

RIVM Rapport 610050010 / 2002

**Radium in baggerspecie afkomstig uit het  
Rijnmondgebied**  
Resultaten over 2001

J. Lembrechts, P. Glastra, L.A. Nissan, R.M.W. Overwater

Dit onderzoek werd verricht in opdracht en ten laste van het Ministerie van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer, Directoraat-Generaal Milieubeheer, Directie Stoffen, Afvalstoffen en Straling, in het kader van project M/610050/01/AA 'Beleidsondersteuning niet-ioniserende en ioniserende straling', mijlpaal 'Slib Nieuwe Waterweg'.

RIVM, Postbus 1, 3720 BA Bilthoven, telefoon: 030 - 274 91 11; fax: 030 - 274 29 71

## **ABSTRACT**

The radium concentration was measured in 25 samples of harbour sludge taken in 2001 from the Rijnmond area (Rotterdam harbours and the Nieuwe Waterweg). High radium levels were found near the former discharge points of the phosphate ore processing plants, confirming the results of previous campaigns. The highest concentration of about 150 Bq/kg was found in a sample from a section in the Nieuwe Maas (NM-2). The grain-size distribution of the samples was used to estimate the natural radium in the sample and the radium which may be from industrial origin. The average total amount of radium of industrial origin for the 1999-2001 period in the nine regularly probed sections showing the highest radium levels was found to be no more than half of the average for the 1995–1998 period.

## INHOUD

|  |           |
|--|-----------|
| <b>Samenvatting</b>  | <b>4</b>  |
| <b>1. Doelstelling</b>   | <b>5</b>  |
| <b>2. Materiaal en methoden</b>  | <b>6</b>  |
| 2.1 Bemonstering   | 6         |
| 2.2 Monstervoorbereiding en analyse  | 6         |
| <b>3. Resultaten en discussie</b>  | <b>7</b>  |
| <b>4. Conclusies en aanbevelingen</b>  | <b>10</b> |
| <b>Referenties</b>   | <b>11</b> |
| <b>Bijlage 1: Verzendlijst</b>   | <b>12</b> |
| <b>Bijlage 2: Analyseresultaten 2001</b>   | <b>13</b> |
| <b>Bijlage 3: Gemeten totaal <sup>226</sup>Ra-gehalte per vak in de periode 1994–2001</b>  | <b>14</b> |
| <b>Bijlage 4: Geschatte totale <sup>226</sup>Ra-vracht per vak in de periode 1994–2001</b> | <b>16</b> |
| <b>Bijlage 5: Natuurlijk en toegevoegd <sup>226</sup>Ra-gehalte, ...</b>                   | <b>18</b> |

## **SAMENVATTING**

Van 25 havenspeciemonsters is het  $^{226}\text{Ra}$ -gehalte bepaald. De monsters zijn in 2001 verzameld in de Rotterdamse havens en in de Nieuwe Waterweg. Zoals ook in eerdere meetcampagnes is vastgesteld, worden hoge radiumgehalten gevonden in de omgeving van de voormalige lozingspunten van de fosfaatertsverwerkende industrieën. Het hoogste  $^{226}\text{Ra}$ -gehalte, circa 150 Bq/kg, is gevonden in een mengmonster afkomstig uit een vak gelegen in de Nieuwe Maas (NM-2).

Uit de korrelgrootte-verdeling van de monsters is afgeleid hoeveel radium van nature in elk ervan verwacht wordt en dus hoeveel mogelijk van industriële oorsprong moet zijn. De totale hoeveelheid radium van industriële oorsprong, in negen frequent onderzochte vakken met hoogste radiumgehalte, blijkt gemiddeld over 1999–2001 nog slechts de helft te bedragen van het gemiddelde over de periode 1995–1998.

## 1. DOELSTELLING

Jaarlijks wordt het  $^{226}\text{Ra}$ -gehalte bepaald in slibmonsters afkomstig uit de Rotterdamse havens en de Nieuwe Waterweg. Deze bepalingen zijn bedoeld om de gevolgen van de voormalige lozingen van de fosfaaterts verwerkende industrieën die aan de Nieuwe Waterweg waren gelegen, te volgen in de tijd. Het  $^{226}\text{Ra}$  dat in verhoogde concentraties in bepaalde soorten fosfaaterts aanwezig is, werd immers tijdens het productieproces aan het erts onttrokken en met het afvalwater geloosd.

Conform een aanbeveling in de rapportage uit 1996 over dit onderwerp [1] is ook in 2001 – net zoals in voorgaande jaren [2, 3, 4] – het  $^{226}\text{Ra}$ -gehalte gemeten in monsters uit 18 havenvakken.

Beide aan de Nieuwe Waterweg gevestigde fosfaatertsverwerkende bedrijven hebben begin 2000 hun activiteiten beëindigd. Aangenomen wordt dat dit een duidelijk merkbare invloed heeft op het radiumgehalte in slib dat in de eerstvolgende jaren zal worden afgezet. Daarom was reeds in 1999 besloten om 1) de 18 standaard bemonsterde meetlocaties aan te vullen met 7 extra meetpunten en 2) deze extra meetpunten ook in volgende jaren te bemonsteren. Deze extra punten zijn geselecteerd uit havenvakken die in 1994 of 1995 ook zijn onderzocht (21A, 25, 47, 50 en NM-7) of die dicht bij de lozingspunten zijn gelegen (vakken NM-1 en NM-3).

Dit verslag is uitgebreider dan dat gemaakt in de voorbije jaren. Voor het eerst sinds 1997 [5] zijn afgeleide gegevens zoals natuurlijke en overschotgehalten opnieuw berekend. Het overschotgehalte is hier gedefinieerd als het verschil tussen het gemeten  $^{226}\text{Ra}$ -gehalte en het gehalte dat van nature in het betreffende monster verwacht mag worden. Dit laatste wordt bepaald aan de hand van de korrelgrootteverdeling van het geanalyseerde monster [6]. Het overschotgehalte zegt dus hoeveel  $^{226}\text{Ra}$  mogelijk is toegevoegd door menselijk handelen.

