

RIJKSINSTITUUT VOOR VOLKSGEZONDHEID EN MILIEU  
BILTHOVEN

Rapport nr. 610058 004

**Radium in baggerspecie van 1994 en 1995 uit het  
Rijnmondgebied — Metingen en dosisberekeningen**

P. Stoop en J. Lembrechts

mei 1996

Dit onderzoek werd verricht in opdracht van het ministerie van VROM, Directoraat-Generaal Milieubeheer in het kader van het project Verspreiding van radionucliden, deelproject Slib Nieuwe Waterweg, MAP-projectnummer: 610058

Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu, Postbus 1, 3720 BA Bilthoven.  
Tel: 030-2749111, Fax: 030-2742971

## VERZENDLIJST

- 1–15 Directoraat-Generaal Milieubeheer, directie Stoffen, Veiligheid en Straling
- 16 plv. Directeur-Generaal Milieubeheer
- 17–23 Contactpersonen RWS/RIZA, RWS/ Directie Noordzee, Gemeentewerken Rotterdam, KEMA, ECN, Kemira Agro Pernis B.V., Hydro Agri Rotterdam B.V.
- 24 Depot van Nederlandse Publikaties en Nederlandse Bibliografie
- 25 Directie RIVM
- 26 Directeur Sector Stoffen en Risico's (IV)
- 27 Hoofd van het Laboratorium voor Stralingsonderzoek
- 28 Hoofd van het Laboratorium voor Water- en Drinkwateronderzoek
- 29 Hoofd van het Laboratorium voor Bodem- en Grondwateronderzoek
- 30 Hoofd afdeling Monitoring en Meetmethoden van het Laboratorium voor Stralingsonderzoek
- 31 Hoofd afdeling Modellen en Processen van het Laboratorium voor Stralingsonderzoek
- 32–33 Auteurs
- 34 Hoofd afdeling Voorlichting & Public Relations
- 35 Bureau Rapportenregistratie
- 36-37 Bibliotheek RIVM
- 38-42 Reserve-exemplaren voor het Laboratorium voor Stralingsonderzoek
- 43-63 Bureau Rapportenbeheer

## INHOUDSOPGAVE

|                                                                                                    |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| VERZENDLIJST .....                                                                                 | 2  |
| INHOUDSOPGAVE .....                                                                                | 3  |
| ABSTRACT .....                                                                                     | 5  |
| SAMENVATTING.....                                                                                  | 6  |
| VOORWOORD.....                                                                                     | 7  |
| 1. INLEIDING .....                                                                                 | 8  |
| 2. UITGANGSPUNTEN BIJ HET BEREKENEN VAN HET RISICO.....                                            | 9  |
| 2.1 Historisch overzicht .....                                                                     | 9  |
| 2.1.1 Oriënterende metingen van radionucliden in sediment en poldergrond .....                     | 9  |
| 2.1.2 Schattingen van het potentiële risico .....                                                  | 9  |
| 2.1.3 Afstemming van risicoschattingen .....                                                       | 11 |
| 2.2 Beleidskeuzen .....                                                                            | 13 |
| 2.3 Methode voor het berekenen van de dosis ten gevolge van <sup>226</sup> Ra in havenspecie ..... | 14 |
| 2.3.1 Verspreiding .....                                                                           | 14 |
| 2.3.2 Blootstelling en dosis.....                                                                  | 14 |
| 3. GEMETEN RADIUMGEHALTEN IN HAVENSPECIE .....                                                     | 16 |
| 3.1 Bemonstering en analyse .....                                                                  | 16 |
| 3.1.1 Bemonstering.....                                                                            | 16 |
| 3.1.2 Monstervoorbereiding en analyse bodemsamenstelling .....                                     | 17 |
| 3.1.3 Bepaling van het radiumgehalte .....                                                         | 17 |
| 3.1.4 Bepaling van het natuurlijke radiumgehalte en het radium-overschotgehalte....                | 18 |
| 3.2 Resultaten .....                                                                               | 19 |
| 3.2.1 Hoeveelheden baggerspecie per vak.....                                                       | 19 |
| 3.2.2 Het natuurlijke radiumgehalte .....                                                          | 19 |
| 3.2.3 Het gemeten radiumgehalte .....                                                              | 21 |
| 3.2.4 Het radium-overschotgehalte .....                                                            | 21 |
| 3.2.5 Relatie radium-overschotgehalte met cadmiumgehalte .....                                     | 23 |
| 3.2.6 Radiumvrachten.....                                                                          | 23 |
| 3.2.7 Verdeling van toegevoegde doses.....                                                         | 24 |
| 4. DOSISBEREKENING EN DISCUSSIE.....                                                               | 25 |
| 4.1 Radiumgehalten en radium-overschotgehalten.....                                                | 25 |
| 4.2 Toegevoegde dosis.....                                                                         | 25 |
| 4.3 Rivier- versus zeersediment: vergelijking van consequenties van verhogingen.....               | 26 |
| 4.4 Conclusies.....                                                                                | 27 |

|                                                           |    |
|-----------------------------------------------------------|----|
| REFERENTIES .....                                         | 29 |
| APPENDIX A KAARTEN.....                                   | 32 |
| APPENDIX B RADIUMGEGEVENS BAGGERSPECIE 1994 EN 1995 ..... | 38 |

## ABSTRACT

Dredgings from the harbours and waterways of the Rhine delta show elevated levels of natural radionuclides. The pathways to be used for calculations of the dose to the population have been the subject of debate lately. Part of this report deals with this subject and describes the results of discussions among research institutes, industrial companies and the Dutch government.

Apart from that, this report gives the results of measurements of the  $^{226}\text{Ra}$  content of harbour sludge samples taken during the 1994 and 1995 sampling campaigns of Rijkswaterstaat and the city of Rotterdam. In reporting the results, the natural radium contents and enhancement due to industrial dumpings are distinguished.

The range of the natural radium contents of the 1994 en 1995 samples was  $8\text{--}25\text{ Bq kg}^{-1}$ , of the actually measured radium contents  $13\text{--}264\text{ Bq kg}^{-1}$  and of the enhancements  $0\text{--}240\text{ Bq kg}^{-1}$ .

Repeated sampling of the same locations shows that the radium content in 1995 was on the average  $16 \pm 2$  ( $1\sigma$ ) percent higher than in 1994. The natural radium contents in 1995 showed no difference with 1994. The enhancements were on the average  $39 \pm 7$  percent higher in 1995. The radium contents compare well with previous occasional measurements.

Exposure to radon when living on sites where harbour sludge with enhanced levels of radium has been used as landfill, is considered as the dominant potential exposure pathway.

