaren doordat in 2018 een deel van de afvalstoffen die vóór 6 februari 2018 als (vrijgestelde) afvalstof zijn afgevoerd ten onrechte is aangemerkt als radioactieve afvalstof. Verder geldt dat een beperkt deel van de naar de deponieën afgevoerde radioactieve afvalstoffen bij gebrek aan informatie niet kon worden toegewezen aan een onderneming, en daarmee evenmin aan een sector. Ook dit heeft bijgedragen aan het genoemde verschil.

Iets vergelijkbaars blijkt uit vergelijking van de aangevoerde en afgevoerde massa en activiteit in de sector *Ontmanteling, decontaminatie en bewerking*. Dit verschil is terug te voeren op verschillen in de cijfers in jaarverslagen van individuele ondernemingen, waarbij in de beschouwde periode vermoedelijk een deel van de aangevoerde massa en activiteit in opslag is genomen. Dit geldt ook voor de meeste ondernemingen in de sector *Geothermie*, waaraan in de individuele vergunningen toestemming is verleend voor opslag van radioactief materiaal op locatie, in afwachting van een beheerroute onder specifieke vrijgave.

Ten slotte is bij één onderneming vastgesteld dat de gerapporteerde afgevoerde en geloosde activiteit sterk afwijkt van de activiteit in de aangevoerde grondstoffen.

### 3.6.3 *Overlap sectoren*

Zoals aangegeven in paragraaf 1.4.2 zijn de ondernemingen op basis van het type handelingen en type afvalstoffen ingedeeld in 13 sectoren. Er zijn echter verschillende ondernemingen die meerdere handelingen uitvoeren, en op grond daarvan in meerdere sectoren kunnen worden ondergebracht. Hetzelfde geldt voor ondernemingen die verschillende typen afvalstoffen produceren. Een voorbeeld van dat laatste zijn de zeven ondernemingen die zowel zorg of medische diensten verlenen, als medische isotopen produceren met cyclotrons. Deze ondernemingen vallen op grond hiervan in zowel de sector *Medisch* als in de sector *Productie medische isotopen*. Omdat de afvalstromen als gevolg van deze twee typen handelingen niet apart worden geregistreerd, is er bij het bepalen van de afvalproductie per sector voor gekozen de ondernemingen in beide sectoren op te nemen. Dit betekent dat bij de bepaling van de totale hoeveelheden rest- en afvalstoffen per sector een fout wordt gemaakt. Omdat de afvalproductie als gevolg van het gebruik van de cyclotrons in vergelijking met de totale hoeveelheden van zowel de sector *Medisch* als de sector *Productie medische isotopen* zeer klein is, is ook deze fout relatief zeer klein.

### 3.6.4 *Bewerking in buitenland*

In dit onderzoek zijn twee voorbeelden beschreven van radioactieve reststoffen, afkomstig van een Nederlandse onderneming, die voor bewerking worden afgevoerd naar een onderneming in het buitenland,

en daarna als radioactieve afvalstof retour worden gezonden naar de COVRA. Het betreft de opwerking van bestraalde splijtstofelementen afkomstig van de kerncentrale, en de omzetting van verarmd uranium in de vorm van UF<sub>6</sub> naar U<sub>3</sub>O<sub>8</sub>.

Voor de analyse van radioactieve rest- en afvalstromen heeft dit twee methodische consequenties: ten eerste zullen de bewerkte materialen over het algemeen niet in hetzelfde jaar bij de COVRA arriveren als het jaar waarin ze door de onderneming van oorsprong zijn afgevoerd. Dit is een aandachtspunt bij het bepalen van gemiddelde jaarlijkse hoeveelheden. Daarnaast geldt voor deze twee beheerroutes dat de door de COVRA ontvangen massa en volume niet gelijk zijn aan de door de ondernemer afgevoerde massa en volume (zie ook de volgende paragraaf).

### 3.6.5 *Bruto en nette hoeveelheden afvalstoffen*

Voor een groot aantal radioactieve afvalstoffen die naar de COVRA worden afgevoerd, geldt dat 'conditionering' nodig is, in verband met de beoogde lange-termijnopslag voorafgaand aan eindberging. Dergelijke ongeconditioneerde afvalstoffen worden door de COVRA na ontvangst geperst, en vervolgens samen met een hoeveelheid beton in vaten 'geconditioneerd'. Ook na ontvangst op een deponie is in verband met de vereiste langdurige stabiliteit in sommige gevallen 'stabilisatie' door de exploitant van de deponie nodig, meestal door het aangevoerde afval te mengen met andere materialen. Er zijn echter ook enkele radioactieve afvalstoffen die al in geconditioneerde vorm worden aangeleverd bij de eindverwerker. Voorbeelden zijn de residuen afkomstig van opwerking van bestraalde splijtstofelementen, verarmd uranium in de vorm van U<sub>3</sub>O<sub>8</sub>, en gecementeerde harsen, alle afkomstig uit de sector *Nuclear*.

In het eerste geval wordt er dus door de eindverwerker vrijgesteld materiaal (massa/volume) aan de afvalstof toegevoegd, en wordt alleen de 'netto' hoeveelheid ongeconditioneerd afval toegerekend aan de ontdoener. In het tweede geval wordt de 'bruto' hoeveelheid toegerekend, bestaande uit het afval en de conditionering samen. Dit is een aandachtspunt bij een eventuele vergelijking van de massa's en volumes van afvalstromen.

### 3.6.6 *Cijfers over conventionele afvalstoffen*

Zoals aangegeven in paragraaf 3.1 is in Nederland in de periode 2018-2020 in totaal gemiddeld jaarlijks  $8,6 \times 10^4$  ton aan radioactieve afvalstoffen afgevoerd. Voor het overgrote deel (van de massa) is de eindbestemming een aangewezen deponie. Om dit getal in context te kunnen plaatsen, zijn hieronder enkele cijfers over de productie en het beheer van niet-radioactieve afvalstoffen opgenomen. Deze cijfers zijn afkomstig uit rapporten [28] en databanken [11] van Rijkswaterstaat, dat de Nederlandse monitoringsgegevens over niet-radioactieve afvalstoffen beheert.

In Nederland ontstaat jaarlijks in totaal ongeveer  $6 \times 10^7$  ton afval. Dit wordt op verschillende manieren verwerkt. Ongeveer 80% wordt gerecycled, gecomposteerd of vergist. Van de overige 20% wordt het grootste deel ( $7,6 \times 10^6$  ton in 2020) verbrand in

afvalverbrandingsinstallaties, waarbij energie en grondstoffen worden teruggewonnen. Hiervan betrof het in 2020  $11,4 \times 10^3$  ton gevaarlijk specifiek ziekenhuisafval (SZA). Afval dat niet kan worden gerecycled of verbrand, wordt gestort. In 2020 betrof dit  $2,4 \times 10^6$  ton. In Bijlage 3 zijn meer cijfers gegeven over totale jaarlijkse hoeveelheden gestorte afvalstoffen en verbrande afvalstoffen.

In 2020 waren 13 afvalverbrandingsinstallaties in bedrijf, met een gezamenlijke vergunde capaciteit van  $8,25 \times 10^6$  ton per jaar. Eind 2020 waren in Nederland 19 deponieën in bedrijf, met een gezamenlijke vergunde restcapaciteit van  $23,9 \times 10^6$  m<sup>3</sup>.

### 3.6.7 *Restcapaciteit aangewezen deponieën*

In Nederland zijn vier deponieën die zijn aangewezen als instelling voor de ontvangst van radioactieve afvalstoffen, én die bereid zijn om deze radioactieve afvalstoffen te ontvangen. Samen met het tempo waarin radioactieve én conventionele afvalstoffen voor stort worden aangeboden bepaalt de (fysieke en) vergunde capaciteit van deze deponieën hoe lang er nog radioactieve (afval)stoffen kunnen worden gestort. In hoofdstuk 17 wordt hier nader op ingegaan.

In 2022 is één van de bovengenoemde deponieën gesloten. De huidige vergunde restcapaciteit van de resterende deponieën Zeeasterweg en Wieringermeer is naar verwachting van de exploitant - uitgaande van het huidige afvalaanbod, zonder verdere uitbreiding en gegeven de bovengenoemde sluiting - voldoende voor de komende vier respectievelijk vijf jaar [29]. De exploitant van de Maasvlakte-deponie wilde geen uitspraak doen over de restcapaciteit.

## 3.7 **Aanbevelingen**

### 3.7.1 *Beleid*

In paragraaf 3.5.4 is een aantal opties genoemd voor verdere minimalisatie van de productie van radioactieve rest- en afvalstoffen. Voor veel van deze opties geldt dat een succesvolle implementatie afhankelijk is van economische aspecten, de beschikbaarheid van een afwegingskader voor extra blootstelling versus minimalisatie van radioactief afval, publieke acceptatie, en een zekere mate van internationale afstemming. In overweging wordt gegeven hiervoor specifiek beleid te ontwikkelen, met voldoende aandacht voor een risico-gerichte benadering ('graduele aanpak'). Hierbij zou kunnen worden aangesloten bij de systematiek van de Sectorplannen van het LAP3.

Ook het explicieter betrekken van de productie van afvalstoffen bij de rechtvaardiging van handelingen zou kunnen bijdragen aan het voorkomen van het ontstaan van radioactieve afvalstoffen (preventiebeleid). Hierbij zouden 'best practices' en de beschikbaarheid van niet-radioactieve alternatieven kunnen worden betrokken. Daarnaast zouden standaarden of 'best beschikbare technieken' kunnen worden ontwikkeld voor de bouw van installaties (zie paragraaf 3.5.2).

Uit dit onderzoek blijkt dat het instrument 'specifieke vrijgave' in de afgelopen jaren in ruime mate is toegepast, in veel gevallen om specifieke stromen te 'verleggen' van de COVRA naar een aangewezen

deponie. Daarbij zijn uiteenlopende grenswaarden vastgesteld, die soms per onderneming verschillen. In overweging wordt gegeven de huidige toepassing van dit instrument te evalueren op doelmatigheid, transparantie en rechtsgelijkheid, de kansen te verkennen voor inzet van het instrument voor recycling, en om een juridische analyse uit te voeren naar de onderlinge verhouding en toepassing van de voorschriften op grond van de Kernenergiewet en de Wet milieubeheer bij toepassing van dit instrument.

### 3.7.2 *Stortcapaciteit*

Recycling is één van de opties om de productie van radioactieve afvalstoffen te minimaliseren. Omdat bij recycling vrijwel altijd residuen resteren waarvoor een eindverwerking nodig is, kan de beschikbaarheid van een eindbestemming worden gezien als een voorwaarde voor recycling. Voor wat betreft de stort van radioactieve afvalstoffen en specifieke vrijgegeven stoffen op aangewezen deponieën wordt daarom aanbevolen de resterende stortcapaciteit in Nederland in beeld te brengen. Ook wordt aanbevolen te onderzoeken of (en zo ja welke) radiologische acceptatiecriteria voor aangewezen deponieën zouden moeten worden vastgesteld.

Verder wordt aanbevolen de veiligheidsbeschouwing voor stort van radioactieve (afval)stoffen op aangewezen deponieën uit 2005 (zie paragraaf 17.4.4) ter herijken. Op voorhand is niet evident dat het hanteren van strengere grenswaarden voor vrijstelling en vrijgave ten opzichte van de periode vóór de implementatie van richtlijn 2013/59/Euratom opweegt tegen het ingezette beleid van specifieke vrijgave voor stort van grote stromen met activiteitsconcentraties boven de vergunningplichtige grenzen. Daarnaast is het niet ondenkbaar dat de samenstelling van het afvalaanbod is gewijzigd ten opzichte van de aannames en uitgangspunten in de studies van 2005.

### 3.7.3 *Monitoring van radioactieve rest- en afvalstromen*

Gedurende dit onderzoek bleek het nodig om relatief veel tijd te steken in het verzamelen en bewerken van de benodigde basisinformatie. De reden daarvoor was dat er geen actueel, toegankelijk en doorzoekbaar overzicht van vergunde en geregistreerde handelingen die leiden tot de productie van radioactieve rest- en afvalstoffen voorhanden was, en dat de verschillende afvalproducenten en eindverwerkers momenteel veelal hun eigen standaarden voor wat betreft de administratie van en rapportage over radioactieve rest- en afvalstoffen hanteren. Tegelijkertijd geldt dat de in dit onderzoek verzamelde informatie in de loop van een aantal jaren weer minder actueel zal worden.

Omdat de opdrachtgever - met het oog op de actualisatieverplichting in richtlijn 2011/70/Euratom - in de toekomst vermoedelijk een actualisatie van deze studie zal wensen, is de aanbeveling een voorziening te ontwikkelen voor het verzamelen en beheren van informatie over de productie van radioactieve rest- en afvalstoffen, vergezeld van (verplichte) standaarden voor rapportage hierover. Indien het voeren van een preventiebeleid wenselijk is, wordt aanbevolen om daarnaast ook een actueel, toegankelijk en doorzoekbaar overzicht van vergunde en geregistreerde handelingen te ontwikkelen.

Ten slotte wordt in overweging gegeven prestatie-indicatoren te ontwikkelen, voor het bepalen van en rapporteren over de voortgang in het minimaliseren van radioactieve rest- en afvalstoffen in het Nationaal Programma radioactief afval.

#### 3.7.4 *Laaghangend fruit voor minimalisatie*

In dit onderzoek is een aantal radioactieve rest- en afvalstromen geïdentificeerd waarvoor mogelijk potentieel bestaat voor minimalisatie, bijvoorbeeld door middel van hergebruik of recycling. Aanbevolen wordt voor deze stromen casestudies uit te (laten) voeren naar de praktische haalbaarheid, met speciale aandacht voor de economische, beleidsmatige en sociaal-maatschappelijke aspecten. Hierbij kan bijvoorbeeld worden gedacht aan de stromen met de grootste volumina, of stromen waarvan in de toekomst de grootste toename te verwachten valt.



## 4 Nucleair

### 4.1 Inleiding

De wereldwijd belangrijkste toepassing van nucleaire technologie is de productie van elektriciteit. Door het in stand houden van een kernsplijtingsproces in speciaal hiervoor ontworpen reactoren komt een grote hoeveelheid warmte vrij, die uiteindelijk wordt omgezet in elektriciteit. Als 'brandstof' voor dergelijke kerncentrales wordt vooral uraniumoxide gebruikt. In sommige kerncentrales, waaronder de Nederlandse, wordt een deel van het uraniumoxide vervangen door een mengsel van plutonium- en uraniumoxide ('mixed oxides' of 'MOX').

Naast de productie van elektriciteit worden kernreactoren gebruikt voor het maken van (medische) isotopen en voor het doen van onderzoek. Informatie over de radioactieve rest- en afvalstoffen van deze 'onderzoeksreactoren' is te vinden in de hoofdstukken 5 en 7 over de sectoren *Productie medische isotopen* en *Onderzoek en Onderwijs*.

Voor de meeste kernreactoren geldt dat 'verrijkt' uranium (uranium met een kunstmatige verhoging van het gehalte U-235) nodig is om het kernsplijtingsproces in stand te houden. Speciale verrijkingsfabrieken zijn in staat verrijkt uranium te produceren uit uranium met een natuurlijk U-235 gehalte.

Zowel bij de productie van elektriciteit als bij het verrijken van uranium ontstaan radioactieve rest- en afvalstoffen. Deze rest- en afvalstoffen worden in dit hoofdstuk beschreven. Daarnaast zijn in het verleden bij het doen van nucleair onderzoek radioactieve afvalstoffen ontstaan, die momenteel zijn opgeslagen in Petten. Dit 'historische afval' is als een aparte categorie opgenomen in dit hoofdstuk.

### 4.2 Definitie sector

De sector *Nucleair* is in dit rapport gedefinieerd als de ondernemingen in Nederland die verrijkt uranium produceren, of dit toepassen of hebben toegepast in een kernenergiecentrale. Het beheer van historisch afval, dat te zijner tijd moet worden overgebracht naar de COVRA, is eveneens toegerekend aan de sector *Nucleair*. De op deze manier gedefinieerde sector *Nucleair* bestaat op het moment van schrijven uit vier ondernemingen<sup>21</sup>.

#### 4.2.1 Kerncentrale Borssele

De N.V. Elektriciteitsproduktie maatschappij Zuid-Nederland (EPZ) exploiteert de kerncentrale Borssele. Het betreft een reactor van het type *pressurized water reactor* (PWR) met een vergund thermisch vermogen van 1365,6 MW [30] en een netto elektrisch vermogen van 485 MW. De centrale is operationeel sinds 1973. In de kerncentrale wordt naast laagverrijkte splijtstof (tot 4,4% U-235) sinds 2014 ook de

<sup>21</sup> Eén van deze ondernemingen exploiteert ook installaties die vallen onder de sector *Productie medische isotopen*.

gerecyclede splijtstof MOX (0,25% U-235 en 5,41% Pu-239) ingezet [30].

In artikel 15a, eerste lid, van de Kernenergiewet is vastgelegd dat de vergunning voor het in werking houden van de kerncentrale met ingang van 31 december 2033 vervalt. Op grond van artikel 30, eerste lid, van het Besluit kerninstallaties, spijfstoffen en ertsen [31] moet onmiddellijk na deze datum worden begonnen met de buitengebruikstelling en ontmanteling van de centrale. In het coalitieakkoord van het kabinet Rutte IV is echter afgesproken dat de kerncentrale Borssele langer open blijft.

#### 4.2.2 *Kerncentrale Dodewaard*

De N.V. Gemeenschappelijke Kernenergiecentrale Nederland (GKN) beheert een kerncentrale in Dodewaard, die sinds 1997 buiten werking is. Het betreft een kerncentrale van het type *boiling water reactor* (BWR), met (destijds) een elektrisch vermogen van 58 MW.

Sinds 2005 is sprake van een 'veilige insluiting', wat onder meer inhoudt dat alle splijtstof is afgevoerd, de installatie is droog gemaakt en de gebouwen zijn (op een paar deuren na) dichtgemetseld [32]. De opwerking van de splijtstoffen van GKN is al enkele jaren afgerond, en alle radioactieve afvalstoffen afkomstig van opwerking zijn afgevoerd naar de COVRA. Volgens de Kernenergiewetvergunning van GKN [33] moet uiterlijk in 2045 worden begonnen met de ontmanteling van de centrale.

#### 4.2.3 *Urenco*

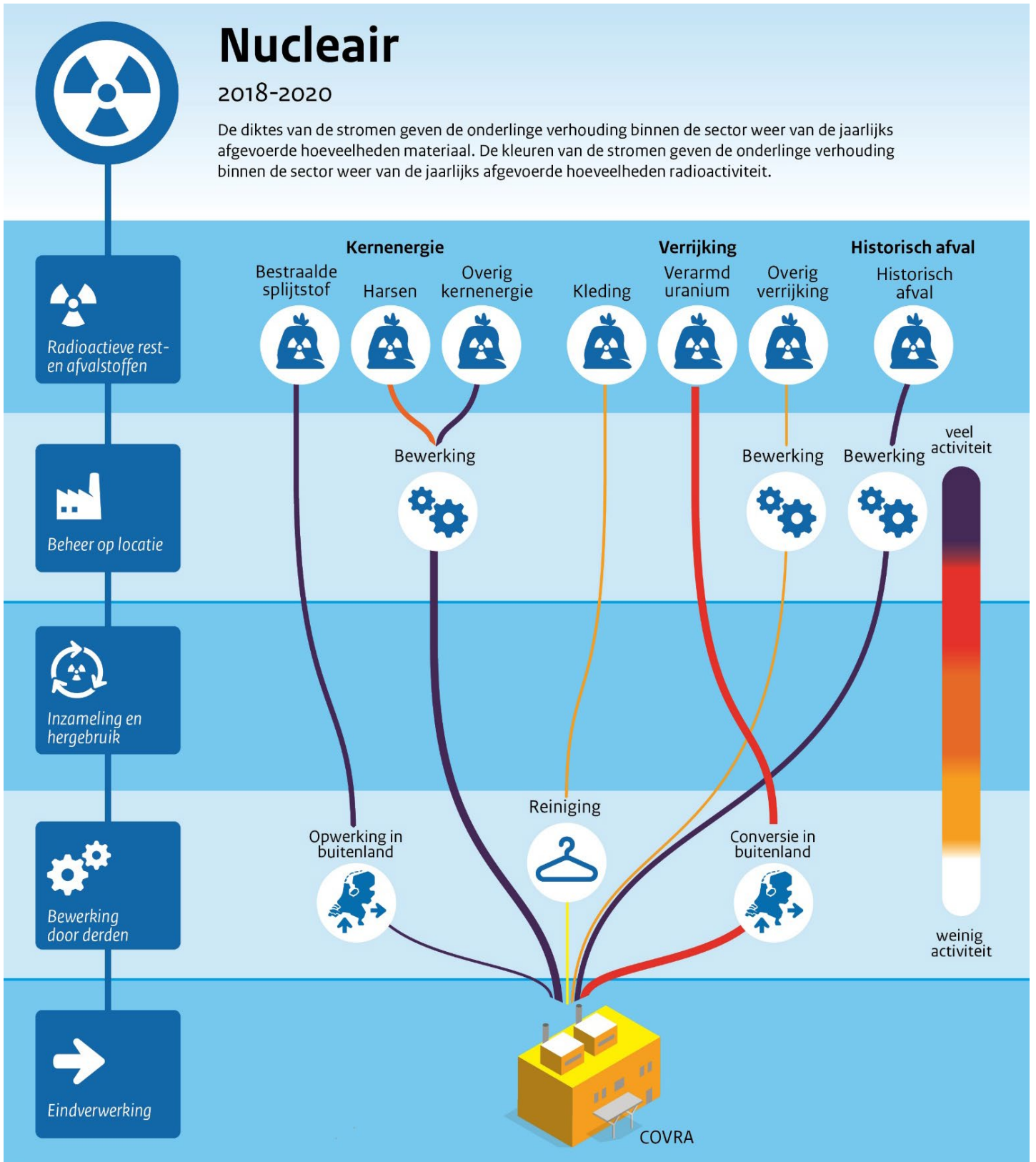
Urenco Nederland B.V. is in 1970 opgericht. Deze onderneming exploiteert in Almelo een nucleaire inrichting waarin laagverrijkt (tot maximaal 6% U-235) uranium wordt geproduceerd in de vorm van uraniumhexafluoride (UF<sub>6</sub>). Het product wordt uiteindelijk gebruikt in splijtstofelementen voor kerncentrales. Een deel van het verarmd uranium dat bij de uraniumverrijkingsfabriek van URENCO ontstaat, wordt in het buitenland omgezet in vast uraniumoxide (U<sub>3</sub>O<sub>8</sub>) en vervolgens als radioactieve afvalstof opgeslagen bij COVRA [2]. De Kernenergiewetvergunning voor het in werking houden van de inrichting is verleend voor onbepaalde tijd [34], en er is vooralsnog geen datum voor de ontmanteling vastgesteld.

#### 4.2.4 *Historisch afval Petten*

De v.o.f. *Nuclear Research and Consultancy Group* (NRG) exploiteert op de Onderzoekslocatie Petten verschillende nucleaire inrichtingen, en beheert het zogenoemde 'historisch afval'. Met 'historisch afval' wordt bedoeld op radioactieve afvalstoffen die in het verleden zijn ontstaan als gevolg van nucleair onderzoek, en al op de Onderzoekslocatie Petten aanwezig waren vóór in 2000 een Kernenergiewetvergunning is verleend aan exploitant NRG [35]. De intentie is om dit afval zo snel als mogelijk, en uiterlijk in 2027 [36], af te voeren naar de COVRA. De hiervoor benodigde handelingen zijn vergund in de Kernenergiewetvergunning van NRG voor de Onderzoekslocatie Petten [37].

### **4.3 Productie radioactieve rest- en afvalstoffen**

De reguliere radioactieve rest- en afvalstromen afkomstig van de sector *Nuclear* zijn schematisch weergegeven in Figuur 3. De reguliere radioactieve rest- en afvalstromen zijn vervolgens beschreven in paragraaf 4.3.1, en samengevat in Tabel 6.



Figuur 3 Radioactieve rest- en afvalstromen sector Nucleair.

Omdat een aantal typen 'hoogradioactieve' rest- en afvalstoffen afkomstig van de kerncentrale slechts incidenteel wordt afgevoerd, is besloten om deze hoeveelheden te middelen over de periode 2015-2020, in plaats van over 2018-2020. Omdat de activiteitsconcentraties voor deze afvalstoffen ver boven de grenswaarden voor vrijstelling en vrijgave liggen, heeft de aanpassing van deze grenswaarden in 2018 niet of nauwelijks impact op de (vergelijkbaarheid van de) hoeveelheden die voor en na 2018 door de sector *Nucleair* zijn afgevoerd.

Paragraaf 4.3.2 gaat kort in op de radioactieve inventaris waarmee bij ontmanteling van de installaties rekening moet worden gehouden.

#### 4.3.1 *Radioactieve rest- en afvalstoffen uit reguliere bedrijfsvoering*

De reguliere radioactieve rest- en afvalstoffen die worden geproduceerd binnen de sector *Nucleair* zijn de volgende:

##### Kerncentrale

- Bestraalde splijtstofelementen;
- Residuen afkomstig van opwerking van bestraalde splijtstofelementen;
- Harsen;
- Overig operationele radioactieve rest- en afvalstoffen.

##### Verrijking

- Verarmd uranium;
- Overig operationele radioactieve rest- en afvalstoffen.

##### Historisch radioactief afval

- Splijtstofhoudend historisch afval;
- Alfa-houdend historisch afval;
- Historisch afval, niet zijnde splijtstofhoudend of alfa-houdend.

Daarnaast worden in totaal jaarlijks gemiddeld ca. tien gebruikte ingekapselde bronnen als radioactieve afvalstof afgevoerd. Dit is - zowel qua activiteit als qua massa en volume - zodanig veel minder dan de overige afvalstoffen uit de sector dat de stroom in deze studie wordt verwaarloosd. Dit geldt eveneens voor de radioactieve rest- en afvalstoffen die ontstaan bij de reguliere bedrijfsvoering van de kerncentrale Dodewaard: ook deze worden verwaarloosd.

##### *Bestraalde splijtstofelementen*

Bestraalde splijtstofelementen (ook wel verbruikte splijtstofelementen of *spent fuel*) zijn splijtstofelementen die na toepassing als brandstof in een kernreactor uit de reactorkern zijn verwijderd. Nog niet gebruikte elementen bestaan uit metalen structuren, met daarin voornamelijk het nauwelijks splijtbare U-238 en enkele procenten splijtbare isotopen. Na bestraling in een kernreactor bevatten de elementen naast uranium-isotopen ook geactiveerd metaal (circa 34 massa%), splijttingsproducten en actiniden (samen circa 3 massa%)[38]. Verder moet rekening worden gehouden met een aanzienlijke warmteproductie op het moment dat de elementen uit de kern worden verwijderd.

In Nederland worden splijtstofelementen die zijn toegepast in een kerncentrale als radioactieve reststof voor 'opwerking' afgevoerd naar

een onderneming in Frankrijk (zie paragraaf 4.4.4). De residuen die ontstaan bij opwerking worden na afloop retour gezonden.

In de periode 2015-2020 zijn door de Nederlandse kerncentrale jaarlijks gemiddeld 28 bestraalde splijtstofelementen (12,3 ton,  $4,5 \times 10^7$  GBq) als radioactieve reststof voor opwerking naar Frankrijk afgevoerd.

#### *Hoogradioactieve residuen afkomstig van opwerking*

Na opwerking van bestraalde splijtstofelementen in Frankrijk resteren drie typen residuen, die geperst of verglaasd in verschillende soorten containers (ook wel *canisters* genoemd) retour worden gezonden. De residuen worden als radioactieve afvalstof aangemerkt, en om praktische redenen vanuit de opwerkingsfabriek direct naar de COVRA vervoerd, en niet naar de exploitant van de kerncentrale.

- De residuen met splijtingsproducten en actiniden worden verglaasd in CSD-V<sup>22</sup>-canisters naar de COVRA vervoerd. Het betreft een hoogradioactief en warmteproducerend mengsel (1,24 kW per canister) van meer dan 300 verschillende radionucliden [38].
- De metalen onderdelen van de bestraalde splijtstofelementen worden samengeperst in CSD-C-canisters naar de COVRA vervoerd. Dit materiaal wordt met minder dan 0,015 kW per canister als niet-warmteproducerend aangemerkt [39].
- Ten slotte wordt ook een hoeveelheid verglaasd vloeibaar afval naar de COVRA vervoerd in CSD-B-canisters. Het betreft vloeibaar radioactief afval, dat is ontstaan bij het opwerkingsproces. De warmteproductie van dit materiaal is - net als bij de metalen onderdelen in CSD-C-canisters - niet van belang.

In de periode 2015-2020 is vanuit Frankrijk gemiddeld 2,8 ton ( $4,4 \times 10^7$  GBq) per jaar aan CSD-V afval aangevoerd naar de COVRA. Daarnaast is in deze periode gemiddeld 6,8 ton ( $1,1 \times 10^6$  GBq) per jaar aan CSD-C afval aangevoerd. CSD-B afval is voor het laatst in 2015 uit Frankrijk aangevoerd. Het ging toen om 1,2 ton ( $3 \times 10^5$  GBq) [40], wat over de periode 2015-2020 gemiddeld neerkomt op 0,2 ton ( $5,0 \times 10^4$  GBq) per jaar<sup>23</sup>.

Opgemerkt moet worden dat de in de periode 2015-2020 naar de COVRA aangevoerde residuen hun oorsprong vinden in vóór deze periode afgevoerde bestraalde splijtstofelementen. De gemiddelde jaarlijkse hoeveelheden zijn echter bij benadering gelijk aan elkaar [41].

#### *Harsen*

In de primaire systemen van de kerncentrale worden waterstromen met behulp van harsen zoveel mogelijk ontdaan van geactiveerde corrosieproducten en eventueel aanwezige splijtingsproducten. Dit geldt ook voor het water van het splijtstof-opslagbassin. De harsen moeten bij verzadiging worden vervangen, en worden dan als vergunningplichtige radioactieve afvalstof aangemerkt.

<sup>22</sup> CSD staat voor *Colis Standard Déchets*, een gestandaardiseerd container-concept. Verglaasd (*vitrified*) afval wordt aangeduid met V, gecompacteerd (*compacted*) afval met C, en verglaasd vloeibaar afval met B.

<sup>23</sup> De COVRA heeft aangegeven dat dergelijk CSD-B-afval in de toekomst niet meer wordt verwacht.

Gebruikte harsen bevatten vooral Co-60, en daarnaast een grote verscheidenheid aan overige radionucliden van kunstmatige oorsprong. De gesommeerde activiteitsconcentraties van harsen uit het primaire circuit bedragen tot enkele MBq/g [42] [43]. De activiteitsconcentraties van de overige harsen zijn over het algemeen lager. In 2020 zijn de harsen uit beide circuits gezamenlijk afgevoerd, de jaren daarvoor werden de deze stromen gescheiden afgevoerd [40]. Verder wordt ook verdampingsconcentraat van afvalwater toegevoegd [41].

De gebruikte harsen worden op locatie verzameld, en met het oog op conditionering vermengd met cement, alvorens te worden afgevoerd. De onderneming beschikt hiervoor zelf over een installatie. Per collo wordt maximaal 50 kg (max 53 GBq) hars afgevoerd, gemengd met 650 kg cement [40]. Op deze manier is in de periode 2015-2020 in totaal jaarlijks gemiddeld 54 ton ( $4,1 \times 10^3$  GBq) aan gecementeerde hars afgevoerd [44].

#### *Overige operationele radioactieve rest- en afvalstoffen van kerncentrale*

Met uitzondering van persbare afvalstoffen worden alle overige vaste operationele laag- en middelradioactieve afvalstoffen door de exploitant van de kerncentrale in door de COVRA beschikbaar gestelde vaten verzameld en gecementeerd (zie paragraaf 4.4.3). Het betreft onder meer plastic (dat eerst nog wordt gesmolten), besmette onderdelen en besmet gereedschap. Het materiaal wordt bij gebrek aan verdere (her)gebruiksmogelijkheden als vergunningplichtige radioactieve afvalstof aangemerkt. In de periode 2015-2020 betrof het gecementeerde laag- en middelradioactief afval, niet zijnde harsen, in totaal gemiddeld jaarlijks 67 ton ( $1,4 \times 10^5$  GBq) [44]. Merk op dat het daarbij - net als bij de harsen - gaat om de totale massa van afvalstoffen en cement.

Persbare afvalstoffen als papieren tissues en gebruikte persoonlijke beschermingsmiddelen, waarbij de activiteit vooral wordt bepaald door Fe-55 en Ni-63, worden niet gecementeerd, maar onder druk in standaardvaten gedaan. Het betreft voor de periode 2015-2020 gemiddeld jaarlijks circa 10 ton [41]. Exacte cijfers over deze afvalstroom zijn niet beschikbaar.

Vloeibare materialen betreffen in het algemeen uit de installatie afkomstige olie, die licht radioactief besmet is geraakt met voornamelijk Co-60 (circa 90% van activiteit). In de periode 2018-2020 betrof dit gemiddeld jaarlijks circa 0,07 ton ( $1,5 \times 10^{-3}$  GBq) [44].

#### *Verarmd uranium*

Bij de verrijking van uranium ontstaan grote hoeveelheden uranium met minder dan 0,3 % U-235. Dit 'verarmd uranium' ontstaat in de vorm van uraniumhexafluoride (UF<sub>6</sub>), en wordt op locatie verzameld in speciale containers. Afhankelijk van de marktomstandigheden wordt het materiaal afgevoerd naar het buitenland voor (her)verrijking, of afgevoerd naar het buitenland voor conversie tot uraniumoxide (triuraniumoctoxide, U<sub>3</sub>O<sub>8</sub>) met het oog op de vervolgens voorziene lange-termijnopslag bij de COVRA. Opslag van verarmd uranium bij de COVRA (in de vorm van U<sub>3</sub>O<sub>8</sub>) is bedoeld om het materiaal beschikbaar te houden voor mogelijk toekomstig gebruik. Het materiaal is echter

aangemerkt als radioactief afval [2]. In paragraaf 4.4.6 wordt verder ingegaan op de aanvoer van  $U_3O_8$  naar de COVRA.

In de periode 2018-2020 is een onbekende massa aan verarmd uranium in de vorm van  $UF_6$  als radioactieve reststof naar het buitenland afgevoerd voor omzetting naar  $U_3O_8$ . Ervan uitgaande dat gemiddeld genomen de jaarlijks naar de COVRA aangevoerde  $U_3O_8$ -activiteit (zie paragraaf 4.4.6) gelijk is aan die van de afgevoerde  $UF_6$ -activiteit, wordt de naar het buitenland afgevoerde  $UF_6$ -activiteit geschat op gemiddeld  $2,9 \times 10^4$  GBq per jaar. Hierbij moet nog wel worden opgemerkt dat - net als voor  $U_3O_8$  - de genoemde activiteit in het uranium voornamelijk wordt bepaald door het isotoop U-238 (zie Tabel 5). De activiteiten van dochternucliden (voornamelijk Th-234, Pa-234m, Pa-234 en Th-231) zijn hierbij niet meegenomen.

Tabel 5 Samenstelling verarmd uranium (0,3 massa% U-235) [40]

Isotoop	Massafractie (% in massa U)	Activiteitsfractie (%)
$^{234}U$	0,0013	19,2
$^{235}U$	0,30	1,5
$^{238}U$	99,70	79,3

#### *Overige operationele radioactieve rest- en afvalstoffen van verrijking*

De overige operationele radioactieve rest- en afvalstoffen afkomstig van uraniumverrijking betreffen besmette metalen, laagradioactief gedroogd residu, filters, filtermateriaal en wegwerpmaterialen, besmette kleding en besmette olie.

Met uranium (en vervalproducten) besmette metalen worden op locatie zoveel mogelijk gedecontamineerd (zie paragraaf 4.4.2). Het radioactief besmette afvalwater dat hierbij ontstaat wordt ingedampt, waarbij een droog residu ontstaat. In de periode 2018-2020 is op deze manier gemiddeld jaarlijks 3,6 ton (7,5 GBq U-totaal) aan vergunningplichtig residu geproduceerd [45]. Het materiaal kan op grond van de hoeveelheid aanwezig uranium mogelijk als 'splijtstofhoudend' worden aangemerkt.

Daarnaast is in de periode 2018-2020 jaarlijks gemiddeld 5,5 ton (0,6 GBq U-totaal) aan overig materiaal als besmette filters, filtermateriaal en wegwerpmaterialen als vergunningplichtig laagradioactief afval aangemerkt. Ook dit materiaal kan op grond van de hoeveelheid aanwezig uranium als 'splijtstofhoudend' worden aangemerkt.

Kleding die mogelijk besmet is geraakt met radioactiviteit, wordt met het oog op reiniging als vergunningplichtige radioactieve reststof aangemerkt. In de periode 2018-2020 betrof dit jaarlijks ca. 4,5 ton (0,1 GBq) [46]. Deze stroom is dermate klein dat deze niet is weergegeven in Figuur 3.

Ten slotte komt bij onderhoud licht besmette olie vrij. Het betreft circa  $0,3 \text{ m}^3$  per jaar, die vóór de implementatie van richtlijn 2013/59/Euratom kon worden vrijgegeven. Na de implementatie moet



het materiaal als vergunningplichtig materiaal worden aangemerkt. In afwachting van een geschikte beheerroute wordt dit materiaal voorlopig op locatie in opslag gehouden (zie ook paragraaf 4.4.1).

#### *Historisch radioactief afval*

Het grootste deel van het historisch afval is opgeslagen in een speciale opslagfaciliteit op de locatie, in afwachting van afvoer naar de COVRA. Voor acceptatie door de COVRA is in een aantal gevallen nog nader onderzoek nodig naar de precieze chemische en radiologische samenstelling. Ook moeten delen van het afval nog nader worden gesorteerd, en mogelijk worden omgepakt. Om deze reden is het moeilijk een inschatting te geven van de uiteindelijk af te voeren hoeveelheid (massa, volume, activiteit) aan radioactieve afvalstoffen. Voor meer informatie over dit dossier wordt daarom verwezen naar bijvoorbeeld [47] en [48].

Het historisch afval kan worden onderverdeeld in drie categorieën:

- Spleitstofhoudend historisch afval;
- Alfa-houdend historisch afval;
- Historisch afval, niet zijnde spleitstofhoudend of alfa-houdend.

Een groot deel van de laatste categorie is inmiddels - vooral in de periode 2018-2020 - afgevoerd naar de COVRA. In de periode 2018-2020 betrof dit gemiddeld 39 ton ( $1,1 \times 10^6$  GBq) per jaar [44]. Het spleitstofhoudend historisch afval zal voornamelijk worden afgevoerd naar het HABOG, en voor een groot deel van het nog te ontvangen alfa-houdend afval en restanten van de derde categorie wordt bij de COVRA momenteel het Multifunctioneel Opslag Gebouw (MOG) voorbereid.

#### 4.3.2

##### *Inventaris van radioactieve rest- en afvalstoffen bij ontmanteling*

Bij de ontmanteling van de installaties binnen de sector *Nucleair* zullen radioactieve rest- en afvalstoffen vrijkomen. Voor een aantal installaties is hiervoor een datum vastgelegd (zie paragraaf 4.2).

Ter voorbereiding op de ontmanteling hebben de betreffende ondernemingen de te verwachten radiologische inventaris beschreven in een ontmantelingsplan. Hoewel er onderling verschillen bestaan tussen de manier waarop de radioactieve inventaris is beschreven, is geprobeerd uit deze informatie een totale radioactieve inventaris voor de sector *Nucleair* samen te stellen. Deze wordt geschat in de orde van  $6,3 \times 10^3$  ton. Het grootste deel hiervan betreft beton en metaalafval. Meer dan 95% van de inventaris kan worden toegerekend aan de kerncentrales Borssele en Dodewaard [49].

Tabel 6 Reguliere radioactieve rest- en afvalstoffen sector Nucleair in de periode 2018-2020<sup>24</sup>

Type rest- of afvalstof	Eigenschappen relevant voor afvoer	Beheerroute	Afvoer per jaar (gemiddeld over 2018-2020)	
			(ton)	(GBq)
Bestraalde splijtstof-elementen	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Geactiveerd metaal, splijtingsproducten en actiniden</li> <li>- Splijtstofhoudend, laagverrijkt</li> <li>- Warmteproducerend</li> </ul>	Afvoer als vergunningplichtige radioactieve reststof naar Frankrijk voor opwerking	$1,2 \times 10^1$	$4,5 \times 10^7$
Residuen afkomstig van opwerking van bestraalde splijtstofelementen	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Splijtingsproducten en actiniden (CSD-V)</li> <li>- Verglaasd</li> <li>- Warmteproducerend (1,24 kW per canister)</li> </ul>	Afvoer als vergunningplichtig hoogradioactief afval naar de COVRA	$2,8 \times 10^0$	$4,4 \times 10^7$
	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Diverse metalen (CSD-C)</li> <li>- Geperst</li> <li>- Niet-warmteproducerend (&lt; 0,01 kW per canister)</li> </ul>	Afvoer als vergunningplichtig hoogradioactief afval naar de COVRA	$6,8 \times 10^0$	$1,1 \times 10^6$
	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Overig (oorspronkelijk vloeibaar) afval (CSD-B)</li> <li>- Verglaasd</li> <li>- Niet-warmteproducerend (0,015 kW per canister)</li> </ul>	Afvoer als vergunningplichtig hoogradioactief afval naar de COVRA	$2 \times 10^{-1}$	$5 \times 10^4$
Gecementeerde harsen	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Mengsel van 93 massa% cement en 7 massa% hars</li> <li>- Totale activiteitsconcentraties tot enkele MBq/g (hars)</li> <li>- Voornamelijk Co-60</li> </ul>	Afvoer als vergunningplichtig laag/middelradioactief afval naar de COVRA	$5,4 \times 10^1$	$4,1 \times 10^3$

<sup>24</sup> Voor bestraalde splijtstofelementen en opwerkingsresiduen is gemiddeld over 2015-2020.

Type rest- of afvalstof	Eigenschappen relevant voor afvoer	Beheerroute	Afvoer per jaar (gemiddeld over 2018-2020)	
			(ton)	(GBq)
Overige operationele rest- en afvalstoffen uit kernenergie-centrale	Gecementeerde vaste afvalstoffen	Afvoer als vergunningplichtig laag/ middelradioactief afval naar de COVRA	$7,7 \times 10^1$	$1,4 \times 10^5$
	Overige geperste vaste afvalstoffen			
	Vloeibare afvalstoffen (voornamelijk besmette oliën)	Afvoer als vergunningplichtig radioactief afval naar de COVRA	$7 \times 10^{-2}$	$1,5 \times 10^{-3}$
Verarmd uranium	Verarmd uranium in de vorm van UF <sub>6</sub> Splijtstofhoudend materiaal	Afvoer als vergunningplichtige radioactieve reststof naar bewerker in buitenland	Onbekend	$2,9 \times 10^4$
	Verarmd uranium in de vorm van U <sub>3</sub> O <sub>8</sub> Splijtstofhoudend materiaal Afkomstig van bewerker	Afvoer als vergunningplichtig radioactieve afvalstof naar de COVRA	$2,1 \times 10^3$	$2,9 \times 10^4$
Overige operationele radioactieve rest- en afvalstoffen uit uraniumverrijking	Indampingsresidu - Mogelijk splijtstofhoudend - Laagradioactief	Afvoer als vergunningplichtig radioactief afval naar de COVRA	$3,6 \times 10^0$	$7,5 \times 10^0$
	Besmette filters en wegwerpmaterialen - Mogelijk splijtstofhoudend - Laagradioactieve besmette materialen	Afvoer als vergunningplichtig radioactief afval naar de COVRA	$5,5 \times 10^0$	$6 \times 10^{-1}$
	Radioactief besmette kleding	Afvoer als vergunningplichtige radioactieve reststof naar bewerker	$4,5 \times 10^0$	$1 \times 10^{-1}$
Historisch radioactief afval	Zeer diverse typen radioactieve afvalstoffen, niet zijnde splijtstofhoudend of alfa-houdend materiaal	Afvoer als vergunningplichtig radioactief afval naar de COVRA	$3,9 \times 10^1$	$1,1 \times 10^6$

## 4.4 Beheer reguliere radioactieve rest- en afvalstoffen

### 4.4.1 *(Verval)opslag*

Opslag van radioactieve rest- en afvalstoffen op locatie, met als doel verval tot onder de grenswaarde(n) voor vrijgave, wordt toegepast voor een deel van de overige operationele radioactieve afvalstoffen afkomstig van de kerncentrale. In de Kernenergiewetvergunning van de exploitant van de kerncentrale is opgenomen dat hiervoor van de termijn van twee jaar uit artikel 10.7 van het Bbs kan worden afgeweken, indien uit een rapportage blijkt dat op grond van ALARA-overwegingen een langere bewaarperiode noodzakelijk is [30].

Daarnaast worden bestraalde splijtstofelementen - in verband met een aanzienlijke warmteproductie - gedurende enkele jaren op locatie opgeslagen in een opslagbassin, alvorens van de locatie te worden afgevoerd.

Verarmd uranium wordt in vorm van UF<sub>6</sub> tijdelijk in containers opgeslagen op locatie, in afwachting van afvoer naar een bewerker voor omzetting naar U<sub>3</sub>O<sub>8</sub>. In 2020 betrof dit een relatief grote hoeveelheid, in verband de sluiting van de bewerkingsfabriek in Frankrijk in dit jaar. Een vergelijkbare bewerkingsfabriek in Engeland was ten tijde van het schrijven van dit rapport nog niet in bedrijf.

Iets vergelijkbaars geldt voor lege containers die niet meer voor opslag of transport van UF<sub>6</sub> worden gebruikt en overige licht besmette metalen onderdelen. Deze worden doorgaans in campagnes naar Siempelkamp in Duitsland verstuurd voor bewerking. In de periode 2018-2020 is dit echter niet gebeurd. Een kleine hoeveelheid van dit materiaal is momenteel in opslag op locatie, in afwachting van een afvoercampagne.

Licht radioactief besmette olie, afkomstig van verrijking, kon in het verleden worden vrijgegeven, maar wordt sinds het vervallen van de vrijgave-grenswaarden voor vloeistoffen op locatie in opslag gehouden. De onderneming onderzoekt momenteel de mogelijkheden de olie door middel van filtering te ontdoen van de radioactieve besmetting.

### 4.4.2 *Scheiding en decontaminatie op locatie*

De overige operationele afvalstoffen worden op locatie zoveel als mogelijk gescheiden van niet-besmette materialen. Voorbeelden zijn het verwijderen van water uit olie/water-mengsels op locatie van de kerncentrale [50], en het reinigen van lege besmette UF<sub>6</sub>-containers en besmette onderdelen uit verrijkingsinstallaties. Water dat bij deze reiniging besmet raakt wordt op locatie ingedampt, en het droge residu, met daarin kleine hoeveelheden uranium en uraniumdochters, wordt afgevoerd naar de COVRA (zie paragraaf 4.3.1).

Het historisch afval wordt op locatie gesorteerd op dosistempo, waarna de nucliden met behulp van gammaspectrometrie worden geïdentificeerd, voor zover mogelijk. Op basis van de nucliden-samenstelling worden vaten ingedeeld in 'families', en uiteindelijk gescheiden aan de COVRA aangeboden. Onder meer in verband met ALARA wordt materiaal soms uit voorzorg aangemerkt als radioactief afval, zonder dat hieraan wordt gemeten [51].

#### 4.4.3 *Conditionering op locatie*

Op de locatie van de kerncentrale is een installatie aanwezig om radioactieve afvalstoffen te conditioneren door middel van het toevoegen van cement. Afvalstoffen worden op deze manier uiteindelijk in 'gecementeerde' vaten afgevoerd naar de COVRA. Deze route wordt gebruikt voor verzadigde harsen en een groot aantal overige vaste operationele afvalstoffen. Plastic afval wordt voorafgaande aan cementering gesmolten (zie Figuur 4). Dit betekent dat de hier gerapporteerde massa's van gecementeerde afvalstoffen betrekking hebben op het totaal van afvalstoffen en cement (zie paragraaf 4.3.1).



Figuur 4 Gesmolten plastic in 100 liter afvalvat (bron [41]).

Overige operationele afvalstoffen van de kerncentrale, zoals papieren tissues en afdekmaten, worden op locatie 'voorgeperst', voordat ze worden afgevoerd naar de COVRA. Dit geldt ook voor sommige overige operationele afvalstoffen afkomstig van verrijking.

#### 4.4.4 *Afvoer voor bewerking*

##### *Afvoer van bestraalde splijtstofelementen voor opwerking*

Bestraalde splijtstofelementen afkomstig van de kerncentrale worden als radioactieve reststof voor opwerking afgevoerd naar een onderneming in Frankrijk. Het hierbij teruggewonnen uranium en plutonium (ongeveer 96% van de massa van de bestraalde splijtstof) kan vervolgens worden toegepast in nieuwe MOX-splijtstof [41]. De residuen die bij opwerking ontstaan, zijn beschreven in paragraaf 4.3.1. Voor een nadere toelichting op het onderwerp 'opwerking' wordt verwezen naar [52] en [53].

Afvoer en opwerking van bestraalde splijtstofelementen gebeurt in campagnes. In Tabel 7 zijn de afgevoerde hoeveelheden<sup>25</sup> voor de jaren 2018 – 2020 weergegeven.

<sup>25</sup> De hoeveelheden afgevoerde en opgewerkte splijtstof wordt in de regel uitgedrukt in 'ton zwaar metaal'. Hiermee wordt bedoeld op de massa van de elementen uranium en plutonium samen, zonder de massa van zuurstof (in UO<sub>2</sub> en PuO<sub>2</sub>), en zonder de massa van de overige metalen delen. Ter vergelijking met de andere sectoren zijn de tonnen zwaar metaal omgerekend naar tonnen.

Tabel 7 Afvoer van bestraalde splijtstof door de kerncentrale [38]

Jaar	Afvoer bestraalde splijtstof (ton zwaar metaal <sup>26</sup> )	Afvoer bestraalde splijtstofelementen (ton)
2018	4,80	7,27
2019	13,14	19,91
2020	6,41	9,71

Bestraalde splijtstofelementen worden meestal niet (volledig) opgewerkt in het jaar van afvoer. Aanvoer van opwerkingsresiduen naar de COVRA vindt (daarom) over het algemeen niet plaats in hetzelfde jaar als waarin de betreffende bestraalde splijtstofelementen werden afgevoerd door de kerncentrale. Dit betekent dat de in dit rapport gepresenteerde cijfers voor de bij de COVRA aangevoerde hoeveelheden opwerkingsresiduen niet rechtstreeks zijn te relateren aan de in dit rapport gepresenteerde cijfers voor de door de kerncentrale afgevoerde hoeveelheden bestraalde splijtstofelementen.

#### *Afvoer van verarmd uranium voor conversie*

Omdat verarmd uranium in de vorm van UF<sub>6</sub> niet geschikt wordt geacht voor lange-termijnopslag, wordt het als radioactieve reststof afgevoerd naar een externe onderneming in het buitenland voor conversie naar U<sub>3</sub>O<sub>8</sub>. Na conversie wordt het als radioactieve afvalstof afgevoerd naar de COVRA. Er zijn geen cijfers beschikbaar gekomen over de voor conversie afgevoerde hoeveelheden verarmd uranium (zie paragraaf 4.3.1).

#### *Afvoer van UF<sub>6</sub>-containers en besmette metalen voor bewerking*

Lege metalen UF<sub>6</sub>-containers en besmette metalen onderdelen afkomstig van de uraniumverrijking worden na reiniging doorgaans als reststof in campagnes afgevoerd naar een bewerker in het buitenland. In de periode 2018-2020 heeft echter geen afvoer plaatsgevonden.

#### *Afvoer besmette kleding*

Kleding die is besmet met radioactiviteit van kunstmatige oorsprong wordt vanuit de sector *Nucleair* voor reiniging afgevoerd naar de sector *Ontmanteling, decontaminatie en bewerking* (zie paragraaf 16.2.2). In de periode 2018-2020 ging dit gemiddeld om 4,5 ton (0,1 GBq) per jaar.

#### 4.4.5 *Afvoer naar aangewezen deponie als registratieplichtig radioactief afval*

In de periode 2018-2020 zijn vanuit de sector *Nucleair* geen radioactieve afvalstoffen afgevoerd naar een aangewezen deponie.

#### 4.4.6 *Afvoer naar de COVRA*

Uiteindelijk worden alle materialen uit de sector *Nucleair* die als radioactieve afvalstoffen zijn aangemerkt naar de COVRA afgevoerd. Het betreft gemiddeld per jaar:

- Opwerkingsresiduen die vanuit Frankrijk zijn aangevoerd: in totaal 9,8 ton ( $4,5 \times 10^7$  GBq);
- Gecementeerde harsen: 54 ton ( $4,1 \times 10^3$  GBq);

<sup>26</sup> 'Ton zwaar metaal' heeft betrekking op de massa van uranium en plutonium samen, zonder de massa van zuurstof (in UO<sub>2</sub> en PuO<sub>2</sub>) en zonder de massa van de metalen delen in de elementen. Bij de bestraalde elementen zijn de uit de splijtstof ontstane splijttingsproducten en actiniden meegerekend als zwaar metaal.

- Verarmd uranium dat in de vorm van  $U_3O_8$  vanuit Frankrijk is aangevoerd:  $2,1 \times 10^3$  ton ( $2,9 \times 10^4$  GBq) [44]. Hierbij moet worden opgemerkt dat er in verband met het sluiten van de conversie-fabriek in Frankrijk in 2020 geen  $U_3O_8$  naar de COVRA is aangevoerd;
- Historisch radioactief afval: 8,0 ton ( $1,1 \times 10^6$  GBq);
- Overige operationele rest- en afvalstoffen, waarbij het leeuwendeel afkomstig is van de kerncentrale: 86,2 ton ( $1,4 \times 10^5$  GBq).

#### 4.4.7 *Lozing*

De lozing van radioactiviteit naar de lucht door de kerncentrale bedraagt jaarlijks gemiddeld 0,47 GBq aan edelgasen, 0,18 GBq aan H-3 en 0,12 GBq aan C-14 [54]. De lozing van radioactiviteit naar het oppervlaktewater bedraagt gemiddeld 5,5 GBq aan H-3 en  $3,7 \times 10^{-5}$  GBq aan C-14 per jaar [54].

De lozing van radioactiviteit naar het oppervlaktewater als gevolg van verrijking bedraagt ca. 100 m<sup>3</sup> en ca. 0,3 Re<sub>ing</sub> per jaar[45].

## 4.5 **Prognose toekomstige productie rest- en afvalstoffen**

### 4.5.1 *Reguliere bedrijfsvoering*

In dit onderzoek wordt aangenomen dat de uraniumverrijkingswerkzaamheden in de komende decennia ongewijzigd zullen blijven, en dat de daarbij horende productie van radioactieve rest- en afvalstoffen eveneens min of meer ongewijzigd zal blijven. Hetzelfde geldt voor de rest- en afvalstoffen afkomstig van de kerncentrale Borssele, waarvoor - met het oog op de plannen van kabinet Rutte IV - wordt uitgegaan van een verlenging van de huidige bedrijfsduur met 10 jaar. Onder deze aannames zullen de meeste stromen uit de sector *Nucleair* in elk geval tot en met 2043 grotendeels ongewijzigd blijven. De enige uitzondering hierop vormt het resterende (relatief hoogactieve deel van het) historische afval, dat volgens de huidige planning vóór 2027 zal worden afgevoerd naar de COVRA.

### 4.5.2 *Inventaris t.b.v. ontmanteling*

De in paragraaf 4.3.2 genoemde radioactieve inventaris wordt voor het belangrijkste deel bepaald door de kerncentrales Borssele en Dodewaard. Indien wordt uitgegaan van een levensduurverlenging van 10 jaar voor de kerncentrale Borssele, gevolgd door een periode van enkele jaren voor afkoeling en afvoer van de laatste splijtstof van deze centrale, zullen de ontmantelingswerkzaamheden voor de kerncentrales Borssele en Dodewaard min of meer gelijktijdig aanvangen.

Dit betekent dat vanaf 2045 rekening moet worden gehouden met het vrijkomen van meer dan  $6 \times 10^3$  ton radioactieve rest- en afvalstoffen in een periode van een aantal jaren. Hoeveel hiervan uiteindelijk als radioactieve afvalstoffen moet worden beheerd, is sterk afhankelijk van het beleid inzake vrijgave en de mogelijkheden voor hergebruik. Daarnaast betekent dit dat een piek zal optreden in de vraag naar ontmantelingscapaciteit, zowel wat betreft de infrastructuur voor verwerking van rest- en afvalstoffen als wat betreft de noodzakelijke expertise.

## **4.6 Perspectief op verdere preventie en minimalisatie**

### **4.6.1 *Beheerroutes voor besmet metaal en licht radioactief besmette olie***

In paragraaf 4.4.1 is aangegeven dat routes voor bewerking van besmet metaal en licht radioactief besmette olie afkomstig van verrijking sinds enkele jaren niet meer beschikbaar zijn. Het creëren van specifieke vrijgaveroutes is mogelijk een optie om te voorkomen dat deze materialen als radioactieve afvalstoffen moeten worden afgevoerd.

### **4.6.2 *Specifieke vrijgave ten behoeve van recycling***

In een artikel in het *Nederlands Tijdschrift voor Stralingshygiëne* [25] wordt ingegaan op de mogelijkheden voor recycling van niet-vrijgesteld metaalafval, dat kan vrijkomen bij ontmantelingsprojecten. In het artikel wordt betoogd dat het in afstemming met schrootverwerkende marktpartijen nader uitwerken van een regulerend kader voor recycling van niet-vrijgesteld metaal, mogelijkwerwijs in de vorm van een specifieke vrijgave-route, kan bijdragen aan het minimaliseren van deze afvalstroom. Hierbij wordt verwezen naar Europese publicaties over grenswaarden voor vrijgave van dergelijke materialen.

Met het oog op de aanzienlijke radiologische inventaris in de sector *Nuclear*, die voor een groot deel bestaat uit metaal, kan een dergelijke aanpak relevant zijn. Op een vergelijkbare manier zou kunnen worden verkend wat de perspectieven zijn voor hergebruik van betonafval, afkomstig van ontmantelingsprojecten. Voor hergebruik van niet-radioactief metaal en beton zijn de benodigde infrastructuur en kennis in Nederland aanwezig. De minimumstandaarden voor deze materialen zijn vastgelegd in LAP3-sectorplannen 12 en 29. Daarnaast zijn in het bijzonder voor niet-vrijgesteld beton in eerder onderzoek [26] enkele concrete opties voor hergebruik en recycling geschetst.



## 5 Productie medische isotopen

### 5.1 Inleiding

In medische instellingen worden radionucliden gebruikt voor zowel diagnostische als therapeutische doeleinden. Een belangrijke toepassing is die in een radiofarmacon. Een radiofarmacon is een radioactief (genees)middel, bestaande uit een niet-radioactieve 'tracer', met daaraan gebonden een radionuclide. Een dergelijk radionuclide wordt in deze context vaak (medisch) isotoop genoemd. Isotopen worden ook toegepast bij brachytherapie, in de vorm van ingekapselde bronnen.

Isotopen worden geproduceerd door 'targets'<sup>27</sup> te bestralen met neutronen of protonen. De bestraling van targets kan gebeuren met kernreactoren of met deeltjesversnellers, zoals cyclotrons. Inmiddels wordt ook gewerkt aan innovatieve productiemethoden, in de vorm van nieuwe complexe deeltjesversnellers. In het target ontstaan door activering en/of splijting verschillende isotopen. De gewenste isotopen worden vervolgens geïsoleerd uit het target, en indien nodig bewerkt. Uiteindelijk worden de isotopen in de sector *Medisch* verwerkt in medische producten.

Bij de productie van medische isotopen komen radioactieve rest- en afvalstoffen vrij, die in dit hoofdstuk worden beschreven. Voor afval dat ontstaat bij de bereiding van radiofarmaca en overige medische producten wordt verwezen naar hoofdstuk 6 over de sector *Medisch*.

### 5.2 Definitie sector

De sector *Productie medische isotopen* is gedefinieerd als de ondernemingen in Nederland die isotopen produceren ten behoeve van medische toepassingen<sup>28</sup>, en als gevolg daarvan radioactieve rest- en/of afvalstoffen produceren. Het betreft acht ondernemingen op zeven locaties, die allen beschikken over een vergunning op grond van de Kernenergiewet. Omdat de productie van radioactieve rest- en afvalstoffen sterk afhankelijk is van de productiemethode, is de sector *Productie medische isotopen* op basis van de productiewijze onderverdeeld in twee categorieën.

#### *Categorie I: Productie m.b.v. een kernreactor*

Op het moment van schrijven van dit rapport is in Nederland één onderneming gevestigd die radionucliden produceert met behulp van een kernreactor. Deze onderneming is vergunninghouder en exploitant van de Hoge Flux Reactor (HFR) in Petten. De HFR wordt momenteel voornamelijk gebruikt voor de productie van medische isotopen [51].

In de HFR vindt grootschalige productie plaats van Mo-99, door uranium-targets te bestralen met neutronen. Het betreft jaarlijks ca. 1.800 targets. Het door splijting van U-235 geproduceerde Mo-99 wordt

<sup>27</sup> Met 'target' wordt bedoeld op het te bestralen 'medium', exclusief bronhouders of folies.

<sup>28</sup> Niet uit te sluiten valt dat kleine hoeveelheden van de geproduceerde isotopen ook voor niet-medische toepassingen worden gebruikt. In dit onderzoek is echter aangenomen dat het gaat om alleen medische toepassingen.

vervolgens uit de bestraalde targets geïsoleerd. De bestraalde targets worden daartoe in de *Molybdenum Production Facility* (MPF) in oplossing gebracht, en het Mo-99 wordt afgescheiden. Uiteindelijk wordt het Mo-99 door een medische dienstverlener (zie sector *Medisch*) toegepast in Mo-99/Tc-99m-generatoren. Mo-99 is het moedernuclide van Tc-99m, wat met circa 300.000 diagnoses per jaar [55] in Nederland momenteel het meest gebruikte medische isotoop is.

Niet-verspleten uranium en splijtingsproducten die niet oplossen worden afgevangen op een roestvast stalen 'uraniumverzamelfilter'. Door neerslagreacties met zilver worden direct hierna de jodium-isotopen uit de restoplossing afgescheiden en afgevangen op 'jodium-filters'. De splijtingsproducten die niet neerslaan en nog in oplossing zijn, komen terecht in het vloeibaar afval.

Per 13 januari 2018 [35] is men voor de productie van Mo-99 op de reactor-route overgeschakeld op targets met laagverrijkt uranium. Vóór deze datum werd gebruik gemaakt van hoogverrijkte uraniumtargets. Tevens worden in de MPF circa 1.000 laagverrijkte targets per jaar verwerkt, die zijn bestraald in twee buitenlandse reactoren.

Naast Mo-99 worden in de HFR door middel van activering van stabiele isotopen ook kleinere hoeveelheden Ir-192, I-125, I-131, Lu-177, Ho-166 en Y-90 geproduceerd, samen goed voor ongeveer 7.500 therapeutische behandelingen per jaar [56] [57]. Hiervoor geldt dat het target wordt bestraald in aluminium capsules. Het betreft jaarlijks ca. 1.000 capsules. Het isoleren van de gewenste isotopen gebeurt in de *Hot Cell Laboratories* (HCL) in Petten.

De radioactieve rest- en afvalstoffen die ontstaan tijdens het produceren en isoleren van de gewenste isotopen in de HFR en HCL op de reactor-route, worden toegerekend aan de sector *Productie medische isotopen*. De afvalstoffen die ontstaan bij het verwerken van de isotopen in medische producten in radionuclidenlabs, worden toegerekend aan de sector *Medisch*. Merk daarnaast op dat de HFR en HCL ook worden gebruikt voor onderzoekdoeleinden. De afvalstoffen die bij onderzoekswerkzaamheden ontstaan, konden echter niet apart worden bepaald, en zijn daarom eveneens toegerekend aan de sector *Productie medische isotopen*. De betreffende onderneming heeft aangegeven dat de werkzaamheden voor onderzoek en de daarmee samenhangende afvalstromen in omvang en activiteit vele malen minder omvangrijk zijn dan de eerdergenoemde stromen. Om die reden wordt de fout die hiermee wordt gemaakt ingeschat als relatief beperkt.

#### *Categorie II: Productie m.b.v. een cyclotron*

In Nederland exploiteren zeven ondernemingen momenteel dertien cyclotrons voor de productie van medische isotopen [58]. Daarnaast zijn twee cyclotrons in ontmanteling, en is de exploitatie van één cyclotron in voorbereiding. Een overzicht hiervan is opgenomen in Tabel 8. De bedrijfstijd van de momenteel in werking zijnde cyclotrons varieert van tien tot circa veertig jaar [59]. De cyclotrons worden geëxploiteerd door twee commerciële medische dienstverleners en vijf academische medische instellingen.

Productie van medische isotopen in cyclotrons vindt doorgaans plaats door een target te bestralen met protonen, waarbij het gewenste isotoop ontstaat. De vloeibare of gasvormige targets bevinden zich in een gesloten kamer met één of twee dunne folies aan de voorkant (samen ook wel bronhouder genoemd). Na productie worden de isotopen uit het target geïsoleerd, om vervolgens te worden verwerkt in een product.

Het door cyclotrons meest geproduceerde isotoop is F-18 [60] [61]. Andere medische isotopen die in Nederland worden geproduceerd met behulp van cyclotrons zijn I-123, Zr-89, Rb-81, O-15, N-13, C-11, Zr-89, In-111, Tl-201 en Ga-67 [59]. De benodigde proton-energie verschilt per te produceren isotoop: voor de productie van F-18 is dit doorgaans 18 MeV, voor I-123 is dit ongeveer 30 MeV [59]. Dat betekent dat de (maximale) proton-energie van het cyclotron bepalend is voor welke isotopen ermee te produceren zijn [62]. De in Nederland gevestigde cyclotrons voor de productie van medische isotopen zijn samengevat in Tabel 8 [58].

*Tabel 8 (Geanonimiseerde) ondernemingen en cyclotrons binnen de sector Productie medische isotopen.*

Onderneming	Aantal cyclotrons	Maximale protonenenergie (MeV)	Isotopen
A	1	18	F-18, N-13
B	1	28	(in ontmanteling)
	3	18	F-18
	1	3,6	O-15
	1	11	Zr-89
C	1	30	I-123, F-18, Rb-81
	1	30	(in ontmanteling)
D	1	18	F-18
	1	17	F-18
E	2	30	In-111, I-123, Tl-201, Ga-67
F	1	16	F-18
G	1	11	F-18, N-13, C-11
	1	onbekend	(in voorbereiding)

Zeer kortlevende isotopen (O-15, N-13 en C-11) kunnen in verband met de korte halveringstijd niet of nauwelijks worden vervoerd, en worden daarom vooral in medische instellingen geproduceerd voor eigen gebruik. Daarnaast produceren enkele ondernemingen voor de markt radiofarmaca met langer levende isotopen. Het gaat dan vooral om F-18, I-123, Rb-81, Zr-89, In-111, Tl-201 en Ga-67 [63].

Protonen uit een cyclotron zullen naast het target ook materialen in de directe omgeving van de bundel activeren. Bij deze activering door protonen ontstaan neutronen, die op hun beurt zorgen voor activering

van de verdere omgeving (zoals de muren van de bunker rondom het target). Al deze materialen zullen op een zeker moment worden aangemerkt als radioactieve rest- en afvalstoffen, zij het bij regulier onderhoud of uiteindelijk bij ontmanteling. De mate waarin activering optreedt, is afhankelijk van meerdere factoren, waaronder de toegepaste protonenenergie, de bundelintensiteit en de bestralingsduur [59].

De ondernemingen die met behulp van cyclotrons isotopen produceren, en deze isoleren uit targets, houden zich eveneens bezig met het verwerken van deze isotopen in radiofarmaca. Het betreft zes medische instellingen en één medische dienstverlener. Deze ondernemingen zijn eveneens opgenomen in de sector *Medisch*. Het bleek niet mogelijk om op grond van de beschikbare data onderscheid te maken tussen de productie van radioactieve rest- en afvalstoffen ten gevolge van enkel de productie van isotopen met behulp van cyclotrons, en de productie ten gevolge van handelingen die worden uitgevoerd binnen de sector *Medisch*, waaronder isolatie van isotopen en bereiding van de radiofarmaca in een radionuclidenlaboratorium van een medische instelling of dienstverlener. Om te voorkomen dat de naar verwachting veel grotere hoeveelheid rest- en afvalstoffen als gevolg van medische handelingen wordt toegerekend aan de cyclotron-route, zijn deze zeven ondernemingen niet meegenomen bij het bepalen van de hoeveelheden radioactieve rest- en afvalstoffen ten gevolge van isotopenproductie met cyclotrons, maar wél de bij sector *Medisch*. In plaats daarvan is op basis van enkele interviews een schatting gemaakt van de hoeveelheid afvalstoffen ten gevolge van isotopenproductie met cyclotrons.

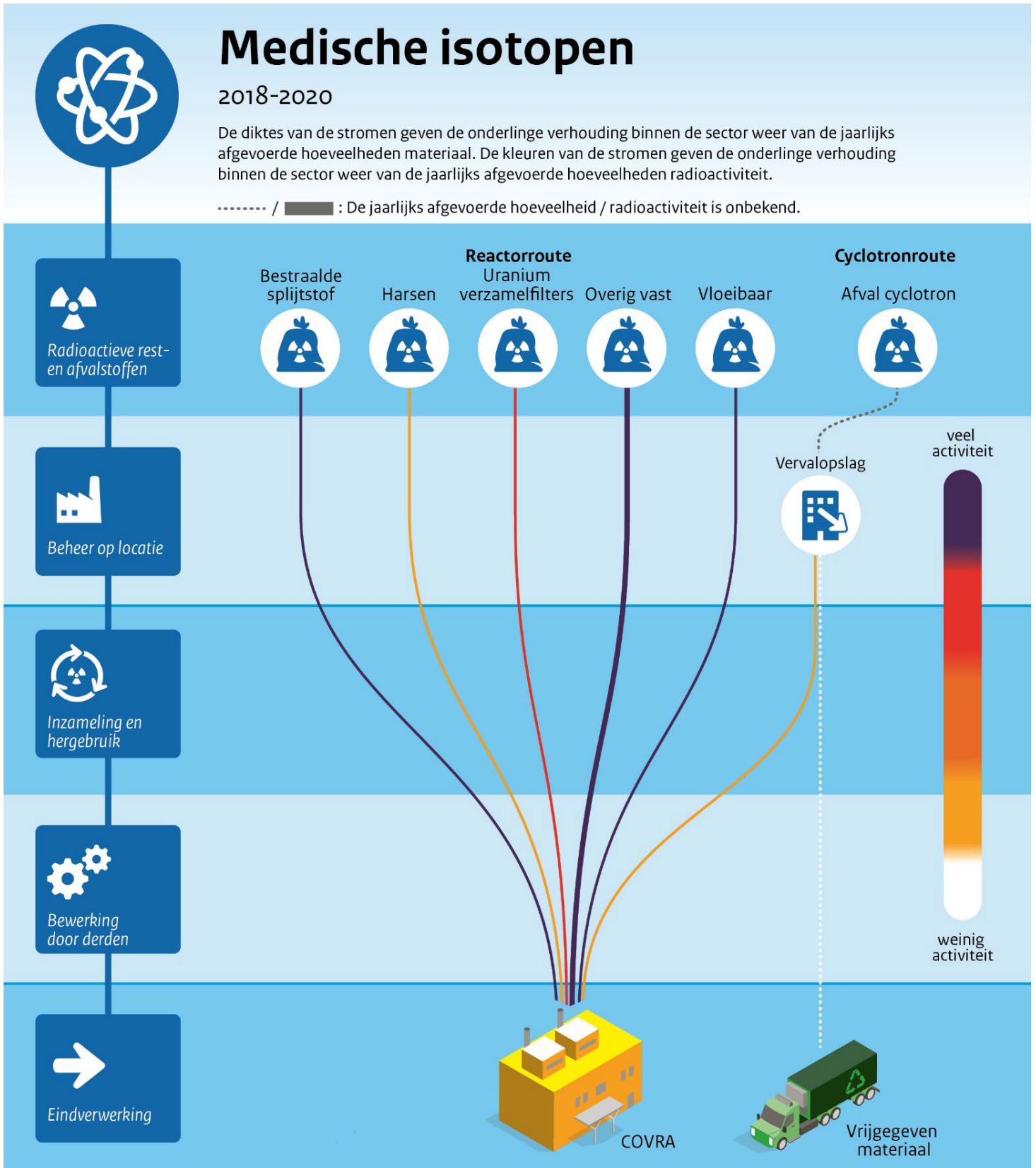
Het meenemen van de productie van radioactieve rest- en afvalstoffen van de betreffende zeven ondernemingen in de sector *Medisch* betekent dus dat de reguliere radioactieve afvalstoffen van isotopen-productie met cyclotrons dus ook zijn meegeteld in de sector *Medisch*. De fout die hiermee wordt gemaakt, is in vergelijking met de overige hoeveelheden radioactieve rest- en afvalstoffen in de sector *Medisch* echter relatief zeer beperkt.

### 5.3 Productie radioactieve rest- en afvalstoffen

De reguliere radioactieve rest- en afvalstromen afkomstig van de sector Productie medische isotopen zijn schematisch weergegeven in Figuur 5. De reguliere radioactieve rest- en afvalstromen zijn vervolgens beschreven in paragraaf 5.3.1, en samengevat in Tabel 9.

De productie van reguliere radioactieve rest- en afvalstoffen binnen de sector *Productie medische isotopen* wordt vrijwel geheel bepaald door de productie op de reactor-route. Dat betekent dat het gaat om radioactieve rest- en afvalstoffen afkomstig van de HFR en de MPF, en van de HCL waar de door de HFR geproduceerde isotopen uit de targets worden geïsoleerd. Ook de afdeling waar radioactieve afvalstoffen worden voorbereid op transport is hierin meegenomen.

Een inschatting van de te verwachten radioactieve inventaris die vrijkomt bij ontmanteling van de installaties is gegeven in paragraaf 5.3.2.



Figuur 5 Radioactieve rest- en afvalstromen sector Productie medische isotopen.

### 5.3.1

#### *Radioactieve rest- en afvalstoffen uit reguliere bedrijfsvoering*

De belangrijkste reguliere rest- en afvalstoffen afkomstig van de sector *Productie medische isotopen* zijn:

- Van de reactor-route:
  - Bestraalde splijtstofelementen
  - Harsen
  - Uraniumverzamelersfilters
  - Overige vaste radioactieve afvalstoffen afkomstig van de reactor-route
  - Vloeibare radioactieve afvalstoffen afkomstig van de reactor-route
- Van de cyclotron-route:
  - Radioactieve afvalstoffen afkomstig van de cyclotron-route

#### *Bestraalde splijtstofelementen*

Bestraalde splijtstofelementen (ook wel verbruikte splijtstofelementen, *spent fuel*) zijn splijtstofelementen die na toepassing als brandstof in een kernreactor uit de reactorkern zijn verwijderd. De elementen bestaan voorafgaand aan gebruik uit metalen structuren, met daarin uranium. Een belangrijk verschil met de sector *Nuclear* is echter dat het uranium hoger is verrijkt (19,75% uranium-235)<sup>29</sup> [64]. Het materiaal is - op het moment van vrijkomen na bestraling - warmteproducerend.