## 2. MATERIAAL EN METHODEN

### 2.1 Bemonstering

De monsters zijn in het voorjaar van 2001 verzameld in het kader van de jaarlijkse monstercampagne van Gemeentewerken Rotterdam en Rijkswaterstaat Directie Zuid-Holland, zoals dat ook voor de voorgaande onderzoeken is gebeurd [7, 8, 9, 10]. Voor dit onderzoek zijn 25 vakken geselecteerd waar een hoog overschotgehalte wordt verwacht of in eerder onderzoek werd gevonden, of die gezien het hoge gemiddelde baggervolume significant kunnen bijdragen aan de totale overschot-activiteit voor het gehele gebied. Monsters uit vakken waaraan Gemeentewerken Rotterdam en Rijkswaterstaat Directie Zuid-Holland zelf metingen wensten uit te voeren, zijn in twee deelmonsters opgesplitst. Eén van beide deelmonsters is nat aangeleverd aan RIVM. Het volledige monster is aangeleverd aan RIVM indien het vak alleen voor het onderzoek naar radium was aangemerkt.

### 2.2 Monstervoorbereiding en analyse

Een deel van het materiaal is aangeboden aan ALcontrol Laboratories gevestigd in Hoogvliet, voor bepaling van de massapercentages van organische stof,  $\text{CaCO}_3$  en twee minerale fracties in de totale droge stof. Bepaald zijn het percentage met diameters  $< 2 \mu\text{m}$  en met diameters  $< 50 \mu\text{m}$ . De resultaten zijn direct aangeleverd aan RIVM met uitzondering van  $2 \mu\text{m}$ -bepalingen voor vakken relevant voor Rijkswaterstaat, die via deze organisatie aan RIVM zijn gerapporteerd.

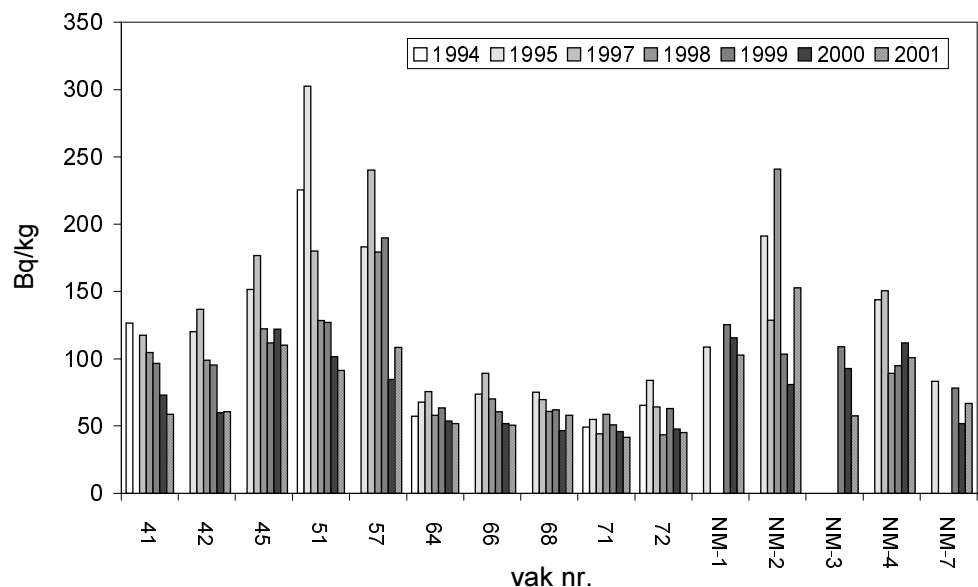
De rest van het materiaal is gedroogd, verkleind en gehomogeniseerd met behulp van een kogelmolen. Na ingroeien van de kortlevende radonochters zijn de monsters gamma-spectrometisch onderzocht met behulp van een Ge-detector. De  $^{226}\text{Ra}$ -activiteit is bepaald aan de hand van de gammastraling uitgezonden door  $^{214}\text{Pb}$  en  $^{214}\text{Bi}$ . Gezien de geringe verschillen tussen de in vroegere jaren uitgevoerde duplo-bepalingen zijn de analyses voor dit onderzoek in enkelvoud uitgevoerd.

### 3. RESULTATEN EN DISCUSSIE

Bijlage 2 geeft de ruwe data voor de monsters die in 2001 zijn onderzocht. De gegevens over korrelgrootte-verdeling die ALcontrol Laboratories rechtstreeks aan RIVM aanleverde, zijn ontleend aan briefrapport 012604M dd. 6 juli 2001. De overige gegevens over de korrelgrootte-verdeling zijn afkomstig van een concept-rapportage aangeleverd door J. Mol van Rijkswaterstaat Directie Zuid-Holland.

De gemeten  $^{226}\text{Ra}$ -gehalten en de totale radiumvrachten voor alle vakken bemonsterd in de periode 1994–2001 zijn samengebracht in bijlagen 3 en 4. Onder ‘vracht’ verstaat men de totale hoeveelheid van een bepaalde stof in de jaarlijks opgebaggerde specie. De vrachten zijn berekend door het gemeten gehalte te vermenigvuldigen met de langjarig gemiddelde waarde voor de opgebaggerde hoeveelheden (droge) baggerspecie zoals gebruikt in [1]. In 1996 zijn geen  $^{226}\text{Ra}$ -bepalingen uitgevoerd.

