

RIJKSINSTITUUT VOOR VOLKSGEZONDHEID EN MILIEU  
BILTHOVEN

Rapport nr. 610058007

**Radium in baggerspecie afkomstig uit het  
Rijnmondgebied. Resultaten over 1997**

J. Lembrechts, P. Glastra en P. Stoop

februari 1998

Dit onderzoek is uitgevoerd in opdracht van het Directoraat-Generaal Milieubeheer, Directie Stoffen, Veiligheid en Straling van het Ministerie van VROM onder projectnummer 610058, Verspreiding van Radionucliden, deelproject Slib Nieuwe Waterweg.

Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu, Postbus 1, 3720 BA Bilthoven,  
tel. 030-2749111, fax 030-2742971

**VERZENDLIJST**

- 1 - 10 Directoraat-Generaal Milieubeheer, directie Stoffen, Veiligheid en Straling
- 11 plv. Directeur-Generaal Milieubeheer
- 12 Hoofdinspecteur voor de Milieuhygiëne
- 13 ir. J. van Dienst, Kemira Agro BV, Rozenburg
- 14 ing. R.M. Vermeul, Hydro Agri Rotterdam BV, Vlaardingen
- 15 dr. J.R.W. Woittiez, ECN, Petten
- 16 ir. D. Ludikhuizen, RIZA, Dordrecht
- 17 ir. C.J. Otten, RWS dir. Noordzee, Rijswijk
- 18 ing. J.H.M. van der Meulen, RWS dir. Zuid-Holland, Rotterdam
- 19 Depot van Nederlandse publicaties en Nederlandse bibliografie
- 20 Directie RIVM
- 21 Hoofd afdeling Voorlichting & Public Relations
- 22 Directeur Sector Stoffen en Risico's (IV)
- 23 Hoofd van het Laboratorium voor Stralingsonderzoek
- 24 Hoofd van de afdeling KWT van het Laboratorium voor Stralingsonderzoek
- 25 Hoofd van het Laboratorium voor Water- en Drinkwateronderzoek
- 26 Hoofd van het Laboratorium voor Bodem- en Grondwateronderzoek
- 27 Hoofd van de afdeling MMM van het Laboratorium voor Stralingsonderzoek
- 28 Bibliotheek van het Laboratorium voor Stralingsonderzoek
- 29 - 31 Auteurs
- 32 Bureau Rapportenregistratie
- 33 Bibliotheek RIVM
- 34 - 38 Reserve-exemplaren LSO
- 39 - 58 Bureau Rapportenbeheer

**INHOUDSOPGAVE**

SUMMARY	4
SAMENVATTING	5
1. DOELSTELLING	6
2. VASTSTELLINGEN UIT EERDER ONDERZOEK	7
3. MATERIAAL EN METHODEN	9
3.1 Bemonstering	9
3.2 Monstervoorbereiding en analyse	9
4. RESULTATEN	10
4.1 Lozingsgegevens	10
4.2 Milieumetingen	10
4.3 Het gemeten <sup>226</sup> Ra-gehalte	10
4.4 Het natuurlijk <sup>226</sup> Ra-gehalte	10
4.5 Het <sup>226</sup> Ra-overschotgehalte	12
4.6 <sup>226</sup> Ra-overschotvrachten	12
5. CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN	14
BIJLAGE 1: ANALYSERESULTATEN 1997	15
BIJLAGE 2A: Gemeten totaal Ra-gehalte en totale Ra-vracht ...	16
BIJLAGE 2B: Berekend natuurlijk Ra-gehalte en natuurlijke Ra-vracht ...	18
BIJLAGE 2C: Berekend Ra-overschotgehalte en Ra-overschot-vracht ...	20
REFERENTIES	22

## SUMMARY

Eighteen sediment samples collected in 1997 in the harbours and waterways of the Rhine delta were analysed for their  $^{226}\text{Ra}$  content and grain-size distribution. The effect of the emissions from the phosphate-processing industries on the  $^{226}\text{Ra}$  content could be inferred on the basis of these data.

As observed in previous monitoring campaigns, the influence of this industry is greatest in and nearby the first and second petroleum harbours. Increases in the  $^{226}\text{Ra}$  content of up to 211 Bq/kg were measured in comparison to background levels of 22 to 46 Bq/kg. Approximately 13% of the released  $^{226}\text{Ra}$  is deposited in the harbours and waterways. Samples collected once every year were found to reflect the long-term trend in the emissions.

## SAMENVATTING

Van 18 havenspeciemonsters die in 1997 zijn verzameld in de Rotterdamse havens en in de Nieuwe Waterweg, is het  $^{226}\text{Ra}$ -gehalte en de korrelgrootte-verdeling bepaald. Hieruit is afgeleid hoe groot de invloed op het  $^{226}\text{Ra}$ -gehalte is van lozingen door de fosfaaterts-verwerkende industrie.

Zoals in eerdere meetcampagnes is vastgesteld, is de invloed van de industrie vooral merkbaar in de omgeving van en in de eerste en tweede Petroleumhaven. Verhogingen van het  $^{226}\text{Ra}$ -gehalte tot maximaal 211 Bq/kg zijn gemeten ten opzichte van een achtergrond variërend tussen 22 en 46 Bq/kg. Van het geloosde  $^{226}\text{Ra}$  blijft naar schatting 13% in de havens achter. De jaarlijks verzamelde monsters lijken de langjarige trend in de lozingen te weerspiegelen.