According to this model, the highest enhancements found correspond to a potential individual dose of approximately  $6\text{ mSv a}^{-1}$ . Approximately 15% of the dredged material may cause an additional individual dose of  $1\text{ mSv a}^{-1}$  or more.

## SAMENVATTING

Baggerspecie uit de havens en vaarwegen van het Rijnmondgebied bevat een verhoogd gehalte aan van nature voorkomende radioactieve stoffen. De te beschouwen wijzen waarop de bevolking aan deze stoffen blootgesteld zou kunnen worden en daarmee de berekeningswijze van het risico, stonden de afgelopen tijd sterk ter discussie. Een deel van dit rapport beschrijft deze problematiek en de resultaten van een discussie tussen de betrokken instituten, bedrijven en de overheid.

Daarnaast worden gegevens gepresenteerd van metingen van het gehalte  $^{226}\text{Ra}$  in monsters die in 1994 en 1995 tijdens de monstercampagnes van Rijkswaterstaat en Gemeentewerken Rotterdam voor dit doel werden verzameld. Hierbij wordt onderscheid gemaakt tussen het natuurlijke radiumgehalte en wat daaraan door industriële lozingen is toegevoegd, het 'overschot'.

In de bemonsterde vakken bedroeg in 1994 en 1995 het natuurlijke radiumgehalte  $8\text{--}25\text{ Bq kg}^{-1}$ , het gemeten radiumgehalte  $13\text{--}264\text{ Bq kg}^{-1}$  en het overschot  $0\text{--}240\text{ Bq kg}^{-1}$ .

Uit gemeten waarden van zowel in 1994 als in 1995 bemonsterde vakken blijkt dat het radiumgehalte in de tussenliggende periode met  $16 \pm 2$  (standaardfout) procent is gestegen. In het van nature voorkomende radiumgehalte was geen verandering te constateren en het overschot nam gemiddeld toe met  $39 \pm 7$  procent. De gevonden waarden zijn van dezelfde orde als eerdere incidenteel gemeten waarden.

Blootstelling aan radon in woningen die zijn gebouwd op polders opgehoogd met specie met een verhoogd radiumgehalte, wordt beschouwd als het belangrijkste potentiële blootstellingspad. Volgens dit model leidt gebruik van specie afkomstig uit de meest verontreinigde haven als ophoogmateriaal tot een toegevoegde potentiële individuele dosis van circa  $6\text{ mSv a}^{-1}$ . Voor circa 15% van de uit het Rijnmondgebied opgebaggerde specie geldt dat gebruik als ophoogmateriaal kan leiden tot een toegevoegde dosis van meer dan  $1\text{ mSv a}^{-1}$ .

## VOORWOORD

Aan het tot stand komen van dit rapport hebben verschillende personen en instellingen een bijdrage geleverd. De auteurs danken met name:

Ir. C.J. Otten, Rijkswaterstaat, Directie Noordzee die de bemonstering en monstervoorbereiding heeft gecoördineerd. Rijkswaterstaat, Directie Zuid-Holland en Gemeentewerken Rotterdam hebben baggerspecie bemonsterd. Rotterdam leverde bovendien de digitale basiskaarten aan van het havengebied. Alcontrol, Rotterdam was verantwoordelijk voor monstervoorbereiding en bodemkundig onderzoek. Ir. D. Ludikhuize, Rijkswaterstaat, Rijksinstituut voor zuivering van afvalwater, heeft de waterbewegingen en verspreidingspatronen in het Rotterdams havengebied toegelicht. Ing. P. Glastra, M. van Velzen en A. Kalif van het Laboratorium voor Stralingsonderzoek bepaalden het <sup>226</sup>Ra-gehalte van de baggerspeciemonsters. R.M.J. Pennders van het Laboratorium voor Stralingsonderzoek produceerde het in dit rapport opgenomen kaartmateriaal.

## 1. INLEIDING

Verschillende onderzoeksinstellingen hebben zich in de loop der jaren bezig gehouden met de vraag welke risico's het lozen van natuurlijke radionucliden in het water van de Rijnmond veroorzaakt. Elk van deze instellingen onderzocht een beperkt deel van de bron-risicoketen, van waaruit een risicobeschouwing volgde. Bij het berekenen van het risico werden echter niet steeds dezelfde uitgangspunten gehanteerd, wat resulteerde in zeer uiteenlopende schattingen.

De hier gerapporteerde studie heeft tot doel de consequenties in kaart te brengen van verhogingen van het <sup>226</sup>Ra-gehalte in het slib van het Rijnmondgebied als gevolg van alle industriële lozingen van natuurlijke radionucliden. Het is niet de bedoeling de dosis ten gevolge van specifieke, vergunningplichtige lozingen te berekenen. Daar waar gemeten concentraties of berekende doses gekoppeld worden aan lozingsgegevens of aan elders gerapporteerde berekeningen voor specifieke lozingen heeft dit tot doel de consistentie en reproduceerbaarheid van de betreffende gegevens globaal te verifiëren.

Hoofdstuk 2 van dit rapport geeft een overzicht van de blootstellingspaden die tot op heden zijn beschreven, de mogelijke keuzen bij het berekenen van het risico via het belangrijkste blootstellingspad en de discussies die hierover zijn gevoerd. Gevallen waarbij een keuze op wetenschappelijke gronden niet te maken is, werden voorgelegd aan het Ministerie van VROM dat hierover een standpunt bepaalde. Aan de hand van dit overzicht van methoden en beleidskeuzen wordt aan het einde van het hoofdstuk een berekeningsmethode voorgesteld voor de individuele dosis, die samenhangt met een bepaald radium-overschotgehalte in baggerspecie en waaruit tevens het Multifunctioneel Individueel Risico (MIR) afgeleid kan worden<sup>1</sup>.

Hoofdstuk 3 beschrijft een in 1994 en 1995 uitgevoerde monstercampagne van de baggerspecie in de havens en vaarwegen van het Rijnmondgebied. Dit onderzoek heeft tot doel een beeld te krijgen van de verspreiding van zowel het van nature voorkomende radium als het overschot aan radium.

Hoofdstuk 4 geeft een berekening van het toegevoegde risico ten gevolge van de radiumoverschotten vastgesteld aan de hand de berekeningsmethoden uit hoofdstuk 2 en de metingen uit hoofdstuk 3. Deze schattingen worden met de resultaten van eerdere berekeningen vergeleken.

---

<sup>1</sup> Multifunctionaliteit is een basisuitgangspunt binnen het milieubeleid. Het MIR is het gemiddelde risico dat een individu uit een referentiegroep die van een locatie, grond of watergebied, gebruik maakt, redelijkerwijs kan lopen [VR93]. Het gaat bij het MIR in de meeste gevallen om een *potentieel* risico in tegenstelling tot het *actuele* risico dat bijvoorbeeld optreedt wanneer daadwerkelijk gebruik wordt gemaakt van een verontreinigd stuk grond.