In de periode 2015-2020<sup>30</sup> is jaarlijks gemiddeld 2,2 ton ( $1,3 \times 10^7$  GBq) aan laagverrijkte splijtstofelementen als splijtstofhoudende radioactieve afvalstof afgevoerd [44].

#### *Harsen*

In het koelwatersysteem van de HFR worden waterstromen met behulp van harsen zoveel mogelijk ontdaan van geactiveerde corrosieproducten en eventueel aanwezige splijttingsproducten. Harsen moeten bij verzadiging worden vervangen, en worden dan als vergunningplichtige radioactieve afvalstof aangemerkt. In de periode 2018-2020 is jaarlijks gemiddeld 1,1 ton (24 GBq) per jaar aan verzadigde harsen afgevoerd [44]. De activiteit is voornamelijk afkomstig van Co-60, Ni-63 en de relatief kortlevende nucliden Fe-55 en Cd-109.

#### *Uraniumverzamelersfilters*

De uraniumverzamelersfilters die bij de productie van Mo-99 op de reactor-route worden toegepast bevatten na gebruik uranium en splijttingsproducten. Op het moment van vrijkomen is het materiaal warmteproducerend.

Uraniumverzamelersfilters worden in Nederland niet hergebruikt<sup>31</sup>, en daarom aangemerkt als vergunningplichtige splijtstofhoudende radioactieve afvalstof. In Kernenergiewetvergunningen wordt het materiaal ook wel aangeduid als 'bestraalde splijtstof' [65].

<sup>29</sup> Sinds 2006 worden in de HFR enkel laagverrijkte splijtstofelementen toegepast.

<sup>30</sup> Omdat afvoer van bestraalde splijtstofelementen slechts incidenteel plaatsvindt, is gemiddeld over de periode 2015-2020.

<sup>31</sup> In België wordt in het kader van het RECUMO-project momenteel een installatie gebouwd om bruikbaar materiaal terug te winnen uit residuen van de productie van medische isotopen.

In de periode 2015-2020 is gemiddeld jaarlijks 0,6 ton ( $3,5 \times 10^5$  GBq) aan uraniumverzamelers als splijtstofhoudende radioactieve afvalstof aangemerkt [51]. Omdat tot 2018 hoogverrijkte targets zijn gebruikt [51], en deze ten minste een jaar op locatie worden opgeslagen om af te koelen (paragraaf 5.4.1), zijn in de periode 2015-2020 filters met hoogverrijkt uranium afgevoerd naar de COVRA (zie ook paragraaf 5.5.1).

*Overige vaste radioactieve afvalstoffen afkomstig van de reactor-route*  
De overige vaste radioactieve afvalstoffen die ontstaan op de reactor-route bestaan uit geactiveerde en besmette aluminium capsules waarin de targets zijn bestraald, jodiumfilters, gereedschappen die zijn besmet met radioactiviteit en diverse overige besmette vaste materialen die niet verder kunnen worden gebruikt. Al deze materialen worden als vergunningplichtige radioactieve afvalstoffen aangemerkt.

In de periode 2018-2020 is gemiddeld jaarlijks ca. 31 ton (ca.  $1,1 \times 10^6$  GBq) aan overige vaste radioactieve afvalstoffen geproduceerd [44].

*Vloeibare radioactieve afvalstoffen afkomstig van de reactor-route*  
De vloeibare radioactieve afvalstoffen op de reactor-route bestaan uit een mengsel van splijtingsproducten van uranium in oplossing. Het betreft splijtingsproducten die na toevoeging van zilver, nog steeds in oplossing zijn, zoals Sr-89, Sr-90, Cs-137, Ru-103, Ru-106 en Sb-125. Deze vloeibare afvalstroom is zeer hoogradioactief, en wordt minstens een jaar veilig opgeslagen op locatie, alvorens klaargemaakt te worden voor transport.

In de periode 2018-2020 is gemiddeld jaarlijks 6,2 ton (ca  $5,6 \times 10^7$  GBq) aan vloeibare radioactieve afvalstoffen afgevoerd. Het betreft afvalstoffen die het gevolg zijn van Mo-99-productie vóór 2018, op basis van hoogverrijkte targets, aangezien tussen targetbestraling en de uiteindelijke afvoer van het daaruit ontstane vloeibaar afval ongeveer 2,5 jaar zit [51].

*Radioactieve afvalstoffen afkomstig van de cyclotron-route*  
Bij de productie van medische isotopen met behulp van cyclotrons ontstaan diverse geactiveerde materialen. Een deel daarvan komt vrij bij onderhoudswerkzaamheden. Het gaat vooral om folies, in mindere mate om kleine metalen onderdelen en af en toe om bronhouders, persluchtsslangen of koelwaterslangen die moeten worden vervangen. Door verschillen in gebruikte proton-energieën, bestralingsduur, vermogen en gebruikte folies zal de hoeveelheid en het type geactiveerde materialen per cyclotron verschillen. Meestal geldt dat Co-57, door de combinatie van een vaak hoge activiteitsconcentratie en een relatief lange halveringstijd van 272 dagen, het belangrijkste nuclide is (minstens 60% van de activiteit) van de radioactieve afvalstoffen die vrijkomen bij cyclotrononderhoud [63]. De belangrijkste activeringsnucliden die worden aangetroffen in de folies zijn Mn-54, Co-56, Co-57, Co-58, Tc-95m en Re-183 [63], met halveringstijden variërend van 2 tot 10 maanden.

De totale hoeveelheid radioactieve rest- en afvalstoffen is geschat door de bekende jaarlijkse productie afkomstig van één cyclotron - met een maximale protonenergie van 30 MeV, met een hoge productiecapaciteit,

en met gebruik van het meest voorkomende type folie - te extrapoleren naar de 13 in Nederland in bedrijf zijnde cyclotrons. Dit levert een zeer conservatieve schatting op van de jaarlijks geproduceerde totale hoeveelheid reguliere radioactieve afvalstoffen (inclusief incidenteel onderhoud) van cyclotrons in Nederland. De op deze manier bepaalde hoeveelheid bedraagt bijna 2 ton (minder dan 1 GBq). Daarnaast worden hoger actieve onderdelen, waaronder voornamelijk bronhouders als 'bronnen' in een loodverpakking afgevoerd. Het gaat naar verwachting in totaal om enkele GBq per jaar.



Tabel 9 Reguliere radioactieve rest- en afvalstoffen sector Productie medische isotopen in de periode 2018-2020

Type rest- of afvalstof	Eigenschappen relevant voor afvoer	Beheerroute	Afvoer per jaar (gemiddeld over 2018-2020)	
			(ton)	(GBq)
Bestraalde splijtstof-elementen	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Splijtstofhoudend (laagverrijkt uranium)</li> <li>- Geactiveerd metaal, splijttingsproducten en actiniden</li> <li>- Vergunningplichtige radioactieve afvalstof</li> </ul>	COVRA	$2,2 \times 10^0$	$1,3 \times 10^7$
Harsen	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Ontwaterde verzadigde harsen</li> <li>- Diverse nucliden van kunstmatige oorsprong, qua activiteit bepaald door Co-60</li> <li>- Vergunningplichtige radioactieve afvalstof</li> </ul>	COVRA	$1,1 \times 10^0$	$2,4 \times 10^1$
Uraniumverzamelers	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Roestvast staal</li> <li>- Splijttingsproducten en (voornamelijk hoogverrijkt) uranium</li> <li>- Splijtstofhoudend</li> <li>- Warmteproducerend (op het moment van vrijkomen)</li> <li>- Vergunningplichtige radioactieve afvalstof</li> </ul>	COVRA	$6 \times 10^{-1}$	$3,5 \times 10^5$
Overige vaste radioactieve afvalstoffen afkomstig van de reactor-route	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Vooral capsules, jodiumfilters en besmette gereedschappen</li> <li>- Vergunningplichtige radioactieve afvalstoffen</li> </ul>	COVRA	$3,1 \times 10^1$	$1,1 \times 10^6$
Vloeibare radioactieve afvalstoffen afkomstig van de reactor-route	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Splijttingsproducten van uranium</li> <li>- Diverse nucliden van kunstmatige oorsprong, qua activiteit bepaald door Sr-89, Sr-90, Cs-137, Ru-103, Ru-106 en Sb-125.</li> <li>- Vergunningplichtige radioactieve afvalstof.</li> </ul>	COVRA	$6,2 \times 10^0$	$5,6 \times 10^7$
Radioactieve afvalstoffen afkomstig van de cyclotron-route	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Geactiveerd materiaal: metalen folies, ringen en andere kleine metalen onderdelen, bronhouders en kunststof slangen.</li> <li>- Diverse nucliden van kunstmatige oorsprong, qua activiteit bepaald door Co-57 (&gt;60%), Re-183, Mn-54 en target-specifieke activeringsproducten</li> <li>- Vergunningplichtige radioactieve afvalstof.</li> </ul>	COVRA	$2 \times 10^0$	$1 \times 10^0$

### 5.3.2 *Inventaris van rest- en afvalstoffen bij ontmanteling*

Hieronder worden enkele cijfers gegeven voor de hoeveelheden niet-vrijgestelde materialen waarmee rekening moet worden gehouden bij de ontmanteling van installaties. Deze hoeveelheden hangen sterk af van de bewerkingen die in de toekomst zijn toegestaan voor deze materialen, inclusief eventuele specifieke vrijgaveroutes.

#### *Inventaris HFR*

De belangrijkste materialen die bij de ontmanteling van een kernreactor als vergunningplichtige radioactieve rest- of afvalstof moeten worden aangemerkt zijn [66]:

- Geactiveerd beton. De bepalende radionucliden zijn Eu-152, Eu-154 en Ba-133;
- Stalen en loden afscherming en wapening. De bepalende radionucliden zijn Co-60 en Fe-55;
- Diverse besmette materialen, met een grote diversiteit aan radionucliden.

Voor de HFR-inventaris is uitgegaan van de in het op grond van artikel 25 van het Bkse verplichte ontmantelingsplan voor de HFR. Deze totale inventaris aan niet-vrijgesteld materiaal bedraagt circa 700 ton.

#### *Inventaris cyclotrons*

Het grootste deel van de afvalstoffen die vrijkomen bij de ontmanteling van een cyclotron en de ruimte ('bunker') waarin deze is gevestigd zal direct kunnen worden vrijgegeven voor onbeperkt hergebruik [66]. Afhankelijk van de eigenschappen en historie van het cyclotron en het ontwerp van de bunker, moet echter ook rekening worden gehouden met aanzienlijke hoeveelheden niet-vrijgesteld materiaal. Dit betreft vooral metalen onderdelen van het cyclotron en betonnen bouwdelen van de bunker, al dan niet voorzien van wapening. Deze materialen zijn geactiveerd als gevolg van interactie met protonen in de bundel van het cyclotron, of met verstrooide (door protonen gegenereerde) thermische neutronen. De mate van activering is afhankelijk van het ontwerp, de deeltjesenergie, het bestralingstempo, de bedrijfstijd en de tijd die is verstreken sinds de laatste bestraling. Dat betekent dat de hoeveelheden rest- en afvalstoffen per cyclotron onderling sterk kunnen verschillen.

Voor activering is eerst enige moderatie van de neutronen nodig. Daarna neemt de activering af met de diepte. Dit betekent dat de activering over het algemeen inhomogeen is, en dat de belangrijkste activering doorgaans zal worden aangetroffen vanaf 10 cm diepte tot maximaal 50 cm diepte [67].

De belangrijkste geactiveerde metalen onderdelen van een cyclotron betreffen het bundelgeleidingssysteem, het juk en de magneet [59]. Nucliden waarmee rekening moet worden gehouden zijn Na-22, Al-27, Sc-46, Mn-54, Fe-55, Co-58, Co-60, Ni-63, Zn-65, Cd-109, Cs-134, Eu-152, Eu-154 en W-181 [68] [69]. In het beton is Eu-152 bepalend gebleken [59], voor metaal is dit Co-60 [70].

Er is slechts in beperkte mate informatie beschikbaar in de literatuur over hoeveelheden radioactieve rest- en afvalstoffen die vrijkomen bij

de ontmanteling van cyclotrons. Vanwege de onderlinge verschillen tussen de Nederlandse cyclotrons en (vooral) de huisvesting daarvan, zijn deze cijfers niet eenvoudig te extrapoleren naar andere cyclotrons. In dit onderzoek is er voor gekozen om een *best estimate* te bepalen op basis van ervaringscijfers van enkele Nederlandse ondernemingen die een cyclotron voorbereiden op ontmanteling [59] [67]. Deze cijfers, die betrekking hebben op de grotere cyclotrons, zijn geëxtrapoleerd naar vergelijkbare cyclotrons in Nederland, en zijn aangevuld met cijfers uit de literatuur voor kleinere cyclotrons [68]. De op deze manier geschatte radiologische inventaris voor alle Nederlandse cyclotrons bedraagt circa 400-600 ton metaalafval en circa 1.000-3.000 ton beton-afval. Ook geldt dat de uiteindelijke hoeveelheid als radioactieve afvalstoffen af te voeren materiaal sterk afhangt van de bewerkingen die in de toekomst zullen worden toegestaan voor deze materialen, inclusief eventuele specifieke vrijgaveroutes.

## **5.4 Beheer reguliere radioactieve rest- en afvalstoffen**

### **5.4.1 (Verval)opslag**

#### *Reactor-route*

Voor enkele hoogactieve afvalstoffen afkomstig van de reactor-route geldt dat het materiaal op locatie wordt opgeslagen om het dosistempo te laten afnemen, en op deze manier blootstelling van medewerkers te reduceren [51]. In de vergunning is hieraan een termijn van maximaal vier jaar verbonden [71]. De initiële activiteit van deze afvalstoffen is dermate hoog dat verval tot onder de vrijgavegrenzen binnen deze termijn niet aan de orde is. Het gaat hierbij onder meer om de vloeibare radioactieve afvalstoffen.

Jodiumfilters worden eveneens tijdelijk opgeslagen op locatie, om ze na afloop als 'laagactief afval' naar de COVRA te kunnen afvoeren, in plaats van als 'hoogactief afval' [72]. Naast een lagere blootstelling van medewerkers heeft dit ook als voordeel dat de afvoerkosten lager zijn.

Ten slotte worden uraniumverzamelers en bestraalde splijtstofelementen voor een periode van tenminste een jaar op locatie opgeslagen in een koelbassin, in verband met de initiële warmteproductie (zie paragraaf 5.3.1).

#### *Cyclotron-route*

Een deel van de geactiveerde materialen die als radioactieve rest- en afvalstoffen vrijkomen bij onderhoud van cyclotrons bevat relatief kortlevende radionucliden. Opslag voor verval wordt daarom voor deze typen afval veel toegepast, waardoor uiteindelijk slechts een klein deel van het als radioactieve afvalstoffen aangemerkte materiaal van de cyclotron-route hoeft te worden afgevoerd [63].

### **5.4.2 Scheiding en decontaminatie op locatie**

#### *Reactor-route*

Vast radioactief afval wordt gescheiden op basis van de aanwezigheid van splijtstoffen, het stralingsniveau en de warmteproductie. Harsen worden ontwaterd, voorafgaand aan de afvoer. Radioactieve stoffen in vloeibare afvalstromen worden met behulp van neerslagreacties en filters zo veel mogelijk gescheiden, en als vast radioactief afval

afgevoerd. Hierdoor vermindert de activiteitsconcentratie in het vloeibare radioactief afval. De hoeveelheid vast afval neemt door deze scheiding toe.

#### *Cyclotron-route*

Radioactieve afvalstoffen worden op locatie zoveel mogelijk gesorteerd op type afval en stralingsniveau, en vervolgens verpakt in door de COVRA beschikbaar gestelde verpakkingen. Decontaminatie van materiaal op locatie is praktisch niet aan de orde.

#### 5.4.3 *Afvoer voor bewerking*

In de periode 2018-2020 zijn vanuit de sector *Productie medische isotopen* geen radioactieve reststoffen afgevoerd voor bewerking.

#### 5.4.4 *Afvoer naar aangewezen deponie*

In de periode 2018-2020 zijn vanuit de sector *Productie medische isotopen* geen radioactieve afvalstoffen afgevoerd naar een aangewezen deponie.

#### 5.4.5 *Afvoer naar de COVRA*

De in de periode 2018-2020 vanuit de sector *Productie medische isotopen* naar de COVRA afgevoerde radioactieve afvalstoffen betreffen alle afvalstoffen die zijn genoemd in paragraaf 5.3.1.

#### 5.4.6 *Lozing*

##### *Lozing naar riool of oppervlaktewater.*

Bij de productie van medische isotopen op de reactor-route wordt radioactiviteit naar oppervlaktewater geloosd. Hiervoor is vergunning verleend op grond van de Kernenergiewet. In de periode 2018-2020 is door de HFR en de bijbehorende laboratoria bij benadering gemiddeld 30  $Re_{ing}$  per jaar [73] op de Noordzee<sup>32</sup> geloosd.

Productie van medische isotopen met behulp van cyclotrons leidt niet tot vergunningplichtige lozing van radioactiviteit naar het riool of oppervlaktewater.

##### *Lozing naar de lucht*

De lozing van radioactiviteit naar de lucht op de reactor-route is vooral afkomstig van de HFR en de HCL. Deze lozingen worden toegerekend aan de productie van medische isotopen. Na het treffen van een aantal maatregelen is de lozing van Ar-41 door de HFR in de periode 2018-2020 substantieel lager dan in de periode daarvoor, en veelal niet meer te detecteren [73]. Sindsdien vormt tritium de belangrijkste bijdrage aan de luchtlozingen afkomstig van de HFR. Xe-133, dat vrijkomt bij de molybdeenproductie, levert vanuit de HCL de belangrijkste bijdrage aan de jaarlijkse hoeveelheid geloosde  $Re$ 's. In totaal is in de periode 2018-2020 door de HFR en de HCL samen gemiddeld ca. 7,2  $Re_{inh}$  per jaar geloosd [73].

De lozing van radioactiviteit naar de lucht op de cyclotron-route bestaat voornamelijk uit Ar-41. Daarnaast ontstaan radioactieve gassen,

<sup>32</sup> De lozing met radionucliden staat los van het zoete, warme, niet-radioactieve koelwater afkomstig van de reactor, dat via een andere leiding wordt geloosd op het oppervlaktewater.

waarvan de halveringstijden korter zijn dan 10 minuten. Deze worden niet meegenomen in de lozingsanalyses. Voor alle cyclotrons in Nederland samen wordt de lozing van Ar-41 door het RIVM geschat op tussen de 3 en  $4 \times 10^3$  GBq per jaar. Ter vergelijking met de lozingen op de reactor-route is dit omgerekend naar tussen de 5 en 7  $Re_{inh}$  per jaar, op basis van een factor  $5,6 \times 10^2$  GBq per  $Re_{inh}$  [74]. De lozingen op de reactor-route en de cyclotron-route zijn daarmee vergelijkbaar.

## 5.5 Prognose toekomstige productie rest- en afvalstoffen

### 5.5.1 Reguliere bedrijfsvoering

Een aantal ontwikkelingen heeft mogelijk invloed op de productie van reguliere radioactieve rest- en afvalstoffen:

- Door de veroudering van de bevolking zal de vraag naar medische isotopen voor diagnostiek en therapie naar verwachting toenemen [75]. Ook nieuwe ontwikkelingen in de nucleaire geneeskunde zullen naar verwachting bijdragen aan een toename van de vraag naar medische isotopen. Omdat onzeker is hoe lang de HFR nog zal kunnen voorzien in deze vraag, wordt binnen het project PALLAS momenteel de bouw van een nieuwe kernreactor in Nederland onderzocht. Deze reactor zal voornamelijk zijn gericht op de productie van medische isotopen [76] [77]. Verder heeft de Amerikaanse onderneming SHINE het voornemen om in Nederland een nieuwe installatie te bouwen voor de productie van medische isotopen. Momenteel wordt hiervoor een aanvraag van een Kernenergiewetvergunning voorbereid. De beoogde installatie is gebaseerd op uraniumspijting met behulp van een deeltjesversneller [78]. Het beoordelen van wat dit betekent voor de productie van radioactieve rest- en afvalstoffen valt buiten de scope van dit onderzoek. In dit onderzoek wordt daarom aangenomen dat de toenemende vraag geacommodeerd zal worden door een toename in de productie van medische isotopen in Nederland, met als mogelijk gevolg een vergelijkbare toename van de productie van reguliere radioactieve rest- en afvalstoffen. Hierbij moet wel worden aangetekend dat de productie van radioactieve rest- en afvalstoffen door een nieuw type reactor of een andere installatie mogelijk niet goed vergelijkbaar is met de huidige productie. Zo claimt PALLAS dat in vergelijking met de HFR minder harsen zullen worden geproduceerd, met lagere activiteitsconcentraties. Ook claimt PALLAS dat de hoeveelheden bestraalde splijtstoffen en vloeibaar afval kleiner zullen zijn [51]. Anderzijds zullen ook nieuwe afvalstromen optreden. Ook SHINE claimt een lagere productie van radioactieve afvalstoffen in vergelijking met de HFR [79]. Het beoordelen van deze claims en het bepalen van het netto effect op de productie van radioactieve rest- en afvalstoffen valt buiten de scope van dit onderzoek.
- In verband met internationale afspraken met betrekking tot non-proliferatie is men voor de productie van medische isotopen op de reactor-route inmiddels volledig overgestapt op het gebruik van laagverrijkte uranium-targets (zie paragraaf 5.2). Omdat de molybdeen-opbrengst per target hierdoor 20% lager is in vergelijking met hoogverrijkte targets, zullen meer targets moeten worden bestraald om eenzelfde productieniveau te kunnen handhaven, en zal meer bewerking nodig zijn. Voor de

productie van radioactieve afvalstoffen kan dit betekenen dat de jaarlijkse hoeveelheid (massa) radioactieve afvalstoffen toeneemt. Wat per saldo het effect is op de productie van radioactieve rest- en afvalstoffen, is binnen de scope van dit onderzoek niet te bepalen.

### 5.5.2 *Inventaris t.b.v. ontmanteling*

Voor de ontmanteling van de HFR is nog geen definitieve datum vastgesteld. Daardoor is het niet mogelijk om aan te geven wanneer de betreffende radioactieve inventaris zal vrijkomen.

Voor twee grote cyclotrons geldt dat ontmanteling ervan in voorbereiding is. Dat betekent dat rekening moet worden gehouden met het vrijkomen van een deel van de cyclotron-inventaris in de komende jaren. Momenteel vindt overleg plaats tussen de betreffende ondernemingen en de toezichthouder over de beheerroutes voor deze materialen. De uitkomst van deze discussie is sterk bepalend voor de uiteindelijke hoeveelheid als radioactieve afvalstoffen af te voeren materiaal. Hoewel concrete data nog niet zijn vastgesteld, is het gezien de leeftijden van een aantal overige Nederlandse cyclotrons niet ondenkbaar dat een volgend ontmantelingsproject niet lang op zich zal laten wachten.

## 5.6 **Perspectief op verdere preventie en minimalisatie**

Voor de sector *Productie medische isotopen* zijn de volgende opties voor minimalisatie van radioactieve rest- en afvalstoffen in beeld gekomen:

- Bij het ontwerp en de bouw van een nieuw cyclotron wordt - in verband met de in de loop van de tijd te verwachten activering - de afscherming 'gelaagd' gerealiseerd [59]. Hierbij is rekening gehouden met de verwachte activeringsdiepte (zie paragraaf 5.3.2). Op deze manier zou het te zijner tijd bij de ontmanteling eenvoudiger moeten zijn om vrijgestelde en niet-vrijgestelde lagen afscherming van elkaar te scheiden, waarmee mogelijk minder materiaal als radioactieve rest- of afvalstoffen behoeft te worden aangemerkt.
- Een andere maatregel die bij het ontwerp van een nieuw cyclotron wordt overwogen is het waar mogelijk toepassen van minder stalen wapening, waarmee bij ontmanteling Co-60-houdend metaalafval wordt bespaard [59]. Eventueel kan worden onderzocht of in plaats van stalen wapening glasvezel kan worden toegepast [80].
- Een substantieel deel van de in paragraaf 5.3.1 genoemde afvalstoffen op de cyclotron-route bevat nucliden met een relatief beperkte halveringstijd. Het verlengen van de termijn voor vervalopslag op locatie kan zinvol zijn voor het terugbrengen van deze stroom [24].
- De hoeveelheid gespleten uranium (de *burn up*) in de targets die voor Mo-99-productie worden ingezet op de reactor-route is na afloop van de bestraling beperkt. Dit betekent dat in de bestraalde targets nog relatief veel splijtbaar uranium aanwezig is. Het terugwinnen en hergebruiken hiervan zou kunnen bijdragen aan het reduceren van het uraniumverzamelingsafval. In het RECUMO-project [81] in België wordt mede om deze reden

een installatie gebouwd die is gericht op het terugwinnen en recyclen van uranium uit targets. Een uitdaging bij het hergebruiken van uranium voor nieuwe targets is mogelijk het behoud van de zuiverheid van het geproduceerde molybdeen.





## 6 Medisch

### 6.1 Inleiding

In de sector *Medisch* wordt een grote verscheidenheid aan radioactieve stoffen gebruikt, met name voor onderzoek en behandeling van patiënten, en daarnaast voor medisch-wetenschappelijk onderzoek. Hierbij ontstaan radioactieve rest- en afvalstoffen van vooral kunstmatige oorsprong.

### 6.2 Definitie van de medische sector

De sector *Medisch* is gedefinieerd als de ondernemingen die medische zorg verlenen (medische instelling) of diensten verlenen aan medische instellingen (medische dienstverlener), en als gevolg daarvan radioactieve rest- en/of afvalstoffen produceren. Het betreft 93 ondernemingen op in totaal 121 locaties, die alle beschikken over een Kernenergiewetvergunning voor het uitvoeren van handelingen met radioactieve stoffen en/of deeltjesversnellers.

Van de 93 ondernemingen binnen de sector *Medisch* zijn er 7 die naast het verlenen van medische zorg en/of het bereiden van radiofarmaca tevens cyclotrons exploiteren voor isotopenproductie. De afvalstoffen die als gevolg van het produceren van isotopen binnen deze zeven ondernemingen ontstaan, zouden idealiter moeten worden toegerekend aan de sector *Productie medische isotopen*. Het bleek echter niet mogelijk onderscheid te maken tussen de afvalstoffen van deze verschillende handelingen. Daarom is er uiteindelijk voor gekozen om deze zeven ondernemingen bij het bepalen van de hoeveelheden afvalstoffen op te nemen in zowel de sector *Medisch* als de sector *Productie medische isotopen*. In deze laatstgenoemde sector is voor de zeven ondernemingen enkel een schatting opgenomen van de hoeveelheid afval die afkomstig is van handelingen met cyclotrons. In de sector *Medisch* is de volledige jaargemiddelde afvalproductie van deze zeven ondernemingen meegenomen. Het gevolg hiervan is dat bij het bepalen van hoeveelheden rest- en afvalstoffen in de sector *Medisch* een kleine overschatting (feitelijk een dubbeltelling) optreedt. De fout die hiermee wordt gemaakt, is in vergelijking met de totale hoeveelheden radioactieve rest- en afvalstoffen afkomstig van deze sector echter relatief zeer beperkt.

Op basis van de productie van radioactief afval kan een onderscheid worden gemaakt tussen drie categorieën ondernemingen:

- Categorie I: medische instellingen die als gevolg van handelingen met open bronnen, ingekapselde bronnen en deeltjesversnellers radioactief afval afvoeren naar de COVRA. In deze categorie vallen voornamelijk medische instellingen die een complexvergunning hebben, en enkele grote topklinische en specialistische ziekenhuizen.
- Categorie II: medische instellingen die in principe geen reguliere radioactieve afvalstoffen afvoeren naar de COVRA, én de medische instellingen die mogelijk alleen radioactief afval afvoeren als gevolg van handelingen met deeltjesversnellers met

een energie van meer dan 10 MeV. Zij maken mogelijk wel gebruik van open radioactieve bronnen en ijk- en kalibratiebronnen met een halveringstijd van 100 dagen of minder.

- Categorie III: medische dienstverleners. Zij leveren diensten aan medische instellingen, zoals het aanleveren van open radioactieve stoffen, als radiofarmacon dan wel in een generator. Ook leveren zij ijk- en kalibratiebronnen of HASS-bronnen.

Op basis van een analyse van de verleende Kernenergiewet-vergunningen (peildatum maart 2020), gecombineerd met informatie uit jaarrapportages stralingshygiëne en het Informatiesysteem Medische Stralingstoepassingen (IMS, peildatum 2019), is geïnventariseerd welke nucliden en welke versnellers in gebruik (kunnen<sup>33</sup>) zijn binnen de sector *Medisch*. Deze informatie is samengevat in Tabel 10.

Uit Tabel 10 blijkt dat in de sector *Medisch* diverse open en ingekapselde radioactieve bronnen in gebruik zijn. Open radioactieve stoffen worden vooral toegepast voor diagnostische en therapeutische nucleair-geneeskundige handelingen. Om praktische redenen worden vooral relatief kortlevende radionucliden toegepast. Het voordeel daarvan is dat de gevaarstelling goed beheersbaar is, alsook de productie van radioactieve afvalstoffen (zie echter ook de textbox op 106). Wordt alleen gekeken naar de 55 medische instellingen in categorie II, dan blijkt - op één uitzondering na - dat aan hen geen handelingen zijn vergund met open bronnen met een halveringstijd groter dan 100 dagen. Verder blijkt uit de vergunningen dat aan deze instellingen enkel Mo-99/Tc-99m en Rb-88/Kr-81m-generatoren zijn vergund, waarvan de halveringstijden eveneens kleiner zijn dan 100 dagen. Omdat veel van de vergunde activiteit daarmee relatief snel kan vervallen, ligt het voor de hand dat de productie en afvoer van radioactieve rest- en afvalstoffen door deze ondernemingen beperkt is. De medische instellingen uit categorie I en de medische dienstverleners (categorie III) maken daarnaast ook gebruik van open bronnen en generatoren met halveringstijden groter dan 100 dagen.

Ingekapselde ijk- en kalibratiebronnen worden door alle ondernemingen uit de sector *Medisch* gebruikt. Hoogactieve bronnen zijn voornamelijk in gebruik voor bestraling van patiënten, wat vooral is voorbehouden aan de medische instellingen uit categorie I. Daarnaast zijn binnen de sector lineaire versnellers en cyclotrons in gebruik voor bestraling van patiënten. De meeste daarvan zijn in gebruik bij de medische instellingen in categorie I, en in mindere mate in categorie II. Het voorhanden hebben van jodiumzaadjes is vergund aan medische instellingen in zowel categorie I als II.

<sup>33</sup> Het vergund zijn van een handeling betekent nog niet dat deze handeling in de praktijk daadwerkelijk wordt uitgevoerd.

Tabel 10 Overzicht **aantallen ondernemingen** per type vergunde radioactieve bron binnen de sector Medisch. De cijfers zijn gebaseerd op een analyse van de verleende kernenergiewetvergunningen (peildatum maart 2020), gecombineerd met data uit het IMS en jaarrapportages. Per categorie onderneming is voor de betreffende soort bron het aantal ondernemingen weergegeven. Tussen haakjes is - voor zover beschikbaar - ook het aantal vergunde bronnen opgenomen. Handelingen kunnen binnen een onderneming op meerdere locaties worden uitgevoerd. Voor de generatoren is het aantal vergunninghouders weergegeven, ongeacht het type generator. Zie voor meer detail hierover Tabel 11. Het aantal cyclotrons betreft enkel de cyclotrons ten behoeve van protonetherapie.

Categorie	Aantal	Open bronnen		Generatoren	Ingekapselde bronnen (niet-HASS)	Ingekapselde bronnen (HASS)				Jodium-zaadjes of -markers		Lineaire versnellers > 10 MeV	Cyclotrons	RN-labs
		T <sub>1/2</sub> < 100 d	T <sub>1/2</sub> > 100 d			Zie ook Tabel 11	Co-60	Sr-90	Cs-137	Ir-192	I-125			
		Diagnostiek, therapie, wetenschap		Diagnostiek, wetenschap	IJK- en kalibratie	In vitro- en/of in vivo-bestraling				Brachy	Lokalisatie	Radiotherapie	Protonetherapie	
I	24	24	9	24	24	3 (3)	2 (2)	6	12	14	18	11 (77)	2 (2)	13
II	55	51	1	32	55	1 (1)	0	0	2	1	36	17 (57)	1 (1)	43
III	14	10	7	3	14	0	0	1	1	1	1	0	0	8
<b>Totaal</b>	<b>93</b>	<b>85</b>	<b>17</b>	<b>59</b>	<b>93</b>	<b>4 (4)</b>	<b>2 (2)</b>	<b>7</b>	<b>15</b>	<b>16</b>	<b>55</b>	<b>28 (134)</b>	<b>3 (3)</b>	<b>64</b>

Tenslotte valt uit de tabel op te maken dat het grootste deel (64) van de ondernemingen binnen de sector *Medisch* beschikt over een vergunning voor één of meer radionuclidenlaboratoria [58].

### **Textbox**

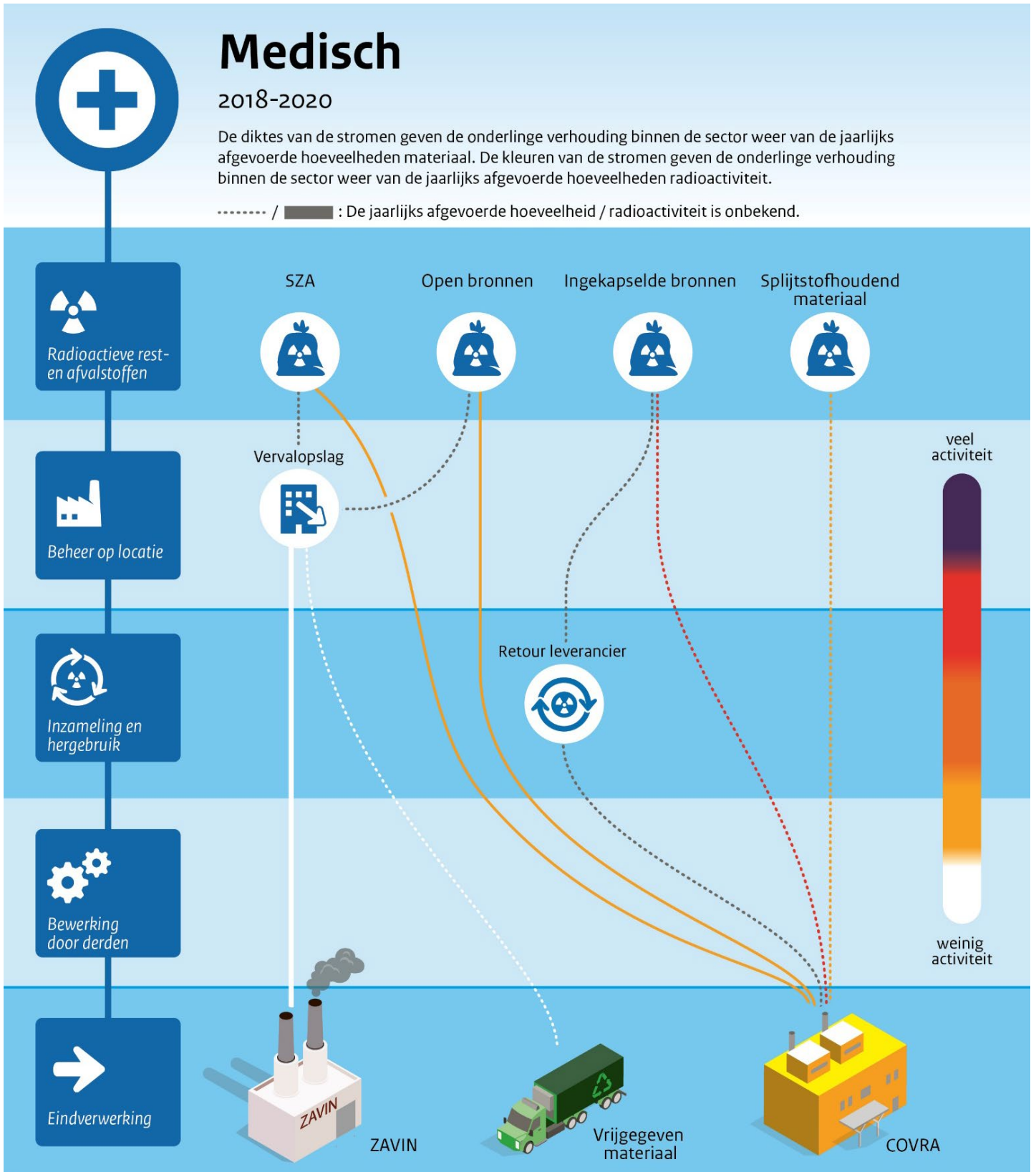
#### **'Vervuiling'**

Hoewel wordt gestuurd op de inkoop en toepassing van zoveel mogelijk kortlevende radionucliden, kunnen onbedoeld toch langerlevende nucliden aanwezig zijn bij een bepaalde toepassing. Dit is het gevolg van niet-volledige zuivering na de productie van een radionuclide in een reactor of cyclotron. Voorbeelden hiervan zijn Lu-177m, dat als vervuiling wordt aangetroffen in producten met Lu-177, en Eu-152 dat wordt aangetroffen in producten met Sm-153. Vervuiling kan ook op treden bij het elueren van generatoren, waarbij onbedoeld een kleine hoeveelheid van het moedernuclide vrijkomt. Voorbeelden zijn Ge-68, dat in kleine hoeveelheden vrijkomt bij het onttrekken van Ga-68 uit een Ge/Ga-generator, en Ac-227, dat op vergelijkbare wijze vrijkomt bij het onttrekken van Ra-223. Voor de hiervoor genoemde voorbeelden geldt dat de halveringstijd van de 'vervuiling' (aanzienlijk) langer is dan het gewenste nuclide. Dit kan consequenties hebben voor het beheer van radioactieve rest- en afvalstoffen (zie paragraaf 6.4.1).

## **6.3**

### **Productie radioactieve rest- en afvalstoffen**

De reguliere radioactieve rest- en afvalstromen afkomstig van de sector Medisch zijn schematisch weergegeven in Figuur 6. De reguliere radioactieve rest- en afvalstromen zijn vervolgens beschreven in paragraaf 6.3.1, en samengevat in Tabel 12. Een inschatting van de te verwachten radioactieve inventaris die vrijkomt bij ontmanteling van de installaties is gegeven in paragraaf 6.3.2.



Figuur 6 Radioactieve rest- en afvalstromen sector Medisch.

**6.3.1** *Radioactieve rest- en afvalstoffen uit reguliere bedrijfsvoering*  
De reguliere productie van radioactieve rest- en afvalstoffen binnen de sector *Medisch* is verder onder te verdelen in open radioactieve rest- en afvalstoffen en ingekapselde bronnen.

**6.3.1.1** *Open radioactieve rest- en afvalstoffen*  
Bij de open radioactieve rest- en afvalstoffen binnen de sector *Medisch* gaat het om materialen, voorwerpen en onderdelen die zijn besmet met radioactiviteit als gevolg van nucleair-geneeskundige handelingen of de productie van radiofarmaca en generatoren. Ook kunnen reguliere open rest- en afvalstoffen ontstaan als gevolg van onderhoud aan deeltjesversnellers met een voldoende hoge energie. Eventueel door patiënten buiten een medische instelling uitgescheiden activiteit wordt niet beschouwd als radioactieve afvalstof<sup>34</sup>.

In de periode 2018-2020 is door de sector *Medisch* gemiddeld jaarlijks 2,6 ton (ca. 2 GBq) aan open bronnen als radioactieve afvalstof aangemerkt. Meer dan 80% van de activiteit en de massa van deze open radioactieve afvalstoffen is afkomstig van de medische instellingen in categorie I. Dit correspondeert met de verwachting op basis van de vergunde handelingen (zie paragraaf 6.2). Merk op dat daarnaast een onbekende hoeveelheid radioactieve rest- en afvalstoffen na vervalopslag wordt vrijgegeven. Verder geldt dat gebruikte generatoren eventueel voor hergebruik kunnen worden aangeboden of worden geretourneerd aan de leverancier.

Voor de sector *Medisch* worden de volgende typen open radioactieve rest- en afvalstoffen onderscheiden:

- Specifiek ziekenhuisafval (SZA)
- Gebruikte generatoren
- Overige vaste radioactieve rest- en afvalstoffen
- Gebruikte telpotjes
- Overige vloeibare radioactieve rest- en afvalstoffen
- Splijtstofhoudend radioactief afval

#### *Specifiek ziekenhuisafval*

Afval van gezondheidszorg bij mens en dier wordt ook wel 'specifiek ziekenhuisafval' (SZA) genoemd. Onder de definitie van SZA vallen menselijke anatomische resten en orgaandelen die vrijkomen bij operatieve en obstetrische ingrepen, bij obductie en bij wetenschappelijk onderzoek en onderwijs. Ook vallen hieronder proefdieren en delen van proefdieren, voor zover deze niet voor destructie kunnen worden aangeboden, en overig afval waarvan de inzameling en verwerking niet zijn onderworpen aan specifieke richtlijnen, zoals niet-infectieus verband, gipsverband, linnengoed, wegwerpkleding, luiers, gedecontamineerd afval, naalden etc.

SZA ontstaat in medische instellingen, en wordt op locatie verzameld in speciale SZA-vaten. Eventuele vloeibare inhoud is door de verplichte aanwezigheid van absorptiekorrels in deze vaten doorgaans gebonden. Indien een SZA-vat niet-vrijgestelde hoeveelheden radioactiviteit bevat,

<sup>34</sup> Dit is één van de redenen dat in verhouding tot de jaarlijks aangeschafte activiteit in medische instellingen jaarlijks relatief weinig activiteit als radioactief afval wordt aangemerkt.

wordt het vat doorgaans in zijn geheel aangemerkt als een radioactieve afvalstof, en spreken we van radioactief SZA.

SZA is in Sectorplan 19 van het LAP3 aangemerkt als een gevaarlijke afvalstof, die vraagt om een speciale verwerking in verband met eventueel besmettingsgevaar of vanwege verwerkingstechnische problemen. Ook vanwege ethische aspecten is verwerking van SZA samen met conventioneel afval onwenselijk.

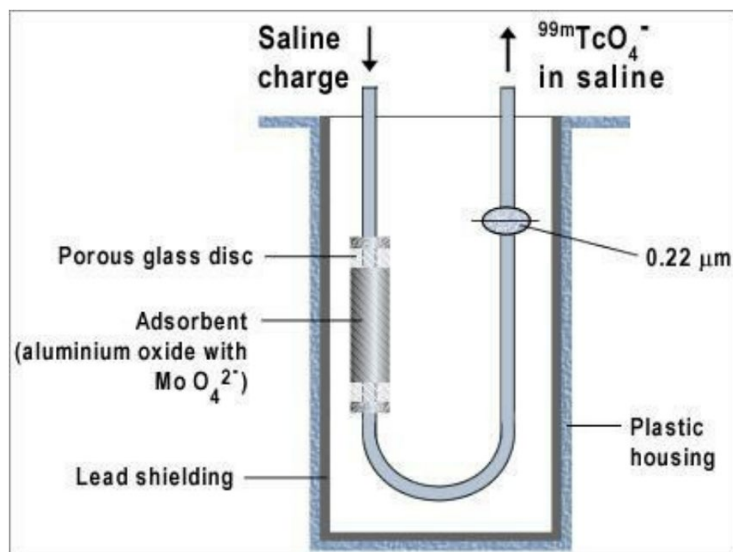
In de periode 2018-2020 is in Nederland in totaal jaarlijks gemiddeld  $1,0 \times 10^4$  ton vrijgesteld SZA geproduceerd [82], [83], [28]. Een onbekend deel daarvan is afkomstig van de sector *Medisch*. Een eveneens onbekend deel daarvan is enige tijd in vervalopslag geweest. Daarnaast zijn kleine hoeveelheden niet-vrijgesteld SZA als vergunningplichtig radioactief afval aangemerkt, voornamelijk in verband met de aanwezigheid van Lu-177m. Het betrof aanzienlijk minder dan 1 ton (ca. 0,5 m<sup>3</sup>; 0,0075 GBq) per jaar. De activiteit hierin werd bepaald door Lu-177m, Lu-177, Ge-68 en Ga-68.

#### *Gebruikte generatoren*

Radionuclidengeneratoren zijn algemeen in gebruik binnen de sector *Medisch*. Zoals blijkt uit Tabel 10 hebben 59 van de in totaal 93 ondernemingen een vergunning voor het voorhanden hebben van één of meer generatoren. 56 daarvan zijn medische instellingen [58]. Gebruikte generatoren vormen dan ook een zeer gebruikelijke reguliere radioactieve rest- of afvalstroom.

Een generator is opgebouwd uit een kern (bijvoorbeeld van metaal of papier) waarop het moedernuclide van het voor de handeling gewenste radionuclide is geladen. De kern is bijvoorbeeld omgeven met een vloeistof. Gedurende de tijd vervalt het moedernuclide naar het dochternuclide, dat loskomt van de kern en oplost in de vloeistof. Het dochternuclide wordt vervolgens voor gebruik geëluëerd uit de generator. De radioactieve inhoud van de generator is omgeven met lood, zodat aan de eisen voor stralingsbescherming wordt voldaan. In Figuur 7 is een schematische weergave van een technetium-generator te zien.

Wanneer een generator niet meer geschikt is voor gebruik, wordt deze - afhankelijk van de afvoerroute - als vergunningplichtige radioactieve rest- of afvalstof aangemerkt.



Figuur 7 Schematische weergave van de binnenzijde van een technetium-generator. Het moedernuclide molybdeen wordt geladen op een kolom van aluminiumoxide [84].

Er zijn in dit onderzoek geen cijfers beschikbaar gekomen over hoeveel generatoren jaarlijks worden aangemerkt als radioactieve afvalstof of over hoeveel er als radioactieve reststof retour worden gestuurd naar de producent voor hergebruik. Wel is in Tabel 11 informatie weergegeven over welke generatoren ten tijde van het schrijven van dit rapport in Nederland vergund zijn [58]. Hierbij moet worden opgemerkt dat het feit dat een bepaalde generator is vergund niet automatisch betekent dat deze in de praktijk ook daadwerkelijk wordt gebruikt. Daarnaast is in de Tabel informatie opgenomen over levering van de generatoren, voor zover beschikbaar.



Tabel 11 Binnen de sector Medisch vergunde generatoren.

Type	Moeder-nuclide	T <sub>1/2</sub> (moeder)	Dochter-nuclide	T <sub>1/2</sub> (dochter)	Aantal vergunning-houders	Leverings-frequentie (per ziekenhuis)	Leveringen per jaar
Tc-99m-generator	Mo-99	2,74 d	Tc-99m	6,0 uur	27 (28 locaties)	1 keer per week	1456
Kr-81m-generator	Rb-81	4,6 uur	Kr-81m	13 s	44 (48 locaties)	Ad hoc [85]	onbekend
Ga-68-generator	Ge-68	271 d	Ga-68	68 min	19 (19 locaties)	1 à 2 keer per jaar [85]	36
Rb-82-generator	Sr-82	25,5 d	Rb-82	1,26 min	7 (7 locaties)	1 keer per 6 weken [85]	60

Uit Tabel 11 kan worden afgeleid dat vooral Tc-99m en Kr-81m-generatoren in gebruik zijn. Daarnaast blijkt uit Tabel 11 dat - afgezien van Ga-68-generatoren - de halveringstijden van zowel moeder- als dochternucliden relatief kort zijn, en in elk geval korter zijn dan 100 dagen. Dit komt overeen met de observatie dat de door de sector *Medisch* naar de COVRA afgevoerde radioactieve afvalstoffen nauwelijks Rb-81, Kr-81m, Rb-82 of Sr-82 bevatten, en slechts in beperkte mate Mo-99 en Tc-99m. Daarentegen is de afgevoerde activiteit Ga-68 en Ge-68 relatief hoog.

#### *Overige vaste radioactieve rest- en afvalstoffen*

De overige vaste radioactieve rest- en afvalstoffen betreffen materialen die zijn besmet als gevolg van de bereiding<sup>35</sup> en/of het toedienen van radiofarmaca, waaronder het onttrekken van radioactiviteit aan een generator en de verpleging van patiënten. Voorbeelden van deze rest- en afvalstoffen zijn spuiten, handschoenen, celstofmatjes en infuussystemen, maar ook linnen, onderleggers, bekkens en gaasjes. De betreffende nucliden zijn doorgaans relatief kortlevend, zoals I-131, Tc-99m en F-18. Deze materialen worden bij gebrek aan bewerkingsperspectief als vergunningplichtige radioactieve afvalstof aangemerkt.

Daarnaast moet rekening worden gehouden met radioactieve materialen die zijn ontstaan door activering, en vrijkomen bij onderhoud van deeltjesversnellers. Het betreft vooral metalen onderdelen met een breed scala aan radionucliden, waarvan enkele halveringstijden groter dan 100 dagen hebben. Het gaat om een zeer bescheiden hoeveelheid [85].

De totale jaarlijkse hoeveelheid overige vaste radioactieve afvalstoffen, inclusief gebruikte generatoren, die door de sector *Medisch* in de periode 2018-2020 gemiddeld jaarlijks is geproduceerd wordt geschat op ca. 2,1 ton (1,24 GBq). Verreweg het grootste deel hiervan (ca. 1,9 ton (1 GBq)) is afkomstig uit categorie I.

#### *Gebruikte telpotjes*

Telvloeistoffen worden in 'telpotjes' gebruikt voor vloeistofscintillatiemetingen. De van glas of kunststof gemaakte telpotjes bevatten na gebruik nog aanzienlijke hoeveelheden vloeistof met een beperkte hoeveelheid radioactiviteit. De vloeistof is bovendien vaak vluchtig en brandbaar. De voornaamste radionucliden die hiervoor worden gebruikt zijn H-3 (halveringstijd 12,3 jaar) en C-14 (halveringstijd 5.700 jaar). Indien (specifieke) vrijgave niet mogelijk is, worden gebruikte telpotjes als vergunningplichtige radioactieve afvalstof aangemerkt.

In de periode 2018-2020 is door de sector *Medisch* jaarlijks gemiddeld ca. 0,14 ton (0,21 GBq) aan gebruikte telpotjes als radioactieve afvalstof aangemerkt en afgevoerd naar COVRA. 60% van deze massa en praktisch alle activiteit is afkomstig van de medische instellingen uit categorie I. De rest van de telpotjes is afkomstig van de medische dienstverleners (categorie III). De medische instellingen uit categorie II hebben in deze periode geen gebruikte telpotjes als radioactieve afvalstof afgevoerd.

<sup>35</sup> NB: Hiermee wordt niet bedoeld de productie van medische radioisotopen.

*Overige vloeibare radioactieve rest- en afvalstoffen*

Hierbij gaat het om diverse soorten overige vloeistoffen die radionucliden bevatten, die voornamelijk ontstaan bij de bereiding en toediening van radiofarmaca, en in mindere mate ook bij wetenschappelijk onderzoek. In een enkel geval is sprake van een radionuclide waarvan de halveringstijd langer is dan 100 dagen, bijvoorbeeld als gevolg van de aanwezigheid van een vervuiling (zie paragraaf 6.3.1.1). Een deel van deze vloeistoffen wordt - eventueel na vervalopslag en binnen de lozingslimiet - geloosd op het riool (zie ook paragraaf 6.4.10). De rest wordt aangemerkt als radioactieve afvalstof.

In de periode 2018-2020 is door de sector *Medisch* jaarlijks gemiddeld ca. 0,32 ton (0,57 GBq) aan overige vloeibare radioactieve afvalstoffen afgevoerd naar COVRA. 35% van deze massa en praktisch alle activiteit is afkomstig uit de medische instellingen in categorie I. De rest van de overige vloeibare radioactieve afvalstoffen is afkomstig van de medische dienstverleners (categorie III). Vanuit categorie II is in deze periode geen afvoer geweest.

*Splijststofhoudende rest- en afvalstoffen*

In vijf medische instellingen [58] (allemaal universitair medische centra, categorie I) binnen de sector *Medisch* wordt uranylacetaat toegepast voor elektronenmicroscopie. Het betreft een waterige oplossing met 1 tot 5% uranylacetaat, met daarin de radionucliden U-233, U-235 en U-238, die alle een zeer lange halveringstijd hebben. Met het oog op het gehalte uranium is op dit materiaal de term 'splijststoffen' van toepassing. Afvalstoffen die uranylacetaat bevatten, moeten daarom als 'splijststofhoudende rest- en afvalstoffen' worden aangemerkt.

De totale hoeveelheid door de sector *Medisch* geproduceerde 'splijststofhoudende rest- en afvalstoffen' is minder dan 0,001 GBq per jaar, en is daarmee ten opzichte van de overige stromen zeer gering.

6.3.1.2 *Ingekapselde bronnen*

In medische instellingen worden ingekapselde radioactieve bronnen voornamelijk toegepast voor bestraling van patiënten, en als ijk- en kalibratiebron. Ingekapselde radioactieve bronnen worden als gevolg van radioactief verval periodiek vervangen, en worden dan aangemerkt als radioactieve rest- of afvalstof. De radioactieve rest- en afvalstoffen die ontstaan bij de medische dienstverleners (categorie III) betreffen vooral ingekapselde bronnen die retour komen van de klant [86].

In de periode 2018-2020 is door de sector *Medisch* gemiddeld jaarlijks ca.  $2,7 \times 10^4$  GBq aan ingekapselde bronnen als vergunningplichtige radioactieve afvalstof aangemerkt. Meer dan 99% van deze activiteit is afkomstig van de medische instellingen uit categorie I.

De volgende typen ingekapselde radioactieve rest- en afvalstoffen worden onderscheiden:

- Gebruikte hoogactieve bronnen (HASS)
- Gebruikte jodiumzaadjes
- IJk- en kalibratiebronnen

### *Gebruikte hoogactieve (HASS) bronnen*

Een hoogactieve of HASS-bron is een ingekapselde bron waarvan de activiteit gelijk is aan of hoger is dan de betreffende waarde zoals opgenomen in Bijlage 4 van het Bbs. Hoogactieve bronnen worden vooral toegepast binnen de medische instellingen uit categorie I (zie Tabel 10), voornamelijk voor radiotherapeutische doeleinden. Voorbeelden van dergelijke HASS-bronnen zijn Co-60 bronnen in zogenoemde *Gammaknives*<sup>®</sup>, toegepast voor radiochirurgie, en Ir-192- of Cs-137-bronnen, toegepast bij *High Dose Rate (HDR)* of *Pulsed Dose Rate (PDR)* brachytherapie. Daarnaast worden hoogactieve Cs-137-bronnen ook gebruikt voor bloedbestraling, bestraling van weefsel en/of bestraling van kleine proefdieren.

HASS-bronnen worden gemiddeld na één halveringstijd vervangen [87]. Voor Ir-192-bronnen (uit Tabel 10 blijkt dat voornamelijk Ir-192-bronnen zijn vergund) is dat na ongeveer drie maanden, voor Cs-137-bronnen na ongeveer dertig jaar, en Co-60 bronnen na ongeveer vijf jaar. Hoewel de bronnen niet meer bruikbaar worden geacht voor de oorspronkelijk toepassing, moet bij afvoer nog steeds rekening worden gehouden met hoge stralingsniveaus. Afhankelijk van de mogelijkheden voor hergebruik worden de bronnen aangemerkt als vergunningplichtige radioactieve rest- of afvalstof.

In de periode 2018-2020 is door de sector *Medisch* gemiddeld jaarlijks ca.  $2,7 \times 10^4$  GBq aan gebruikte ingekapselde bronnen als radioactieve afvalstof afgevoerd. Meer dan 99% van de afgevoerde activiteit is afkomstig van de medische instellingen uit categorie I. De activiteit van de afgevoerde ingekapselde bronnen wordt volledig bepaald door gebruikte HASS-bronnen. Er zijn in dit onderzoek geen cijfers voor de massa of het volume gevonden.

### *Gebruikte jodiumzaadjes*

Een 'jodiumzaadje' is een kleine metalen ingekapselde bron ter grootte van een rijstkorrel (zie Figuur 8), waarin een hoeveelheid I-125 (halveringstijd 60 dagen) is opgesloten. Deze zaadjes worden in het lichaam van een patiënt geplaatst voor lokalisatie van een tumor, of voor de behandeling van een tumor. Doorgaans wordt per lokalisatie een jodiumzaadje van ca. 17 MBq I-125 [88] toegepast. Zaadjes die worden gebruikt voor therapeutische doeleinden bevatten per zaadje aanzienlijk meer activiteit. Tevens is het aantal zaadjes dat per behandeling wordt toegepast voor therapeutische doeleinden groter dan dat voor lokalisatiedoeleinden.

Voor de productie van radioactieve rest- en afvalstoffen is het verder van belang dat jodiumzaadjes die worden toegepast voor therapeutische doeleinden niet meer worden verwijderd, waardoor in beginsel geen radioactieve afvalstoffen ontstaan. Dit in tegenstelling tot zaadjes die worden toegepast voor lokalisatie-doeleinden. Die worden samen met de te lokaliseren tumor weer verwijderd. Het tumorweefsel en jodiumzaadje worden uiteindelijk van elkaar gescheiden, waarna het jodiumzaadje als een vergunningplichtige radioactieve afvalstof wordt aangemerkt. Ook kan het voorkomen dat aangeschafte jodiumzaadjes voor therapeutische doeleinden uiteindelijk niet worden gebruikt. Ook in dat geval moeten

deze jodiumzaadjes - met een dan nog relatief hoge activiteit - worden aangemerkt als vergunningplichtige radioactieve afvalstof.

Uit Tabel 10 blijkt dat vijftien medische instellingen beschikken over een vergunning voor het toepassen van I-125 voor therapeutische doeleinden. 54 medische instellingen beschikken over een vergunning voor het toepassen van I-125 voor lokalisedoeleinden. Verder is aan één dienstverlener een vergunning verleend voor beide doeleinden.

In de periode 2018-2020 is door de sector *Medisch* gemiddeld jaarlijks circa 16 GBq aan gebruikte jodiumzaadjes als vergunningplichtige radioactieve afvalstof aangemerkt [44]. Circa 70% daarvan is afkomstig van de medische instellingen uit categorie I, de rest is afkomstig van de medische instellingen uit categorie II.



Figuur 8 Afbeelding van een jodiumzaadje (bron: website Amsterdam UMC).

#### *Gebruikte ijk- en kalibratiebronnen*

Vrijwel alle ondernemingen binnen de sector *Medisch* beschikken over een vergunning voor het verrichten van handelingen met ijk- en kalibratiebronnen. Het gaat hier om een breed scala aan radionucliden, waaronder Sr-90, Na-22, Gd-153, C-14 en Ru-106. Ook de grootte verschilt van bron tot bron. Een *floodsource* (platte bron voor het kalibreren van een gammacamera) is doorgaans groter dan een *quality assurance*-bron, zie ook Figuur 9. Met de halveringstijd en initiële activiteit varieert ook de levensduur van deze bronnen onderling sterk. In veel gevallen moeten ijk- en kalibratiebronnen na ongeveer één à twee jaar gebruik worden vervangen, en dan worden aangemerkt als vergunningplichtige radioactieve afvalstof [89].

Er zijn in dit onderzoek geen cijfers beschikbaar gekomen over hoeveelheden gebruikte ijk- en kalibratiebronnen. De totale activiteit van deze stroom is echter vele malen kleiner dan die van de gebruikte HASS-bronnen.



*Figuur 9 Op de linker afbeelding zijn verschillende floodsources met Co-57 te zien. Op de rechter afbeelding zijn PET-bronnen te zien met Na-22 (ronde bron) en Ge-68 (smalle langwerpige bron).*

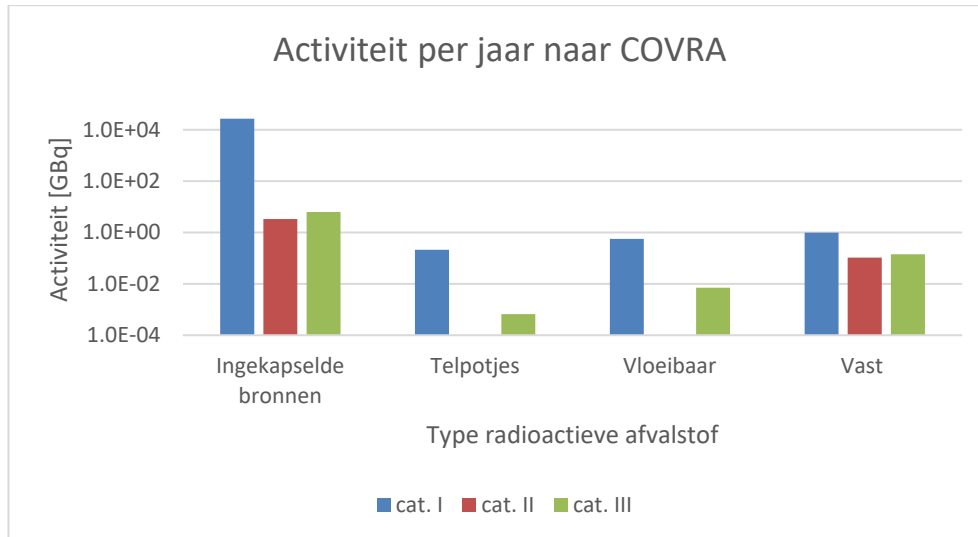
Tabel 12 Reguliere radioactieve rest- en afvalstoffen sector Medisch in de periode 2018-2020

Type rest- of afvalstof	Eigenschappen relevant voor afvoer	Beheerroute(s)	Afvoer gemiddeld over 2018-2020	
			(ton per jaar)	(GBq per jaar)
Specifiek ziekenhuisafval	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Besmettingsgevaar, verwerkings-technische en/of ethische aandachtspunten</li> <li>- Soms langlevende vervuiling (bijv. Lu-177m)</li> </ul>	Afvoer voor verbranding door ZAVIN, deels voorafgegaan door vervalopslag op locatie.	onbekend	onbekend
		Afvoer naar de COVRA voor opslag, gevolgd door (specifieke) vrijgave en verbranding door ZAVIN	$\ll 1 \times 10^0$	$7,5 \times 10^{-3}$
Gebruikte generatoren	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Vaste materialen i.c.m. met open radioactieve stoffen</li> <li>- Afgevoerde activiteit vooral Ga-68, Ge-68, Mo-99 en Tc-99m</li> </ul>	Afvoer voor hergebruik elders	incidenteel	incidenteel
		Retour leverancier	onbekend	onbekend
		Afvoer naar de COVRA	$2,1 \times 10^0$	$1,2 \times 10^0$
Overig vaste radioactieve rest- en afvalstoffen	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Zeer diverse materialen</li> <li>- Zeer diverse nucliden</li> </ul>	Afvoer naar de COVRA	onbekend	onbekend
		Vervalopslag, gevolgd door vrijgave		
		Specifieke vrijgave, gevolgd door verbranding		
Gebruikte radioactieve telpotjes	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Glas of kunststof met radioactieve vloeistof</li> <li>- Vloeistoffen vaak vluchtig/brandbaar</li> <li>- Voornamelijk H-3 en C-14</li> </ul>	Vervalopslag, gevolgd door (specifieke) vrijgave en verbranding in AVI	onbekend	onbekend
		COVRA	$1,4 \times 10^{-1}$	$2,1 \times 10^{-1}$
Overige vloeibare radioactieve rest- en afvalstoffen	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Zeer diverse materialen</li> <li>- Zeer diverse nucliden</li> </ul>	Vervalopslag, gevolgd door (specifieke) vrijgave en verbranding	onbekend	onbekend
		COVRA	$3,2 \times 10^{-1}$	$5,7 \times 10^{-1}$
Splijstofhoudende rest- en afvalstoffen	- Waterige oplossing met uranium-verbinding	COVRA	onbekend	$< 1 \times 10^{-3}$

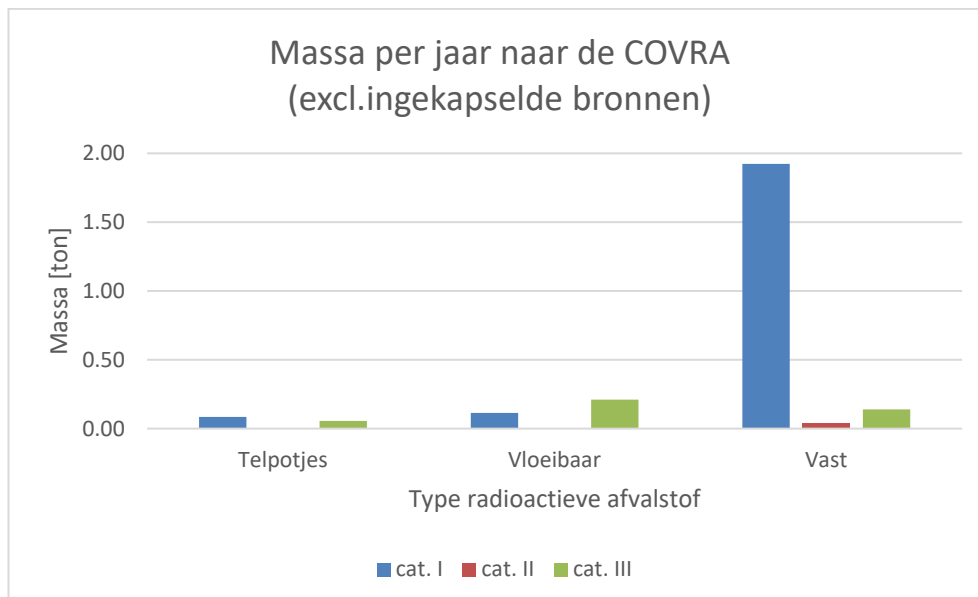
Type rest- of afvalstof	Eigenschappen relevant voor afvoer	Beheerroute(s)	Afvoer gemiddeld over 2018-2020	
			(ton per jaar)	(GBq per jaar)
Gebruikte hoogactieve bronnen	- Radioactiviteit in niet-verspreidbare vorm - Hoge stralingsniveaus (indien niet afgeschermd)	Retour leverancier	onbekend	onbekend
		COVRA	onbekend	$2,7 \times 10^4$
Gebruikte jodiumzaadjes	- Radioactiviteit in niet-verspreidbare vorm - Kleine metalen 'zaadjes'	Vervalopslag, gevolg door vrijgave	onbekend	onbekend
		COVRA	onbekend	$1,6 \times 10^1$
Gebruikte ijk- en kalibratiebronnen	- Radioactiviteit in niet-verspreidbare vorm - Zeer diverse nucliden	Retour leverancier	onbekend	onbekend
		COVRA	onbekend	onbekend



De totale afvoer per afvalsoort voor de verschillende categorieën ondernemingen is hieronder weer gegeven, in zowel activiteit als massa.



*Figuur 10 Hier is weergegeven hoeveel radioactief afval gemiddeld over de periode 2018-2020 in GBq per jaar naar de COVRA is afgevoerd. Onderscheid is gemaakt naar type radioactief afval en naar categorie onderneming. Vast afval: open bronnen uit 'gebruikte generatoren' en 'overige vaste radioactieve afvalstoffen'; vloeibaar: open bronnen enkel uit 'overige vloeibare radioactieve afvalstoffen'. Merk op dat de verticale schaal logaritmisch is.*



*Figuur 11 Hier is weergegeven hoeveel radioactief afval gemiddeld over de periode 2018-2020 in ton per jaar naar de COVRA is afgevoerd. Onderscheid is gemaakt naar type radioactief afval en naar categorie onderneming. Vast afval: open bronnen uit 'gebruikte generatoren' en 'overige vaste radioactieve afvalstoffen'; vloeibaar open bronnen enkel uit 'overige vloeibare radioactieve afvalstoffen'. Voor ingekapselde bronnen zijn geen massagegevens beschikbaar.*

### 6.3.2 Inventaris van rest- en afvalstoffen bij ontmanteling

#### 6.3.2.1 Versnellers en cyclotrons

Gebruik van lineaire versnellers en cyclotrons kan direct of indirect leiden tot activering van onderdelen van het toestel en/of de omgeving waarin het toestel is geplaatst, en daarmee tot een inventaris van radioactieve rest- en afvalstoffen bij ontmanteling. Zoals blijkt uit Tabel 10 hebben 28 ondernemingen binnen de sector *Medisch* een vergunning voor lineaire versnellers, waarvan drie ondernemingen ook een vergunning hebben voor een cyclotron<sup>36</sup>. In Tabel 13 zijn deze aantallen nader uitgewerkt, en is aangegeven welke typen en aantallen versnellers vergund zijn, met als peildatum 1 mei 2021 [58]. Hieruit blijkt dat in Nederland in totaal 143 lineaire versnellers ('linac') zijn vergund, waarvan 134 lineaire versnellers met deeltjesenergie groter dan 10 MeV. Daarnaast zijn drie cyclotrons vergund ten behoeve van protonetherapie, met een vergunde deeltjes-energie tussen de 230 en 250 MeV.

*Tabel 13 Aantal deeltjesversnellers vergund aan ondernemingen binnen de sector Medisch ten behoeve van radiotherapie. Linac staat voor lineaire versneller.*

Type deeltjesversneller	Aantal vergunninghouders	Aantal toestellen
Linac max. 6 MeV	3	4
Linac max. 8 MeV	1	2
Linac max. 10 MeV	12	30
Linac max. 12 MeV	1	1
Linac max. 14 MeV	1	2
Linac max. 15 MeV	12	39
Linac max. 17 MeV	1	7
Linac max. 18 MeV	8	19
Linac max. 20 MeV	1	2
Linac max. 22 MeV	6	31
Linac max. 25 MeV	1	3
Cyclotron t.b.v. protonetherapie	3 <sup>(37)</sup>	3 <sup>(38)</sup>
<b>Totaal</b>	<b>28 <sup>(39)</sup></b>	<b>143</b>

Lineaire deeltjesversnellers gaan gemiddeld tien jaar mee [85]. Cyclotrons hebben gemiddeld genomen een langere levensduur. Aan het einde van de levensduur moet rekening worden gehouden met een hoeveelheid geactiveerd materiaal die als radioactieve rest- of afvalstof moet worden beheerd.

<sup>36</sup> Het betreft versnellers en cyclotrons ten behoeve van therapeutische doeleinden. Versnellers en cyclotrons ten behoeve van de productie van medische isotopen en onderzoek- en onderwijsdoeleinden zijn opgenomen in respectievelijk hoofdstukken 5 en 7.

<sup>37</sup> Een vierde alliantie van ondernemingen overweegt een vergunning aan te vragen voor een protonetherapiecentrum, hun plannen staan echter voorlopig *on hold*.

<sup>38</sup> Ieder cyclotron kan door middel van verschillende bundellijnen met meerdere toestellen patiënten bestralen. Tevens hebben de verschillende protonenfaciliteiten ook ruimten voor research & development, die zijn aangesloten zijn op een bundellijn van het cyclotron.

<sup>39</sup> Omdat diverse vergunninghouders beschikken over verschillende typen versnellers (en soms ook cyclotrons) is het totaal aantal vergunninghouders niet gelijk aan de som in deze kolom.

De mate van activering, en daarmee de uiteindelijke inventaris van rest- en afvalstoffen bij ontmanteling, is afhankelijk van het type versneller of cyclotron, de versnelspanning, de totale gebruiksduur, en de tijd die beschikbaar is om kortlevende nucliden te laten vervallen. Als vuistregel geldt dat activering vooral een rol speelt bij gebruik van versnellers met deeltjes-energieën boven de 10 MeV [66] (hoogenergetisch), en dat de kans op activering toeneemt met de deeltjes-energie. Bij deeltjesversnellers tussen de 8 MeV en 10 MeV zullen alleen kortlevende radionucliden worden gevormd (N-13, N-16 en O-15). Bij energieën boven de 10 MeV worden ook langer levende radionucliden (Co-60, Cs-134, Eu-152, Eu-154, Ba-133, Mn-54, Na-22) gevormd in onderdelen en bouwdelen [26]. De mate van activering neemt toe met de totale bestralingstijd, tot een maximum is bereikt.

Het onderzoek heeft onvoldoende informatie opgeleverd om een goede inschatting te maken van de hoeveelheid materiaal die te zijner tijd als radioactieve rest- of afvalstof zal moeten worden aangemerkt. Hiervoor is de variatie in type, versnelspanning en gebruik te groot.

#### 6.3.2.2 *Radionuclidenlaboratoria*

Ook de ontmanteling van een radionuclidenlaboratorium dat door gebruik besmet is geraakt met radioactiviteit kan leiden tot het ontstaan van - vooral vaste - radioactieve rest- en afvalstoffen. Dit is met name het geval als in het betreffende radionuclidenlaboratorium is gewerkt met radionucliden met lange halveringstijden. Een belangrijk verschil met versnellers en cyclotrons is dat er in radionuclidenlabs geen sprake is van geactiveerd materiaal, maar enkel van radioactieve besmetting. Hierdoor kan de hoeveelheid radioactieve rest- en afvalstoffen mogelijk worden beperkt door middel van decontaminatie van de ruimte. Besmettingen kunnen aanwezig zijn op de oppervlakken, maar ook kunnen ophopingen van radioactiviteit ontstaan in vuilwater-afvoerleidingen en lucht-afvoerleidingen [90].

Er zijn in dit onderzoek geen cijfers beschikbaar gekomen over de te verwachten hoeveelheid radioactieve rest- en afvalstoffen als gevolg van ontmanteling van de radionuclidenlaboratoria binnen de sector.

### 6.4 **Beheer reguliere radioactieve rest- en afvalstoffen**

In deze paragraaf wordt op het niveau van de sector informatie gepresenteerd over de beheerroutes. In Tabel 12 is deze informatie samengevat.

#### 6.4.1 *(Verval)opslag*

Vervalopslag is een optie voor afvalstoffen met radionucliden met een halveringstijd tot 100 dagen. Uit Tabel 10 valt te concluderen dat dit in de sector *Medisch* voor een belangrijk deel van de gebruikte radionucliden het geval is. Hierdoor kan het grootste deel van de in deze sector geproduceerde reguliere radioactieve afvalstoffen (niet-zijnde ingekapselde bronnen) op locatie vervallen tot onder de vrijgavegrenzen, waardoor het niet als radioactief afval hoeft te worden afgevoerd naar de COVRA. Dit is de meest waarschijnlijke verklaring voor de observatie dat slechts 19 medische instellingen in de periode 2018-2020 radioactieve afvalstoffen afvoerden [44].