## 1. DOELSTELLING

In het project 'Verspreiding van radionucliden', deelproject 'Slib Nieuwe Waterweg', worden de mogelijke milieuhygiënische gevolgen bepaald van lozingen van radium door de fosfaatertsverwerkende industrie die aan de Nieuwe Waterweg is gelegen. Conform een aanbeveling in de rapportage uit 1996 over dit onderwerp [1] is in 1997 het  $^{226}\text{Ra}$ -gehalte bepaald in monsters die zijn verzameld in een aantal havenvakken die in voorgaande jaren reeds werden onderzocht.

Deze aanvullende studie had tot doel de ruimtelijke verschillen in het  $^{226}\text{Ra}$ -gehalte in het gebied van de Nieuwe Waterweg nogmaals vast te stellen. Daarnaast is nagegaan in hoeverre het  $^{226}\text{Ra}$ -gehalte in de monsters die Rijkswaterstaat jaarlijks verzamelt, de lozingen in het eraan voorafgaande jaar weerspiegelt. Dit laatste zou vooral moeten blijken uit metingen aan monsters afkomstig van de locaties waarvan het  $^{226}\text{Ra}$ -gehalte het meest door de fosfaatindustrie wordt beïnvloed.

## 2. VASTSTELLINGEN UIT EERDER ONDERZOEK

In 1994 en 1995 is het  $^{226}\text{Ra}$ -gehalte gemeten in een groot aantal monsters afkomstig uit de havens en vaarwegen van het Rijnmondgebied. In de rapportage over dit onderzoek [1] staan de volgende bevindingen:

- In alle onderzochte vakken werd een radiumoverschot gevonden. Het radiumoverschot is het verschil tussen het gemeten  $^{226}\text{Ra}$ -gehalte en het natuurlijke gehalte dat met behulp van een formule ontleend aan [2] uit de korrelgrootteverdeling van verzamelde monsters wordt berekend. Aangenomen wordt dat in het geval van baggerspecie uit het Rijnmondgebied dit verschil het gevolg is van de lozingen van  $^{226}\text{Ra}$  door de daar aanwezige fosfaatertsverwerkende bedrijven.
- De overschotten in monsters die in het voorjaar van 1995 zijn verzameld, waren hoger dan die in monsters verzameld in het begin van 1994. De verhoogde emissies in 1994 ten opzichte van 1993 zijn een plausibele verklaring voor (een deel van) de stijging in het overschotgehalte.
- Circa 18% van het geloosde  $^{226}\text{Ra}$  accumuleert naar verwachting in de specie die in het Rijnmondgebied wordt opgebaggerd.
- Er is in opeenvolgende jaren geen verandering geconstateerd in het van nature voorkomende  $^{226}\text{Ra}$ -gehalte.

In 1996 is een groot aantal grondmonsters verzameld in het kader van het landelijke onderzoek naar radon in woningen [3]. Van alle monsters is het  $^{226}\text{Ra}$ -gehalte bepaald. Van een deel van de monsters, waarvan wordt aangenomen dat ze niet verontreinigd zijn, zijn de massapercentages van drie minerale fracties bepaald:  $F_{-2}$ ,  $F_{2-50}$ ,  $F_{50-}$ , met respectievelijk diameters  $< 2 \mu\text{m}$ , diameters  $2-50 \mu\text{m}$  en diameters  $> 50 \mu\text{m}$ . Met deze nieuwe gegevens is een relatie tussen korrelgrootteverdeling en het van nature aanwezige  $^{226}\text{Ra}$ -gehalte opgesteld, naar analogie met de tot op heden gebruikte formule [2]. De oude formule voor de bepaling van het natuurlijke  $^{226}\text{Ra}$ -gehalte is als volgt:

$$\text{Ra}_{\text{nat}} = (0,60 \times F_{-2} + 0,37 \times F_{2-50} + 0,08 \times F_{50-}) \text{ Bq/kg} \quad (1)$$

De formule afgeleid aan de hand van gegevens uit het landelijke radononderzoek is als volgt [4]:

$$\text{Ra}_{\text{nat}} = (0,95 \times F_{-2} + 0,36 \times F_{2-50} + 0,08 \times F_{50-}) \text{ Bq/kg} \quad (2)$$

De nieuwe formule zal meestal een hogere berekende waarde voor de natuurlijke achtergrond opleveren en dus een geringer overschot. Dit is conform de verwachting omdat tot nu toe in alle speciemonsters een overschot werd gevonden, ook in specie afkomstig van locaties waar geen verontreiniging en dus ook geen overschot werd verwacht. Bijstelling van de formule heeft één belangrijk gevolg: sommige vakken waar jaarlijks een grote hoeveelheid specie wordt opgebaggerd en waarin slechts een gering overschot werd gevonden, zullen na herberekening

van het overschot nauwelijks of niet meer meetellen in de berekening van de totale hoeveelheid <sup>226</sup>Ra die in de havens achterblijft. Voor de berekening van de dosis heeft bijstelling van de formule slechts marginale gevolgen omdat hierbij wordt uitgegaan van het vak met het grootste overschotgehalte [5].