## 2. UITGANGSPUNTEN BIJ HET BEREKENEN VAN HET RISICO

### 2.1 Historisch overzicht

#### 2.1.1 Oriënterende metingen van radionucliden in sediment en poldergrond

Uit metingen van NIOZ en IRI is gebleken dat het bodemsediment van verschillende Rotterdamse havens een verhoogd gehalte radionucliden van natuurlijke oorsprong bevat [Kö90, Be92, Ti94]. Als mogelijke oorzaak hiervan werd met name het lozen van grote hoeveelheden gips door fosfaatertsverwerkende bedrijven genoemd. Het gehalte aan natuurlijke radionucliden hierin is afhankelijk van de herkomst van het P-erts. Zo varieert het radiumgehalte<sup>2</sup> tussen circa 500 en 5000 Bq kg<sup>-1</sup> voor erts van sedimentaire oorsprong. Een typische waarde voor erts van magmatische oorsprong is 70 Bq kg<sup>-1</sup>. Het gips, dat na extractie van het fosfaat wordt gevormd, heeft een radiumgehalte dat schommelt tussen 700 en 1700 Bq kg<sup>-1</sup> [UN82, Wo92a, Wo92b]. Door de in het Rijnmondgebied gevestigde bedrijven werd in het verleden erts van sedimentaire oorsprong gebruikt. Sinds enkele jaren wordt ook magmatisch erts verwerkt [Eg95].

Baggerspecie uit de havens en vaarwegen van de Rijnmond werd tot circa 1980 gebruikt voor het ophogen van polders [Ei87]. Een mogelijk verhoogd gehalte radionucliden in de bodem van deze polders zou kunnen leiden tot een verhoogde stralingsbelasting voor leden van de bevolking (zie 2.1.2). RIVM onderzocht daarom in opdracht van het ministerie van VROM in hoeverre deze polders verontreinigd zijn met radium. Uit dit onderzoek, waarbij het radiumgehalte en een aantal bodemkarakteristieken van 30 met baggerspecie opgehoogde polders werden bepaald, blijkt dat de meeste over een polder gemiddelde radiumgehalten verhoogd zijn ten opzichte van de natuurlijke situatie. Het hoogste over een polder gemiddelde gehalte is ongeveer vier maal het landelijk gemiddelde. Het radiumoverschot blijkt gerelateerd te zijn aan de gehalten van andere verontreinigingen van uiteenlopende oorsprong die gebonden aan slibdeeltjes accumuleren in het havengebied, zoals cadmium [Mo92, St94].

#### 2.1.2 Schattingen van het potentiële risico

Tot voor enkele jaren lag bij het onderzoek naar en de beoordeling van lozingen van fosfogips op het oppervlaktewater het accent op de accumulatie van het geloosde <sup>210</sup>Po en <sup>210</sup>Pb door aquatische organismen en de blootstelling van de mens als gevolg van consumptie van deze organismen [Kö85, GR87, We90]. Bij latere inventarisaties van mogelijke blootstellingsroutes werd voor het specifieke geval van lozing van fosfogips in het Rijnmondgebied geconcludeerd dat terrestrische routes een dominante bijdrage aan de stralingsbelasting kunnen leveren [Kö91, Kö92].

Bewoners en andere gebruikers van met baggerspecie opgehoogde polders kunnen aan

---

<sup>2</sup> Radium staat in dit document voor <sup>226</sup>Ra en radon voor <sup>222</sup>Rn, tenzij anders is aangegeven.

straling worden blootgesteld via de volgende routes [Kö91]:

- Inhalatie van radondochters binnenshuis
- Consumptie van eigen veehouderijprodukten
- Zelf opgepompt water
- Inhalatie van stof door akkerbouwers
- Consumptie van akkerbouwgewassen en groenten

Bovenstaande blootstellingsroutes zijn gerangschikt naar afnemend risico. Köster schatte de stralingsbelasting via de eerstgenoemde en ook veruit de belangrijkste route op  $1 \text{ mSv a}^{-1}$ .

Naast deze routes via opgehoogde polders kan consumptie van vis uit het gebied van de Nieuwe Waterweg tot de Waddenzee tot een extra blootstelling aan straling leiden [Kö91].

Stoop en Lembrechts maakten een nieuwe schatting voor de blootstellingsroute

'radoninhalatie binnenshuis' uitgaande van de volgende gegevens [St93]. Het Basisdocument Radon [Va91] geeft als typische waarde voor het radiumgehalte in grond  $25 \text{ Bq kg}^{-1}$  en voor de radonconcentratie in woningen  $30 \text{ Bq m}^{-3}$ . Van het radon in woningen is naar schatting  $2/3$  afkomstig uit de bodem en  $1/3$  uit bouwmaterialen [Va91]. Globaal veroorzaakt  $25 \text{ Bq kg}^{-1}$  radium in de bodem dus  $20 \text{ Bq m}^{-3}$  in woningen. Bij deze vuistregel past een aantal kanttekeningen. De infiltratie van radon uit de bodem in een woning hangt sterk af van de grondwaterstand, de doorlatendheid van de bodem en de onderdruk op grondniveau in de woning. De radonconcentratie in de woning is het netto effect van infiltratie uit bodem en bouwmaterialen en ventilatie met buitenlucht. De bovengenoemde relatie is daarom niet van toepassing op individuele woningen maar moet gezien worden als een uitspraak over het Nederlandse woningbestand als geheel. Tenslotte is de verhouding van de bijdragen uit de bodem en die uit bouwmaterialen slechts een voorlopige, ruwe schatting. Als uit nader onderzoek een andere verhouding blijkt, dan zal de omrekening hieronder herzien moeten worden.

Voor de dosisconversiecoëfficiënt voor inhalatie van radondochters binnenshuis geeft het Basisdocument Radon  $60 \mu\text{Sv a}^{-1}$  per  $\text{Bq m}^{-3}$  radon. In combinatie met de bovenstaande vuistregel ( $25 \text{ Bq kg}^{-1}$  radium in de bodem veroorzaakt gemiddeld  $20 \text{ Bq m}^{-3}$  radon in woningen) volgt hieruit dat bij 80% verblijf binnenshuis,  $1 \text{ Bq kg}^{-1}$  radium in de grond via inhalatie van radondochters globaal leidt tot een overlijdensrisico ten gevolge van longkanker van  $1,0 \times 10^{-6} \text{ a}^{-1}$  [St93]. Overigens heeft het RIVM aanbevolen, de relatie tussen het radiumgehalte van de bodem en de radonconcentratie in woningen nader te quantificeren met metingen teneinde het actuele risico voor bewoners van met havenspecie opgehoogde polders vast te kunnen stellen. Deze aanbeveling is overgenomen door het Ministerie van VROM en is vormgegeven in een onderzoekprogramma waarin door RIVM de jaargemiddelde radonconcentratie in woningen wordt gemeten, zowel in twee Rijnmondgemeenten als in 12 gemeenten verspreid over de rest van het land.