Naast deze vorm van 'vervalopslag' is bij de meeste ondernemingen in de Kernenergiewetvergunning als voorschrift opgenomen dat radioactieve afvalstoffen in verband met een efficiënt beheer en efficiënte afvoer tijdelijk kunnen worden opgeslagen op locatie, voordat ze naar de COVRA worden afgevoerd. Deze 'efficiëntie-opslag' is toegestaan voor een periode van maximaal twee jaar, zonder verdere voorwaarden aan de halveringstijd. Soms blijkt dat na deze efficiëntieopslag de activiteitsconcentratie alsnog is vervallen tot onder de grenswaarden voor vrijgave, waarna het materiaal als conventioneel afval kan worden afgevoerd<sup>1</sup>. Op deze manier kan er in de praktijk toch sprake zijn van vervalopslag met nucliden met halveringstijden langer dan 100 dagen.

Er zijn enkele aandachtspunten bij de toepassing van vervalopslag: ten eerste geldt dat de initiële activiteit te hoog kan zijn voor verval tot onder de vrijgavegrenswaarden binnen de gestelde termijn van twee jaar. Verder blijkt dat voor een aantal medische instellingen de toepassing van vervalopslag op locatie kan worden beperkt door de hoeveelheid vergunde activiteit of radiotoxiciteitsequivalent [24] op locatie, wat uiteindelijk een reden kan zijn om het materiaal toch als radioactieve afvalstof af te voeren (zie paragraaf 6.4.9). Ten slotte kan de aanwezigheid van een hoeveelheid langlevende vervuiling (zie paragraaf 6.2) betekenen dat vervalopslag strikt genomen niet is toegestaan. Immers, vervalopslag op locatie is niet toegestaan voor materialen met halveringstijden langer dan 100 dagen. Dit is bijvoorbeeld het geval voor afvalstoffen met het nuclide Lu-177m, dat als vervuiling wordt aangetroffen bij Lu-177 (zie ook de textbox op de volgende pagina). Zoals ook in eerder onderzoek [24] is gesignaleerd, kan de aanwezigheid van een vervuiling met een langerlevend nuclide dus een impact hebben op de hoeveelheid af te voeren radioactieve afvalstoffen. Omdat voor efficiëntieopslag geen voorwaarde wordt gesteld aan de halveringstijd, en in praktijk moeilijk een onderscheid is te maken tussen vervalopslag en efficiëntieopslag, is dit deels een theoretisch probleem. Het is niet bekend hoe de toezichthouder hier tegenover staat.

Voorbeelden van radioactieve afvalstoffen die in aanmerking komen voor vervalopslag zijn de 'overige vaste radioactieve afvalstoffen', telpotjes en 'overige vloeibare radioactieve vloeistoffen' (zie paragraaf 6.3.1.1). Daarnaast is vervalopslag - afhankelijk van de initiële activiteit en eventuele langlevende vervuilingen - in beginsel een optie voor SZA, gebruikte (en schoongemaakte) I-125 zadjes die zijn toegepast voor lokalisatie-doeleinden, en andere ingekapselde bronnen met nucliden met halveringstijden korter dan 100 dagen.

Na vrijgave wordt de afvoerroute bepaald door de voorschriften en minimumstandaarden in het LAP3. Voor een groot deel van de (generiek of specifiek) vrijgegeven afvalstoffen uit de sector *Medisch* betekent dit afvoer naar een afvalverbrandingsinstallatie (AVI) voor verbranding. In totaal wordt door de sector jaarlijks circa 40.000 ton afvalstoffen afgevoerd naar een AVI [82]. Ongeveer een kwart hiervan [82] is Specifiek Ziekenhuisafval (SZA), dat in verband met de bijzondere eigenschappen daarvan (zie paragraaf 6.3.1.1) moet worden verbrand in

een speciale verbrandingsinstallatie. Dit is verder beschreven in paragraaf 6.4.7.

#### *Lu-177*

*Het nuclide Lu-177 (halveringstijd 6,7 d) wordt toegediend aan patiënten voor de behandeling van verschillende soorten kanker. Voorbeelden zijn Lu-177-PSMA voor de behandeling van gemetastaseerde castratieresistente prostaatkanker en Lu-177-DOTATATE voor de behandeling van neuro-endocrietumoren. In Nederland hebben zestien medische instellingen [58] een vergunning voor het toedienen van Lu-177. Het op dit moment gebruikte Lu-177 wordt geproduceerd in kernreactoren [91]. Het lijkt mogelijk om Lu-177 te produceren met versnellers, maar dit is momenteel nog in een onderzoekstadium [92].*

*De productie in kernreactoren is mogelijk met een 'directe' of 'indirecte' productiemethode. Afhankelijk van de methode is er wel of geen sprake van vervuiling met het langer levende Lu-177m (halveringstijd 160 d). Bij de directe methode wordt van nature voorkomend Lu-176 (al dan niet na verrijking) bestraald met neutronen, waardoor Lu-177 wordt gevormd. Dit wordt ook wel 'carrier added' (ca) Lu-177 genoemd. Gedurende de bestraling wordt ook het ontstane Lu-177 bestraald met neutronen, waardoor achtereenvolgens het kortlevende Lu-178 (halveringstijd 28 min) en het langerlevende lutetium-177m wordt gevormd. Lu-177 en Lu-177m kunnen niet voldoende van elkaar worden gescheiden. Bij de indirecte productiemethode wordt 'non carrier added' (nca) Lu-177 geproduceerd door het stabiele Yb-176 te bestralen met neutronen. Hierbij ontstaat het nuclide Yb-177 (halveringstijd 114 minuten), dat vervalt naar Lu-177. Bij deze methode ontstaat geen Lu-177m [93, 94]. Beide productiemethoden hebben hun voor- en nadelen voor wat betreft de uiteindelijke bereiding van de gewenste radiofarmaca.*

*Lu-177-DOTATATE is goedgekeurd voor verkoop voor zowel de Europese (2016) als de Amerikaanse markt (2017). De andere radiofarmaca met Lu-177 zijn nog in onderzoeksfase (zo ook de verschillende varianten van Lu-177-PSMA). Lu-177-DOTATATE bevat ca Lu-177. Het is mogelijk dat de fabrikant overstapt op nca Lu-177. De radiofarmaca in de onderzoeksfase worden alle met nca Lu-177 bereid [94].*

Ten slotte is aan een onderneming in categorie III vergunning verleend om ingekapselde bronnen langer op te slaan, waardoor de gevaarstelling voor werknemers tijdens transport minder is.

#### 6.4.2 *Scheiding en decontaminatie op locatie*

Het scheiden van radioactieve en niet-radioactieve rest- en afvalstoffen begint vaak al op de locatie waar deze ontstaan. Zo zijn in medische instellingen vaak specifieke ruimtes aangewezen voor handelingen met specifieke nucliden, zodat rest- en afvalstoffen gescheiden kunnen worden verzameld. Bij het tijdelijk opslaan in een bergplaats wordt onderscheid gemaakt tussen kort- en langerlevende nucliden en het type rest- en afvalstoffen (denk bijvoorbeeld aan SZA). Dat geldt ook voor afvalstoffen die voor vervalopslag in aanmerking komen en afvalstoffen waarvoor dat niet geldt. SZA-vaten met (niet-vrijgestelde) radioactieve componenten en/of een verhoogd stralingsniveau worden als aparte categorie radioactief SZA beheerd, en ook telpotjes worden

apart van andere radioactieve afvalstoffen opgeslagen in speciaal daarvoor bestemde vaten. Voor geretourneerde Ir-192-bronnen geldt dat deze worden ontmanteld bij een medische dienstverlener (categorie III). Dat wil zeggen: ze worden uit de verpakking gehaald, waarna de niet-radioactieve onderdelen worden verwijderd.

Materiaal dat niet kan worden vrijgegeven wordt aangemerkt als radioactief afval, en als zodanig afgevoerd. Vrijgestelde (en vrijgegeven) materialen worden verder conform de regelgeving voor conventionele afvalstoffen beheerd en afgevoerd. De verschillen in kosten van diverse afvoerroutes vormen een belangrijke drijfveer om zo nauwkeurig mogelijk te scheiden.

#### 6.4.3 *Retour leverancier*

Door enkele individuele ondernemingen binnen de sector *Medisch* is afvoer van gebruikte HASS-bronnen met Co-60 en Ir-192 naar de leverancier (binnen de sector) gerapporteerd [89]. Het is niet duidelijk geworden hoeveel HASS-bronnen in totaal per jaar dit voor de sector betreft.

Voor ingekapselde ijk- en kalibratiebronnen geldt dat deze in de regel als radioactieve reststof worden afgevoerd naar de leverancier, zowel in Nederland als het buitenland. Bronnen die worden geretourneerd binnen Nederland worden uiteindelijk afgevoerd naar de COVRA. Door enkele individuele ondernemingen is dit gerapporteerd voor ijk- en kalibratiebronnen met Na-22, Co-57, Ge-68, Sr-85, Sr-90, en Gd-153 [89].

Voor generatoren geldt iets vergelijkbaars: 90% van de generatoren waarvan de activiteit onvoldoende is geworden voor gebruik binnen de sector *Medisch* wordt (al dan niet via de leverancier) als vergunningplichtige radioactieve reststof retour gezonden naar een categorie III onderneming voor bewerking, gevolgd door hergebruik. Indien dit om een bepaalde reden niet meer mogelijk is, zorgt de producent voor afvoer van de generator als radioactieve afvalstof.

Ten slotte worden jodiumzaadjes die zijn gebruikt als markers in enkele gevallen na gebruik retour genomen door de leverancier in het buitenland. Retourname vindt plaats bij levering van nieuwe zaadjes aan de gebruiker [24].

#### 6.4.4 *Afvoer voor hergebruik*

Een gebruikte deeltjesversneller kan in beginsel worden hergebruikt. Er is in Nederland één geval bekend van een cyclotron dat na te zijn ontmanteld - inclusief de geactiveerde onderdelen - is verscheept naar een onderneming in het buitenland, waar het opnieuw als cyclotron in gebruik is genomen [95]. Ook hergebruik van een lineaire versneller is in beginsel mogelijk [96].

In het verleden zijn incidenteel generatoren na gebruik binnen de sector *Medisch* hergebruikt door een andere gebruiker. Het betreft generatoren die na gebruik in een medische instelling zijn toegepast binnen de sector *Onderzoek en Onderwijs* [85]. Omdat het een zeer kleine incidentele stroom betreft, is die in dit rapport niet verder uitgewerkt.

#### 6.4.5 *Afvoer voor bewerking*

Binnen de sector *Medisch* worden geen radioactieve reststoffen afgevoerd voor bewerking.

#### 6.4.6 *Afvoer naar deponie*

In de periode 2018-2020 zijn geen radioactieve afvalstoffen vanuit de sector *Medisch* afgevoerd naar een aangewezen deponie.

#### 6.4.7 *Afvoer als vrijgegeven materiaal naar een verbrandingsinstallatie*

In Sectorplan 19 van het LAP3 is vastgelegd dat, gelet op de aard van Specifiek Ziekenhuisafval (SZA), nuttige toepassing ervan niet is toegestaan. In plaats daarvan geldt de minimumstandaard *'thermische verwerking in een speciaal voor deze afvalstoffen vergunde installatie, binnen dan wel buiten Nederland, onder de voorwaarde dat dit leidt tot volledige vernietiging van alle infectieuze materialen, lichaamsdelen, organen en andere menselijke resten en cytotoxische en cytostatische geneesmiddelen'*. In de praktijk betekent dit dat SZA in Nederland wordt afgevoerd naar de *Ziekenhuis Afval Verwerkingsinstallatie Nederland* (ZAVIN) in Dordrecht, waar het materiaal in een verbrandingsinstallatie wordt verbrand. Het gaat jaarlijks om circa 10 kton, waarvan verreweg het grootste deel SZA betreft [82]. Onbekend is welk deel hiervan - al dan niet na vervalopslag - afkomstig is van de sector *Medisch*.

De ZAVIN beschikt niet over een vergunning voor het voorhanden hebben of verwerken van radioactieve (afval)stoffen. Met het oog hierop is door ZAVIN in de acceptatievoorwaarden opgenomen dat het aangeboden SZA 'niet als radioactief onder de Kernenergiewet mag vallen' [97]. De ervaring leert echter dat het in de praktijk kan voorkomen dat radioactiviteit per abuis als niet-radioactief aangemerkt SZA bij ZAVIN terecht komt. Indien in het SZA door medewerkers van ZAVIN een verhoogd stralingsniveau<sup>40</sup> wordt gedetecteerd, wordt dit materiaal apart gehouden, en na melding aan de ANVS teruggestuurd naar de aanbieder, of in opslag gehouden tot de activiteit in voldoende mate is vervallen.

Het onbedoeld afvoeren van radioactief SZA door medische instellingen kan het gevolg zijn van het niet juist scheiden van radioactieve en niet-radioactieve afvalstoffen in de medische instelling, maar het komt ook voor dat radioactiviteit ongemerkt in SZA terechtkomt, als gevolg van de opname en/of behandeling van patiënten die kort geleden elders een nucleair geneeskundige behandeling hebben ondergaan, wat (onbedoeld) niet is gemeld aan de medische instelling<sup>41</sup>.

#### 6.4.8 *Afvoer als specifiek vrijgegeven materiaal naar een verbrandingsinstallatie*

De implementatie van richtlijn 2013/59/Euratom heeft tot gevolg gehad dat per 6 februari 2018 meer radioactieve stoffen binnen het controlesysteem vallen dan vóór deze datum (zie paragraaf 2.7). Na gebruik zouden deze materialen als radioactieve afvalstoffen moeten worden aangemerkt, en als zodanig worden afgevoerd. Dit geldt ook voor de sector *Medisch*.

<sup>40</sup> Hierbij wordt een criterium van 1 µSv/uur aangehouden.

<sup>41</sup> Dit blijkt o.a. uit de afhandeling van toezichtsinterventies door de ANVS.

In onderzoek [98], uitgevoerd door de Nederlandse Vereniging voor Stralingshygiëne (NVS), wordt gesteld dat het gaat om niet-vrijgesteld SZA, chemisch afval (waaronder telpotjes), linnen en overig huishoudelijk afval, waarvan de totale jaarlijkse hoeveelheid is geschat op 2.000 m<sup>3</sup>. In de toelichting bij de aanpassing van de ANVS-Verordening in 2021 is door de ANVS aangegeven dat dit correspondeert met ongeveer 2.000 ton materiaal. Daarnaast wordt in dit document aangegeven dat vóór de implementatie van de richtlijn verbranding van deze materialen in een AVI gebruikelijk was.

In verband met mogelijk te voorziene uitvoeringsproblemen als gevolg van deze aanpassing heeft de ANVS op 3 juni 2021 voor een aantal radionucliden hogere grenswaarden voor specifieke vrijgave vastgesteld. Het betreft grenswaarden in Bq/g, die zijn vastgelegd in Tabel 2 bij de ANVS-Verordening, en die gelden onder de voorwaarde van afvoer in lekdichte verpakkingen naar de ZAVIN (zie paragraaf 6.4.7) of een andere AVI voor verbranding. Het betreft de nucliden H-3, C-14, P-33, S-35, Fe-55, Co-57, Tc-99, Er-169 en Ac-227.

De hierboven genoemde specifieke vrijgaveroute was in de periode 2018-2020 nog niet beschikbaar. Merk op dat in deze periode geen grote toename van afvoer naar de COVRA is waargenomen (zie paragraaf 6.4.9). Het is niet bekend of, en in welke mate, het materiaal gedurende deze periode op locatie is opgeslagen.

#### 6.4.9 Afvoer naar de COVRA

Alle materialen die als radioactieve afvalstof zijn aangemerkt, moeten - met uitzondering van afvalstoffen die voor vervalopslag in aanmerking komen - worden afgevoerd naar de COVRA. Het gaat om alle in paragraaf 6.3.1 beschreven typen radioactieve afvalstoffen.

Uit door de COVRA beschikbaar gestelde gegevens blijkt dat in de periode 2018-2020 vanuit de sector *Medisch* gemiddeld per jaar 2,57 ton (7,4 m<sup>3</sup>; 2,03 GBq) aan radioactief afval is afgevoerd, niet zijnde ingekapselde bronnen. Dit is goed vergelijkbaar met de in [24] gerapporteerde waarde van 6,7 m<sup>3</sup> per jaar in de periode 2015-2019. Ongeveer 90% van de massa en 80% van de activiteit hiervan is afkomstig van medische instellingen uit categorie I. Op basis van activiteit is Lu-177 het meest afgevoerde radionuclide (27%). In Tabel 14 is meer informatie gegeven over de radiologische samenstelling van het afgevoerde afval, niet zijnde ingekapselde bronnen.

In vergelijking met een eerdere RIVM-studie naar ziekenhuisafval [24] over de periode 2015-2019 bevatte het afval in de periode 2018-2020 gemiddeld per jaar meer Lu-177 en een gelijke hoeveelheid Lu-177m, en aanzienlijk minder H-3. Voor wat betreft de resterende nucliden is het goed vergelijkbaar.

Daarnaast is in deze periode gemiddeld jaarlijks in totaal  $2,7 \times 10^4$  GBq aan ingekapselde bronnen afgevoerd. Dit getal wordt voor meer dan 99% bepaald door vier hoogactieve Cs-137-bronnen, die in deze periode zijn afgevoerd door medische instellingen uit categorie I. De resterende activiteit is die van jodiumzaadjes (16 GBq per jaar) en overige ingekapselde bronnen (8,3 GBq per jaar).



Tabel 14 Radiologische samenstelling van open radioactieve rest- en afvalstoffen, afgevoerd naar de COVRA in de periode 2018-2020.

Radionuclide	Halveringstijd [dagen]	Activiteit [GBq]	Percentage
Lu-177	7	0,55	27%
H-3	4511	0,48	24%
C-14	2,1·10 <sup>6</sup>	0,21	10%
Ge-68	288	0,12	6%
Lu-177m	161	0,12	6%
Ga-68	< 1	0,11	6%
I-125	60	0,10	5%
Mn-54	313	0,09	4%
Co-57	272	0,08	4%
Overig		0,18	8%

Niet-vrijgesteld SZA, dat in verband met de aanwezigheid van het nuclide Lu-177m niet in aanmerking komt voor vervalopslag, wordt als vergunningplichtig radioactief afval afgevoerd naar de COVRA (zie paragraaf 6.4.1). Daar wordt het materiaal in opslag genomen totdat de activiteitsconcentraties voldoen aan de grenswaarden voor generieke vrijgave of specifieke vrijgave, en uiteindelijk afgevoerd naar de ZAVIN, zoals beschreven in de paragrafen 6.4.7 en 6.4.8. Het betreft minder dan 1 ton (0,0075 GBq) per jaar.

#### 6.4.10 Lozing

##### *Emissie naar riool en/of oppervlaktewater*

Bij klinische nucleaire geneeskundige behandeling van een patiënt komt het voor dat een deel van de toegediende activiteit door de patiënt op de locatie van de medische instelling wordt uitgescheiden via urine. Deze activiteit wordt - net als afvalwater uit radionuclidenlaboratoria en eventueel geactiveerd koelwater van cyclotrons - doorgaans verzameld in betijntanks. Indien en voor zover dit in verband met de niet-radiologische eigenschappen mogelijk is, wordt de vloeistof na verval uiteindelijk geloosd op het riool.

##### *Emissie naar lucht*

Bij de productie van hoogenergetische protonen voor protonetherapie worden ook neutronen gevormd, die gassen in de lucht kunnen activeren. De geactiveerde nucliden zijn de kortlevende nucliden C-11, N-13 en O-15 en het langerlevende radioactieve edelgas Ar-41. Het betreft beperkte hoeveelheden, die worden geloosd naar de lucht.

## 6.5 Prognose toekomstige productie rest- en afvalstoffen

### 6.5.1 Reguliere bedrijfsvoering

De productie van radioactieve rest- en afvalstoffen in de sector *Medisch* wordt in belangrijke mate bepaald door de gebruikte nucliden en het aantal handelingen per jaar. Toekomstige ontwikkelingen in de nucleaire geneeskunde zijn daarom van grote invloed op de toekomstige productie. Hierbij is het relevant dat het jaarlijkse aantal nucleair-

geneeskundige (be)handelingen in de toekomst naar verwachting zal toenemen, als gevolg van nieuwe therapieën. Dit geldt vooral voor de behandeling van gemetastaseerde castratieresistente prostaatkanker met Lu-177-PSMA [99]. Vooral voor de stromen met langerlevende Lu-177m-vervuilingen, die onder de huidige voorwaarden niet in aanmerking komen voor vervalopslag, kan deze ontwikkeling een toename van de jaarlijkse hoeveelheid geproduceerde radioactieve afvalstoffen betekenen. Aan de andere kant bestaat de mogelijkheid dat ondernemingen zullen kiezen voor de inzet van radiofarmaca zonder vervuilingen, waar beschikbaar en mogelijk.

Daarnaast wordt gewerkt aan de ontwikkeling van nieuwe radiofarmaca, die naar verwachting zullen worden gaan toegepast voor diagnostiek of therapie. In onder meer [56] is beschreven welke nieuwe radionucliden wat dat betreft als veelbelovend worden gezien. Voorbeelden van nucliden zijn Cu-64 ( $T_{1/2} = 13$  uur) voor PET-onderzoek, en Pb-212 ( $T_{1/2} = 10$  h), Ac-225 ( $T_{1/2} = 10$  d) en Tb-161 ( $T_{1/2} = 6,8$  d) voor therapie [89] [100]. Deze radionucliden zijn vooralsnog niet of weinig in gebruik in Nederland. Al deze radionucliden hebben een halveringstijd kleiner dan 100 dagen. Onder de aannames dat (1) de regelgeving voor vrijstelling en vrijgave ongewijzigd blijft, en (2) bij de productie van deze nucliden geen vervuiling optreedt met langer levende nucliden, zou de huidige praktijk van vervalopslag op locatie voor deze nucliden moeten kunnen voorzien in verval tot onder de grenswaarden voor vrijgave, gevolgd door vrijgave. Op basis daarvan zouden deze te voorziene ontwikkelingen weinig tot geen impact moeten hebben op de hoeveelheid als radioactief afval af te voeren materiaal.

Ten slotte wordt gesignaleerd dat hoogactieve ingekapselde Cs-137-bronnen in de toepassing voor *in vitro*-bestraling steeds vaker worden vervangen door een röntgentoestel. Zoals aangegeven in paragraaf 6.4.9 wordt de activiteit van de door de sector *Medisch* afgevoerde radioactieve afvalstoffen in de periode 2018-2020 voor 99,9% bepaald door dergelijke bronnen. Mogelijk zal deze trend daarom op termijn kunnen leiden tot een afname van de hoeveelheid afgevoerde activiteit.

#### 6.5.2 *Inventaris t.b.v. ontmanteling*

Net als voor de reguliere radioactieve rest- en afvalstoffen geldt voor de inventaris ten behoeve van ontmanteling dat een te voorziene toename van het aantal behandelingen zal leiden tot het gebruik van meer versnellers en cyclotrons. Daar tegenover staat de tendens om radiotherapiebehandelingen uit te voeren met lagere bestralings-energieën (<10 MeV), waardoor minder activatie ontstaat. Ook moet worden opgemerkt dat bij vervanging een nieuwe versneller vaak wordt geplaatst in een ruimte waar al eerder een versneller stond. De betreffende ruimte wordt in dat geval dus niet meteen ontmanteld, maar 'hergebruikt'.

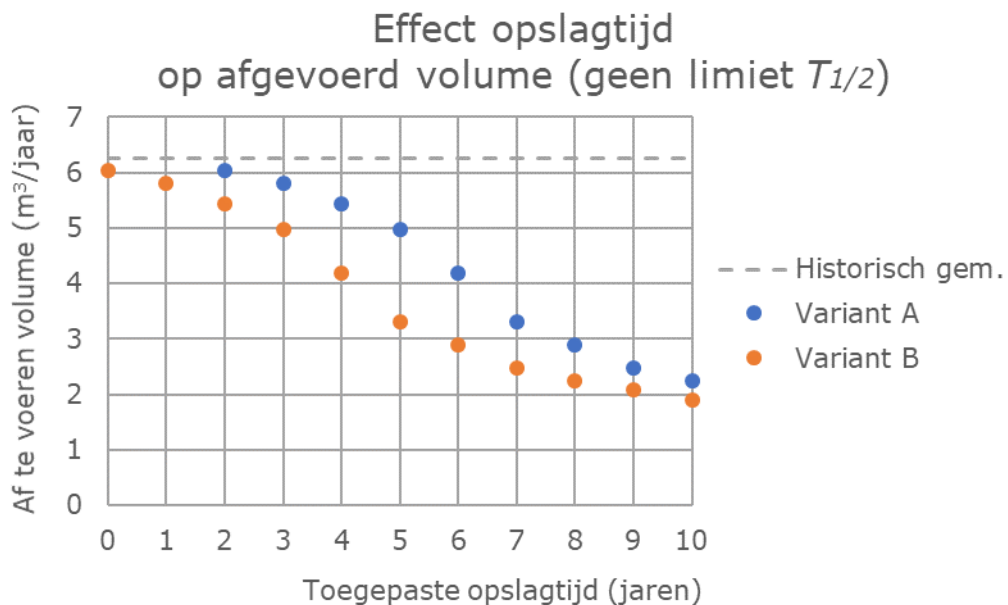
Op basis van de beschikbare informatie is niet in schatten wat het netto-effect van de hierboven genoemde ontwikkelingen op de hoeveelheid ontmantelingsafval is. Evenmin is een inschatting te geven over het tempo waarin de in de sector aanwezige radioactieve inventaris als radioactieve rest- en afvalstoffen zal vrijkomen.

## 6.6 Perspectief op verdere preventie en minimalisatie

In dit onderzoek zijn de volgende opties naar voren gekomen om het ontstaan van radioactief afval binnen de sector *Medisch* te voorkomen of te minimaliseren:

### 6.6.1 Verlenging termijn voor vervalopslag op locatie

Uit eerder onderzoek [24] blijkt dat het volume radioactief afval dat vanuit de sector *Medisch* moet worden afgevoerd met ongeveer de helft kan worden teruggebracht door verlenging van de termijn voor vervalopslag naar vijf tot zeven jaar, in combinatie met het loslaten van de eis aan de halveringstijd. Eén en ander is geïllustreerd in Figuur 12, overgenomen uit [24].



*Figuur 12 Het minimaal te verwachten effect van een verlengde opslagtermijn op de hoeveelheid af te voeren radioactief afval. Bij variant A is aangenomen dat het afval pas na twee jaar vervalopslag naar de COVRA werd afgevoerd. Bij variant B is aangenomen dat het afval dat in de periode 2014-2019 naar de COVRA is afgevoerd, daar steeds direct na productie heen werd gebracht. Twee jaar extra verval zou er in deze variant toe hebben geleid dat een deel van het afval al op locatie had kunnen worden vrijgegeven. Bij het verlengen van de opslagtijd is de eis aan de halveringstijd losgelaten [24].*

Het grootste effect wordt gerealiseerd voor afvalstoffen met *carrier added* Lu-177 (Lu-177/Lu-177m), activeringsproducten bij cyclotronprocessen (Co-56, Co-57, Mn-54 en Zn-65) en afvalstoffen met Ge-68/Ga-68 [24]. Hierbij is uitgegaan van de afvalproductie in de periode 2014-2019. Zoals aangegeven in paragraaf 6.4.9 is het volume van het afgevoerde afval in de periode 2018-2020 goed vergelijkbaar. Een verlenging van de verval-opslagtermijn zal daarom nog steeds hetzelfde effect hebben.

Een mogelijk aandachtspunt bij de verlenging van de termijn voor vervalopslag is de in de Kernenergiewetvergunning maximaal toegestane activiteit of radiotoxiciteit op locatie. Bij verlenging van de

opslagtermijn zal deze bij enkele ondernemingen beperkend worden [101]. Indien het doel is de hoeveelheid radioactief afval te minimaliseren, zal dit maximum bij deze ondernemingen moeten worden aangepast.

- 6.6.2 *Onderzoek naar verruiming acceptatiecriteria ZAVIN*  
ZAVIN heeft aangegeven bereid te zijn om met de toezichthouder en stakeholders de mogelijkheid voor verruiming van acceptatiecriteria voor verbranding van aantoonbaar vrijgestelde vaten te onderzoeken. Dit kan mogelijk bijdragen aan vermindering van de hoeveelheid als radioactief afval af te voeren materiaal afkomstig van de sector *Medisch*.
- 6.6.3 *Specifiek vrijgegeven materiaal*  
38% van de totale activiteit van de als 'open bronnen' naar de COVRA afgevoerde afvalstoffen is afkomstig van de nucliden H-3, C-14 en Co-57 (zie Tabel 14). De invoering per 3 juni 2021 (ANVS-verordening tabel 4) van hogere grenswaarden voor specifieke vrijgave voor verbranding voor onder meer deze drie radionucliden zal naar verwachting leiden tot een afname van de hoeveelheid radioactieve afvalstoffen met deze drie radionucliden. Verder onderzoek is nodig om precies vast te stellen hoe groot deze afname is. Eén en ander is mede afhankelijk van de mate waarin afvalverbrandingsinstallaties bereid zijn om dergelijke materialen te ontvangen.

## 7 Onderzoek en onderwijs

### 7.1 Inleiding

In de sector *Onderzoek en onderwijs* worden radioactieve stoffen gebruikt voor - zoals de naam van de sector al doet vermoeden - onderzoek en onderwijs. Het gaat in deze sector om zowel open als ingekapselde bronnen, en daarnaast ook om bronnen die als 'splijtstoffen' moeten worden aangemerkt. Bij het gebruik van deze bronnen ontstaan radioactieve rest- en afvalstoffen van voornamelijk kunstmatige oorsprong.

### 7.2 Definitie sector

De sector *Onderzoek en onderwijs* is gedefinieerd als de ondernemingen die onderzoek uitvoeren en/of onderwijs verzorgen, en die beschikken over een vergunning op grond van de Kernenergiewet voor het uitvoeren van handelingen met radioactieve stoffen, splijtstoffen, onderzoeksreactoren en/of deeltjesversnellers. Deze ondernemingen produceren als gevolg daarvan radioactieve rest- en/of afvalstoffen tijdens de reguliere bedrijfsvoering, en/of incidenteel bij de ontmanteling van installaties. Het betreft in totaal 69 ondernemingen, waaronder universiteiten, middelbare en hogere onderwijsinstellingen, musea en onderzoeksinstellingen.

Opgemerkt moet worden dat enkele ondernemingen binnen de sector *Onderzoek en onderwijs* ook (deels) in de sector *Medisch* of de sector *Productie medische isotopen* vallen. Zo zijn er zes universiteiten die zowel algemene onderzoekswerkzaamheden uitvoeren als een universitair medisch centrum beheren. Het bleek echter niet mogelijk om de productie van rest- en afvalstoffen ten gevolge van deze verschillende handelingen apart te bepalen. Om te voorkomen dat de naar verwachting veel grotere hoeveelheid rest- en afvalstoffen van medische handelingen wordt toegerekend aan de sector *Onderzoek en onderwijs*, zijn deze zes universiteiten niet meegenomen bij het bepalen van de hoeveelheden radioactieve rest- en afvalstoffen van de sector *Onderzoek en onderwijs*, en wél de bij sector *Medisch*. Hierdoor is er sprake van een kleine onderschatting van de hoeveelheden rest- en afvalstoffen binnen de sector *Onderzoek en onderwijs*, en een kleine overschatting binnen de sector *Medisch*. Vergeleken met de totale productie van radioactieve rest- en afvalstoffen binnen deze sector is deze fout echter zeer gering. Ook voor de vier universiteiten die zowel onderzoek doen als medische isotopen produceren, geldt dat deze in beginsel binnen twee sectoren vallen. Omdat de productie van radioactieve rest- en afvalstoffen als gevolg van beide handelingen naar verwachting zeer klein is in vergelijking met andere stromen binnen de betreffende sectoren, zijn deze vier universiteiten meegeteld in beide sectoren. Ook hiervoor geldt dat de fout die hiermee wordt gemaakt relatief zeer klein is.

In Tabel 15 is de definitie van de sector samengevat.

Tabel 15 Overzicht aantallen ondernemingen per type vergunde radioactieve bron binnen de sector Onderzoek en onderwijs. De cijfers zijn gebaseerd op een analyse van de verleende Kernenergiewetvergunningen (peildatum 19 maart 2020), gecombineerd met data uit jaarrapportages. Weergegeven zijn de aantallen ondernemingen die een vergunning hebben om handelingen te verrichten met de betreffende bron. Handelingen kunnen binnen een onderneming op meerdere locaties worden uitgevoerd. Een vergunde handeling betekent niet noodzakelijkerwijs dat deze ook daadwerkelijk wordt uitgevoerd.

Type onderneming	Aantal ondernemingen	Ingekapselde bronnen	(deeltjes) versnellers (E > 10 MeV)	Open bronnen	RN-labs	Splijtstof	Reactor
Universiteit	12	12	2	11	11	10	1
Overig onderwijs	24	24	-	1	-	-	-
Onderzoeksinstelling	23	22	-	12	12	5	-
Museum	10	-	-	10 (NORM)	-	-	-
<b>Totaal</b>	<b>69</b>	<b>58</b>	<b>2</b>	<b>34</b>	<b>23</b>	<b>18</b>	<b>1</b>

Uit Tabel 15 blijkt dat één universiteit binnen de sector *Onderzoek en onderwijs* (onder meer) beschikt over een kernreactor, waarmee onderzoek wordt uitgevoerd. Het betreft de 'Hoger Onderwijs Reactor' (hierna: HOR) van het Reactorinstituut Delft (RID, onderdeel van de Technische Universiteit Delft). Dat is een onderzoeksreactor van het type *tank-in-pool* reactor, met een vermogen van 2 MW<sub>th</sub>, die operationeel is sinds 1964. De Kernenergiewetvergunning voor het in werking houden van deze inrichting is verleend voor onbepaalde tijd. De reactor maakt gebruik van laagverrijkte splijtstofelementen [102].

Uit de tabel blijkt verder dat daarnaast voornamelijk handelingen met ingekapselde bronnen zijn vergund, te weten voor 58 ondernemingen. 34 ondernemers hebben een vergunning voor het verrichten van handelingen met open bronnen. De vergunde handelingen met materialen met radionucliden van natuurlijke oorsprong betreffen het voorhanden hebben van ertsen en mineralen ten behoeve van onderzoek en onderwijsdoeleinden of als museumstuk. De radionucliden die hierin voorkomen, zijn afkomstig van de natuurlijke reeksen uranium en thorium.

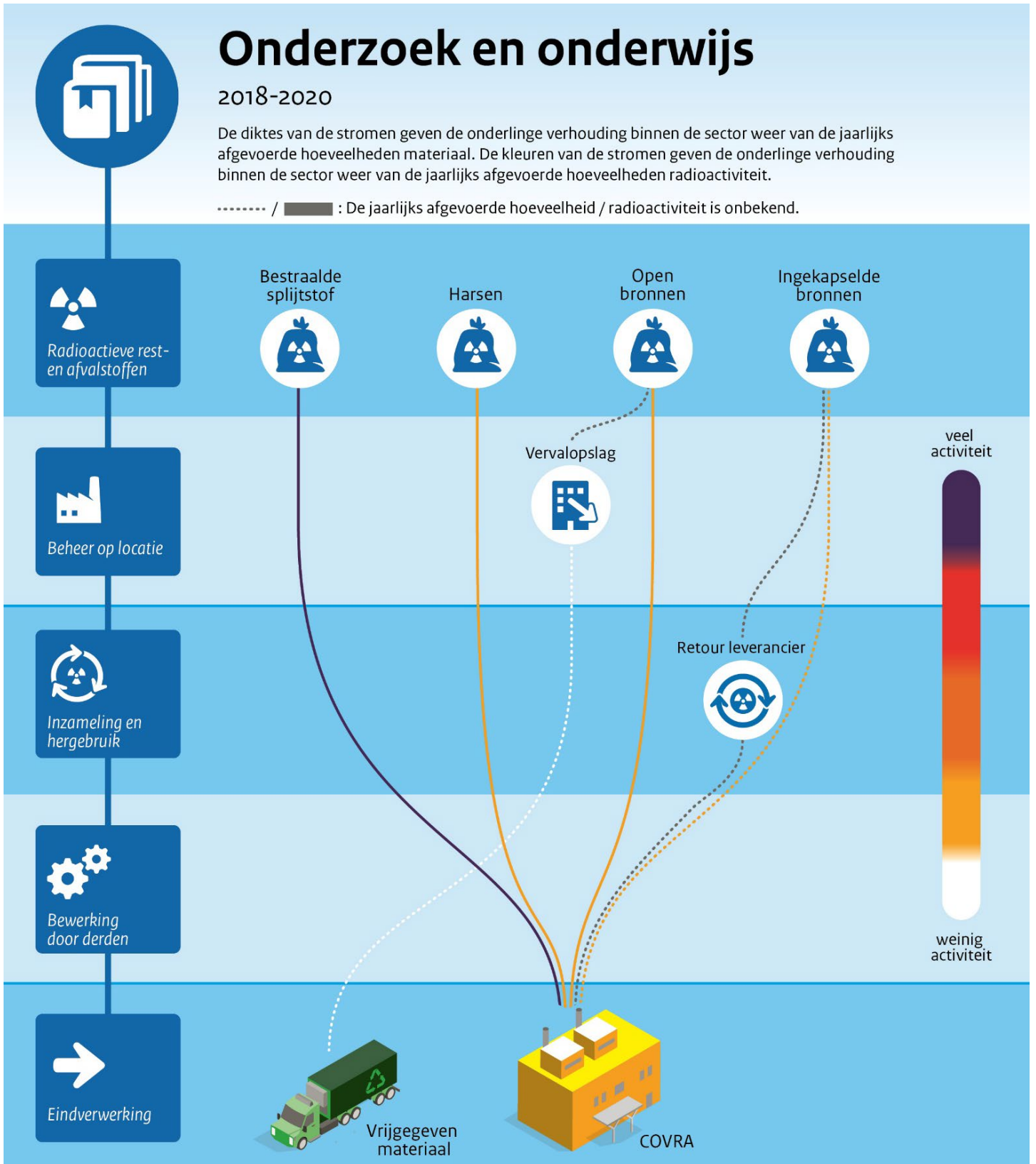
Splijtstoffen zijn vergund aan achttien ondernemingen, onder meer in de vorm van uranyl-verbindingen ten behoeve van elektronenmicroscopie, en verarmd uranium ten behoeve van afscherming. Een bijzondere vorm van een open bron is een generator waarmee één onderneming binnen deze sector handelingen verricht. Voor zowel ingekapselde als open bronnen gaat het om zeer diverse radionucliden, met zowel korte als lange(re) halveringstijden. Voor het verrichten van handelingen met open bronnen hebben 23 ondernemingen ook een vergunning voor een radionucliden-laboratorium. Ten slotte hebben twee ondernemingen een vergunning om handelingen te verrichten met een lineaire versneller of

cyclotron, respectievelijk voor het bestralen van veterinaire patiënten en kernfysisch onderzoek.

Niet opgenomen in Tabel 15 (want niet expliciet vergund) is de ruimte waar in het verleden de 'Athene-reactor' van de Technische Universiteit Eindhoven was gevestigd. Deze zeer kleine nucleaire onderzoeksreactor, met een vermogen van 10 kW, is in het verleden enkele jaren in werking geweest [103]. Vlak na de sluiting in 1973 is deze reactor ontmanteld, en is alle splijtstof verwijderd. Dit geldt ook voor de radioactieve besmettingen. In de ruimte waarin de reactor was gehuisvest, resteert nog een hoeveelheid geactiveerd materiaal. Die wordt veilig beheerd door de stralingsbeschermings-eenheid van de betreffende universiteit. Er is nog geen datum bepaald voor de verwijdering (ontmanteling) van de restanten.

### **7.3 Productie radioactieve rest- en afvalstoffen**

De reguliere radioactieve rest- en afvalstromen afkomstig van de sector *Onderzoek en onderwijs* zijn schematisch weergegeven in Figuur 13. De rest- en afvalstoffen zijn vrijwel alleen afkomstig van de universiteiten en onderzoeksinstellingen [44]. De musea en de overige onderwijsinstellingen voerden in deze periode geen radioactieve rest- en afvalstoffen af. Deze conclusie correspondeert met de aan deze ondernemingen vergunde handelingen. De reguliere radioactieve rest- en afvalstromen zijn vervolgens beschreven in paragraaf 7.3.1, en samengevat in Tabel 16. Een inschatting van de te verwachten radioactieve inventaris die vrijkomt bij ontmanteling van de installaties is gegeven in paragraaf 7.3.2.



Figuur 13 Radioactieve rest- en afvalstromen sector Onderzoek en onderwijs.



### 7.3.1

#### *Radioactieve rest- en afvalstoffen uit reguliere bedrijfsvoering*

De reguliere productie van radioactieve rest- en afvalstoffen binnen de sector *Onderzoek en onderwijs* is verder onder te verdelen in open radioactieve rest- en afvalstoffen en ingekapselde bronnen. Bij open radioactieve rest- en afvalstoffen binnen de sector *Onderzoek en onderwijs* gaat het om materialen, voorwerpen en onderdelen die zijn besmet met radioactiviteit als gevolg van (wetenschappelijk) onderzoek of onderwijs. Ook kunnen reguliere open rest- en afvalstoffen ontstaan als gevolg van onderhoud aan deeltjesversnellers met een voldoende hoge energie. Ingekapselde bronnen zijn in gebruik voor onderzoek, onderwijs, meet- en regeltoepassingen, analysetechnieken en voor ijking van meetapparatuur.

In de periode 2018-2020 is door de sector *Onderzoek en onderwijs* gemiddeld jaarlijks 0,28 ton (circa 2,5 GBq) aan open bronnen als radioactieve afvalstof aangemerkt. Hiervoor zijn 31 van de 69 ondernemingen binnen deze sector verantwoordelijk.

Voor de sector *Onderzoek en onderwijs* zijn de volgende typen radioactieve rest- en afvalstoffen te onderscheiden:

- Rest en afvalstoffen afkomstig van de HOR:
  - Bestraalde splijtstofelementen;
  - Harsen en overige nucleaire afvalstoffen.
- Rest- en afvalstoffen afkomstig van de overige ondernemingen:
  - Vaste radioactieve rest- en afvalstoffen;
  - Gebruikte radioactieve telpotjes;
  - Overige vloeibare radioactieve rest- en afvalstoffen;
  - Splijtstofhoudende rest- en afvalstoffen;
  - Gebruikte ingekapselde bronnen.

#### *Bestraalde splijtstofelementen afkomstig van de HOR*

Bestraalde splijtstofelementen moeten periodiek uit de reactorkern van de HOR worden verwijderd. Voor een beschrijving van dit type afval wordt verwezen naar hoofdstuk 4 over de sector *Nucleair*, waarbij een verschil is dat het bij de bestraalde splijtstofelementen van de HOR gaat om een iets hogere verrijkingsgraad [102]. In de periode 2015-2020<sup>42</sup> is gemiddeld jaarlijks 0,2 ton ( $1,3 \times 10^6$  GBq) aan bestraalde splijtstofelementen geproduceerd.

#### *Harsen en overig nucleaire afvalstoffen afkomstig van de HOR*

Bij het exploiteren van de HOR worden - net als in een kernenergiecentrale - harsen toegepast, die na gebruik worden aangemerkt als radioactieve afvalstof. Dit type afval is beschreven in hoofdstuk 4 over de sector *Nucleair*. In de periode 2018-2020 is door de HOR gemiddeld jaarlijks 0,2 ton (0,3 GBq) aan gebruikte harsen afgevoerd [44]. Het materiaal wordt in tegenstelling tot in de sector *Nucleair* ongeconditioneerd afgevoerd.

<sup>42</sup> Omdat afvoer van bestraalde splijtstofelementen relatief weinig voorkomt, is voor dit type afvalstof gemiddeld over een langere periode.

Tabel 16 Reguliere radioactieve rest- en afvalstoffen sector Onderzoek en onderwijs in de periode 2018-2020

Type rest- of afvalstof	Eigenschappen relevant voor afvoer	Beheerroute	Afvoer per jaar (gemiddeld over 2018-2020)	
			(ton)	(GBq)
Bestraalde splijtstofelementen	- Splijtstofhoudend, laagverrijkt - Warmteproducerend	Afvoer naar de COVRA	$2 \times 10^{-1}$	$1,3 \times 10^6$
Harsen	- Ongeconditioneerd - Voornamelijk Co-60	Afvoer naar de COVRA	$2 \times 10^{-1}$	$3 \times 10^{-1}$
Vaste radioactieve rest- en afvalstoffen (inclusief generatoren)	- Zeer diverse materialen - Zeer diverse nucliden	Afvoer naar de COVRA	$1,9 \times 10^{-1}$	$3,9 \times 10^{-1}$
		Vervalopslag, gevolgd door vrijgave	onbekend	onbekend
Gebruikte radioactieve telpotjes	- Glas of kunststof met radioactieve vloeistof - Vloeistoffen vaak vluchtig/brandbaar - Voornamelijk H-3 en C-14	Afvoer naar de COVRA	$8 \times 10^{-2}$	$8 \times 10^{-3}$
		Vervalopslag, gevolgd door vrijgave	onbekend	onbekend
Overige vloeibare radioactieve rest- en afvalstoffen	- Zeer diverse materialen - Zeer diverse nucliden	Afvoer naar de COVRA	$2 \times 10^{-2}$	$2,1 \times 10^0$
		Vervalopslag, gevolgd door vrijgave	onbekend	onbekend
Gebruikte ingekapselde bronnen (hoogactief en ijk- en kalibratie bronnen)	- Radioactiviteit in niet-verspreidbare vorm - Hoge stralingsniveaus (indien hoogactief en niet afgeschermd) - Zeer diverse nucliden	Retour leverancier	onbekend	onbekend
		COVRA	onbekend	$9,2 \times 10^0$

*Vaste radioactieve rest- en afvalstoffen*

De vaste radioactieve rest- en afvalstoffen binnen de *sector Onderzoek en onderwijs* zijn over het algemeen materialen die besmet zijn geraakt bij onderzoek of het bereiden en toedienen van Tc-99m-gelabelde radiofarmaca bij veterinaire onderzoek. Het gaat onder meer om persoonlijke beschermingsmiddelen, tissues en pipetpunten, maar ook spuiten, infuuslangen, gaasjes, etc. Een bijzonder voorbeeld zijn bestraalde preparaten die bij activeringsstudie zijn geactiveerd [104]. Het betreft een grote verscheidenheid aan radionucliden, met zowel korte als lange(re) halveringstijden.

In de periode 2018-2020 is gemiddeld per jaar 0,19 ton (circa 0,39 GBq) aan vaste radioactieve rest- en afvalstoffen afgevoerd. In deze periode heeft geen afvoer plaatsgevonden van (collectiestukken met) natuurlijke radioactiviteit.

*Gebruikte telpotjes*

Vloeistofscintillatie (*liquid scintillation counting, LSC*) is een methode om de hoeveelheid radioactiviteit in een materiaal te bepalen. Hierbij wordt het radioactieve materiaal opgelost in een vloeistof in zogenoemde plastic of glazen 'telpotjes'. LSC wordt vaak toegepast bij materialen die H-3 en C-14 bevatten. Gebruikte telpotjes worden in verband met resthoeveelheden radioactiviteit als radioactieve afvalstof aangemerkt. De gebruikte vloeistof is vaak vluchtig en brandbaar. In verband met deze eigenschappen worden gebruikte telpotjes apart van de andere (vloeibare radioactieve) rest- en afvalstoffen ingezameld.

In de periode 2018-2020 is gemiddeld per jaar 0,08 ton (circa 0,008 GBq) aan telpotjes afgevoerd. De afgevoerde radionucliden in telpotjes zijn C-14 en H-3, met respectievelijk 62 en 38% van de totale afgevoerde activiteit.

*Overige vloeibare radioactieve rest- en afvalstoffen*

Hierbij gaat het om diverse soorten vloeistoffen die radionucliden bevatten, en die zijn ontstaan bij wetenschappelijk onderzoek. Een deel van deze vloeistoffen wordt - voor zover toegestaan - geloosd op het riool, al dan niet na verval in betijktanks.

In 2018-2020 is gemiddeld per jaar 0,02 ton (2,1 GBq) aan overige vloeibare rest- en afvalstoffen afgevoerd. Ook hier zijn enkel C-14 en H-3 afgevoerd, met respectievelijk 99% en 1% van de totaal afgevoerde activiteit.

*Splijtstofhoudende rest- en afvalstoffen*

Deze stroom betreft gebruikt uranylacetaat, dat in verband met het gehalte uranium als splijtstofhoudende radioactieve afvalstof wordt aangemerkt. In de periode 2018-2020 zijn door de *sector Onderzoek en onderwijs* geen splijtstofhoudende rest- en afvalstoffen afgevoerd.

*Gebruikte ingekapselde bronnen*

In de *sector Onderzoek en onderwijs* zijn ingekapselde bronnen in gebruik voor onderzoek, onderwijs, meet- en regeltoepassingen, analysetechnieken en voor ijking van meetapparatuur [58]. Voorbeelden van gebruikte radionucliden zijn Fe-55, Mn-54 en Sr-90 [58]. Daarnaast

zijn verschillende ingekapselde bronnen onderdeel van meet- en analyseapparatuur. Voorbeelden zijn gaschromatografen met Ni-63 en H-3, en een Mössbauerspectrometer met Co-57 [105]. Ook zijn (HASS) bronnen in gebruik voor non-destructief onderzoek, bestraling van materiaal of voor de behandeling van veterinaire patiënten.

In 2018-2020 is gemiddeld per jaar 9,2 GBq aan gebruikte ingekapselde bronnen afgevoerd naar de COVRA. Gegevens over de massa zijn niet bekend. Cs-137 is het meest afgevoerd qua activiteit, namelijk 64% van de totaal afgevoerde activiteit. Daarnaast bestaat de afgevoerde activiteit van ingekapselde bronnen vooral uit Ni-63, Ra-226 en Am-241.

### 7.3.2 *Inventaris van rest- en afvalstoffen bij ontmanteling*

De inventaris van radioactieve rest- en afvalstoffen binnen de sector *Onderzoek en onderwijs* wordt grotendeels bepaald door de HOR, de Athene-reactorruimte, en de twee deeltjesversnellers.

#### *Kernreactoren*

Zoals aangegeven in paragraaf 7.2 is binnen de sector *Onderzoek en onderwijs* één kernreactor operationeel, en is resteert een ruimte waar in het verleden een kernreactor was gevestigd. Op basis van de huidige schattingen zal ontmanteling hiervan in totaal 256 ton aan niet-vrijgesteld materiaal opleveren [49, 59].

#### *Deeltjesversnellers*

Binnen de sector *Onderzoek en onderwijs* zijn een lineaire versneller met een energie groter dan 10 MeV en een cyclotron met een maximale energie van 200 MeV vergund, voor respectievelijk het bestralen van veterinaire patiënten en kernfysisch onderzoek. Er moet rekening worden gehouden met activering van onderdelen van de apparatuur en bouwdelen als gevolg van handelingen met deze versnellers. In welke mate dit gebeurt, is afhankelijk van onder meer de energie waarmee wordt bestraald en de totale bestralingsduur (zie hoofdstuk 5). Bij ontmanteling zullen beton en metaalhoudende materialen als radioactieve rest- en afvalstoffen moeten worden beheerd (zie hoofdstuk 5).

Daarnaast is in het verleden bij een onderzoeksinstelling een cyclotron ontmanteld, waarvan de bundeldumpruimte met de geactiveerde bouwdelen nog resteert [58]. Ten slotte is bij een universiteit onlangs een lineaire versneller ontmanteld, waarvan onderdelen tijdelijk op locatie zijn opgeslagen [105].

Er zijn geen betrouwbare cijfers beschikbaar gekomen over de te verwachten hoeveelheden radioactieve rest- en afvalstoffen als gevolg van ontmanteling van de hierboven genoemde installaties. Uitgaande van de cijfers voor cyclotrons in paragraaf 5.3.2 wordt de hoeveelheid beton en metaalhoudend materiaal geschat op 150 tot 400 ton.

#### *Radionuclidenlaboratoria*

Binnen de sector *Onderzoek en onderwijs* is aan achttien ondernemingen vergunning verleend voor één of meer radionuclidenlaboratoria. Binnen dit onderzoek is niet duidelijk geworden hoeveel daarvan er daadwerkelijk in gebruik zijn.

De ontmanteling van een radionuclidenlaboratorium kan leiden tot het vrijkomen van radioactief besmette materialen en bouwdelen. Ook moet rekening worden gehouden met besmette luchtafvoerleidingen van zuurkasten, en vuilwaterafvoerleidingen. Het bepalen van hoeveelheden radioactieve rest- en afvalstoffen valt buiten de scope van dit onderzoek.

## **7.4 Beheer reguliere radioactieve rest- en afvalstoffen**

In deze paragraaf wordt op het niveau van de sector informatie gegeven over de beheerroutes. In Tabel 16 is deze informatie samengevat.

### *7.4.1 (Verval)opslag*

Radioactieve rest- en afvalstoffen die enkel radionucliden met een halveringstijd korter dan 100 dagen bevatten, worden gescheiden beheerd van overige rest- en afvalstoffen, en voor verval tot onder de grenswaarde voor vrijgave in opslag genomen. Binnen de *sector Onderzoek en onderwijs* gaat het om radioactieve rest- en afvalstoffen uit de categorie open bronnen, waaronder vaste radioactieve rest- en afvalstoffen, telpotjes en overige vloeibaar radioactieve rest- en afvalstoffen.

Enkele ondernemingen merken in hun jaarverslag op dat zij ingekapselde bronnen die niet meer worden gebruikt voor een bepaalde toepassing tijdelijk opslaan in een beveiligde ruimte, in afwachting van hergebruik binnen een ander onderzoek [104], [106]. Dit draagt bij aan minimalisatie van de hoeveelheid afgevoerde radioactieve afvalstoffen.

Ten slotte wordt gewezen naar de opslag van geactiveerde bouwdelen en onderdelen van een ontmantelde lineaire versneller, zoals beschreven in paragraaf 7.3.2.

### *7.4.2 Scheiding en decontaminatie op locatie*

Het scheiden van radioactieve en niet-radioactieve rest- en afvalstoffen wordt toegepast bij alle open radioactieve bronnen, en begint vaak op de plaats waar de rest- en afvalstoffen worden geproduceerd [107]. De scheiding vindt zo mogelijk plaats op basis van radionuclide en halveringstijd, mate van radioactiviteit op moment van inzameling, fysische of biologische vorm en eventuele andere bijzondere eigenschappen. Als voorbeeld hiervan wordt in een jaarverslag van één van de ondernemingen beschreven dat rest- en afvalstoffen op basis van de halveringstijd worden gescheiden in categorieën van drie dagen tot een maand, langer dan een maand en een categorie die direct als radioactieve afvalstof wordt aangemerkt [108].

### *7.4.3 Retour leverancier*

In de *sector Onderzoek en onderwijs* zijn geen voorbeelden aangetroffen van retourzending naar de leverancier van gebruikte ingekapselde bronnen of generatoren als radioactieve reststof.

### *7.4.4 Afvoer voor hergebruik*

In de periode 2018-2020 zijn door de *sector Onderzoek en onderwijs* geen radioactieve reststoffen naar derden afgevoerd voor hergebruik.

#### 7.4.5 Afvoer voor bewerking

In de periode 2018-2020 zijn door de *sector Onderzoek en onderwijs* geen radioactieve reststoffen voor bewerking naar derden afgevoerd.

#### 7.4.6 Afvoer naar deponie

De radioactieve rest- en afvalstoffen die in de periode 2018-2020 zijn geproduceerd binnen de *sector Onderzoek en onderwijs* zijn vrijwel geheel van kunstmatige oorsprong, en konden daarom niet worden afgevoerd naar een aangewezen deponie.

#### 7.4.7 Afvoer als **specifiek** vrijgegeven materiaal

In de periode 2018-2020 was (nog) geen specifieke vrijgaveroute beschikbaar voor de rest- en afvalstoffen uit de *sector Onderzoek en onderwijs*. In 2021 is een specifieke vrijgaveroute beschikbaar gekomen voor materialen met kunstmatige radionucliden, onder de voorwaarde van verbranding in een verbrandingsinstallatie (zie paragraaf 6.4.8). Gezien de radiologische samenstelling ervan, is dit mogelijk een optie voor een belangrijk deel van de stroom open bronnen die in de periode 2018-2020 naar de COVRA is afgevoerd (zie paragraaf 7.4.8).

#### 7.4.8 Afvoer naar de COVRA

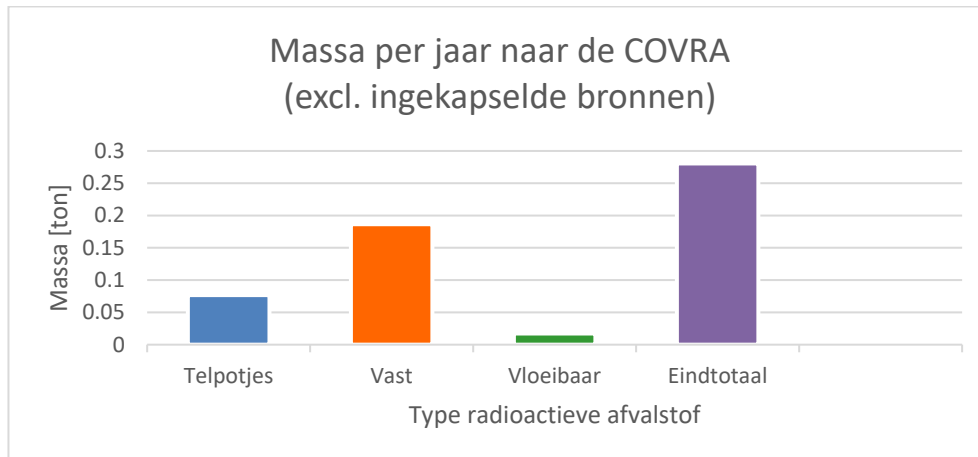
Alle in paragraaf 7.3.1 beschreven materialen die als radioactieve afvalstof zijn aangemerkt en niet voor vervalopslag in aanmerking komen, moeten worden afgevoerd naar de COVRA. Uit de door de COVRA beschikbaar gestelde gegevens blijkt dat 31 van de 69 ondernemingen in de periode 2018-2020 radioactieve afvalstoffen naar de COVRA hebben afgevoerd. De afvoer van open bronnen (exclusief bestraalde splijtstof en harsen) bedroeg in deze periode per jaar gemiddeld 0,29 ton (2,5 GBq). Twee derde van de massa bestaat uit vaste afvalstoffen. Van de activiteit is echter 84% afkomstig van de vloeibare afvalstoffen.

In Tabel 17 is de radiologische samenstelling van de afgevoerde open bronnen (telpotjes, vast en vloeibaar) weergegeven. Hieruit blijkt dat de jaarlijks afgevoerde activiteit van de open bronnen wordt bepaald door de radionucliden C-14 en H-3, met aandelen van respectievelijk 93 en 6,5%.

Tabel 17 Radiologische samenstelling van naar de COVRA afgevoerde open bronnen in de periode 2018-2020.

<b>Afvoer naar de COVRA van open bronnen per radionuclide gemiddeld per jaar voor de periode 2018-2020</b>			
	Halveringstijd [dagen]	Activiteit gemiddeld per jaar [GBq]	Percentage van totale activiteit
C-14	2,1 x 10 <sup>6</sup>	2,34	93%
H-3	4,5 x 10 <sup>3</sup>	0,16	6,5%
U-238	1,6 x 10 <sup>12</sup>	0,01	0,4%
Overig		0,004	0,2%
<b>Totaal</b>		<b>2,5</b>	<b>100%</b>

In Figuur 14 is de samenstelling weergegeven van de massa van de afgevoerde radioactieve afvalstoffen, niet zijnde ingekapselde bronnen. Hieruit valt af te leiden dat ca. 58% van de uit de sector *Onderzoek en onderwijs* naar de COVRA afgevoerde massa bestaat uit bestraalde splijtstoffen en harsen afkomstig van de kernreactor.



Figuur 14 Afvoer open radioactieve afvalstoffen naar de COVRA voor de verschillende categorieën afvalstoffen: telpotjes, vast en vloeibaar, bestraalde splijtstof en harsen. Weergegeven is de hoeveelheid massa [ton] die per categorie gemiddeld per jaar is afgevoerd in de periode 2018-2020.

Daarnaast is in dezelfde periode gemiddeld per jaar 9,2 GBq afgevoerd in de vorm van ingekapselde bronnen. Informatie over de massa van deze bronnen is niet bekend. In Tabel 18 is de radiologische verdeling voor ingekapselde bronnen weergegeven. Hieruit blijkt dat de activiteit van de ingekapselde bronnen wordt bepaald door de radionucliden Cs-137 en Ni-63, met respectievelijk 64 en 19%.

Tabel 18 Afvoer van ingekapselde bronnen naar COVRA, per radionuclide, gemiddeld per jaar voor de periode 2018-2020.

<b>Afvoer naar de COVRA van ingekapselde bronnen per radionuclide gemiddelde per jaar voor de periode 2018-2020</b>			
	Halveringstijd [dagen]	Activiteit per jaar gemiddeld [GBq]	Percentage van totale activiteit
Cs-137	1,1 x 10 <sup>4</sup>	5,9	64
Ni-63	3,7 x 10 <sup>4</sup>	1,7	19
Ra-226	5,8 x 10 <sup>5</sup>	1,2	13
Am-241	1,5 x 10 <sup>5</sup>	0,2	1,8
Overig		0,14	1,5
<b>Totaal</b>		<b>9,2</b>	<b>100</b>

#### 7.4.9

##### Lozing

##### Lozing naar riool en/of oppervlaktewater

Afvalwater afkomstig van radionuclidenlaboratoria wordt - eventueel na verval in betijktanks - geloosd op het riool of oppervlaktewater, voor zover dat binnen de lozingslimieten in de vergunning en de overige wettelijke voorschriften mogelijk is. In dit onderzoek zijn geen verdere

cijfers beschikbaar gekomen over lozingen van radioactiviteit naar riool of oppervlaktewater.

#### *Lozing naar lucht*

Bij het gebruik van een cyclotron worden ook neutronen gevormd, die gassen in de lucht kunnen activeren. Het gaat hier om een beperkte hoeveelheid over het algemeen kortlevende nucliden, die wordt geloosd in de lucht (zie ook paragraaf 5.4.6).

Daarnaast zijn in deze sector materialen aanwezig die natuurlijk uranium en thorium bevatten (mineralen en ertsen). Door het vervalproces van U-238 wordt radon gevormd. Het radongas dat zo wordt gevormd, wordt geloosd. Het gaat om een minimale hoeveelheid [104, 109].

In dit onderzoek zijn geen verdere cijfers beschikbaar gekomen over lozingen van radioactiviteit naar de lucht.

## **7.5 Prognose toekomstige productie rest- en afvalstoffen**

### **7.5.1**

#### *Reguliere bedrijfsvoering*

Uit het voorgaande blijkt dat 42% van de massa van afgevoerde open bronnen bestaat uit vloeibare rest- en afvalstoffen en telpotjes. De activiteit hiervan wordt enkel bepaald door H-3 en C-14. Met het in werking treden in 2021 van hogere grenswaarden voor onder meer deze nucliden voor specifieke vrijgave voor verbranding (zie ook paragraaf 7.4.7), is het de verwachting dat een deel van deze materialen in de toekomst als specifiek vrijgegeven materiaal kan worden verbrand. Bij gelijkblijvende omstandigheden zal daardoor de jaarlijks afgevoerde massa en activiteit van deze stromen naar verwachting afnemen.

In de sector *Onderzoek en onderwijs* zijn ook Cs-137-HASS-bronnen in gebruik voor bestraling. Net als binnen de sector *Medisch* worden deze op termijn mogelijk vervangen door röntgentoestellen, wat op den duur kan bijdragen aan een afname van de hoeveelheid gebruikte ingekapselde bronnen.

### **7.5.2**

#### *Inventaris t.b.v. ontmanteling*

Voor zowel de HOR als voor de Athene-reactorruimte geldt dat nog geen datum is vastgesteld voor de ontmanteling. Dit geldt ook voor de deeltjesversnellers binnen de sector, de overige in paragraaf 7.3.2 genoemde geactiveerde bouwdelen en de restanten van een lineaire versneller. Daarmee is niet te bepalen wanneer de in paragraaf 7.3.2 geschatte inventaris zal vrijkomen.

Voor één van de ondernemingen met diverse radionuclidenlaboratoria geldt dat deze zich binnen enkele jaren op een andere plek zal gaan vestigen, waardoor een aantal laboratoria zal moeten worden ontmanteld [110]. Hierbij zullen mogelijk ook radioactieve rest- en afvalstoffen vrijkomen.

Verder geldt in meer algemene zin dat één en ander sterk afhankelijk is van het beleid voor (al dan niet specifieke) vrijgave, en toegestane hergebruiksmogelijkheden ten tijde van de ontmanteling. Dit geldt ook



voor eventueel hergebruik van een (mogelijk deels geactiveerde) ruimte waarin een deeltjesversneller was gehuisvest.

## **7.6 Perspectief op verdere preventie en minimalisatie**

Tijdens dit onderzoek zijn geen specifieke maatregelen naar voren gekomen die zouden kunnen zorgen voor verdere preventie en minimalisatie.



## 8 Pigmentproductie

### 8.1 Inleiding

Titaandioxide ( $\text{TiO}_2$ ) is een witte vaste stof, die voornamelijk wordt gebruikt als pigment in producten als verf, plastic en papier. Voor de productie van  $\text{TiO}_2$ -pigment worden grote hoeveelheden titaanerts, met daarin van nature aanwezige natuurlijke radionucliden van de U-238- en Th-232-reeks, toegepast en bewerkt. Activiteitsconcentraties van deze radionucliden in het titaanerts liggen ver onder de 1 Bq/g [111]. De grondstoffen zijn daarmee vrijgesteld van het controlestelsel. Jaarlijks wordt voor de productie van pigment in Nederland bijna 100.000 ton titaanerts aangeleverd. Dit titaanerts is een gedeeltelijk voorbereekt mengsel van erts, afkomstig uit Zuid-Afrika en Australië. De grondstof is ontdaan van zirkonium en het titaangehalte is verhoogd. Het percentage  $\text{TiO}_2$  in de grondstof is variabel, maar ligt rond de 90% [112]. In de Nederlandse pigmentindustrie wordt deze grondstof gezuiverd tot bijna puur  $\text{TiO}_2$ -pigment.

Voor het zuiveren van  $\text{TiO}_2$  uit voorbereekt erts worden geoxideerde mineralen bij hoge temperaturen (950-1100 °C) chemisch omgezet in chloorverbindingen, en worden onzuiverheden via destillatie- en condensatieprocessen gescheiden van  $\text{TiCl}_4$ . Na chemische bewerking worden de ongewenste metaal-chloriden middels precipitatie en filtratie uit het afvalwater verwijderd. Het gefilterde afvalwater wordt geloosd. Het gezuiverde  $\text{TiCl}_4$  wordt geoxideerd en het ruwe  $\text{TiO}_2$  wordt afgewerkt. Bij de afwerking wordt  $\text{TiO}_2$  vermalen, waarbij zirkonium-houdende maalzand wordt verbruikt. De zirkoonhoudende grondstoffen zijn registratieplichtig. Het maalzand komt bij de afwerking van  $\text{TiO}_2$  geleidelijk in het (vrijgestelde) product terecht, waardoor er geen zirkoniumafval resteert.

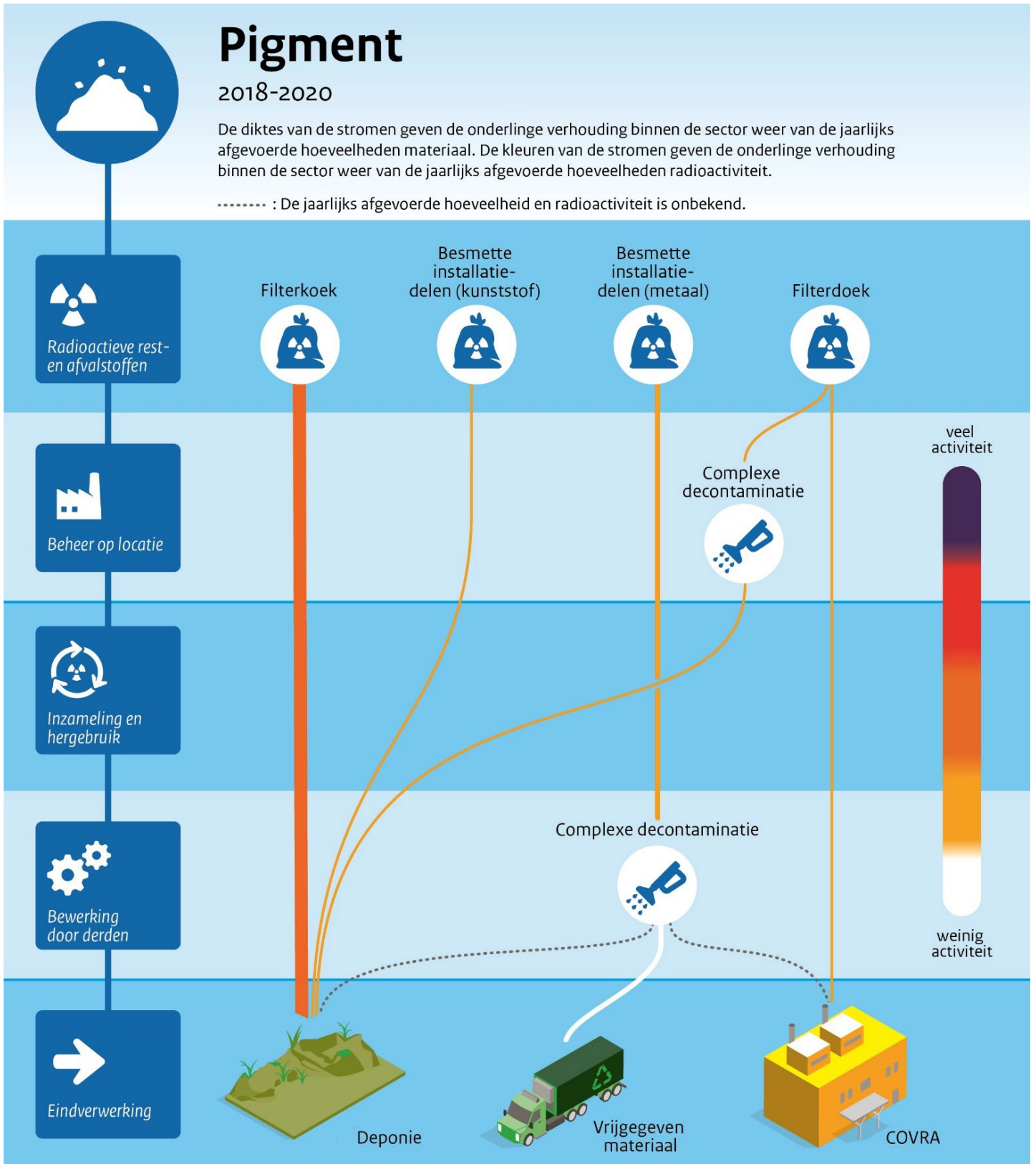
Bij de productie van  $\text{TiO}_2$ -pigment ontstaan verschillende radioactieve rest- en afvalstoffen van natuurlijke oorsprong. Daarnaast worden in het productieproces ca. twintig ingekapselde Cs-137 bronnen toegepast ten behoeve van niveau- en dichtheidsmetingen, met activiteiten variërend van 0,4 – 5,6 GBq [111].

### 8.2 Definitie van sector en overzicht van bedrijven binnen de sector

De sector *Pigmentproductie* is in dit rapport gedefinieerd als de ondernemingen die pigment produceren en een vergunning hebben voor het verrichten van handelingen met en/of het voorhanden hebben van radioactieve stoffen van natuurlijke oorsprong. Het betreft in Nederland één onderneming, met een productiecapaciteit van 90.000 ton  $\text{TiO}_2$  per jaar [113].

### 8.3 Productie radioactieve rest- en afvalstoffen

De reguliere radioactieve rest- en afvalstromen afkomstig van de sector Pigmentproductie zijn schematisch weergegeven in Figuur 15. De reguliere radioactieve rest- en afvalstromen zijn vervolgens beschreven in paragraaf 8.3.1, en samengevat in Tabel 19. Een inschatting van de te verwachten radioactieve inventaris die vrijkomt bij ontmanteling van de installaties is gegeven in paragraaf 8.3.2.



Figuur 15 Radioactieve rest- en afvalstromen sector Pigmentproductie.

### 8.3.1 *Radioactieve rest- en afvalstoffen uit reguliere productie*

De reguliere radioactieve rest- en afvalstoffen binnen de sector *Pigmentproductie* zijn in te delen in:

- Filterkoek
- Filterdoek met scale
- Besmette installatiedelen
- Gebruikte hoogactieve bronnen

Hieronder worden de belangrijkste eigenschappen van deze afvaltypen kort beschreven. De gegevens en informatie zijn afkomstig uit jaarverslagen, jaarboeken, vergunningen en persoonlijke toelichting van de coördinerend deskundige stralingsbescherming van de onderneming.

#### *Filterkoek*

Tijdens het productieproces komen radionucliden uit de grondstoffen als onzuiverheden terecht in het afvalwater. Door toevoeging van kalkmelk ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ) aan dit afvalwater precipiteert de activiteit als metaalhydroxide. Het water wordt zo goed mogelijk verwijderd met behulp van een filterpers, waarna een steekvast materiaal resteert. Dit steekvaste materiaal, de zogenoemde 'filterkoek' bevat nog ca. 50-55% vocht. De activiteitsconcentraties in de filterkoek variëren enigszins per batch, en bedroegen in de periode 2018-2020 gemiddeld tussen de 0,5 en 3 Bq/g (droge stof). De hoogste activiteitsconcentraties betreffen U-238, Th-228 en Ra-228. In de praktijk wordt aangenomen dat de gemiddelde activiteitsconcentratie voor zowel U-238sec als Th-232sec gelijk is aan ca. 1,5 Bq/g [114].

In verband met deze activiteitsconcentraties wordt het materiaal als registratieplichtig aangemerkt. In de periode 2018-2020 is per jaar gemiddeld 46 kton (ca.  $1,2 \times 10^2$  GBq) registratieplichtige filterkoek geproduceerd [115].

#### *Filterdoek met scale*

Voor de ontwatering van filterkoek in een filterpers (zie boven) worden filterdoeken gebruikt. Aan de 'schone' kant van deze filterdoeken slaan Ra-226 en Ra-228 neer, waardoor een radioactieve afzetting (*scale*) ontstaat. Activiteitsconcentraties in deze filterdoeken met scale kunnen oplopen tot 130 Bq/g Ra-228, en zijn daarmee vergunningplichtig. Om te voorkomen dat alle filterdoeken als vergunningplichtige radioactieve afvalstof moet worden aangemerkt wordt complexe decontaminatie toegepast met behulp van hogedrukwaterreiniging. Het spuitwater wordt opgevangen. De gereinigde filterdoeken bevatten activiteitsconcentraties variërend van 0,3 tot 2,1 Bq/g, en worden aangemerkt als registratieplichtig radioactief afval. Het opgevangen spuitwater wordt teruggevoerd in het proces en de radioactiviteit zal uiteindelijk precipiteren in de filterkoek.