### 3. MATERIAAL EN METHODEN

#### 3.1 Bemonstering

De monsters zijn in het voorjaar verzameld in het kader van de jaarlijkse monstercampagne van Gemeentewerken Rotterdam en Rijkswaterstaat Directie Zuid-Holland, zoals dat ook voor het voorgaande onderzoek is gebeurd [1, 6]. Voor dit aanvullende onderzoek zijn 18 vakken geselecteerd waar in eerder onderzoek een hoog overschotgehalte is gevonden of die gezien het hoge gemiddelde baggervolume significant bijdragen aan de totale overschot-activiteit (verder 'overschotvracht' genoemd). De monsters uit deze 18 vakken zijn door Rijkswaterstaat Directie Zuid-Holland in twee deelmonsters opgesplitst, die nat zijn aangeleverd aan respectievelijk BCO Analytical Services B.V. uit Breda en RIVM.

#### 3.2 Monstervoorbereiding en analyse

Het aan RIVM aangeleverde materiaal is gedroogd, verkleind en gehomogeniseerd met behulp van een kogelmolen. Na ingroeien van de kortlevende radonochters zijn de monsters gammaspectrometisch onderzocht met behulp van een Ge-detectector. 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 alle tot op heden uitgevoerde duplo-bepalingen zijn de analyses voor dit onderzoek in enkelvoud uitgevoerd.

De overige analyseresultaten van fysische en chemische parameters gebruikt in dit rapport zijn ontleend aan de rapportage over de monstercampagne 1997 [6]. BCO Analytical Services B.V. uit Breda heeft de analyses uitgevoerd. In aanvulling op de standaard-analyses heeft BCO op verzoek van RIVM het massapercentage bepaald van de minerale delen met een diameter kleiner dan 50  $\mu\text{m}$ , omdat dit gegeven bij het bepalen van het  $^{226}\text{Ra}$ -overschotgehalte wordt gebruikt.

## 4. RESULTATEN

### 4.1 Lozingsgegevens

De lozingsgegevens zijn ontleend aan de jaarrapportages van de fosfaatertsverwerkende industrieën aan de toezichthoudende overheden (Tabel 1). Omdat de speciemonsters in het voorjaar zijn verzameld, worden de milieumetingen vergeleken met de lozingsgegevens van het eraan voorafgaande jaar. In 1994, 1995 en 1997 zijn metingen van het  $^{226}\text{Ra}$ -gehalte in baggerspecie uitgevoerd en in 1996 niet. Dit verklaard waarom 1995 niet in het overzicht van lozingsgegevens is opgenomen. In 1996 werd 26% minder radium geloosd dan in 1994 en 9% minder dan in 1993.

Tabel 1: Totale lozingen van  $^{226}\text{Ra}$  en lozingen per bedrijf in 1993, 1994 en 1996.

	TBq		Totaal
	Hydro Agri	Kemira	
1993	0,257	0,403	0,660
1994	0,377	0,432	0,809
1996	0,315	0,283	0,598

### 4.2 Milieumetingen

Bijlage 1 geeft de ruwe data voor de monsters die in 1997 zijn onderzocht. De gemeten  $^{226}\text{Ra}$ -gehalten, de natuurlijke en overschotgehalten, en de totale, natuurlijke en overschotvrachten voor alle vakken bemonsterd in 1994, 1995 en 1997 zijn samengebracht in bijlage 2. In het overzicht komt 1996 niet voor, omdat in dat jaar geen  $^{226}\text{Ra}$ -bepalingen zijn uitgevoerd. De uit de metingen berekende gegevens voor 1994 en 1995 zijn bijgesteld met behulp van formule (2) en bijgevolg niet gelijk aan de waarden uit [1].

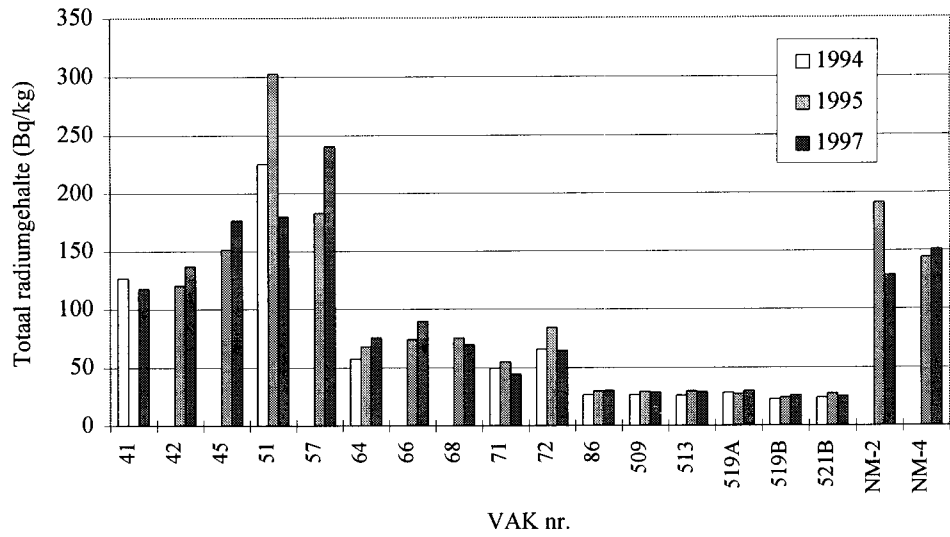
### 4.3 Het gemeten $^{226}\text{Ra}$ -gehalte

De ruimtelijke verschillen in  $^{226}\text{Ra}$ -gehalte zoals die zijn gevonden in 1994 en 1995 worden door de resultaten voor 1997 bevestigd (Figuur 1). Ook nu worden hoge gehalten gemeten in de 1e (vakken 51 en 57) en 2e Petroleumhaven (vakken 41, 42 en 45) en in de Nieuwe Maas nabij de lozingspunten (vakken NM-2 en NM-4).