Parallel aan bovengenoemde RIVM-onderzoeken maakten DHV Milieu & Infrastructuur BV en IRI in opdracht van het ministerie van VROM een risico-evaluatie van de radionucliden-emissies door Hydro Agri Rotterdam BV en Kemira Pernis BV [Bo92, Bo93]. DHV en IRI

concluderen op basis van metingen aan monsters door NIOZ en RIVM [Be92], gecombineerd met lozingsgegevens over 1991 [Wo92a, Wo92b], dat de lozingen van Hydro Agri kunnen leiden tot een risico van circa  $50 \times 10^{-6} \text{ a}^{-1}$ . De voor Kemira Pernis becijferde waarde van het risico is van dezelfde grootte-orde. Maximale lozingen zouden kunnen leiden tot een risico van  $70 \text{ à } 80 \times 10^{-6} \text{ a}^{-1}$  voor elk van beide bedrijven afzonderlijk.

Naar aanleiding van de hierboven genoemde rapporten verrichtte KEMA op verzoek van Hydro Agri een nadere beschouwing van de DHV/IRI studie, gebaseerd op nieuwe metingen van IRI en gebruik makend van lozingsgegevens over 1993. In januari 1994 bracht KEMA een rapport uit waarin geconcludeerd wordt dat de maximale gipslozing toegestaan aan Hydro Agri geen hoger radiologisch risico tot gevolg heeft dan  $0,75 \times 10^{-6} \text{ a}^{-1}$  [Ti94].

In opdracht van DGM en de betrokken bedrijven tenslotte is het ECN een onderzoek begonnen waarin getracht zal worden met behulp van de isotopenverhoudingen verschillende bronnen van de natuurlijke radionucliden in de baggerspecie te onderscheiden.

### 2.1.3 Afstemming van risicoschattingen

Gezien het grote verschil in de door DHV/IRI, RIVM en KEMA geschatte risico's, verzocht het ministerie van VROM het RIVM aan te geven waardoor dit verschil wordt veroorzaakt. In een antwoord op dit verzoek [Le94] bracht RIVM de volgende punten naar voren.

- Het verschil tussen de hiervoor genoemde berekeningsresultaten is deels het gevolg van het gebruik van verschillende emissiegegevens. Het verschil tussen de gehanteerde emissiegegevens bedraagt een factor 2.
- Het vastgestelde verschil is verder deels terug te voeren op de uitgangspunten ten aanzien van de verspreiding van de geloosde radionucliden over het havengebied. In het meest extreme geval wordt aangenomen dat de totale hoeveelheid in slib afgezet  $^{226}\text{Ra}$  terecht komt in het compartiment waarin geloosd wordt. Bij een meer realistische benadering wordt aangenomen dat het  $^{226}\text{Ra}$  wordt afgezet, verdeeld over al het slib dat langs een lozingspunt passeert. Kiezen voor de ene dan wel de andere benadering leidt tot een verschil van een factor 2 à 3 in het berekende risico.
- Een derde verschil ontstaat bij de afbakening van het gebied van waaruit verontreinigd sediment wordt opgebaggerd en waarmee vervolgens een polder wordt opgehoogd. Volgens de ene benadering zou, indien geen verontreinigingen aanwezig zouden zijn, baggerspecie van alle mogelijke riviersegmenten vermengd worden bij het ophogen van een op dat moment in te richten polder. Het in berekeningen te gebruiken  $^{226}\text{Ra}$ -gehalte is bijgevolg het gemiddelde voor het totale door de emissies beïnvloede deel van de rivier. Anders gezegd: het risico moet worden bepaald voor een representatief lid van de bevolking wonend op een gemiddelde, met havenspecie opgehoogde polder. Volgens de andere benadering is baggeren van rivieren in segmenten een gegeven, ongeacht het feit of het sediment vervuild is of niet. De hoeveelheid baggerspecie afkomstig uit één segment in de omgeving van het lozingspunt kan zo groot zijn dat hiermee een dik pakket kan worden aangebracht op één enkele polder. Vermenging is dus

eerder beperkt, getuige metingen aan baggerspecie opgebracht in het verleden [Mo92, St94]. Anders gezegd: het representatief lid van de bevolking waarvoor het risico berekend moet worden, bewoont een lokatie waarvan de bovenste laag gevormd wordt door sediment uit het gemiddeld meest verontreinigde riviersegment.

Kiezen voor de ene dan wel de andere benadering leidt tot een verschil van een factor 4 in het berekende risico.

- De berekening van het verwachte, natuurlijke radiumgehalte (zie 3.1.4) is gebaseerd op een formule die gebruik maakt van de korrelgrootteverdeling van het te beoordelen monster, met fractiegrenzen die standaard bij onderzoek van bodemonsters worden gehanteerd. Bij het fractioneren van sedimentmonsters worden standaard andere grenzen gehanteerd. Is op het te beoordelen monster de fractionering voor sedimentmonsters toegepast, dan zal bij gebruik van deze gegevens het natuurlijke radiumgehalte worden overschat, zodat het overschot en daarmee het risico worden onderschat. Slechts een klein deel van het verschil in het berekende risico van de onderscheiden studies is toe te schrijven aan een verschil in gehanteerde fractiegrenzen. Ook het niet in mindering brengen van het achtergrondgehalte  $^{226}\text{Ra}$ , zoals in de DHV-IRI studie is gebeurd, zal voor de vakken waar de hoogste gehalten worden gevonden, leiden tot een overschatting van het risico, namelijk met 10 à 20%.
- De ontwijking van radon uit de bodem (exhalatie) is een functie van het radiumgehalte en van bodemeigenschappen zoals porositeit en vochtgehalte. Een verschil van een factor 2 à 3 in de berekende risico's is terug te voeren op verschillen in keuzen ten aanzien van de radonontwijking.
- Een volgende verschilpunt betreft het al of niet aanwezig veronderstellen van een schone, zandige afdeklaag boven op de verontreinigde havenspecie. Het aanbrengen van deze laag is op dit ogenblik standaard praktijk bij polders die in het verleden met havenspecie zijn opgehoogd. Het is een beschermende maatregel om blootstelling van mens en milieu aan toxische stoffen te voorkomen. Bij schone baggerspecie is deze maatregel in principe overbodig. KEMA brengt een reductiefactor van 50% in rekening voor de veronderstelde aanwezigheid van een schone afdeklaag.
- Voor de dosisberekening wordt soms gebruik gemaakt van een ICRP-publikatie uit 1981 [IC81] en soms van de gegevens uit het Basisdocument Radon [Va91]. De effectieve dosis bij een radonconcentratie binnenshuis van  $20 \text{ Bq m}^{-3}$  en becijferd op basis van eerstgenoemde referentie bedraagt  $0,65 \text{ mSv a}^{-1}$  en is  $1,0 \text{ mSv a}^{-1}$  uitgaande van de tweede referentie.

