

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 <math>^{226}\text{Ra}</math>-gehalte per vak in de periode 1994–2001</b>	<b>14</b>
<b>Bijlage 4: Geschatte totale <math>^{226}\text{Ra}</math>-vracht per vak in de periode 1994–2001</b>	<b>16</b>
<b>Bijlage 5: Natuurlijk en toegevoegd <math>^{226}\text{Ra}</math>-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 radiumgehaltes 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 niet 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.

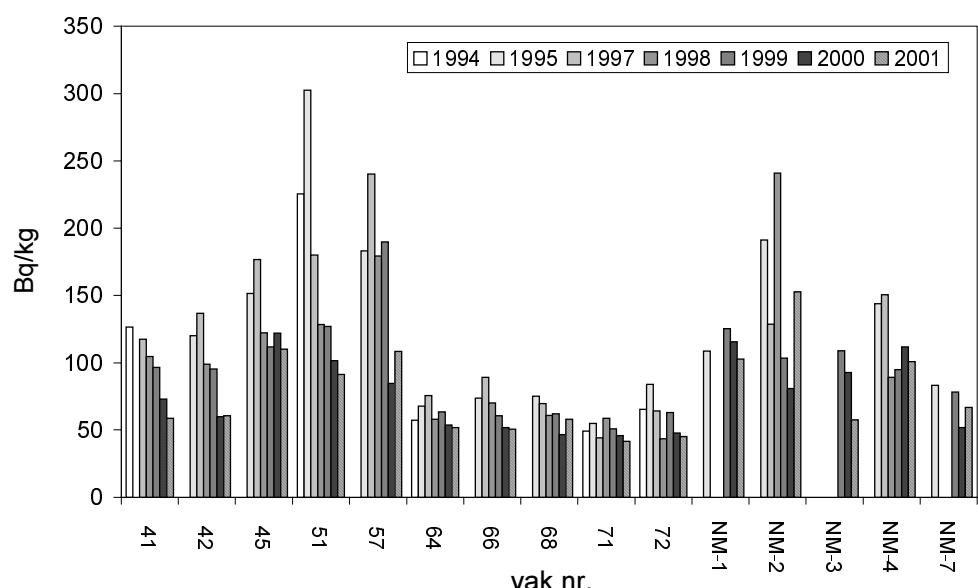
De rest van het materiaal is gedroogd, verkleind en gehomogeniseerd met behulp van een kogelmolen. Na ingroeien van de kortlevende radondochters zijn de monsters gamma-spectrometisch onderzocht met behulp van een Ge-detector. De  $^{226}\text{Ra}$ -activiteit is bepaald aan de hand van de gammastraling 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 conceptrapportage 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.

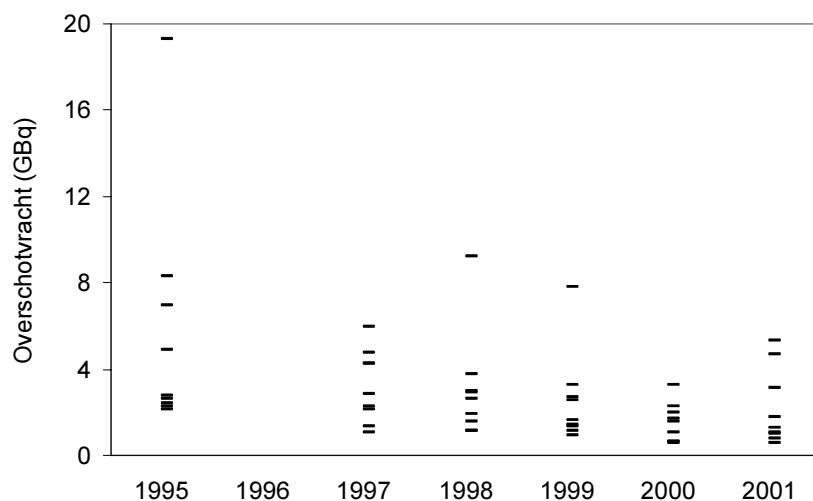
De berekende natuurlijke en overschotgehalten en de natuurlijke en overschotvrachten zijn samengebracht in bijlage 5. Het gaat hier uitsluitend om de negen vakken met het hoogste totaal radiumgehalte, die bovendien in 1995–2001 steeds zijn onderzocht, en waarvoor alle gegevens voor het berekenen van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



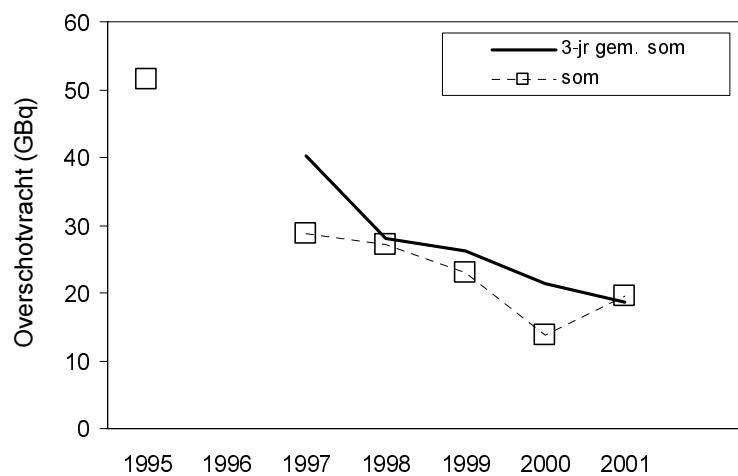
*Figuur 1: Vergelijking van het totale  $^{226}\text{Ra}$ -gehalte van vakken die minstens drie maal zijn onderzocht*