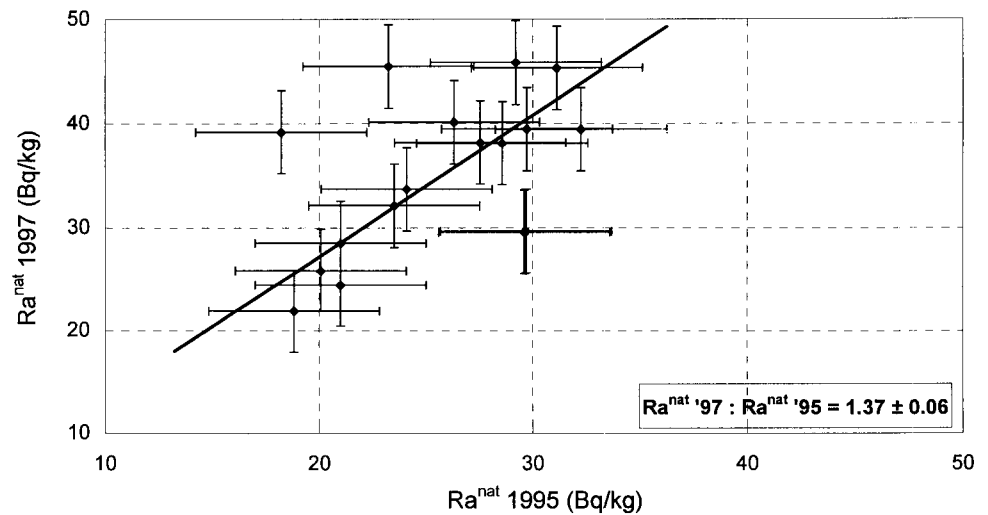
### 4.4 Het natuurlijk $^{226}\text{Ra}$ -gehalte

Het met formule (2) berekende natuurlijke  $^{226}\text{Ra}$ -gehalte varieerde in 1997 tussen 22 en 46 Bq/kg. Omdat in de monsters uit 1997 gemiddeld meer lutum aanwezig is (24%) dan in de monsters uit 1995 (15%), is het berekende natuurlijke gehalte

voor 1997 significant hoger dan dat voor 1995 (Figuur 2)<sup>i</sup>. Voor deze wijziging is geen eenduidige verklaring gevonden.



Figuur 1: Vergelijking van het totale <sup>226</sup>Ra-gehalte van vakken die minstens twee maal zijn onderzocht

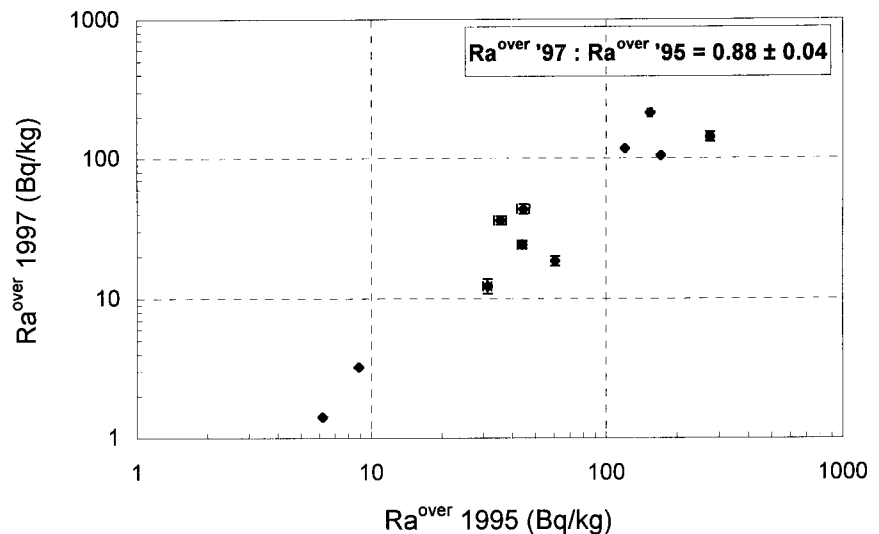


Figuur 2: Vergelijking van het berekende natuurlijke <sup>226</sup>Ra-gehalte van vakken die zowel in 1995 als in 1997 zijn bemonsterd

<sup>i</sup> In 1995 verschilde het natuurlijke gehalte niet significant van dat berekend voor 1994.

#### 4.5 Het $^{226}\text{Ra}$ -overschotgehalte

Het  $^{226}\text{Ra}$ -overschotgehalte wordt berekend als het verschil tussen het gemeten gehalte en het berekende natuurlijke gehalte. Conform de verwachting is met formule (2) in vakken die niet of nauwelijks door de lozingen worden beïnvloed of waarin sterke verdunning optreedt, soms een negatief herberekend overschot gevonden (zie bijlage 2). Gezien de normale natuurlijke variaties stemt dit overeen met de verwachting.