Voorheen zijn ook proeven uitgevoerd om de doeken met zuur te decontamineren. Hoewel het mogelijk bleek om de radioactieve scaling van het dragermateriaal te scheiden, bleek de verwerking van het radioactieve residu vanuit blootstellingsoogpunt niet acceptabel [116]. Deze methode wordt inmiddels niet meer toegepast.

In 2018 is een hoeveelheid niet-gedecontamineerd filterdoek aangemerkt als vergunningplichtig afval. Vanaf 2018 worden de

filterdoeken na gedeeltelijke decontaminatie als registratieplichtig aangemerkt. Gemiddeld over de periode 2018-2020 is per jaar ca. 4 ton (0,9 GBq) vergunningplichtig en ca. 2,4 ton (0,02 GBq) registratieplichtig filterdoekafval geproduceerd [113],[115].

#### *Besmette installatiedelen*

Tijdens regulier onderhoud worden onderdelen in de installatie vervangen. In verband met de aanwezigheid van radioactieve afzettingen kunnen dergelijke onderdelen als radioactieve rest- of afvalstof worden aangemerkt. In 2018 is bij de verwijdering van een filterpers en enkele andere onderdelen van de installatie (eenmalig) 34 ton radioactief besmet staal en 10 ton registratieplichtige kunststof vrijgekomen [117]. Het staal is met het oog op hergebruik als radioactieve reststof aangemerkt, de kunststof is als radioactief afvalstof aangemerkt. De activiteit van de kunststof wordt geschat op minder dan 0,1 GBq.

#### *Gebruikte hoogactieve bronnen*

Ingekapselde Cs-137 bronnen waarvan de activiteit door verval onvoldoende is geworden, moeten af en toe worden vervangen. Met het oog op retourzending aan de leverancier wordt een bron in een dergelijk geval aangemerkt als (vergunningplichtige) radioactieve reststof. In de periode 2018-2020 zijn geen gebruikte ingekapselde bronnen als radioactieve afvalstof aangemerkt [115].

### 8.3.2

#### *Inventaris van rest- en afvalstoffen bij ontmanteling*

Aan het eind van de levensduur zullen de installaties binnen de sector uiteindelijk moeten worden ontmanteld. In verband met de aanwezigheid van radioactiviteit van voornamelijk natuurlijke oorsprong, zal hierbij rekening moeten worden gehouden met het ontstaan van radioactieve rest- en afvalstoffen.

De inschatting is dat bij de ontmanteling van de installaties eenmalig ca. 100 ton aan niet-vrijgestelde kunststoffen en metalen installatiedelen zal moeten worden aangemerkt als radioactieve rest- of afvalstoffen [113]. Daarnaast zullen de dan nog resterende ingekapselde bronnen moeten worden afgevoerd.

Tabel 19 Reguliere radioactieve rest- en afvalstoffen sector Pigmentproductie in de periode 2018-2020.

Type rest- of afvalstof	Eigenschappen relevant voor afvoer	Beheerroute	Afvoer per jaar (gemiddeld over 2018-2020)	
			(ton)	(GBq)
Filterkoek	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Steekvast materiaal, met metaalhydroxides, en resten cokes en erts.</li> <li>- Vochtpercentage 50 à 55%.</li> <li>- Activiteitsconcentraties gemiddeld genomen 1,5 Bq/g voor zowel U-238sec als Th-232sec, en daarmee registratieplichtig.</li> </ul>	Afvoer als registratieplichtig radioactief afval naar aangewezen deponie	$4,6 \times 10^4$	ca. $1,2 \times 10^2$
Filterdoek	- Activiteitsconcentraties tussen de 0,3 en 2,1 Bq/g, en daarmee registratieplichtig.	Afvoer als registratieplichtig radioactief afval naar aangewezen deponie	$2,4 \times 10^0$	$2 \times 10^{-2}$
	- Activiteitsconcentraties tot 130 Bq/g, en daarmee vergunningplichtig.	Afvoer als vergunningplichtig radioactief afval naar de COVRA	$4 \times 10^0$	$9 \times 10^{-1}$
Besmette installatiedelen	Metaal: eenmalig verwijderde filterpers.	Afvoer als radioactieve reststof voor bewerking naar sector <i>Ontmanteling, decontaminatie en bewerking</i>	$1,1 \times 10^1$	Onbekend
	Kunststof: eenmalig verwijderde filterplaten en leidingen.	Afvoer als registratieplichtig radioactief afval naar aangewezen deponie	$3,4 \times 10^0$	$< 1 \times 10^{-1}$

## 8.4 Beheer reguliere radioactieve rest- en afvalstoffen

### 8.4.1 *(Verval)opslag*

In de vergunning is tijdelijke opslag van radioactieve afvalstoffen in een geschikte bergplaats voor een periode van maximaal twee jaar toegestaan, met het oog op verval tot niet-radioactieve afvalstoffen of uit overwegingen die een efficiënte wijze van afvoer naar een erkende ophaaldienst of een be- of verwerker beogen [118]. Omdat het gaat om radionucliden met lange halveringstijden, zal de hoeveelheid radioactiviteit tijdens opslag niet substantieel afnemen.

### 8.4.2 *Scheiding en decontaminatie op locatie*

Ten behoeve van de verwijdering van radioactieve scale van filterdoek op locatie is zogenoemde 'complexe decontaminatie' vergund [119]. Zoals beschreven in paragraaf 8.3.1 wordt hiervoor hogedrukwaterreiniging toegepast, met als doel minder materiaal als vergunningplichtig afval aan te merken en af te voeren. Opgemerkt wordt dat dit niet per se leidt tot een substantiële reductie van de totale hoeveelheid als radioactieve afvalstof aan te merken materiaal, maar eerder tot een verschuiving van radioactieve afvalstromen van de COVRA naar aangewezen deponieën.

Besmette installatieonderdelen die als radioactieve reststof worden aangemerkt, worden op locatie gedecontamineerd met hogedrukreiniging.

### 8.4.3 *Afvoer voor bewerking*

#### *Filterdoek*

In het verleden is onderzoek gedaan naar de haalbaarheid van het afscheiden van radioactieve scale van filterdoek door een externe dienstverlener binnen de sector *Ontmanteling, decontaminatie en bewerking*. Het vervolgens verder verwerken van het radioactieve residu binnen de sector *Pigmentindustrie* bleek vanwege problemen van administratieve aard echter niet mogelijk te zijn. Dit heeft tot gevolg gehad dat er geen filterdoek meer voor bewerking naar externe ondernemingen wordt afgevoerd.

#### *Besmette installatiedelen*

In 2018 is eenmalig 34 ton aan radioactief besmette stalen installatiedelen afgevoerd naar Siempelkamp GmbH in Duitsland. Het doel hiervan was omsmelten en homogeniseren, gevolgd door recycling van het materiaal [116]. Sinds halverwege 2018 is deze afvoerroute echter niet meer beschikbaar.

#### *Gebruikte ingekapselde bronnen*

Gebruikte ingekapselde van Cs-137-bronnen worden in beginsel als radioactieve reststof retour gezonden naar de leverancier. In de periode 2018-2020 zijn geen ingekapselde bronnen afgevoerd.

### 8.4.4 *Afvoer naar deponie*

De volgende afvalstoffen zijn als registratieplichtige radioactieve afvalstof afgevoerd naar een aangewezen deponie.



*Filterkoek*

Verreweg de belangrijkste stroom die vanuit de sector *Pigmentproductie* naar een aangewezen deponie wordt afgevoerd, betreft registratieplichtige filterkoek. Het betreft over de periode 2018-2020 gemiddeld  $4,6 \times 10^4$  ton (ca. 116 GBq) per jaar. In Tabel 20 zijn de cijfers per jaar uitgesplitst [115].

Tabel 20 Filterkoek afgevoerd naar aangewezen deponie

jaar	ton	U-238 (GBq)	Ra-226 (GBq)	Pb-210 (GBq)	Ra-228 (GBq)	Th-228 (GBq)	Totaal (GBq)
2018	48.296	15	13	10	10	10	123
2019	44.082	32	18	18	18	18	128
2020	45.177	22	12	12	12	12	96

*Registratieplichtig filterdoek*

Registratieplichtig filterdoek wordt op locatie tijdelijk opgeslagen, en batchgewijs afgevoerd voor stort op een aangewezen deponie. In de periode 2018-2020 bedroeg dit gemiddeld ca. 2,4 ton (20 MBq) per jaar.

*Besmette installatiedelen*

In 2018 is 10 ton besmette kunststof en overig materiaal, afkomstig van de ontmanteling van een filterpers, als registratieplichtig radioactief afval afgevoerd naar een aangewezen deponie [116].

## 8.4.5

*Afvoer naar de COVRA**Vergunningplichtig filterdoek*

Filterdoek wordt als vergunningplichtige radioactieve afvalstof afgevoerd naar de COVRA. Gemiddeld is in de periode 2018-2020 jaarlijks 4 ton (ca. 0,9 GBq) afgevoerd. In 2018 was de afgevoerde hoeveelheid uitzonderlijk hoog, omdat in dat jaar een inhaalslag gemaakt is voor het afvoeren van filterdoeken.

*Ingekapselde bronnen*

Er zijn in de periode 2018-2020 geen ingekapselde bronnen afgevoerd naar de COVRA [44].

## 8.4.6

*Lozing*

In Tabel 21 zijn de jaarlijkse lozingen door de sector *Pigmentproductie* van radioactiviteit naar het oppervlaktewater weergegeven. In de periode 2018-2020 bedroeg deze lozing gemiddeld ca. 300.000 m<sup>3</sup> (met een gesommeerde activiteit<sup>43</sup> van 9,1 GBq) per jaar [115]. De geloosde activiteit voor de meeste nucliden is fors lager dan de vergunde [118] hoeveelheden<sup>44</sup>.

<sup>43</sup> De betekenis hiervan is beperkt, aangezien uit de informatie in het geconsulteerde jaarverslag niet kan worden vastgesteld welke vervalproducten zijn meegenomen in de gerapporteerde activiteit.

<sup>44</sup> Merk op dat de vergunde limieten voor lozing van U-238sec, Th-232sec en Ra-228+ naar oppervlaktewater lager zijn dan de 'vrijgavewaarden' in Tabel C in Bijlage 3 bij het Bbs. Dit lijkt in tegenspraak met de vrijstelling die geldt op grond van artikel 10.4 van het Bbs.

Tabel 21 Lozing van radioactiviteit op het oppervlaktewater

jaar	m <sup>3</sup>	U-238 (GBq)	Ra-226 (GBq)	Th-232 (GBq)	Ra-228 (GBq)	Th-228 (GBq)
2018	301.788	-	-	1,4	2,7	-
2019	264.434	-	-	5,8	5,8	-
2020	291.942	-	2,63	4,5	4,53	0,01
(vergund)		7	75	7	75	-

Er vindt geen lozing van radioactiviteit plaats naar de lucht.

#### 8.4.7 *Massabalans*

In de beschikbaar gestelde jaarrapportages stralingshygiëne over 2018, 2019 en 2020 is een radioactieve 'massabalans' (praktisch gelijk aan een activiteitbalans) gegeven, waarin voor de belangrijkste nucliden de hoeveelheid ingaande en uitgaande activiteit per jaar wordt vergeleken. Hieruit blijkt dat voor het goed meetbare Ra-226 een aanzienlijk verschil bestaat: meer dan de helft van de activiteit die in de grondstoffen wordt aangevoerd, wordt niet teruggevonden in de lozingen en de (niet-vrijgestelde) rest- en afvalstoffen. Het betreft een verschil in de orde grootte van 25 GBq per jaar.

Een deel van dit verschil kan mogelijk worden verklaard door het feit dat de activiteitsconcentratie Ra-226 in de grondstoffen te hoog is ingeschat. Wanneer echter wordt aangenomen dat er sprake is van evenwicht met de gerapporteerde activiteitsconcentratie U-238, resteert nog een verschil van tientallen procenten. Daarnaast is het voorstelbaar dat een deel van de ontbrekende activiteit de installatie in vrijgestelde (en daardoor niet gerapporteerde) concentraties verlaat. Niet duidelijk is of dat het verschil kan verklaren.

## 8.5 **Prognose toekomstige productie rest- en afvalstoffen**

### 8.5.1 *Reguliere bedrijfsvoering*

In deze studie wordt aangenomen dat de TiO<sub>2</sub>-productie in de toekomst ongewijzigd blijft, en dat daarmee de productie van radioactieve rest- en afvalstoffen in de toekomst vergelijkbaar zal zijn met de hoeveelheden zoals vermeld in paragraaf 8.3.

### 8.5.2 *Inventaris t.b.v. ontmanteling*

Omdat geen datum is vastgesteld voor ontmanteling van de installaties, is niet vast te stellen wanneer de in paragraaf 8.3.2 beschreven radioactieve inventaris zal vrijkomen.

## 8.6 **Perspectief op verdere preventie en minimalisatie**

### 8.6.1 *Bewerking van filterkoek ten behoeve van nuttige toepassing*

Er zijn in het verleden experimenten uitgevoerd om filterkoek afkomstig van de sector *Pigmentproductie* om te zetten in korrels, voor toepassing in de wegenbouw [113]. Uit deze experimenten is gebleken dat hergebruik niet wenselijk was vanwege een te hoog chloorgehalte. Inmiddels lijkt er een methode te zijn gevonden om het chloorgehalte in

filterkoek te verlagen, waardoor het technisch wel haalbaar lijkt om dit materiaal in te zetten voor hergebruik. Onderzoek hiernaar is gaande. Daarnaast is gebleken dat de korrels vanwege het koolstofpercentage van 13% in beginsel geschikt zijn voor energieopwekking door verbranding in een afvalverbrandingsinstallatie [113].

Daarnaast kan het zinvol zijn om nader onderzoek te doen naar de achtergrond van en oplossingsrichtingen voor de in paragraaf 8.4.3 genoemde administratieve problemen, zodat het radioactieve residu dat resteert als gevolg van complexe decontaminatie wel verder kan worden verwerkt binnen de sector.



## 9 Staalproductie

### 9.1 Inleiding

In de staalindustrie worden grote hoeveelheden steenkool en ijzererts gebruikt als grondstof voor de productie van staal. De grondstoffen bevatten radioactiviteit van natuurlijke oorsprong, in zodanig lage activiteitsconcentraties dat ze zijn vrijgesteld van het controlestelsel [120]. Door de hoge temperaturen vervluchtigt een groot deel van het in de grondstoffen aanwezige Pb-210 en Po-210. Een klein deel wordt geloosd naar de lucht en het grootste deel komt uiteindelijk in verhoogde activiteitsconcentraties in filters en slib terecht [121]. Het productieproces leidt op deze manier tot het ontstaan van rest- en afvalstoffen met verhoogde activiteitsconcentraties. Hoewel voor een aantal materialen geen hergebruik is voorzien, worden zij in verband met de beoogde specifieke vrijgave niet als radioactieve afvalstof aangemerkt.

Voordat ijzererts en steenkool samen in de hoogovens terechtkomen, worden ze voorbereid. Steenkool wordt vergast tot cokes en ijzererts wordt 'voorgebakken' tot grotere en kleinere brokken (*sinter* en *pellets*). Bij deze processen zal het grootste deel van het in erts en steenkool aanwezige Pb-210 en Po-210 vervluchtigen. Bij het reinigen van de rookgassen blijft stofgebonden Pb-210 en Po-210 in relatief hoge activiteitsconcentraties achter in slib en in filters [122].

In hoogovens komen hete lucht, cokes, sinter en pellets samen bij temperaturen van 1800-2000 °C. Het ruwijzer wordt middels een redoxreactie gescheiden van het gesmolten gesteente, waarbij als bijproduct 'hoogovenslak' ontstaat. Uit het ruwijzer wordt staal geproduceerd. Als gevolg van natte gaswassing van de (rook)gassen ontstaat slib met verhoogde activiteitsconcentraties Pb-210 en Po-210, dat verder wordt bewerkt. Uiteindelijk worden verschillende typen Pb-210- en Po-210-houdend filterkoek als radioactieve rest- of afvalstoffen afgevoerd, of opnieuw ingezet in het productieproces.

Hoewel het volgens het IAEA mogelijk is om in de slakken verhoogde activiteitsconcentraties aan te treffen [123], is dit voor de slakken afkomstig uit de Nederlandse staalindustrie niet het geval: activiteitsconcentraties liggen ver onder de 1 Bq/g, en zijn daarmee vrijgesteld [124]. Deze slakken worden als grondstof verkocht.

In het hele proces wordt veel water gebruikt voor koeling en wassing. Het water wordt op eigen terrein gezuiverd en deels hergebruikt.

Ingekapselde radioactieve bronnen van kunstmatige oorsprong worden in het productieproces ingezet voor meet- en regeltoepassingen en voor analyses. Tevens worden vuurvaste materialen toegepast. Daarbij wordt vooral gebruik gemaakt van vrijgestelde materialen (< 1 Bq/g), zoals bauxiet en silica. Zirkoonhoudende materialen worden alleen ingezet bij specifieke toepassingen, zoals bijvoorbeeld ovenwanden (zie hoofdstuk 10).

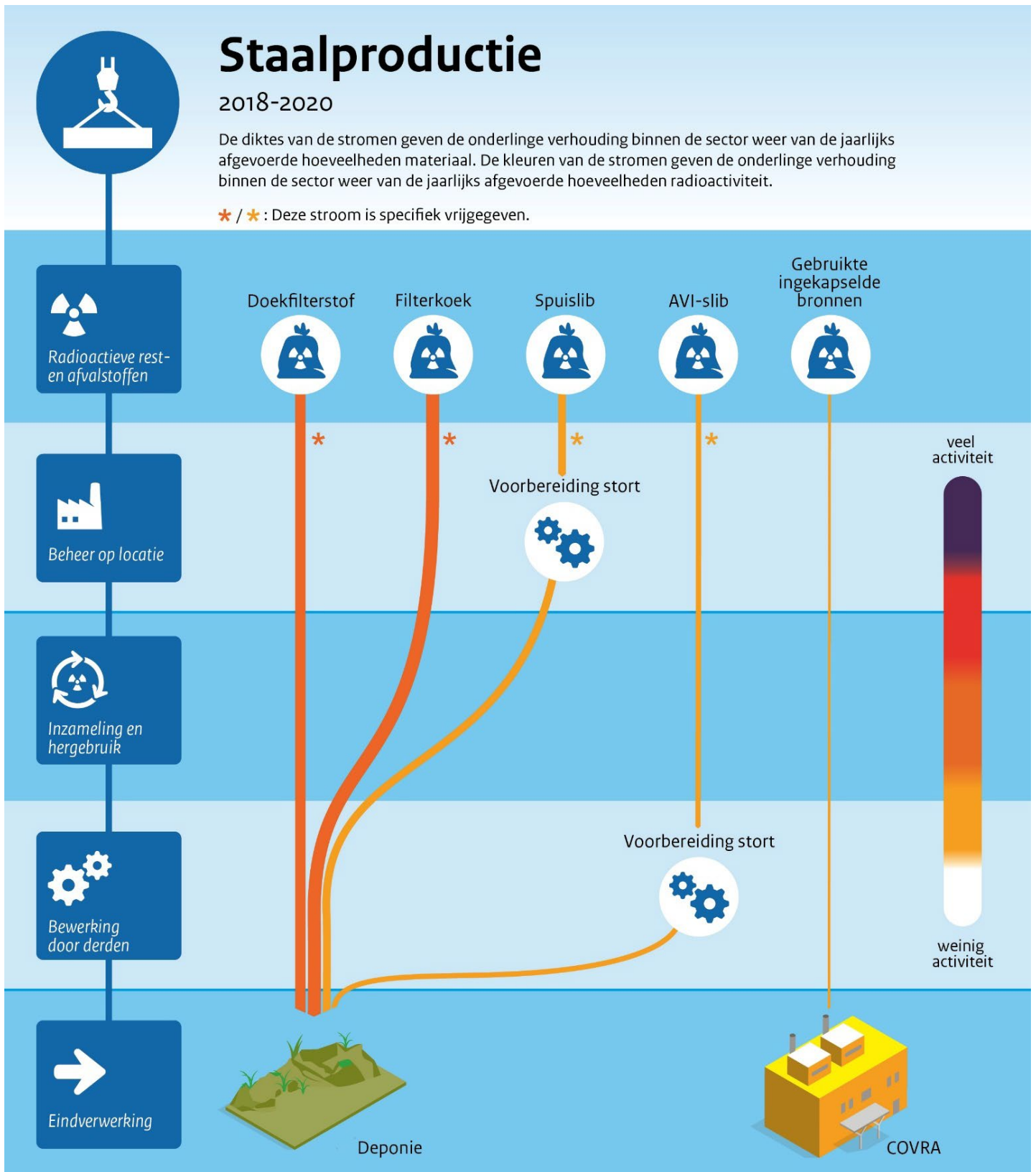
## **9.2 Definitie sector**

De sector *Staalproductie* is in dit rapport gedefinieerd als ondernemingen die staal produceren en een vergunning hebben voor het verrichten van handelingen met materialen met activiteitsconcentraties hoger dan de grenswaarden voor generieke vrijstelling en vrijgave.

Het betreft in Nederland één onderneming. In 2020 werd door deze onderneming ongeveer 5,5 miljoen ton ruwijzer geproduceerd [120].

## **9.3 Productie radioactieve rest- en afvalstoffen**

De reguliere radioactieve rest- en afvalstromen afkomstig van de sector Staalproductie zijn schematisch weergegeven in Figuur 16. De reguliere radioactieve rest- en afvalstromen zijn vervolgens beschreven in paragraaf 9.3.1, en samengevat in Tabel 22. Een inschatting van de te verwachten radioactieve inventaris die vrijkomt bij ontmanteling van de installaties is gegeven in paragraaf 9.3.2.



Figuur 16 Radioactieve rest- en afvalstromen sector Staalproductie.

### 9.3.1

#### *Radioactieve rest- en afvalstoffen uit reguliere bedrijfsvoering*

De reguliere radioactieve rest- en afvalstoffen<sup>45</sup> binnen de sector *Staalproductie* zijn in te delen in:

- Doekfilterstof
- Retourslib pelletfabriek
- AVI-slib
- Filterkoek
- Spuislib
- Gebruikte ingekapselde bronnen

De radioactieve rest- en afvalstoffen worden hieronder kort beschreven. Gegevens en informatie zijn afkomstig van [125] en [126]. In Tabel 22 is een overzicht gegeven van de belangrijkste eigenschappen en hoeveelheden van de radioactieve rest- en afvalstoffen uit de sector *Staalproductie*.

#### *Doekfilterstof*

Zoals hierboven aangegeven, komen bij de productie van sinter uit ijzererts Po-210 en Pb-210 vrij in rookgassen. Deze rookgassen worden gefilterd met doekfilters. Het doekfilterstof is vast materiaal, en bevat tussen de 1,5 en 4,6 Bq/g Pb-210 en tussen de 6,5 en 18 Bq/g Po-210. In de periode 2018-2020 is gemiddeld jaarlijks ca. 8.000 ton (ca. 80 GBq) doekfilterstof geproduceerd. Op grond van de activiteitsconcentraties is het materiaal deels registratieplichtig en deels vergunningplichtig. Voor het materiaal is geen hergebruik voorzien. In verband met de specifieke vrijgave (zie paragraaf 9.4.5) wordt het materiaal echter niet als radioactieve afvalstof aangemerkt.

#### *AVI-slib*

Rookgassen die ontstaan bij de productie van pellets, worden gewassen in zogenaamde fluorwassers. Bij het wassen van de rookgassen blijft activiteit achter in het water. Dit water wordt in twee stappen gereinigd. Na de eerste stap ontstaat slib, dat opnieuw wordt ingezet in het bedrijfsproces ('retourslib'). De tweede reinigingsstap van het water wordt uitgevoerd in de Arseenverwijderingsinstallatie (AVI). Behalve arseen worden in de AVI ook zware metalen uit het water gehaald. Het resterende AVI-slib bevat tussen de 0,1 en 0,5 Bq/g Pb-210+ en tussen de 2,5 en 9,7 Bq/g Po-210 (droge stof) [120]. In de periode 2018-2020 is gemiddeld jaarlijks ca. 150 ton (ca. 1,3 GBq) AVI-slib geproduceerd. Het materiaal is registratieplichtig, en wordt in verband met noodzakelijke bewerking als radioactieve reststof aangemerkt (zie paragraaf 9.4.3).

#### *Retourslib pelletfabriek*

Het in de vorige alinea beschreven retourslib bevat tussen de 0,1 en 0,4 Bq/g Pb-210 en tussen de 2,2 en 4,7 Bq/g Po-210. In de periode 2018-2020 is jaarlijks ca. 4.000 ton van dit materiaal als registratieplichtige radioactieve reststof hergebruikt binnen het productieproces.

#### *Filterkoek*

<sup>45</sup> Omdat voor de meeste van deze stoffen een beschikking voor specifieke vrijgave is aangevraagd en toegekend, zouden deze stoffen strikt genomen niet worden aangemerkt als radioactieve afvalstoffen. Zoals aangegeven in paragraaf 1.4 worden deze in dit rapport echter wél tot de radioactieve afvalstoffen gerekend.



Filterkoek is ontwaterde *slurry*, afkomstig uit de rookgasreiniging van de hoogovens. Het betreft steekvast materiaal, dat wordt gescheiden in verschillende fracties (deeltjesgroottes), waarbij drie typen filterkoek ontstaan:

- 'Zinkrijke filterkoek' bevat tussen de 10 en 19 Bq/g Pb-210+ en tussen de 4,3 en 9,9 Bq/g Po-210, en is op grond daarvan vergunningplichtig. In de periode 2018-2020 is gemiddeld jaarlijks ca. 18.000 ton (ca. 250 GBq) zinkrijke filterkoek geproduceerd. Voor het materiaal is geen hergebruik voorzien. In verband met de beoogde specifieke vrijgave wordt het materiaal niet als radioactieve afvalstof aangemerkt;
- 'Zinkarme filterkoek' bevat tussen de 1,1 en 1,6 Bq/g Pb-210+ en tussen de 0,3 en 0,7 Bq/g Po-210, en is op grond daarvan registratieplichtig. In de periode 2018-2020 is jaarlijks ca. 23.000 ton zinkarme filterkoek geproduceerd. Het materiaal wordt in verband met het beoogde hergebruik binnen het productieproces als radioactieve reststof aangemerkt;
- 'Zinkarme filterkoek 3<sup>e</sup> trap' (de fijnste deeltjes) bevat tussen de 6,3 en 9,0 Bq/g Pb-210+ en tussen de 0,7 en 4,5 Bq/g Po-210, en is op grond daarvan registratieplichtig. In de periode 2018-2020 is gemiddeld jaarlijks ca. 5.000 ton (ca. 35 GBq) zinkarme filterkoek 3<sup>e</sup> trap geproduceerd. Voor het materiaal is geen hergebruik voorzien. In verband met de beoogde specifieke vrijgave wordt het materiaal niet als radioactieve afvalstof aangemerkt.

#### *Spuislib*

Diverse stromen afvalwater, waaronder de 'spui' van de waterreiniging afkomstig van de hoogovens en van de gasreiniging uit de kookgasfabriek, worden binnen het productieproces biologisch gereinigd. Het slib dat hierbij ontstaat, wordt spuislib genoemd, en bevat tussen de 0,8 en 1,6 Bq/g Pb-210+ en tussen de 0,2 en 2,3 Bq/g Po-210 (droge stof). Spuislib is op grond daarvan registratieplichtig. In de periode 2018-2020 is gemiddeld jaarlijks ca. 1.000 ton (ca. 1 GBq) spuislib geproduceerd. Voor het materiaal is geen hergebruik voorzien. In verband met de beoogde specifieke vrijgave wordt spuislib niet als radioactieve afvalstof aangemerkt.

#### *Gebruikte ingekapselde bronnen*

In het proces worden ingekapselde bronnen toegepast voor meet-, regel- en analysedoeleinden. In totaal is maximaal 2,5 TBq vergund [127]. Met uitzondering van een aantal Am-241-bronnen en Am-241/Be-bronnen zullen deze in verband met afnemende activiteit ongeveer eens per drie tot tien jaar moeten worden vervangen, afhankelijk van het nuclide. Het gaat hierbij om bronnen met Co-60, Cf-252 of Cs-137. Gebruikte ingekapselde bronnen worden aangemerkt als radioactieve afvalstof. In de periode 2018-2020 is één ingekapselde bron (gemiddeld <0,1 ton, 0,9 GBq) afgevoerd naar de sector *Ontmanteling, decontaminatie en bewerking*, met als eindbestemming de COVRA.

Ten slotte zijn rookmelders met Am-241 en gebruikte 'bètalights' met H-3 aanwezig. Afhankelijk van hun eindbestemming zullen deze

uiteindelijk worden aangemerkt als vergunningplichtige radioactieve rest- of afvalstoffen.

### 9.3.2 *Inventaris van rest- en afvalstoffen bij ontmanteling*

Aan het einde van hun levensduur zullen de installaties binnen de sector *Staalproductie* moeten worden ontmanteld, waarbij de mogelijkheid bestaat dat delen van deze installaties zijn besmet met radioactiviteit van natuurlijke oorsprong.

Ten behoeve van het al dan niet aanmerken als radioactieve rest- of afvalstof en het bepalen van beheerroutes, worden installatiedelen gecontroleerd op radioactiviteit, zoals ook gebruikelijk is bij vervanging van installaties tijdens onderhoud. Met uitzondering van onderdelen van de voormalige hogedrukwassing in de sinterfabriek, zijn tot op heden in afgevoerde installatiedelen geen besmettingen aangetroffen boven de grenswaarden voor oppervlaktebesmetting. Filterinstallaties zullen zeer waarschijnlijk wel oppervlaktebesmettingen boven de grenswaarden bevatten.

Daarnaast kunnen bij de ontmanteling van ovens vuurvaste, zirkoonhoudende materialen vrijkomen, die op grond van de activiteitsconcentratie als radioactieve rest- of afvalstof moeten worden aangemerkt (zie ook hoofdstuk 10). Afhankelijk van de toepassing gaat het hierbij om naar schatting enkele tonnen niet-vrijgesteld zirkoonhoudend materiaal.

Radioactieve slakkenwol speelt geen rol van betekenis meer binnen de sector [120], al wordt niet uitgesloten dat incidenteel nog kleine hoeveelheden zullen worden aangetroffen en afgevoerd.

Tabel 22 Reguliere radioactieve rest- en afvalstoffen sector Staalproductie in de periode 2018-2020

Type rest- of afvalstof	Eigenschappen relevant voor afvoer	Beheerroute	Afvoer per jaar (gemiddeld over 2018-2020)	
			(ton)	(GBq)
Doekfilterstof (sinterfabriek)	- Vast materiaal - Activiteitsconcentraties 1,5-4,6 Bq/g Pb-210+ en 6,5-18 Bq/g Po-210.	Afvoer als specifiek vrijgegeven materiaal naar aangewezen deponie tot 50 kBq/kg Pb-210+ en 50 kBq/kg Po-210	$8 \times 10^3$	$8 \times 10^1$
AVI-slib (pelletfabriek)	- Mengsel van vast en vloeibaar materiaal - Activiteitsconcentraties (droge stof) 0,1-0,5 Bq/g Pb-210+ en 2,5-9,7 Bq/g Po-210.	Afvoer als radioactieve reststof naar externe dienstverlener t.b.v. voorbereiding voor stort op aangewezen deponie.	$1,5 \times 10^2$	$1,3 \times 10^0$
Filterkoek, zinkrijk (hoogovens)	- Steekvast materiaal - Activiteitsconcentraties 10-19 Bq/g Pb-210+ en 4,3-9,9 Bq/g Po-210.	Afvoer als specifiek vrijgegeven materiaal naar aangewezen deponie tot 22 kBq/kg Pb-210+ en 13 kBq/kg Po-210.	$1,8 \times 10^4$	$2,5 \times 10^2$
Filterkoek, zinkarm 3 <sup>e</sup> trap (hoogovens)	- Steekvast Materiaal - Activiteitsconcentraties 6,3-9,0 Bq/g Pb-210+ en 0,7-4,5 Bq/g Po-210.	Afvoer als specifiek vrijgegeven materiaal naar aangewezen deponie tot 22 kBq/kg Pb-210+ en 13 kBq/kg Po-210.	$5 \times 10^3$	$3,5 \times 10^1$
Spuislib (biologische zuivering kooks- en gasfabrieken)	- Mengsel van vast en vloeibaar materiaal - Activiteitsconcentraties (droge stof) 0,8-1,6 Bq/g Pb-210+ en 0,2-2,3 Bq/g Po-210.	Afvoer als specifiek vrijgegeven materiaal naar aangewezen deponie tot 20 kBq/kg Pb-210+ en 11 kBq/kg Po-210.	$1 \times 10^3$	$1 \times 10^0$
Gebruikte ingekapselde bronnen	Ingekapselde bronnen	Afvoer (al dan niet via de sector <i>Ontmanteling, decontaminatie en bewerking</i> ) als vergunning-plichtige radioactieve afvalstof naar de COVRA	$< 1 \times 10^{-1}$	$9 \times 10^{-1}$

## 9.4 Beheer reguliere radioactieve rest- en afvalstoffen

### 9.4.1 *(Verval)opslag*

De tijdelijke opslag van radioactieve afvalstoffen in deugdelijke containers in een daarvoor bestemde ruimte op locatie is in de vergunning toegestaan voor een periode van maximaal twee jaar, met het oog op verval tot niet-radioactieve afvalstoffen of uit overwegingen die een efficiënte wijze van afvoer naar een erkende ophaaldienst beogen [127].

Vanwege de lange halveringstijd van Pb-210 en de ingroei van Po-210 neemt de activiteit tijdens de toegestane termijn voor opslag nauwelijks af. Vervalopslag (met het oog op vrijgave) is daarom niet aan de orde.

### 9.4.2 *Scheiding en decontaminatie op locatie*

Doekfilters die zijn gebruikt voor de reiniging van de rookgassen in het sinterproces worden in een gemechaniseerd proces 'uitgeklopt'. Het stof wordt opgevangen in silo's, de uitgeklopte filterdoeken blijven in gebruik.

Daarnaast vinden verschillende waterzuiveringsprocessen plaats waarbij slib wordt afgescheiden, zoals hierboven beschreven.

### 9.4.3 *Afvoer voor bewerking*

Het vochtige AVI-slib wordt als radioactieve reststof voor bewerking afgevoerd naar een externe dienstverlener binnen de sector *Ontmanteling, decontaminatie en bewerking* (zie hoofdstuk 15). Het betreft voorbereiding (bijmenging met droge materialen) voor uiteindelijke stort op een aangewezen deponie. In de periode 2018-2020 is in dit kader jaarlijks gemiddeld 150 ton AVI-slib (ca. 1 GBq) afgevoerd voor bewerking.

### 9.4.4 *Afvoer voor hergebruik*

Gebruikte bètalights worden waar mogelijk in batches als radioactieve reststof voor recycling teruggezonden naar de leverancier in het buitenland.

### 9.4.5 *Afvoer naar aangewezen deponie als specifiek vrijgegeven materiaal*

Vóór het in werking treden van het Bbs op 6 februari 2018 waren de in paragraaf 9.3.1 genoemde materialen met radionucliden van natuurlijke oorsprong (generiek) vrijgesteld van het controlestelsel. Deze materialen werden destijds beheerd conform de regels op grond van de Wet milieubeheer, en in dat kader als 'afvalstof' gestort op een deponie.

Omdat de grenswaarden voor Pb-210 en Po-210 met ingang van de genoemde datum zijn aangepast van 100 naar 1 Bq/g, en bovendien enkel van toepassing zijn op vaste materialen, moeten de materialen sindsdien als registratieplichtige en zelfs deels als vergunningplichtige radioactieve stof worden aangemerkt. Het voorgaande betekent dat afvoer als afvalstof naar een deponie niet meer mogelijk is.

Voor de meeste van deze materialen had stort echter nog steeds de voorkeur van de ontdoener. In een aanvraag voor specifieke vrijgave heeft de ontdoener betoogd dat de radiologische risico's ervan voldoen

aan de algemene vrijstellingscriteria, en in een beschikking [128] zijn vervolgens per materiaal hogere grenswaarden voor specifieke vrijgave vastgesteld. Deze grenswaarden gelden onder de voorwaarde van stort op een aangewezen deponie. Voor het AVI-slib is hier de voorwaarde 'bewerking' aan verbonden. Aan de specifieke vrijgave zijn geen voorwaarden verbonden in termen van maximale hoeveelheden massa of volume.

De als specifiek vrijgegeven materiaal naar een aangewezen deponie afgevoerde stromen betroffen in de periode 2018-2020 jaarlijks gemiddeld:

- Ca. 8.000 ton (ca. 80 GBq) registratieplichtig doekfilterstof uit de sinterfabriek. Voor deze stroom zijn grenswaarden vastgesteld van 50 kBq/kg voor zowel Pb-210+ als Po-210;
- Ca. 150 ton (ca. 1,3 GBq) registratieplichtig AVI-slib uit de pelletfabriek. Voor deze stroom zijn grenswaarden vastgesteld van 50 kBq/kg voor Pb-210+ en 50 kBq/kg voor Po-210;
- Ca. 18.000 ton (ca. 250 GBq) registratieplichtige zinkrijke hoogovens filterkoek. Voor deze stroom zijn grenswaarden vastgesteld van 22 kBq/kg voor Pb-210+ en 13 kBq/kg voor Po-210;
- Ca. 5.000 ton (ca. 35 GBq) registratieplichtige zinkarme (derde trap) hoogovens filterkoek. Voor deze stroom zijn grenswaarden vastgesteld van 22 kBq/kg voor Pb-210+ en 13 kBq/kg voor Po-210;
- Ca. 1.000 ton (ca. 1 GBq) registratieplichtig spuislib, afkomstig uit de biologische zuivering van de kooks- en gasfabrieken. Voor deze stroom zijn grenswaarden vastgesteld van 20 kBq/kg voor Pb-210+ en 11 kBq/kg voor Po-210.

De bovenstaande stromen zijn in Figuur 16 met een \* aangegeven. Daarnaast zijn in dezelfde beschikking, eveneens onder de voorwaarden van stort op een aangewezen deponie, hogere grenswaarden voor specifieke vrijgave vastgesteld voor het retourslib uit de pelletfabriek. Dit materiaal wordt - zoals beschreven in paragraaf 9.3.1 - momenteel opnieuw ingezet binnen het bedrijfsproces. De genoemde beschikking is in feite een voorzorgsmaatregel voor het geval in de toekomst inzet binnen het bedrijfsproces niet meer mogelijk mocht zijn [129]. Voor deze stroom zijn grenswaarden vastgesteld van 20 kBq/kg en 11 kBq/kg voor Pb-210+, respectievelijk Po-210.

#### 9.4.6 *Afvoer naar aangewezen deponie als registratieplichtige radioactieve afvalstof*

Aangezien de hierboven genoemde beschikking voor specifieke vrijgave betrekking heeft op alle in paragraaf 9.3.1 genoemde materialen, is er sindsdien geen sprake meer van afvoer van registratieplichtige radioactieve afvalstoffen.

#### 9.4.7 *Afvoer naar de COVRA*

Gebruikte ingekapselde kunstmatige bronnen en rookmelders worden als radioactieve afvalstoffen afgevoerd naar de COVRA. In 2019 is één ingekapselde Co-60 bron van 2,75 GBq via de sector *Ontmanteling, decontaminatie en bewerking* uiteindelijk afgevoerd naar de COVRA. In 2018 en 2020 zijn geen ingekapselde bronnen afgevoerd.

Rookmelders met Am-241 worden per batch afgevoerd naar de COVRA.

#### 9.4.8

##### *Lozing*

##### *Lozing naar de lucht*

Rookgassen die ontstaan bij de productie van sinter zijn door de doekfilters vrijwel volledig ontdaan van radioactiviteit [120]. Lozing van Po-210 of Pb-210+ vindt daardoor bij dit proces enkel plaats bij calamiteiten. In de periode 2018-2020 bedroeg de lozing van Po-210 naar de lucht als gevolg van sinterproductie gemiddeld minder dan 0,1 GBq per jaar. Lozing van Pb-210 bedroeg in deze periode minder dan de detectielimiet.

Naar de lucht geloosde rookgassen afkomstig van de pelletproductie bevatten in de periode 2018-2020 gemiddeld 0,6 GBq per jaar stof-gebonden Pb-210, en 21 GBq per jaar stof-gebonden Po-210.

Er is vergunning verleend voor luchtzijdige stof- en gasvormige emissie van Po-210 met een maximale activiteit van 33 GBq, en van Pb-210 met een maximale activiteit van 8 GBq per megaton geproduceerde ruwijzer per jaar [127]. Bij een productie van 5,5 miljoen ton ruwijzer per jaar komt dit neer op vergunde hoeveelheden van 44 GBq Pb-210 en 182 GBq Po-210 per jaar. De werkelijke hoeveelheid naar de lucht geloosde activiteit blijft daar ver onder [120] (zie Tabel 23).

*Tabel 23 Lozing naar lucht van radioactiviteit door de sector Staalproductie*

	<b>Gemiddelde lozing naar de lucht in de periode 2018-2020 (GBq/per jaar)</b>	
	<b>Pb-210</b>	<b>Po-210</b>
Sinterproductie	0	<0,1
Pelletproductie	0,6	21
<b>Totaal</b>	<b>0,6</b>	<b>21</b>
Vergunde limieten	44	182

##### *Naar oppervlaktewater*

Afvalwater wordt gereinigd en vervolgens geloosd. Bij de reiniging worden onder meer arseen en andere zware metalen uit het water verwijderd. Het geloosde water wordt niet bemonsterd en geanalyseerd. Voor lozing naar oppervlaktewater is in het verleden met de toezichthouder Inspectie Leefomgeving en Transport (ILT) overeengekomen dat de processtromen niet meer getalsmatig worden beschreven [120], aangezien die ver onder de limieten voor vergunningplicht liggen.

## 9.5

### **Prognose productie radioactieve rest- en afvalstoffen**

#### 9.5.1

##### *Reguliere bedrijfsvoering*

Er zijn op dit moment geen aanwijzingen dat er grote wijzigingen zullen optreden in het productievolume. Wel wordt er op het moment van schrijven van dit rapport een aantal aanpassingen in het productieproces

onderzocht, zowel met het oog op de korte als de langere termijn. Dergelijke aanpassingen kunnen invloed hebben op de hoeveelheid natuurlijke radioactiviteit in de rest- en afvalstoffen, en op de verdeling daarvan over deze stromen. Wat dat betreft is het van belang dat in 2022 is besloten extra filtermaatregelen te treffen, die de lozing van (onder meer) stof verder zullen tegengaan [130]. Deze aanpassing betekent enerzijds naar verwachting minder lozing van radioactiviteit naar de lucht, maar tegelijkertijd een verplaatsing van deze radioactiviteit naar rest- en afvalstromen.

Voor de langere termijn wordt nagedacht over substantiëlere wijzigingen in het productieproces. Een mogelijke optie hiervoor is de inzet van waterstof in plaats van cokes [131]. Als dit doorgang vindt, zal de activiteit die afkomstig is uit de steenkool uiteindelijk niet meer in rest- of afvalstoffen aanwezig zijn. Daarnaast zal de productie van spuislib afnemen, als gevolg van het vervallen van de te reinigen afvalwaterstroom vanuit de cokesproductie. Indien ervoor wordt gekozen om staal volledig te winnen door schroot om te smelten, zal radioactiviteit van natuurlijke oorsprong in rest- of afvalstromen niet meer relevant zijn.

#### 9.5.2 *Inventaris t.b.v. ontmanteling*

De voormalige hogedrukwassing in de sinterfabriek zal binnen afzienbare tijd moeten worden ontmanteld. In deze installatie is op diverse plaatsen mogelijk sprake van afzettingen met vergunningplichtige hoeveelheden radioactiviteit. De wijze van ontmantelen en de hoeveelheid daarbij te verwachten radioactieve rest- en afvalstoffen (waarschijnlijk voornamelijk scaling) worden momenteel onderzocht.

### 9.6 **Perspectief op verdere preventie en minimalisatie**

Het perspectief op verdere preventie en minimalisatie van radioactieve rest- en afvalstoffen hangt voornamelijk af van de toekomstige bedrijfsvoering (zie 9.5.1).

Het aantal gebruikte ingekapselde bronnen dat als radioactieve afvalstof moet worden afgevoerd, kan in de toekomst afnemen omdat de bronnen daar waar mogelijk worden vervangen door röntgentoestellen.





## 10 Zirkoon

### 10.1 Inleiding

In Nederland worden door verschillende ondernemingen zirkoonhoudende materialen gemaakt en/of gebruikt. Belangrijke voorbeelden van zirkoonhoudende materialen zijn zirkoniamsilicaat ( $ZrSiO_4$ ), ook wel zirkoonzand genoemd, en baddeleyiet (natuurlijke vorm<sup>46</sup> van zirkoniumoxide,  $ZrO_2$ ). Deze materialen worden in verschillende delen van de wereld als delfstof gewonnen. De geologische processen die zirkoonzand en baddeleyiet vormden, leidden tot de opname van radionucliden uit de uranium- en thoriumvervalreeksen.

De *United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation* (UNSCEAR) rapporteert activiteitsconcentraties in zirkoonzanden variërend van 0,2 tot 74 Bq/g U-238sec en 0,4 tot 40 Bq/g Th-232sec [132]. Daarmee is het materiaal in veel gevallen registratie- of zelfs vergunningplichtig.

Zirkoonzand en zirkoniumoxide worden voornamelijk gebruikt om hun vuur- en slijtvaste eigenschappen, bijvoorbeeld voor het vervaardigen van hittebestendige materialen in glasovens en in gieterijen. Ook worden deze materialen gebruikt als keramisch straalmiddel, bijvoorbeeld voor het verwijderen van aanslag in buisleidingen. Andere toepassingen zijn onder meer zirkoonhoudende slijpstenen en isolatiewol.

### 10.2 Definitie sector

De sector *Zirkoon* is in dit onderzoek gedefinieerd als de ondernemingen die een vergunning of registratie hebben voor het verrichten van handelingen met en/of het voorhanden hebben van zirkoonhoudende materialen en/of grondstoffen, met activiteitsconcentraties hoger dan de grenswaarden voor generieke vrijstelling en vrijgave.

In Nederland hebben in totaal ca. 200 ondernemingen een registratie of vergunning voor het verrichten van handelingen met en/of het voorhanden hebben van zirkoonhoudende materialen en/of grondstoffen. Twee van deze (grotere) ondernemingen hebben een ketenregistratie gedaan, waar in totaal ongeveer 175 andere (kleinere) ondernemingen onder vallen. Dit is samengevat in Tabel 24. Enkele ondernemingen hebben een vergunning omdat ze naast het voorhanden hebben van registratieplichtig zirkoonhoudend materiaal ook andere vergunningplichtige bronnen voorhanden hebben, of vergunningplichtige handelingen verrichten.

<sup>46</sup> Zirkoon of zirkonium moeten niet worden verward met de synthetische edelsteen zirkonia, die gemaakt wordt door zirkoniumdioxide ( $ZrO_2$ ) te verhitten. Hierin wordt geen radioactiviteit aangetroffen.

Tabel 24 Definitie sector Zirkoon

Type toepassing	Materiaal	Aantal ondernemingen	Max. aanwezig (ton)	Doorzet (ton per jaar)	Productie regulier radioactief afval
Import, overslag en bewerking van zirkoonhoudende grondstoffen	Divers, waaronder zirkoonzand en ferrozirkoonsilicaat <sup>47</sup>	3	Onbekend	1,0 – 2,5 x 10 <sup>5</sup>	Mineralen- en ertsenvoegsel
Productie van vuurvaste (bouw)materialen	Zirkoonhoudende vuurvaste stenen, beton en prefab materialen	1	1,1 x 10 <sup>2</sup>	7 x 10 <sup>1</sup> (productie)	Geen
Productie van vuurvaste coatings voor gieterijen	Coatings	1	Onbekend	5 x 10 <sup>3</sup> (productie)	Gebruikte coating
Toepassing als vuurvast materiaal in ovens	Zirkoon Aluminium Casting (ZAC) materiaal: stenen en mortel	9 (t.b.v. glas- en staalproductie)	5,4 x 10 <sup>3</sup>	n.v.t.	ZAC-stenen/ovenpuin
Toepassing als vuurvast materiaal in gieterijen	Zirkoonzand	6	Onbekend	2 - 5 x 10 <sup>2</sup>	Gebruikt vormzand
	Zirkoonhoudende coatings		1 x 10 <sup>1</sup>	max 5 x 10 <sup>2</sup>	Geen
Toepassing in keramische tegels	Divers, waaronder zirkoon en zirkoonsilicaat	1	5,7 x 10 <sup>1</sup>	1,5 x 10 <sup>2</sup>	Geen
Toepassing in zirkoonhoudende keramische vezels (ZKV)	Zirkoonwol	5	4 – 5 x 10 <sup>1</sup>	n.v.t.	Geen
Toepassing in keramische straalmiddelen	Zirkoonsilicaat	Ca. 170	Onbekend	2 x 10 <sup>2</sup>	Gebruikt straalgrit
Toepassing in slijpstenen	Zirkoonoxide	1	Onbekend	4,7 x 10 <sup>1</sup>	Gebruikte slijpsteen
Toepassing als scheidingskatalysator	Zirkoonzand ('zirox')	1	7,0 x 10 <sup>1</sup>	1,8 x 10 <sup>1</sup>	Zirkoonzand
Toepassing in brandkasten en kluizen	Zirkoonhoudend beton	Onbekend	Onbekend	3,2 x 10 <sup>1</sup>	Gebruikte brandkasten

<sup>47</sup> En andere niet-vrijgestelde ertsen.

Hieronder volgt enige toelichting over de toepassingen van zirkoonhoudende materialen en grondstoffen in Nederland.

*Import, overslag en bewerking van zirkoonhoudende grondstoffen*

Eén onderneming in Nederland beschikt over een registratie en twee ondernemingen over een vergunning voor het importeren, opslaan, overslaan en bewerken van zirkoonzand (en enkele andere minerale zanden met niet-vrijgestelde activiteitsconcentraties). De genoemde registratie betreft een ketenregistratie voor drie andere ondernemingen, voor het be- of verwerken van de materialen [133]. De bewerkingen bestaan uit malen, 'microniseren' (ultrafijn malen) en mengen en/of verpakken voor verdere toepassingen, waaronder de toepassingen die hieronder zijn beschreven. De doorzet aan zirkoonhoudende grondstoffen is in totaal in de orde van 100.000 tot 150.000 ton per jaar [58].

De activiteitsconcentratie van de materialen bedraagt de maximaal 5 Bq/g U-238 en maximaal 1 Bq/g Th-232 [122]. Het materiaal is op grond daarvan registratieplichtig. Bij het bewerken van de genoemde grondstoffen ontstaan resten registratieplichtig 'mineralen- en ertsenvoegsel'.

*Productie van vuurvaste (bouw)materialen*

Eén onderneming in Nederland produceert zirkoonhoudende vuurvaste stenen, beton en prefab-materialen. Voor iedere opdrachtgever is de concentratie van de zirkoonhoudende grondstof in het product anders, maar de activiteitsconcentratie U-238 in het product ligt typisch tussen de 3 en 5 Bq/g, op grond waarvan het als registratieplichtig moet worden aangemerkt [134]. In de verleende Kernenergiewetvergunning is aan de op locatie aanwezige hoeveelheid zirkoonhoudend materiaal een maximum gesteld, dat overeenkomt met ongeveer 110 ton [135], resulterend in een productie van 70 ton vuurvast materiaal per jaar. Bij de productie van vuurvast materiaal ontstaan geen radioactieve afvalstoffen.

*Productie van vuurvaste coatings voor gieterijen*

In Nederland is één onderneming gevestigd die zirkoonhoudende vuurvaste coatings produceert voor gebruik in gieterijen. Hiertoe wordt zirkoonmeel (zirkoniumsilicaat in poedervorm) gemengd met verschillende andere (vloeibare) stoffen. De doorzet van zirkoonhoudende grondstof bij deze onderneming ligt tussen de 2.000 en 3.500 ton per jaar, met maximale vergunde activiteitsconcentraties van 5 Bq/g U-238sec en 1 Bq/g Th-232sec [136]. De grondstoffen worden uiteindelijk omgezet in 5.000 ton product per jaar, met een gemiddelde activiteitsconcentratie van ca. 4 Bq/g U-238sec en 0,7 Bq/g Th-232sec [137].

De coatings worden naar binnenlandse (5%) en buitenlandse (95%) afnemers verzonden [138]. De binnenlandse afnemers sturen restanten zirkooncoating na gebruik retour naar de producent, die het materiaal als registratieplichtig radioactief afval aanmerkt. Voor binnenlands gebruik en retourzending is een ketenmelding gedaan voor zes bedrijven.

*Toepassing als vuurvast materiaal in ovens*

Zirkoonhoudend vuurvast materiaal wordt in Nederland op diverse plaatsen toegepast. Een belangrijk voorbeeld hiervan is het gebruik van Zirkoon Aluminium Casting (ZAC) materiaal in ovens. ZAC-materiaal is geperst en gebakken tot stenen, en wordt met behulp van zirkoonhoudende mortels en keramische vezels in de ovens gebouwd. De activiteitsconcentratie van het materiaal bedraagt tussen de 2 en 3 Bq/g U-238 [122].

In Nederland hebben in totaal negen ondernemingen ZAC-stenen voorhanden in ovens, ten behoeve van de productie van glas en staal [58] [139]. Deze ovens hebben een levensduur van acht tot vijftien jaar, wat inhoudt dat gebruikt ZAC-materiaal en ander zogenoemd ovenpuin periodiek vrijkomt bij onderhoudscampagnes. Deze ondernemingen hebben daarnaast vaak ook ZAC-stenen en vuurvaste mortels op voorraad, om kleine reparaties aan de ovens te kunnen uitvoeren. In 2019 was in Nederland in totaal ca. 5.000 ton aan ZAC-steen in ovens aanwezig [139]. Daarnaast was ca. 400 ton ZAC-steen en -mortel in opslag. Deze materialen worden na gebruik als registratieplichtige radioactieve rest- of afvalstoffen aangemerkt.

*Toepassing als vuurvast materiaal in gieterijen*

Zirkoonhoudend materiaal wordt in Nederland als vuurvast materiaal toegepast in tenminste zes gieterijen. Zirkoonzand wordt als vormzand gemengd met een bindmiddel, om een negatief beeld (gietmal) te maken van de te gieten vorm. Activiteitsconcentraties bedragen ca. 2 tot 4 Bq/g U-238 en minder dan 1 Bq/g Th-232 [140]. Omdat voor gebruik van zirkoonzand als vormzand alternatieven beschikbaar zijn, zoals kwartszand en chromietzand, wordt zirkoonzand slechts beperkt toegepast, en met name voor specialistisch gietwerk. Vormzand wordt in een dergelijk proces vaak meerdere keren gebruikt, en na gebruik als registratieplichtige radioactieve afvalstof aangemerkt. De doorzet bedraagt jaarlijks naar schatting tussen de 200 en 500 ton (zie Tabel 24).

Een andere toepassing is het aanbrengen van coatings op gietmallen, om een vuurvaste beschermlaag te vormen tussen het gesmolten metaal en de gietmal [138]. De grotere gieterijen gebruiken 5 tot 50 ton zirkooncoating per jaar. Maximaal is 10 ton coating op de locaties aanwezig. De coating komt uiteindelijk sterk verdund in het vormzand terecht, met vrijgestelde activiteitsconcentraties. Daarnaast worden restanten coating retour gestuurd aan de leverancier. Het gebruik van coatings leidt hierdoor niet tot het ontstaan van radioactieve afvalstoffen bij gieterijen.

*Toepassing in keramische tegels*

In Nederland is één onderneming gevestigd die keramische tegels produceert op basis van zirkoonhoudende grondstoffen. Deze grondstoffen worden toegepast met het oog op de vuur- en slijtvaste eigenschappen. Productie vindt plaats op twee locaties, waarvoor in totaal vergunning is verleend voor het voorhanden hebben van maximaal 57,5 ton zirkoonhoudende registratieplichtige grondstoffen, met activiteitsconcentraties van maximaal 3,9 Bq/g U-238sec en 0,7 Bq/g Th-232sec [141, 142]. De jaarlijks doorzet bedraagt 150 ton, en

de activiteitsconcentraties van de geproduceerde keramische tegels zijn vrijgesteld. Dit geldt ook voor de afvalstoffen.

*Toepassing in zirkoonhoudende keramische vezels*

Zirkoonhoudende keramische vezels (ZKV, ook wel zirkoonwol genoemd) worden als brandwerend materiaal gebruikt in installaties die blootstaan aan hoge temperaturen. Voorbeelden zijn te vinden in de olie- en gasindustrie, de infrastructuur voor aardgasdistributie en de chemische industrie. Activiteitsconcentraties in ZKV zijn in de orde van 1,2 tot 3 Bq/g voor zowel U-238 als Th-232 [143]. Op grond hiervan moet het materiaal als registratieplichtige afvalstof worden aangemerkt. In beginsel worden er op reguliere basis geen radioactieve afvalstoffen geproduceerd.

In Nederland is momenteel aan vijf ondernemingen een registratie of vergunning verleend voor het voorhanden hebben van ZKV in hun installaties. Omdat het voor ondernemers niet altijd duidelijk is dat er een registratie- of vergunningplicht geldt, is niet onwaarschijnlijk dat er meer installaties zijn waarin ZKV is toegepast, zonder dat daarvoor een registratie of vergunning is verleend. In Nederland is in totaal naar schatting minimaal ca. 40 tot 50 ton ZKV aanwezig [144] [140].

*Toepassing in keramische straalmiddelen*

Keramische straalmiddelen die zirkoon bevatten, worden voornamelijk gebruikt voor het reinigen en 'satineren' (bewerken van het oppervlak) van metaaloppervlakken. Door de manier van produceren zijn de grove zandkorrels droog, stevig en slijtvast. De gebruikte straalmiddelen in de vorm van droge korrels bestaan voor 60 tot 70% uit  $ZrO_2$ . Ook bevatten ze aluminiumoxide ( $Al_2O_3$ ) en siliciumoxide ( $SiO_2$ ) [145]. Voor de in Nederland gebruikte straalmiddelen geldt een typische activiteitsconcentratie van 4,1 Bq/g U-238sec en 0,9 Bq/g Th-232 [145]. Na gebruik moet het materiaal daarom als registratieplichtige afvalstof worden aangemerkt.

Twee ondernemingen hebben als importeur een ketenregistratie gedaan voor handelingen met registratieplichtige zirkoonhoudende keramische straalmiddelen. Onder die ketenregistratie vallen ongeveer 170 andere ondernemingen (wederverkopers en eindgebruikers). De gemiddelde doorzet van deze importeurs bedraagt in totaal ca. 200 ton per jaar. De gebruikte straalmiddelen worden voor het grootste deel weer teruggenomen door de importeurs, ten behoeve van recycling van het materiaal voor de productie van nieuw straalmiddel. Omdat niet alle straalbedrijfsgebruik maken van de mogelijkheid om gebruikt straalmiddel terug te leveren, met name gebruikers van kleine hoeveelheden straalmiddel (minder dan 1 ton per jaar) niet, moet er rekening mee worden gehouden dat een deel van de jaarlijkse doorzet uiteindelijk in kleine batches van een paar honderd kilogram als niet-radioactief afval terecht komt op niet aangewezen stortplaatsen [138].

*Toepassing als slijpstenen*

Zirkoonhoudende slijpstenen worden in Nederland in elk geval door één onderneming toegepast bij het onderhoud van spoorrails<sup>48,49</sup>. Het materiaal bestaat meestal uit  $ZrO_2$ , dat is gemengd met  $Al_2O_3$ . De gemiddelde activiteitsconcentratie bedraagt tussen de 1 en 2 Bq/g U-238 [146]. Na gebruik wordt het materiaal uiteindelijk als registratieplichtige radioactieve afvalstof aangemerkt.

*Toepassing als scheidingskatalysator*

Zirkoonzand wordt door één onderneming in Nederland toegepast als scheidings-katalysator bij de productie van polyurethaan. Het materiaal blijft gedurende het proces in de procesinstallatie achter, en komt dus niet in het product terecht [147]. Aan de onderneming is vergunning verleend voor het voorhanden hebben van maximaal 70 ton zirkonumdioxide, met een activiteitsconcentratie van maximaal 2 Bq/g U-238sec [148]. Bij onderhoud wordt periodiek een hoeveelheid zirkoonhoudend materiaal uit de installatie verwijderd, en als registratieplichtige radioactieve afvalstof aangemerkt.

*Toepassing in brandkasten en kluizen*

In brandkasten, pinautomaten en kluizen wordt geregeld zirkoonhoudend beton aangetroffen, dat is toegepast met het oog op de brandvertragende en verstevigende eigenschappen van het materiaal. Activiteitsconcentraties bedragen 1,2 Bq/g U-238 en 0,3 Bq/g Th-232 [27]. Vaak is voor dit materiaal geen vergunning of registratie verleend, en wordt pas aan het eind van de levensduur duidelijk dat het materiaal als registratieplichtige radioactieve afvalstof moet worden aangemerkt [27].

*Toepassing als Thermal Barrier Coating*

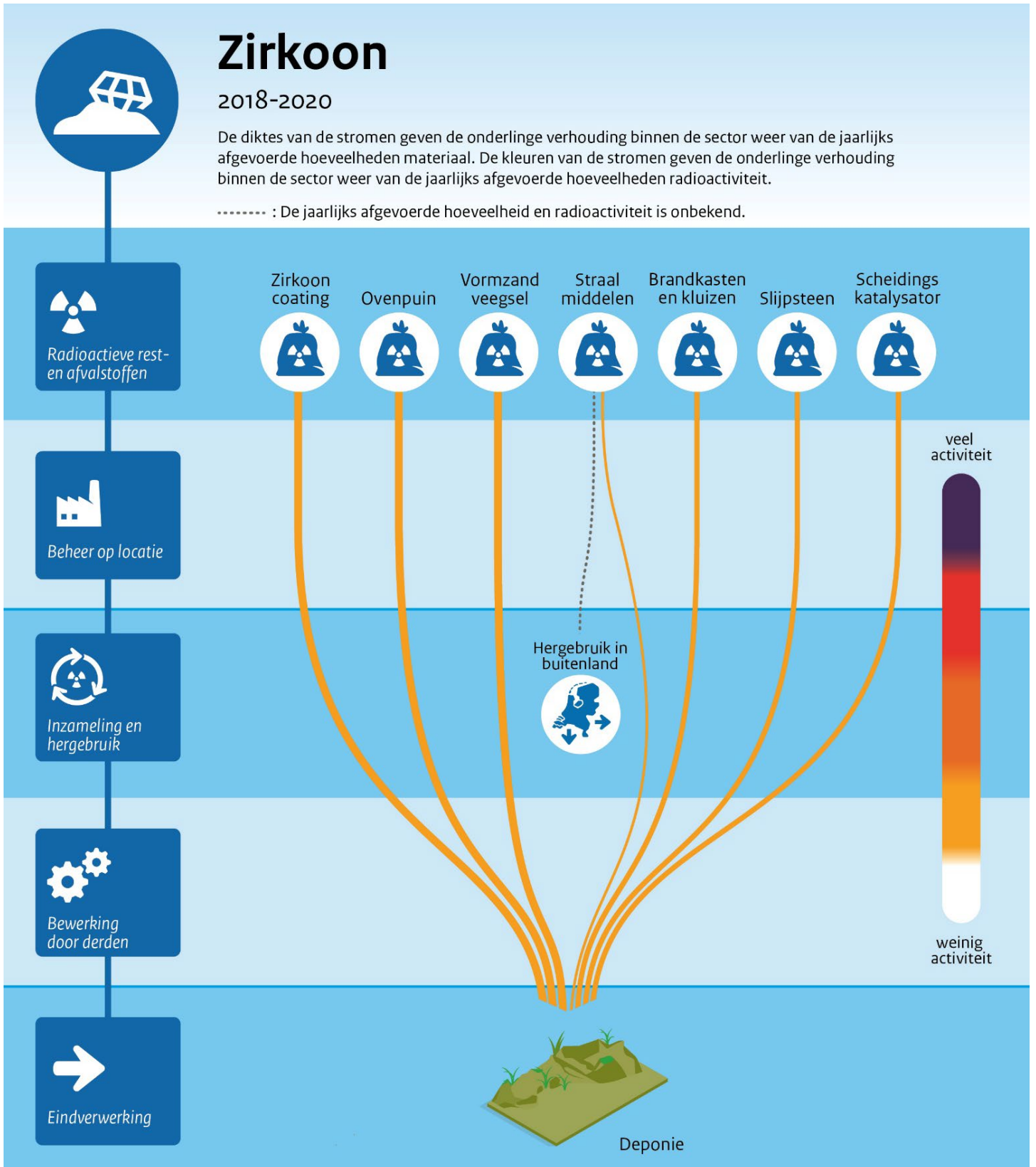
Zirkoonhoudend materiaal wordt in legering als thermoresistente laag (*Thermal barrier coating* of *TBC*) aangebracht op oppervlakken die aan hoge temperaturen worden blootgesteld. TBC's worden bijvoorbeeld toegepast in de motoren van vliegtuigen en in gasturbines. Het betreft kleine hoeveelheden materiaal, gemaakt van poeders die bestaan uit zirkoonoxide of *yttria-stabilized zirconia* [149]. In Nederland is één onderneming die dergelijke coatings aanbrengt. Hiervoor is een activiteitsconcentratie vergund van 5 Bq/g U-238, en een maximaal aanwezige hoeveelheid van 100 kg [150]. Aangezien dit veel minder is dan de meeste andere hierboven genoemde toepassingen, wordt dit materiaal niet verder meegenomen in dit rapport.

### 10.3 Productie radioactieve rest- en afvalstoffen

De reguliere radioactieve rest- en afvalstromen afkomstig van de sector Zirkoon zijn schematisch weergegeven in Figuur 17. De reguliere radioactieve rest- en afvalstromen zijn vervolgens beschreven in paragraaf 10.3.1, en samengevat in Tabel 25. Een inschatting van de te verwachten radioactieve inventaris die vrijkomt bij ontmanteling van de installaties is gegeven in paragraaf 10.3.2.

<sup>48</sup> Niet uit te sluiten is dat zirkoonhoudende slijpstenen ook voor andere toepassingen dan het slijpen van rails in gebruik zijn.

<sup>49</sup> Voor het voorhanden hebben van dit materiaal is overigens geen registratie op grond van de Kernenergiewet gevonden.



Figuur 17 Radioactieve rest- en afvalstromen sector Zirkoon.

### 10.3.1 *Radioactieve rest- en afvalstoffen uit reguliere bedrijfsvoering*

Bij het toepassen van zirkoonhoudende vezels en thermal barrier coatings [151], de productie van de keramische tegels en bij de productie van vuurvaste materialen [134] ontstaan geen reguliere radioactieve afvalstoffen. Dit geldt wel voor de overige toepassingen die zijn genoemd in paragraaf 10.2. Deze leiden tot volgende radioactieve rest- en afvalstoffen, in volgorde van omvang van de stromen:

- Residuen afkomstig van reiniging van zirkooncoating
- Ovenpuin/ZAC-materiaal
- Gebruikt vormzand
- Mineralen- en ertsenvoegsel
- Gebruikte slijpsteen
- Gebruikte brandkasten en kluisen
- Zirkoonzand afkomstig uit scheidingskatalysator
- Gebruikte keramische straalmiddelen

Deze stromen worden hieronder nader toegelicht, en zijn samengevat in Tabel 25.

#### *Residuen afkomstig van reiniging van zirkooncoating*

De - qua massa en volume - belangrijkste stroom binnen de sector *Zirkoon* wordt gevormd door de residuen die resteren na inzameling en reiniging van gebruikte zirkooncoating. Het betreft een vochtig, steekvast residu, met een activiteitsconcentratie van ongeveer 1 Bq/g U-238 en 0,2 Bq/g Th-232. Het residu wordt als registratieplichtige radioactieve afvalstof aangemerkt. In de periode 2018-2020 betrof dit gemiddeld 636 ton (ca. 0,6 GBq) per jaar [152].

#### *Ovenpuin/ZAC-materiaal*

Een tweede belangrijke reguliere radioactieve afvalstroom is (ZAC-materiaal-houdend) ovenpuin. Tijdens het gebruik van de ovens ontstaat in de loop van de tijd corrosie in het vuurvaste materiaal, waardoor geregeld reparaties nodig zijn. Daarnaast moet het vuurvaste materiaal in een oven eens in de acht tot vijftien jaar in zijn geheel worden vervangen. Indien mogelijk worden de ZAC-stenen uit de ontmantelde ovens worden als radioactieve reststof retour gestuurd naar de leverancier, of voor recycling naar het buitenland gebracht. Het is niet bekend hoeveel materiaal dit per jaar betreft. Indien verdere verwerking niet mogelijk is, wordt het materiaal als registratieplichtige radioactieve afvalstof aangemerkt. Gemiddeld over de periode 2018-2020 betreft het ca. 410 ton (ca. 1 GBq) per jaar [152]. Hierbij moet worden opgemerkt dat er in de periode 2017-2020 sprake was van een - in vergelijking met de periode daarvoor - ongebruikelijk hoog aantal ovens dat na sluiting is ontmanteld.

#### *Gebruikt vormzand*

Zirkoonzandhoudende gietmallen worden na gebruik gebroken, waarna het zirkoonhoudende vormzand wordt gescheiden van andere materialen [146]. Op grond van de in paragraaf 10.2 genoemde activiteitsconcentraties is het materiaal registratieplichtig. Indien mogelijk wordt het materiaal na gebruik opnieuw als gietmateriaal gebruikt. Indien hergebruik niet mogelijk is, moet het materiaal als registratieplichtig radioactief afval worden aangemerkt.



Naar schatting wordt jaarlijks tussen de 200 en 500 ton (0,4-2 GBq) aan gebruikt vormzand als registratieplichtig radioactief afval aangemerkt. Deze schatting is gebaseerd op [152] respectievelijk [138].

#### *Mineralen- en ertsenvoegsel*

Bij de bewerking van zirkoonzand ontstaat 'mineralen- en ertsenvoegsel' (zie paragraaf 10.2). Het betreft droog materiaal, dat als registratieplichtige radioactieve afvalstof wordt aangemerkt. In de periode 2018-2020 was dit gemiddeld ca. 81 ton (max ca. 0,4 GBq) per jaar [152]. Opmerkelijk is overigens dat dit minder dan de helft is van de gemiddelde hoeveelheid in de periode 2010-2020. Dit verschil kan niet worden verklaard door het in werking treden van het Bbs.

#### *Gebruikte slijpsteen*

In de periode 2018-2020 is gemiddeld ca. 47 ton (ca. 0,05-0,1 GBq) per jaar aan zirkoonhoudende slijpsteen aangemerkt als registratieplichtige radioactieve afvalstof [152].

#### *Gebruikte brandkasten en kluizen*

In de periode 2018-2020 is per jaar gemiddeld 32 ton (ca 0,04 GBq) aan gebruikte brandkasten en kluizen aangemerkt als registratieplichtige radioactieve afvalstof [152].

#### *Zirkoonzand afkomstig uit scheidingskatalysator*

Zirkoonzand dat werd toegepast als scheidingskatalysator, en bij onderhoud uit procesinstallaties is verwijderd, wordt aangemerkt als registratieplichtige radioactieve afvalstof. In de periode 2018-2020 bedroeg dit gemiddeld ca. 18 ton (ca 0,04 GBq) per jaar [152].

#### *Gebruikte keramische straalmiddelen*

Conform het Bssa geldt een stortverbod voor de meeste soorten straalgrit, tenzij het grit niet (meer) kan worden gereinigd, met als doel het opnieuw als straalmiddel toe te passen. Gebruikte zirkoonhoudende keramische straalmiddelen worden daarom na gebruik door de eindgebruiker(s) in veel gevallen als radioactieve reststof aangemerkt, en voor hergebruik teruggestuurd naar de importeur of leverancier. Het betreft droog materiaal, met nog vrijwel dezelfde chemische samenstelling als het ongebruikte product. Het is niet bekend om hoeveel materiaal dit gaat. Het deel dat niet geschikt is voor hergebruik wordt aangemerkt als registratieplichtige radioactieve afvalstof [145].

Op grond van de gevonden meldingen in het LMA bedraagt de over de periode 2018-2020 gemiddelde afgevoerde hoeveelheid ca. 5 ton (ca 0,02 GBq) per jaar [152]. Gezien de veel hogere jaarlijkse doorzet (zie paragraaf 10.2) moet er echter rekening mee worden gehouden dat de daadwerkelijk afgevoerde hoeveelheid aanzienlijk hoger is.

Tabel 25 Reguliere radioactieve rest- en afvalstoffen sector Zirkoon in de periode 2018-2020

Type rest- of afvalstof	Eigenschappen relevant voor afvoer	Beheerroute	Afvoer per jaar (gemiddeld over 2018-2020)	
			(ton)	(GBq) <sup>50</sup>
Residuen afkomstig van de reiniging van zirkooncoating	Vochtig steekvast materiaal Ca. 1 Bq/g U-238 en 0,2 Bq/g Th-232 Registratieplichtig	Afvoer als registratieplichtig radioactief afval naar aangewezen deponie	$6,4 \times 10^2$	$6 \times 10^{-1}$
Ovenpuin/ZAC-materiaal	Stabiel en vast materiaal. Tussen de 2 en 3 Bq/g U-238 Registratieplichtig	Afvoer als registratieplichtig radioactief afval naar aangewezen deponie	$4,1 \times 10^2$	$1 \times 10^0$
Gebruikt vormzand	Stabiel en vast materiaal Activiteitsconcentratie ca. 2-4 Bq/g U-238 en <1 Bq/g Th-232 Registratieplichtig	Afvoer als registratieplichtig radioactief afval naar aangewezen deponie	$2 - 5 \times 10^2$	$0,4 - 2 \times 10^0$
Mineralen- en ertsenvoegsel	Stabiel en vast materiaal Activiteitsconcentratie max 5 Bq/g U-238 en max 1 Bq/g Th-232 Registratieplichtig	Afvoer als registratieplichtig radioactief afval naar aangewezen deponie	$8,1 \times 10^1$	$0,4 \times 10^{-1}$
Gebruikte slijpsteen	Stabiel en vast materiaal Activiteitsconcentratie ca. 1-2 Bq/g U-238sec Registratieplichtig	Afvoer als registratieplichtig radioactief afval naar aangewezen deponie	$4,7 \times 10^1$	$0,5-1 \times 10^{-1}$
Gebruikte brandkasten en kluizen	Stabiel en vast materiaal Activiteitsconcentratie ca. 1,2 Bq/g U-238 en 0,3 Bq/g Th-232 Registratieplichtig	Afvoer als registratieplichtig radioactief afval naar aangewezen deponie	$3,2 \times 10^1$	$4 \times 10^{-2}$

<sup>50</sup> Omgerekend o.b.v. gemiddelde gerapporteerde activiteitsconcentratie en massa.