De bovenstaande punten samen verklaren het verschil van een factor 100 tussen de schattingen van DHV-IRI en KEMA. Bilateraal overleg tussen KEMA en RIVM over de verschillen van inzicht leverde de volgende resultaten [Le95]:

- Een risicoberekening dient gebaseerd te zijn op de op dit ogenblik vergunde lozingen dan wel op actuele lozingsgegevens indien gecombineerd met actuele milieumetingen.
- Het gemeten  $^{226}\text{Ra}$ -gehalte dient gecorrigeerd te worden voor het natuurlijke

achtergrondgehalte.

- Het is niet terecht aan te nemen dat de totale hoeveelheid in slib afgezet <sup>226</sup>Ra terecht komt in het compartiment waarin wordt geloosd.
- Op dit moment is het wetenschappelijk niet verantwoord andere bodemeigenschappen dan het radiumgehalte te betrekken bij de berekening van de radon-exhalatie uit de bodem.
- Sommige van de gemaakte keuzen zijn niet gebaseerd op wetenschappelijke inzichten maar zijn beleidsmatig van aard. Een gestandaardiseerde berekeningsmethode vereist bijgevolg een beleidsmatig antwoord op volgende vragen:
  1. Is het te toetsen radiumgehalte het gemiddelde over het door het bedrijf beïnvloede gebied of het gemiddelde van een kleinere ruimtelijke eenheid?
  2. Dient men er bij de dosisberekening van uit te gaan dat verontreinigde baggerspecie die gebruikt wordt om polders op te hogen, afgedekt wordt met een schone laag grond voordat er woningbouw plaatsvindt?
  3. Dient het *risico* berekend te worden zoals aangegeven in het Basisdocument radon of is het gewenste eindpunt het *effectieve dosisequivalent* berekend volgens ICRP-publikatie 32?

## 2.2 Beleidskeuzen

Op verzoek van KEMA en RIVM heeft VROM zich beraden over de drie bovengenoemde beleidsvragen. Bij de standpuntbepaling van VROM hebben de volgende overwegingen een rol gespeeld [Ag95]:

1. Baggerspecie met een verontreiniging boven de streefwaarde dient beschouwd te worden als een afvalstof. Het wettelijk kader hiervoor is de Wet Milieubeheer (WM). Vermengen van verschillende categorieën afvalstoffen is krachtens de WM verboden. RWS en Gemeente Rotterdam hanteren bij het baggeren een indeling in vakken die gekozen is met het doel baggerspecieclassen met een verschillende verontreinigingsgraad gescheiden te houden. Ook in het verleden was het niet de praktijk baggerspecie van verschillende lokaties te vermengen. Dit blijkt tevens uit de relatief grote spreiding van radiumgehalten in met havenspecie opgehoogde polders.
2. Het Beleidsstandpunt Verwijdering Baggerspecie (Tweede kamer 1993/1994, 23 450, nr. 1) geeft als voorkeursvolgorde voor het bestrijden van de afvalproblematiek rond verontreinigde baggerspecie: preventie (voorkomen dat een afvalstof ontstaat), vervolgens hergebruik (rechtstreeks of na verwerking nuttig toepassen) en tot slot storten (als preventie en hergebruik niet mogelijk zijn)  
Bij geslaagde preventie of na verwerking moet de baggerspecie *zonder extra voorzieningen* kunnen worden gebruikt, bijvoorbeeld als ophoogmateriaal voor polders. In de huidige praktijk wordt baggerspecie die als ophoogmateriaal voor polders is gebruikt, afgedekt met schone grond. Dit is echter een extra voorziening om contact met verontreinigingen te vermijden (Beleidsnota Bestaande Baggerspecielokaties, februari 1989, Provincie Zuid-Holland).

3. De overheid geeft bij het verlenen van vergunningen voor het lozen van radioactieve stoffen aan, welk dosisequivalent leden van de bevolking als gevolg van de lozingen jaarlijks maximaal mogen ontvangen.

Het standpunt van VROM aangaande de drie door KEMA en RIVM gestelde vragen luidt samengevat:

1. Bij de beoordeling van het radiumgehalte van baggerspecie dient dezelfde ruimtelijke indeling c.q. eenheid gebruikt te worden als die voor andere stoffen, zijnde de vakindeling gehanteerd door RWS en Gemeente Rotterdam.
2. Dosisberekeningen dienen gebaseerd te zijn op gebruik van de baggerspecie voor de meest kritische toepassing, dus zonder extra voorzieningen als een afdeklaag.
3. Voor de dosisberekening dient uitgegaan te worden van de berekeningswijze als in ICRP-publikatie 32.

### **2.3 Methode voor het berekenen van de dosis ten gevolge van $^{226}\text{Ra}$ in havenspecie**

#### **2.3.1 Verspreiding**

Uit een analyse van de korrelgrootteverdeling van een sedimentmonster is af te leiden welke fractie van het radium van nature aanwezig is en welke fractie is toegevoegd (zie 3.1.4). Een verspreidingsberekening is dus in principe niet nodig om voor willekeurig welke lokatie vast te stellen of van een verhoging van het radiumgehalte in het sediment sprake is of niet.

De op dit ogenblik beschikbare gegevens tonen aan dat de 1<sup>e</sup> Petroleumhaven en de Botlekhavens het meest nadrukkelijk door de lozingen van beide fosfaatertsverwerkers worden beïnvloed [Ba95]. Deze verspreidingspatronen zijn gevonden voor andere componenten uit het afvalgips dan radium. Als het gaat om componenten die door beide bedrijven in enigszins vergelijkbare hoeveelheden geloosd worden, zoals radium, dan is het niet mogelijk om per lokatie beter dan louter indicatief aan te geven welke fractie afkomstig is van welk bedrijf. De gevonden verspreidingspatronen worden in deze wel als voldoende argument beschouwd om eventuele verhogingen van het radiumgehalte in genoemde havens te relateren aan de gipsemissies van beide fosfaatertsverwerkende bedrijven, omdat ons geen andere belangrijke niet-natuurlijke bronnen van radium bekend zijn.

Uitvoeren van verspreidingsberekeningen als eerste stap in de risicobeoordeling wordt bijgevolg weinig zinvol geacht. Daarom wordt volstaan met het beoordelen van gemeten verhogingen van het radiumgehalte in baggerspecie.