Figuur 3: Vergelijking van het gemeten  $^{226}\text{Ra}$ -overschotgehalte  $Ra_{over}$  voor vakken die zowel in 1995 als in 1997 bemonsterd zijn

In 1997 varieerden de berekende overschotten tussen -11 en 211 Bq/kg. Ook in 1997 zijn de grootste overschotgehalten gevonden in (de omgeving van) de eerste en tweede Petroleumhaven. Het  $^{226}\text{Ra}$ -overschotgehalte was in 1997 significant lager dan dat gemeten in 1995. De daling bedraagt  $12 \pm 4$  procent (Figuur 3). De emissies waren in 1997 26% lager dan in 1995. De suggestie gewekt door vergelijking van emissiegegevens voor 1993 en 1994 en milieumetingen voor 1994 en 1995, als zouden de milieumetingen wijzigingen in emissies over het eraan voorafgaande jaar weerspiegelen, wordt door de vergelijking 1995–1997 versterkt. Het aantal metingen is evenwel nog te klein om de mate waarin en de wijze waarop het gehalte in het slib de wijzigingen in de emissies volgt, goed te kunnen kwantificeren. Zo bemoeilijkt het ontbreken van milieumetingen over 1996 een verdergaande interpretatie.

#### 4.6 $^{226}\text{Ra}$ -overschotvrachten

De  $^{226}\text{Ra}$ -vracht voor een havenvak wordt berekend door het gemeten, natuurlijke of overschotgehalte te vermenigvuldigen met de langjarig gemiddelde waarde voor de opgebaggerde hoeveelheid (droge) baggerspecie. Voor het berekenen van de vrachten in de vakken die in 1997 zijn gemeten, zijn dezelfde langjarig gemiddel-

de hoeveelheden gebruikt als in [1]. Deze waarden zijn gelijk aan die vermeld in [6].

In [1] is de totale vracht voor het gehele Rijnmondgebied berekend door optellen van de vrachten in al de opgebaggerde specie. Waren er voor een vak geen  $^{226}\text{Ra}$ -metingen beschikbaar, dan werd het radiumgehalte geschat op basis van de cadmiumgegevens [1]. In de rapportage over 1994 en 1995 werd geconcludeerd dat circa 18% van het geloosde  $^{226}\text{Ra}$  in de havens en waterwegen van het Rijnmondgebied achterblijft. Omdat in dat rapport het overschot systematisch is overschat, is ook de fractie die in het Rijnmondgebied achterblijft overschat. Er is daarom een nieuwe schatting gemaakt.

Voor alle vakken onderzocht in 1994 en 1995 is het totale overschot berekend uitgaande van zowel formule (1) als formule (2) (Tabel 2). De gemiddelde verhouding nieuw/oud over beide jaren is gebruikt om de eerdere schatting van 18% te corrigeren. De nieuwe schatting van de fractie die in het Rijnmondgebied achterblijft bedraagt 13%.

*Tabel 2:  $^{226}\text{Ra}$ -overschotvracht in GBq voor de in 1994 en 1995 onderzochte vakken, berekend aan de hand van formules (1, oud) en (2, nieuw), en (gemiddelde) verhouding van beide waarden.*

	$^{226}\text{Ra}_{\text{over}} \text{ oud}$	$^{226}\text{Ra}_{\text{over}} \text{ nieuw}$	nieuw/oud
1994	76,2	45,3	0,59
1995	104,5	85,9	0,82
gemiddelde	–	–	<b>0,71</b>

## 5. CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN

De ruimtelijke verschillen in radiumgehalte zoals gevonden in 1997 zijn te vergelijken met die gemeten in 1994 en 1995.

Vergelijking van emissiegegevens van de fosfaatertsverwerkende bedrijven met metingen aan baggerspecie uit het Rijnmondgebied suggereert dat de jaarlijkse milieumetingen de wijzigingen weerspiegelen die zijn opgetreden in de emissies van de fosfaatertsverwerkende industrie in het eraan voorafgaande jaar. Indirect betekent dit dat alleen deze bedrijven het  $^{226}\text{Ra}$ -gehalte in dit gebied duidelijk beïnvloeden. Het aantal waarnemingen is echter nog te gering, te divers<sup>ii</sup> en onvoldoende onderling afgestemd<sup>iii</sup> om de relatie tussen de trend in het milieu en de trend in de emissie goed te kunnen beschrijven. Het is daarom ook aan te bevelen een beperkt monitoring-programma te continueren, gekoppeld aan de jaarlijkse campagnes van Gemeentewerken Rotterdam en Rijkswaterstaat Directie Zuid-Holland.

Op grond van nieuwe berekeningen blijkt dat het van de bedrijven afkomstige  $^{226}\text{Ra}$ -overschot lager is dan eerder werd aangenomen. Dit betekent dat ook de fractie van het geloosde radium die in het Rijnmondgebied achterblijft, kleiner is, namelijk 13% in plaats van 18%.

---

<sup>ii</sup> Zo worden bijvoorbeeld alle havenvakken niet even intensief gebaggerd en varieert de hoeveelheid slib die jaarlijks per vak sedimenteert enigszins.

<sup>iii</sup> De rapportages over de emissies lopen van 1 januari tot 31 december daar waar de baggerspecie bemonsterd wordt in het voorjaar.