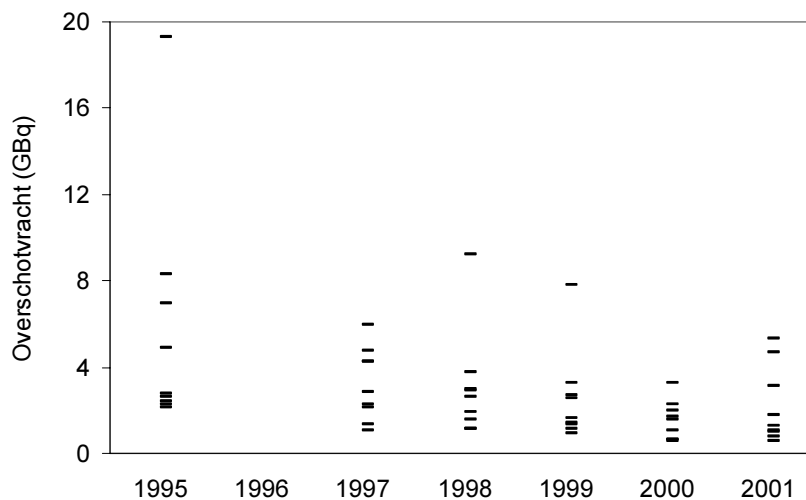
De berekende natuurlijke en overschotgehalten en de natuurlijke en overschotvrachten zijn samengebracht in bijlage 5. Het gaat hier uitsluitend om de negen vakken met het hoogste totaal radiumgehalte, die bovendien in 1995–2001 steeds zijn onderzocht, en waarvoor alle gegevens voor het berekenen van het natuurlijke en het overschotgehalte beschikbaar zijn.



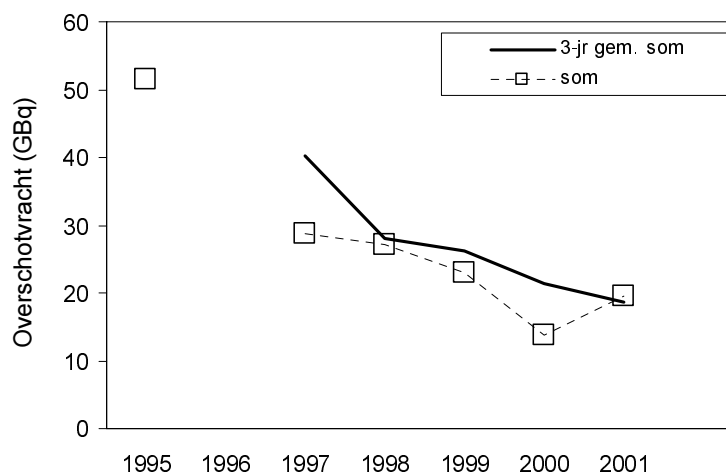
*Figuur 1: Vergelijking van het totale  $^{226}\text{Ra}$ -gehalte van vakken die minstens drie maal zijn onderzocht*

De ruimtelijke verschillen in  $^{226}\text{Ra}$ -gehalte zoals die zijn gevonden in voorgaande jaren, worden over het algemeen door de resultaten voor 2001 bevestigd (Figuur 1). Ook nu worden hoge gehalten gemeten in de 1<sup>e</sup> (vakken 51 en 57) en

2° Petroleumhaven (vooral vakken 45 en 50) en in de Nieuwe Maas nabij de voormalige lozingspunten van de bedrijven (vakken NM-1, NM-2 en NM-4). De gevonden gehalten liggen nog steeds boven de natuurlijke waarden. Dit betekent dat het effect van de begin 2000 beëindigde lozingen nog niet is verdwenen.



*Figuur 2: Trend in de overschotvracht  $^{226}\text{Ra}$  voor 9 frequent onderzochte vakken met een hoog radiumgehalte*



*Figuur 3: Trend in de totale overschotvracht  $^{226}\text{Ra}$  voor 9 frequent onderzochte vakken tezamen (som) en lopend gemiddelde over perioden van 3 jaar (3-jr gem. som). Hierbij is aangenomen dat de overschotvracht in 1996 gelijk was aan het gemiddelde over 1995 en 1997*

Analyse van de overschotvrachten in de negen geselecteerde vakken met een hoog radiumgehalte leert dat de totale vracht voor deze vakken in de loop der jaren duidelijk is gedaald: het gemiddelde over de jaren 1995–1998 is bijna tweemaal zo



hoog als het gemiddelde over de jaren 1999–2001 (Figuren 2 en 3). Deze daling wordt verklaard door 1) het stoppen van de activiteiten in 2000, 2) een gestaag dalende fosfaatproductie en dus radiumemissie in de daaraan voorafgaande jaren, en 3) het omschakelen naar ertsen met een laag gehalte aan natuurlijke radionucliden in de laatste productie jaren (Tabel 1).

*Tabel 1: Totale jaarlijkse lozing door beide in het Rijnmondgebied gevestigde fosfaatertsverwerkende bedrijven van drie nucliden die tijdens het productieproces aan het erts worden onttrokken en met het afvalwater worden geloosd. De gegevens zijn ontleend aan de rapportages van de betrokken bedrijven naar aanleiding van voorschriften uit hun vergunning.*

| Radionuclide      | 1994 | 1996<br>(GBq/j) | 1998 |
|-------------------|------|-----------------|------|
| <sup>226</sup> Ra | 809  | 598             | 377  |
| <sup>210</sup> Pb | 713  | 584             | 329  |
| <sup>210</sup> Po | 733  | 569             | 369  |

#### 4. CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN

De resultaten van de analyses van slibmonsters verzameld in 2001 in de Rotterdamse havens en waterwegen bevestigen de ruimtelijke verschillen in <sup>226</sup>Ra-gehalte zoals die zijn gevonden in voorgaande jaren. Het radiumgehalte is in de loop der jaren gestaag gedaald als gevolg van dalende lozingen en het geheel beëindigen van de lozingen in 2000. De invloed van de voormalige fosfaaterts verwerkende industrie is echter nog steeds duidelijk meetbaar.

Omdat weinig bekend is over het najen van dergelijke verontreinigingen in de Rotterdamse havens en waterwegen adviseert RIVM om het beperkte monitoringprogramma ook in volgende jaren uit te voeren, eventueel met een lagere frequentie (tweejaarlijks in plaats van jaarlijks), en om dit programma te koppelen aan de campagnes van Gemeentewerken Rotterdam en Rijkswaterstaat Directie Zuid-Holland, zoals dat tot nu toe gebeurd is.