Type rest- of afvalstof	Eigenschappen relevant voor afvoer	Beheerroute	Afvoer per jaar (gemiddeld over 2018-2020)	
			(ton)	(GBq) <sup>50</sup>
Gebruikte keramische straalmiddelen	Stabiel en vast materiaal Activiteitsconcentratie ca. 4,1 Bq/g U-238sec en 0,9 Bq/g Th-232sec Registratieplichtig	Hergebruik in buitenland	Onbekend	Onbekend
		Afvoer als registratieplichtig radioactief afval naar aangewezen deponie	$5 \times 10^0$	$2 \times 10^{-2}$
Zirkoonzand dat werd toegepast als scheidingskatalysator	Stabiel en vast materiaal Activiteitsconcentratie ca. 2 Bq/g U-238sec Registratieplichtig	Afvoer als registratieplichtig radioactief afval naar aangewezen deponie	$1,8 \times 10^1$	$4 \times 10^{-2}$

### 10.3.2 *Inventaris van rest- en afvalstoffen bij ontmanteling*

Aan het einde van de levensduur van een installatie moet deze doorgaans worden ontmanteld. Dit is onder meer aan de orde bij acht glasovens, en daarnaast ook bij ovens in de sector *Staalproductie* (zie hoofdstuk 9). Radioactieve rest- en afvalstoffen die hierbij kunnen vrijkomen, zijn ZAC-materiaal en/of ovenpuin. In deze studie is deze stroom toegerekend aan de reguliere productie, aangezien er periodiek sprake is van vervanging (zie paragraaf 10.3.1). Daarnaast moet rekening worden gehouden met een eenmalige onbekende hoeveelheid met radioactiviteit besmet materiaal, dat zal ontstaan bij de ontmanteling van installaties voor overslag en bewerking van ertsen.

Bij de ontmanteling van installaties waarin zirkoonhoudende vezels zijn toegepast, zullen deze uiteindelijk moeten worden afgevoerd als radioactieve afvalstof. Niet kan worden uitgesloten dat zekere hoeveelheden zirkoonhoudende vezels aanwezig zijn in de productie- en distributie-infrastructuur voor aardolie en aardgas. In paragraaf 10.2 is deze hoeveelheid geschat op 40 tot 50 ton ZKV.

Ook is van in elk geval één gasgestookte elektriciteitscentrale [153] bekend dat daarin beperkte hoeveelheden registratieplichtige keramische coatings zijn toegepast, met een activiteitsconcentratie van maximaal 2,5 Bq/g U-238. De hoeveelheden afvalstoffen zijn uiteindelijk vermoedelijk zeer beperkt. Om deze reden wordt deze stroom niet verder beschouwd.

Ook voor de ondernemingen die zich bezighouden met de productie van gietzand en keramische tegels en de ondernemingen die werken met keramische straalmiddelen en ertsen, ligt het niet voor de hand dat rekening moet worden gehouden met grote hoeveelheden ontmantelingsafval. Het betreft immers vrij kostbare materialen, en het gebruik ervan leidt niet tot grootschalige en moeilijk verwijderbare besmetting.

## 10.4 **Beheer reguliere radioactieve rest- en afvalstoffen**

In deze paragraaf zijn de verschillende beheerroutes opgesomd voor de rest- en afvalstoffen afkomstig van de sector *Zirkoon*. Deze informatie is samengevat in Tabel 25.

### 10.4.1 *(Verval)opslag*

Gezien de lange halveringstijden van de betreffende radionucliden is het opslaan van radioactieve afvalstoffen met als doel verval tot onder de grenswaarden voor vrijgave (vervalopslag) binnen de sector *Zirkoon* niet aan de orde.

### 10.4.2 *Scheiding en decontaminatie op locatie*

Zoals beschreven in paragraaf 10.2 wordt vormzand - waar mogelijk - na gebruik gescheiden, ten behoeve van hergebruik in nieuwe gietmallen.

### 10.4.3 *Afvoer voor bewerking*

Gebruikte keramische straalmiddelen die door de importeur van eindgebruikers retour zijn ontvangen, worden verzameld en deels voor

hergebruik afgevoerd naar een onderneming in Frankrijk [145]. Het is in dit onderzoek niet duidelijk geworden hoeveel materiaal dit betreft.

Daarnaast wordt momenteel door de ontdoener onderzocht of en in hoeverre hergebruik van gebruikte slijpsteen mogelijk is [154].

#### 10.4.4 *Afvoer naar aangewezen deponie als registratieplichtige radioactieve afvalstof*

De volgende materialen en gemiddelde hoeveelheden zijn in de periode 2018-2020 als registratieplichtige radioactieve afvalstoffen afgevoerd naar een aangewezen deponie:

- Residuen afkomstig van de reiniging van zirkooncoating: ca. 636 ton per jaar [152];
- Ovenpuin en ander gebruikt ZAC-materiaal: ca. 410 ton per jaar;
- Gebruikt vormzand: tussen de 200 en 500 ton per jaar;
- Mineralen- en ertsveegsel: ca. 81 ton per jaar [152].
- Gebruikte zirkoonhoudende slijpsteen: ca. 64 ton per jaar [152].
- Gebruikte slijpsteen: ca. 47 ton per jaar;
- Gebruikte brandkasten en kluizen: ca. 32 ton per jaar;
- Zirkoonzand dat werd toegepast als scheidingskatalysator: ca. 18 ton per jaar [152];
- Gebruikte keramische straalmiddelen die niet kunnen worden hergebruikt: tenminste ca. 5 ton per jaar;

#### 10.4.5 *Afvoer naar de COVRA*

Er zijn door de ondernemingen binnen deze sector geen zirkoonhoudende radioactieve afvalstoffen afgevoerd naar de COVRA.

#### 10.4.6 *Lozing*

Er zijn in deze sector geen (niet-vrijgestelde) lozingen bekend van radioactiviteit naar lucht of water.

### 10.5 **Prognose productie radioactieve rest- en afvalstoffen**

#### 10.5.1 *Reguliere bedrijfsvoering*

In de afgelopen jaren zijn in Nederland verschillende glasovens buiten bedrijf gesteld en ontmanteld, met als gevolg dat er nog slechts enkele resterende. Op basis hiervan is voor de toekomst een afname te verwachten van de gemiddelde jaarlijkse productie van ovenpuin. Voor de overige radioactieve rest- en afvalstoffen uit de sector *Zirkoon* is geen informatie beschikbaar op basis waarvan een toe- of afname kan worden verwacht.

Uit Tabel 25 blijkt dat ovenpuin meer dan een kwart uitmaakt van de totale afvalproductie in de sector. Als wordt aangenomen dat de hoeveelheid geproduceerd ovenpuin in de toekomst halveert, en de overige aandelen gelijk blijven, dan zal de totale reguliere productie van radioactieve afvalstoffen in de sector naar verwachting afnemen met ca. 10%.

#### 10.5.2 *Radioactieve afvalstoffen t.g.v. ontmanteling*

De in paragraaf 10.3.2 genoemde minimaal 40 tot 50 ton aan zirkoonhoudende vezels, aanwezig in diverse installaties, zal in de toekomst langzaam vrijkomen bij de uiteindelijke ontmanteling van deze

installaties. Het is onbekend wanneer dit aan de orde zal zijn, is, net als het productietempo. De totale hoeveelheid zal naar alle waarschijnlijkheid veel kleiner zijn de (huidige) reguliere productie.

## **10.6 Perspectief op verdere preventie en minimalisatie**

### *10.6.1 Recycling van ZAC-materiaal*

[155] maakt melding van een onderneming in Tsjechië, die gebruikte ZAC-stenen recycleert tot EUCOR. EUCOR is een materiaal dat onder meer bestaat uit zirkoonoxide en aluminiumoxide, en dat wordt toegepast vanwege de hittebestendige eigenschappen. De capaciteit van deze onderneming is beperkt tot 200 ton per jaar. Recycling van dit materiaal kan bijdragen aan het verder minimaliseren van de productie van registratieplichtig radioactief afval. Nader onderzocht zou kunnen worden hoe en onder welke voorwaarden hergebruik van gebruikte ZAC-materialen van Nederlandse ondernemingen mogelijk is.

### *10.6.2 ZKV, slijpstenen en brandkasten*

Het voorhanden hebben van zirkoonhoudende keramische vezels, waarvan de activiteitsconcentratie vaak slechts net de grenswaarde van 1 Bq/g overschrijdt, vereist een registratie en het voldoen aan diverse voorschriften. Eén daarvan is het aan het eind van de levensduur afvoeren van het materiaal als registratieplichtige radioactieve afvalstof. Hetzelfde geldt voor het voorhanden hebben van slijpstenen en brandkasten.

Handelingen met zirkoonhoudende keramische vezels vinden om niet-radiologische redenen plaats onder een asbestregime. Als gevolg hiervan is het radiologische risico voor werknemers zeer beperkt. Voor handelingen met slijpstenen en kluisen lijken op het eerste gezicht ook geen grote radiologische risico's te bestaan. Verkend zou kunnen worden of een specifieke vrijstelling voor het voorhanden hebben van dergelijke materialen passend is. Daarmee zou de productie van radioactieve afvalstoffen verder kunnen worden geminimaliseerd. Tegelijkertijd zal dan moeten worden verkend of er een nuttige nieuwe toepassing voor het materiaal bestaat, om te voorkomen dat het alsnog als niet-radioactief afval moet worden gestort op een deponie.

## 11 Olie- en gasproductie

### 11.1 Inleiding

Bij de winning van olie en gas ontstaan diverse typen afvalstoffen die radionucliden van natuurlijke oorsprong bevatten. Deze radionucliden zijn van nature aanwezig in de diepe ondergrond, en komen bij de productie samen met de gewonnen grondstoffen onbedoeld mee naar boven. Het betreft K-40 en de radionucliden uit de natuurlijke reeksen U-238, Th-232 en U-235. De mate waarin dit gebeurt, verschilt per locatie en per proces. Ook verschilt de mate van binding van deze nucliden aan niet-radioactieve materialen. Dit betekent dat binnen de sector uiteenlopende typen radioactieve rest- en afvalstoffen ontstaan, met sterk variërende activiteitsconcentraties. Er is uitgebreide literatuur beschikbaar over het ontstaan en het beheer van radioactieve rest- en afvalstoffen in deze sector [156], [122], [10], [157], [158].

### 11.2 Definitie sector

De sector *Olie- en gasproductie* is in dit onderzoek gedefinieerd als de ondernemingen die zich primair richten op de winning van aardgas en aardolie uit de diepe ondergrond binnen Nederland of op het Nederlandse deel van het continentaal plat (NCP) van de Noordzee, en die radioactieve rest- en/of afvalstoffen afvoeren. Ondernemingen die zich primair richten op distributie of bewerking van aardgas en/of aardolie of op andere hieraan gerelateerde dienstverlening, vallen niet onder deze definitie. De op deze manier gedefinieerde sector bestaat op het moment van schrijven van dit rapport uit elf ondernemingen, die geanonimiseerd zijn opgenomen in Tabel 26. Om een indruk te geven van de relatieve omvang van de ondernemingen binnen de sector, zijn in deze tabel de aardgas- en aardolieproductie en het aantal mijnbouwinstallaties [159] voor het jaar 2019 gegeven. Hieruit blijkt dat de omvang van de bedrijven onderling sterk varieert.

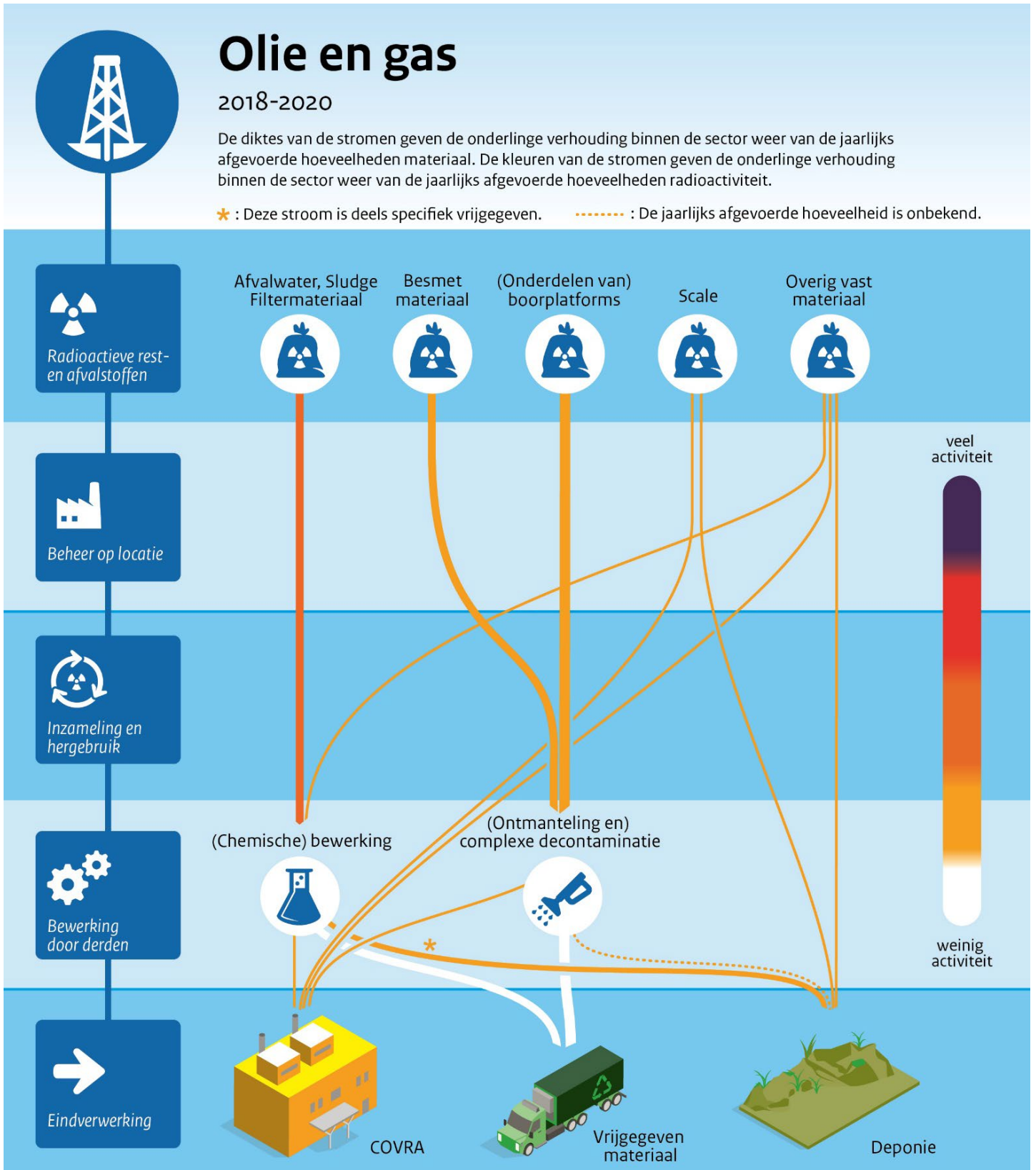
Tabel 26 Ondernemingen binnen de sector Olie- en gasproductie

Onderneming (geanonimiseerd)	Aardgasproductie in 2019 (mln Nm <sup>3</sup> )	Olieproductie in 2019 (1.000 Sm <sup>3</sup> )	Aantal mijnbouwinstallaties NCP
A	20.791	413	35
B	2.699	180	42
C	1.708	0	29
D	1.139	71	12
E	1.087	0	21
F	714	0	1
G	589	0	1
H	387	0	3
I	138	210	2
J	116	26	7
K	73	0	2

### **11.3 Productie radioactieve rest- en afvalstoffen**

De reguliere radioactieve rest- en afvalstromen afkomstig van de sector Olie- en gasproductie zijn schematisch weergegeven in Figuur 18. De reguliere radioactieve rest- en afvalstromen zijn vervolgens beschreven in paragraaf 11.3.1, en samengevat in Tabel 27. Een inschatting van de te verwachten radioactieve inventaris die vrijkomt bij ontmanteling van de installaties is gegeven in paragraaf 11.3.2.





Figuur 18 Radioactieve rest- en afvalstromen sector Olie- en gasproductie.

### 11.3.1 *Radioactieve rest- en afvalstoffen uit reguliere bedrijfsvoering*

De belangrijkste reguliere radioactieve rest- en afvalstoffen binnen de sector *Olie- en gasproductie* zijn:

- Afvalwater;
- Natte sludge en sludge-achtig materiaal;
- Filtermateriaal;
- Gereedschap, onderdelen en schroot met oppervlaktebesmetting;
- Afzettingen (*scale*);
- Overige vaste radioactieve afvalstoffen;
- Gebruikte ingekapselde bronnen.

Ongeveer 40% van de afgevoerde radioactieve rest- en afvalstoffen is afkomstig van onderneming 1 in Tabel 26 [160]. In verband met noodzakelijke of gewenste bewerking (zie paragraaf 11.4.2 en 11.4.3) wordt verreweg het grootste deel hiervan aangemerkt als radioactieve reststof. Slechts een zeer klein deel wordt als radioactieve afvalstof aangemerkt. Zogenaamd 'productiewater' wordt geloosd (zie paragraaf 11.4.7). In Tabel 27 zijn schattingen opgenomen van de door de sector Olie- en gasproductie jaarlijks geproduceerde hoeveelheden reguliere radioactieve rest- en afvalstoffen. De radioactieve rest- en afvalstoffen worden hieronder kort beschreven. De gegevens en informatie zijn afkomstig uit [10], [122], [161] en [162].

#### *Afvalwater*

Afvalwater is water dat laat in het productieproces wordt afgescheiden uit installaties. Dit in tegenstelling tot productiewater, dat vroeg in het proces wordt afgescheiden van de opgepompte olie en het gewonnen gas, en praktisch nooit als radioactieve rest- of afvalstof wordt aangemerkt. Bij afvalwater kan het onder meer gaan om water dat na bezinking door 'afromen' uit afvaltanks wordt verwijderd, of om spoelwater. Afvalwater bevat zout, koolwaterstoffen en meestal vrijgestelde concentraties radionucliden. Incidenteel is sprake van registratieplichtige activiteitsconcentraties. Omdat bewerking nodig is, onder meer in verband met de chemische samenstelling, wordt afvalwater in dat geval als radioactieve reststof voor bewerking afgevoerd naar externe dienstverleners binnen de sector *Ontmanteling, decontaminatie en bewerking* (zie paragraaf 11.4.3). In de periode 2018-2020 is gemiddeld per jaar ca. 46 ton afvalwater (0,2 GBq) als radioactieve reststof aangemerkt.

#### *Natte sludge en sludge-achtig materiaal*

'Natte sludge' en 'sludge-achtig materiaal' zijn beide mengsels van vloeibare en vaste stoffen, die bij onderhoud en decontaminatie kunnen worden aangetroffen in tanks en leidingen. In de ANVS-Verordening [15] is 'natte sludge' gedefinieerd als een *mengsel van organische en minerale vaste bestanddelen in water of koolwaterstof bevattende vloeistoffen dat: op een mijnbouwproductielocatie wordt gescheiden van de geproduceerde olie of het geproduceerde gas, dan wel op een mijnbouwproductielocatie ontstaat ten gevolge van de winning van aardwarmte*. Natte sludge bevat ca. 30-40 (massa)% droge stof [162], en heeft een dichtheid van tussen de 1,5 en 2,5 g/cm<sup>3</sup> [160]. Materiaal met vergelijkbare eigenschappen, dat vanwege de steekvastheid (hoge viscositeit) niet voldoet aan de definitie van natte sludge, wordt ook wel 'sludge-achtig materiaal' genoemd. Het gaat dan om (steek)vaste

stoffen met een homogene verdeling van minerale en organische bestanddelen, en om mengsels van deze materialen met natte sludge.

Activiteitsconcentraties in sludge en sludge-achtig materiaal (op basis van droge stof) worden gedomineerd door Pb-210, en kunnen oplopen tot 600 Bq/g [160]. Voor Ra-226 en Ra-228 liggen de concentraties tussen 0,5 en 200 Bq/g [10]. Het materiaal is daarmee deels vrijgesteld, deels registratieplichtig en deels vergunningplichtig. Verder is van belang dat het materiaal kwik en koolwaterstoffen kan bevatten, in variërende concentraties.

In de periode 2018-2020 is per jaar gemiddeld ca. 400 ton (11 GBq) niet-vrijgestelde sludge geproduceerd [160], die in verband met de noodzakelijke bewerking praktisch allemaal als radioactieve reststof is aangemerkt. Ongeveer 70% van het materiaal is registratieplichtig, en ca. 30% vergunningplichtig. Deze 400 ton is aanzienlijk meer dan het totaal van de in 2015 door de sector gerapporteerde meldingplichtige en vergunningplichtige sludge [157]. De verklaring hiervoor moet worden gezocht in het hanteren van andere grenswaarden voor vrijstelling en vrijgave voor Pb-210, sinds het in werking treden van het Bbs in 2018.

#### *Filtermateriaal*

In installaties worden diverse typen filters (onder meer korrelfilters, doekfilters en plaatfilters) gebruikt om vaste stoffen uit verpompbare stromen te verwijderen. Het filterresidu in deze filters bevat in veel gevallen radioactiviteit van natuurlijke oorsprong, in deels vrijgestelde, deels registratieplichtige en deels vergunningplichtige activiteitsconcentraties. Daarnaast kunnen kwik en koolwaterstoffen aanwezig zijn. In de periode 2018-2020 is per jaar naar schatting gemiddeld tussen de 4 en 5 ton (0,2-0,3 GBq) niet-vrijgesteld filtermateriaal geproduceerd [160]. Het is niet bekend of deze hoeveelheid is gewijzigd ten opzichte van de periode vóór het in werking treden van het Bbs.

Met het oog op gewenste of noodzakelijke bewerking (massa-/ volumereductie, verwijdering van kwik en/of koolwaterstoffen) wordt praktisch al het niet-vrijgestelde filtermateriaal als radioactieve reststof aangemerkt.

#### *Gereedschap, onderdelen en schroot met oppervlaktesbesmetting*

Op gereedschap, onderdelen en schroot wordt geregeld besmetting met radioactiviteit van natuurlijke oorsprong geconstateerd, in vrijgestelde of vergunningplichtige hoeveelheden.

Bij het bepalen of er sprake is van een oppervlaktesbesmetting worden in veel gevallen niet de grenswaarden aangehouden die zijn opgenomen in artikel 4.41 van de ANVS-Verordening, maar worden strengere, interne branchenormen gehanteerd, uitgedrukt in *counts per minute* [163]. De reden hiervoor is dat het materiaal weliswaar voldoet aan de grenswaarden uit de Verordening, maar in verband met nog meetbare radioactiviteit niet wordt geaccepteerd door de schrootsector. Indien de oppervlaktesbesmetting niet eenvoudig (met bijvoorbeeld water of een zachte borstel) op locatie is te verwijderen, wordt het materiaal als radioactieve reststof aangemerkt, met het oog op de

gewenste (complexe) decontaminatie door een externe onderneming. In de periode 2018-2020 is jaarlijks ca. 400 ton (ca. 0,5 GBq) aan gereedschap, onderdelen en schroot met oppervlaktebesmetting als radioactieve reststof aangemerkt [160]. Het betreft voornamelijk metaal, waarvan de radioactieve component (in termen van massa) minder dan een procent uitmaakt [164].

Dit laatste geldt ook voor (onderdelen van) boorplatformen, die na gebruik voor decontaminatie aan land worden gebracht. Hierbij gaat het om zeer grote hoeveelheden materiaal (voor de periode 2018-2020 gemiddeld ca. 5.000 ton per jaar [165], met een onbekende activiteit), waarvan slechts een zeer klein deel radioactief is besmet.

Hoewel niet bekend is of de bovenstaande hoeveelheden zijn gewijzigd ten opzichte van de periode vóór het in werking treden van het Bbs, ligt dit niet voor de hand, gezien het feit dat de grenswaarden voor oppervlaktebesmetting niet zijn gewijzigd.

#### *Afzettingen (scale)*

Met radioactieve *scale* wordt bedoeld op vaste afzetting met verhoogde concentraties radionucliden, die als gevolg van decontaminatie is vrijgekomen. Scale wordt vaak aangetroffen aan het oppervlak van installaties, op gereedschap en op onderdelen die in direct contact zijn geweest met productiewater. Radium, dat oorspronkelijk afkomstig is uit de formatie, is na oplossing in het formatiewater als gevolg van het productieproces uiteindelijk in het productiewater terecht gekomen [166]. Net als barium en strontium maakt radium deel uit van groep IIA in het periodiek systeem, en heeft het vergelijkbare chemische eigenschappen. Hierdoor kan radium (waaronder Ra-226 en Ra-228), samen met barium en strontium, in het productiesysteem neerslaan als sulfaat-zout. Samen met de vervalproducten van Ra-226 en Ra-228 levert dit verhoogde concentraties radioactiviteit op. Daarnaast worden ook afzettingen van radondochters (Pb-210) aangetroffen [166], en kan zich Pb-210 afzetten op metaaloppervlakken in de vorm van 'loodfilms' (niet-afwrijfbaar dun laagje lood (Pb-210) aan het oppervlak).

Op basis van de tot op heden opgebouwde ervaring van bewerkers bedraagt de activiteitsconcentratie in scale per nuclide maximaal de volgende waarden: 2.500 Bq/g (Ra-226), 1.000 Bq/g (Pb-210), 350 Bq/g (Ra-228) en 250 Bq/g (Th-228) [167]. In loodafzettingen zijn activiteitsconcentraties van Pb-210 vastgesteld tot 3.000 Bq/g [122]. Scale is daarmee in veel gevallen registratieplichtig of vergunningplichtig.

Het grootste deel van de materialen met scale wordt als radioactieve reststof afgevoerd naar externe dienstverleners voor decontaminatie (zie paragraaf 11.4.3). Hierdoor is de productie van afgescheiden scale binnen de sector *Olie- en gasproductie* beperkt tot gemiddeld 1,8 ton (0,4 GBq) per jaar in de periode 2018-2020 [160]. Dit materiaal wordt aangemerkt als radioactieve afvalstof. Gemiddeld genomen is hiervan ongeveer een derde deel vergunningplichtig.

*Overige vaste radioactieve afvalstoffen*

Naast de hiervoor genoemde rest- en afvalstoffen ontstaan op reguliere basis diverse kleinere hoeveelheden restmaterialen met een hoeveelheid radioactiviteit van natuurlijke oorsprong. Voorbeelden zijn zand en ander droog materiaal als poetslappen, handschoenen, etc., die bij bijvoorbeeld decontaminatie besmet zijn geraakt met radioactieve sludge of scale.

In de periode 2018-2020 is jaarlijks gemiddeld ca. 8 ton (0,1 GBq) aan 'overige vaste radioactieve afvalstoffen' ontstaan. Met het oog op gewenste of noodzakelijke bewerking is ca. 70 (massa)% daarvan als radioactieve reststof aangemerkt. Bewerkingsstappen zijn met name massa- of volumereductie, en in sommige gevallen kwikverwijdering.

Voor de overige 30% geldt dat nadere scheiding van radioactieve en niet-radioactieve componenten redelijkerwijs niet mogelijk is, en/of de materialen niet in aanmerking komen voor hergebruik vanwege de aanwezigheid van radioactiviteit van natuurlijke oorsprong, en soms ook zware metalen. Dit materiaal wordt daarom aangemerkt als radioactieve afvalstof [168]. Hiervan is ongeveer een kwart vergunningplichtig en driekwart registratieplichtig.

*Gebruikte ingekapselde radioactieve bronnen*

Voor de volledigheid wordt ten slotte opgemerkt dat aan zes van de in Tabel 26 genoemde ondernemingen vergunning is verleend voor handelingen met ingekapselde bronnen van kunstmatige oorsprong. Het betreft een relatief klein aantal bronnen. Deze - in vergelijking met bovenstaande stromen - kleine stroom wordt in dit hoofdstuk niet apart beschouwd. Eventuele afgevoerde gebruikte ingekapselde bronnen zijn opgenomen in de stromen van de sector *Overig* in hoofdstuk 15.

*11.3.2 Inventaris van rest- en afvalstoffen bij ontmanteling*

In de komende tien tot twintig jaar bereikt een aanzienlijk deel van de infrastructuur voor olie- en gasproductie (putten, platformen en buisleidingen) het einde van de economische levensduur, met name op zee. Als geen hergebruik van deze infrastructuur is voorzien, zal deze moeten worden ontmanteld en verwijderd. De operator is samen met de medevergunninghouders verantwoordelijk voor een veilige en milieuvriendelijke *decommissioning*. Dit is geregeld in de Mijnbouwwet (artikel 44 en 45 voor mijnbouwwerken op zee) en het Mijnbouwbesluit (artikel 39 voor mijnbouwwerken op land). Op grond van artikel 60 en 61 van dit besluit moet van tevoren een verwijderingsplan worden ingediend bij het Staatstoezicht op de Mijnen (SodM).

Voor offshore-installaties (platformen) betekent ontmanteling in elk geval het schoonmaken en verwijderen van bovengrondse delen en heipalen. Of de put (in de zeebodem) in zijn geheel moet worden verwijderd, is momenteel nog onderwerp van discussie tussen sector en overheid. Voor installaties op het vasteland betekent *decommissioning* schoonmaak en verwijdering, waarbij de locatie in zijn oorspronkelijke staat wordt teruggebracht. Voor buisleidingen betekent dit schoonmaken en buiten bedrijf stellen, en eventueel verwijderen. Er zijn momenteel in totaal ca. 150 platforms en ca. 2.500 km buisleidingen offshore, en ca. 350 installaties en ca. 2.500 km buisleidingen op land [169].

Door de Nederlandse Olie en Gas Exploratie en Productie Associatie (NOGEPA) en Energiebeheer Nederland (EBN) is in 2017 het Nationaal Platform voor Hergebruik & Ontmanteling *Nexstep* opgericht. Nexstep coördineert, faciliteert en versnelt de agenda voor hergebruik en ontmanteling van olie- en gasinfrastructuur in Nederland. Volgens prognoses van Nexstep [170] zullen in de periode 2020-2029 in totaal 105 offshore-installaties worden ontmanteld, met een totale massa van in de orde van 300 kton<sup>51</sup>. Voor onshore betreft de prognose voor deze periode 131 installaties. Hiervoor heeft Nexstep geen massa's gerapporteerd. Daarnaast is door Nexstep de verwachting uitgesproken dat in 2050 alle locaties op land zullen zijn ontmanteld [170].

De ontmanteling van een mijnbouwinstallatie levert een grote hoeveelheid rest- en afvalstoffen op. Verreweg het grootste deel hiervan (meer dan 90% van de massa) bestaat uit metalen [171]. Verder moet rekening worden gehouden met onder meer asbest, chemicaliën, resterende koolwaterstoffen en radioactieve rest- en afvalstoffen. Radioactieve rest- en afvalstoffen kunnen worden aangetroffen in en op het (interne) oppervlak van installatiedelen die in aanraking zijn geweest met productiewater, in separatoren en in tanks voor de opslag van sludges en zand [171]. Ook moet rekening worden gehouden met de aanwezigheid van registratieplichtig hittebestendig materiaal (zie hoofdstuk 10), en zijn vaak radioactieve rookmelders aanwezig.

Op basis van ervaring uit de productiefase en kennis over de installatie wordt voorafgaand aan de ontmanteling een materiaalinventaris opgesteld, en wordt gedocumenteerd waar de grootste kans op het aantreffen van radioactiviteit bestaat. Indien rekening moet worden gehouden met de aanwezigheid van radioactieve stoffen van natuurlijke oorsprong, wordt een mijnbouwlocatie aangemerkt als een 'NORM-locatie'. Sinds het in werking treden van het Bbs geldt dit vermoedelijk voor meer platformen dan daarvóór.

<sup>51</sup> Het betreft de totale massa, waarvan naar verwachting slechts een klein deel als radioactief zal moeten worden aangemerkt.

Tabel 27 Reguliere radioactieve rest- en afvalstoffen sector Olie- en gasproductie in de periode 2018-2020

Type rest- of afvalstof	Eigenschappen relevant voor afvoer	Beheerroute	Afvoer per jaar (gemiddeld over 2018-2020)	
			(ton)	(GBq)
Afvalwater	- Vloeibaar - Doorgaans vrijgesteld	Als vrijgesteld materiaal voor bewerking naar sector <i>Ontmanteling, decontaminatie en bewerking</i>	$4,6 \times 10^1$	$2 \times 10^{-1}$
Sludge en sludge-achtig materiaal	- Mengsel vaste en vloeibare componenten - Registratie- of vergunningplichtig - Bevat mogelijk koolwaterstoffen en kwik	Als radioactieve reststof voor bewerking naar sector <i>Ontmanteling, decontaminatie en bewerking</i>	$4 \times 10^2$	$1,1 \times 10^1$
Filtermateriaal	- Mengsel vaste en vloeibare componenten - Registratie- of vergunningplichtig - Bevat mogelijk koolwaterstoffen en kwik	Als radioactieve reststof voor bewerking naar sector <i>Ontmanteling, decontaminatie en bewerking</i>	$4 - 5 \times 10^0$	$2 - 3 \times 10^{-1}$
Gereedschap, onderdelen en schroot	- Doorgaans metaal - Vrijgesteld of vergunningplichtig	Als radioactieve reststof voor bewerking naar sector <i>Ontmanteling, decontaminatie en bewerking</i>	$4 \times 10^2$	$5 \times 10^{-1}$
(Onderdelen van) boorplatforms	- Doorgaans metaal - Vrijgesteld of vergunningplichtig	Als (radioactieve) reststof voor bewerking naar sector <i>Ontmanteling, decontaminatie en bewerking</i>	$5 \times 10^3$	onbekend
Scale	- Vast materiaal - Registratie- of vergunningplichtig	Als registratieplichtige radioactieve afvalstof voor stort naar aangewezen deponie	$1,2 \times 10^0$	$4 \times 10^{-1}$
		Als vergunningplichtige radioactieve afvalstof naar de COVRA. Specifiek vrijgegeven materiaal naar aangewezen deponie	$6 \times 10^{-1}$	
Overige vaste radioactieve afvalstoffen	- Diverse kleinere hoeveelheden restmaterialen met een hoeveelheid radioactiviteit van natuurlijke oorsprong - Mogelijk aanwezigheid van zware metalen - Registratie- of vergunningplichtig	Als radioactieve reststof voor bewerking naar sector <i>Ontmanteling, decontaminatie en bewerking</i>	$5,8 \times 10^0$	$1 \times 10^{-1}$
		Als registratieplichtige radioactieve afvalstof voor stort naar aangewezen deponie.	$2 \times 10^0$	
		Als vergunningplichtige radioactieve afvalstof naar de COVRA. Specifiek vrijgegeven materiaal naar aangewezen deponie	$3 \times 10^{-1}$	

## 11.4 Beheer reguliere radioactieve rest en afvalstoffen

In deze paragraaf wordt beschreven hoe de zorgplicht voor radioactief afval binnen de sector *Olie- en gasproductie* wordt ingevuld. Keuzes voor beheerroutes worden bepaald door onder meer de kosten en de eisen die aan eindverwerking van afvalstoffen worden gesteld.

### 11.4.1 (Verval)opslag

In diverse vergunningen binnen deze sector is het verzamelen en gecontroleerd tijdelijk opslaan van radioactieve afvalstoffen in een bergplaats of een afgescheiden deel van de locatie toegestaan. Aan deze opslag is in de meeste gevallen een termijn verbonden van twee of drie jaar, in combinatie met de voorwaarde dat opslag plaatsvindt in afwachting van hernieuwde inzet of transport naar een erkende be- of verwerker.

Gezien de lange halveringstijden van de betreffende radionucliden is het opslaan van radioactieve afvalstoffen met als doel verval tot onder de grenswaarden voor vrijgave (vervalopslag) is binnen de sector *Olie- en gasproductie* niet of nauwelijks aan de orde.

### 11.4.2 Scheiding en decontaminatie op locatie

De belangrijkste voorbeelden van het scheiden van radioactieve en niet-radioactieve componenten binnen de sector *Olie- en gasproductie* zijn:

#### *Decontaminatie op locatie*

Bij modificatie van installaties worden besmette onderdelen en schroot doorgaans niet binnen de sector gedecontamineerd, maar afgevoerd naar externe dienstverleners. Dit is beschreven in paragraaf 11.4.3. De reden hiervoor is dat (offshore) installaties over het algemeen als te klein en te slecht uitgerust worden beschouwd om ter plaatse op grote schaal besmette items te decontamineren [172] [162]. In meerdere vergunningen is in verband hiermee als voorschrift gesteld dat (complexe) decontaminatiewerkzaamheden op locatie slechts zijn toegestaan als wordt aangetoond dat afvoer naar een verwerker of bewerker redelijkerwijs niet mogelijk is. Daarnaast is ook de beschikbaarheid van specifiek hiervoor opgeleid personeel soms een knelpunt.

Om de continuïteit van processen te handhaven, worden kleinere onderdelen en gereedschap met een beperkte besmetting - die eenvoudig kan worden verwijderd - in sommige gevallen bij wijze van uitzondering wél op locatie gedecontamineerd. Eventueel verwijderde radioactieve scale wordt samen met afvalwater in de opslagtanks gebracht, waar het bezinkt en uiteindelijk wordt afgevoerd als sludge. Materiaal dat na decontaminatie binnen de sector kan worden vrijgegeven, wordt afgevoerd naar het schrootcircuit, of soms als *refurbished* opnieuw binnen de onderneming ingezet.

#### *Afromen*

Sludges worden vaak tijdelijk op locatie opgeslagen in bezinktanks, om na bezinking vloeistof (vooral water) af te romen. Hiermee wordt een verdere scheiding en reductie van volume en massa gerealiseerd. De ingedikte restanten worden bemonsterd en geanalyseerd, en indien



nodig als radioactieve reststof afgevoerd naar externe ondernemingen voor bewerking (zie paragraaf 11.4.3), of als radioactieve afvalstof naar een aangewezen deponie (zie paragraaf 11.4.4).

#### *Filtering*

Vaste stoffen worden tijdens het productieproces zo veel mogelijk afgescheiden van vloeistoffen, omdat de aanwezigheid van vaste stoffen in de installatie kan leiden tot verstopping van leidingen. Omdat de meeste radioactiviteit niet in oplossing is, betekent het afscheiden van vaste stoffen van vloeistoffen ook voor een belangrijk deel het afscheiden van radioactiviteit.

#### 11.4.3 *Afvoer voor bewerking*

##### 11.4.3.1 *Afvoer voor bewerking binnen Nederland*

De volgende materialen worden als radioactieve reststoffen voor bewerking afgevoerd naar de sector *Ontmanteling, decontaminatie en bewerking*:

#### *Sludge en sludge-achtig materiaal*

Voor niet-vrijgestelde sludge en sludge-achtig materiaal is stort op een aangewezen deponie de eindbestemming die de voorkeur van de ontdoeners heeft. Stort op een aangewezen deponie is toegestaan voor registratieplichtige radioactieve afvalstoffen en specifiek vrijgegeven materiaal. Indien stort niet mogelijk is, is de COVRA de enige toegestane eindbestemming. In beide gevallen is echter eerst bewerking van het materiaal nodig, in verband met de acceptatiecriteria die voor deze eindbestemmingen gelden. Daarnaast gelden de minimumstandaarden voor kwikhoudende materialen en olie/water/slib<sup>52</sup> mengsels in sectorplannen 82 respectievelijk 58 van het LAP3. Met het oog op de noodzakelijke bewerking, wordt praktisch alle geproduceerde sludge en sludge-achtig materiaal als radioactieve reststof afgevoerd naar externe dienstverleners binnen de sector *Ontmanteling, decontaminatie en bewerking*. Daarnaast wordt ook om redenen van massa- en volumereductie gekozen voor bewerking. In de periode 2018-2020 betrof dit per jaar gemiddeld ca. 400 ton (ca. 11 GBq). Hiervan was ca. 70% registratieplichtig, en ca. 30% vergunningplichtig.

Als gevolg van de implementatie van richtlijn 2013/59/Euratom kunnen sludge en sludge-achtig materiaal met activiteitsconcentraties tussen 1 en 100 Bq/g Pb-210 sinds 6 februari 2018 niet meer worden bewerkt door ondernemingen zonder registratie op grond van de Kernenergiewet<sup>53</sup>. In elk geval één onderneming is niet bereid of in staat deze registratie aan te vragen, en is per deze datum vervallen als optie voor bewerking. Daarnaast zijn de radiologische voorwaarden voor stort van radioactieve materialen en afvalstoffen op een aangewezen deponie sinds deze datum gewijzigd. Dit is nader toegelicht in paragraaf 2.7.

#### *Filtermateriaal*

Net als voor sludge en sludge-achtig materiaal geldt voor niet-vrijgesteld filtermateriaal dat - in verband met de aanwezigheid van kwik en/of koolwaterstoffen - in veel gevallen bewerking nodig is,

<sup>52</sup> Met slib en sludge wordt hetzelfde bedoeld.

<sup>53</sup> Dit geldt in beginsel ook voor afvalwater, hoewel dit voor het overgrote deel is vrijgesteld.

voorafgaande aan de afvoer naar de eindbestemming (stort op een aangewezen deponie of afvoer naar de COVRA). Om deze reden wordt filtermateriaal afgevoerd naar externe dienstverleners binnen de sector *Ontmanteling, decontaminatie en bewerking*, met als doel verwijdering van kwik en koolwaterstoffen. In de periode 2018-2020 betrof dit per jaar gemiddeld ca. 2,5 ton (0,2 GBq).

*Gereedschap, onderdelen en schroot met oppervlaktebesmetting*

In de periode 2018-2020 is jaarlijks ca. 400 ton (ca. 0,5 GBq) aan gereedschap, onderdelen en schroot met oppervlaktebesmetting als radioactieve reststof voor bewerking afgevoerd naar externe dienstverleners binnen de sector *Ontmanteling, decontaminatie en bewerking* [160] [160].

11.4.3.2 *Afvoer voor bewerking buiten Nederland*

In tegenstelling tot enkele jaren geleden is er door de sector *Olie- en gasproductie* over de periode 2018-2020 nauwelijks afvoer van radioactieve reststoffen voor bewerking naar dienstverleners in het buitenland gerapporteerd.

In het verleden werden kwikhoudende sludges voor vacuümdestillatie afgevoerd naar Duitsland. Hoewel deze route nog steeds beschikbaar is, wordt hiervan geen gebruik meer van gemaakt, in verband met de beschikbaarheid van vergelijkbare dienstverlening binnen Nederland. Ook werd in het verleden radioactief besmet metaal afgevoerd naar smeltovens in het buitenland, gericht op afscheiding van radioactiviteit (in slakken en stoffilters [173]) en hergebruik van metaal. Begin 2018 is nog een beperkte hoeveelheid besmette onderdelen en schroot afgevoerd naar *Siempelkamp Nukleartechnik* in Duitsland, net voorafgaand aan de sluiting van dat bedrijf.

11.4.4 *Afvoer naar aangewezen deponie als registratieplichtige radioactieve afvalstof*

De materialen die zonder bewerking als registratieplichtige radioactieve afvalstof vanuit de sector *Olie- en gasproductie* worden afgevoerd naar een aangewezen deponie waren in de periode 2018-2020 beperkt tot ca. 1,2 ton scale per jaar en ca. 1,7 ton overig vast afval per jaar [160].

11.4.5 *Afvoer naar aangewezen deponie als specifiek vrijgegeven materiaal*

Materialen die zonder bewerking als specifiek vrijgegeven materiaal vanuit de sector *Olie- en gasproductie* worden afgevoerd naar een aangewezen deponie waren in de periode 2018-2020 beperkt tot ca. 0,1 ton scale en ca. 0,3 ton overige vaste radioactieve afvalstoffen [160]. Deze stroom is in Figuur 18 aangegeven met een \*.

Merk op dat - zoals aangegeven in paragraaf 11.4.3.1 - aanzienlijke hoeveelheden sludge, sludge-achtig materiaal en filtermateriaal afkomstig uit de sector *Olie- en gasproductie* voor bewerking zijn afgevoerd naar de sector *Ontmanteling, decontaminatie en bewerking*. Na bewerking worden residuen uiteindelijk als radioactieve afvalstof afgevoerd naar een aangewezen deponie of de COVRA, of als specifiek vrijgegeven materiaal naar een aangewezen deponie. Deze afvoer wordt echter toegerekend aan de sector *Ontmanteling, decontaminatie en bewerking*. Zie hiervoor onder meer paragraaf 16.4.5.

#### 11.4.6 *Afvoer naar de COVRA*

Jaarlijks worden door de sector *Olie- en gasproductie* relatief beperkte hoeveelheden 'overige vaste radioactieve afvalstoffen' en scale als radioactieve afvalstof afgevoerd naar de COVRA. In de periode 2018-2020 betrof dit per jaar gemiddeld circa 1 ton [160].

#### 11.4.7 *Lozing*

Door een aantal ondernemingen wordt op offshore mijnbouwinstallaties op het Nederlands Continentaal Plat productiewater met radioactiviteit van natuurlijke oorsprong geloosd naar de Noordzee. Deze lozingen worden in het kader van de OSPAR-afspraken [174] jaarlijks door Nederland gerapporteerd. De totale door de sector *Olie- en gasproductie* geloosde hoeveelheid productiewater is in de periode 2009-2018 afgenomen van ca. 9 naar ca. 6 miljoen m<sup>3</sup> per jaar [175]. Gemiddeld over de periode 2018-2020 bedraagt dit 7,3 miljoen m<sup>3</sup> per jaar, wat overeenkomt met ca.  $8 \times 10^6$  ton per jaar<sup>54</sup>. Merk op dat de totale hoeveelheid door de sector geloosde radioactiviteit in deze periode redelijk constant is gebleven. Die bedraagt jaarlijks gemiddeld 100 GBq Ra-226 en Ra-228, en 10 GBq Pb-210 en Th-228. Met uitzondering van twee locaties zijn deze lozingen niet vergunningplichtig. Ook vrijgesteld afvalwater wordt geloosd, mits aan de milieueisen wordt voldaan.

Sinds 2019 is aan een aantal ondernemingen vergunning verleend voor het lozen vanaf offshore-locaties naar (zee)water van K-40-bevattende *brines* en *muds*. Er zijn geen cijfers beschikbaar over de totale geloosde hoeveelheid K-40-houdend materiaal.

### 11.5 **Prognose productie radioactieve rest- en afvalstoffen**

#### 11.5.1 *Reguliere bedrijfsvoering*

Gebaseerd op scenario's [176] van het Internationaal Energie Agentschap wordt aangenomen dat het olie- en gasverbruik in de Europese Unie in 2050 nog circa 30% zal zijn van het niveau van 2020. Op basis hiervan wordt aangenomen dat de productie van olie en gas, en daarmee ook het productietempo van radioactieve rest- en afvalstoffen door deze sector, met een vergelijkbaar tempo afneemt. Een dergelijke schatting bevat veel onzekerheden, en houdt daarnaast ook geen rekening met de mogelijke toename van het gehalte radioactiviteit in de materialen, die in de toekomst kan optreden bij verouderde putten [158], en de mogelijkheid dat door de sector gaat worden geproduceerd voor gebruik buiten de EU.

#### 11.5.2 *Ontmanteling infrastructuur voor olie- en gasproductie*

Zoals aangegeven in paragraaf 11.3.2 moet op termijn rekening worden gehouden met een aanzienlijke stroom radioactieve rest- en afvalstoffen als gevolg van de ontmanteling van de infrastructuur voor olie- en gasproductie. Schattingen van hoeveelheden zijn opgenomen in hoofdstuk 15 over de sector *Ontmanteling, decontaminatie en bewerking*.

<sup>54</sup> Op basis van een soortelijk gewicht van 1,1 ton per m<sup>3</sup>.

## 11.6 **Perspectief op verdere preventie en minimalisatie**

Veel van de in dit hoofdstuk beschreven beheerroutes zijn in de loop der tijd gecreëerd met het oog op het zo veel als mogelijk reduceren van de hoeveelheid (massa, volume) als radioactieve afvalstoffen af te voeren materiaal. Deze dienstverlening wordt voornamelijk verzorgd door externe ondernemingen binnen de sector *Ontmanteling, decontaminatie en bewerking*. Voor het verder minimaliseren van de hoeveelheid als radioactieve afvalstoffen af te voeren materiaal wordt daarom verwezen naar hoofdstuk 15.

Voor wat betreft het voorkomen van het ontstaan van radioactieve afvalstoffen zou - in lijn met een 'graduele aanpak' - kunnen worden verkend of een specifieke vrijstelling voor bepaalde materialen met een gering radiologisch risico een zinvolle optie is. Gedacht kan worden aan voorwerpen met een geringe (niet-vrijgestelde) niet-afwrijfbare Pb-210+ besmetting. Het radiologisch risico van voorzienbare handelingen met deze materialen zou in dat geval moeten worden vergeleken met de dosiscriteria voor vrijstelling en vrijgave.

## 12 Geothermie

### 12.1 Inleiding

Geothermie (aardwarmte) is een techniek waarmee warmte voor de verwarming van huizen, kassen en industrie wordt gewonnen uit de ondergrond. Van nature aanwezig warm formatiewater, dat zich bevindt tussen 500 en 4.000 meter diepte, wordt uit de ondergrond opgepompt. De warmte wordt uit het opgepompte water gewonnen met behulp van warmtewisselaars. Het afgekoelde water wordt teruggepompt naar dezelfde diepe aardlaag, doorgaans op enkele kilometers afstand van de productieplek. De combinatie van twee naast elkaar gelegen boorputten - één voor productie (waar het warme water naar boven wordt gehaald) en één voor injectie (waar het afgekoelde water in het ondergrondse reservoir wordt teruggepompt), wordt een 'doublet' genoemd.

In diepe aardlagen (ook wel formaties) is zowel in de vaste lagen als in het formatiewater radioactiviteit van natuurlijke oorsprong aanwezig. De activiteitsconcentraties verschillen sterk per formatie. Verder is de mate waarin de radioactiviteit oplost in het formatiewater afhankelijk van de fysisch-chemische eigenschappen van het formatiewater. Bij het oppompen van formatiewater wordt de radioactiviteit als vaste deeltjes en als opgeloste minerale zouten meegevoerd in de installatie.

Bovengronds worden eventueel als bijvangst meegekomen olie en aardgas in een separator (ook wel ontgasser genoemd) afgescheiden van het water. Bij het ontgassen van het formatiewater kan ook radon vrijkomen naar de lucht. Als het formatiewater is ontdaan van olie en aardgas wordt het gefilterd. Dit is nodig om verstopping van de injectieput te voorkomen. Filtering gebeurt zowel vóór de warmtewisselaar (de warme kant) als na de warmtewisselaar (de koude kant). De filters worden periodiek vervangen, en in het filterresidu kan dan radioactiviteit van natuurlijke oorsprong worden aangetroffen. Bij het wisselen van filters kan een geringe hoeveelheid radon vrijkomen. Daarnaast kan radioactiviteit van natuurlijke oorsprong in de onder- en bovengrondse delen van de installatie neerslaan als scale, of bezinken als sludge. Activiteitsconcentraties kunnen per installatie sterk verschillen. In de gehele sector is Pb-210+ het dominante nuclide [177].

### 12.2 Definitie sector

De sector *Geothermie* is in dit onderzoek gedefinieerd als de ondernemingen binnen Nederland die zich richten op het winnen van aardwarmte uit de diepe ondergrond (meestal zo'n 2.000-2.500 m diep<sup>55</sup>) met behulp van geothermie-installaties, én die radioactieve rest- of afvalstoffen afvoeren.

De op deze manier gedefinieerde sector bestond in 2021 uit in totaal 27 doubletten, die in dat jaar gezamenlijk samen 6,2 PJ aan warmte hebben geproduceerd [178]. Het gaat vaak om coöperaties van meerdere (glastuin)bedrijven of BV's, maar tegelijkertijd komt het voor

<sup>55</sup> Zogenaemde 'ultradiepe' geothermie (> 4000 m diepte) wordt in Nederland (nog) niet toegepast.

dat één onderneming meerdere doubletten beheert. Aan achttien ondernemingen is ten tijde van het schrijven van dit rapport vergunning of registratie verleend op grond van de Kernenergiewet, voor onder meer het voorhanden hebben van radioactieve (rest- en/of afval) stoffen van natuurlijke oorsprong. Aangezien er ook ondernemingen zijn zonder vergunning of registratie is het precieze aantal ondernemingen echter onvoldoende bekend. Daarom wordt in dit hoofdstuk over aantallen doubletten gesproken in plaats van over aantallen ondernemingen. Naast de 27 in gebruik zijnde doubletten zijn er op het moment van schrijven van dit rapport nog 40 doubletten in ontwikkeling [178].

De sector *Geothermie* is een relatief jonge sector, waarin ontwikkelingen momenteel erg snel gaan [179]. Dit heeft te maken met de rol die het kabinet voor geothermie ziet in de transitie naar een duurzame energievoorziening. De sector heeft zichzelf tot doel gesteld om in 2030 respectievelijk 2050 in totaal 50 en meer dan 200 PJ per jaar aan warmte te leveren [180]. Daarom wordt verwacht dat de huidige groei in aantallen geothermische doubletten in de nabije toekomst doorzet (zie verder paragraaf 12.5).

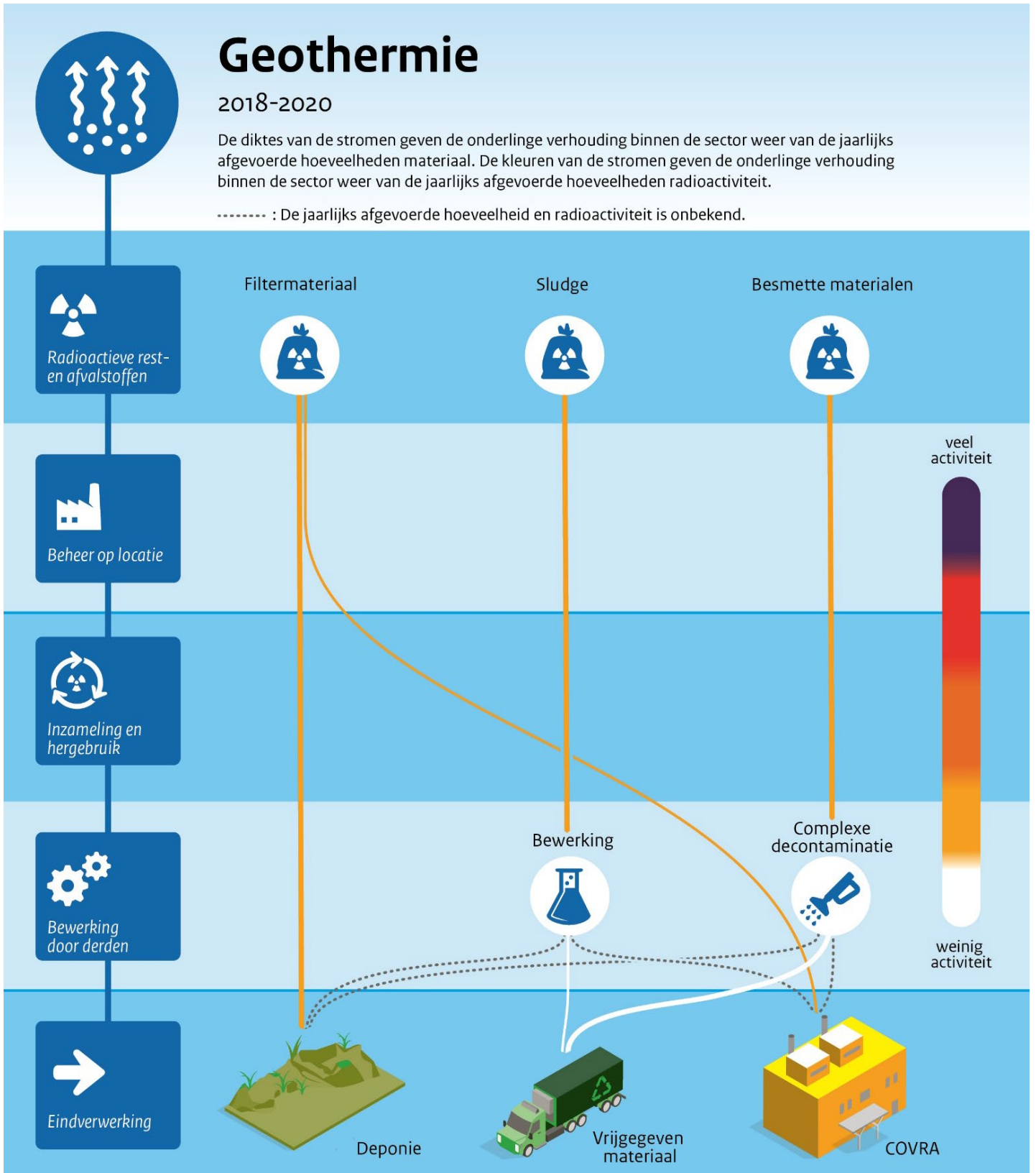
Ondernemingen en organisaties met een zakelijk belang in de geothermiesector zijn verenigd in *Geothermie Nederland*. Deze vereniging is in januari 2021 opgericht door het samengaan van het *Platform Geothermie* en de *Dutch Association of Geothermal Operators* (DAGO).

Het beheer van radioactieve rest- en afvalstoffen is voor exploitanten binnen de sector *Geothermie* veelal een bijzaak. Daarnaast geldt dat informatie hierover slechts in beperkte mate door de ondernemingen binnen de sector wordt gedeeld. Hierdoor is er nog relatief weinig kwantitatieve informatie over de productie van radioactieve rest- en afvalstoffen beschikbaar. De cijfers in dit hoofdstuk moeten daarom in veel gevallen als indicatief worden beschouwd.

### 12.3 Productie radioactieve rest- en afvalstoffen

De reguliere radioactieve rest- en afvalstromen afkomstig van de sector *Geothermie* zijn schematisch weergegeven in Figuur 19. De reguliere radioactieve rest- en afvalstromen zijn vervolgens beschreven in paragraaf 12.3.1, en samengevat in Tabel 28. Een inschatting van de te verwachten radioactieve inventaris die vrijkomt bij ontmanteling<sup>56</sup> van de installaties is gegeven in paragraaf 12.3.2. Daarnaast moet in de sector *Geothermie* ook rekening worden gehouden met de mogelijkheid van het ontstaan van radioactieve rest- en afvalstoffen bij de oprichting van een installatie. Dit is beschreven in paragraaf 12.3.3.

<sup>56</sup> In de Kernenergiewetvergunningen van geothermie-ondernemingen is geregeld dat t.z.t. een *plan van aanpak voor de vrijgave van de locatie ten behoeve van ontmanteling van de installatie en vrijgave van de locatie* ter goedkeuring aan de ANVS dient te worden aangeboden.



Figuur 19 Radioactieve rest- en afvalstromen sector Geothermie.

### 12.3.1 *Radioactieve rest- en afvalstoffen uit reguliere bedrijfsvoering*

De reguliere radioactieve rest- en afvalstoffen binnen de sector *Geothermie* zijn in te delen in:

- Filtermateriaal;
- (Natte) sludge;
- Gereedschap, onderdelen en schroot met oppervlaktebesmetting;
- Overige vaste radioactieve afvalstoffen;
- Afvalwater.

In het vervolg van deze paragraaf wordt nader ingegaan op deze rest- en afvalstoffen. De eigenschappen en hoeveelheden zijn daarnaast samengevat in Tabel 28.

#### *Filtermateriaal*

De - qua hoeveelheid en activiteit - belangrijkste radioactieve materiaalstroom die tijdens de reguliere bedrijfsvoering binnen de sector *Geothermie* ontstaat, betreft gebruikte filters met daarin afgevangen vast materiaal met radioactiviteit van natuurlijke oorsprong. Het type filter kan variëren per type installatie, en ook binnen een installatie. Een gebruikt filter bestaat typisch voor 30 (massa)% uit residu [181]. Vóór het vervangen van een filter wordt het aanwezige water met stikstof verdrongen. Hierdoor zijn gebruikte filters en residu praktisch droog te noemen [177].

Zoals aangegeven in paragraaf 12.1 kunnen de activiteitsconcentraties in het formatiewater per locatie sterk variëren. Ook de gebruiksperiode van filters verschilt per locatie en installatie, met een gemiddelde van twee weken [177]. Verder blijkt uit eerste praktijkervaring vaak dat de hoeveelheid radioactiviteit in de filters in het eerste jaar na ingebruikname relatief hoog is, en in de daaropvolgende jaren afneemt, waarna stabilisatie volgt [182]. Het voorgaande betekent dat de hoeveelheid radioactiviteit per gebruikt filter sterk kan variëren. Ondanks deze variaties geldt in heel Nederland dat het radionuclide Pb-210+ in de hoogste activiteitsconcentratie wordt aangetroffen [177]. Pb-210 is daarmee bepalend voor het niveau van wettelijke controle dat op grond van de Kernenergiewet op de rest- en afvalstoffen van toepassing is: vrijgesteld, registratieplichtig of vergunningplichtig. De nucliden Ra-226, Ra-228 en Th-228 worden - voor zover meetbaar - in filters doorgaans alleen in vrijgestelde activiteitsconcentraties aangetroffen.

De activiteitsconcentratie Pb-210 in filtermateriaal (droge stof) is het hoogst in de RES-regio<sup>57</sup> Noord-Holland Noord [182], met een gemiddelde waarde van 262 Bq/g, en een maximale waarde van 956 Bq/g. In de RES-regio Flevoland is de gemiddelde activiteitsconcentratie met 12 Bq/g het laagst. Hoewel beide regio's hun aardwarmte putten uit dezelfde formatie (Rotliegend), is er dus sprake van grote verschillen in aangetroffen activiteitsconcentratie. Voor de over alle installaties gemiddelde activiteitsconcentratie Pb-210 wordt een waarde van ca. 50 Bq/g aangehouden [183]. Ongeveer 5 (massa)% van het filtermateriaal is vrijgesteld, 45% registratieplichtig en 50% vergunningplichtig [182].

<sup>57</sup> RES: Regionale Energie Strategie. Regio-indeling als omschreven in het Nationaal programma energietransitie. Zie [www.regionale-energiestrategie.nl](http://www.regionale-energiestrategie.nl)



Bij vervanging worden de gebruikte filters integraal verwijderd, en conform de industriestandaard van de branche [184] opgeslagen in een dubbelgesloten verpakking, meestal in de vorm van een *big bag* met *inliner*. In dezelfde verpakking worden hierbij ook kleine hoeveelheden overig besmet materiaal, zoals poetsdoeken en persoonlijke beschermingsmiddelen (PBM's) opgeslagen.

De jaarlijkse hoeveelheid geproduceerd filtermateriaal (inclusief een kleine hoeveelheid overige vaste radioactieve afvalstoffen) verschilt - net als de activiteitsconcentraties - van regio tot regio [182]. Gemiddeld wordt per doublet jaarlijks ca. 2,5 ton filtermateriaal geproduceerd [182]. Voor de hele sector (27 doubletten in 2021) komt dit overeen met een jaarlijkse productie van ca. 70 ton (1 GBq) filtermateriaal. Hiervan is - uitgaande van de eerdergenoemde verhoudingen - ca. 31 ton per jaar registratieplichtig en ca. 34 ton per jaar vergunningplichtig. De rest van het materiaal is vrijgesteld. Bij benadering wordt aangenomen dat de hiervoor genoemde totale activiteit (1 GBq) van het filterafval volledig in het niet-vrijgestelde deel zit.

Hoewel er momenteel geen hergebruik- of bewerkingsroute beschikbaar is, wordt het grootste deel van het niet-vrijgestelde filtermateriaal niet als radioactieve afvalstof aangemerkt, in verband met de beoogde specifieke vrijgave voor stort. In afwachting van het beschikbaar komen van een dergelijke route wordt het materiaal opgeslagen op locatie (zie paragraaf 12.4.1 en 12.4.5). Dit verklaart waarom de afgevoerde hoeveelheden tot op heden aanzienlijk lager zijn dan de hoeveelheden die hierboven zijn vermeld.

#### *(Natte) sludge*

Bij het scheiden van gas, olie en water in de installatie kan 'sludge' (een mengsel van vaste stoffen en (productie)water, ook wel 'natte sludge') met radioactiviteit van natuurlijke oorsprong ontstaan. De eigenschappen van de sludge uit de sector *Geothermie* wijken enigszins af van die uit de sector *Olie- en gasproductie*: Over het algemeen zijn relatief weinig organische stoffen en kwik aanwezig, en ook de radiologische samenstelling verschilt [157]. De radioactiviteit is voornamelijk aanwezig in de vaste fractie, die tussen de 10 en 30% bedraagt [185]. Net als voor filters geldt dat de hoogste activiteitconcentratie Pb-210 betreft. Tot op heden is in sludge afkomstig uit Nederlandse geothermie-installaties geen Ra-226 en Ra-228 boven de detectielimiet aangetroffen [177].

Sludge wordt tijdens keuring en onderhoud verwijderd uit de installatie. Dit gebeurt ongeveer eens per vijf jaar. Over hoeveelheden zijn nog nauwelijks betrouwbare cijfers beschikbaar. Wel hebben diverse ondernemingen in het kader van vergunningaanvragen conservatieve schattingen gemaakt van maximale hoeveelheden, ten behoeve van veiligheidsanalyses. De vrijgekomen sludge wordt voor een belangrijk deel op locatie gefilterd, waarmee de als radioactief aan te merken hoeveelheden sterk worden gereduceerd [186]. De af te voeren hoeveelheid radioactieve sludge wordt momenteel geschat op gemiddeld ongeveer een ton per doublet per jaar, wat voor de hele sector neerkomt op een ordegrootte van 30 ton sludge (0,5 GBq) per jaar [186]. Hierbij is uitgegaan van een aanname voor de gemiddelde

activiteitsconcentratie van 100 Bq/g Pb-210 (droge stof) [186] en een vaste stoffractie van 20%. Er zijn geen cijfers beschikbaar over de aandelen vrijgestelde, registratieplichtige en vergunningplichtige sludge.

Aangezien sludge in beginsel voor bewerking wordt afgevoerd naar externe dienstverleners, wordt het materiaal aangemerkt als (al dan niet radioactieve) reststof.

#### *Gereedschap, onderdelen en schroot met oppervlaktebesmetting*

Tijdens onderhoud worden installatieonderdelen vervangen. Op vrijgekomen metalen installatieonderdelen kunnen radioactieve afzettingen worden aangetroffen, in veel gevallen in de vorm van zogenoemde 'loodfilms' (een niet-afwrijfbaar dun laagje lood (Pb-210) op het oppervlak). Omdat eenvoudige decontaminatie van dit materiaal op locatie vaak niet mogelijk is, wordt het - indien de grenswaarden voor oppervlakte-besmetting worden overschreden - aangemerkt als vergunningplichtige radioactieve reststof. Dit geldt ook voor gereedschap dat besmet is geraakt met radioactiviteit van natuurlijke oorsprong, en dat niet eenvoudig schoon te maken is.

In de periode 2018-2020 is jaarlijks gemiddeld minimaal 0,35 GBq (ca. 50-60 ton) aan radioactief besmette onderdelen en schroot als vergunningplichtige radioactieve reststof aangemerkt [187]. Merk op dat de totaal afgevoerde massa bijna een factor tien kleiner is dan de stroom gereedschap, onderdelen en schroot uit de sector *Olie en gasproductie*, terwijl de totaal afgevoerde activiteit van dezelfde orde grootte is. Deze substantieel hogere besmettingsgraad kan mogelijk worden verklaard door de grotere doorzet van water (met daarin radioactiviteit) in geothermie-installaties, en door verschillen in afzettingsmechanismes.

#### *Overige vaste radioactieve afvalstoffen*

Dit betreft voorwerpen zoals radioactief besmette PBM's en besmet doek, waarvan het redelijkerwijs niet haalbaar is om deze besmetting te verwijderen. Over het algemeen is de radioactiviteit beperkt. Dit materiaal worden samen met filters opgeslagen, in afwachting van afvoer als (al dan niet radioactieve) afvalstof (zie onder Filtermateriaal).

#### *Afvalwater*

Met afvalwater wordt bedoeld op water dat afkomstig is van exploitatie, en dat voor bewerking van de locatie wordt afgevoerd, niet zijnde sludge of 'productiewater' (dat merendeels in de formatie wordt geïnjecteerd [183]). Productie van afvalwater vindt (in beperkte mate) plaats bij het uitvoeren van putinterventies, het schoonmaken van tanks en leidingen en/of het scheiden van reststoffen. Bij de reguliere bedrijfsvoering komt praktisch geen afvalwater vrij. Afvalwater is over het algemeen vrijgesteld, en moet in verband met de chemische eigenschappen ervan in veel gevallen voor bewerking naar externe ondernemingen worden afgevoerd.

### 12.3.2 *Inventaris van rest- en afvalstoffen bij ontmanteling*

De hoeveelheid radioactieve rest- en afvalstoffen die vrijkomt als gevolg van de ontmanteling van geothermische installaties is nog moeilijk in te schatten, omdat er naar verwachting nog innovaties zullen plaatsvinden

die kunnen leiden tot het voorkomen en het besparen van hoeveelheden afval (zie bijvoorbeeld ook paragraaf 12.6).

In elk geval zal het bovengrondse deel van de installatie moeten worden verwijderd, waarbij rekening moet worden gehouden met een hoeveelheid in de orde van 100 ton besmet metaal per installatie, die als radioactieve reststof zal moeten worden afgevoerd [186]. Op basis van het huidige aantal doubletten correspondeert dit met ca.  $3 \times 10^3$  ton. Daarnaast zal bij de ontmanteling een laatste hoeveelheid sludge en filtermateriaal moeten worden afgevoerd. De eigenschappen hiervan zijn beschreven in paragraaf 11.3.1. De hoeveelheid wordt - net als bij onderhoud - geschat op enkele tonnen sludge per doublet.

Aan het eind van de levensduur van de installatie wordt ook de put gesloten. Bij het sluitingsproces worden meerdere 'cementpluggen' van tientallen meters in de put geplaatst. Deze sluiten de put af en vormen een drukdichte barrière. De bovengrondse installaties en de vloeistofdichte vloer worden verwijderd. De buizen van de put worden een aantal meter onder de grond afgesloten en afgezaagd, en de locatie wordt zoveel mogelijk in de oorspronkelijke staat teruggebracht.

Het aanwezige warmtenet is geen onderdeel van de mijnbouwinstallatie, en bovendien zijn de verschillende waterstromen fysiek van elkaar gescheiden. Wat er met het warmtenet gebeurt, is afhankelijk van de situatie, maar zal hoe dan ook verder geen impact hebben op de hoeveelheid radioactieve rest- en afvalstoffen.

### 12.3.3

#### *Inventaris van rest en afvalstoffen bij realisatie van installatie*

Bij de realisatie van een geothermie-installatie komt eenmalig een hoeveelheid reservoirwater vrij bij het schoonspoelen en testen van de putten, het zogenoemde testwater. In totaal komt er per geslagen productieput maximaal 5.000 m<sup>3</sup> testwater vrij. Het testwater wordt niet teruggepompt in de ondergrond, omdat dit tot injectieproblemen kan leiden. De eigenschappen en beheerroute zijn vergelijkbaar met die van afvalwater (zie paragraaf 12.3.1).

Tabel 28 Reguliere radioactieve rest- en afvalstoffen sector Geothermie in de periode 2018-2020.

Type rest- of afvalstof	Eigenschappen relevant voor afvoer	Beheerroute	Afvoer per jaar (gemiddeld over 2018-2020)	
			(ton)	(GBq)
Filtermateriaal	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Vast (praktisch droog) materiaal</li> <li>- Activiteitsconcentraties variëren van vrijgesteld tot ca. 1.000 Bq/g Pb-210</li> <li>- Grofweg 5% vrijgesteld, 45% registratieplichtig (RP), en 50% vergunningplichtig (VP).</li> </ul>	Als registratieplichtige afvalstof voor stort naar aangewezen deponie	$2,0 \times 10^1$	$8 \times 10^{-2}$
		Als vergunningplichtige afvalstof naar de COVRA	$1 \times 10^{-1}$	$6 \times 10^{-2}$
Sludge	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Mengsel van vast en vloeibaar materiaal</li> <li>- Activiteitconcentraties worden bepaald door Pb-210, deels registratieplichtig en deels vergunningplichtig</li> <li>- Relatief weinig organische stoffen en kwik</li> </ul>	Als registratie- of vergunningplichtige radioactieve reststof voor bewerking naar sector <i>Ontmanteling, decontaminatie en bewerking</i>	$3 \times 10^1$	$5 \times 10^{-1}$
Besmette gereedschappen, onderdelen en schroot	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Metalen items en onderdelen met radioactieve afzettingen boven de grenswaarden voor oppervlaktebesmetting</li> </ul>	Als vergunningplichtige radioactieve reststof voor decontaminatie naar sector <i>Ontmanteling, decontaminatie en bewerking</i>	$5 - 6 \times 10^1$	$3,5 \times 10^{-1}$
Overige vaste radioactieve afvalstoffen	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Diverse onderdelen en zachte voorwerpen als doek en PBM's, besmet met over het algemeen geringe hoeveelheden radioactiviteit</li> </ul>	Als registratieplichtige radioactieve afvalstof (samen met filterafval) naar aangewezen deponie	Zie filterafval	

## 12.4 Beheer reguliere radioactieve rest- en afvalstoffen

### 12.4.1 (Verval)opslag

Vanwege de lange halveringstijden van de betreffende nucliden vindt er tijdens opslag op locatie nauwelijks radioactief verval plaats. Vervalopslag is daarom binnen de sector *Geothermie* niet aan de orde.

Wel zijn radioactieve rest- en afvalstoffen tijdelijk op locatie in opslag genomen, in afwachting van efficiënte afvoer naar een externe onderneming voor decontaminatie, voor stort op een aangewezen deponie, of voor bewerking gevolgd door stort op een aangewezen deponie.

Omdat afvoer van grote hoeveelheden vergunningplichtig radioactief filtermateriaal naar de COVRA om diverse redenen als onwenselijk wordt beschouwd (zie paragraaf 2.7), is een groot aantal ondernemingen binnen de sector *Geothermie* in de Kernenergiewetvergunning toestemming verleend voor het op locatie opslaan van deze radioactieve (afval)stoffen voor een periode van drie jaar [188]. Deze periode is bedoeld om het beschikbaar komen van een specifieke vrijgaveroute af te wachten (zie paragraaf 12.4.5).

### 12.4.2 *Scheiding en decontaminatie op locatie*

Aan de meeste ondernemingen is vergunning verleend voor 'eenvoudige decontaminatie' op locatie. Dat houdt in dat het hen is toegestaan om radioactiviteit van besmette installatieonderdelen, hulpmiddelen en gereedschappen te verwijderen door deze voorwerpen te spoelen en/of ze met een borstel en zeepreinigingsmiddel schoon te maken. Het komt ook voor dat externe partijen worden ingehuurd voor eenvoudige decontaminatiewerkzaamheden op locatie.