**BIJLAGE 1: ANALYSERESULTATEN 1997**

Monster #	Vak (ruw) #	Vulmassa droog (g)	Org	CaCO <sub>3</sub>	F <sub>2</sub> (% van totaal)	F <sub>2-50</sub>	F <sub>50</sub>	Controle fracties (%)	Gehalte Pb-214 (Bq/kg)	Telfout (%)	Gehalte Bi-214 (Bq/kg)	Telfout (%)	Geh. Ra-226 (Bq/kg)	fout (%)	rel fout (%)
K4160BD	41	291	7.2	15	25	39	20	106	121.61	3.14	113.31	3.02	117.5	8.3	7.1
K4166BD	42	251	6.1	17	26	35	27	111	137.74	3.04	135.55	3.07	136.6	9.6	7.0
K4167AD	45	223	13.7	16	21	20	29	100	181.21	2.44	172.05	2.94	176.6	12.3	7.0
K4158AD	51	288	7.0	15	25	35	23	105	181.85	2.75	178.27	2.27	180.1	12.5	6.9
K4168AD	57	238	14.2	16	21	21	28	99.9	245.87	2.20	234.62	2.14	240.2	16.5	6.9
K4157AD	64	288	5.1	17	24	42	19	107	74.86	4.55	76.08	4.29	75.5	5.6	7.4
K4159AD	66	263	6.3	17	32	40	13	108	91.88	4.71	86.65	3.83	89.3	6.6	7.4
K4162AD	68	261	6.3	16	32	39	11	104	74.05	4.29	65.17	4.30	69.6	5.1	7.4
K4163AD	71	325	4.3	14	21	24	44	107	45.94	5.34	42.83	5.88	44.4	3.5	7.8
K4161AD	72	267	7.7	18	32	39	13	110	68.58	4.00	59.72	5.97	64.1	4.9	7.6
K4156AD	86	340	5.1	23	28	32	0	88	28.79	8.28	31.27	7.66	30.0	2.6	8.8
K4154BD	509	301	5.0	21	30	27	12	95	29.89	9.13	27.26	8.01	28.6	2.6	9.1
K4155AD	513	268	5.4	22	31	29	3	90	31.26	8.06	26.78	7.54	29.0	2.5	8.7
K4152BD	519A	345	3.3	18	19	22	32	94	29.68	9.04	30.20	7.85	29.9	2.7	9.0
K4153BD	519B	348	2.7	19	16	21	39	98	26.65	8.27	25.13	9.45	25.9	2.4	9.2
K4151BD	521B	382	2.5	16	13	15	52	99	26.05	8.19	24.28	7.60	25.2	2.2	8.7
K4165AD	NM-2	353	3.6	12	14	19	54	103	130.12	2.61	127.09	3.09	128.6	9.0	7.0
K4164AD	NM-4	359	4.8	14	20	35	26	100	155.09	2.44	146.15	2.32	150.6	10.4	6.9

█ = niet gemeten in 1997, waarde ontleend aan [1]

**BIJLAGE 2A: GEMETEN TOTAAL RA-GEHALTE EN TOTALE RA-VRACHT  
PER VAK VOOR 3 JAREN**

vak #	1994	1995	1997	1994	1995	1997
	Ra ± fout (Bq/kg)	Ra ± fout (Bq/kg)	Ra ± fout (Bq/kg)	Ra-activiteit (MBq)		
11B		72 ± 3			1144	
16		52 ± 2			343	
17		68 ± 3			225	
21A		99 ± 4			1142	
22		72 ± 3			437	
23		77 ± 3			1061	
25		99 ± 4			1058	
25A		71 ± 3			652	
34	54 ± 2			215		
37	39 ± 6			110		
41	126 ± 5	117 ± 8	117 ± 8	2394		2224
42		120 ± 5	137 ± 10		3490	3969
45		151 ± 6	177 ± 12		2369	2764
47		83 ± 3			44	
50		150 ± 6			79	
51	226 ± 9	303 ± 11	180 ± 12	6776	9094	5410
57		183 ± 7	240 ± 17		3740	4907
64	57 ± 3	68 ± 3	75 ± 6	3408	4030	4483
66		74 ± 3	89 ± 7		3812	4613
67	45 ± 2			3449		
68		75 ± 3	70 ± 5		4109	3804
71	49 ± 2	55 ± 2	44 ± 3	4297	4779	3864
72	65 ± 3	84 ± 3	64 ± 5	20761	26657	20355
73		67 ± 3			3085	
75	61 ± 3			1517		
75A		76 ± 3			1250	
81	26.9 ± 1.4			336		
84	25.9 ± 1.3			205		
85	25.6 ± 1.6			28		
86	26.6 ± 1.8	29.7 ± 1.5	30 ± 3	4360	4871	4926
89	33.3 ± 1.7			2581		
90	39.0 ± 1.8			1010		
91	29.2 ± 1.6			171		
92	25.1 ± 1.3			37		
93	26.4 ± 1.4			67		
94	27.5 ± 1.4			97		
96	20.4 ± 1.0			192		
109	29.7 ± 1.6			625		
114	26.1 ± 1.5			1736		
115	22.5 ± 1.0			445		
116	24.1 ± 1.2			0		