#### **2.3.2 Blootstelling en dosis**

Zoals reeds is aangegeven, geldt voor de baggerspecie uit de havens en vaarwegen van het Rijnmondgebied dat gebruik als ophoogmateriaal van bouwgrond de meest kritische toepassing is wat betreft de potentiële toegevoegde dosis als gevolg van een radiumoverschot. Het gemeten radiumgehalte verminderd met het natuurlijke radiumgehalte dient daarom per

vak getoetst te worden als was het de ondergrond voor nieuw te bouwen woningen<sup>3</sup>. Een verhoging van het radiumgehalte met  $1 \text{ Bq kg}^{-1}$  leidt in deze woningen volgens de in 2.1.2 genoemde vuistregel naar verwachting tot een verhoging van de radonconcentratie van  $0,8 \text{ Bq m}^{-3}$ . Gebruik makend van de dosisconversiecoëfficiënt volgens publicatie nummer 32 van de ICRP geldt voor een persoon die 80% van de tijd in één van deze woningen doorbrengt een jaarlijkse effectieve dosis van  $25 \mu\text{Sv a}^{-1}$  als gevolg van deze verhoogde radonconcentratie [IC81]. Het gaat hierbij alleen om dat deel van het radon in de woning dat afkomstig is uit de bodem. De mate waarin de radonconcentratie in de buitenlucht wordt beïnvloed door op land gedeponeerde baggerspecie is relatief gering door het beperkte oppervlak van baggerspecielocaties.

---

<sup>3</sup> Omdat de lozingslimieten in de vergunningen van de betreffende bedrijven zijn gesteld in termen van dosis zullen ook de consequenties van de lozingen in termen van dosis worden uitgedrukt.

### 3. GEMETEN RADIUMGEHALTEN IN HAVENSPECIE

#### 3.1 Bemonstering en analyse

##### 3.1.1 Bemonstering

De monstercampagnes van 1994 en die van 1995 zijn uitgevoerd door Gemeentewerken Rotterdam in samenwerking met Rijkswaterstaat Directie Zuid-Holland. De monstercampagne 1994 is door Gemeentewerken Rotterdam beschreven in het Bemonsteringsplan Monstercampagne 1994 ([Ro94a]) en in een verslag van het veldwerk ([Ro94b]).

Analyseresultaten met betrekking tot diverse fysische en chemische parameters zijn door Gemeentewerken Rotterdam gerapporteerd in het rapport Milieuaspecten onderhoudsbaggerspecie — Resultaten Monstercampagne 1994 ([Ro94c]). Vergelijkbare rapportages over de monstercampagne 1995 waren bij het afronden van dit rapport nog niet beschikbaar.

In 1994 is door Rijkswaterstaat een aantal monstervakken aangewezen waarvoor, behalve de analyses zoals gerapporteerd door Gemeentewerken Rotterdam, analyses zijn uitgevoerd van de gehalten lanthaniden, tributyl-tinoxide en radium. Deze vakken zijn wat de overige verontreinigingen betreft zodanig ‘schoon’, dat storten van de baggerspecie op Loswal Noord (gelegen in de Noordzee, circa 7 km ten noordoosten van Hoek van Holland) toegestaan is.

Omdat de selectie van vakken in de campagne van 1994 geen goed overzicht van het verspreidingspatroon van de radiumgehalten in het Rijnmondgebied gaf werd voor de campagne van 1995 een extra serie vakken geselecteerd voor radiumbepaling. Hierbij werden de volgende doelen nagestreefd.

- Een beter overzicht te verkrijgen van de voorkomende radiumgehalten en -overschotten in het Rijnmondgebied.
- Het vaststellen van een eventuele trend in de radiumgehalten en -overschotten.

Om aan het eerste doel tegemoet te komen werd voor de monstercampagne 1995 een aantal vakken geselecteerd die samen met de in 1994 bemonsterde vakken een geografische spreiding te zien geeft over dat deel van het Rijnmondgebied waar Rijkswaterstaat en de Gemeente Rotterdam baggeren. Behalve geografische spreiding werd het product van het cadmiumgehalte en het langjarig gemiddelde baggervolume, beide gegeven in [Ro92], gehanteerd als selectie criterium. Aannemend dat het cadmiumgehalte evenredig is met het radium-overschot, zoals bij eerder onderzoek naar radium in met baggerspecie opgehoogde polders werd geconstateerd [Mo92], zou met deze selectie van vakken een beeld verkregen worden van naar schatting circa 60% van de totale hoeveelheid radium boven de van nature aanwezige hoeveelheid.<sup>4</sup>

---

<sup>4</sup> Inspectie van de analysegegevens van Gemeentewerken Rotterdam leert dat de gehalten van zware metalen zoals Pb, Hg en Cd onderling correleren. Dit is niet onverwacht omdat deze verontreinigingen vooral aan kleinere deeltjes gebonden voorkomen, en omdat deze deeltjes op vergelijkbare plaatsen zullen sedimenteren. Aangezien de vergelijking voor Cd in het verleden reeds is gemaakt, is ook in dit onderzoek gekozen voor het schatten van het Ra-overschot-gehalte op basis van Cd-gegevens



Om het tweede doel te bereiken werd een deel van de selectie van 1994 in 1995 opnieuw bemonsterd.

### 3.1.2. Monstervoorbereiding en analyse bodemsamenstelling

De gemeente Rotterdam leverde aan Alcontrol per monster 6 tot 8 kg nat materiaal in potten à 1 kg. Alcontrol homogeniseerde de inhoud van de potten door grondig roeren met een spatellepel. Uit elke pot werd ongeveer 500 g genomen waaruit men bij 104 °C het water liet verdampen tot de overblijvende massa niet meer verminderde. Grof organisch materiaal en stenen groter dan 4 mm werden verwijderd en de deelmonsters werden tot één mengmonster samengevoegd en met de spatellepel gemengd. Het ontstane monstermateriaal had een zodanige structuur dat de volumieke massa niet groter was dan  $1750 \text{ kg m}^{-3}$ . Met dit materiaal vulde Alcontrol twee door RIVM geleverde potten van circa 250 mL zó dat er geen ruimte in de potten overbleef. De potten werden luchtdicht afgesloten door het deksel te omwinden met PVC isolatieband (Coroplast) en werden voorzien van een unieke identificatie op het deksel. Tenslotte bezorgde Alcontrol de gevulde potten voorzien van een lijst met monstergegevens aan het RIVM. Deze lijst bevatte voor elk monster de volgende informatie:

- de monstercode,
- het massapercentage organische stof (%org),
- het massapercentage  $\text{CaCO}_3$  (% $\text{CaCO}_3$ ),
- de massapercentages  $F_2$ ,  $F_{2-50}$  en  $F_{50}$ , van de minerale delen met diameters  $d$  waarvoor respectievelijk geldt:  $d \leq 2 \text{ } \mu\text{m}$ ,  $2 \text{ } \mu\text{m} < d \leq 50 \text{ } \mu\text{m}$  en  $d > 50 \text{ } \mu\text{m}$ ,
- de datum waarop de pot luchtdicht werd afgesloten.