Complexe decontaminatie vindt binnen de sector niet of nauwelijks plaats. Materialen die daarvoor in aanmerking komen, worden over het algemeen als radioactieve reststof afgevoerd naar externe dienstverleners binnen de sector *Ontmanteling, decontaminatie en bewerking* (zie paragraaf 12.4.3). In enkele gevallen wordt complexe decontaminatie op locatie uitgevoerd door een externe onderneming, onder die vergunning. In dit onderzoek wordt dit toegerekend aan de sector *Ontmanteling, decontaminatie en bewerking*.

### 12.4.3 *Afvoer voor bewerking*

#### *Gereedschap, onderdelen en schroot met oppervlaktebesmetting*

Radioactief besmette metalen onderdelen en gereedschap worden over het algemeen als vergunningplichtige radioactieve reststoffen voor decontaminatie afgevoerd naar externe ondernemingen binnen de sector *Ontmanteling, decontaminatie en bewerking*. Gemiddeld betrof dit in de periode 2018-2020 jaarlijks ca. 0,35 GBq (ca. 50-60 ton).

#### *Sludge*

Net als in de sector *Olie en gasproductie* worden sludges als (al dan niet radioactieve) reststof voor bewerking afgevoerd naar externe dienstverleners binnen de sector *Ontmanteling, decontaminatie en bewerking*. Het doel van deze bewerking is het zo veel als mogelijk

ontwateren en reduceren van deze reststoffen. Dit is verder beschreven in hoofdstuk 15.

In de periode 2018-2020 is door sector *Geothermie* jaarlijks gemiddeld ca. 2 ton (0,06 GBq) vergunningplichtige sludge als 'specifiek vrijgegeven natte sludge' afgevoerd naar de sector *Ontmanteling, decontaminatie en bewerking* [189]. Het betreft de specifieke vrijgaveroute die in de ANVS-verordening is gecreëerd voor natte sludge uit de olie- en gasindustrie en de geothermie (zie 16.4.5). Niet bekend is hoeveel vrijgestelde en registratieplichtige sludge is afgevoerd, en wat de precieze beheerroute daarvan is. Aangenomen wordt dat de totale hoeveelheid voor bewerking afgevoerde sludge in de orde zal liggen van de in paragraaf 12.3.1 geschatte hoeveelheid van ca. 30 ton (0,5 GBq) per jaar.

- 12.4.4** *Afvoer naar aangewezen deponie als registratieplichtig radioactief afval*  
De materialen die vanuit de sector *Geothermie* als registratieplichtige radioactieve afvalstof worden afgevoerd naar een aangewezen deponie, zijn momenteel beperkt tot een beperkte hoeveelheid filtermateriaal en overige vaste stoffen. Voor de periode 2018-2020 betreft dit gemiddeld ca. 20 ton (0,08 GBq) per jaar [152]. Het leeuwendeel hiervan is afgevoerd in het jaar 2020, wat overeenkomt met het beeld van een groeiende sector.

Hierbij moet worden opgemerkt dat op het moment van het schrijven van dit rapport nog grote hoeveelheden radioactief filtermateriaal op locatie in opslag zijn, zoals gesignaleerd in paragraaf 12.4.1. Naar verwachting zal de op 4 juni 2021 beschikbaar gekomen specifieke vrijgaveroute voor stort van diverse materialen op de Maasvlakte-deponie (zie paragraaf 17.4.3) aanleiding geven tot een tijdelijke inhaalslag. Als gevolg hiervan zullen er in vergelijking tot de hierboven genoemde cijfers naar verwachting vanuit de sector *Geothermie* tijdelijk aanzienlijke grotere hoeveelheden (strikt genomen vergunningplichtig) filtermateriaal worden afgevoerd naar de betreffende aangewezen deponie.

- 12.4.5** *Afvoer als specifiek vrijgegeven materiaal*  
In de periode 2018-2020 is een kleine hoeveelheid sludge als specifiek vrijgegeven materiaal afgevoerd voor achtereenvolgens bewerking en stort op een deponie (zie paragraaf 12.4.3). Het betrof de route voor 'natte sludge', zoals beschreven in de ANVS-verordening.

Zoals beschreven in paragraaf 12.4.1 zijn in de periode 2018-2020 aanzienlijke hoeveelheden filtermateriaal tijdelijk op locatie opgeslagen, in afwachting van het beschikbaar komen van een specifieke vrijgaveroute. Deze route is in 2021 beschikbaar gekomen, en is nader beschreven in paragraaf 17.4.3.

- 12.4.6** *Afvoer naar de COVRA*  
In de periode 2018-2020 zijn door de sector *Geothermie* ook kleine hoeveelheden vergunningplichtig radioactief afval afgevoerd naar de COVRA. Het betrof over de periode 2018-2020 gemiddeld een hoeveelheid in de orde van 0,1 ton (0,06 GBq) per jaar, vermoedelijk vergunningplichtig filtermateriaal [44].

#### 12.4.7 *Lozing*

##### *Lozing naar lucht*

Bij het ontgassen van de installatie wordt aardgas afgescheiden en eventueel afgefakkeld. Hierbij kan een geringe hoeveelheid radon vrijkomen naar de buitenlucht. Strikt genomen moet affakkelen daarmee worden beschouwd als een lozing van radioactiviteit naar de lucht. De radonconcentraties in aardgas en de daarmee samenhangende lozing van radon zijn echter beperkt, net als de blootstellingsrisico's als gevolg van deze lozing. Om deze reden is het lozen van radon naar de lucht als gevolg van affakkelen of 'afblazen' van aardgas op grond van artikel 3.15 van de ANVS-Verordening vrijgesteld van het controlestelsel.

In verband met het voorgaande zijn door de sector geen lozingen van radioactiviteit naar de lucht gerapporteerd.

##### *Lozing naar water*

Er zijn geen lozingen van radioactiviteit naar het water gerapporteerd. Zoals aangegeven in paragraaf 12.3.1 is afvalwater over het algemeen vrijgesteld. Onder meer vanwege de grote hoeveelheden zout kan het niet zonder meer worden geloosd op het oppervlaktewater of het riool. Het afvalwater wordt daarom apart opgevangen en afgevoerd voor bewerking.

In verband met het voorgaande zijn door de sector geen lozingen van radioactiviteit naar water gerapporteerd.

## **12.5 Prognose productie radioactieve rest- en afvalstoffen**

### 12.5.1 *Reguliere bedrijfsvoering*

Om de toekomstige productie van radioactieve rest- en afvalstoffen door de sector *Geothermie* in te schatten, is de huidige gemiddelde productie (zoals vermeld in paragraaf 12.3.1) geschaald met de verwachtingen voor het toekomstige aantal doubletten in Nederland. Zowel door het Rijk als door de sector zijn schattingen gemaakt voor de toekomstige groei van de geothermie-sector [180]. De schattingen van het Rijk komen neer op een totaal van 70 doubletten in 2030, en 450 doubletten in 2050. De schattingen van de sector liggen daar met 700 doubletten in 2050 aanzienlijk boven. In 2021 heeft Staatstoezicht op de Mijnen signaleerd dat het tempo van de ontwikkeling van nieuwe geothermie-projecten achterloopt bij deze prognoses van de sector [190]. Voor de prognose van de jaarlijkse productie van radioactieve rest- en afvalstoffen wordt daarom uitgegaan van de schatting van het Rijk, zoals opgenomen in Tabel 29. Merk op dat daarnaast voor de komende jaren tevens rekening moet worden gehouden met een inhaalslag als gevolg van het opslaan van filtermateriaal op locatie (zie paragraaf 12.4.1). Bij gebrek aan cijfers is dit echter niet opgenomen in Tabel 29.

Tabel 29 Schattingen toekomstige reguliere productie radioactieve rest- en afvalstoffen sector Geothermie

	Verwachting aantal doubletten	Productie RP filtermateriaal	Productie VP filtermateriaal	Productie sludge	
		(ton per jaar)	(ton per jaar)	(ton per jaar)	(GBq per jaar)
<b>2025</b>	35	40	45	35	1
<b>2030</b>	70	80	90	70	3
<b>2050</b>	450	515	570	450	17

### 12.5.2 Inventaris t.b.v. ontmanteling

Voor geothermische doubletten wordt momenteel rekening gehouden met een levensduur van ca. 30 jaar [191]. Dat betekent dat de eerste ontmanteling van geothermische installaties waarschijnlijk zal plaatsvinden tussen 2035 en 2040. In de periode daarna zal het aantal ontmantelingsprojecten toenemen, afhankelijk van het tempo waarin de sector zich in de periode daaraan voorafgaand heeft ontwikkeld.

## 12.6 Perspectief op verdere preventie en minimalisatie

De sector *Geothermie* is een relatief jonge sector, waarin veel innovatie plaatsvindt. Met het oog op de relatief hoge kosten voor het beheer van radioactief afval, is deze innovatie ook gericht op het verder minimaliseren van het ontstaan van radioactieve afvalstoffen. Momenteel wordt gekeken naar de volgende opties:

### *Verleggen van afvalstroom: filterafval naar verbrandingsinstallatie*

Op grond van verkennende berekeningen [192] lijkt het mogelijk om voor een deel van het radioactieve filtermateriaal hogere grenswaarden voor specifieke vrijgave vast te stellen, die voldoen aan de dosiscriteria die zijn vastgelegd in artikel 3.19 van de ANVS-verordening. Het gaat hierbij om verbranding van het materiaal in een afvalverbrandingsinstallatie, en een doorzet van maximaal 600 ton per jaar.

Niet is onderzocht of en in hoeverre er maatschappelijk draagvlak bestaat voor deze beheerroute.

### *Voorkomen van ontstaan van (radioactieve) loodfilms op metalen onderdelen*

Om zo veel mogelijk te voorkomen dat loodfilms ontstaan, kan de binnenkant van metalen onderdelen en leidingen worden voorzien van een zogenoemde corrosie-inhibitor. Dit is een laagje op het metaaloppervlak, dat contact met water (met daarin Pb-210) voorkomt. Hierdoor wordt het ontstaan van loodfilms voor een groot deel voorkomen, en zullen minder onderdelen en leidingen als radioactieve stof behoeven te worden aangemerkt [177].

Een andere strategie om loodafzetting tegen te gaan, is het toepassen van onderdelen en leidingen die zijn vervaardigd uit materialen die anders dan het meer gebruikelijke koolstofstaal geen reactie aangaan met het lood, zoals *Glassfibre Reinforced Epoxy* (GRE), roestvrij staal en



polypropyleen [183]. Hierbij moet worden opgemerkt dat toepassing van GRE als nadeel heeft dat het (althans op dit moment) veel minder recyclebaar is dan bijvoorbeeld metaal.

*Demontabele filters*

Uit de praktijk blijkt dat de radioactiviteit vooral in het residu en het binnenste deel van het filter aanwezig is. Door gebruik te maken van een filtervariant waarbij de binnenkant eenvoudig van de harde kunststof buitenkant is te verwijderen, is het in principe mogelijk het volume (en de massa) radioactief afval te verminderen [177]. De totale activiteit zal in dit geval (uiteraard) ongewijzigd blijven. Momenteel zijn dergelijke filters nog niet commercieel verkrijgbaar.



## 13 Schrootverwerking

### 13.1 Inleiding

Enkele honderden keren per jaar worden door schrootverwerkende ondernemingen partijen schroot met een verhoogd stralingsniveau aangetroffen. Dit is vaak het gevolg van de onbedoelde aanwezigheid van bijvoorbeeld een ingekapselde radioactieve bron, geactiveerd of besmet materiaal of slakkenwol. Dergelijke materialen worden ook wel 'weesbronnen' genoemd. Ze worden na veiligstelling in principe retour gestuurd naar de afzender, of ze kunnen na eventuele decontaminatie worden vrijgegeven. Omdat veel schrootverwerkers niet beschikken over een Kernenergiewetvergunning, wordt hiervoor geregeld een externe onderneming met een zogenoemde 'EHBO-vergunning' ingeschakeld. Een onderneming met een dergelijke vergunning assisteert op locatie bij het beheersen van niet-geplande en niet-vergunde situaties met ioniserende straling. In sommige gevallen moet het aangetroffen materiaal uiteindelijk als radioactieve rest- of afvalstof worden aangemerkt.

### 13.2 Definitie sector

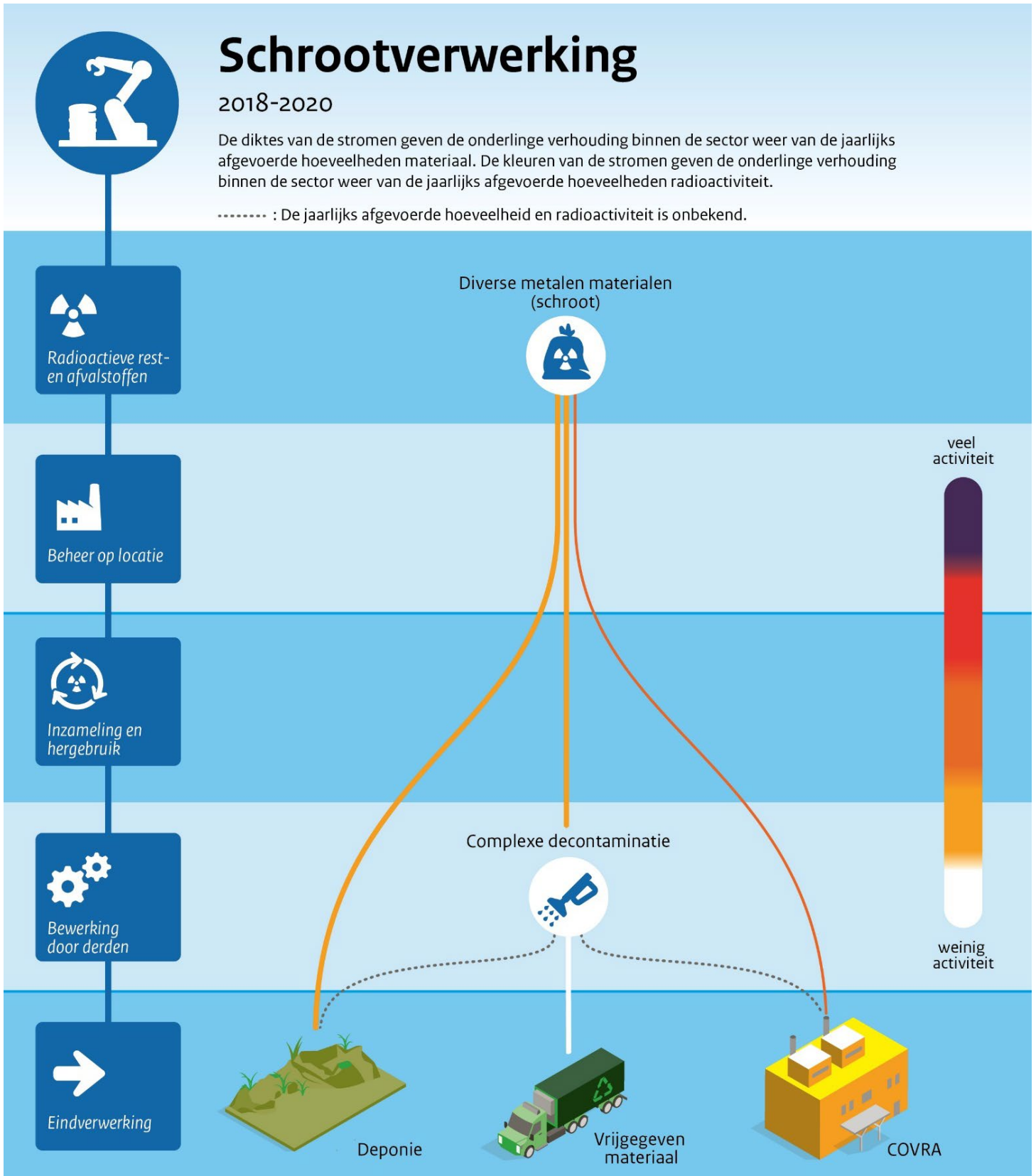
In Nederland zijn meer dan honderd ondernemingen actief die gebruikte metalen inzamelen, verwerken en opnieuw in de keten brengen. Aan drie van de grotere ondernemingen is uit voorzorg op grond van de Kernenergiewet vergunning verleend voor het voorhanden hebben van radioactieve stoffen.

Schroot wordt op grote schaal ingevoerd, maar momenteel slechts gedeeltelijk in Nederland gerecycled. Meer dan de helft ervan wordt weer geëxporteerd voor verwerking in het buitenland [193]. De sector heeft een 'piramidestructuur'. Dat houdt in dat veel kleinere ondernemingen schroot leveren aan een beperkt aantal grotere ondernemingen. De grotere schrootverwerkende ondernemingen zijn op grond van het Besluit detectie radioactief besmet schroot [194] verplicht om apparatuur die verhoogde stralingsniveaus in schroot kan detecteren te installeren.

In dit onderzoek is de sector *Schrootverwerking* gedefinieerd als de ondernemingen binnen Nederland die zich bezighouden met de inkoop, opslag, bewerking en wederverkoop van schroot, en die beschikken over een vergunning op grond van de Kernenergiewet voor het voorhanden hebben van radioactief schroot. De op deze manier gedefinieerde sector bestaat uit drie ondernemingen.

### 13.3 Productie en beheer radioactieve rest- en afvalstoffen

De reguliere radioactieve rest- en afvalstromen afkomstig van de sector *Schrootverwerking* zijn schematisch weergegeven in Figuur 20. De reguliere radioactieve rest- en afvalstromen zijn vervolgens beschreven in paragraaf 13.3.1, en samengevat in Tabel 30. Een inschatting van de te verwachten radioactieve inventaris die vrijkomt bij ontmanteling van de installaties is gegeven in paragraaf 13.3.2.



Figuur 20 Radioactieve rest- en afvalstromen sector Schrootverwerking.

## 13.3.1

*Radioactieve rest- en afvalstoffen uit reguliere bedrijfsvoering*

Schroot dat is besmet met radioactiviteit is in veel gevallen te decontamineren, met het oog op vrijgave voor hergebruik. In de periode 2018-2020 is jaarlijks gemiddeld 13 ton (0,01 GBq) schroot dat was besmet met radioactiviteit van natuurlijke oorsprong als radioactieve reststof afgevoerd naar de sector *Ontmanteling, decontaminatie en bewerking* voor decontaminatie [187].

In sommige gevallen moet schroot met een verhoogd stralingsniveau bij gebrek aan een andere beheerroute als radioactieve afvalstof worden aangemerkt. Het gaat dan om vast materiaal, met radioactiviteit van natuurlijke of kunstmatige oorsprong. In theorie kan het daarbij ook gaan om materialen die als splijtstofhoudende afvalstof moeten worden aangemerkt.

In de periode 2018-2020 is gemiddeld ca. 20 ton (ca. 0,1 GBq) schroot per jaar als registratieplichtige radioactieve afvalstof afgevoerd naar een aangewezen deponie [152]. In de meeste gevallen ging het om schroot met *scaling*, met registratieplichtige activiteitsconcentraties radionucliden van natuurlijke oorsprong.

Daarnaast is in deze periode gemiddeld jaarlijks 1,2 ton (41 GBq) als vergunningplichtige radioactieve afvalstof afgevoerd naar de COVRA. De totale in deze periode afgevoerde activiteit wordt vrijwel volledig bepaald door twee ingekapselde Co-60-bronnen. De activiteit van het overige materiaal (niet zijnde ingekapselde bronnen) bestond vooral uit U-238 (86%) en Cs-137 (12%).

Het bovenstaande is samengevat in Tabel 30.

Tabel 30 Radioactieve rest- en afvalstoffen sector Schrootverwerking

Type rest- of afvalstof	Eigenschappen relevant voor afvoer	Beheerroute	Afvoer per jaar (gemiddeld over 2018-2020)	
			(ton)	(GBq)
Schroot	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Diverse metalen en andere vaste materialen met radioactieve scale, oppervlaktebesmetting of activering</li> <li>– Radioactiviteit van kunstmatige of natuurlijke oorsprong</li> <li>– Registratie- of vergunningplichtig</li> </ul>	Afvoer als vergunningplichtige radioactieve reststof voor decontaminatie naar sector <i>Ontmanteling, decontaminatie en bewerking</i>	$1,3 \times 10^1$	$1 \times 10^{-2}$
		Afvoer als registratieplichtige radioactieve afvalstof voor stort op aangewezen deponie	$2,0 \times 10^1$	$1 \times 10^{-1}$
		Afvoer als vergunningplichtige radioactieve afvalstof naar de COVRA	$1,2 \times 10^0$	$4,1 \times 10^1$

### 13.3.2 *Inventaris van rest- en afvalstoffen bij ontmanteling*

Er zijn momenteel geen locaties bekend waar structureel een grote hoeveelheid radioactief schroot aanwezig is. Omdat de aangetroffen materialen over het algemeen geen eenvoudig verspreidbare radioactiviteit bevatten, en de handelingen met deze materialen beperkt zijn tot het veiligstellen en tijdelijk opslaan, is er geen reden om aan te nemen dat er sprake is van grootschalige besmettingen op de locaties.

### 13.4 **Prognose productie radioactieve rest- en afvalstoffen**

Steeds meer landen stellen beperkingen voor de import van afvalstoffen [193]. Het is niet in te schatten wat het effect hiervan zal zijn op de hoeveelheid als radioactief aan te merken schroot in de. Voor de toekomst wordt daarom uitgegaan van een ongewijzigde productie van radioactieve rest- en afvalstoffen.

### 13.5 **Perspectief op verdere preventie en minimalisatie**

Er is in dit onderzoek geen informatie beschikbaar gekomen over mogelijkheden voor verdere minimalisatie van radioactieve rest- en afvalstoffen binnen de sector *Schrootverwerking*.

## 14 Fosforproductie

### 14.1 Inleiding

Tot november 2012 werd op een industrieel complex van Thermphos International B.V. in Vlissingen-Oost elementair fosfor geproduceerd uit fosforeerts. Hiervoor werden zeer grote hoeveelheden grondstoffen doorgezet, met daarin radioactiviteit van natuurlijke oorsprong. Afhankelijk van de herkomst bedroegen de activiteitsconcentraties in deze grondstoffen tot 2,5 Bq/g U-238 en 1,7 Bq/g Ra-226 [122]. Als gevolg van het productieproces waren de installaties en een deel van de bodem in de loop van de jaren besmet geraakt met radioactiviteit, fosfor(verbindingen) en andere stoffen. Daarnaast waren er op de locatie aanzienlijke hoeveelheden grondstoffen, halffabricaten en rest- en afvalstoffen aanwezig, met (onder meer) radioactiviteit van natuurlijke of kunstmatige oorsprong.

De onderneming werd op 21 november 2012 failliet verklaard [195]. In oktober 2014 is gestart met de ontmanteling van de gebouwen en sanering van de bodem. Een speciaal hiervoor opgerichte B.V. heeft de ontmanteling en sanering uitgevoerd, en in dat kader zorggedragen voor het beheer en de afvoer van (radioactieve) rest- en afvalstoffen, inclusief overgebleven grondstoffen, halffabricaten en hulpstoffen. De fabriek was in Europa uniek in zijn soort, en de ontmanteling en sanering ervan heeft geleid tot het ontstaan van grote hoeveelheden zeer specifieke radioactieve rest- en afvalstoffen.

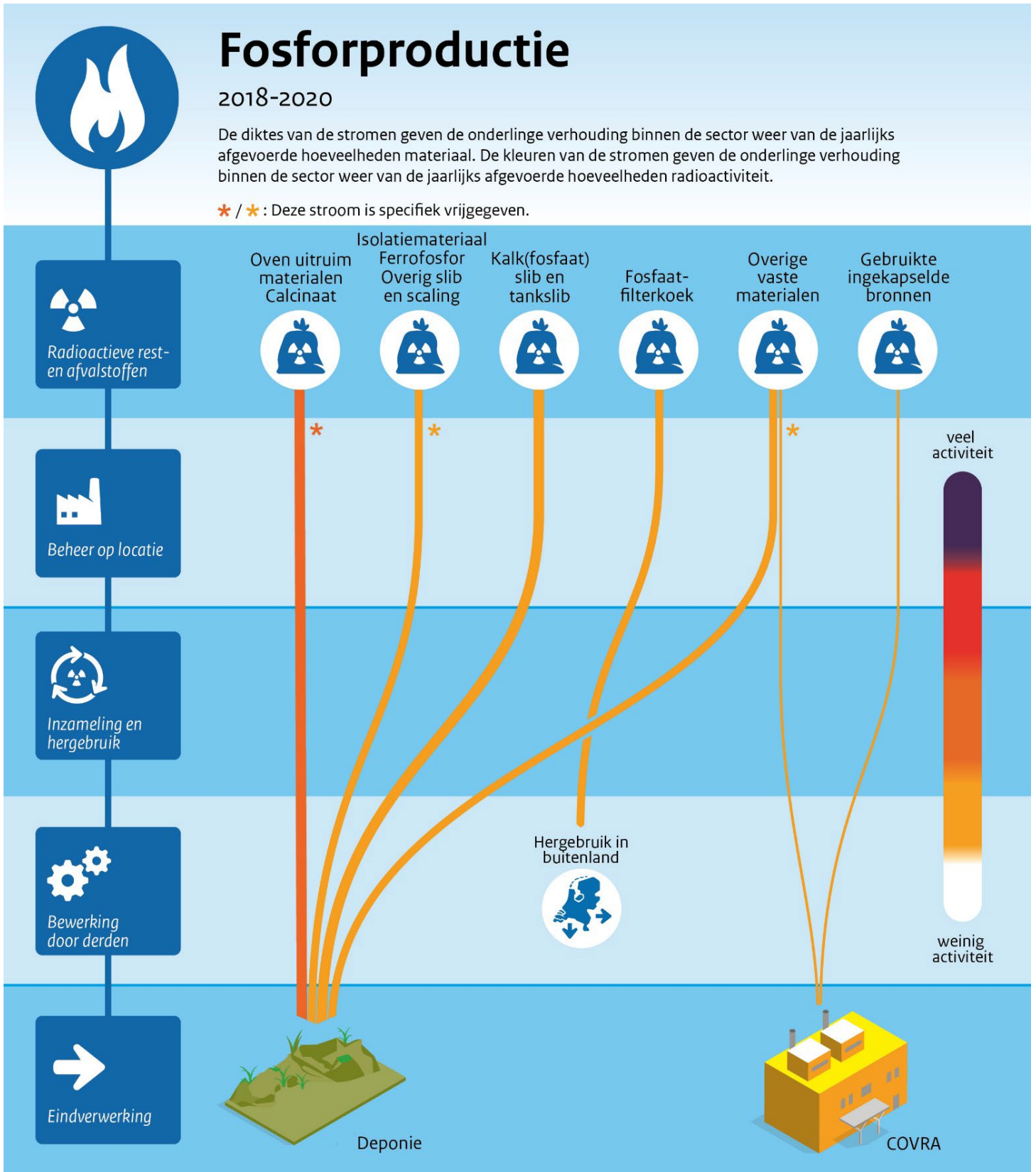
Op het moment van schrijven van dit rapport zijn alle radioactieve en niet-radioactieve rest- en afvalstoffen, gebouwen en installaties verwijderd, en is het terrein gesaneerd en radiologisch vrijgegeven. Hierbij is voor het eerst op grote schaal gebruik gemaakt van het instrument 'specifieke vrijgave'. Samen met het vastleggen van informatie over het ontmantelingsproces is dit de reden geweest om de sector *Fosforproductie* op te nemen in dit rapport. Dit hoofdstuk beschrijft de belangrijkste radioactieve rest- en afvalstoffen die in de periode 2018-2020 als gevolg van de ontmanteling en sanering zijn ontstaan en afgevoerd.

### 14.2 Definitie sector

De sector *Fosforproductie* is in dit onderzoek gedefinieerd als de ondernemingen binnen Nederland die de installaties en de locatie in Nederland hebben ontmanteld en gesaneerd die in het verleden zijn gebruikt voor de productie van elementair fosfor. De op deze manier gedefinieerde sector bestaat (bestond) uit één onderneming.

### 14.3 Productie radioactieve rest- en afvalstoffen

De reguliere radioactieve rest- en afvalstromen afkomstig van de sector *Fosforproductie* zijn schematisch weergegeven in Figuur 21. De reguliere radioactieve rest- en afvalstromen zijn vervolgens beschreven in paragraaf 14.3.1, en samengevat in Tabel 31. Omdat de ontmanteling van de installaties en de sanering van het terrein in 2020 is voltooid is er binnen de sector *Fosforproductie* geen sprake meer van een inventaris rest- en afvalstoffen.



Figuur 21 Radioactieve rest- en afvalstromen sector Fosforproductie.



### 14.3.1

#### *Radioactieve rest- en afvalstoffen uit reguliere bedrijfsvoering*

Aangezien de productieprocessen zijn beëindigd en de ontmanteling en sanering van de installaties (en het terrein) zijn voltooid, worden er op het moment van schrijven van dit rapport door deze sector geen radioactieve rest- en afvalstoffen meer geproduceerd. Ook is er binnen de sector geen (radioactieve) inventaris meer over. De radioactieve rest- en afvalstoffen die in de periode 2018-2020 zijn geproduceerd als gevolg van de ontmanteling en sanering, worden om pragmatische redenen tot de 'reguliere rest- en afvalstoffen' gerekend. Om één en ander te kunnen vergelijken met de overige sectoren, zijn de cijfers die in deze paragraaf worden gegeven in Tabel 31 omgerekend naar een jaarlijks gemiddelde voor de periode 2018-2020.

Voor een deel van de tijdens de ontmanteling en sanering vrijgekomen materialen gold dat deze op het moment van faillissement als vrijgesteld of meldingsplichtig konden worden aangemerkt, en conform de regelgeving toen als 'afvalstof' of als 'meldingsplichtige radioactieve afvalstof' konden worden beheerd. Met het in werking treden van het Bbs op 6 februari 2018 zijn veel van deze stoffen registratie- of vergunningplichtig geworden. Bijgevolg was een aantal van de oorspronkelijke beheerroutes met ingang van deze datum niet meer beschikbaar. Omdat dit als onwenselijk werd beschouwd, is tijdens de sanering en ontmanteling op grote schaal gebruik gemaakt van het instrument 'specifieke vrijgave'. De materialen waarvoor dit geldt, zijn niet als radioactieve afvalstof aangemerkt (zie ook paragraaf 2.5).

De - qua omvang - belangrijkste radioactieve stoffen, reststoffen en afvalstoffen afkomstig van de sector *Fosforproductie* zijn [196], [197], [198], [199]:

- Oven uitruim materiaal
- Kalk(fosfaat)slib en tankslib
- Calcinaat
- Isolatiemateriaal
- Ferrofosfor
- Overige slib en scaling
- Overige vaste materialen
- Verontreinigde grond
- Fosfaatfilterkoek ('Rotschlamm')
- Fosforslik en fosforzuur
- Installatieonderdelen
- Overige reststoffen
- Gebruikte ingekapselde bronnen

De belangrijkste eigenschappen hiervan worden hieronder beschreven. De informatie is samengevat in Tabel 31.

#### *Oven uitruim materiaal [200] [201]*

Tijdens de ontmanteling zijn bij de sloop van de fosforovens radioactieve 'uitruimmaterialen' vrijgekomen. Het betreft vaste ovenbekleding met verhoogde concentraties Pb-210+. Daarnaast was op de locatie nog een restpartij uitruimmaterialen aanwezig van de eerdere fosforproductie. De maximale activiteitsconcentratie bedroeg 23 Bq/g Pb-210+, op grond waarvan het materiaal als vergunningplichtig moest worden aangemerkt.

In totaal is in de periode 2018-2020 in totaal 5.159 ton (91 GBq) oven uitruim materiaal geproduceerd. Voor dit materiaal was geen hergebruik voorzien. In verband met de beoogde specifieke vrijgave is het niet als radioactieve afvalstof aangemerkt.

#### *Kalk(fosfaat)slib en tankslib [202]*

In de periode 2018-2020 is in totaal 4.675 ton (ca. 15 GBq) kalkfosfaatslib geproduceerd, met verhoogde activiteitsconcentraties Pb-210+, U-238+ en Ra-226+ (in totaal 3-4 Bq/g). Dit materiaal is als registratieplichtige radioactieve afvalstof aangemerkt. Daarnaast is in de periode 2018-2020 een hoeveelheid van 302 ton (2 GBq) radioactief slib afkomstig uit ruwzuur-tanks vrijgekomen, met gemiddelde activiteitsconcentraties van 1,3 Bq/g Ra-228 en 1,1 Bq/g Th-228. Dit materiaal is in 2020 als registratieplichtige radioactieve afvalstof aangemerkt.

#### *Calcinaat [203]*

Zogenoemd fosforslik (een mengsel van onder meer fosfor, stof en water), dat tijdens de sanering en ontmanteling is verwijderd uit opslagtanks, leidingen en installatie-onderdelen, is na afscheiding van fosfor verbrand in een verbrandingsoven (*calciner*). Het eindproduct is een vaste stof (calcinaat), met gemiddelde activiteitsconcentraties van 0,7 Bq/g Ra-226+, 350 Bq/g Pb-210 en 0,2 Bq/g Ra-228+. Op grond van deze activiteitsconcentraties is dit materiaal vergunningplichtig.

Het 'calcineren' van fosforslik was ook tijdens de productie gebruikelijk, en het hieruit ontstane calcinaat werd op reguliere basis als vergunningplichtige radioactieve afvalstof afgevoerd naar de COVRA.

In de periode 2018-2020 is bij de verwerking van resthoeveelheden fosforslik gemiddeld per jaar 494 ton (82 GBq) calcinaat ontstaan. Daarnaast was op locatie nog een restpartij calcinaat aanwezig van de eerdere fosforproductie. In totaal is in deze periode 1.894 ton (314 GBq) calcinaat aangemerkt als meldingplichtige radioactieve afvalstof (tot aan het in werking treden van het Bbs), dan wel vergunningplichtige radioactieve stof. In het laatste geval is het materiaal in verband met de beoogde specifieke vrijgave niet als radioactieve afvalstof aangemerkt.

#### *Isolatiemateriaal [204, 205]*

In de installaties was veel steenwolachtig isolatiemateriaal toegepast. Dit materiaal bevatte oorspronkelijk geen radioactieve stoffen, maar is tijdens het productieproces verontreinigd geraakt met stof met radioactiviteit van natuurlijke oorsprong. De gemiddelde activiteitsconcentraties in dit materiaal bedragen 25 Bq/g Pb-210+ en 14 Bq/g Po-210, en op grond daarvan is dit materiaal vergunningplichtig.

In de periode 2018-2020 is ca. 31 ton (1,5 GBq) isolatiemateriaal geproduceerd. Voor dit materiaal was geen hergebruik voorzien. In verband met de beoogde specifieke vrijgave is het niet als radioactieve afvalstof aangemerkt.

*Ferrofosfor [206, 207]*

Co-60 bronnen werden in ovenwanden toegepast om de dikte van de ovenwand te monitoren. Tijdens het productieproces is Co-60 in ijzer- en fosforhoudende slak terecht gekomen. Dit (vaste) materiaal wordt 'ferrofosfor' of 'ferrofosforslak' genoemd. De activiteitsconcentratie varieert, en bedraagt tot ca. 2 Bq/g Co-60. Het materiaal is daarmee - afhankelijk van de activiteitsconcentratie - deels vrijgesteld en deels vergunningplichtig. Het bevat daarnaast ook vrijgestelde concentraties radionucliden van natuurlijke oorsprong.

In 2020 is 26 ton (0,026 GBq) ferrofosfor vrijgekomen<sup>58</sup>. Voor dit materiaal was geen hergebruik voorzien. In verband met de beoogde specifieke vrijgave is het niet als radioactieve afvalstof aangemerkt.

*Overige slib en scaling [208, 209]*

Overige slib en scaling, verontreinigd met radioactiviteit van natuurlijke oorsprong, is onder meer ontstaan bij het op locatie decontamineren van installatieonderdelen. Activiteitsconcentraties van dit materiaal bedroegen gemiddeld ca. 35 Bq/g Pb-210+ en 15 Bq/g Po-210, op grond waarvan het vergunningplichtig is.

In de periode 2018-2020 is in totaal 398 ton (25 GBq) overige slib en scaling ontstaan. Voor dit materiaal was geen hergebruik voorzien. In verband met de beoogde specifieke vrijgave is het niet als radioactieve afvalstof aangemerkt.

*Overige vaste materialen [210, 211]*

In 2020 is in totaal 487 ton (28 GBq) aan overige niet-vrijgestelde vaste materialen (resten fosfaaterts, steekvast slib en verontreinigd staalgrit) afgevoerd, met een gemiddelde activiteitsconcentratie van 28 Bq/g Pb-210+. Op grond van deze activiteitsconcentratie is het materiaal vergunningplichtig. Voor dit materiaal was geen hergebruik voorzien. In verband met de beoogde specifieke vrijgave is het niet als radioactieve afvalstof aangemerkt. Verder is in de periode 2018-2020 in totaal 2,5 ton (2,4 GBq) als overige vaste radioactieve afvalstof aangemerkt.

Daarnaast is in 2018 onder het regime van het Besluit stralingsbescherming 3.762 ton overige vaste materialen, met activiteitsconcentraties van 1,2-18 Bq/g Pb-210+, als (vrijgestelde) afvalstof aangemerkt.

*Verontreinigde grond*

De bodem van de locatie is gesaneerd op basis van een dosiscriterium van 10 µSv per jaar voor leden van de bevolking, vertaald naar een activiteitsconcentratie van 1 Bq/g voor alle radionucliden [212]. Hierbij is onderscheid gemaakt tussen bodem en bodemvreemd materiaal, wat inhoudt dat eventueel aanwezige (vrijgestelde) fosforslakken als bodemvreemd materiaal zijn verwijderd, eventueel zijn bewerkt en elders zijn toegepast.

<sup>58</sup> Daarnaast is in 2018 - nog onder het regime van het Besluit stralingsbescherming - 120 ton ferrofosfor, met een maximale activiteitsconcentratie van 0,9 Bq/g Co-60, als vrijgestelde afvalstof aangemerkt en als zodanig afgevoerd. Op het moment van afvoer van deze partij gold voor Co-60 nog een grenswaarde voor (generieke) vrijstelling en vrijgave van 1 Bq/g.

De bodemsanering heeft in de periode 2018-2020 geleid tot het ontstaan van in totaal 64 ton (0,081 GBq) grond met een activiteitsconcentratie van gemiddeld 1,27 Bq/g<sup>59</sup>. Het materiaal is op grond hiervan registratieplichtig. In verband met het ontbreken van een perspectief op hergebruik is het materiaal als registratieplichtige radioactieve afvalstof aangemerkt.

#### *Fosfaatfilterkoek [196]*

Tijdens het productieproces ontstonden aanzienlijke hoeveelheden fosfaatfilterkoek (ook wel 'Rotschlamm' genoemd), die normaal gesproken in het proces opnieuw werd toegepast. Ten tijde van het faillissement waren er op de locatie diverse containers met fosfaatfilterkoek aanwezig. Het betreft een mengsel van vaste en vloeibare componenten, met gemiddelde activiteitsconcentraties van 1 Bq/g U-238, 5,7 Bq/g Ra-228 en 5,7 Bq/g Th-228. Op grond van deze activiteitsconcentraties is het materiaal registratieplichtig.

In de periode 2018-2020 is de resterende 1.441 ton Rotschlamm vanwege het beoogde hergebruik uiteindelijk als registratieplichtige radioactieve reststof aangemerkt.

#### *Fosforslik en fosforzuur*

Radioactief fosforslik is verwijderd uit opslagtanks, leidingen en fabrieksonderdelen. Het materiaal bevatte onder meer fosfor, stof, water en radioactiviteit van natuurlijke oorsprong, met een gemiddelde activiteitsconcentratie van ca. 74 Bq/g Pb-210 (vaste stof). Op grond van deze activiteitsconcentratie is het materiaal vergunningplichtig.

In totaal is in de periode 2018-2020 5.700 ton (ca. 400 GBq) fosforslik als vergunningplichtige radioactieve reststof aangemerkt, met het oog op verwerking op locatie tot vergunningplichtig calcinaat (zie boven) en registratieplichtig fosforzuur.

#### *Installatieonderdelen*

Een grote hoeveelheid metalen installatieonderdelen waren zodanig besmet met radioactiviteit van natuurlijke oorsprong, dat die als vergunningplichtig materiaal moest worden aangemerkt. Vanwege het perspectief op hergebruik na decontaminatie in het schrootcircuit, is dit materiaal als vergunningplichtige radioactieve reststof aangemerkt. Het is niet bekend om welke hoeveelheden het precies gaat.

#### *Overige radioactieve reststoffen*

Tijdens de ontmanteling en sanering zijn aanzienlijke hoeveelheden materiaal als radioactieve reststoffen aangemerkt, met het oog op de afvoer naar derden in verband met (her)gebruik. Het betrof grondstoffen en halffabricaten als fosfaaterts, fosfaatpellets, fosfaatmeel, fosfaatstof en 'ruw mix'. Ook het op locatie aanwezige fosforslak kon in de meeste gevallen als vrijgesteld materiaal worden afgevoerd naar een externe partij, voor toepassing elders. Deze (al dan niet radioactieve) reststoffen worden in dit hoofdstuk niet verder behandeld.

<sup>59</sup> De beschikbare documentatie vermeldt niet om welk nuclide het hier gaat. Vermoedelijk betreft het Pb-210+.

*Gebruikte ingekapselde bronnen*

In de periode 2018-2020 is in totaal 15,8 GBq (< 1 ton) aan ingekapselde bronnen uit de installaties verwijderd en aangemerkt als vergunningplichtige afvalstof.

*14.3.2 Inventaris van rest- en afvalstoffen bij ontmanteling*

Met de voltooiing van de ontmanteling van de installaties en de sanering van het terrein in 2020 is er binnen de sector *Fosforproductie* geen sprake meer van een inventaris rest- en afvalstoffen.

Tabel 31 Reguliere radioactieve rest- en afvalstoffen sector Fosforproductie in de periode 2018-2020

Type rest- of afvalstof	Eigenschappen relevant voor afvoer	Beheerroute	Afvoer per jaar (gemiddeld over 2018-2020)	
			(ton)	(GBq)
Oven uitruim materialen	- Stabiel en vast materiaal - Max. activiteitsconcentratie 23 Bq/g Pb-210+	Afvoer als specifiek vrijgegeven materiaal voor stort op aangewezen deponie	$1,7 \times 10^3$	$3,0 \times 10^1$
Kalk(fosfaat)slib en tankslib	- Steekvaste materialen (slib en scaling) - Gemiddelde activiteitsconcentratie kalkfosfaatslib ca. 3 - 4 Bq/g - Gemiddelde activiteitsconcentratie ruwzuur-slib ca. 1,3 Bq/g Ra-228 en 1,1 Bq/g Th-228	Afvoer als registratieplichtig radioactief afval voor stort op een aangewezen deponie	$1,7 \times 10^3$	$6 \times 10^0$
Calcinaat	- Stabiel en vast materiaal - Gemiddelde activiteitsconcentraties 0,7 Bq/g Ra-226+, 350 Bq/g Pb-210, 0,2 Bq/g Ra-228+	Afvoer als specifiek vrijgegeven materiaal voor stort op aangewezen deponie	$6,3 \times 10^2$	$1,05 \times 10^2$
Isolatiemateriaal	- Steenwol-achtig materiaal - Gemiddelde activiteitsconcentratie 25 Bq/g Pb-210+ en 14 Bq/g Po-210	Afvoer als specifiek vrijgegeven materiaal voor stort op aangewezen deponie	$1,0 \times 10^1$	$5 \times 10^{-1}$
Ferrofosfor	- Stabiel en vast materiaal met daarin Co-60 - Activiteitsconcentratie tot ca. 2 Bq/g Co-60	Afvoer als specifiek vrijgegeven materiaal voor stort op aangewezen deponie	$9 \times 10^0$	$1 \times 10^{-2}$
Overige slib en scaling met Pb-210+	- Steekvaste materialen (slib en scaling) - Gemiddelde activiteitsconcentratie ca. 35 Bq/g Pb-210+ en 15 Bq/g Po-210	Afvoer als specifiek vrijgegeven materiaal voor stort op aangewezen deponie	$1,3 \times 10^2$	$8,3 \times 10^0$
Overige vaste materialen met Pb-210+ en Po-210	- Diverse vaste en steekvast materiaal - Gemiddelde activiteitsconcentratie 28 Bq/g Pb-210+ en 16 Bq/g Po-210	Afvoer als specifiek vrijgegeven materiaal voor stort op aangewezen deponie	$1,6 \times 10^2$	$9 \times 10^0$
		Afvoer als radioactief afval naar de COVRA	$< 1 \times 10^0$	$8 \times 10^{-1}$
Verontreinigde grond	- Stabiel en vast materiaal - Gemiddelde activiteitsconcentratie 1,27 Bq/g	Afvoer als registratieplichtig radioactief afval voor stort op een aangewezen deponie	$2,1 \times 10^1$	$3 \times 10^{-2}$

Type rest- of afvalstof	Eigenschappen relevant voor afvoer	Beheerroute	Afvoer per jaar (gemiddeld over 2018-2020)	
			(ton)	(GBq)
Fosfaatfilterkoek ('Rotschlamm')	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Mengsel van vaste en vloeibare componenten</li> <li>- Gemiddelde activiteitsconcentraties 1 Bq/g U-238, 5,7 Bq/g Ra-228 en 5,7 Bq/g Th-228</li> </ul>	Afvoer als radioactieve reststof tbv hergebruik naar onderneming in Frankrijk	$4,8 \times 10^2$	$5 \times 10^0$
Gebruikte ingekapselde bronnen	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Ingekapselde bron, voornamelijk Co-60 en Cs-137</li> <li>- Kunstmatige radioactiviteit</li> </ul>	Afvoer als vergunningplichtig radioactief afval naar de COVRA	$< 1 \times 10^0$	$5,3 \times 10^0$

## 14.4 Beheer reguliere radioactieve rest- en afvalstoffen

Een aantal van de hiervoor beschreven materialen is als meldingplichtige of (na 6 februari 2018) als registratieplichtige radioactieve afvalstof afgevoerd naar een aangewezen deponie. Voor een groot aantal materialen die op grond van de activiteitsconcentratie als vergunningplichtig moesten worden aangemerkt, is door de ANVS een beschikking voor specifieke vrijgave afgegeven. Aan deze beschikkingen zijn voorschriften en voorwaarden verbonden, waarvan een belangrijke voorwaarde is dat de specifieke vrijgave slechts geldt voor stort op een aangewezen deponie. Omdat deze beschikkingen specifiek van toepassing waren op de (eenmalige) stromen afkomstig van ontmanteling en sanering van de fosforproductie-installaties, zijn de beschikkingen in 2020 weer ingetrokken. Ten slotte zijn enkele stromen als radioactieve reststoffen op locatie bewerkt of naar derden afgevoerd voor hergebruik.

In de volgende paragraaf worden de verschillende beheeropties verder toegelicht. Met het oog op de vergelijkbaarheid met de andere sectoren zijn de hierboven vermelde cumulatieve hoeveelheden omgerekend naar gemiddelde jaarlijkse hoeveelheden voor de periode 2018-2020.

### 14.4.1 *(Verval)opslag*

Vanwege de lange halveringstijden vindt er tijdens een gebruikelijke opslagperiode nauwelijks radioactief verval plaats. Vervalopslag is binnen de sector *Fosforproductie* dan ook niet aan de orde.

### 14.4.2 *Scheiding, decontaminatie en overige bewerking op locatie*

Diverse radioactieve reststoffen zijn tijdens de sanering en ontmanteling op locatie bewerkt. De belangrijkste voorbeelden hebben betrekking op installatieonderdelen en fosforslik.

#### *Decontaminatie installatieonderdelen*

Een grote hoeveelheid installatieonderdelen was besmet met radioactiviteit van natuurlijke oorsprong, en is op locatie met hogedrukwaterreiniging of met behulp van staalgrit gedecontamineerd en vervolgens vrijgegeven [198]. In de periode 2018-2020 betrof dit per jaar gemiddeld 340 ton. De hierbij geproduceerde vergunningplichtige radioactieve slib, scaling en staalgrit zijn als specifiek vrijgegeven materiaal aangemerkt (zie paragraaf 14.4.5).

#### *Verwerking fosforslik*

Fosforslik is verwerkt in achtereenvolgens een filterpers (t.b.v. afscheiding fosfor) en een verbrandingsoven (met als doel immobilisatie). Op deze manier is in de periode 2018-2020 in totaal 1.482 ton (245 GBq) vergunningplichtig calcinaat en ca. 2.600 ton (2,6 GBq) registratieplichtig fosforzuur ontstaan. Het calcinaat is vervolgens als specifiek vrijgegeven radioactieve stof afgevoerd (zie paragraaf 14.4.5). Het fosforzuur is als reststof voor hergebruik afgevoerd naar derden in het buitenland (zie paragraaf 14.4.3).

### 14.4.3 *Afvoer voor bewerking of hergebruik naar derden*

Diverse partijen fosfaatfilterkoek, fosforzuur, fosfaaterts, fosfaatstof, fosfaathoudende pellets en fosfaatmeel zijn als radioactieve reststof



afgevoerd naar derden in Frankrijk, Duitsland en Polen voor hergebruik. Ook het bij de ontmanteling en sanering ontstane fosforzuur is als radioactieve reststof afgevoerd naar een buitenlandse onderneming, voor hergebruik in kunstmest. Het bedroeg in de periode 2018-2020 in totaal ca. 10.500 ton.

Daarnaast zijn enkele besmette installatieonderdelen als radioactieve reststof voor decontaminatie afgevoerd naar externe dienstverleners. De hoeveelheid is echter verwaarloosbaar ten opzichte van de hoeveelheden vermeld in paragraaf 14.4.2.

#### 14.4.4 *Afvoer naar aangewezen deponie als meldingsplichtige of registratieplichtige radioactieve afvalstof Calcinaat*

In 2018 is een partij van 325 ton (39 GBq) calcinaat onder het regime van het Besluit stralingsbescherming als meldingsplichtige radioactieve afvalstof afgevoerd naar een aangewezen deponie. Deze hoeveelheid is opgenomen in het in paragraaf 14.4.5 vermelde getal voor afgevoerd specifiek vrijgegeven calcinaat.

#### *Kalk(fosfaat)slib en tankslib*

In de periode 2018-2020 is jaarlijks gemiddeld 1.659 ton (ca. 214 GBq) kalk(fosfaat)slib en tankslib als meldingsplichtige of registratieplichtige radioactieve afvalstof afgevoerd naar een aangewezen deponie.

#### *Verontreinigde grond*

In de periode 2018-2020 is jaarlijks gemiddeld ca. 21 ton (ca. 0,027 GBq) verontreinigde grond als registratieplichtige radioactieve afvalstof afgevoerd naar een aangewezen deponie.

#### 14.4.5 *Afvoer naar aangewezen deponie als specifiek vrijgegeven materiaal*

In de periode 2018-2020 is per jaar gemiddeld ca. 2.660 ton (ca. 148 GBq) aan specifiek vrijgegeven materiaal afgevoerd naar een aangewezen deponie. Deze stromen zijn in Figuur 21 aangegeven met \*. Het betreft:

#### *Oven uitruim materiaal*

In de periode 2018-2020 is per jaar gemiddeld ca. 1.720 ton (ca. 30 GBq) oven uitruim materiaal als specifiek vrijgegeven materiaal afgevoerd naar een aangewezen deponie.

#### *Calcinaat*

In de periode 2018-2020 is per jaar gemiddeld 631 ton calcinaat (ca. 100 GBq Pb-210+) als specifiek vrijgegeven materiaal afgevoerd naar een aangewezen deponie.

#### *Isolatiemateriaal*

In de periode 2018-2020 is per jaar gemiddeld ca. 10 ton (0,5 GBq) isolatiemateriaal als specifiek vrijgegeven materiaal afgevoerd naar een aangewezen deponie.

#### *Ferrofosfor*

In de periode 2018-2020 is per jaar gemiddeld 9 ton (0,009 GBq) ferrofosfor als specifiek vrijgegeven materiaal afgevoerd naar een aangewezen deponie.

#### *Overige slib en scaling met Pb-210+*

In de periode 2018-2020 is per jaar gemiddeld 133 ton (ca. 8 GBq) overige slib en scaling als specifiek vrijgegeven materiaal afgevoerd naar een aangewezen deponie.

#### *Overige vaste materialen*

In de periode 2018-2020 is per jaar gemiddeld 162 ton (ca. 9 GBq) aan overige vaste materialen met Pb-210+ als specifiek vrijgegeven materiaal afgevoerd naar een aangewezen deponie.

#### **14.4.6** *Afvoer naar de COVRA*

In de periode 2018-2020 is per jaar gemiddeld 5,3 GBq aan vergunningplichtige ingekapselde bronnen afgevoerd naar de COVRA. Daarnaast is jaarlijks minder dan 1 ton (0,8 GBq) aan overige radioactieve afvalstoffen afgevoerd naar de COVRA.

#### **14.4.7** *Lozing*

Lozing van radioactiviteit naar water en lucht bleef in de periode 2018-2020 ruim onder de hiervoor vastgestelde grenswaarden in Tabel C in Bijlage 3, onderdeel B, van het Bbs.

### **14.5** **Prognose productie radioactieve rest- en afvalstoffen**

De ontmanteling van de fosforproductie-installaties en de sanering en vrijgave van het terrein zijn in 2020 voltooid. Er zijn momenteel geen redenen om aan te nemen dat er in Nederland op korte termijn een nieuwe, vergelijkbare installatie zal worden gebouwd, en daarom kan er van uit worden gegaan dat er binnen de sector *Fosforproductie* in de toekomst geen radioactieve rest- en afvalstoffen meer worden geproduceerd.

### **14.6** **Perspectief op verdere preventie en minimalisatie**

n.v.t.

## 15 Overig

### 15.1 Inleiding

De hoofdstukken 4 tot en met 14 beschrijven de radioactieve rest- en afvalstoffen afkomstig van ondernemingen die zijn toe te rekenen aan specifieke sectoren. Er bestaat daarnaast in Nederland nog een groot aantal ondernemingen die op grond van het type handelingen of de afvalproductie niet eenvoudig zijn toe te delen aan een sector. Dit hoofdstuk geeft een overzicht van de belangrijkste 'overige' stromen radioactieve rest- en afvalstoffen in Nederland, en de belangrijkste producenten daarvan.

### 15.2 Definitie sector

De sector *Overig* is gedefinieerd als de ondernemingen die radioactieve rest- en afvalstoffen produceren of kunnen produceren, en die niet eenvoudig zijn toe te delen aan de overige in dit rapport gedefinieerde sectoren. De op deze manier gedefinieerde sector bestaat uit meer dan 400 ondernemingen.

Verreweg de meeste van deze ca. 400 ondernemingen beschikken over een vergunning voor het voorhanden hebben van één of meerdere ingekapselde bronnen, voor uiteenlopende toepassingen<sup>60</sup>. Aan enkele ondernemingen is vergunning verleend voor de opslag en distributie van grote tot zeer grote aantallen ingekapselde bronnen. Verder is in enkele gevallen vergunning verleend voor 'overige' handelingen met radioactieve stoffen van kunstmatige of natuurlijke oorsprong, of voor het voorhanden hebben van verarmd uranium ten behoeve van afscherming. Voor enkele ondernemingen geldt dat zij het proces voor aanvraag van een registratie of vergunning - op het moment van schrijven van dit rapport - nog niet volledig hebben doorlopen.

Tabel 32 en Tabel 33 bevatten een overzicht van de ondernemingen binnen de sector *Overig*. Hierbij is een onderscheid gemaakt tussen handelingen waarbij voornamelijk ingekapselde bronnen en verarmd uranium worden toegepast, en handelingen waarbij voornamelijk open bronnen voorhanden zijn. Daarnaast is - voor zover mogelijk - een nadere indeling gemaakt in sub-sectoren, zijnde groepen ondernemingen die vergelijkbare handelingen verrichten.

<sup>60</sup> Voor de goede orde wordt opgemerkt dat ook in de andere sectoren ingekapselde bronnen zijn vergund.

Tabel 32 Ondernemingen met ingekapselde bronnen en verarmd uranium binnen de sector Overig

Type onderneming	Aantal ondernemingen	Typische handeling
Niet-destructief onderzoek (NDO)	35	Industriële radiografie met ingekapselde bronnen, verarmd uranium als afscherming
Wegenbouw	46	Diktemetingen met ingekapselde bronnen
Bagger/zandwinning	34	Dichtheidsmetingen met ingekapselde bronnen
Dienstverlening olie en gas	19	Inspectie en meet- en regeltoepassingen met ingekapselde bronnen
Productbestraling	2	Productbestraling met ingekapselde bronnen
Bloedbestraling	1	Bestraling bloedproducten met ingekapselde bronnen
Industrie	33	Diverse meet- en regeltoepassingen met ingekapselde bronnen
Bagage- en pakketcontrole	12	Beeldvorming met ingekapselde bronnen
Niet in te delen	Ca. 180	Diverse handelingen met beperkt aantal niet-hoogactieve ingekapselde bronnen

Tabel 33 Ondernemingen met open bronnen binnen de sector Overig

Type onderneming	Aantal ondernemingen	Typische handeling
Doorzet van grote hoeveelheden radioactieve materialen van natuurlijke oorsprong	11	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Zoutwinning (1)</li> <li>- Zinkproductie (1)</li> <li>- Katalysatorproductie (1)</li> <li>- Kunstmestproductie (1)</li> <li>- Overslag minerale zanden (2)</li> <li>- Aardgasdistributie (5)</li> </ul>
Niet in te delen	20	Diverse handelingen met een beperkte hoeveelheid open radioactieve bronnen van natuurlijke of kunstmatige oorsprong
Ondernemingen met radioactiviteit in installaties	18	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Elektriciteitsproductie o.b.v. steenkool (4)</li> <li>- Productie en bewerking chemicaliën (3)</li> <li>- Centrale met Cs-137 (1)</li> <li>- Crematieoven met I-125 (1)</li> <li>- Opslag en berging van katalysator (1)</li> <li>- Installaties met slakkenwol (8)</li> </ul>

### 15.2.1 *Ondernemingen met ingekapselde bronnen en verarmd uranium*

Uit Tabel 32 blijkt dat aan 35 ondernemingen vergunning is verleend voor handelingen met ingekapselde bronnen ten behoeve van industriële radiografie. Dat heet ook wel 'niet-destructief onderzoek' (NDO). Het betreft diverse typen (vaak hoogactieve) bronnen, waarbij geldt dat Co-60 bronnen steeds minder worden toegepast. Daarnaast is in deze branche een verschuiving waarneembaar van gebruik van Cs-137-bronnen naar bronnen met Se-75 en Ir-192 [213]. Aan 23 van de 35 ondernemingen is tevens vergunning verleend voor het voorhanden hebben van verarmd uranium ten behoeve van afscherming.

Ook aan ondernemingen die zich bezighouden met wegenbouw, baggeren en zandwinning, dienstverlening voor olie- en gaswinning en de bestraling van bloed en producten is vergunning verleend voor het gebruik van hoogactieve bronnen. Het betreft in totaal 102 ondernemingen. De overige ca. 250 ondernemingen maken gebruik van vooral niet-hoogactieve bronnen, vooral voor meet- en regeltoepassingen. In diverse interviews kwam naar voren dat een verschuiving gaande is van het gebruik van ingekapselde Co-60 meet- en regelbronnen naar Cs-137-bronnen.

Uit door de ANVS beschikbaar gestelde informatie over verleende Kernenergiwetvergunningen per 19 maart 2020 is afgeleid dat in Nederland in totaal tussen de 40.000 en 45.000 ingekapselde bronnen zijn vergund, exclusief rookmelders. Het overgrote deel daarvan is vergund aan de in Tabel 32 genoemde ondernemingen. Daarnaast zijn overigens ook ingekapselde bronnen vergund aan ondernemingen uit de overige sectoren.

Circa 33.500 bronnen binnen de sector *Overig* zijn enkel vergund voor opslag ten behoeve van distributie. Het betreft zogenoemde 'bètalights' met H-3 en Pm-147-bronnen. Deze bronnen worden verkocht als product, en worden daarom in dit onderzoek niet beschouwd als radioactieve rest- en afvalstoffen. De resterende ca. 8.000 bronnen betreffen voornamelijk ingekapselde bronnen met Ni-63, Cs-137 en Co-60, waarvan een groot deel binnen deze sector *Overig* valt. Naar schatting is zo'n 5-10% daarvan als 'hoogactief' aan te merken.

### 15.2.2 *Ondernemingen met doorzet grote hoeveelheden radioactieve materialen van natuurlijke oorsprong*

Elf ondernemingen in de sector *Overig* hebben gemeenschappelijk dat zij grote hoeveelheden grondstoffen of rest- en/of afvalstoffen met radioactiviteit van natuurlijke oorsprong doorzetten. Het betreft:

- Eén onderneming die zich bezighoudt met de winning van zout uit de diepe ondergrond, ten behoeve van minerale verrijking voor planten, bodem en diervoeding, en de winning van hoogwaardige zouten voor diverse industriële toepassingen;
- Eén onderneming die uit vrijgestelde grondstoffen (onder meer) zink en zinklegeringen produceert voor een grote diversiteit aan toepassingen;
- Eén onderneming die uit vrijgestelde grondstoffen katalysatoren produceert voor toepassing in de aardolie-industrie;

- Eén onderneming die fosforhoudende kunstmest produceert. Daarvoor worden diverse registratieplichtige grondstoffen gemengd, gemicroniseerd en/of verpakt [214];
- Twee ondernemingen die minerale zanden en ertsen importeren, opslaan en overslaan. Enkele van deze stoffen zijn op grond van de activiteitsconcentratie registratieplichtig.
- Aan vijf ondernemingen<sup>61</sup> die betrokken zijn bij de distributie van aardgas in Nederland is vergunning verleend voor handelingen met radioactieve materialen van natuurlijke oorsprong. De reden daarvoor is dat in leidingen en installaties radioactiviteit van natuurlijke oorsprong kan worden aangetroffen. De radioactiviteit is oorspronkelijk afkomstig uit de formaties waar het aardgas is gewonnen.

### 15.2.3 *Ondernemingen met open radioactieve bronnen*

Circa twintig ondernemingen hebben vergunning voor het voorhanden hebben en toepassen van een beperkte hoeveelheid open radioactieve bronnen van kunstmatige of natuurlijke oorsprong. Het betreft onder meer het toedienen van open radioactieve stoffen van kunstmatige oorsprong aan dieren (Tc-99m, I-125, C-14), tracer-onderzoek en handelingen met thoriumlampen en optische componenten.

### 15.2.4 *Ondernemingen met radioactiviteit in installaties*

Aan een aantal ondernemingen is vergunning verleend in verband met de bedoelde of onbedoelde aanwezigheid van radioactiviteit in de installaties, in de vorm van besmetting, aanslag of *scale*. Voorbeelden zijn:

- Radioactieve *scale* in kolengestookte elektriciteitscentrales. Als gevolg van de verbranding van grote hoeveelheden steenkool met vrijgestelde concentraties radioactiviteit van natuurlijke oorsprong is in onder meer ketels en rookgasontzwavelingsinstallaties in de loop van de tijd *scale* ontstaan met verhoogde (vaak vergunningplichtige) activiteitsconcentraties Pb-210. Voor vier centrales is hiervoor een Kernenergiewetvergunning verleend of in aanvraag. Eén van deze centrales wordt momenteel ontmanteld. Het is voorstelbaar dat ook radioactieve *scale* aanwezig is in de andere (operationele en niet meer operationele) Nederlandse elektriciteitscentrales die enige tijd steenkool hebben gestookt. Op het moment van schrijven van dit rapport zijn er in Nederland vier kolengestookte centrales operationeel, waarvan er één waarschijnlijk op korte termijn wordt gesloten. Voor de overige drie centrales is sluiting uiterlijk in 2030 voorzien [215]. Daarnaast zijn er in Nederland nog zes niet langer operationele centrales, waar steenkool in het verleden geheel of gedeeltelijk als brandstof is toegepast. Enkele van deze centrales worden momenteel ontmanteld.
- Installaties en installatieonderdelen met vergunningplichtige activiteitsconcentraties Pb-210+ in oppervlakte-besmetting, cokes, 'koolstofmateriaal' en 'asconcentraat'. Aan drie ondernemingen in de chemische industrie is vergunning verleend voor het voorhanden hebben van dergelijke materialen [58].

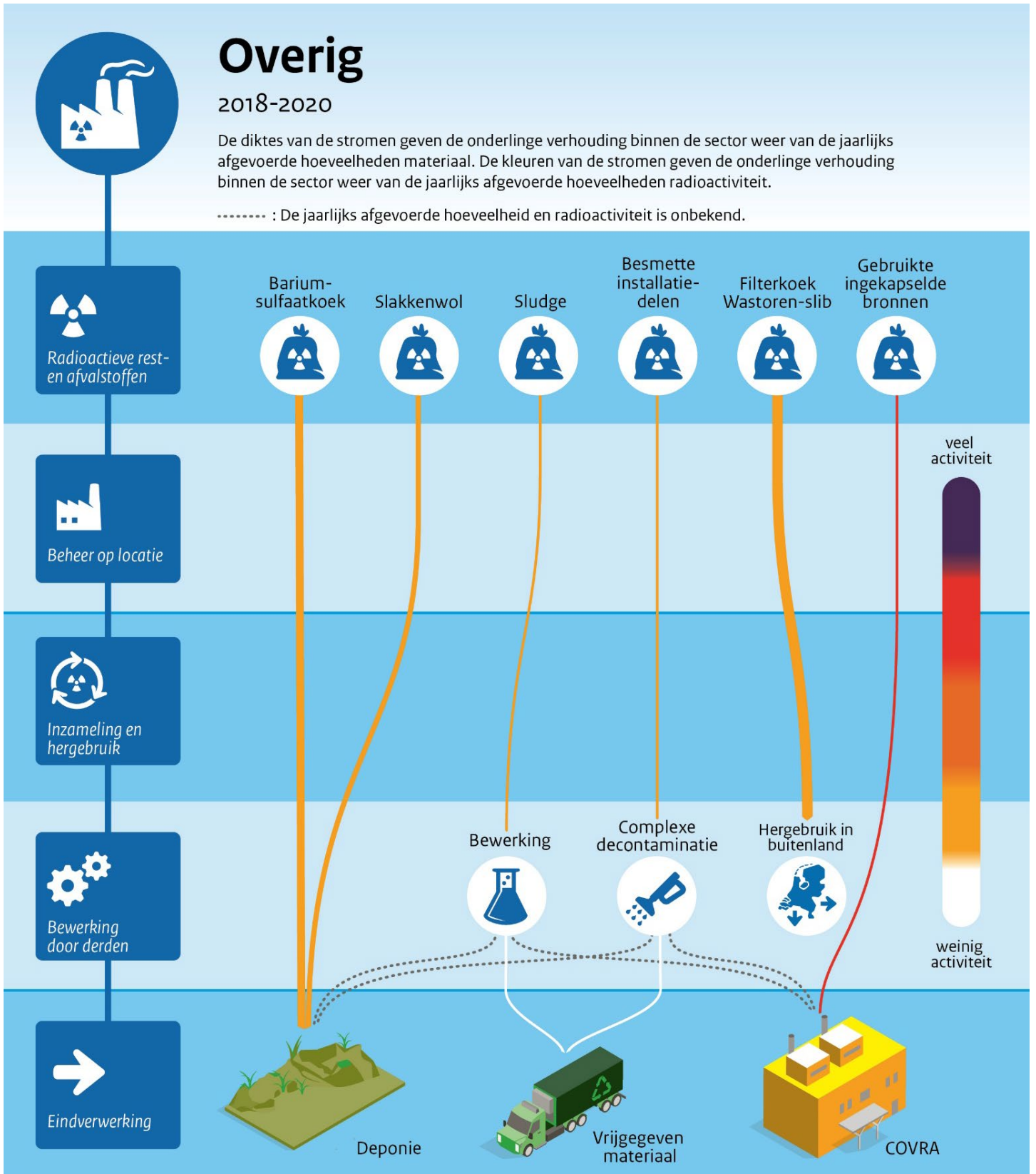
<sup>61</sup> In het verleden waren alle handelingen met radioactiviteit vergund aan één onderneming, sinds 2015 is dit verdeeld onder vijf ondernemingen.

Daarnaast is vergunning verleend voor het voorhanden hebben van een (onbedoelde) vergunningplichtige hoeveelheid I-125 en Cs-137 in respectievelijk een crematorium en een voormalige gasgestookte elektriciteitscentrale.

- De opslag en berging van (verarmd) uranium bevattende katalysatorresten, die in het verleden zijn ontstaan bij de productie van acrylonitril [216] (zie ook paragraaf 15.3.2).
- Slakkenwol is in het verleden vanwege de thermisch en akoestisch isolerende eigenschappen toegepast als hittebestendig isolatiemateriaal in industriële gebouwen, branddeuren, brandkasten, transportleidingen en installaties [216]. Inmiddels wordt slakkenwol al enkele decennia niet meer actief toegepast, maar er is nog een 'historische voorraad' aanwezig. Momenteel is aan acht ondernemingen vergunning verleend voor het voorhanden hebben van (niet-vrijgestelde) slakkenwol. Vrijwel al deze ondernemingen hebben daarnaast ook een vergunning voor het voorhanden hebben van ingekapselde bronnen en/of toestellen.

### **15.3 Productie radioactieve rest- en afvalstoffen**

De reguliere radioactieve rest- en afvalstromen afkomstig van de sector Overig zijn schematisch weergegeven in Figuur 22. De reguliere radioactieve rest- en afvalstromen zijn vervolgens beschreven in paragraaf 15.3.1, en samengevat in Tabel 34. Een inschatting van de te verwachten radioactieve inventaris die vrijkomt bij ontmanteling van de installaties is gegeven in paragraaf 15.3.2.



Figuur 22 Radioactieve rest- en afvalstromen sector Overig.



**15.3.1** *Reguliere productie en beheer van radioactieve rest- en afvalstoffen*  
De belangrijkste reguliere radioactieve rest- en afvalstoffen afkomstig van de sector *Overig* zijn:

- Gebruikte ingekapselde bronnen;
- Specifieke radioactieve rest- en afvalstoffen afkomstig van zoutwinning;
- Specifieke radioactieve rest- en afvalstoffen afkomstig van zinkproductie;
- Specifieke radioactieve rest- en afvalstoffen afkomstig van katalysatorproductie;
- Specifieke radioactieve rest- en afvalstoffen afkomstig van de aardgasdistributie-infrastructuur;
- Slakkenwol en slakkenwolhoudend materiaal.

De naar de COVRA afgevoerde radioactieve rest- en afvalstoffen van kunstmatige oorsprong - niet zijnde ingekapselde bronnen - afkomstig van de sector *Overig* bedroeg in de periode 2018-2020 minder dan 0,02% van de totale afgevoerde activiteit [44]. Deze stroom wordt in dit onderzoek daarom niet verder uitgewerkt. Verder geldt dat in de periode 2018-2020 geen verarmd uranium als splijtstofhoudende radioactieve afvalstof is afgevoerd. Bij de productie van kunstmest en de overslag van minerale zanden worden naar verwachting geen reguliere rest- en afvalstoffen geproduceerd [213, 214].

De opgesomde radioactieve rest- en afvalstoffen worden hieronder kort beschreven. In Tabel 34 zijn deze gegevens samengevat.

*Gebruikte ingekapselde bronnen*

Afvoer van een ingekapselde bron is onder meer nodig wanneer het stralingsniveau niet meer voldoet voor de toepassing. Afhankelijk van de toepassing is dit doorgaans na ca. één tot twee halveringstijden [23, 217]. Afhankelijk van de eindbestemming wordt een gebruikte ingekapselde bron na gebruik aangemerkt als radioactieve rest- of afvalstof. Op basis van cijfers van de COVRA en de onderneming die gebruikte bronnen ontmantelt (zie paragraaf 16.2.1) wordt geschat dat er in de periode 2018-2020 gemiddeld jaarlijks 250-350 gebruikte bronnen ( $1,1 \times 10^3$  GBq, < 1 ton) zijn afgevoerd.

*Specifieke rest- en afvalstoffen afkomstig van zoutwinning*

Bij zoutwinning ontstaat een neerslag van bariumsulfaat ( $\text{BaSO}_4$ ), met daarin van nature voorkomende radionucliden. Dit bariumsulfaat wordt in *big bags* verzameld en zoveel mogelijk ontwaterd, waarna 'bariumsulfaatkoek' resteert [218]. Bariumsulfaatkoek bevat radionucliden uit de U-238-reeks en de Th-232-reeks, en daarnaast K-40. De activiteitsconcentratie van dit materiaal bedraagt maximaal 9,4 Bq/g U-238 [219], en het materiaal is daarmee registratieplichtig. De bariumsulfaatkoek wordt als radioactieve afvalstof aangemerkt, net als de materialen en onderdelen die ermee zijn besmet en niet kunnen worden gedecontamineerd.

*Specifieke rest- en afvalstoffen afkomstig van zinkproductie*

Bij de productie van zink uit (vrijgesteld) zinkconcentraat ontstaan twee typen radioactieve rest- en afvalstoffen:

- Jaarlijks wordt ca. 700 ton vochtige radioactieve filterkoek geproduceerd, met een gemiddelde activiteitsconcentratie van 10 Bq/g (droge stof) U-238 [220]. Na ontwatering op locatie resteert jaarlijks ca. 400 ton droog materiaal, met een totale activiteit van ca. 4 GBq. Afhankelijk van de chemische samenstelling wordt het materiaal 'kobaltkoek' of 'koperkoek' genoemd. In verband met beoogd hergebruik wordt het materiaal als radioactieve reststof aangemerkt.
- Daarnaast komen grote hoeveelheden zogenoemd wastorenslib vrij. Na ontwatering op locatie gaat het jaarlijks om ca. 1.500 ton (ca. 4 GBq) [221]. Het materiaal bevat zo'n 7% kwiksulfide. Voorheen werd het materiaal als (vrijgestelde) afvalstof aangemerkt, maar recentelijk is duidelijk geworden dat een deel van het wastorenslib registratieplichtige activiteitsconcentraties (tot 5 Bq/g) Pb-210 bevat [222]. In verband met het ontbreken van een perspectief op hergebruik zou dit registratieplichtige deel strikt genomen als een radioactieve afvalstof moeten worden aangemerkt.

*Specifieke rest- en afvalstoffen afkomstig van katalysatorproductie*

Bij de productie van katalysator voor de olie- en gasindustrie wordt naast vrijgestelde grondstoffen zirkoon als hulpstof toegepast. In filterzakken kan na afloop Th-232 worden waargenomen, in vergunningplichtige activiteitsconcentraties [10]. Daarnaast kunnen in de installatie radiumscales aanwezig zijn [122]. Hiervoor is aan de betreffende onderneming het aanwezig zijn van natuurlijke bronnen met een maximale activiteitsconcentratie van 1.500 Bq/g vergund [223]. Het voorgaande betekent dat rekening moet worden gehouden met afvoer van radioactieve afvalstoffen.