## REFERENTIES

- [1] Stoop P, Lembrechts J. 1996. Radium in baggerspecie van 1994 en 1995 uit het Rijnmondgebied - Metingen en dosisberekeningen. RIVM, Bilthoven, rapport nr. 610058004
- [2] Lembrechts J en Glastra P. 1998. Radium in baggerspecie afkomstig uit het Rijnmondgebied. Resultaten over 1998. RIVM briefrapport met kenmerk 906/98 Sm/Lem/pbz
- [3] Lembrechts J, Glastra P, Nissan LA. 1999. Radium in baggerspecie afkomstig uit het Rijnmondgebied. Resultaten over 1999. RIVM briefrapport met kenmerk 935/99
- [4] Lembrechts J, Glastra P, Nissan LA. 2000. Radium in baggerspecie afkomstig uit het Rijnmondgebied. Resultaten over 2000. RIVM briefrapport met kenmerk 578/00
- [5] Lembrechts J, Glastra P, Stoop P. 1998. Radium in baggerspecie afkomstig uit het Rijnmondgebied. Resultaten over 1997. RIVM, Bilthoven, rapport nr. 610058007
- [6] Stoop P, Glastra P, Hiemstra Y, de Vries L, Lembrechts J. 1998. Results of the second Dutch national survey on radon in dwellings. RIVM, Bilthoven, rapport nr. 610058 006
- [7] Krijgsman A. 1997. Milieuaspecten onderhoudsbaggerspecie. Resultaten monstercampagne Rotterdamse havens en vaarwegen. Gemeentelijk Havenbedrijf Rotterdam/RWS Directie Zuid-Holland, rapport nr. Rt178.1, 16p. + bijlagen
- [8] Eisma M. 1998. Milieu-aspecten onderhoudsbaggerspecie. Resultaten monstercampagne 1998. Gemeentelijk Havenbedrijf Rotterdam/RWS Directie Zuid-Holland, 13p. + bijlagen
- [9] Eisma M. 1999. Milieu-aspecten onderhoudsbaggerspecie. Resultaten monstercampagne 1999. Gemeentelijk Havenbedrijf Rotterdam/RWS Directie Zuid-Holland, 13p. + bijlagen
- [10] Duintjer J en Eisma M. 2000. Milieu-aspecten onderhoudsbaggerspecie. Resultaten monstercampagne 2000. Gemeentelijk Havenbedrijf Rotterdam/RWS Directie Zuid-Holland, 13p. + bijlagen

**BIJLAGE 1: VERZENDLIJST**

|       |   |
|-------|---|
| 1-10  | Directeur van de Directie Stoffen, Afvalstoffen en Straling |
| 11    | Plaatsvervangend Directeur-Generaal Milieubeheer            |
| 12    | Depot Nederlandse Publikaties en Nederlandse Bibliografie   |
| 13    | Directie RIVM   |
| 14    | Directeur Sector Milieurisico's en Externe Veiligheid       |
| 15    | Hoofd van het Laboratorium voor Stralingsonderzoek          |
| 16    | Hoofd van de LSO-afdeling Modellen en Processen             |
| 17    | Hoofd van de LSO-afdeling Monitoring en Meetmethoden        |
| 18-21 | Auteurs   |
| 22    | Hoofd Voorlichting & Public Relations                       |
| 23    | Bureau Rapportenregistratie                                 |
| 24    | Bibliotheek RIVM  |
| 25    | Bibliotheek LSO   |
| 26-40 | Bureau Rapportenbeheer                                      |
| 41-50 | Reserve-exemplaren LSO                                      |