Voor de massapercentages %org, % $\text{CaCO}_3$ ,  $F_2$ ,  $F_{2-50}$  en  $F_{50}$  geldt:

$$\% \text{org} + \% \text{CaCO}_3 + F_2 + F_{2-50} + F_{50} = 100\% \quad (1)$$

De massapercentages zijn gegeven als percentage van de massa van het droge monster [St95a], [Al95].

### 3.1.3. Bepaling van het radiumgehalte

Het Laboratorium voor Stralingsonderzoek van het RIVM bepaalde de radiumgehalten van de door Alcontrol voorbereide monsters door middel van gammaspectrometrie. Doordat de monsters minimaal 3 weken luchtdicht afgesloten waren geweest bij aanvang van de meting, waren de activiteiten van radon en kortlevende radondochters praktisch gelijk aan de radiumactiviteit. De radiumactiviteit werd bepaald door met behulp van germaniumdetectoren van door de radondochters  $^{214}\text{Pb}$  en  $^{214}\text{Bi}$  uitgezonden gammastraling (energieën: 352 keV respectievelijk 609 keV) te meten. Deze metingen zijn uitgevoerd volgens de standaardprocedures voor gammaspectrometrie van het Laboratorium voor Stralingsonderzoek. De kwaliteit van deze metingen wordt onder andere gewaarborgd door de volgende controles:

- Van ieder mengmonster, samengesteld uit baggerspecie van vier monsterpunten in één vak, worden twee deelmonsters genomen, die beide gemeten worden. Als het verschil tussen de twee gemeten radiumgehalten groter is dan vier maal de grootste standaardfout dan wordt de meting afgekeurd.

Voordat de gammaspectrometrie-opstelling wordt gestart, wordt de werking gecontroleerd door het spectrum van een testbron op te nemen. Dit spectrum wordt vergeleken met het eerste spectrum dat direct na de kalibratie van de desbetreffende opstelling werd opgenomen. Bij deze controle gelden eisen aan de energieresolutie, de energieverhuizing, de stabiliteit van de efficiëntie en het achtergrondspectrum. Controle vindt plaats na elke verandering aan de opstelling, na reparatie, nadat de netspanning uitgevallen is en aan het begin van iedere dag dat er gemeten wordt. Bij overschrijding van bepaalde criteria wordt de opstelling opnieuw gekalibreerd.

- De meetmethode voor het bepalen van het radiumgehalte werd gekalibreerd met een aantal kalibratiemonsters waarvan de volumieke massa's hetzelfde bereik hebben als die van de te onderzoeken monsters. Deze kalibratiemonsters zijn gemaakt met behulp van een gecertificeerde radiumoplossing. Door interpolatie werd de kalibratiefactor als functie van de volumieke massa van het monster bepaald. De nauwkeurigheid van deze kalibratie werd bepaald door herhaald meten van kalibratiemonsters die afwisselend recht op en omgekeerd in de meetopstelling werden geplaatst.

De standaardfout in het radiumgehalte  $\sigma(\text{Ra})$  wordt zowel voor enkelvoudige metingen als voor de gemiddelde waarde van een duplometing bepaald uit de telfouten en de kalibratiefout.

#### 3.1.4 Bepaling van het natuurlijke radiumgehalte en het radium-overschotgehalte

Het Laboratorium voor Stralingsonderzoek hanteert voor het berekenen van het van nature voorkomende  $^{226}\text{Ra}$ -gehalte  $\text{Ra}^{\text{nat}}$  in grondmonsters de volgende formule [Kö88]:

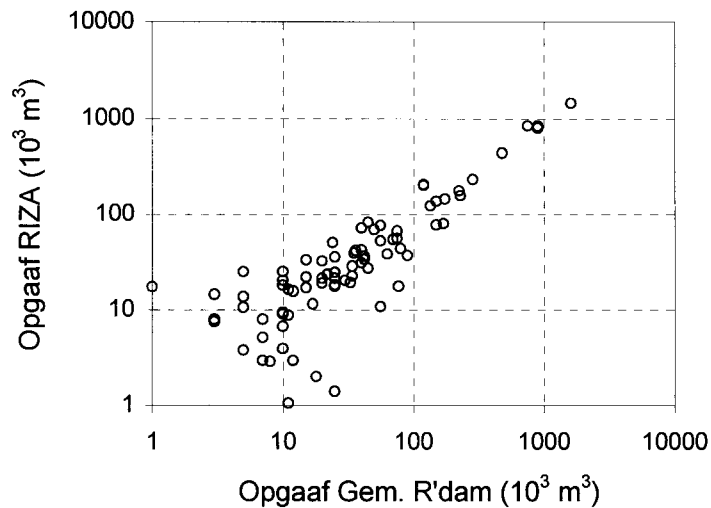
$$\text{Ra}^{\text{nat}} = (0,60 \times F_2 + 0,37 \times F_{2\_50} + 0,08 \times F_{50}) \quad \text{Bq / kg} \quad (2)$$

De meeste in Nederland voorkomende  $^{226}\text{Ra}$ -gehalten liggen tussen de 10 Bq/kg en 60 Bq/kg. Het  $^{226}\text{Ra}$ -overschotgehalte,  $\text{Ra}^{\text{over}}$ , wordt berekend als het verschil tussen het gemeten en  $^{226}\text{Ra}$ -gehalte en  $\text{Ra}^{\text{nat}}$ . Voor normale Nederlandse gronden geldt dat het  $^{226}\text{Ra}$ -overschotgehalte gemiddeld 0 Bq/kg is met een standaarddeviatie van 4 Bq kg<sup>-1</sup> [Mo92].

Verder is een belangrijk deel van de Nederlandse bodemsoorten ontstaan uit afzetting door rivieren. Er is dus gegronde reden om aan te nemen dat het sediment in de Rotterdamse havens, als daar geen verontreiniging door menselijk handelen zou plaatsvinden, in dit opzicht te vergelijken is met andere Nederlandse bodemsoorten.