*Specifieke rest- en afvalstoffen afkomstig van aardgasdistributie*

Bij de distributie van aardgas kunnen radioactieve rest- en afvalstoffen ontstaan. Radioactieve sludge en filtermateriaal kunnen vrijkomen bij het wisselen van filters en het voor onderhoud openen van een transportleiding, installatie of put. Daarnaast kunnen bij onderhoud onderdelen met radioactieve oppervlaktebesmetting vrijkomen. Net als in de sector *Geothermie* geldt dat Pb-210+ het belangrijkste nuclide is [224].

- Sludge is een mengsel van vaste en vloeibare componenten, waarbij in deze sector de sludge gemiddeld voor 70% uit vaste stof bestaat [225]. Het grootste deel van de radioactiviteit is aanwezig in de vaste-stoffractie. De activiteitsconcentratie varieert, en bedraagt maximaal 585 Bq/g Pb-210+ (droge stof). Het materiaal is daarmee deels registratieplichtig en deels vergunningplichtig. Sludge wordt - net als in de sector *Olie- en gasproductie* - samen met spoelwater enige tijd opgeslagen in een bezinkcontainer, waarna het water wordt 'afgeroomd'. In verband met de noodzakelijke bewerking wordt de resterende sludge daarna als radioactieve reststof aangemerkt, samen met eventueel filtermateriaal [10].

- Onderdelen met radioactieve oppervlaktebesmetting of afzettingen (scale) kunnen worden aangetroffen op plaatsen waar grote turbulentie optreedt, zoals in regelaars, compressoren, gasmeters en bochten. Dergelijke onderdelen worden in verband met de beoogde decontaminatie als radioactieve reststoffen aangemerkt.

#### *Slakkenwol en slakkenwolhoudend materiaal*

Bij onderhoud aan en ontmanteling van installaties kan (soms onverwacht) slakkenwol en/of slakkenwolhoudend materiaal vrijkomen. Ook wordt het materiaal soms aangetroffen in brandkasten en in andere afvalstoffen, zoals schroot. Slakkenwol is toxicologisch en qua structuur verwant met steen- en glaswol, en bevat radionucliden uit de vervalreeksen van Th-232 en U-238. Gerapporteerde activiteitsconcentraties (moedernucliden) variëren, maar liggen grofweg tussen de 5 en 15 Bq/g [122, 226]. Het materiaal is daarmee registratieplichtig of (sporadisch) vergunningplichtig<sup>62</sup>. Net als bij asbest geldt dat de blootstellingsrisico's (zeer) beperkt zijn, zolang het materiaal niet wordt bewerkt.

De massa van het af te voeren materiaal wordt meestal bepaald door het dragermateriaal, en niet door de slakkenwol zelf. De technische en economische haalbaarheid van het scheiden van slakkenwol van het dragermateriaal verschilt sterk per geval.

Indien geen sprake is van nuttige toepassing (zie paragraaf 15.4.4) moet het materiaal worden aangemerkt als radioactieve afvalstof. In de periode 2018-2020 betrof dit gemiddeld ca. 50 ton (ca. 0,1 GBq) per jaar.

<sup>62</sup> Na het in werking treden van het Bbs in 2018 hoeft er geen somregel meer te worden toegepast bij het bepalen van het toepasselijke niveau van wettelijke controle. Hierdoor hoeft slakkenwol - in tegenstelling tot de periode voor het Bbs - doorgaans niet (meer) als vergunningplichtig te worden aangemerkt.

Tabel 34 Reguliere radioactieve rest- en afvalstoffen sector Overig in de periode 2018-2020.

Type rest- of afvalstof	Eigenschappen relevant voor afvoer	Beheerroute	Afvoer per jaar (gemiddeld over 2018-2020)	
			(ton)	(GBq)
Gebruikte ingekapselde bronnen	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Radioactiviteit in ingekapselde vorm</li> <li>– Diverse activiteit en nucliden</li> <li>– Vergunningplichtig</li> </ul>	Afvoer als vergunningplichtige radioactieve afvalstof naar de COVRA, al dan niet na inzameling	<1 (250-350 stuks)	$1,1 \times 10^3$
Bariumsulfaatkoek afkomstig van zoutwinning	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Stabiel en vast materiaal.</li> <li>– Activiteitsconcentratie max. 9,4 Bq/g U-238</li> <li>– Registratieplichtig</li> </ul>	Afvoer als registratieplichtige radioactieve afvalstof voor stort op aangewezen deponie	$1,6 \times 10^2$	$7 \times 10^{-1}$
Filterkoek (kobaltkoek en koperkoek) afkomstig van zinkproductie	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Stabiel en vast materiaal.</li> <li>– Activiteitsconcentratie gemiddeld 10 Bq/g U-238</li> <li>– Deels registratieplichtig en deels vergunningplichtig</li> </ul>	Afvoer als vergunningplichtige radioactieve reststof voor hergebruik in buitenland	$4,0 \times 10^2$	$4 \times 10^0$
Wastorenslib afkomstig van zinkproductie	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Kwikhoudend materiaal</li> <li>– Activiteitsconcentratie tussen 0 en 5 Bq/g Pb-210</li> <li>– Deels vrijgesteld en deels registratieplichtig</li> </ul>	Afvoer als registratieplichtige radioactieve afvalstof voor opslag voor onbepaalde tijd in ondergrondse deponie in Duitsland	$1,5 \times 10^3$	$4 \times 10^0$
Sludge afkomstig uit de aardgasdistributie-infrastructuur	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Mengsel van vaste en vloeibare componenten, 70% vaste stof</li> <li>– Activiteitsconcentratie Pb-210 registratie- of vergunningplichtig</li> </ul>	Afvoer als radioactieve reststof voor bewerking naar sector <i>Ontmanteling, decontaminatie, bewerking</i> , gericht op acceptatie voor stort onder de beschikking specifieke vrijgave van Mineralz Maasvlakte	$9 \times 10^0$	$5 \times 10^{-2}$

Type rest- of afvalstof	Eigenschappen relevant voor afvoer	Beheerroute	Afvoer per jaar (gemiddeld over 2018-2020)	
			(ton)	(GBq)
Besmette onderdelen afkomstig uit de aardgasdistributie-infrastructuur	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Metalen onderdelen</li> <li>– Vergunningplichtige scale en/of oppervlaktebesmetting</li> </ul>	Afvoer als radioactieve reststof voor decontaminatie naar sector <i>Ontmanteling, decontaminatie, bewerking</i> , gericht op uiteindelijke vrijgave	$3 \times 10^0$	Onbekend
Slakkenwol of slakkenwol-houdend materiaal	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Steenwol/glaswolachtig materiaal, los of gehecht aan andere materialen</li> <li>– Activiteitsconcentratie U-238 en/of Th-232 registratie- of vergunningplichtig</li> </ul>	Afvoer als registratieplichtige radioactieve afvalstof voor stort op aangewezen deponie	$5 \times 10^1$	$1 \times 10^{-1}$

### 15.3.2 *Inventaris van rest- en afvalstoffen bij ontmanteling*

De inventaris aan radioactieve rest- en afvalstoffen die naar verwachting zal vrijkomen bij ontmanteling van installaties binnen de sector *Overig* is in te delen in:

- Radioactieve stoffen aanwezig in aardgasdistributie-infrastructuur;
- Katalysatorresten;
- Slakkenwol en slakkenwolhoudend materiaal;
- Overige in installaties aanwezige vaste radioactieve stoffen.

In Tabel 35 is een overzicht gegeven van deze rest- en afvalstoffen, en zijn schattingen gegeven van de hoeveelheden. Deze hoeveelheden zijn afkomstig uit de betreffende Kernenergiewetvergunningen (zoals van kracht ten tijde van het schrijven van dit rapport), en/of uit de bijbehorende risico-inventarisatie en -evaluaties (RI&E's).

#### *Radioactieve stoffen in aardgasdistributie-infrastructuur*

De Nederlandse aardgasdistributie-infrastructuur bestaat uit een hoofdtransportleidingnet en een regionaal transportleidingnet, met in totaal ruim 136.000 km aan gasleidingen [227] en een groot aantal installaties, waaronder vijf installaties voor gasopslag. Afhankelijk van de toekomstplannen voor het Nederlandse aardgasnetwerk, zal deze infrastructuur op termijn mogelijk deels of geheel moeten worden ontmanteld.

Als gevolg van verval van in het aardgas aanwezig radon is het in beginsel mogelijk radioactiviteit van natuurlijke oorsprong aan te treffen in al deze installaties en leidingen. Het betreft voornamelijk besmette onderdelen, die naar verwachting als radioactieve reststoffen zullen worden afgevoerd naar de sector *Ontmanteling, decontaminatie en bewerking voor decontaminatie*. De ondernemingen hebben geen informatie beschikbaar gesteld over te verwachten hoeveelheden. Wel is voor ca. dertig locaties [228] radioactiviteit in vergunningplichtige activiteitsconcentraties gerapporteerd. In verband met de aanwezigheid van scheidingsinstallaties en het geregeld uitvoeren van onderhoud, is het de verwachting dat bij ontmanteling verwaarloosbare resterende hoeveelheden sludge aanwezig zullen zijn [162].

#### *Katalysatorresten*

Een bijzonder onderdeel van de radioactieve inventaris binnen de sector *Overig* wordt gevormd door de aanwezigheid op een locatie in Limburg van 'katalysatorresten' die verarmd uranium bevatten. Dit materiaal is in het verleden ontstaan bij de productie van acrylonitril [216]. Niet bekend is of het op dat moment al onder het regime van de Kernenergiewet viel.

Ca. 10 ton van dit materiaal is in geïmmobiliseerde toestand aanwezig in twee installaties, en ca. 686 ton is aanwezig in een apart vergunde [229] katalysatorberging<sup>63</sup>. Het materiaal heeft een activiteitsconcentratie van ca. 1.825 Bq/g U-238, hetgeen overeen komt

<sup>63</sup> Merk op dat doorgaans wordt gesproken over een 'berging', maar dat in de Kernenergiewetvergunning 'opslag' is vergund.

met een massagehalte van ca. 14% uranium [230]. Op grond hiervan moet dit materiaal strikt genomen worden aangemerkt als 'splijtstof'.

Voor zowel de installaties als de berging geldt dat het materiaal niet is aangemerkt als radioactieve afvalstof. De katalysatorresten in de installaties zullen aan het einde van de levensduur van de installaties worden verwijderd. Op dat moment zal het materiaal als splijtstofhoudende afvalstof worden aangemerkt en afgevoerd, tenzij er een hergebruikoptie of bewerkingsroute beschikbaar is. Mogelijk zal iets vergelijkbaars gaan gelden voor het materiaal in de katalysatorberging. De berging is thans ongeveer halverwege haar initieel verwachte levensduur van 50 jaar [23].

De situatie wordt actief beheerd volgens een saneringsplan, dat in juni 2000 door de provincie Limburg is vastgesteld. Conform dit plan is een aantal voorzieningen getroffen om de veiligheid te waarborgen. Uit de monitoring over de afgelopen jaren blijkt dat de voorzieningen naar behoren functioneren, en dat er wat betreft de werking van deze voorzieningen geen bijzonderheden zijn te melden. Een nieuw ontwerp-saneringsplan is begin 2022 door de provincie ter inzage gelegd [231]. Er zijn momenteel geen concrete plannen om de berging te saneren, wat mogelijk het moment zou kunnen zijn om de katalysatorresten als splijtstofhoudende afvalstof aan te merken.

#### *Slakkenwol*

Veel slakkenwol in industriële installaties is inmiddels verwijderd. Op basis van de ten tijde van het schrijven van dit rapport vergunde hoeveelheden, is de inschatting dat de totale hoeveelheid slakkenwol en slakkenwolhoudend materiaal in Nederlandse installaties minimaal ca. 500 ton (ca. 5 GBq) bedraagt [232]. Het betreft zowel registratieplichtig als vergunningplichtig materiaal.

#### *Overige in installaties aanwezige radioactieve stoffen*

In diverse overige installaties zijn besmettingen en/of afzettingen aanwezig die als radioactief moeten worden aangemerkt. Voorbeelden zijn scale, cokes, asconcentraat en koolstofmateriaal, die zijn ontstaan als gevolg van onder meer de verbranding van steenkool of de raffinage van aardolie. Activiteitsconcentraties bedragen tussen de 19 en 300 Bq/g Pb-210 en Po-210 [233],[234],[235]. Op basis van de ten tijde van het schrijven van dit rapport in Kernenergiewetvergunningen, meldingen en registraties opgenomen hoeveelheden, is de inschatting dat de totale hoeveelheid overige radioactieve materialen van natuurlijke oorsprong in Nederlandse installaties minimaal ca. 65 ton (13 GBq) bedraagt [58].

Het is ten slotte niet ondenkbaar dat er hoeveelheden radioactief materiaal aanwezig zijn in installaties die in dit onderzoek niet in beeld zijn gekomen. Te denken valt aan slakkenwol, en aan onbekende hoeveelheden radioactiviteit in installaties voor bijvoorbeeld zoutwinning, kunstmestproductie en overslag van mineralen.

Tabel 35 Geschatte inventaris aan radioactieve rest- en afvalstoffen voor de sector Overig

Type rest- of afvalstof	Belangrijkste eigenschappen	Inventaris	
		(ton)	(GBq)
Radioactieve stoffen in aardgasdistributie-infrastructuur	- Metalen onderdelen besmet met radioactiviteit van natuurlijke oorsprong, sludge en filtermateriaal - Belangrijkste nuclide Pb-210+ - Vermoedelijk vergunningplichtig	onbekend	onbekend
Verarmd uranium bevattende katalysator in installaties	- In geïmmobiliseerde toestand - Aangemerkt als 'spleijstof' - Vergunningplichtig	10	18,25
Verarmd uranium bevattende katalysator in berging		686	Ca. 1250
Vergunningplichtige slakkenwol of slakkenwolhoudende materialen in installaties	- Steen/glaswolachtig materiaal, los of gehecht aan andere materialen - Registratie- of in sommige gevallen vergunningplichtig	Ca. 500	5
Overige in installaties aanwezige radioactieve stoffen	- Diverse materialen met radioactiviteit van natuurlijke oorsprong - Belangrijkste nuclide Pb-210+ - Registratie- of (meestal) vergunningplichtig	65	13

## 15.4 Beheer reguliere radioactieve rest- en afvalstoffen

### 15.4.1 (Verval)opslag

In de meeste vergunningen is een standaardvoorschrift opgenomen over opslag op locatie voor een termijn van maximaal twee jaar, ten behoeve van verval of een efficiënte afvoer.

Hoewel voorstelbaar voor bijvoorbeeld ondernemingen die handelingen verrichten met Tc-99m en I-125, zijn geen specifieke voorbeelden gevonden van opslag van radioactieve afvalstoffen met als doel verval tot onder de vrijgavegrenzen (vervalopslag).

De opslag van katalysator (zie paragraaf 15.3.2) is te beschouwen als een vorm van opslag van radioactieve (rest)stoffen.

### 15.4.2 Scheiding en decontaminatie op locatie

Hoewel hier geen informatie over is aangetroffen, is het voorstelbaar dat door ondernemingen binnen de aardgasdistributie-infrastructuur eenvoudige decontaminatie op locatie plaatsvindt van onderdelen die zijn besmet met radioactiviteit van natuurlijke oorsprong.



#### 15.4.3 *Hergebruik op locatie*

Verskillende grotere ondernemingen maken melding van het hergebruik van ingekapselde bronnen voor een andere toepassing binnen de onderneming, opdat minder nieuwe bronnen behoeven te worden aangeschaft, en minder gebruikte bronnen behoeven te worden afgevoerd [213, 217]. Vermeldenswaardig is verder dat aan één (grotere) onderneming ten behoeve van een dertigtal andere (kleinere) ondernemingen een Kernenergiewetvergunning is verleend voor het toepassen van ingekapselde bronnen op de locatie. Deze onderneming voert namens de kleinere ook het beheer over deze bronnen [236]. De grotere onderneming beheert een *pool* van bronnen die in één van deze kleinere ondernemingen als 'gebruikte bron' zijn aangemerkt, in afwachting van hergebruik in één van de andere ondernemingen. Dit draagt bij aan het verminderen van de hoeveelheid bronnen die als radioactieve rest- of afvalstof moeten worden aangemerkt.

#### 15.4.4 *Afvoer voor hergebruik*

Gebruikte ingekapselde bronnen worden in sommige gevallen geretourneerd aan de leverancier, al dan niet voor hergebruik. Voor bronnen afkomstig van industriële radiografie is de inschatting is dat gaat om 100-200 bronnen per jaar [213]. Voor de gehele sector zijn geen cijfers beschikbaar.

Een andere mogelijke vorm van hergebruik is nuttige toepassing van registratie- en vergunningplichtige slakkenwol op de Maasvlakte-deponie (zie paragraaf 17.4.2). Hiervan is de periode 2018-2020 geen gebruik gemaakt.

#### 15.4.5 *Afvoer naar buitenland*

Koperkoek en kobaltkoek afkomstig van zinkproductie worden als radioactieve reststof voor hergebruik afgevoerd naar het buitenland [220]. In de periode 2018-2020 betrof dit gemiddeld 400 ton (ca. 7 GBq) per jaar. Er zijn geen aanwijzingen gevonden dat dit leidt tot retour van radioactieve afvalstoffen naar Nederland.

Het wastorenslib afkomstig van zinkproductie wordt in verband met de aanwezigheid van kwik al sinds jaren als afvalstof afgevoerd naar een ondergrondse deponie in Duitsland, waar het voor onbepaalde tijd wordt opgeslagen. Zoals aangegeven in paragraaf 15.3.1 moet een deel van het materiaal sinds de implementatie van richtlijn 2013/59/Euratom als registratieplichtige radioactieve afvalstof worden aangemerkt. Strikt genomen levert deze praktijk van afvoer - althans voor het registratieplichtige deel - strijd op met het verbod op afvoer van radioactieve afvalstoffen naar een buitenlandse eindbestemming op grond van artikel 4, vierde lid, van richtlijn 2011/70/Euratom [3]. Naar aanleiding hiervan is de betreffende onderneming de beheerroute aan het heroverwegen.

#### 15.4.6 *Afvoer voor bewerking*

Sludge afkomstig van de distributie van aardgas wordt als radioactieve reststof voor bewerking afgevoerd naar externe dienstverleners binnen de sector *Ontmanteling, decontaminatie en bewerking*. Het betreft jaarlijks naar schatting gemiddeld ca. 9 ton (ca. 0,05 GBq) [10]. Omdat het materiaal niet voldoet aan de definitie 'natte sludges' in de

Verordening basisveiligheidsnormen stralingsbescherming, is inmiddels vergunning verleend om bewerkingsresiduen af te mogen voeren naar de aangewezen deponie op de Maasvlakte, onder de specifieke vrijgavebeschikking van Mineralz [237] (zie ook hoofdstuk 17.4.3).

Naast sludge voeren de ondernemingen die actief zijn binnen de aardgasdistributie jaarlijks naar schatting ca. 3 ton materiaal met vergunningplichtige oppervlaktebesmetting als radioactieve reststof voor decontaminatie af naar externe dienstverleners binnen de sector *Ontmanteling, decontaminatie en bewerking* [10].

#### 15.4.7 *Afvoer naar aangewezen deponie*

In de periode 2018-2020 zijn per jaar gemiddeld ca. 158 ton (ca. 0,7 GBq) (materiaal met) bariumsulfaatkoek en ca. 50 ton (ca. 0,1 GBq) per jaar aan registratieplichtige slakkenwol en slakkenwolhoudend materiaal afgevoerd naar een aangewezen deponie [152]. Er zijn in de periode 2018-2020 geen radioactieve afvalstoffen afkomstig van katalysatorproductie afgevoerd naar een aangewezen deponie.

#### 15.4.8 *Afvoer naar de COVRA*

Voor de afvoer van gebruikte ingekapselde bronnen die niet meer zijn te hergebruiken, geldt dat de voorkeur voor de afvoerroute per onderneming verschilt. Door sommige ondernemingen wordt overwogen dat bronnen bij verschillende leveranciers zijn ingekocht, en dat één uniforme afvoerroute de voorkeur heeft. Deze ondernemingen voeren af naar de COVRA. Inclusief rookmelders ging het daarbij in de periode 2018-2020 gemiddeld om  $1,1 \times 10^3$  GBq per jaar [44]. Andere ondernemingen geven de voorkeur aan het retourneren van gebruikte bronnen naar de leverancier (zie paragraaf 15.4.4).

In de periode 2018-2020 zijn geen slakkenwol, slakkenwolhoudend materiaal of radioactieve afvalstoffen afkomstig van katalysatorproductie afgevoerd naar de COVRA [44].

#### 15.4.9 *Lozing*

Er zijn geen gegevens gevonden over lozingen door ondernemingen binnen de sector *Overig*.

### 15.5 **Prognose productie radioactieve rest- en afvalstoffen**

Uit Tabel 34 valt op te maken dat de reguliere radioactieve afvalproductie binnen de sector *Overig*- qua massa - vrijwel geheel wordt bepaald door de stroom registratieplichtige bariumsulfaatkoek afkomstig van zoutwinning. Deze stroom heeft een omvang van gemiddeld ca. 150 ton (0,7 GBq) per jaar. De hoeveelheid af te voeren bariumsulfaatkoek is gekoppeld aan de productie, en is daarmee afhankelijk van de marktvraag naar calciumchloride. De betreffende onderneming verwacht desgevraagd geen grote toe- of afname hiervan. Onzeker is wat in de toekomst de bestemming wordt van het registratieplichtige wastorenslib afkomstig van zinkproductie (zie paragraaf 15.3.1). Mogelijk zal een deel hiervan in de toekomst als radioactieve afvalstof moeten worden beheerd en afgevoerd. Voor de overige in paragraaf 15.3.1 beschreven reguliere radioactieve afvalstromen wordt aangenomen dat deze in de komende decennia

ongewijzigd blijven bestaan. Voor wat betreft de jaarlijks afgevoerde activiteit is de stroom gebruikte ingekapselde bronnen bepalend. Over de toekomstige ontwikkeling hiervan is geen informatie gevonden.

Wat betreft de in de toekomst te voorziene stromen ten gevolge van ontmanteling blijkt uit Tabel 35 dat slakkenwol en slakkenwolhoudend materiaal qua massa de grootste bijdrage zullen geven. Indien wordt aangenomen dat de gehele inventaris in de komende vijftig jaar wordt verwijderd, dan betekent dit een stroom van gemiddeld ca. 10 ton (ca. 0,1 GBq) registratie- of vergunningplichtig radioactief afval per jaar. Er zijn geen cijfers beschikbaar voor de radioactieve rest- en afvalstoffen die zullen vrijkomen als gevolg van de ontmanteling van de Nederlandse aardgasdistributie-infrastructuur.

Voor wat de in paragraaf 15.3.2 beschreven katalysatorresten betreft, is momenteel niet duidelijk wat de formele status van het materiaal in de toekomst zal zijn. Het lijkt momenteel niet aannemelijk dat het materiaal ooit nog gaat worden (her)gebruikt, maar het is ook (nog) niet aangemerkt als 'radioactieve afvalstof'. De vraag is ook of dat wel voor de hand ligt, gezien de afvoerverplichting die ontstaat op het moment dat het als radioactief afval is aangemerkt, en het feit dat het waarschijnlijk niet eenvoudig zal zijn het te verwijderen, in elk geval niet uit de berging. Zolang hierover geen duidelijkheid bestaat, moet er in beginsel rekening worden gehouden met een toekomstige stroom splijtstofhoudend afval. Op dit moment is niet te bepalen wanneer en in welk tempo dit aan de orde zal zijn.

De reguliere productie van radioactieve reststoffen wordt vrijwel geheel bepaald door de stromen afkomstig van de productie van zink. Zoals aangegeven in paragraaf 15.4.5 wordt dit materiaal afgevoerd naar het buitenland, deels voor bewerking en deels voor berging. Wat dat laatste betreft is het goed denkbaar dat in de toekomst een andere beheerroute moet worden gezocht, met uiteindelijke stort op een aangewezen deponie als mogelijk gevolg.

Wat betreft de stroom ingekapselde bronnen geldt dat de verschuiving van Co-60- naar Cs-137-bronnen (zie paragraaf 15.2.1) op termijn mogelijk waarneembaar zal zijn in de samenstelling van de stroom gebruikte ingekapselde bronnen. In verband met de langere levensduur is het daarnaast niet ondenkbaar dat de jaarlijkse hoeveelheid gebruikte bronnen per saldo uiteindelijk enigszins zal afnemen.

## **15.6 Perspectief op verdere preventie en minimalisatie**

Voor vergunningplichtige slakkenwol bestaat de mogelijkheid van nuttige toepassing op de Maasvlakte-deponie. Dit is echter alleen economisch haalbaar als het gaat om substantiële hoeveelheden [154]. Daarnaast is in een octrooi geclaimd dat het technisch mogelijk is om kleine hoeveelheden slakkenwol toe te passen in beton voor de weg- en waterbouw [238]. Beide opties bieden in zekere zin een perspectief om de hoeveelheid als radioactieve afvalstof aan te merken materiaal te reduceren.

De afgelopen jaren is een paar keer onderzocht of er mogelijkheden zijn de bariumsulfaatkoek afkomstig van zoutwinning nuttig toe te passen, als alternatief voor stort van het materiaal op een aangewezen deponie [218]. Tot op heden is het echter niet gelukt hiervoor een toepassing te vinden.

In de industriële radiografiebranche bestaat de tendens om waar mogelijk over te stappen van ingekapselde bronnen naar röntgenapparatuur. Naast vermindering van de hoeveelheid gebruikte ingekapselde bronnen zijn onder meer optimalisatie van bescherming tegen straling en kosten voor beveiliging en borgstelling belangrijke overwegingen [213].

## 16 Ontmanteling, decontaminatie en bewerking

### 16.1 Inleiding

In dit rapport zijn diverse voorbeelden gegeven van radioactieve materialen die met het oog op te voorziene bewerking worden aangemerkt als radioactieve reststof. Dit in tegenstelling tot radioactieve afvalstoffen, waarvoor geen verdere bewerking meer is voorzien. Bewerking van radioactieve reststoffen vindt doorgaans plaats in verband met beoogd hergebruik of recycling van onderdelen en materialen, het minimaliseren van de hoeveelheid als radioactief afval af te voeren materiaal, en/of het voorbereiden op eindverwerking. In veel gevallen vindt bewerking plaats door gespecialiseerde ondernemingen buiten de sector waar deze reststoffen zijn ontstaan. Deze ondernemingen worden gerekend tot de sector *Ontmanteling, decontaminatie en bewerking*.

Bij het bewerken van radioactieve reststoffen binnen de sector *Ontmanteling, decontaminatie en bewerking* ontstaan radioactieve afvalstoffen. Voor deze sector is er dus sprake van zowel aanvoer van radioactieve reststoffen, als afvoer van één of meer stromen radioactieve afvalstoffen. Daarnaast is sprake van afvoer van één of meer stromen vrijgegeven materiaal.

### 16.2 Definitie sector

De sector *Ontmanteling, decontaminatie en bewerking* is in dit onderzoek gedefinieerd als de ondernemingen binnen Nederland die zich richten op het bewerken van radioactieve reststoffen. Binnen deze sector kan nog een onderscheid worden gemaakt tussen ondernemingen die zich hoofdzakelijk richten op ontmantelings- en decontaminatiewerkzaamheden, en ondernemingen die zich hoofdzakelijk richten op sludge- en afvalwaterbewerking ('overige bewerking').

De op deze manier gedefinieerde sector bestaat uit zeventien ondernemingen. Aan de meeste van deze ondernemingen is op grond van de Kernenergiewet vergunning verleend voor handelingen met radioactieve stoffen. Twee ondernemingen maken gebruik van de Kernenergiewetvergunning van een andere onderneming, en in elk geval één onderneming richt zich op zowel decontaminatie als sludge- en afvalwaterbewerking. Eén onderneming opereert onder een (keten)registratie, en één onder een specifieke vrijgavebeschikking. In het vervolg van deze paragraaf wordt beschreven welke bewerkingsroutes zij aanbieden, hoeveel radioactieve reststoffen jaarlijks worden aangevoerd, en uit welke sectoren deze afkomstig zijn. Dit is samengevat in Tabel 36.

#### 16.2.1 *Ontmanteling en decontaminatie*

Een aantal ondernemingen heeft zich gespecialiseerd in de ontmanteling van grote (mijnbouw)installaties. Enkele van hen beperken zich tot het slopen van deze installaties, waarbij ze installatie-delen die zijn besmet met radioactiviteit van natuurlijke oorsprong zo veel als mogelijk scheiden van niet-besmette delen. Zij besteden de daadwerkelijke

decontaminatie van besmette delen uit aan andere ondernemingen binnen deze sector, al dan niet op eigen locatie. Er zijn ook ondernemingen die de decontaminatie zelf voor hun rekening nemen. Twee ondernemingen in Nederland richten zich op het decontamineren van gereedschap, onderdelen en schroot met radioactieve besmetting van natuurlijke oorsprong, afkomstig van externe partijen. In alle gevallen is het uiteindelijke doel zo veel mogelijk materiaal te kunnen vrijgeven voor hergebruik of recycling, vooral in het schrootcircuit. Qua aanvoer is er sprake van twee belangrijke stromen:

- De eerste stroom bestaat uit (grote delen van) afgedankte offshore platformen. Hoewel slechts een (zeer) klein deel van deze platformen radioactiviteit bevat en in aanmerking komt voor decontaminatie (zie textbox op pagina 249), wordt er in dit onderzoek vanuit gegaan dat deze (al dan niet uit voorzorg) geheel vallen onder het controlestelsel van het Bbs. Dat betekent dat een platform in zijn geheel als radioactieve reststof wordt beschouwd. Volgens deze benadering is in de periode 2018-2020 vanuit de sector *Olie- en gasproductie* gemiddeld ca. 5.000 ton per jaar aan dergelijk materiaal aangevoerd voor (verdere) ontmanteling [165]. Vanuit het buitenland werd daarnaast nog eens ca. 7.500 ton per jaar aangevoerd [12]. De totale aangevoerde hoeveelheid activiteit is geschat op basis van de na decontaminatie afgevoerde activiteit (zie paragraaf 16.3.1.1), die in totaal correspondeert met een ordegrrootte van 0,1 GBq per jaar.
- De tweede stroom betreft radioactief besmette installatieonderdelen, buisleidingen, etc. In de periode 2018-2020 is naar schatting gemiddeld 500-600 ton (ca. 0,7 GBq) [187, 228] per jaar aan dergelijk materiaal als radioactieve reststof aangevoerd voor decontaminatie. Deze reststoffen waren vooral afkomstig uit de sectoren *Olie- en gasproductie* (ca. 50% van de activiteit), *Geothermie* (ca. 35% van de activiteit) en uit het buitenland of van overige ondernemingen (ca. 15% van de activiteit). Uitgedrukt in massa% liggen deze verhoudingen anders: 70-75% van de aangevoerde massa is afkomstig uit de sector *Olie- en gasproductie*, en zo'n 10-15% uit de sector *Geothermie*. Dit is een aanwijzing dat reststoffen uit de sector *Geothermie* per kg gemiddeld meer radioactieve besmetting bevatten dan reststoffen uit de sector *Olie- en gasproductie*.

Eén onderneming heeft zich toegelegd op het verzamelen en ontmantelen van (ingekapselde) radioactieve bronnen van veelal kunstmatige oorsprong. Daarbij wordt de radioactieve component gescheiden van de niet-radioactieve componenten. De - in een aantal gevallen waardevolle - niet-radioactieve componenten worden afgevoerd als conventioneel afval, indien mogelijk naar het recyclingcircuit. Op deze manier wordt een aanzienlijke reductie van de hoeveelheid als radioactieve afvalstoffen af te voeren materiaal gerealiseerd.

De aanvoer betreft voornamelijk ionisatierookmelders<sup>64</sup>, thorium-bioscooplampen, en ingekapselde bronnen met onder meer Co-60, Ni-

<sup>64</sup> Ter illustratie: de betreffende onderneming stelt dat op deze manier sinds 2000 ca. 420.000 ionisatierookmelders zijn ingezameld en ontmanteld, waarmee ca. 42 ton radioactief afval is bespaard.

63, K-85, Sr-89 of Cs-137. De aanvoer wordt voor de periode 2018-2020 geschat op gemiddeld ca. 7.000 rookmelders, ca. 1.000 thoriumlampen en ca. 150 overige bronnen (in totaal 2 ton) per jaar [239], en is vooral afkomstig uit de sector *Overig*.

Ten slotte is in Nederland één onderneming gehuisvest die is gespecialiseerd in het industrieel reinigen (in dit rapport beschouwd als decontamineren) van met radioactieve stoffen besmette kleding, ondergoed, waszakken en aanverwante wasbare artikelen. Na reiniging wordt de kleding retour gestuurd naar de eigenaar. Omdat niet alle besmetting van de kleding kan worden verwijderd, ontstaat er gedurende de tijd een zekere opbouw van radioactieve stoffen op/in de werkkleding [46]. Dit betekent dat een deel van de gereinigde kleding vrijgesteld wordt geretourneerd, en een deel niet. In de periode 2018-2020 bedroeg de voor reiniging aangevoerde hoeveelheid radioactieve reststoffen gemiddeld 1.400 ton (5,2 GBq) per jaar. Verreweg het grootste deel (99,7% van de massa, 98% van de activiteit) was afkomstig uit het buitenland. De rest was afkomstig uit de sector *Nucleair* [46].

#### 16.2.2 *Overige bewerking*

Voor de bewerking van radioactieve sludge/slib en afvalwater zijn in Nederland verschillende opties voorhanden:

Voor sludge en afvalwater met kwikconcentraties tot 50 mg/kg is een bewerkingsroute beschikbaar die - min of meer gezamenlijk - door twee ondernemingen wordt aangeboden onder een ketenregistratie [10]. Bij deze bewerking worden registratieplichtige sludge en afvalwater als reststof gemengd met vrijgestelde sludge en afvalwater, en dit vrijgestelde mengsel wordt vervolgens ontwaterd. Het afgescheiden (eveneens vrijgestelde) water wordt als afvalwater verder verwerkt in een waterzuiveringsinstallatie. De resterende 'koek' wordt middels een pyrolyseproces ontdaan van de (vrijgestelde) koolwaterstoffen, en het vaste residu wordt uiteindelijk als vrijgesteld materiaal nuttig toegepast als toeslagmateriaal voor beton [240].

De aanvoer van radioactieve reststoffen op deze route bedroeg in de periode 2018-2020 ca. 150 ton (ca. 0,15 GBq) per jaar [228], en is afkomstig uit de sectoren *Olie en gasproductie* en *Geothermie*. Sinds 2018 is vergunning verleend voor het bewerken van beperkte hoeveelheden sludge uit het buitenland [241], maar er is geen informatie gevonden over hoeveelheden die in deze periode vanuit het buitenland zijn aangevoerd.

Voor sludge en afvalwater met hogere concentraties kwik en/of vergunningplichtige activiteitsconcentraties is een bewerkingsroute op basis van vacuümdestillatie beschikbaar. Die wordt door één onderneming aangeboden. Deze bewerking is vaak nodig in verband met de eisen die worden gesteld aan stort op een (al dan niet aangewezen) deponie, of aan ontvangst door de COVRA (zie hoofdstuk 17). Naast deze acceptatie-eisen kan massa- en/of volumereductie eveneens een reden zijn voor het laten bewerken van radioactieve sludge/slib en afvalwater. In deze route worden koolwaterstoffen, water en kwik met behulp van een vacuümdestillatie- en pyrolyseproces verwijderd, waarbij

in totaal gemiddeld ongeveer twee derde van de aangevoerde (vrijgestelde) massa wordt afgescheiden<sup>65</sup>. Het afgescheiden (vrijgestelde) kwik wordt voor permanente opslag afgevoerd naar een zoutmijn in Duitsland [19]. De aangevoerde activiteit blijft achter in het (steekvaste of droge) residu, dat afhankelijk van de activiteitsconcentratie registratie- of vergunningplichtig is. Deze route is in beginsel ook beschikbaar voor materiaalstromen met overige vaste componenten als filtermateriaal, scaling, PBM's, poetsdoeken, etcetera. Deze laatste stroom bedraagt (in massa en activiteit) slechts enkele procenten [189], en wordt daarom in dit onderzoek niet verder uitgewerkt.

De totale op deze twee routes aangevoerde hoeveelheid niet-vrijgestelde sludge en afvalwater bedroeg in de periode 2018-2020 gemiddeld ca. 500 ton (ca. 12 GBq) per jaar. Praktisch alle aanvoer (meer dan 97% van de activiteit, meer dan 99% van de massa) is afkomstig uit de sector *Olie- en gasproductie*, de rest is afkomstig uit de sector *Geothermie* [189]. Er zijn op deze route - voor zover bekend - in deze periode geen radioactieve reststoffen uit het buitenland aangevoerd.

Bij één onderneming is een bewerkingsroute beschikbaar voor het specifiek vrijgegeven radioactieve AVI-slib, afkomstig van de sector *Staalproductie* (zie hoofdstuk 9). De bewerkingsroute voorziet in het samenvoegen van het AVI-slib met vergelijkbare (niet-radioactieve) afvalstoffen, om de voor stort noodzakelijke steekvastheid te realiseren.

De activiteitsconcentraties van AVI-slib variëren, en kunnen oplopen tot maximaal 50 Bq/g, waarmee het deels registratieplichtig en deels vergunningplichtig is. Over de jaren 2018-2020 bevatte het gemiddeld 0,3 Bq/g Pb-210 en 8,5 Bq/g Po-210. Omdat het onderdeel is van de specifieke vrijgaveroute voor het AVI-slib afkomstig van de sector *Staalproductie*, beschikt de bewerkende onderneming niet over een vergunning of registratie op grond van de Kernenergiewet. De aanvoer van AVI-slib bedroeg in de periode 2018-2020 ca. 150 ton (ca. 1,3 GBq) per jaar [126].

<sup>65</sup> Hiermee wordt dus een massareductie van een factor 3 gerealiseerd.



Tabel 36 Ondernemingen binnen de sector Ontmanteling, decontaminatie en bewerking en jaarlijkse aanvoer radioactieve reststoffen

Subsector	Aantal ondernemingen	Dienstverlening	Aanvoer reststoffen (gemiddeld over 2018-2020)		Afkomstig uit sector(en)
			(ton per jaar)	(GBq per jaar)	
Ontmanteling en decontaminatie	12 <sup>(66)</sup>	- Decontamineren van gereedschap, onderdelen en schroot met radioactieve besmetting - Ontmantelen en decontamineren van (mijnbouw)installaties	Onderdelen: 5 - 6 x 10 <sup>2</sup> Platformen: 1,25 x 10 <sup>4</sup>	Onderdelen: 7 x 10 <sup>-1</sup> Platformen: 1 x 10 <sup>-1</sup>	Onderdelen: - <i>Olie- en gasproductie</i> : 50 act.% - <i>Geothermie</i> : 35 act.% - Buitenland en <i>Overig</i> : 15 act.% Platformen: - <i>Olie- en gasproductie</i> : 40 massa% - Buitenland en <i>Overig</i> : 60 massa%
	1	- Inzamelen, ontmantelen en afvoeren van radioactieve bronnen	2 x 10 <sup>0</sup>	Onbekend	- <i>Overig</i> : 100%
Industriële reiniging	1	Decontaminatie van kleding e.d. met radioactieve besmetting van kunstmatige (en eventueel natuurlijke) oorsprong	1,4 x 10 <sup>3</sup>	5,2 x 10 <sup>0</sup>	- <i>Nucleair</i> : 2 act.% - Buitenland: 98 act.%
Bewerking	2	- Ontwateren en verwijderen van vluchtige koolwaterstoffen uit registratieplichtig filtermateriaal, sludge en afvalwater	5 x 10 <sup>2</sup>	1,2 x 10 <sup>1</sup>	- <i>Olie- en gasproductie</i> : 97 act.% - <i>Geothermie</i> : 3 act.%
	1	- Ontwateren van en verwijderen van kwik en vluchtige koolwaterstoffen uit registratie- en vergunningplichtige sludge en afvalwater			
	1	- Voorbewerking van AVI-slib t.b.v. stort op een aangewezen deponie	1,5 x 10 <sup>2</sup>	1,3 x 10 <sup>0</sup>	- <i>Staalindustrie</i> : 100%

<sup>66</sup> Eén van deze ondernemingen valt ook onder 'Bewerking'.

### 16.3 Productie radioactieve rest- en afvalstoffen

In paragraaf 16.2 is de **aanvoer** van radioactieve **reststoffen** beschreven. **Productie** van radioactieve **afvalstoffen** binnen deze sector vindt vooral plaats tijdens de 'reguliere bedrijfsvoering'. Hiermee wordt bedoeld het ontmantelen van installaties, en het decontamineren en/of bewerken van de aangevoerde radioactieve reststoffen. Hierbij kan een onderscheid worden gemaakt tussen radioactieve afvalstoffen met Nederlandse oorsprong (paragraaf 16.3.1) en buitenlandse oorsprong (paragraaf 16.3.2). Eén en ander is samengevat in Tabel 37.

Daarnaast moet ook rekening worden gehouden met geringe hoeveelheden radioactieve rest- en afvalstoffen die in de toekomst zullen ontstaan als gevolg van de ontmanteling van de installaties binnen de sector *Ontmanteling, decontaminatie en bewerking*, nadat de reguliere bedrijfsvoering is beëindigd. Dit wordt beschreven in paragraaf 16.3.3.

#### 16.3.1 Radioactieve rest- en afvalstoffen uit reguliere bedrijfsvoering

##### 16.3.1.1 Ontmanteling en decontaminatie

De radioactieve rest- en afvalstoffen die binnen de sector *Ontmanteling, decontaminatie en bewerking* ontstaan als gevolg van het ontmantelen en decontamineren van radioactief besmette installaties en onderdelen van derden, zijn met name sludge en sludge-achtig materiaal, filtermateriaal, radioactief verontreinigd straalgrit en overige vaste radioactieve afvalstoffen.

- Afvalstoffen van ontmanteling van platforms
- Straalgrit
- Radioactieve residuen van kledingreiniging
- Ontmantelde bronnen
- Niet-radioactieve rest- en afvalstoffen
- Vacuümdestillatieresidu
- Bewerkt AVI-slib
- Overige vaste radioactieve afvalstoffen

Deze materialen worden hieronder kort beschreven.

##### *Afvalstoffen van ontmanteling van platforms*

Bij het ontmantelen en decontamineren van (onderdelen van) installaties kunnen resthoeveelheden sludge worden aangetroffen in tanks en leidingen. Ook kunnen bij de decontaminatie van besmette installatie-onderdelen mengsels ontstaan van verwijderde vaste radioactieve materialen (scaling), water en/of andere reinigingsvloeistoffen. Deze mengsels worden eveneens als sludges beheerd [145]. Voor de eigenschappen van sludges wordt verwezen naar de hoofdstukken over de sectoren *Olie- en gasproductie* en *Geothermie*. Afhankelijk van de activiteitsconcentratie in de vaste component wordt de sludge aangemerkt als radioactieve reststof of niet-radioactieve afvalstof. In beide gevallen geldt dat het materiaal binnen de sector *Ontmanteling, decontaminatie en bewerking* wordt bewerkt. Het residu dat resteert na bewerking is beschreven in paragraaf 16.3.1.2. Op een vergelijkbare wijze kan bij het ontmantelen en decontamineren van (onderdelen van) installaties filtermateriaal worden aangetroffen. Ook hiervoor geldt dat het over het algemeen binnen de

sector *Ontmanteling, decontaminatie en bewerking* wordt bewerkt. Er wordt uiteindelijk dus geen sludge of filtermateriaal uit de sector afgevoerd als radioactieve rest- of afvalstof.

Niet-vrijgestelde materialen waarvoor geen bewerking of hergebruikroute bestaat, en die daarom als radioactieve afvalstoffen moeten worden aangemerkt, zijn besmet zand, hittebestendig isolatiemateriaal [242], secundaire afvalstoffen als besmette PBM's en doek, en overige vaste stoffen. Activiteitsconcentraties zijn over het algemeen registratieplichtig, en in sommige gevallen vergunningplichtig. In de periode 2018-2020 is van dergelijk materiaal jaarlijks gemiddeld 15 ton (0,12 GBq) als registratieplichtige radioactieve afvalstof en 0,2 ton (0,04 GBq) als vergunningplichtige radioactieve afvalstof aangemerkt.

### **Textbox**

#### **Afvalstoffen afkomstig van ontmanteling van platforms**

Er zijn nog maar beperkt cijfers beschikbaar over de hoeveelheden radioactieve rest- en afvalstoffen die vrijkomen bij het ontmantelen en decontamineren van (mijnbouw)installaties. Bovendien lijken de hoeveelheden per installatie sterk te variëren. Zo is de hoeveelheid radioactieve scale die vrijkomt afhankelijk van de concentratie Ra-226 in het (productie)water ten tijde van de productiefase, welke weer wordt bepaald door de geologie van het betreffende olie- of gasveld. Daarnaast is de observatie dat de hoeveelheid radioactiviteit groter is bij olieproducerende platformen dan bij gasproducerende installaties [243]. Omdat radioactiviteit zich concentreert op specifieke onderdelen van een mijnbouw-installatie, en omdat de grootte en massa per installatie sterk variëren, correleert de hoeveelheid aangetroffen radioactiviteit niet met de totale massa van een installatie [244]. In de literatuur zijn over de (totale) hoeveelheden radioactieve afvalstoffen per installatie de volgende cijfers gevonden:

- In een Noorse rapportage [243] over de ontmanteling van twee grote offshore platformen wordt melding gemaakt van circa 4 ton radioactieve afvalstoffen - met een activiteitsconcentratie van 10 Bq/g of hoger - per ontmanteld platform. Het betrof het totaal van scale, sludge en sediment, dat is afgevoerd naar een lokale deponie.
- In [245] wordt op basis van ervaring met Noorse ontmantelingsprojecten gerapporteerd dat bij ontmanteling van grote offshore platformen tussen de 1 en 3 ton aan radioactieve afvalstoffen per platform worden geproduceerd.
- In [246] wordt melding gemaakt van 3 ton radioactief afval met activiteitconcentraties boven de 10 Bq/g per (groot) platform.
- In een jaarverslag [39] uit 2016 over een offshore ontmantelingsproject in Nederland is gerapporteerd dat circa 1 ton aan radioactieve sludges en scale is vrijgekomen en afgevoerd, met een totale activiteit van 4,3 MBq Ra-226 en 2,2 MBq Ra-228. Daarnaast is ongeveer 6 ton radioactief besmet schroot gedecontamineerd, met in totaal 20 kBq Ra-226 en Pb-210. Merk op dat deze ontmanteling heeft plaatsgevonden onder het regime van Besluit stralingsbescherming, wat vermoedelijk één van de verklaringen is voor de relatief beperkte hoeveelheid afval.

- Ten slotte is ter voorbereiding op de ontmanteling van de vier Brent-platformen door Shell een materiaalinventaris opgemaakt [171], waarin in totaal 4 GBq Ra-226, 2 GBq Ra-228 en 1 GBq Pb-210 aan radioactieve afvalstoffen wordt gerapporteerd, inclusief sludge. Het betreft hier schattingen die voorafgaand aan de ontmanteling zijn gemaakt, wat kan verklaren dat deze cijfers hoger zijn dan de overige cijfers hierboven.

Op basis hiervan wordt voorzichtig geconcludeerd dat ontmanteling en decontaminatie van offshore olie- en gasplatformen per platform in totaal gemiddeld 1 tot 4 ton aan radioactieve afvalstoffen oplevert.

### *Straalgrit*

Radioactieve afzetting (scale en loodfilms) wordt met behulp van diverse decontaminatie-technieken afgescheiden van gereedschap, onderdelen en schroot. Afhankelijk van de activiteitsconcentratie van de afgescheiden afzettingen wordt het mengsel van afzetting en decontaminatie-middel al dan niet beheerd als radioactieve afvalstof. Als het decontaminatie-middel vloeibaar is, wordt het mengsel doorgaans beheerd als 'sludge of sludge-achtig materiaal' (zie boven). Overige mengsels worden beheerd als vast radioactief afval. Gebruikt straalgrit is meestal registratieplichtig, en incidenteel vergunningplichtig.

In de periode 2018-2020 is gemiddeld 27 ton (0,1 GBq) als registratieplichtig radioactief besmet straalgrit aangemerkt. Daarnaast is mogelijk jaarlijks een onbekende hoeveelheid vergunningplichtig straalgrit geproduceerd, dat in afwachting van een specifieke vrijgaveroute op locatie is opgeslagen. Dit materiaal is niet als radioactieve afvalstof aangemerkt.

### *Radioactieve residuen van kledingreiniging*

Bij de reiniging van kleding en PBM's wordt ongeveer 30-35% van de radioactieve besmetting verwijderd [247]. Deze activiteit komt uiteindelijk terecht in de reinigingsresiduen, die als radioactieve afvalstof worden aangemerkt. De rest van de activiteit gaat samen met de kleding retour naar de eigenaren van de kleding. Reiniging is redelijkerwijs niet altijd mogelijk. In enkele gevallen worden kleding en PBM's daarom verstuurd naar een onderneming in Zweden, om daar te worden verbrand. Radioactieve residuen van dit verbrandingsproces worden retour ontvangen, en eveneens als radioactief afval aangemerkt.

In beide gevallen geldt dat sprake is van het ontstaan van vaste radioactieve afvalstoffen, met radionucliden van kunstmatige oorsprong. In de periode 2018-2020 is in totaal jaarlijks gemiddeld ca. 2 ton (0,6 GBq) materiaal aangemerkt als vergunningplichtige radioactieve afvalstof [46]. Dit komt neer op ongeveer 10% van de totaal aangevoerde activiteit. Het is onduidelijk of het verschil met de totale verwijderde activiteit kan worden verklaard door radioactief verval.

Afgaande op de verhouding binnenlands/buitenlands in de aanvoer (zie paragraaf 16.2.1) kan 98% van de als radioactief afval afgevoerde activiteit worden beschouwd als 'van oorsprong buitenlands'.

*Ontmantelde bronnen*

Van de ingezamelde en ontmantelde bronnen wordt zo veel mogelijk niet-radioactief materiaal verwijderd, en een minimale hoeveelheid als radioactieve afvalstof aangemerkt. Het betreft onder meer de thorium-tip uit thorium-bioscooplampen en broncapsules uit bronhouders. Op basis van een door de ondernemer geclaimde gemiddelde (massa)reductie van een factor 5 komt de hoeveelheid als vergunningplichtig radioactief afval aan te merken materiaal uit op ca. 0,4 ton per jaar. Het is niet bekend hoeveel activiteit dit betreft.

*Niet-radioactieve rest- en afvalstoffen*

Zoals beschreven in het voorgaande zijn veel verrichtingen binnen de sector *Ontmanteling, decontaminatie en bewerking* gericht op het van elkaar scheiden van radioactieve en niet-radioactieve (vrijgestelde) componenten. Uiteindelijk wordt slechts een zeer klein deel van de totale aangevoerde massa als radioactief afval aangemerkt. Dit geldt in het bijzonder voor de ontmanteling van platformen, waarbij verreweg het grootste deel van het materiaal is vrijgesteld.

De afgescheiden vrijgestelde rest- en afvalstoffen kunnen in veel gevallen worden hergebruikt, met als belangrijkste voorbeeld metaal met teltempi gelijk aan of lager dan het achtergrondniveau. Daarnaast komen ook materialen vrij die weliswaar niet als radioactief behoeven te worden aangemerkt, maar wel als 'gevaarlijke afvalstoffen'. Voorbeelden daarvan die bij de ontmanteling van platformen worden aangetroffen zijn asbest, kwik, zware metalen en koolwaterstoffen [245].

16.3.1.2 *Sludge- en afvalwaterbewerking*

Zoals aangegeven in paragraaf 16.2.2 wordt vanuit andere sectoren niet-vrijgestelde sludge en afvalwater als radioactieve reststof aangevoerd voor bewerking. Daarnaast wordt ook sludges en afvalwater, die binnen de sector ontstaan ten gevolge van decontaminatie (zie 16.3.1.1), binnen de sector zelf bewerkt. In beide gevallen leidt bewerking tot het ontstaan van een aantal radioactieve afvalstoffen, die hieronder kort worden beschreven.

*Vacuümdestillatieresidu*

Bij de in paragraaf 16.2.2 beschreven bewerkingsroute voor registratieplichtige sludge met kwikconcentraties tot 50 mg/kg droge stof ontstaan slechts beperkte hoeveelheden secundair radioactief afval (zie onder 'Overige vaste radioactieve afvalstoffen'). Dit geldt niet voor de vacuümdestillatieroute. Na het afscheiden van water, koolwaterstoffen en (indien nodig) kwik van sludge en/of afvalwater resteert in deze route 'vacuümdestillatieresidu', dat als radioactieve afvalstof wordt aangemerkt.

De mate van ontwatering is afgestemd op de beoogde eindverwerking: in geval van afvoer naar een deponie volstaat een steekvast residu, in geval van afvoer naar de COVRA moet het residu praktisch droog zijn. Kwikconcentraties zijn ten hoogste 50 (in geval van afvoer naar een deponie) of 5 (in geval van afvoer naar de COVRA) mg/kg droge stof [248]. Aangezien de activiteit bij aanvoer praktisch volledig in de vaste sedimentfractie zat, en de activiteitsconcentratie van de aanvoer is bepaald op basis van droge stof, is de activiteitsconcentratie van

vacuümdestillatieresidu praktisch gelijk aan die in de aangevoerde (droge stof in de) sludge. Deze activiteitsconcentraties bedragen ten hoogste 825 Bq/g Ra-226, 1020 Bq/g Pb-210, 341 Bq/g Ra-228, en 170 Bq/g Th-228 [249]. De massa van het vacuümdestillatieresidu bedraagt ongeveer een derde van de aangevoerde hoeveelheid sludge (zie paragraaf 16.2.2).

In de periode 2018-2020 is door de sector *Ontmanteling, decontaminatie en bewerking* per jaar gemiddeld ca. 105 ton (12 GBq) vacuümdestillatieresidu geproduceerd. Hiervan was gemiddeld ca. 45 ton (1,5 GBq) registratieplichtig, en de rest (ca. 60 ton, 10,5 GBq) vergunningplichtig [152, 189].

*Bewerkt AVI-slib (afkomstig van de sector Staalproductie)*

Zoals beschreven in paragraaf 16.2.2 wordt het zogenoemde AVI-slib, afkomstig van de sector *Staalproductie*, onder een specifieke vrijgavebeschikking [128] als radioactieve reststof gemengd met andere reststoffen, ten behoeve van uiteindelijke stort op een aangewezen deponie.

De op deze manier jaarlijks geproduceerde hoeveelheid bewerkt (stortbaar) AVI-slib is niet bekend. Uitgaande van de aangevoerde activiteit is de gemiddeld in de periode 2018-2020 onder deze beschikking jaarlijks geproduceerde activiteit van bewerkt (stortbaar) AVI-slib 0,05 GBq [126].

*Overige vaste radioactieve afvalstoffen*

Naast de hiervoor genoemde radioactieve afvalstoffen moet rekening worden gehouden met het ontstaan van diverse kleinere hoeveelheden materiaal dat niet kan worden vrijgesteld of vrijgegeven. Voorbeelden zijn radioactief besmette PBM's en poetslappen en registratieplichtige actieve kool [152]. Nadere scheiding in radioactieve en niet-radioactieve componenten is voor deze materialen in veel gevallen redelijkerwijs niet mogelijk. Deze materialen worden daarom als radioactieve afvalstof aangemerkt.

In de periode 2018-2020 is naar schatting gemiddeld 10 ton (0,05 GBq) per jaar aan registratieplichtige 'overige vaste radioactieve afvalstoffen' geproduceerd [152].

16.3.2 *Radioactieve afvalstoffen met oorsprong in het buitenland*

Zoals eerder opgemerkt, heeft een aantal radioactieve afvalstromen die binnen de sector *Ontmanteling, decontaminatie en bewerking* ontstaan feitelijk zijn oorsprong in het buitenland. Het betreft afval dat ontstaat bij de ontmanteling of decontaminatie van (mijnbouw)installaties die afkomstig zijn van buiten het Nederlandse grondgebied, en afval dat ontstaat bij reiniging van radioactief besmette kleding van in het buitenland gevestigde (vaak nucleaire) ondernemingen. Voor zover niet-vrijgesteld vallen deze afvalstoffen onder dezelfde afvoerverplichting als de overige radioactieve afvalstoffen die binnen Nederland worden geproduceerd [250]. Er bestaat momenteel op grond van regelgeving geen retour-verplichting voor dergelijk 'buitenlands' afval naar het land van herkomst.

Uit meldingen aan de Inspectie Leefomgeving en Transport (ILT) (zie textbox hieronder) blijkt dat in de periode 2013-2021 in totaal zeven offshore installaties vanuit het buitenland naar Nederland zijn overgebracht voor ontmanteling [12]. Zoals aangegeven in paragraaf 16.3.1.1 betrof dit in de periode 2018-2020 ca. 7.500 ton per jaar, waarvan echter maar een zeer klein deel uiteindelijk als radioactieve afvalstof moet worden aangemerkt. In totaal is naar schatting 15% van de uiteindelijk als radioactieve afvalstof afgevoerde activiteit van buitenlandse oorsprong, wat neerkomt op 0,14 GBq per jaar.

Daarnaast is in de periode 2018-2020 jaarlijks ca. 1.400 ton (5,15 GBq) aan besmette kleding en PBM's ingevoerd vanuit het buitenland. Dit is meer dan 99% van de in totaal verwerkte hoeveelheid. Indien deze verhouding wordt toegepast op de totale afgevoerde hoeveelheid radioactieve afvalstoffen geldt dat 2 ton (0,57 GBq) aan radioactieve afvalstoffen toe te rekenen is aan het buitenland.

### **Textbox**

#### **offshore installaties**

In zijn algemeenheid is voor vervoer van radioactieve rest- en afvalstoffen op grond van het Besluit in-, uit- en doorvoer van radioactieve afvalstoffen en bestraalde splijtstoffen [251] een kennisgeving aan de ANVS nodig, tenzij de activiteit en/of de activiteitsconcentratie van de radionucliden in de betrokken radioactieve stof lager is dan de van toepassing zijnde vrijstellingsgrenswaarden.

Voor offshore installaties die aan het einde van hun levensduur van de zeebodem worden losgekoppeld, geldt in de praktijk echter dat de gehele installatie wordt beschouwd als een afvalstof in de zin van de Wet milieubeheer. Het toezicht op de naleving van regelgeving gaat op dat moment over van Staatstoezicht op de Mijnen (SodM) naar de Inspectie Leefomgeving en Transport (ILT).

Als een offshore installatie vanuit het buitenland voor ontmanteling naar Nederland wordt overgebracht, is vervolgens op grond van Europese Verordening Overbrenging Afvalstoffen (EG) 1013/2006 (EVOA) een kennisgeving nodig aan de ILT, die hier vervolgens op besluit. In de kennisgeving aan de ILT moeten conform de EVOA onder meer de wijze van verwerking van de afvalstoffen bij de ontvangende inrichting en de geplande methode van verwijdering van het restafval na nuttige toepassing worden beschreven. Ook in dit geval zijn dus vooral de regels voor conventionele afvalstoffen van toepassing. De ILT communiceert hierover uit eigen verantwoordelijkheid desondanks aan de ANVS [252]. De besluiten op de kennisgevingen worden als milieu-informatie gepubliceerd op de website van de ILT.

#### **16.3.3 Inventaris van rest- en afvalstoffen bij ontmanteling**

Bij de uiteindelijke ontmanteling van de installaties binnen de sector *Ontmanteling, decontaminatie en bewerking* moet rekening worden gehouden met het vrijkomen van een onbekende hoeveelheid radioactieve rest- en afvalstoffen.

Tabel 37 Reguliere radioactieve afvalstoffen sector Ontmanteling, decontaminatie en bewerking in de periode 2018-2020

Type rest- of afvalstof	Eigenschappen relevant voor afvoer	Beheerroute	Afvoer per jaar (gemiddeld over 2018-2020)	
			(ton)	(GBq)
Afvalstoffen van ontmanteling van platforms	- Divers vast materiaal - Activiteitsconcentraties deels registratie- en deels vergunningplichtig	Afvoer als registratieplichtige radioactieve afvalstof naar aangewezen deponie	$1,5 \times 10^1$	$1,2 \times 10^{-1}$
		Afvoer als vergunningplichtige radioactieve afvalstof naar de COVRA	$2 \times 10^{-1}$	$4 \times 10^{-2}$
Straalgrit	- Vast materiaal - Activiteitsconcentraties deels registratie- en deels vergunningplichtig	Afvoer als registratieplichtige radioactieve afvalstof naar aangewezen deponie	$2,7 \times 10^2$	$1 \times 10^{-1}$
Radioactieve residuen van kledingreiniging	- Vast materiaal - Radioactiviteit van kunstmatige oorsprong	Afvoer als vergunningplichtige radioactieve afvalstof naar de COVRA	$2 \times 10^0$	$6 \times 10^{-1}$
Vacuümdestillatieresidu	- Steekvaste of droge stof - Activiteitsconcentraties deels registratie- en deels vergunningplichtig - Ten hoogste 50 mg kwik per kg droge stof	Afvoer als registratieplichtige radioactieve afvalstof naar aangewezen deponie	$4,5 \times 10^1$	$1,5 \times 10^0$
		Afvoer als vergunningplichtige radioactieve reststof naar aangewezen deponie voor nuttig hergebruik	$1,0 \times 10^1$	$1,5 \times 10^0$
		Afvoer als specifiek vrijgegeven radioactief materiaal naar aangewezen deponie	$4,0 \times 10^1$	$6 \times 10^0$
		Afvoer als vergunningplichtige radioactieve afvalstof naar de COVRA	$6,2 \times 10^0$	$3 \times 10^0$
Bewerkt AVI-slib (afkomstig van sector <i>Staalproductie</i> )	- Steekvaste stof - Activiteitsconcentratie gemiddeld 0,3 Bq/g Pb-210 en 8,5 Bq/g Po-210 - Afvoer onder specifieke vrijgavebeschikking	Afvoer als specifiek vrijgegeven radioactief materiaal naar aangewezen deponie	Onbekend	$5 \times 10^{-2}$
Overig vast radioactief afval	- Divers vast materiaal - Registratieplichtige activiteitsconcentraties	Afvoer als registratieplichtige radioactieve afvalstof naar aangewezen deponie	$1 \times 10^1$	$5 \times 10^{-2}$
Ontmantelde bronnen	- Radioactieve broncapsules	Afvoer als vergunningplichtige radioactieve afvalstof naar de COVRA	$4 \times 10^{-1}$	Onbekend



## 16.4 Beheer reguliere radioactieve rest- en afvalstoffen

### 16.4.1 (Verval)opslag

Gezien de lange halveringstijden van de betreffende radionucliden is het opslaan van radioactieve afvalstoffen met als doel verval tot onder de grenswaarden voor vrijgave ('vervalopslag') binnen de sector *Ontmanteling, decontaminatie en bewerking* niet of nauwelijks aan de orde.

Wel is in een aantal vergunningen toestemming gegeven om radioactief materiaal in afwachting van decontaminatie of afvoer gedurende een beperkte periode te bewaren in een speciale bergplaats. Daarnaast was in 2020 een onbekende hoeveelheid vergunningplichtig straalgrit afkomstig van bewerking (zie paragraaf 16.3.1.1) in opslag, in afwachting van het beschikbaar komen van een specifieke vrijgaveroute<sup>67</sup>. Voor beide gevallen geldt echter dat ze niet kunnen worden beschouwd als vervalopslag.

### 16.4.2 Scheiding en decontaminatie op locatie

Radioactieve sludges, filters en overige materialen worden tijdens de ontmanteling - voor zover mogelijk - gescheiden van niet-radioactieve componenten, en waar nodig gedecontamineerd. Dit is uitgebreid beschreven in paragraaf 16.2. Afscheiden niet-radioactieve componenten worden vervolgens beheerd conform de betreffende bepalingen en sectorplannen op grond van het LAP3, en indien mogelijk gerecycled. Resterende radioactieve afvalstoffen worden uiteindelijk afgevoerd volgens de daarvoor geldende regels (zie paragraaf 16.4.4 tot en met 16.4.8).

In sommige gevallen is het redelijkerwijs niet mogelijk om radioactiviteit te scheiden van niet-radioactieve componenten. Voorbeelden zijn beperkte hoeveelheden radioactief besmet zand en persoonlijke beschermingsmiddelen die zijn vervuild met bijvoorbeeld een geringe hoeveelheid sludge, scale of zand. Deze materialen worden afgevoerd als (secundair) radioactief afval.

### 16.4.3 Afvoer voor bewerking

Er zijn geen voorbeelden gevonden van afvoer van radioactieve reststoffen voor bewerking naar derden buiten de sector *Ontmanteling, decontaminatie en bewerking*. Wel worden er - zoals beschreven in paragraaf 16.3.1.1 - radioactieve reststoffen afgevoerd naar ondernemingen binnen de sector zelf.

### 16.4.4 Afvoer naar aangewezen deponie als registratieplichtig radioactief afval

De volgende materialen en gemiddelde jaarlijkse hoeveelheden zijn in de periode 2018-2020 als registratieplichtige radioactieve afvalstoffen afgevoerd naar een aangewezen deponie [152]:

- Afval van ontmanteling van platforms: 15 ton (0,12 GBq);
- Gebruikt straalgrit<sup>68</sup>: 27 ton (0,1 GBq);
- Registratieplichtig vacuümdestillatieresidu: 45 ton (1,5 GBq);
- Overig vast radioactief afval: ca. 10 ton (ca. 0,05 GBq).

<sup>67</sup> Per 4 juni 2021 is een specifieke vrijgaveroute beschikbaar gekomen voor 'secondaire radioactieve afvalstoffen'. Dit is beschreven in paragraaf 17.4.3.

<sup>68</sup> Overigens wordt ook vrijgesteld gebruikt straalgrit afgevoerd naar een deponie.

**16.4.5 Afvoer vacuümdestillatieresidu naar aangewezen deponie als specifiek vrijgegeven materiaal**

In de periode 2018-2020 is jaarlijks in totaal gemiddeld zo'n 40 ton (6 GBq) vergunningplichtig vacuümdestillatieresidu als specifiek vrijgegeven materiaal afgevoerd naar een aangewezen deponie. Hiervoor waren in deze periode twee routes beschikbaar:

*Specifieke vrijgave van natte sludge o.b.v. de ANVS-Verordening*

In de ANVS-Verordening [15] zijn hogere grenswaarden opgenomen voor specifieke vrijgave voor alle materialen die voldoen aan de definitie van 'natte sludge' in deze verordening. De grenswaarden gelden voor materialen van alle ondernemingen binnen de sectoren *Olie- en gasproductie* en *Geothermie*, onder de voorwaarde van achtereenvolgens bewerking (binnen de sector *Ontmanteling, decontaminatie en bewerking*) en stort op een aangewezen deponie. Voor het voor sludges over het algemeen bepalende nuclide Pb-210 is in de Verordening een grenswaarde van 100 Bq/g opgenomen.

*Specifieke vrijgave o.b.v. beschikking NAM*

Voor diverse materialen afkomstig van de Nederlandse Aardoliemaatschappij (NAM), waaronder 'sludge-achtig materiaal', zijn in een beschikking [253] hogere grenswaarden vastgesteld voor specifieke vrijgave vastgesteld. Deze grenswaarden en voorschriften gelden enkel voor materialen afkomstig van de NAM, onder de voorwaarde van achtereenvolgens bewerking (binnen de sector *Ontmanteling, decontaminatie en bewerking*) en stort op een aangewezen deponie. Voor Pb-210+ is hierin een grenswaarde van 300 Bq/g opgenomen.

Opgemerkt wordt nog dat met ingang van 4 juni 2021 een derde specifieke vrijgave-route beschikbaar is gekomen voor (onder meer) 'sludge-achtig materiaal'. Dit is beschreven in paragraaf 17.4.3. De eindbestemming van deze route is de aangewezen deponie van Mineralz op de Maasvlakte. Omdat de beschikking pas in 2021 is afgegeven, is in de periode 2018-2020 geen materiaal via deze route afgevoerd.

**16.4.6 Afvoer bewerkt AVI-slib naar aangewezen deponie als specifiek vrijgegeven materiaal**

Voor AVI-slib afkomstig van de sector *Staalproductie* zijn in een beschikking [128] hogere grenswaarden vastgesteld voor specifieke vrijgave, onder de voorwaarde van uiteindelijke stort op een aangewezen deponie. De beschikking ziet eveneens op de daarvoor benodigde voorbewerking. In de beschikking worden grenswaarden vastgesteld voor Pb-210 en Po-210 van elk 50 Bq/g.

In de periode 2018-2020 is onder deze beschikking een onbekende hoeveelheid bewerkt AVI-slib, gestort op een aangewezen deponie [126], met een activiteit van 0,05 GBq.

**16.4.7 Afvoer vergunningplichtig vacuümdestillaat naar deponie Maasvlakte ten behoeve van nuttige toepassing**

In het verleden zijn enkele materialen die op grond van de activiteitsconcentratie strikt genomen vergunningplichtig zijn op de Maasvlakte-deponie nuttig toegepast als stabilisatiemateriaal (zie

hoofdstuk 17.4.2). In de periode 2018-2020 is onder dit regime gemiddeld jaarlijks ca. 10 ton (1,5 GBq) vacuümdestillatieresidu afgevoerd naar de Maasvlakte-deponie [152].

#### 16.4.8 *Afvoer naar de COVRA*

De volgende materialen en gemiddelde jaarlijkse hoeveelheden zijn in de periode 2018-2020 als vergunningplichtige radioactieve afvalstoffen afgevoerd naar de COVRA [44]:

- Vergunningplichtige afvalstoffen afkomstig van ontmanteling van platformen: 0,2 ton (0,04 GBq);
- Radioactieve residuen van kledingreiniging: 2 ton (0,6 GBq).
- Vergunningplichtig vacuümdestillatieresidu: 6,2 ton (3 GBq);

#### 16.4.9 *Lozing*

Aan geen van de ondernemingen binnen de sector *Ontmanteling, decontaminatie en bewerking* is vergunning verleend voor lozing van radioactieve stoffen.

### 16.5 **Prognose productie radioactieve rest- en afvalstoffen**

#### 16.5.1 *Reguliere bedrijfsvoering*

##### *Ontmantelingsafval*

Indien de Nederlandse olie- en gas- productie infrastructuur in de komende tien tot twintig jaar zal worden ontmanteld zoals beschreven door Nexstep [170], is voor deze periode een redelijk continue stroom radioactieve afvalstoffen van natuurlijke oorsprong te verwachten. Daarnaast moet rekening worden gehouden met een beperkte stroom radioactieve afvalstoffen die mogelijk zal ontstaan als gevolg van de ontmanteling van buitenlandse platforms in Nederland. Op basis van de hierboven genoemde cijfers over de (gemiddelde) afvalproductie per platform, en uitgaande van de door Nexstep genoemde 105 te ontmantelen Nederlandse offshore platformen tot en met 2029 [170], betekent dat een toekomstige hoeveelheid (inventaris) van ca. 100 tot 400 ton aan radioactieve afvalstoffen die in deze periode vrijkomen. Dit is een zeer grove schatting, aangezien de hoeveelheid radioactieve reststoffen afhankelijk is van de lokale diepe ondergrond, en daardoor sterk varieert per platform. Daarnaast zal rekening moeten worden gehouden met het verwijderen van overige infrastructuur, waaronder buisleidingen en putten die zijn besmet met radioactiviteit van natuurlijke oorsprong. Afhankelijk van de toekomstige regelgeving zal dit in meer of mindere mate leiden tot productie van radioactieve afvalstoffen.

##### *Vacuümdestillatieresidu*

De toekomstige hoeveelheid radioactieve afvalstoffen afkomstig van sludge- en afvalwaterbewerking is bepaald door de huidige reguliere productie binnen deze bedrijven te extrapoleren naar de toekomst. Dit komt neer op gemiddeld circa 110 ton per jaar. Enerzijds zal de aanvoer van sludge en afvalwater uit de sector *Olie- en gasproductie* als gevolg van het uitfaseren van fossiele brandstoffen in de toekomst mogelijk afnemen, anderzijds is een toename van de aanvoer vanuit de sector *Geothermie* te voorzien. Per saldo zal dit mogelijk een kleine afname van de productie van radioactief vacuümdestillatieresidu betekenen.

*Residu van kledingreiniging*

Voor de korte termijn verwacht de exploitant dat een ongewijzigde jaaromzet, met een vergelijkbare hoeveelheid radioactief afval tot gevolg. Voor de periode vanaf begin 2025 is de verwachting dat elders in Europa een nieuwe wasserij zal worden geopend, met als gevolg mogelijk een geringe (in de orde van 5%) verschuiving van productie en afvoer van radioactief afval naar het buitenland [247].

*16.5.2 Inventaris t.b.v. ontmanteling*

De ontmanteling en verwijdering (*decommissioning*) van de installaties van de ondernemingen binnen de sector *Ontmanteling, decontaminatie en bewerking* zal in de toekomst mogelijk nog een zeer beperkte stroom radioactieve afvalstoffen opleveren. Die is naar verwachting zodanig beperkt in vergelijking tot andere sectoren, dat hij in deze studie niet verder wordt uitgewerkt.

**16.6 Perspectief op verdere preventie en minimalisatie**

Voor verdere minimalisatie van de productie van radioactieve afvalstoffen kunnen de volgende denkrichtingen nader worden verkend.

*16.6.1 Hergebruik residuen van sludgebewerking*

De residuen die middels vacuümdestillatie ontstaan bij de bewerking van sludge en afvalwater worden momenteel voor stort afgevoerd naar een aangewezen deponie. Onderzocht zou kunnen worden of dit materiaal - indien geïmmobiliseerd in verband met mogelijke uitloging van eventuele zware metalen - in aanmerking zou kunnen komen voor hergebruik als bijvoorbeeld toeslagmateriaal voor bouwstoffen.

*16.6.2 Lokale smeltoven voor metaal*

Een mogelijk alternatief voor het decontamineren van grote hoeveelheden radioactief besmet metaal is het oprichten van een lokale smeltoven. In 2019 is door de Duitse onderneming *ALD Vacuüm Technologies GmbH* de mogelijkheid gepresenteerd om op locatie een installatie op te richten, gericht op het omsmelten en (daardoor) homogeniseren van radioactief besmette metalen [254]. Dit is vergelijkbaar met de dienstverlening door Siempelkamp [255], die in 2018 is beëindigd. Het betreft een installatie op basis van (vacuüm of inert gas) inductie, gehuisvest in drie zeecontainers, die na afloop weer kan worden verwijderd. Het proces levert uiteindelijk gietstukken op die eenvoudig radiologisch zijn te analyseren, efficiënt zijn qua ruimtegebruik in geval van (verval)opslag of eindberging, en die voorzien in een zeker niveau van zelfafscherming. Het te verwerken materiaal varieert van diverse soorten staal tot aluminium, lood, koper, etc., waarbij een zeker niveau van pre-decontaminatie vereist is. Voor afname van de eindproducten zal waarschijnlijk afstemming met schrootverwerkende marktpartijen nodig zijn.