## BIJLAGE 2: ANALYSERESULTATEN 2001

| Remes-<br>nummer | Locatie           | Vak  | Monster-<br>datum | Droogrest<br>% | Vulmassa<br>droog | Orig | CaCO <sub>3</sub> | F <sub>2</sub> | F <sub>2-50</sub> | F <sub>50</sub> | Set-<br>nr. | Pb-214<br>Gehalte<br>(Bq/kg) | Telfout<br>(%) | Bi-214<br>Gehalte<br>(Bq/kg) | Telfout<br>(%) | Ra-226<br>(Bq/kg) | Totale fout<br>(Bq/kg) |
|------------------|-------------------|------|-------------------|----------------|-------------------|------|-------------------|----------------|-------------------|-----------------|-------------|------------------------------|----------------|------------------------------|----------------|-------------------|------------------------|
| 010268           | Waalhaven         | 25   | 16-mei-01         | 46,9           | 264               |      |                   |                |                   |                 | 14          | 72,93                        | 4,08           | 62,96                        | 3,71           | 67,95             | 4,93                   |
| 010269           | 2e Petroleumhaven | 41   | 27-mrt-01         | 44,1           | 269               | 6    | 11                | 20             | 28                | 36              | 14          | 62,16                        | 6,58           | 55,43                        | 6,62           | 58,80             | 4,81                   |
| 010270           | 2e Petroleumhaven | 42   | 16-mei-01         | 42,2           | 262               | 7    | 13                | 28             | 13                | 39              | 14          | 64,01                        | 5,45           | 56,99                        | 4,55           | 60,50             | 4,60                   |
| 010272           | 2e Petroleumhaven | 45   | 16-mei-01         | 41,65          | 269               | 5    | 14                | 22             | 34                | 25              | 14          | 111,86                       | 3,65           | 108,36                       | 3,45           | 110,11            | 7,89                   |
| 010292           | 2e Petroleumhaven | 47   | 16-mei-01         | 39,8           | 254               |      |                   |                |                   |                 | 14          | 80,59                        | 4,60           | 77,67                        | 5,37           | 79,13             | 6,00                   |
| 010273           | 2e Petroleumhaven | 50   | 16-mei-01         | 48,9           | 292               | 3    | 9                 | 12             | 27                | 49              | 14          | 88,61                        | 3,34           | 89,29                        | 3,44           | 88,95             | 6,34                   |
| 010275           | 1e Petroleumhaven | 51   | 16-mei-01         | 42,4           | 270               | 6    | 14                | 26             | 15                | 39              | 14          | 93,20                        | 4,03           | 89,26                        | 3,48           | 91,23             | 6,59                   |
| 010280           | 1e Petroleumhaven | 57   | 27-mrt-01         | 37,3           | 264               | 21   | 14                | 26             | 11                | 28              | 14          | 107,12                       | 3,73           | 109,94                       | 3,30           | 108,53            | 7,76                   |
| 010281           | 3e Petroleumhaven | 64   | 14-mei-01         | 42,65          | 284               | 6    | 12                | 24             | 26                | 32              | 14          | 53,73                        | 9,98           | 49,82                        | 5,24           | 51,78             | 4,58                   |
| 010282           | 3e Petroleumhaven | 66   | 14-mei-01         | 35,9           | 256               | 8    | 10                | 31             | 20                | 31              | 14          | 48,78                        | 9,03           | 52,18                        | 5,91           | 50,48             | 4,32                   |
| 010283           | 3e Petroleumhaven | 68   | 14-mei-01         | 34,5           | 267               | 8    | 16                | 34             | 8                 | 34              | 14          | 60,57                        | 4,94           | 55,42                        | 5,37           | 56,00             | 4,43                   |
| 010284           | Monding Botlek    | 71   | 14-mei-01         | 45,0           | 287               | 12   | 13                | 20             | 13                | 42              | 14          | 40,50                        | 7,34           | 42,83                        | 9,03           | 41,67             | 3,71                   |
| 010285           | Centrale Geul     | 72   | 14-mei-01         | 39,5           | 277               | 16   | 14                | 29             | -1                | 42              | 14          | 44,82                        | 4,22           | 45,56                        | 8,32           | 45,19             | 3,70                   |
| 010286           | Calandkanaal      | 86   | 04-mei-01         | 31,9           | 256               | 7    | 17                | 28             | 27                | 21              | 14          | 27,21                        | 10,06          | 24,99                        | 10,72          | 26,10             | 2,59                   |
| 010274           | Maasmond          | 509  | 02-mei-01         | 33,25          | 263               | 6    | 18                | 28             | -9                | 57              | 14          | 27,59                        | 13,48          | 27,17                        | 9,17           | 27,38             | 2,90                   |
| 010276           | Maasmond          | 513  | 04-mei-01         | 34,05          | 273               | 6    | 10                | 24             | 14                | 46              | 14          | 29,34                        | 7,74           | 25,37                        | 8,97           | 27,36             | 2,44                   |
| 010267           | Merwehaven        | 21A  | 16-mei-01         | 40,4           | 266               |      |                   |                |                   |                 | 14          | 84,33                        | 2,87           | 88,87                        | 4,37           | 86,60             | 6,24                   |
| 010277           | Nieuwe Waterweg   | 519A | 02-mei-01         | 55,0           | 394               | 3    | 17                | 11             | 15                | 54              | 14          | 24,55                        | 7,26           | 27,09                        | 9,06           | 25,82             | 2,30                   |
| 010278           | Nieuwe Waterweg   | 519B | 02-mei-01         | 56,6           | 413               | 3    | 16                | 8,8            | 13                | 59              | 14          | 23,04                        | 7,04           | 22,90                        | 7,94           | 22,97             | 1,96                   |
| 010279           | Nieuwe Waterweg   | 521B | 02-mei-01         | 60,4           | 479               | 2    | 16                | 5              | 6                 | 71              | 14          | 21,35                        | 12,69          | 20,36                        | 8,67           | 20,86             | 2,14                   |
| 010287           | Nieuwe Maas       | NM1  | 27-mrt-01         | 54,2           | 366               | 4    | 5                 | 12             | 27                | 52              | 14          | 101,35                       | 2,92           | 103,90                       | 3,02           | 102,63            | 7,21                   |
| 010288           | Nieuwe Maas       | NM2  | 14-mei-01         | 54,1           | 331               | 5    | 13                | 14             | 12                | 56              | 14          | 155,85                       | 3,03           | 149,59                       | 2,37           | 152,72            | 10,66                  |
| 010289           | Nieuwe Maas       | NM3  | 27-mrt-01         | 51,3           | 319               | 2    | 14                | 13             | 16                | 56              | 14          | 57,15                        | 3,22           | 57,85                        | 5,49           | 57,50             | 4,27                   |
| 010290           | Nieuwe Maas       | NM4  | 14-mei-01         | 46,2           | 287               | 6    | 12                | 14             | 17                | 51              | 14          | 101,35                       | 3,60           | 100,34                       | 3,91           | 100,85            | 7,28                   |
| 010291           | Nieuwe Maas       | NM7  | 27-mrt-01         | 54,9           | 342               | 6    | 7                 | 13             | 19                | 55              | 14          | 67,95                        | 4,38           | 65,46                        | 4,26           | 66,71             | 4,92                   |