vak #	1994	1995	1997	1994	1995	1997
	Ra ± fout (Bq/kg)	Ra ± fout (Bq/kg)	Ra ± fout (Bq/kg)	Ra-activiteit (MBq)		
122	21.5 ± 1.0			111		
123	41.0 ± 1.7			605		
124	24.0 ± 1.1			18		
125		72 ± 3			901	
126		59 ± 3			809	
508	31.6 ± 1.6			978		
509	26.4 ± 1.3	29.3 ± 1.4	29 ± 3	8800	9770	9530
511	22.2 ± 1.7			7393		
513	26.0 ± 1.2	29.9 ± 1.5	29 ± 3	8282	9524	9248
515	26.0 ± 1.6			8279		
517	27.0 ± 1.4			9021		
519A	28.1 ± 1.3	27.2 ± 1.4	30 ± 3	23415	22697	24951
519B	22.8 ± 1.0	24.3 ± 1.2	26 ± 2	18977	20214	21576
521A	19.2 ± 0.9			16018		
521B	24.1 ± 1.4	27.7 ± 1.3	25 ± 2	20068	23074	20970
598	20.1 ± 0.9			653		
599	26.2 ± 1.3			850		
NM2		191 ± 7	129 ± 9		7796	5241
NM4		144 ± 6	151 ± 10		5866	6139
NM7		83 ± 3			479	
NM8		30.6 ± 1.4			176	
NM9		43.3 ± 1.9			250	
OMA	41.4 ± 2.0			398		
OMB	14.8 ± 0.7			142		
W 1	28.9 ± 1.4			458		
W 2	15.1 ± 0.7			239		
W3A	14.0 ± 0.8			134		
W3B	13.3 ± 0.6			127		
W4	27.7 ± 1.4			2218		
W6	34.2 ± 1.6			2742		
W7	25.1 ± 1.5			2009		
W8	33.8 ± 1.9			2707		
W 9	31.4 ± 1.5			2516		
W10	49 ± 2			937		
W11	41.0 ± 1.8			790		
W12	30.4 ± 1.4			585		

**BIJLAGE 2B: BEREKEND NATUURLIJK RA-GEHALTE EN NATUURLIJKE RA-VRACHT PER VAK VOOR 3 JAREN**

vak #	1994	1995	1997	1994	1995	1997
	Ra <sup>nat</sup> ± fout (Bq/kg)	Ra <sup>nat</sup> ± fout (Bq/kg)	Ra <sup>nat</sup> ± fout (Bq/kg)	Ra <sup>nat</sup> -activiteit (MBq) (MBq) (MBq)		
11B		26 ± 4			410	
16		21 ± 4			139	
17		26 ± 4			86	
21A		25 ± 4			292	
22		28 ± 4			172	
23		29 ± 4			396	
25		29 ± 4			304	
25A		28 ± 4			255	
34	22 ± 4			86		
37	26 ± 4			72		
41	28 ± 4		39 ± 4	534		746
42		30 ± 4	39 ± 4		864	1146
45		30 ± 4	30 ± 4		465	465
47		27 ± 4			14	
50		28 ± 4			15	
51	30 ± 4	28 ± 4	38 ± 4	903	828	1147
57		30 ± 4	30 ± 4		605	605
64	30 ± 4	32 ± 4	39 ± 4	1754	1916	2343
66		29 ± 4	46 ± 4		1509	2369
67	26 ± 4			2003		
68		31 ± 4	45 ± 4		1701	2477
71	28 ± 4	24 ± 4	32 ± 4	2453	2048	2795
72	29 ± 4	23 ± 4	45 ± 4	9314	7379	14432
73		28 ± 4			1300	
75	32 ± 4			802		
75A		30 ± 4			488	
81	13 ± 4			159		
84	15 ± 4			122		
85	19 ± 4			21		
86	32 ± 4	29 ± 4	38 ± 4	5207	4687	6253
89	29 ± 4			2211		
90	29 ± 4			741		
91	31 ± 4			179		
92	18 ± 4			26		
93	29 ± 4			72		
94	27 ± 4			95		
96	20 ± 4			183		
109	23 ± 4			479		
114	29 ± 4			1958		
115	28 ± 4			562		
116	18 ± 4			0		

vak #	1994	1995	1997	1994	1995	1997
	Ra <sup>nat</sup> ± fout (Bq/kg)	Ra <sup>nat</sup> ± fout (Bq/kg)	Ra <sup>nat</sup> ± fout (Bq/kg)	Ra <sup>nat</sup> -activiteit (MBq) (MBq) (MBq)		
122	22 ± 4			116		
123	22 ± 4			327		
124	19 ± 4			15		
125		33 ± 4			410	
126		26 ± 4			351	
508	17 ± 4			537		
509	28 ± 4	18 ± 4	39 ± 4	9468	6083	13069
511	28 ± 4			9367		
513	29 ± 4	26 ± 4	40 ± 4	9159	8390	12789
515	28 ± 4			8826		
517	28 ± 4			9232		
519A	20 ± 4	21 ± 4	29 ± 4	16378	17518	23776
519B	19 ± 4	20 ± 4	26 ± 4	16215	16742	21568
521A	18 ± 4			14831		
521B	20 ± 4	19 ± 4	22 ± 4	16916	15698	18259
598	9 ± 4			287		
599	9 ± 4			299		
NM2		21 ± 4	24 ± 4		857	997
NM4		24 ± 4	34 ± 4		983	1373
NM7		15 ± 4			88	
NM8		14 ± 4			81	
NM9		12 ± 4			71	
OMA	21 ± 4			198		
OMB	10 ± 4			94		
W1	16 ± 4			257		
W2	8 ± 4			134		
W3A	10 ± 4			98		
W3B	12 ± 4			113		
W4	11 ± 4			892		
W6	14 ± 4			1095		
W7	12 ± 4			944		
W8	16 ± 4			1287		
W9	14 ± 4			1158		
W10	18 ± 4			337		
W11	12 ± 4			227		
W12	12 ± 4			226		