Gezien de grote hoeveelheden radioactief besmet metaal die naar verwachting in de nabije toekomst zullen vrijkomen bij de ontmanteling van de Nederlandse (en wellicht ook buitenlandse) olie- en gas-productie infrastructuur (zie paragraaf 16.5) is het oprichten van één of meerdere van dergelijke installaties in Nederland mogelijk rendabel.

## 17 Eindbestemmingen radioactief afval

### 17.1 Inleiding

Bij het maken van het onderscheid tussen radioactieve reststoffen en radioactieve afvalstoffen is in dit rapport als criterium gehanteerd dat er voor radioactieve reststoffen nog een perspectief is op hergebruik of recycling. Voor radioactieve afvalstoffen is dat niet het geval: deze worden rechtstreeks afgevoerd naar een eindbestemming. In dit hoofdstuk worden de eindbestemmingen voor radioactieve afvalstoffen beschreven.

### 17.2 Definitie sector

De sector *Eindbestemmingen radioactief afval* is in dit onderzoek gedefinieerd als de ondernemingen binnen Nederland die op grond van artikel 10.6, zesde lid respectievelijk zevende lid, van het Bbs radioactieve afvalstoffen mogen ophalen of ontvangen, én daartoe bereid zijn. Het ophalen en ontvangen van radioactieve afvalstoffen is gericht op definitieve verwijdering (ook wel 'eindverwerking') van deze stoffen. De op deze manier gedefinieerde sector bestaat uit drie ondernemingen, met in totaal vijf locaties, zoals opgenomen in Tabel 38. In paragraaf 17.3 en 17.4 worden deze nader beschreven.

Tabel 38 Ondernemingen binnen de sector *Eindbestemmingen radioactief afval*

Onderneming en locatie	Erkend of aangewezen als	Vergunde handelingen
Centrale Organisatie Voor Radioactief Afval (COVRA)	Ophaaldienst voor radioactieve afvalstoffen	'Opslag van radioactieve afvalstoffen, splijtstoffen en ertsen'
Afvalzorg B.V., deponie locatie Nauerna	Instelling die radioactieve afvalstoffen van natuurlijke oorsprong mag ontvangen	n.v.t.
Afvalzorg B.V., deponie locatie Zeeasterweg	Instelling die radioactieve afvalstoffen van natuurlijke oorsprong mag ontvangen	n.v.t.
Afvalzorg B.V., deponie locatie Wieringermeer	Instelling die radioactieve afvalstoffen van natuurlijke oorsprong mag ontvangen	n.v.t.
Mineralz B.V. (onderdeel Renewi) Maasvlakte-deponie	Instelling die radioactieve afvalstoffen van natuurlijke oorsprong mag ontvangen	'Voorhanden hebben van max. 2.000.000 kg materiaal per jaar met $C_{som}^{69}$ van max. 100 t.b.v. verwerking ervan met mogelijk noodzakelijke voorbehandelingen'

<sup>69</sup> Deze vergunning is verleend onder het regime van het Besluit stralingsbescherming, waarin met 'Csom' werd bedoeld op de met vrijstellingsgrenswaarden gewogen sommatie van activiteitsconcentraties.

### 17.3 Eindbestemming: COVRA

De Centrale Organisatie Voor Radioactief Afval (COVRA) is de eindbestemming voor in beginsel alle radioactieve afvalstoffen. Omdat de COVRA niet specifiek is ingericht om bulkhoeveelheden op te slaan (zie paragraaf 2.7), is voor radioactieve afvalstoffen van natuurlijke oorsprong onder voorwaarden een tweede eindbestemming gecreëerd. Deze eindbestemming is beschreven in paragraaf 17.4.

#### 17.3.1 *Juridische status*

De COVRA werd opgericht in 1982, en is sinds 1992 gevestigd in Nieuwdorp (Zeeland). De COVRA is een zelfstandige N.V., en als enige onderneming in Nederland op grond van de artikel 10.6, zesde lid, van het Bbs erkend als *Ophaaldienst voor radioactieve afvalstoffen* [256]. Alle aandelen van COVRA zijn in handen van de Staat der Nederlanden.

De COVRA beschikt over een vergunning op grond van de Kernenergiewet voor onder meer het in werking houden van een nucleaire inrichting en het opslaan van splijtstoffen en radioactieve afvalstoffen [257].

#### 17.3.2 *Dienstverlening*

De COVRA haalt radioactieve afvalstoffen op bij de aanbieder, of ontvangt deze van de aanbieder op haar locatie in Nieuwdorp. Bij acceptatie van de afvalstoffen door de COVRA vindt (met uitzondering van het afval dat wordt aangeboden voor vervalopslag) overdracht van het eigendom en aansprakelijkheden van aanbieder naar COVRA plaats. De opgehaalde radioactieve afvalstoffen worden door de COVRA indien nodig geconditioneerd, en voor een periode van in beginsel tenminste 100 jaar opgeslagen in speciaal daarvoor ontworpen gebouwen, waarna in 2130 eindberging in de diepe ondergrond is voorzien. Eindberging is een essentieel onderdeel van het beheer van radioactief afval in Nederland, maar valt verder buiten de scope van deze studie.

Om te kunnen voldoen aan de veiligheidseisen gedurende de opslag (en eindberging) is in de meeste gevallen conditionering van het afval nodig. COVRA beschikt over diverse mogelijkheden om afval te conditioneren, waarvan de route 'persen en cementeren' de belangrijkste is. Hierbij vindt ook volumereductie plaats. Aanbieders mogen standaard afval ook zelf conditioneren. Het geconditioneerde afval moet dan voldoen aan dezelfde kwaliteitseisen als door de COVRA verwerkt afval. Het conditioneringsproces en de kwaliteitseisen zijn daarom vastgelegd in afvalspecificaties.

Voor het door de COVRA ontvangen radioactief afval is eindberging voorzien, met uitzondering van het afval dat op dat moment is vervallen (hieronder valt het afval dat voor vervalopslag bij de COVRA is aangeboden). Vervalopslag bij de COVRA is onder voorwaarden mogelijk voor radioactief afval dat na vrijgave is bestemd voor bewerking (bijvoorbeeld recycling, hergebruik of verbranding)<sup>70</sup>. Het gaat hierbij met name om afval afkomstig van de ontmanteling van grote installaties

<sup>70</sup> Merk op dat hier dus materiaal is afgevoerd als 'radioactieve afvalstof', dat na uiteindelijke vrijgave als niet-radioactieve afvalstof wordt aangemerkt, waarop dan de voorschriften op grond van de Wet milieubeheer van toepassing zijn.

(bijvoorbeeld cyclotrons), maar ook om SZA<sup>71</sup>. Als voorwaarde wordt onder meer gesteld dat de radioactiviteit van het afval binnen 50 jaar vervalt tot onder de grenswaarden voor generieke vrijgave. Ook moet het stabiel, niet gevaarlijk materiaal betreffen. Voor dit afval geldt dat het eigendom niet wordt overgedragen aan de COVRA.

Alle kosten voor het beheer van radioactief afval, van ophalen tot en met eindberging, worden doorberekend aan de aanbieder van het afval. Dit geschiedt in de meeste gevallen op basis van het aangeleverde volume ongeconditioneerd afval.

### 17.3.3 *Veiligheidsbeschouwing*

De radiologische impact van de inzameling, opslag en conditionering van radioactief afval is beschreven in uitgebreide veiligheidsdocumentatie, die bij de aanvraag van de Kernenergiewetvergunning van de COVRA is beoordeeld door het bevoegd gezag. Ook is een milieueffectrapportage opgesteld. Deze documenten beschrijven onder meer de typen en hoeveelheden radioactieve afvalstoffen die in opslag mogen worden genomen, en de wijze waarop wordt voldaan aan de voorgeschreven milieu- en veiligheidseisen. De documenten worden periodiek geactualiseerd, waarbij ervaringen in binnen- en buitenland worden betrokken. Een groot deel van de veiligheidsdocumentatie vormt onderdeel van de Kernenergiewetvergunning van COVRA, en de ANVS is belast met het toezicht op de naleving hiervan.

### 17.3.4 *Acceptatiecriteria*

Zoals aangegeven in hoofdstuk 2.3 zijn de acceptatiecriteria van de COVRA medebepalend voor diverse beheerroutes voor radioactieve rest- en afvalstoffen. De acceptatiecriteria zijn het resultaat van een vertaling van krachtens de Kernenergiewet en de Wet milieubeheer aan de COVRA opgelegde wettelijke voorschriften naar de praktijk van veilige opslag voor tenminste 100 jaar. Hierbij wordt al zo veel mogelijk rekening gehouden met de uiteindelijk voorziene eindberging.

In de Algemene voorwaarden van de COVRA [258] is geregeld dat de criteria die zijn vastgelegd in de Technische voorwaarden [259] van toepassing zijn op de overdracht van 'standaard afval' (d.w.z. niet-geconditioneerd laag en middelactief radioactief afval, LMRA) aan de COVRA. Merk op dat het acceptatieproces daarmee dus is geregeld in het privaatrechtelijke domein, en niet in het bestuursrechtelijke. De criteria zijn door de COVRA nader toegelicht in het zogenoemde 'Oranje boekje' [260].

Indien niet aan de bovenstaande criteria wordt voldaan, is er geen sprake van standaard afval. Dit geldt voor onder meer asbesthoudend afval, specifiek ziekenhuisafval en hoogradioactief afval (HRA). Voor dit niet-standaard afval worden per geval middels een vastgelegde procedure afvalspecificaties vastgesteld. Hoogradioactief afval wordt door of namens aanbieders geconditioneerd aangeleverd aan de COVRA. De hiervoor geldende afvalspecificaties hebben betrekking op onder meer het gewicht, de dimensies en de warmteproductie van het afval.

<sup>71</sup> Zie hoofdstuk 6

### 17.3.5 *Capaciteit*

De capaciteit van de gebouwen en de infrastructuur van de COVRA is ingericht op de momenteel voorziene afvalproductie. Vrijwel alle bestaande opslagvoorzieningen voor radioactief afval zijn modulair opgebouwd, wat stapsgewijze uitbreiding binnen de locatie mogelijk maakt. Hiervoor is voldoende ruimte, aangezien de locatie oorspronkelijk was berekend op een aanzienlijk groter nucleair programma dan tot op heden is gerealiseerd. Wel moet rekening worden gehouden met aanzienlijke termijnen voor vergunningverlening en bouw.

Over de in de toekomst noodzakelijke opslagcapaciteit vindt geregeld overleg plaats tussen de belangrijkste aanbieders van radioactieve afvalstoffen en de COVRA.

## 17.4 **Eindbestemming: Aangewezen deponieën**

De vier aangewezen deponieën in Nederland vormen sinds 2005 een tweede type eindbestemming voor registratieplichtige radioactieve afvalstoffen. Daarnaast zijn deze deponieën sinds 2018 ook een eindbestemming voor enkele typen specifiek vrijgegeven materiaal.

### 17.4.1 *Juridische status*

Registratieplichtige radioactieve afvalstoffen van natuurlijke oorsprong (in het Nationaal Programma radioactief afval ook wel 'zeer laagradioactief afval' of 'zela' genoemd) mogen worden gestort op een deponie die op grond van artikel 10.6, zevende lid van het Bbs, is aangewezen als 'instelling die meldingplichtige<sup>72</sup> radioactieve afvalstoffen van natuurlijke oorsprong mag ontvangen'. In 2005 zijn in een regeling [261] alle deponieën voor gevaarlijke afvalstoffen als zodanig aangewezen. Op grond van het overgangsrecht in artikel 12.5 van het Bbs geldt deze aanwijzing sinds 6 februari 2018 eveneens voor de ontvangst van registratieplichtige radioactieve afvalstoffen van natuurlijke oorsprong.

Van belang is dat van de in totaal elf aangewezen deponieën in Nederland er (op het moment van schrijven van dit rapport) slechts vier daadwerkelijk bereid zijn registratieplichtige radioactieve afvalstoffen te ontvangen. De deponieën worden geëxploiteerd door private ondernemingen. Uiteindelijk is de intentie dat de provincies in de toekomst na sluiting van de deponieën verantwoordelijk worden voor 'eeuwigdurende nazorg'.

Indien het aan de stortplaats aangeboden materiaal voldoet aan de eisen uit artikel 11k van het Besluit stortplaatsen en stortverboden afvalstoffen (Bssa) [18], én dit wordt gestort, geldt er voor deze deponieën zelf géén registratieplicht op grond van de Kernenergiewet. Wel moeten deponieën die registratieplichtig materiaal ontvangen voldoen aan algemene voorschriften op grond van deze wet, waaronder voorschriften met betrekking tot stralingsdeskundigheid.

<sup>72</sup> Vóór het in werking treden van het Bbs gold voor radioactieve stoffen van natuurlijke oorsprong een systeem bestaande uit een meldingplicht en een vergunningplicht. Het destijds toegepaste instrument 'melding' is grofweg vergelijkbaar met het huidige instrument 'registratie'.



Aan de exploitant van de Maasvlakte-deponie is daarnaast vergunning verleend voor het 'voorhanden hebben van maximaal 2.000.000 kg materiaal per jaar met  $C_{\text{som}}$  van max. 100, ten behoeve van verwerking ervan met mogelijk noodzakelijke voorbehandelingen'. Dit wordt nader toegelicht in de volgende paragraaf.

#### 17.4.2 *Dienstverlening*

De exploitant van een aangewezen deponie ontvangt al dan niet radioactieve (afval)stoffen van een aanbieder. Bij acceptatie van de afvalstoffen door de exploitant vindt overdracht van het eigendom en aansprakelijkheden plaats. De kosten van stort en eventueel noodzakelijke voorafgaande conditionering worden doorberekend aan de aanbieders, middels een storttarief per ton. De zorg voor het afval ligt na overdracht bij de exploitant. Gezien het definitieve karakter van stort (in het conventionele afvalbeleid beschouwd als 'eindverwerking', zie bijvoorbeeld [262]) zou stort van radioactieve (afval)stoffen op een aangewezen deponie kunnen worden beschouwd als een vorm van eindberging.

De vier aangewezen deponieën die bereid zijn om registratieplichtige radioactieve afvalstoffen te ontvangen, zijn de deponieën Nauerna (Assendelft), Zeeasterweg (Lelystad) en Wieringermeer van Afvalzorg B.V. en de Maasvlakte-deponie van Mineralz B.V. De Maasvlakte-deponie is de enige deponie in Nederland die geheel is ingericht voor gevaarlijk afval, en is gericht op de ontvangst van stromen met bijzondere eigenschappen. De overige drie deponieën richten zich meer op standaardstromen, en hebben voor gevaarlijke afvalstoffen een compartiment beschikbaar.

De Maasvlakte-deponie is niet alleen aangewezen als instelling voor de ontvangst van radioactieve afvalstoffen, maar daarnaast is ook vergunning verleend op grond van de Kernenergiewet voor het op de deponie als bouwstoffen nuttig toepassen van vergunningplichtige (en registratieplichtige) radioactieve stoffen<sup>73</sup> van natuurlijke oorsprong [263]. De nuttige toepassing bestaat onder meer uit het inzetten van dergelijke stoffen als vervanger van andere toevoegmiddelen in de fundering van asfaltwegen op het terrein van de deponie. Tot en met begin 2018 zijn op de Maasvlakte-deponie op deze manier relatief kleine hoeveelheden vergunningplichtig materiaal verwerkt. Sindsdien is hier geen gebruik meer van gemaakt. In 2021 is een specifieke vrijgaveroute beschikbaar gekomen voor stort van bepaalde typen vergunningplichtig materiaal op de Maasvlakte-deponie. Dit wordt verder beschreven in de volgende paragraaf.

#### 17.4.3 *Specifieke vrijgave voor stort op een aangewezen deponie*

In de in dit rapport beschouwde periode heeft de ANVS een aantal beschikkingen voor specifieke vrijgave vastgesteld. Die gelden voor materiaal afkomstig van de sectoren *Staalproductie*, *Olie- en gasproductie* en *Fosforproductie*. In al deze beschikkingen is als voorschrift opgenomen dat het vrijgegeven materiaal uiteindelijk<sup>74</sup> dient

<sup>73</sup> Nuttige toepassing betekent dat ontvangen radioactieve materialen niet als radioactieve afvalstof worden aangemerkt.

<sup>74</sup> Voor een aantal materiaalstromen is voorbewerking door een externe partij nodig, voorafgaande aan stort. Deze voorbewerking, inclusief het transport, maakt deel uit van de specifieke vrijgave.

te worden gestort op een aangewezen deponie. In de meeste beschikkingen is ook voorgeschreven wélke aangewezen deponie dit betreft<sup>75</sup>. Dit is dus een belangrijk verschil met generiek vrijgegeven materialen, die in beginsel ook op niet-aangewezen deponieën mogen worden gestort, tenzij in de voorwaarden aan de beschikking anders is vastgesteld.

Op 4 juni 2021 is een beschikking met een meer generiek karakter afgegeven aan de exploitant van de Maasvlakte-deponie. In deze beschikking zijn grenswaarden vastgesteld voor de specifieke vrijgave voor stort op de Maasvlakte deponie van diverse typen 'radioactieve materialen met van nature voorkomende radionucliden', afkomstig van geothermie-installaties en winnings- en transportlocaties van olie en gas. Het betreft grenswaarden voor zowel jaargemiddelde activiteitsconcentraties als maximale activiteitsconcentraties.

Voor alle specifieke vrijgaveroutes die eindigen op een deponie geldt dat de feitelijke vrijgave strikt genomen pas geldt op het moment dat het materiaal door de exploitant van de deponie wordt geaccepteerd. Alle handelingen die hieraan voorafgaan, vallen (nog) onder het controlestelsel op grond van de Kernenergiewet. Anders gezegd: het materiaal is tot op het moment van acceptatie registratie- of vergunningplichtig. Dat betekent dat ondernemingen die gebruik willen maken van de bovengenoemde vrijgaveroute van Mineralz moeten beschikken over een registratie of vergunning op grond van de Kernenergiewet, die voorziet in het zich ontdoen van de betreffende materialen door afvoer naar de Maasvlakte-deponie. De reden hiervoor is dat specifiek vrijgegeven materialen niet worden aangemerkt als radioactieve afvalstoffen, en daarmee de ontheffing van de registratie- of vergunningplicht in artikel 10.6, eerste lid, van het Bbs niet van toepassing is.

#### 17.4.4 *Veiligheidsbeschouwing*

De aanwijzing van de deponieën als 'instellingen die meldingplichtige radioactieve afvalstoffen van natuurlijke oorsprong mogen ontvangen' is onderbouwd met een tweetal rapporten uit 2004 en 2005 [264, 265], waarin de blootstelling van werknemers en omwonenden aan straling als gevolg van de stort van meldingplichtige radioactieve afvalstoffen is berekend. Dit is gedaan op basis van aannames voor de te storten hoeveelheden radioactieve afvalstoffen en de eigenschappen daarvan. Op basis hiervan is geconcludeerd dat opslag van meldingplichtig radioactief afval op stortplaatsen voor gevaarlijke afvalstoffen 'geen belangrijke stralingshygiënische gevolgen' met zich meebrengt. De rapporten stellen dat dit een gevolg is van het feit dat dergelijk afval ook al vanwege de toxische eigenschappen goed wordt geïsoleerd, beheerd en gecontroleerd: *"De door de deponie te ontvangen radioactieve afvalstoffen moeten voldoen aan voorschriften op grond van de Kernenergiewet, en daarnaast ook aan overige (milieu)eisen, zoals bijvoorbeeld eisen aan de uitloogbaarheid van zware metalen"*.

<sup>75</sup> In de meeste gevallen is dit de Maasvlakte-deponie. Voor enkele materiaalstromen uit de sector *Staalproductie* zijn dit de deponieën Nauerna, Zeeasterweg en Wieringermeer.

Opgemerkt wordt dat het aanbod van radioactieve afvalstoffen mogelijk is veranderd sinds het uitvoeren van de bovengenoemde berekeningen. Daarnaast zijn sindsdien de grenswaarden voor vrijstelling en vrijgave aangepast, en zijn diverse afvalstromen specifiek vrijgegeven voor stort. De netto impact van deze ontwikkelingen op de blootstelling van werknemers en omwonenden is niet op voorhand vast te stellen. Hoewel de exploitanten van de deponieën hun risicoanalyse periodiek actualiseren, en hierop toezicht wordt gehouden door het bevoegd gezag, wordt in overweging gegeven de bovengenoemde berekeningen te evalueren.

#### 17.4.5 *Acceptatiecriteria*

De exploitanten van de deponieën die zijn aangewezen voor ontvangst van (registratieplichtige) radioactieve afvalstoffen, beschikken over een vergunning op grond van de Wet algemene bepalingen omgevingsrecht (omgevingsvergunning) voor de stort van gevaarlijke afvalstoffen. Samen met de algemene voorschriften op grond van de Wet milieubeheer en het Bssa regelen de voorschriften aan deze vergunning de niet-radiologische aspecten, waaronder de acceptatiecriteria. De belangrijkste daarvan zijn:

- Een verbod op het storten van vloeistoffen. Dit betekent dat te storten afvalstoffen 'steekvast' moeten zijn;
- Een maximaal kwikgehalte van 50 mg/kg (droge stof);
- Een maximaal gehalte koolwaterstoffen (minerale olie) van 100.000 mg/kg (droge stof);
- Een maximaal benzeen-gehalte van 1.000 mg/kg (droge stof).

Merk op dat de bevoegdheid voor het vaststellen van acceptatiecriteria voor deponieën verdeeld is over twee verschillende overheden. Voor de conventionele aspecten (mechanisch, fysisch, chemisch) zijn dit de provincies (en/of regionale uitvoeringsdiensten), en voor de radiologische aspecten is dit in de praktijk de ANVS. Wat dat laatste betreft geldt dat - anders dan de voorwaarden voor registratieplicht op grond van artikel 3.10, derde lid, onder a, van het Bbs en enkele administratieve verplichtingen - op grond van de Kernenergiewet geen radiologische acceptatiecriteria bestaan voor de ontvangst van radioactieve afvalstoffen op deponieën. Met andere woorden: de exploitanten van aangewezen deponieën zijn in zekere zin dus vrij om te besluiten over de acceptatie van radioactieve afvalstoffen. Het IAEA [266] beveelt hierover aan dat het bevoegd gezag (acceptatie)criteria goedkeurt voor de bewerking van te storten afvalstoffen, met het oog op het lange-termijnbeheer. Deze acceptatiecriteria zouden betrekking moeten hebben op de radiologische, mechanische, fysische, chemische en biologische aspecten.

#### 17.4.6 *Capaciteit*

De aangewezen deponieën beschikken over een 'vergunde restcapaciteit' voor de stort van afvalstoffen. Cijfers voor de vergunde restcapaciteit van de aangewezen deponieën per 31 dec 2020 zijn overgenomen uit [28].

Tabel 39 Vergunde capaciteit aangewezen deponieën

<b>Deponie</b>	<b>Vergunde restcapaciteit per 31 dec 2020 (m<sup>3</sup>)</b>
Nauerna	1,2 x 10 <sup>5</sup>
Maasvlakte	2,3 x 10 <sup>5</sup>
Wieringermeer	8,2 x 10 <sup>5</sup>
Zeeasterweg	2,0 x 10 <sup>6</sup>
<b>Totaal</b>	<b>3,2 x 10<sup>6</sup></b>

Voor een aantal deponieën is niet alle fysieke capaciteit op de locatie vergund voor stort. Dat houdt in dat verdere uitbreiding in beginsel nog mogelijk is. Verder is relevant dat het hierbij gaat om de capaciteit voor de totale hoeveelheid afvalstoffen, die voor het belangrijkste deel wordt bepaald door niet-radioactieve afvalstoffen. Ten slotte is van belang dat op de deponieën Nauerna, Wieringermeer en Zeeasterweg slechts een deel van de capaciteit is ingericht voor gevaarlijke afvalstoffen, en daarmee voor de ontvangst van registratieplichtige radioactieve afvalstoffen. Het voorgaande betekent dat de restcapaciteit in Nederland voor de stort van radioactieve afvalstoffen niet op basis van bovenstaande cijfers te bepalen is.

Per 1 april 2022 zijn de stort-activiteiten op de Nauerna-deponie beëindigd<sup>76</sup>. De huidige vergunde restcapaciteit van de deponieën Zeeasterweg en Wieringermeer is naar verwachting van de exploitant - uitgaande van het huidige afvalaanbod en zonder verdere uitbreiding - voldoende voor de komende vier respectievelijk vijf jaar [29]. De Maasvlakte-deponie heeft een technische capaciteit tot 2036. Afhankelijk van het verkrijgen van stortcapaciteit binnen het huidige moratorium, kan de technische capaciteit van deze deponie worden benut [154]. Het is niet bekend of andere aangewezen deponieën in de toekomst bereid zijn om radioactieve afvalstoffen te ontvangen. Of en in hoeverre hiermee op termijn een probleem zal ontstaan qua stortcapaciteit voor radioactieve afvalstoffen, is daarom binnen de scope van dit onderzoek niet te bepalen.

<sup>76</sup> De exploitant zal voorlopig nog wel op het terrein actief blijven, met voorbereidingen voor de aanleg van een park, en het uitvoeren van recyclingactiviteiten.

## Bijlage 1 Leidraad interviews

In een interview gaan wij graag in op de volgende punten:

1. Bij welke processen ontstaan radioactieve rest- en afvalstoffen?
2. Productie en afvoer van radioactieve rest- en afvalstoffen:
  - a) Welke typen radioactieve rest- en afvalstoffen worden er - als gevolg van de reguliere bedrijfsvoering - binnen uw onderneming geproduceerd?
  - b) Hoeveel betreft dit per type in ton, m<sup>3</sup> en/of Bq per jaar, gemiddeld over de periode 2018-2020?
  - c) Wat zijn de activiteitsconcentraties van deze rest- en afvalstoffen?
  - d) Wat zijn de belangrijkste fysische en chemische eigenschappen?
  - e) Wat is de afvoerbesteding voor deze stoffen?
  - f) Hoeveel en welke stromen zijn 'van buitenlandse oorsprong'?
3. Welke impact heeft de overgang van het Besluit stralingsbescherming naar het Bbs (strengere grenswaarden voor vrijgave) in 2018 gehad op het beheer van radioactieve rest- en afvalstoffen binnen uw onderneming?
4. Wat zijn uw verwachtingen voor de toekomst voor wat betreft de productie van radioactieve rest- en afvalstoffen als gevolg van de reguliere bedrijfsvoering?
5. Wat zijn de verwachte hoeveelheden en typen radioactieve rest- en afvalstoffen die in de toekomst zullen ontstaan ten gevolge van uiteindelijke ontmanteling van installaties?
6. Welke kansen ziet u voor afvalminimalisatie en/of recycling (evt. via specifieke vrijgave)?

## Bijlage 2 Hogere grenswaarden voor specifieke vrijgave 2018-2020

Type materiaal	Grenswaarden	Voorwaarde aan herkomst	Voorwaarde aan hoeveelheid	Voorwaarde aan afvoer	Vastgelegd in
Natte sludge	100 Bq/g K-40, 100 Bq/g Pb-210+, 100 Bq/g Po-210, 5 Bq/g Ra-226+, 10 Bq/g Ra-228+, 5 Bq/g Th-228+, 5 Bq/g Th-232sec, 10 Bq/g U-235sec, 5 Bq/g U-238sec	Olie- en gasindustrie en geothermie	-	Stort op aangewezen deponie	Verordening basisveiligheidsnormen stralingsbescherming
Sludge-achtig materiaal, alsmede mengsels van deze materialen met natte sludge	12 Bq/g U-238sec, 30 Bq/g U-nat 30, 1.600 Bq/g Th-230, 60 Bq/g Ra-226+, 300 Bq/g Pb-210+, 200 Bq/g Po-210, 400 Bq/g Pa-231, 130 Bq/g Ac-227+, 40 Bq/g Th-232sec, 120 Bq/g Th-232, 70 Bq/g Ra-228+, 50 Bq/g Th-228+, 20 Bq/g K-40	Olie- en gasproductielocatie en olie- en gas behandelingsinstallatie van de Nederlandse Aardolie Maatschappij B.V.	Max. 50 ton per jaar	Stort op aangewezen deponie met minimale jaarlijkse stortcapaciteit van 75.000 ton	ANVS-PP-2018/0047916-08, ANVS-PP-2018/0047916-09
Overige besmette materialen			Max. 2 ton per jaar		
Secundair NORM-afval					
Calcinaat	250 Bq/g Pb-210+, 250 Bq/g Po-210	Ontmanteling en sanering Thermphos	-	Stort op deponie Maasvlakte	2018/0325-05, ANVS-PP-2020/0057531-08 (ingetrokken)
Oven uitruim materiaal	42 Bq/g Pb-210+	Ontmanteling en sanering Thermphos	max 6.000 ton	Stort op deponie Maasvlakte	ANVS-PP-2019/0051901-08 (ingetrokken)

Type materiaal	Grenswaarden	Voorwaarde aan herkomst	Voorwaarde aan hoeveelheid	Voorwaarde aan afvoer	Vastgelegd in
Slib uit Geotubes en fosfaathoudend materiaal en scaling	80 Bq/g Pb-210+, 50 Bq/g Po-210	Ontmanteling en sanering Thermphos	max 750 ton	Stort op deponie Maasvlakte	ANVS-PP-2019/0052638-08 (ingetrokken)
Isolatiemateriaal	70 Bq/g Pb-210+, 40 Bq/g Po-210	Ontmanteling en sanering Thermphos	max 50 ton	Stort op deponie Maasvlakte	ANVS-PP-2020/0057030-08 (ingetrokken)
Slib en scaling	40 Bq/g Pb-210+, 20 Bq/g Po-210	Ontmanteling en sanering Thermphos	max 1.000 ton	Stort op deponie Maasvlakte	ANVS-PP-2020/0057024-08 (ingetrokken)
Ferrosfosfor	2 Bq/g Co-60	Ontmanteling en sanering Thermphos	max 30 ton	Stort op deponie Maasvlakte	ANVS-PP-2018/0047917-08 (ingetrokken)
SiFa stof DF RGR	50 kBq/kg Pb-210+, 50 kBq/kg Po-210	Tata Steel IJmuiden B.V.	-	Stort op deponie Maasvlakte	2018/0047-08, ANVS-PP-2019/0050812-08, ANVS-PP-2020/0053865-05
PeFa AVI-slib	50 kBq/kg Pb-210+, 50 kBq/kg Po-210	Tata Steel IJmuiden B.V.	-	Stort op deponie Maasvlakte, na bewerking bij Renewi Geldrop	
PeFa Retour-slib	20 kBq/kg Pb-210+, 11 kBq/kg Po-210	Tata Steel IJmuiden B.V.	-	Stort op deponie Nauerna, Wieringermeer of Zeeasterweg	
HOO FK Zn-rijk	22 kBq/kg Pb-210+, 13 kBq/kg Po-210	Tata Steel IJmuiden B.V.	-	Stort op deponie Nauerna, Wieringermeer of Zeeasterweg	2018/0047-08, ANVS-PP-2019/0050812-08, ANVS-PP-2020/0053865-05
HOO FK Zn-arm 3e trap	22 kBq/kg Pb-210+, 13 kBq/kg Po-210	Tata Steel IJmuiden B.V.	-	Stort op deponie Nauerna, Wieringermeer of Zeeasterweg	

Type materiaal	Grenswaarden	Voorwaarde aan herkomst	Voorwaarde aan hoeveelheid	Voorwaarde aan afvoer	Vastgelegd in
KGF Spuislib B102000	20 kBq/kg Pb-210+, 11 kBq/kg Po-210	Tata Steel IJmuiden B.V.	-	Stort op deponie Nauerna, Wieringermeer of Zeeasterweg	
Sludge-achtig materiaal, alsmede mengsels van deze materialen met natte sludge;	<p>1,9 Bq/g U-238sec, 140 Bq/g Th-230, 2 Bq/g Ra-226+, 100 Bq/g Pb-210+, 60 Bq/g Po-210, 1,4 Bq/g Th-232sec, 70 Bq/g Th-232, 4 Bq/g Ra-228+, 2 Bq/g Th-228+, 40 Bq/g K-40, (jaargemiddeld)</p> <p>60 Bq/g Ra-226+, 300 Bq/g Pb-210+, 200 Bq/g Po-210, 70 Bq/g Ra-228+, 50 Bq/g Th-228+ (maximaal, voor olie/gaswinning en gastransport)</p> <p>3 Bq/g Ra-226+, 1.000 Bq/g Pb-210+ 1.000 Bq/g Po-210, 3 Bq/g Ra-228+ 3 Bq/g Th-228+ (maximaal, voor geothermie)</p>	Geothermie-installatie, olie- en gaswinnings- en gastransportlocatie	550 ton per jaar	Stort op deponie Maasvlakte	ANVS-PP-2021/0060473-08



Type materiaal	Grenswaarden	Voorwaarde aan herkomst	Voorwaarde aan hoeveelheid	Voorwaarde aan afvoer	Vastgelegd in
Alle type materialen	4 x 10 <sup>4</sup> Bq/g H-3, 3 x 10 <sup>2</sup> Bq/g C-14, 3 x 10 <sup>3</sup> Bq/g Fe-55, 8 x 10 <sup>3</sup> Bq/g Er-169	-	-	Verbranding bij ZAVIN	Verordening basisveiligheidsnormen stralingsbescherming
Alle type materialen	4 x 10 <sup>4</sup> Bq/g H-3, 4 x 10 <sup>2</sup> Bq/g C-14, 3 x 10 <sup>4</sup> Bq/g P-33, 8 x 10 <sup>2</sup> Bq/g S-35, 1 x 04 Bq/g Fe-55, 2 x 10 <sup>0</sup> Bq/g Co-57, 3 x 10 <sup>1</sup> Bq/g Tc-99, 1 x 10 <sup>4</sup> Bq/g Er-169, 9 x 10 <sup>-2</sup> Bq/g Ac-227	-	-	Verbranding bij een AVI, niet zijnde ZAVIN	Verordening basisveiligheidsnormen stralingsbescherming

### Bijlage 3 Cijfers beheer niet-radioactieve afvalstoffen

Onderstaande cijfers zijn overgenomen uit het rapport '*Afvalverwerking in Nederland. Gegevens 2020*' van Rijkswaterstaat uit februari 2022.

Jaar	Gestorte afvalstoffen (ton)	Verbrande afvalstoffen (ton)	
		(totaal)	(Uit buitenland)
2015	2,3 x 10 <sup>6</sup>	7,6 x 10 <sup>6</sup>	onbekend
2016	2,8 x 10 <sup>6</sup>	7,8 x 10 <sup>6</sup>	onbekend
2017	2,9 x 10 <sup>6</sup>	7,6 x 10 <sup>6</sup>	1,9 x 10 <sup>6</sup>
2018	3,2 x 10 <sup>6</sup>	7,5 x 10 <sup>6</sup>	1,7 x 10 <sup>6</sup>
2019	2,8 x 10 <sup>6</sup>	7,4 x 10 <sup>6</sup>	1,5 x 10 <sup>6</sup>
2020	2,4 x 10 <sup>6</sup>	7,6 x 10 <sup>6</sup>	1,1 x 10 <sup>6</sup>

## Referenties

1. Minister van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer, *Nota radioactief afval*. 1984.
2. Minister van Infrastructuur en Milieu, *Het Nationale Programma voor het beheer van radioactief afval en verbruikte splijtstoffen*. 2016.
3. Euratom, *Richtlijn 2011/70/Euratom van de Raad van 19 juli 2011 tot vaststelling van een communautair kader voor een verantwoord en veilig beheer van verbruikte splijtstof en radioactief afval*. 2011.
4. COVRA N.V., *Inventaris radioactief afval in Nederland*. 2014.
5. Euratom, *Richtlijn 2013/59/Euratom van de Raad van 5 december 2013 tot vaststelling van de basisnormen voor de bescherming tegen de gevaren verbonden aan de blootstelling aan ioniserende straling*. 2013.
6. *Gezamenlijk Verdrag inzake de veiligheid van het beheer van bestraalde splijtstof en inzake de veiligheid van het beheer van radioactief afval*, IAEA, 2001.
7. RIVM, *Bestand vergunningen en registraties op grond van de Kernenergiewet per 19 maart 2020*. 2021.
8. ANVS, *Dataset statusoverzicht aanvragen registraties voor handelingen met natuurlijke bronnen*, ANVS, 2021.
9. Minister van Infrastructuur en Milieu, *Besluit basisveiligheidsnormen stralingsbescherming*. Besluit van 23 oktober 2017, Staatsblad 2017, 404
10. E. Folkertsma, M. van der Schaaf. *Processen met natuurlijke radioactiviteit in de niet-nucleaire industrie in Nederland – geactualiseerde basisinformatie. Onderzoek voor de implementatie van Richtlijn 2013/59/Euratom*. RIVM-rapport 2017-0042. 2017.
11. Rijkswaterstaat, *Afvalmonitor databank*. 2020.
12. Inspectie Leefomgeving en Transport (ILT), *Dataset EVOA kennisgevingen overbrenging afvalstoffen*, 2021.
13. Staatssecretaris van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer, *Besluit melden bedrijfsafvalstoffen en gevaarlijke afvalstoffen*, Besluit van 7 oktober 2004, Staatsblad 2004, 552.
14. P. Goemans, M. van der Schaaf, E. Folkertsma, *Regelgeving conventionele en radioactieve afvalstoffen: vergelijking van begrippen en voorschriften*. RIVM-rapport 2018-0138. 2018.
15. ANVS, *ANVS-verordening basisveiligheidsnormen stralingsbescherming 2018*, Staatsblad 2018, 7.
16. IAEA, *Safeguards Glossary, International Nuclear Verification Series*. No. 3. 2001.
17. Minister van Infrastructuur en Waterstaat, *Landelijk afvalbeheerplan 2017–2029 (LAP 3)*. 2021.
18. Minister van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer, *Besluit van 8 december 1997, houdende een stortverbod binnen inrichtingen voor aangewezen categorieën van afvalstoffen (Besluit stortverbod afvalstoffen)*. 1997.
19. Minister van Infrastructuur en Milieu, *Sectorplan 82, Landelijk Afvalplan*. 2019.

20. Minister van Infrastructuur en Milieu, *Sectorplan 58, Landelijk Afvalplan*. 2019.
21. IAEA, *Application of the Concepts of Exclusion, Exemption and Clearance, Safety Standard Series RS.-G-1.7*. 2004.
22. IAEA, *Derivation of Activity Concentration Values for Exclusion, Exemption and Clearance, Safety Reports series 44*. 2005.
23. *Persoonlijke communicatie met stralingsbeschermingsdeskundige Chemelot Site Permit/ Site Grond B.V.* 2021.
24. L.H.A. Boudewijns, M. van der Linden, D. Siegersma, *De tijdelijke opslag van radioactief afval in ziekenhuizen, RIVM-briefrapport 2020-0034*. 2020, Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu (RIVM). Bilthoven.
25. Louwrier, P.W.F., *Vrijstelling en vrijgave – recycling*. Nederlands Tijdschrift voor Stralingsbescherming, 2020. **11**(3): p. 13-21.
26. K.M. van de Wagt, R.M. de Vos., H.A. Buurveld, E. van der Kruk, *Afvalreductie - oplossingen voor geactiveerd beton*. 2014, NRG.
27. *Persoonlijke communicatie met ANVS*. 2021.
28. Rijkswaterstaat, *Afvalverwerking in Nederland, gegevens 2020*. 2022.
29. *Persoonlijke communicatie met Afvalzorg B.V.* 2021.
30. ANVS, *Revisievergunning o.g.v. de Kernenergiewet verleend aan N.V. Electriciteits-Produktiemaatschappij ZuidNederland t.b.v. de Kernenergiecentrale Borssele tevens inhoudende wijzigingen i.v.m. 10EVA en stresstestmaatregelen*. 2016.
31. Minister van Economische Zaken, *Besluit van 4 september 1969, tot uitvoering van de artikelen 16, 17, 19, eerste lid, en 21 van de Kernenergiewet (Besluit kerninstallaties, splijtstoffen en ertsen)*. 1969.
32. ANVS-website dossier kerncentrale Dodewaard. 2021: <https://www.autoriteitnvs.nl/onderwerpen/kerncentrale-dodewaard>.
33. Minister van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer, *Kernenergiewetvergunning SAS/2002013372*. 2002.
34. Minister van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer, *Kernenergiewetvergunning SAS/2007087941*. 2007.
35. *Persoonlijke communicatie met NRG*. 2022.
36. ANVS, *De Staat van de Nucleaire Veiligheid en Stralingsbescherming Nederlandse nucleaire installaties in 2019*. 2020.
37. Minister van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer, *Kernenergiewetvergunning SAS/20041664322*. 2005.
38. Orano, *Traitement des combustibles usés provenant de l'étranger dans le installations d'Orano la Hague*. 2020.
39. COVRA, *4e Kwartaalrapport 2020*. 2021.
40. *Persoonlijke communicatie met COVRA*. 2022.
41. *Persoonlijke communicatie met EPZ*. 2021.
42. IAEA, *Management of spent ion-exchange resins from nuclear power plants, TECDOC 1981*. 1981.
43. Kamaruzaman et. al, *Management of Spent Ion-exchange resins from nuclear power plant by blending Method*. Journal of Nuclear Fuel Cycle and Waste Technology, 2018. **16**(1): p. 65-82.

44. *Dataset COVRA ontvangen radioactief afval 2015-2020*. 2022.
45. *Urenco interview*. 2021.
46. *Dataset beschikbaar gesteld door Unitech B.V.* 2021.
47. A. de Jong, D. Hoogendoorn, *Het Radioactive Waste Management Programme (RWMP) doorgelicht*. 2018, ABDTOPConsult.
48. NRG, *Plan van aanpak RAP alfa*. 2016.
49. ANVS, *Dataset ontmantelingsplannen nucleaire inrichtingen*. 2022.
50. EPZ, *Aanvraag wijziging Kernenergiewetvergunning*. 2020.
51. *NRG interview*. 2021.
52. Minister van Economische Zaken, *Brief van de Minister van Economische Zaken aan de voorzitter van de Tweede Kamer der Staten-Generaal over Opwerkingscontracten Nederlandse kerncentrales*. 1989. p. nr.1.
53. Minister van Economische Zaken, *Brief van de Minister van Economische Zaken aan de voorzitter van de Tweede Kamer der Staten-Generaal over opwerking van radioactief materiaal*. 1997. Kamerstukken 25422 nr. 1.
54. Centraal Bureau voor de Statistiek, Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu en Wageningen University & Research. *Compendium voor de leefomgeving*. 2022; <https://dwo.rivm.nl/Citrix/SSC-RIVMWeb/clients/HTML5Client/src/SessionWindow.html?launchid=1649917755097>).
55. *NRG-website Alles over medische isotopen*. 2021: <https://www.nrg.eu/kennis/medische-isotopen>.
56. L.P. Roobol et al., *Leveringszekerheid voor medische radionucliden - aanvullingen 2020, RIVM-briefrapport 2020-0153*, RIVM.
57. Ligtoet, A., Scholten, C., Davé, A., King, R., Petrosova, L. and Chiti, A., *Study on sustainable and resilient supply of medical radioisotopes in the EU*, in JRC124565. 2021
58. ANVS, *Dataset vigerende vergunningen per 19 maart 2020*, in 19 maart 2020 2020.
59. *Interview met stralingsbeschermingsdeskundige TU Eindhoven* 2021.
60. A.M.J. Paans, *Compact cyclotrons for the production of tracers and radiopharmaceuticals*. Nukleonika, 2003. **48**(2): p. 169-172.
61. H. Bijwaard., *Inventarisatie van ontwikkeling van PET-CT.*, in *RIVM-rapport 300080008/2011*, RIVM.
62. IAEA, *Cyclotron produced radionuclides : principles and practice, Technical reports series 465*. 2008
63. *Interview met stralingsbeschermingsdeskundige GE Healthcare Eindhoven*. 2021.
64. Thijssen, P.J.M., *HEU / LEU conversion of the Petten HFR. Presentation at the 10th International Topical Meeting on Research Reactor Fuel Management, Sofia, Bulgaria*. 2006.
65. ANVS, *Kernenergiewetvergunning ANVS-2020/745 voor het over de weg vervoeren op Nederlands grondgebied van bestraalde splijtstoffen in de vorm van uraniumfilters, uraniumoxide en splijtstofpennen, op grond van een speciale regeling*. 2020.
66. IAEA, *Decommissioning of Particle Accelerators, Nuclear Energy Series NW-T-2.9*. 2020.

67. *Persoonlijke communicatie met stralingsbeschermingsdeskundige VU-MC*. 2021.
68. R. Calandrino et al., *Decommissioning procedure and induced activation levels, calculations and measurements in an 18 MeV medical cyclotron*. Journal of Radiological Protection, 2021. **6**(41 (4)).
69. E. Collins et al., *Decontamination and Decommissioning of the 60" Cyclotron Facility at Argonne National Laboratory-East*. 2001, Argonne National Laboratory.
70. *Presentatie VU-MC over voorbereiding ontmanteling cyclotron BV Cyclotron*. 2018.
71. ANVS, *Kernenergiwetvergunning 2013/0859-04 voor handelingen met radioactieve stoffen* 2013.
72. *Persoonlijke communicatie met oud-medewerker NRG*. 2022.
73. NRG, *Jaarverslag stralingshygiëne 2020*. 2020.
74. *Persoonlijke communicatie met stralingsbeschermingsdeskundige NRG*. 2022.
75. Technische Universiteit Delft, *Website Dutch Isotopes Valley*. 2021: <https://www.tudelft.nl/tnw/over-faculteit/afdelingen/radiation-science-technology/research/centers-of-excellence/dutch-isotopes-valley>.
76. Minister voor medische zorg, *Brief van de Minister voor medische zorg aan de voorzitter van de Tweede Kamer der Staten-Generaal. Kamerstukken 33626, nr 13*. 2020.
77. Minister voor medische zorg, *Brief van de minister voor medische zorg aan de voorzitter van de Tweede Kamer der Staten-Generaal*. . 2021.
78. ANVS. *Nieuwsbericht ANVS-website: Welke rol speelt de anvs bij de mogelijke komst van shine?* 2022: <https://www.autoriteitnvs.nl/actueel/nieuws/2022/02/08/welke-rol-speelt-de-anvs-bij-de-mogelijke-komst-van-shine#:~:text=De%20ANVS%20beoordeelt%20of%20de,moeten%20zijn%20door%20de%20ANVS>.
79. *Interview met Shine*. 2021.
80. TU/Eindhoven, *Presentatie op Nascholing Nederlandse Vereniging voor Stralingshygiëne: Uitdagingen en valkuilen bij ontwerp en bouw van radiologische ruimtes*. 30 juni 2022. 2022.
81. World nuclear news. *Belgian regulators OK isotope residue facility*. World nuclear news 2022: <https://www.world-nuclear-news.org/Articles/Belgian-regulators-OK-isotope-residue-facility?feed=feed>.
82. Rijkswaterstaat, *Afvalverwerking in Nederland: gegevens 2018*. 2020.
83. Rijkswaterstaat, *Afvalverwerking in Nederland, gegevens 2019*. 2021.
84. C. Ross, W. Diamond. *Predictions regarding the supply of 99Mo and 99mTc when NRU ceases production in 2018*. 2015.
85. *Persoonlijke communicatie met UMC Utrecht*. 2021.
86. *Interview met Van Overeem Nuclear B.V*. 2022.
87. *Analyse jaarverslagen stralingshygiëne medische instellingen*, RIVM, Editor. 2018, 2019, 2020.
88. *Persoonlijke communicatie met I-125-werkgroep Nederlandse Vereniging voor Klinische Fysica*. 2021.
89. *Interview met medische dienstverlener*. 2021.

90. ANVS, *Algemene eisen voor een radionuclidenlaboratorium*. 2018.
91. R.A. Kuznetsov et al., *Production of Lutetium-177: Process Aspects*. Radiochemistry, 2019. **61**: p. 381-395.
92. W.V. Vogel et al., *Challenges and future options for the production of lutetium-177*. European Journal Nuclear Med Mol Imaging, 2021. **48**: p. 2329-2335.
93. *EVOA meldingen aan ILT*:  
<https://www.ilent.nl/onderwerpen/afvaltransport-evoa/documenten/publicaties/2021/09/14/evoa-kennisgevingen>.
94. MEDraysintell, *Nuclear Medicine (Part 1) marketed Radiopharmaceuticals – Edition 2020*, MEDraysintell, 2020. p. 232 - 240.
95. UMCG, *Jaarverslag Stralingshygiëne 2019*. 2020.
96. E. Brown, *Linear Accelerator Removal and Disposal Services*. 2016: <https://www.oncologysystems.com/blog/linear-accelerator-removal-disposal-services>.
97. ZAVIN, *Acceptatie- en verwerkingsvoorwaarden ZAVIN "Specifiek Ziekenhuis Afval" en andere tot de verwerking toegelaten afvalstoffen*. Versie 6.3. 2017.
98. Vianen, S.W., *Inventarisatie naar de consequenties van veranderende wetgeving op het gebied van vrijgave van kunstmatige radionucliden*. 2017, Nederlandse Vereniging voor Stralingshygiëne.
99. L.H.A. Boudewijns, I.R. de Waard, *Recente ontwikkelingen in medische stralingstoepassingen : Update ioniserende straling 2018/2019*, RIVM-rapport 2019-0129. 2019
100. Medraysintell, *Early stage radiopharmaceuticals Report & directory – edition 2020*. 2020.
101. AMC, *Jaarverslag Stralingsbescherming 2018*. 2019.
102. Minister van Economische Zaken, *Kernenergiewetvergunning E/EE/KK/96056756*. 1996.
103. M. Bogaardt et al., *De ATHENE-reactor voor de Technische Hogeschool Eindhoven*. Maandblad Atoomenergie, 1967. **Juli 1967**.
104. Rijksuniversiteit Groningen, *Jaarverslag 2019*. 2020.
105. Universiteit Utrecht, *Jaarverslag Stralingsbescherming 2019*. 2020.
106. Universiteit Wageningen, *Jaarverslag 2019*. 2020.
107. RIVM, *Analyse jaarverslagen stralingshygiëne onderzoeks- en onderwijsinstellingen*. 2021.
108. Technische universiteit Eindhoven, *Jaarrapport Stralingsbescherming Technische Universiteit Eindhoven 2019 2020*.
109. Universiteit Utrecht, *Jaarverslag Stralingsbescherming 2020*. 2021.
110. RIVM, *Jaarverslag stralingsbescherming 2020*. 2021.
111. Tronox B.V., *Radiologisch jaarverslag 2020*. 2021.
112. Tronox B.V., *Brilliance; Tronox Annual Report 2020*. 2020.
113. *Interview met coördinerend deskundige Tronox*. 2021.
114. Mineralz Maasvlakte B.V., *Jaarrapportage Verwerking stoffen met een verhoogde natuurlijke radioactiviteit 2020*. 2021.
115. *Dataset afvalstoffen pigmentproductie o.b.v. jaarverslagen stralingshygiëne*. 2021.

116. Tronox B.V., *Radiologisch jaarverslag 2018*. 2019.
117. ANVS, *inspectieverslag Holmes 146294-03-ESA*. 2019.
118. Minister van Sociale Zaken en Werkgelegenheid, *Kernenergiewetvergunning AI/IO/BES No. 2005/106575 voor het verrichten van werkzaamheden met natuurlijke bronnen*. 2005.
119. ANVS, *Kernenergiewetvergunning 2017/0812-11*. 2018.
120. Tata Steel B.V., *Jaarverslag Stralingsbescherming 2020*. 2021.
121. IAEA, *Extent of Environmental Contamination by Naturally Occurring Radioactive Material (NORM) and Technological Options for Mitigation*, in *Technical Reports Series 419*. 2003.
122. C.W.M. Timmermans, A.W. Weers, *Werkzaamheden met blootstelling aan natuurlijke stralingsbronnen. Actualisering van de inventarisatie van 1999*. 2001.
123. IAEA, *Assessing the need for radiation protection measures in work involving minerals and raw materials.*, *Safety Report Series 49*. 2006.
124. K.H. Cata, *Onderzoek naar radioactiviteit in gestorte staalslakken bij Spijk*. RIVM-briefrapport 2021-0136, 2021.
125. *Persoonlijke communicatie met stralingsbeschermingsdeskundige Tata Steel*. 2021.
126. *Dataset afvalstoffen Staalproductie o.b.v. jaarverslagen stralingshygiëne*. 2021.
127. Minister van Economische zaken, *Kernenergiewetvergunning 2013/0678-05*. 2013.
128. ANVS, *Beschikking specifieke vrijgave 2018/0047-08 voor het zich ontdoen van materialen met van nature voorkomende radionucliden welke zijn vrijgekomen bij het staalproductieproces, laatstelijk gewijzigd op 4 maart 2020*. 2020.
129. Tata Steel B.V., *Plan van aanpak Aanvraag specifieke vrijgave. Versie 3.1*. 2019.
130. Tata Steel B.V., *Tata Steel zet eerste stap voor grootste milieu installatie uit haar geschiedenis*. <https://omgeving.tatasteel.nl/nieuws/2022/tata-steel-zet-eerste-stap-voor-grootste-milieu-installatie-uit-haar-geschiedenis.html>. 2022.
131. Tata Steel B.V., *Tata Steel kiest voor waterstofroute*. <https://omgeving.tatasteel.nl/nieuws/2021/tata-steel-kiest-voor-waterstofroute.html>. 2021.
132. UNSCEAR, *Sources and effects of ionizing radiation. Report to the General Assembly, with Scientific Annexes VOLUME I: Sources*. 2000.
133. ANVS, *Kernenergiewetregistratie ANVS-PP-2021/0082437-04 voor het verrichten van handelingen met radioactieve stoffen/toestellen*. . 2021.
134. Welbergen Consultancy, *Radiologische risicoanalyse van blootstelling aan NORM grondstoffen bij Gouda Refractories B.V. Revisie 4*. 2020, Gouda Refractories B.V.
135. ANVS, *Kernenergiewetvergunning ANVS-PP-2020/0054883-10 voor het verrichten van handelingen met materialen met van nature voorkomende radionucliden*. 2020.



136. ANVS, *Kernenergiewetvergunning ANVS-PP-2019/0050433-09 voor het verrichten van handelingen met materialen met van nature voorkomende radionucliden*. 2019.
137. Applus RTD, *Risicoinventarisatie en evaluatie Foseco*. 2019.
138. C.W.M. Timmermans, *Industriële werkzaamheden met radioactieve stoffen van natuurlijke oorsprong in Nederland*. 2017.
139. *Dataset zirkoon afvalstoffen o.b.v. jaarverslagen en risiconalyses zirkoon verwerkende ondernemingen*. 2021.
140. *Persoonlijke communicatie met stralingsbeschermingsdeskundige Gouda Refractories*. 2021.
141. M. Stultiens, *Radiologische risicoanalyse blootstelling aan ioniserende straling*. 2021, Mosa B.V.
142. ANVS, *Kernenergiewetvergunning ANVS-PP-2021/0061830-05 voor het verrichten van handelingen met materialen met van nature voorkomende radionucliden*. 2021.
143. Chemelot Site Permit, *Jaarverslag stralingshygiëne 2019*. 2020, Chemelot Site Permit
144. ANVS, *Kernenergiewetvergunning ANVS-PP-2019/0048656-07 voor het verrichten van handelingen met splijtstoffen, radioactieve stoffen en toestellen*. 2019.
145. Brenntag Nederland B.V., *Aanvraag ketenregistratie, revisie 1*. 2020, Brenntag Nederland B.V.
146. IAEA, *Radiation protection and NORM residue management in the zircon and zirconia industries in Safety reports 51*. 2007.
147. Dow Benelux B.V., *Risicoinventarisatie en evaluatie*. 2019.
148. ANVS, *Kernenergiewetvergunning JZ/OVER\_JZ/113841/BPZ voor het verrichten van handelingen met radioactieve stoffen, toestellen en materialen met van nature voorkomende radionucliden, laatstelijk gewijzigd op 24 februari 2021*. 2021.
149. X.Q.Cao et al., *Ceramic materials for thermal barrier coatings* Journal of the European Ceramic Society, 2004. **24**(1): p. 1-10.
150. ANVS, *Kernenergiewetvergunning ANVS-PP-2020/0053615-07 voor het verrichten van handelingen met materialen met van nature voorkomende radionucliden en toestellen*. 2020.
151. A.H.W. van Driel, *RISICO INVENTARISATIE EN EVALUATIE*. 2020, Chromalloy Holland B.V.
152. *Dataset gestorte afvalstoffen en specifiek vrijgegeven materialen o.b.v. jaarverslagen en overige informatie van aangewezen deponieën en LMA*. 2021.
153. ANVS, *Kernenergiewetvergunning ANVS-PP-2020/0055763-10 voor het uitvoeren van handelingen met radioactieve stoffen, toestellen en materialen met van nature voorkomende radionucliden*. 2020.
154. *Persoonlijke communicatie met Mineralz Maasvlakte B.V.* 2021.
155. IAEA, *Naturally occurring radioactive materials (NORM IV), TECDOC 1472*. 2004.
156. IAEA, *Radiation Protection and the Management of Radioactive Waste in the Oil and Gas Industry, in Safety Reports Series 34*. 2003, IAEA: Wenen.
157. M. van der Schaaf, E. Folkertsma., *Grenswaarden voor specifieke vrijgave van natte sludge*. RIVM-rapport 2017-0107. 2017
158. K.P. Smith, *An overview of NORM in the petroleum industry*. 1992, Argonne National Laboratory.

159. TNO – Adviesgroep Economische Zaken, *Delfstoffen en aardwarmte in Nederland, jaarverslag 2019*. 2020,
160. *Dataset rest- en afvalstoffen sector olie- en gasproductie o.b.v. jaarverslagen stralingshygiëne olie- en gasproducerende ondernemingen*. 2021.
161. *Persoonlijke communicatie met stralingsbeschermingsdeskundige NAM*. 2021.
162. *Persoonlijke communicatie met extern stralingsdeskundige olie en gasindustrie*. 2021.
163. NOGEPa, *NOGEPa industriestandaard No. 65 - Richtlijnen voor de omgang met ioniserende stralingsbronnen binnen de E&P industrie*. 2019: Den Haag.
164. *Interview met Cleanstream B.V.*, 2021.
165. *Dataset platformen o.b.v. 'Track record' Hoondert Services & Decommissioning B.V. en EVAO-invoermeldingen Inspectie Leefomgeving en Transport (ILT)*. 2021.
166. T. Strand, *NORM in the Norwegian Oil and Gas Industry – Activity Levels, Occupational Doses and Protective Measures*. Norwegian Radiation Protection Authority and Department of Physics, University of Oslo.
167. Cleanstream B.V., *Risicoinventarisatie en evaluatie, Bijlage 3*. 2020
168. Mineralz Maasvlakte B.V., *Aanvraag specifieke vrijgave* 2021.
169. Energie Beheer Nederland, *Taking the next step to optimize for the future. Presentatie KIVI*. 2018, Energie Beheer Nederland.
170. Nexstep, *Re-use & Decommissioning report. Innovation & collaboration*. 2020, Nexstep.
171. Shell, *Brent topsides decommissioning. Technical document, in Shell Report* 2017.
172. Statens Strålevern, *Experiences in handling NORM in oil and gas industry in Norway, Britain and the Netherlands. StrålevernRapport 1999:2*. 1999
173. U. Quade, W. Muller, *Recycling of radioactively contaminated scrap from the nuclear cycle and spin-off for other application*. Revista de Metalurgia, 2005. **41**(Extra): p. 23-28.
174. *Convention for the Protection of the Marine Environment of the North-East Atlantic (OSPAR)*. 1992.
175. <https://odims.ospar.org/>. 2021.
176. International Energy Agency, *Net Zero by 2050. A Roadmap for the Global Energy Sector*. 2021.
177. *Persoonlijke communicatie met Geothermie Nederland*. 2021.
178. Geothermie Nederland, *Infographic Productiecijfers Aardwarmte 2020*. 2021.
179. Staatstoezicht op de Mijnen, *Staat van de Sector Geothermie*. 2017.
180. Platform Geothermie, D.A.G.O., Energie Beheer Nederland, Stichting Warmtenetwerk, *Masterplan Aardwarmte in Nederland. Een brede basis voor een duurzame warmtevoorziening*. 2018.
181. DAGO, *Aanvraag Specifieke Vrijstelling voor NORM in de Geothermische Industrie* 2018.
182. DAGO, *Conceptnotitie Inventarisatie van filterafval*. 2020.
183. Stralingsupport B.V., *Presentatie op overleg met RIVM, Geothermie Nederland en Stralingsupport B.V.* 2021.

184. DAGO, *20170303 DAGO industrie standaard Geothermie NORM*. 2017.
185. *Dataset afvalstoffen geothermie o.b.v. aanvragen Kernenergiewetvergunningen geothermieondernemingen*. 2021.
186. *Persoonlijke communicatie met Stralingsupport, optredend namens Geothermie Nederland*. 2021.
187. *Dataset jaarverslagen stralingshygiëne 2018-2020 Cleanstream B.V.* 2021.
188. ANVS, *Kernenergiewetvergunning ANVS-PP-2020/0055098-05 voor het verrichten van handelingen met radioactieve stoffen*. 2020.
189. *Dataset sludges 2018-2020, beschikbaar gesteld door BMT Europe B.V.* 2021.
190. Staatstoezicht op de Mijnen, *Evaluatie aanbevelingen Staat van de Sector Geothermie*. 2021.
191. W. Bos, *Eindrapport Onderzoek (milieu)impact inhibitoren geothermie* 2019.
192. C.Kunze et al., *Discharges of dust from NORM facilities: Key parameters to assess effective doses for public exposure*. Journal of Sustainable Mining, 2019. **18**(1): p. 31-37.
193. Amsterdam Economic Board. *Export van 100 volgeladen vrachtwagens metaalschroot per dag*. 2021: <https://amsterdameconomicboard.com/nieuws/export-van-100-vogeladen-vrachtwagens-metaalschroot-per-dag>.
194. Staatssecretaris van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer, *Besluit van 3 oktober 2002, houdende regels voor de detectie van radioactief besmet schroot (Besluit detectie radioactief besmet schroot)*, Staatsblad 2002, 565. 2002.
195. Van Boven advocaten, *Eerste openbare verslag in het faillissement van Thermphos International B.V.* 2012.
196. Van Citters B.V., *Jaarrapportage stralingsbescherming 2018*. 2019.
197. Van Citters B.V., *Jaarrapportage stralingsbescherming 2019*. 2020.
198. Van Citters B.V., *Jaarrapportage stralingsbescherming 2020*. 2021.
199. D. Samsom, *Saneren doe je Samen. Onderzoek naar de sanering van het voormalige Thermphos-terrein. Commissie onderzoek sanering Thermphos*. 2017.
200. Van Citters B.V., *Plan van aanplak specifieke vrijgave van materialen die radionucliden bevatten. Afvoer oven uitruim materialen met Pb-210+ naar aangewezen deponie Mineralz Maasvlakte B.V. Revisie 3*. 2019.
201. ANVS, *Beschikking specifieke vrijgave ANVS-PP-2019/0051901-08, verleend aan Van Citters Beheer B.V. voor het zich ontdoen van oven uitruim materialen met van nature voorkomende nucliden ten behoeve van stort*. 2019.
202. Van Citters B.V., *Formulier voor het melding van werkzaamheden behorende bij artikel 7.9 Uitvoeringsregeling stralingsbescherming 2017: Vlissingen*.
203. ANVS, *Beschikking specifieke vrijgave 2018/0325-05, verleend aan Van Citters Beheer B.V. voor het zich ontdoen van radioactief materiaal ten behoeven van de afvoer van calcinaat*. 2018.

204. ANVS, *Beschikking specifieke vrijgave ANVS-PP-2020-0057030-08 voor de afvoer van isolatiemateriaal met Pb-210+ en Po-210 verontreinigd stoffen behoeve van stort.* 2020.
205. Van Citters B.V., *Aanvraag Specifieke vrijgave van materialen die radionucliden bevatten. Afvoer isolatiemateriaal met Pb-210+ en Po-210 verontreinigd stof naar aangewezen deponie Mineralz Maasvlakte B.V. Revisie 0.* 2020.
206. ANVS, *Beschikking Specifieke vrijgave ANVS-PP-2018/0047917-08, verleend aan Van Citters Beheer B.V. voor de afvoer van ferrofosfor met Co-60 ten behoeve van stort.* 2020.
207. Van Citters B.V., *Plan van aanpak specifieke vrijgave van materialen die radionucliden bevatten. Afvoer ferrofosfor met Co-60 naar aangewezen deponie Mineralz Maasvlakte B.V. revisie 4.* 2020.
208. Van Citters B.V., *Aanvraag Specifieke vrijgave van materialen die radionucliden bevatten. Afvoer slib en scaling met Pb-210+ en Po-210 naar aangewezen deponie Mineralz Maasvlakte B.V. Revisie 0.* 2020.
209. ANVS, *Beschikking specifieke vrijgave ANVS-PP-2020/0057024-08 verleend aan Van Citters Beheer B.V. voor de afvoer van slib en scaling met Pb-210+ en Po-210 ten behoeve van stort.* 2020.
210. ANVS, *Beschikking specifieke vrijgave ANVS-PP-2019/0052638-08, verleend aan Van Citters Beheer B.V. voor de afvoer van vaste materialen met Pb-210+ en Po-210 ten behoeve van stort.* 2019.
211. Van Citters B.V., *Aanvraag specifieke vrijgave van materialen die radionucliden bevatten. Afvoer vaste materialen met Pb-210+ naar aangewezen deponie Mineralz Maasvlakte B.V.* 2019.
212. *Persoonlijke communicatie met stralingsbeschermingsdeskundige Van Citters B.V.* 2021.
213. *Persoonlijke communicatie met Applus RTD.* 2021.
214. Applus RTD, *Risicoinventarisatie en evaluatie ICL Fertilizers Europe C.V. .* 2018.
215. Minister van Economische Zaken en Klimaat, *Wet van 11 december 2019, houdende Regels voor het produceren van elektriciteit met behulp van kolen (Wet verbod op kolen bij elektriciteitsproductie).* 2019.
216. M. van der Schaaf et al., *Inventarisatie mogelijke bestaande blootstellingsituaties in Nederland. Onderzoek voor de implementatie van richtlijn 2013/59/Euratom, RIVM Briefrapport 2017-0047.* 2017
217. *Persoonlijke communicatie met stralingsbeschermingsdeskundige Dow Chemicals.* 2021.
218. *Persoonlijke communicatie met stralingsbeschermingsdeskundige Nedmag B.V.* 2021.
219. ANVS, *Kernenergiewetvergunning 2018/0183-08 voor het uitvoeren van handelingen met radioactieve stoffen en toestellen. Autoriteit Nucleaire Veiligheid en Stralingsbescherming.* 2018.
220. Nyrstar B.V., *Risicoanalyse Stralingsbesluit.* 2021.
221. Inspectie Leefomgeving en Transport, *Besluit NL207281 op kennisgeving voor de overbrenging van afvalstoffen.* 2015.
222. Nyrstar B.V., *Persoonlijke communicatie met stralingsbeschermingsdeskundige Nyrstar.* 2021.

223. Minister van Sociale Zaken en Werkgelegenheid, *Kernenergiewetvergunning 2005/51722 voor het verrichten van werkzaamheden met natuurlijke bronnen voor zover die bronnen niet worden of zijn bewerkt wegens hun radioactieve eigenschappen*. 2005.
224. Gasunie, N.V., *Werken met radioactiviteit (LSA)*. 2015.
225. J.G.F.H. Dols, *Risicoanalyse voor het werken met ioniserende straling bij Gasunie of één van haar dochters/deelnemingen*. 2019, Gasunie N.V.
226. A. van Weers, S. Stokman-Godschalk. *Radiation protection, regulatory and waste disposal aspects of the application of mineral insulation wool with enhanced natural radioactivity*. in *NORM III conference 2001*. 2001. Brussel.
227. Netbeheer Nederland, *Basisinformatie over energie-infrastructuur*. 2019.
228. *Dataset Jaarverslagen stralingshygiëne 2018-2020 olie- en gasproductiebedrijven*. 2021.
229. Minister van Sociale Zaken en Werkgelegenheid, *Kernenergiewetvergunning DGA/G/SHV, no 93/224 S*. 1993.
230. Chemelot Site Permit, *Jaarverslag stralingshygiëne 2020*. 2021.
231. Provincie Limburg, *Ontwerpbesluit Wet bodembescherming LI188300046*. 2022.
232. *Dataset slakkenwol, opgesteld op basis van vigerende Kernenergiewetvergunningen en -registraties*. 2021.
233. RWE Eemshaven B.V., *Vergunningsaanvraag art. 29 en 34 Kernenergiewet*. 2020.
234. ANVS, *Kernenergiewetvergunning 2016/0808-10 voor het verrichten van handelingen en werkzaamheden met radioactieve stoffen*. 2016.
235. Elektriciteitsproduktiemaatschappij Zuid-Nederland B.V., *Melding ten behoeve van werkzaamheden in het kader van artikel 103 van het Besluit stralingsbescherming*. 2009.
236. Minister van Economische zaken, *Kernenergiewetvergunning 2011/2856-06*. 2011.
237. ANVS, *Beschikking ANVS-PP-2021/0084550-04 ter wijziging van de Kernenergiewetvergunning 2015/0032-08, laatstelijk gewijzigd op 27 maart 2020, voor het verrichten van handelingen met radioactieve stoffen*. 2021.
238. J. van Gorp, *Inrichting en werkwijze met als doel radioactief slakkenwol te verwerken tot beton*. 2007.
239. *Dataset ontmantelde bronnen obv informatie beschikbaar gesteld door Applus RTD*. 2021.
240. *Persoonlijke communicatie met stralingsbeschermingsdeskundige Reym B.V.* 2021.
241. ANVS, *Kernenergiewetvergunning 2016/0243-24 voor het verrichten van werkzaamheden met radioactieve stoffen*. 2018.
242. ANVS, *Kernenergiewetvergunning ANVS-PP-2019-0048603-05 voor het verrichten van handelingen met radioactieve stoffen en splijtstoffen*. 2019.
243. Climate and pollution agency Norway, *Decommissioning of offshore installations*. 2011.
244. *Persoonlijke communicatie met stralingsbeschermingsdeskundige Radiatco B.V.* 2021.

245. IMSA Amsterdam, *Decommissioning of North Sea oil and gas Facilities. An introductory assessment of potential impacts, costs and opportunities. Background report phase 1. Living North Sea Initiative.* 2011.
246. Nordic Nuclear Safety Research, *An overview of current non-nuclear radioactive waste management in the Nordic countries and considerations on possible needs for enhanced inter-Nordic cooperation.* 2015.
247. *Persoonlijke communicatie met Unitech B.V.* 2021.
248. Provincie Groningen, *Vergunning 636511 Wet Algemene Bepalingen Omgevingsrecht ten behoeve van de verwerking van kwikhoudende afvalstoffen.* 2016.
249. *Persoonlijke communicatie met BMT Europe.* 2021.
250. P. Goemans, E. Folkertsma., *Regelgeving in omringende landen omtrent de invoer van NORM reststoffen*, RIVM Briefrapport 2017-0136. 2017
251. Minister van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieu, *Besluit van 27 maart 2009, houdende implementatie van richtlijn nr. 2006/117/Euratom van de Raad van de Europese Unie van 20 november 2006 betreffende toezicht en controle op overbrenging van radioactieve afvalstoffen en bestraalde splijtstof (PbEU L 337) en intrekking van het Besluit in-, uit- en doorvoer van radioactieve afvalstoffen (Besluit in-, uit- en doorvoer van radioactieve afvalstoffen en bestraalde splijtstoffen).* 2009.
252. *Persoonlijke communicatie met Inspectie Leefomgeving en Transport (ILT).* 2021.
253. ANVS, *Beschikking specifieke vrijgave ANVS-PP-2018/0047916-08 voor het zich ontdoen van materialen met van nature voorkomende radionucliden ten behoeve van stort.* 2019.
254. ALD France SAS, *Presentatie Local Metal Melting for Materials from D&D on workshop on Best-Practice in Decontamination and Treatment of Decommissioning Wastes.* Aachen. 2019.
255. P. Goemans, E. Folkertsma, *Invoer van NORM reststoffen. Omvang en mogelijke groei van deze materiaalstroom in Nederland (vertrouwelijk).* RIVM-rapport 2017-0137. 2017
256. Minister van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieu, Minister van Sociale Zaken en Werkgelegenheid en Minister van Economische Zaken, *Beschikking Nr. SAS2007114816, houdende erkenning van de Centrale Organisatie voor Radioactief Afval als ophaaldienst voor radioactieve stoffen, splijtstoffen en ertsen en aanwijzing van die organisatie als instelling om die stoffen in ontvangst te nemen.* 2007.
257. Minister van Economische Zaken, *Kernenergiewetvergunning DGETM-PDNIV/14210039.* 2015.
258. COVRA N.V., *Algemene voorwaarden (ingangsdatum 1 januari 2021) inzake de overdracht van radioactief afval aan COVRA N.V., advisering en/of werkzaamheden in dat kader.* 2021.
259. COVRA N.V., *Technische voorwaarden (ingangsdatum 1 januari 2021) inzake de overdracht van standaard radioactief afval aan COVRA.* COVRA N.V. 2021.
260. COVRA N.V., *HET ORANJE BOEKJE. Revisie 0.3.* 2017.

261. Staatssecretaris van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieu en de Staatssecretaris van Sociale Zaken en Werkgelegenheid, *Regeling nr. SAS2005090776 inzake de aanwijzing van inrichtingen voor het storten van gevaarlijke afvalstoffen als instelling voor de ontvangst van radioactieve afvalstoffen*. 2005.
262. Minister van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieu, *Brief van de Minister van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer aan de voorzitter van de Tweede Kamer der Staten-Generaal over lokale lastendruk. Kamerstukken 25011, 17*. 1997.
263. ANVS, *Kernenergiewetvergunning 2014/0584-10 voor het verrichten van werkzaamheden met radioactieve stoffen*. 2014.
264. DHV, *Criteria voor C2- en C3-stortplaatsen. Verwerking van ZELA op stortplaatsen*. 2004.
265. DHV, *Verwerking van ZELA op stortplaatsen. Actualisatie criteria voor C2- en C3-stortplaatsen*. 2005.
266. IAEA, *Management of Residues Containing Naturally Occurring Radioactive Material from Uranium Production and Other Activities*, in *Safety standards series SSG-60*. 2021.

.....

M. van der Schaaf | P.D.B.M. Bekhuis | L.H.A. Boudewijns

.....

RIVM-rapport 2022-0073

Dit is een uitgave van:

**Rijksinstituut voor Volksgezondheid  
en Milieu**

Postbus 1 | 3720 BA Bilthoven  
Nederland  
[www.rivm.nl](http://www.rivm.nl)

oktober 2022

*De zorg voor morgen* begint vandaag