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<sup>e</sup> 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 overshotvacht  $^{226}\text{Ra}$  voor 9 frequent onderzochte vakken met een hoog radiumgehalte*



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

Analyse van de overshotvrachten 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 productiejaren (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 (GBq/j)	1998
$^{226}\text{Ra}$	809	598	377
$^{210}\text{Pb}$	713	584	329
$^{210}\text{Po}$	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  $^{226}\text{Ra}$ -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 naijlen van dergelijke verontreinigingen in de Rotterdamse havens en waterwegen adviseert RIVM om het beperkte monitoring-programma 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-nummer	Locatie	Vak	Monster-datum	Droogrest%	Vulmassa droog (g)	CaCO <sub>3</sub> %	F <sub>2-30</sub>	F <sub>50-</sub>	Set-nr.	Ph-214 (Bq/kg)	Bi-214 (Bq/kg)	Ra-226 (Bq/kg)	Totale fout (%)		
010268	Waalhaven	25	16-meiv-01	46,9	264	11	20	28	35	14	72,93	4,08	62,96	3,71	
010269	2e Petroleumhaven	41	27-mrt-01	44,1	289	6	13	28	13	14	62,16	6,58	55,43	6,62	
010270	2e Petroleumhaven	42	16-meiv-01	42,2	262	7	14	22	34	14	64,01	5,45	56,99	4,55	
010272	2e Petroleumhaven	45	16-meiv-01	41,65	289	5	14	22	34	14	111,86	3,85	108,36	3,45	
010292	2e Petroleumhaven	47	16-meiv-01	39,8	254	3	9	12	27	14	80,59	4,60	77,67	5,37	
010273	2e Petroleumhaven	50	16-meiv-01	48,9	292	6	14	26	15	14	88,61	3,34	89,29	3,44	
010275	1e Petroleumhaven	51	16-meiv-01	42,4	270	21	14	26	11	14	93,20	4,03	89,26	3,48	
010280	1e Petroleumhaven	57	27-mrt-01	37,3	264	6	12	24	26	14	107,12	3,73	109,94	3,30	
010281	3e Petroleumhaven	64	14-meiv-01	42,65	284	16	14	29	1	14	53,73	9,98	49,82	5,24	
010282	3e Petroleumhaven	66	14-meiv-01	35,9	266	8	10	31	20	14	48,78	9,03	52,18	5,91	
010283	3e Petroleumhaven	68	14-meiv-01	34,5	267	8	16	34	8	14	60,57	4,94	55,42	5,37	
010284	Monding Bottlek	71	14-meiv-01	45,0	287	12	13	20	13	14	40,50	7,34	42,83	9,03	
010285	Centrale Geul	72	14-meiv-01	39,5	277	16	14	29	-1	14	44,82	4,22	45,56	8,32	
010286	Calandkanaal	86	04-meiv-01	31,9	266	7	17	28	27	21	14	27,21	10,06	24,99	10,72
010274	Maasmond	509	02-meiv-01	33,25	263	6	18	28	-9	14	27,59	13,48	27,17	9,17	
010276	Maasmond	513	04-meiv-01	34,05	273	6	10	24	14	14	29,34	7,74	25,37	8,97	
010287	Merwehaven	21A	16-meiv-01	40,4	266	3	17	11	15	14	84,33	2,87	88,87	4,37	
010277	Nieuwe Waterweg	519A	02-meiv-01	55,0	394	16	13	14	12	14	155,85	3,03	149,59	2,37	
010278	Nieuwe Waterweg	519B	02-meiv-01	56,6	413	3	16	8,8	13	14	23,04	7,04	22,90	7,94	
010279	Nieuwe Waterweg	521B	02-meiv-01	60,4	479	2	16	5	6	14	21,35	12,69	20,36	8,67	
010287	Nieuwe Maas	NM1	27-mrt-01	54,2	366	4	5	12	27	52	14	101,35	2,92	103,90	3,02
010288	Nieuwe Maas	NM2	14-meiv-01	54,1	331	5	13	14	12	56	14	155,85	3,03	149,59	2,37
010289	Nieuwe Maas	NM3	27-mrt-01	51,3	319	2	14	13	16	55	14	57,15	3,22	57,85	5,49
010290	Nieuwe Maas	NM4	14-meiv-01	46,2	287	6	12	14	17	51	14	101,35	3,60	100,34	3,91
010291	Nieuwe Maas	NM7	27-mrt-01	54,9	342	6	7	13	19	55	14	67,95	4,38	65,46	4,26

**BIJLAGE 3: GEMETEN TOTAAL  $^{226}\text{Ra}$ -GEHALTE PER VAK IN DE PERIODE 1994–2001**

Vak #	1994	1995	1997	1998 (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 (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  $^{226}\text{Ra}$ -VRACHT PER VAK IN DE PERIODE 1994–2001**

Vak #	1994	1995	1997 (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	1998	1999	2000	2001
	(MBq)						
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