**BIJLAGE 2C: BEREKEND RA-OVERSCHOTGEHALTE EN RA-OVERSCHOT-  
VRACHT PER VAK VOOR 3 JAREN**

vak #	1994	1995	1997	1994	1995	1997
	Ra <sup>over</sup> ± fout (Bq/kg)	Ra <sup>over</sup> ± fout (Bq/kg)	Ra <sup>over</sup> ± fout (Bq/kg)	Ra <sup>over</sup> -activiteit (MBq)		
11B		46 ± 5			734	
16		31 ± 5			204	
17		42 ± 5			139	
21A		73 ± 6			851	
22		44 ± 5			265	
23		48 ± 5			665	
25		71 ± 6			754	
25A		43 ± 5			397	
34	32 ± 5			129		
37	13 ± 7			38		
41	98 ± 6		78 ± 9	1859		1478
42		90 ± 6	97 ± 10		2626	2823
45		122 ± 7	147 ± 13		1904	2299
47		56 ± 5			30	
50		123 ± 7			65	
51	195 ± 10	275 ± 12	142 ± 13	5873	8267	4263
57		153 ± 8	211 ± 17		3135	4303
64	28 ± 5	36 ± 5	36 ± 7	1654	2114	2140
66		45 ± 5	43 ± 8		2303	2244
67	19 ± 5			1447		
68		44 ± 5	24 ± 7		2408	1327
71	21 ± 5	31 ± 5	12 ± 5	1844	2731	1069
72	36 ± 5	61 ± 5	19 ± 6	11447	19279	5924
73		39 ± 5			1785	
75	29 ± 5			716		
75A		46 ± 5			762	
81	14 ± 4			177		
84	11 ± 4			83		
85	6 ± 4			7		
86	-5 ± 4	1 ± 4	-8 ± 5	-848	184	-1327
89	5 ± 4			370		
90	10 ± 4			269		
91	-1 ± 4			-8		
92	8 ± 4			11		
93	-2 ± 4			-6		
94	1 ± 4			2		
96	1 ± 4			9		
109	7 ± 4			146		
114	-3 ± 4			-222		
115	-6 ± 4			-117		
116	6 ± 4			0		

vak #	1994	1995	1997	1994	1995	1997
	Ra <sup>over</sup> ± fout (Bq/kg)	Ra <sup>over</sup> ± fout (Bq/kg)	Ra <sup>over</sup> ± fout (Bq/kg)	Ra <sup>over</sup> -activiteit (MBq) (MBq) (MBq)		
122	-1 ± 4			-5		
123	19 ± 4			278		
124	4 ± 4			3		
125		39 ± 5			491	
126		33 ± 5			458	
508	14 ± 4			441		
509	-2 ± 4	11 ± 4	-11 ± 5	-668	3687	-3539
511	-6 ± 4			-1974		
513	-3 ± 4	4 ± 4	-11 ± 5	-876	1135	-3541
515	-2 ± 4			-547		
517	-1 ± 4			-211		
519A	8 ± 4	6 ± 4	1 ± 5	7037	5179	1175
519B	3 ± 4	4 ± 4	0 ± 5	2762	3471	8
521A	1 ± 4			1187		
521B	4 ± 4	9 ± 4	3 ± 5	3152	7376	2711
598	11 ± 4			366		
599	17 ± 4			551		
NM2		170 ± 8	104 ± 10		6939	4245
NM4		120 ± 7	117 ± 11		4883	4765
NM7		68 ± 5			391	
NM8		16 ± 4			95	
NM9		31 ± 4			179	
OMA	21 ± 4			200		
OMB	5 ± 4			48		
W1	13 ± 4			201		
W2	7 ± 4			105		
W3A	4 ± 4			36		
W3B	2 ± 4			14		
W4	17 ± 4			1326		
W6	21 ± 4			1647		
W7	13 ± 4			1065		
W8	18 ± 4			1420		
W9	17 ± 4			1358		
W10	31 ± 5			600		
W11	29 ± 4			563		
W12	19 ± 4			359		

**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, 47p.
- [2] Köster HW, Keen A, Pennders RMJ, Bannink DW & de Winkel JH. 1985. De natuurlijke radioactiviteit in Nederlandse gronden. VROM reeks stralenbescherming nr. 13, Leidschendam, 35p.
- [3] Hiemstra Y, Stoop P, Lembrechts J. 1997. The second Dutch survey on radon in dwellings: set-up of the project. RIVM, Bilthoven, rapport nr. 610058005, 37p.
- [4] 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. 610058006, in voorbereiding
- [5] Lembrechts J. 1998. De dosis ten gevolge van eenheidslozingen  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{210}\text{Pb}$  en  $^{210}\text{Po}$  in de Nieuwe Waterweg – Een herberekening op basis van nieuwe inzichten. RIVM, Bilthoven, rapport nr. 610050004, 17p.
- [6] Krijgsman A. 1997. Milieu-aspecten onderhoudsbaggerspecie resultaten monstercampagne 1997. Witteveen+Bos Raadgevend ingenieurs bv., Deventer, rapport nr. Rt178.1, 15p. + bijlagen