### BIJLAGE 3: GEMETEN TOTAAL <sup>226</sup>RA-GEHALTE PER VAK IN DE PERIODE 1994–2001

| Vak # | 1994       | 1995       | 1997     | 1998<br>(Bq/ kg) | 1999     | 2000       | 2001    |
|-------|------------|------------|----------|------------------|----------|------------|---------|
| 11B   |            | 72 ± 3     |          |                  |          |            |         |
| 16    |            | 52 ± 2     |          |                  |          |            |         |
| 17    |            | 68 ± 3     |          |                  |          |            |         |
| 21A   |            | 99 ± 4     |          |                  | 95 ± 7   | 86 ± 6     | 87 ± 6  |
| 22    |            | 72 ± 3     |          |                  |          |            |         |
| 23    |            | 77 ± 3     |          |                  |          |            |         |
| 25    |            | 99 ± 4     |          |                  | 71 ± 6   | 73 ± 6     | 68 ± 5  |
| 25A   |            | 71 ± 3     |          |                  |          |            |         |
| 34    | 54 ± 2     |            |          |                  |          |            |         |
| 37    | 39 ± 6     |            |          |                  |          |            |         |
| 41    | 126 ± 5    |            | 117 ± 8  | 105 ± 7          | 97 ± 7   | 73 ± 5     | 59 ± 5  |
| 42    |            | 120 ± 5    | 137 ± 10 | 99 ± 7           | 95 ± 7   | 60 ± 4     | 61 ± 5  |
| 45    |            | 151 ± 6    | 177 ± 12 | 122 ± 9          | 112 ± 8  | 122 ± 9    | 110 ± 8 |
| 47    |            | 83 ± 3     |          |                  | 92 ± 7   | 89 ± 6     | 79 ± 6  |
| 50    |            | 150 ± 6    |          |                  | 105 ± 7  | 111 ± 8    | 89 ± 6  |
| 51    | 226 ± 9    | 303 ± 11   | 180 ± 12 | 128 ± 9          | 127 ± 9  | 101 ± 7    | 91 ± 7  |
| 57    |            | 183 ± 7    | 240 ± 17 | 179 ± 12         | 190 ± 13 | 85 ± 6     | 109 ± 8 |
| 64    | 57 ± 3     | 68 ± 3     | 75 ± 6   | 58 ± 4           | 63 ± 5   | 54 ± 4     | 52 ± 5  |
| 66    |            | 74 ± 3     | 89 ± 7   | 70 ± 5           | 61 ± 5   | 52 ± 4     | 50 ± 4  |
| 67    | 45 ± 2     |            |          |                  |          |            |         |
| 68    |            | 75 ± 3     | 70 ± 5   | 61 ± 5           | 62 ± 5   | 47 ± 4     | 58 ± 4  |
| 71    | 49 ± 2     | 55 ± 2     | 44 ± 3   | 59 ± 4           | 51 ± 4   | 46 ± 4     | 42 ± 4  |
| 72    | 65 ± 3     | 84 ± 3     | 64 ± 5   | 44 ± 3           | 63 ± 5   | 48 ± 4     | 45 ± 4  |
| 73    |            | 67 ± 3     |          |                  |          |            |         |
| 75    | 61 ± 3     |            |          |                  |          |            |         |
| 75A   |            | 76 ± 3     |          |                  |          |            |         |
| 81    | 26,9 ± 1,4 |            |          |                  |          |            |         |
| 84    | 25,9 ± 1,3 |            |          |                  |          |            |         |
| 85    | 25,6 ± 1,6 |            |          |                  |          |            |         |
| 86    | 26,6 ± 1,8 | 29,7 ± 1,5 | 30 ± 3   | 61 ± 5           | 33 ± 3   | 24,7 ± 1,9 | 26 ± 3  |
| 89    | 33,3 ± 1,7 |            |          |                  |          |            |         |
| 90    | 39,0 ± 1,8 |            |          |                  |          |            |         |
| 91    | 29,2 ± 1,6 |            |          |                  |          |            |         |
| 92    | 25,1 ± 1,3 |            |          |                  |          |            |         |
| 93    | 26,4 ± 1,4 |            |          |                  |          |            |         |
| 94    | 27,5 ± 1,4 |            |          |                  |          |            |         |
| 96    | 20,4 ± 1,0 |            |          |                  |          |            |         |
| 109   | 29,7 ± 1,6 |            |          |                  |          |            |         |
| 114   | 26,1 ± 1,5 |            |          |                  |          |            |         |
| 115   | 22,5 ± 1,0 |            |          |                  |          |            |         |
| 116   | 24,1 ± 1,2 |            |          |                  |          |            |         |

| Vak # | 1994       | 1995       | 1997     | 1998<br>(Bq/ kg) | 1999       | 2000       | 2001       |
|-------|------------|------------|----------|------------------|------------|------------|------------|
| 122   | 21,5 ± 1,0 |            |          |                  |            |            |            |
| 123   | 41,0 ± 1,7 |            |          |                  |            |            |            |
| 124   | 24,0 ± 1,1 |            |          |                  |            |            |            |
| 125   |            | 72 ± 3     |          |                  |            |            |            |
| 126   |            | 59 ± 3     |          |                  |            |            |            |
| 508   | 31,6 ± 1,6 |            |          |                  |            |            |            |
| 509   | 26,4 ± 1,3 | 29,3 ± 1,4 | 29 ± 3   | 26 ± 2           | 27 ± 3     | 29 ± 2     | 27 ± 3     |
| 511   | 22,2 ± 1,7 |            |          |                  |            |            |            |
| 513   | 26,0 ± 1,2 | 29,9 ± 1,5 | 29 ± 3   | 25 ± 2           | 27 ± 3     | 27 ± 2     | 27 ± 2     |
| 515   | 26,0 ± 1,6 |            |          |                  |            |            |            |
| 517   | 27,0 ± 1,4 |            |          |                  |            |            |            |
| 519A  | 28,1 ± 1,3 | 27,2 ± 1,4 | 30 ± 3   | 26 ± 2           | 27 ± 2     | 27 ± 2     | 26 ± 2     |
| 519B  | 22,8 ± 1,0 | 24,3 ± 1,2 | 26 ± 2   | 24 ± 2           | 25 ± 2     | 22,4 ± 1,7 | 23,0 ± 2,0 |
| 521A  | 19,2 ± 0,9 |            |          |                  |            |            |            |
| 521B  | 24,1 ± 1,4 | 27,7 ± 1,3 | 25 ± 2   | 19,2 ± 1,6       | 21,6 ± 1,9 |            | 21 ± 2     |
| 598   | 20,1 ± 0,9 |            |          |                  |            |            |            |
| 599   | 26,2 ± 1,3 |            |          |                  |            |            |            |
| NM-1  |            | 109 ± 4    |          |                  | 125 ± 9    | 116 ± 8    | 103 ± 7    |
| NM-2  |            | 191 ± 7    | 129 ± 9  | 241 ± 16         | 103 ± 7    | 81 ± 6     | 153 ± 11   |
| NM-3  |            |            |          |                  | 109 ± 8    | 93 ± 7     | 58 ± 4     |
| NM-4  |            | 144 ± 6    | 151 ± 10 | 89 ± 6           | 95 ± 7     | 112 ± 8    | 101 ± 7    |
| NM-7  |            | 83 ± 3     |          |                  | 78 ± 6     | 52 ± 4     | 67 ± 5     |
| NM-8  |            | 30,6 ± 1,4 |          |                  |            |            |            |
| NM-9  |            | 43,3 ± 1,9 |          |                  |            |            |            |
| OMA   | 41,4 ± 2,0 |            |          |                  |            |            |            |
| OMB   | 14,8 ± 0,7 |            |          |                  |            |            |            |
| W 1   | 28,9 ± 1,4 |            |          |                  |            |            |            |
| W 2   | 15,1 ± 0,7 |            |          |                  |            |            |            |
| W 3A  | 14,0 ± 0,8 |            |          |                  |            |            |            |
| W 3B  | 13,3 ± 0,6 |            |          |                  |            |            |            |
| W 4   | 27,7 ± 1,4 |            |          |                  |            |            |            |
| W 6   | 34,2 ± 1,6 |            |          |                  |            |            |            |
| W 7   | 25,1 ± 1,5 |            |          |                  |            |            |            |
| W 8   | 33,8 ± 1,9 |            |          |                  |            |            |            |
| W 9   | 31,4 ± 1,5 |            |          |                  |            |            |            |
| W10   | 49 ± 2     |            |          |                  |            |            |            |
| W11   | 41,0 ± 1,8 |            |          |                  |            |            |            |
| W12   | 30,4 ± 1,4 |            |          |                  |            |            |            |

### BIJLAGE 4: GESCHATTE TOTALE <sup>226</sup>Ra-VRACHT PER VAK IN DE PERIODE 1994–2001

| Vak # | 1994  | 1995  | 1997<br>(MBq) | 1998  | 1999  | 2000  | 2001  |
|-------|-------|-------|---------------|-------|-------|-------|-------|
| 11B   |       | 1144  |               |       |       |       |       |
| 16    |       | 343   |               |       |       |       |       |
| 17    |       | 225   |               |       |       |       |       |
| 21A   |       | 1142  |               |       | 1102  | 993   | 1003  |
| 22    |       | 437   |               |       |       |       |       |
| 23    |       | 1061  |               |       |       |       |       |
| 25    |       | 1058  |               |       | 758   | 780   | 723   |
| 25A   |       | 652   |               |       |       |       |       |
| 34    | 215   |       |               |       |       |       |       |
| 37    | 110   |       |               |       |       |       |       |
| 41    | 2394  |       | 2224          | 1983  | 1829  | 1383  | 1113  |
| 42    |       | 3490  | 3969          | 2876  | 2766  | 1736  | 1757  |
| 45    |       | 2369  | 2764          | 1910  | 1748  | 1910  | 1723  |
| 47    |       | 44    |               |       | 49    | 47    | 42    |
| 50    |       | 79    |               |       | 56    | 59    | 47    |
| 51    | 6776  | 9094  | 5410          | 3860  | 3817  | 3047  | 2741  |
| 57    |       | 3740  | 4907          | 3665  | 3875  | 1730  | 2217  |
| 64    | 3408  | 4030  | 4483          | 3449  | 3766  | 3197  | 3075  |
| 66    |       | 3812  | 4613          | 3620  | 3131  | 2675  | 2609  |
| 67    | 3449  |       |               |       |       |       |       |
| 68    |       | 4109  | 3804          | 3329  | 3391  | 2547  | 3169  |
| 71    | 4297  | 4779  | 3864          | 5106  | 4435  | 3998  | 3627  |
| 72    | 20761 | 26657 | 20355         | 13822 | 19976 | 15179 | 14340 |
| 73    |       | 3085  |               |       |       |       |       |
| 75    | 1517  |       |               |       |       |       |       |
| 75A   |       | 1250  |               |       |       |       |       |
| 81    | 336   |       |               |       |       |       |       |
| 84    | 205   |       |               |       |       |       |       |
| 85    | 28    |       |               |       |       |       |       |
| 86    | 4360  | 4871  | 4926          | 10063 | 5399  | 4054  | 4281  |
| 89    | 2581  |       |               |       |       |       |       |
| 90    | 1010  |       |               |       |       |       |       |
| 91    | 171   |       |               |       |       |       |       |
| 92    | 37    |       |               |       |       |       |       |
| 93    | 67    |       |               |       |       |       |       |
| 94    | 97    |       |               |       |       |       |       |
| 96    | 192   |       |               |       |       |       |       |
| 109   | 625   |       |               |       |       |       |       |
| 114   | 1736  |       |               |       |       |       |       |
| 115   | 445   |       |               |       |       |       |       |
| 116   | 0     |       |               |       |       |       |       |



| Vak # | 1994  | 1995  | 1997<br>(MBq) | 1998  | 1999  | 2000  | 2001  |
|-------|-------|-------|---------------|-------|-------|-------|-------|
| 122   | 111   |       |               |       |       |       |       |
| 123   | 605   |       |               |       |       |       |       |
| 124   | 18    |       |               |       |       |       |       |
| 125   |       | 901   |               |       |       |       |       |
| 126   |       | 809   |               |       |       |       |       |
| 508   | 978   |       |               |       |       |       |       |
| 509   | 8800  | 9770  | 9530          | 8661  | 8979  | 9779  | 9133  |
| 511   | 7393  |       |               |       |       |       |       |
| 513   | 8282  | 9524  | 9248          | 8010  | 8630  | 8539  | 8717  |
| 515   | 8279  |       |               |       |       |       |       |
| 517   | 9021  |       |               |       |       |       |       |
| 519A  | 23415 | 22697 | 24951         | 21874 | 22372 | 22451 | 21518 |
| 519B  | 18977 | 20214 | 21576         | 20141 | 20838 | 18647 | 19142 |
| 521A  | 16018 |       |               |       |       |       |       |
| 521B  | 20068 | 23074 | 20970         | 16007 | 18026 |       |       |
| 598   | 653   |       |               |       |       |       |       |
| 599   | 850   |       |               |       |       |       |       |
| NM-1  |       | 4427  |               |       | 5106  | 4711  | 4183  |
| NM-2  |       | 7796  | 5241          | 9823  | 4213  | 3293  | 6224  |
| NM-3  |       |       |               |       | 4440  | 3781  | 2343  |
| NM-4  |       | 5866  | 6139          | 3631  | 3866  | 4557  | 4110  |
| NM-7  |       | 479   |               |       | 450   | 299   | 384   |
| NM-8  |       | 176   |               |       |       |       |       |
| NM-9  |       | 250   |               |       |       |       |       |
| OMA   | 398   |       |               |       |       |       |       |
| OMB   | 142   |       |               |       |       |       |       |
| W 1   | 458   |       |               |       |       |       |       |
| W 2   | 239   |       |               |       |       |       |       |
| W 3A  | 134   |       |               |       |       |       |       |
| W 3B  | 127   |       |               |       |       |       |       |
| W 4   | 2218  |       |               |       |       |       |       |
| W 6   | 2742  |       |               |       |       |       |       |
| W 7   | 2009  |       |               |       |       |       |       |
| W 8   | 2707  |       |               |       |       |       |       |
| W 9   | 2516  |       |               |       |       |       |       |
| W10   | 937   |       |               |       |       |       |       |
| W11   | 790   |       |               |       |       |       |       |
| W12   | 585   |       |               |       |       |       |       |

**BIJLAGE 5: NATUURLIJK EN TOEGEVOEGD  $^{226}\text{Ra}$ -GEHALTE, EN NATUURLIJKE EN TOEGEVOEGDE  $^{226}\text{Ra}$ -VRACHT VOOR 9 VAKKEN OVER DE PERIODE 1995–2001**

**Natuurlijk radiumgehalte (Bq / kg)**

| Vak # | 1995   | 1997   | 1998   | 1999   | 2000   | 2001   |
|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 42    | 30 ± 4 | 39 ± 4 | 33 ± 4 | 38 ± 4 | 38 ± 4 | 34 ± 4 |
| 51    | 28 ± 4 | 38 ± 4 | 29 ± 4 | 42 ± 4 | 36 ± 4 | 33 ± 4 |
| 64    | 32 ± 4 | 39 ± 4 | 39 ± 4 | 40 ± 4 | 36 ± 4 | 35 ± 4 |
| 66    | 29 ± 4 | 46 ± 4 | 40 ± 4 | 42 ± 4 | 41 ± 4 | 39 ± 4 |
| 68    | 31 ± 4 | 45 ± 4 | 40 ± 4 | 41 ± 4 | 35 ± 4 | 38 ± 4 |
| 71    | 24 ± 4 | 32 ± 4 | 25 ± 4 | 35 ± 4 | 28 ± 4 | 27 ± 4 |
| 72    | 23 ± 4 | 45 ± 4 | 32 ± 4 | 38 ± 4 | 43 ± 4 | 31 ± 4 |
| NM-2  | 21 ± 4 | 24 ± 4 | 15 ± 4 | 24 ± 4 | 25 ± 4 | 22 ± 4 |
| NM-4  | 24 ± 4 | 34 ± 4 | 24 ± 4 | 28 ± 4 | 31 ± 4 | 24 ± 4 |

**Natuurlijke radiumvracht (MBq)**

| Vak # | 1995 | 1997  | 1998  | 1999  | 2000  | 2001 |
|-------|------|-------|-------|-------|-------|------|
| 42    | 864  | 1146  | 971   | 1111  | 1097  | 999  |
| 51    | 828  | 1147  | 870   | 1254  | 1095  | 998  |
| 64    | 1916 | 2343  | 2298  | 2389  | 2138  | 2062 |
| 66    | 1509 | 2369  | 2056  | 2192  | 2100  | 2022 |
| 68    | 1701 | 2477  | 2209  | 2242  | 1913  | 2071 |
| 71    | 2048 | 2795  | 2216  | 3007  | 2405  | 2354 |
| 72    | 7379 | 14432 | 10050 | 12155 | 13499 | 9694 |
| NM-2  | 857  | 997   | 627   | 967   | 1025  | 901  |
| NM-4  | 983  | 1373  | 991   | 1142  | 1275  | 958  |

**Radium-overschotgehalte (Bq/kg)**

| Vak # | 1995     | 1997     | 1998     | 1999    | 2000   | 2001     |
|-------|----------|----------|----------|---------|--------|----------|
| 42    | 90 ± 6   | 97 ± 10  | 66 ± 8   | 57 ± 8  | 22 ± 6 | 26 ± 6   |
| 51    | 275 ± 12 | 142 ± 13 | 100 ± 10 | 85 ± 10 | 65 ± 8 | 58 ± 8   |
| 64    | 36 ± 5   | 36 ± 7   | 19 ± 6   | 23 ± 6  | 18 ± 6 | 17 ± 6   |
| 66    | 45 ± 5   | 43 ± 8   | 30 ± 7   | 18 ± 6  | 11 ± 6 | 11 ± 6   |
| 68    | 44 ± 5   | 24 ± 7   | 20 ± 6   | 21 ± 6  | 12 ± 5 | 20 ± 6   |
| 71    | 31 ± 5   | 12 ± 5   | 33 ± 6   | 16 ± 6  | 18 ± 5 | 15 ± 5   |
| 72    | 61 ± 5   | 19 ± 6   | 12 ± 5   | 25 ± 6  | 5 ± 5  | 15 ± 5   |
| NM-2  | 170 ± 8  | 104 ± 10 | 226 ± 17 | 80 ± 8  | 56 ± 7 | 131 ± 11 |
| NM-4  | 120 ± 7  | 117 ± 11 | 65 ± 8   | 67 ± 8  | 81 ± 9 | 77 ± 8   |

**Radium-overschotvracht (MBq)**

| Vak # | 1995  | 1997 | 1998 | 1999 | 2000 | 2001 |
|-------|-------|------|------|------|------|------|
| 42    | 2626  | 2823 | 1905 | 1655 | 639  | 758  |
| 51    | 8267  | 4263 | 2990 | 2563 | 1952 | 1743 |
| 64    | 2114  | 2140 | 1151 | 1377 | 1060 | 1013 |
| 66    | 2303  | 2244 | 1564 | 939  | 575  | 587  |
| 68    | 2408  | 1327 | 1120 | 1149 | 634  | 1098 |
| 71    | 2731  | 1069 | 2889 | 1429 | 1592 | 1273 |
| 72    | 19279 | 5924 | 3773 | 7821 | 1680 | 4646 |
| NM-2  | 6939  | 4245 | 9195 | 3246 | 2268 | 5324 |
| NM-4  | 4883  | 4765 | 2641 | 2724 | 3282 | 3152 |