## 3.2 Resultaten

### 3.2.1 Hoeveelheden baggerspecie per vak



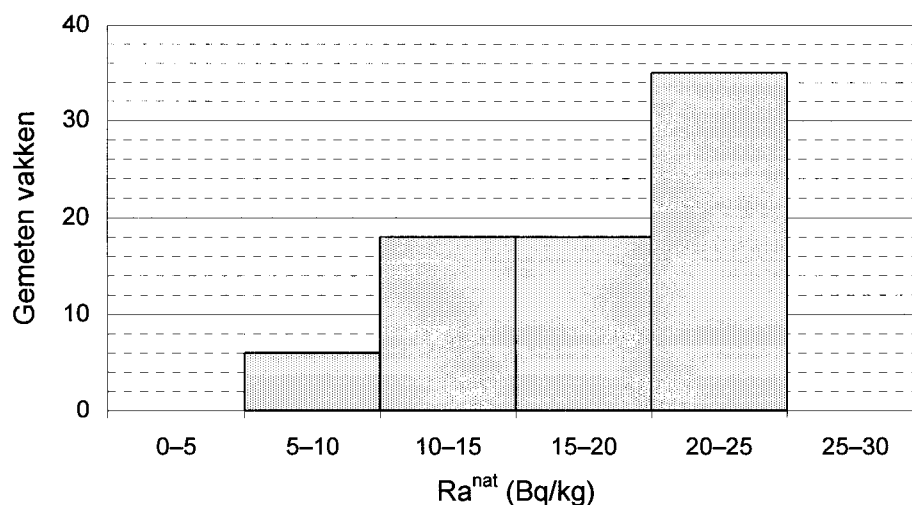
*Figuur 1 Vergelijking opgaven langjarig gemiddelde baggervolumina Rotterdam en RIZA*

De jaarlijks per vak opgebaggerde hoeveelheid radium kan worden berekend uit gemeten radiumgehalten als de netto (droge) massa van de opgebaggerde specie bekend is. Zowel Gemeentewerken Rotterdam als Rijkswaterstaat (RIZA) hanteren een lijst met langjarig gemiddelde baggervolumina. Deze lijsten zijn niet geheel gelijk maar geven over het geheel wel hetzelfde beeld (Figuur 1). De Lijst van RIZA bevat behalve de volumina ook nog de volumieke massa van de droge stof in de opgebaggerde specie zodat deze lijst de mogelijkheid biedt tot het berekenen van ‘vrachten’. Onder ‘vracht’ verstaat men de totale hoeveelheid van een bepaalde stof in de jaarlijks opgebaggerde specie.

### 3.2.2 Het natuurlijke radiumgehalte

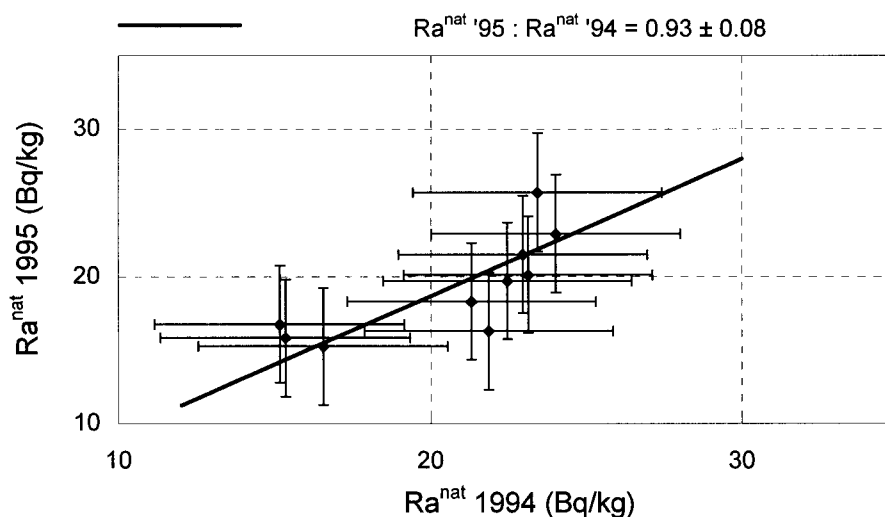
De fysische samenstelling van de monsters zoals bepaald door Alcontrol is weergegeven in Appendix A. Bij controle van de fracties met behulp van vergelijking (1) bleek dat de korrelgroottefracties van de monsters uit 1994 waren uitgedrukt als percentage van het minerale deel van het monster. Voor de opgegeven percentages  $f_2$ ,  $f_{2-50}$  en  $f_{50}$  geldt:  $f_2 + f_{2-50} + f_{50} = 100\%$ . Om toch formule (2) te kunnen gebruiken werden  $F_2$ ,  $F_{2-50}$  en  $F_{50}$  uit de opgegeven waarden  $f_2$ ,  $f_{2-50}$  en  $f_{50}$  berekend volgens:

$$\begin{aligned} F_2 &= f_2 \times (100 - \%org - \%CaCO_3) / 100 \\ F_{2-50} &= f_{2-50} \times (100 - \%org - \%CaCO_3) / 100 \\ F_{50} &= f_{50} \times (100 - \%org - \%CaCO_3) / 100 \end{aligned} \quad (3)$$



*Figuur 2* Histogram van de natuurlijke radiumgehalten in de in Appendix B gegeven vakken in 1994 en 1995

Het met formule (2) berekende natuurlijke radiumgehalte  $Ra^{nat}$  is weergegeven in Appendix B. De berekende waarden<sup>5</sup> variëren van 8 tot 25 Bq kg<sup>-1</sup> (zie Figuur 2).



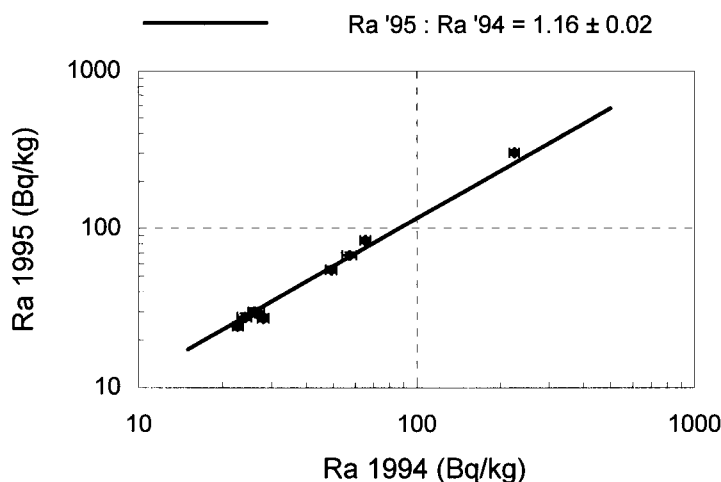
*Figuur 3* Vergelijking van het natuurlijk radiumgehalte van vakken die zowel in 1994 als in 1995 bemonsterd zijn

Uit de natuurlijke radiumgehalten van zowel in 1994 als in 1995 bemonsterde vakken blijkt geen significant verschil tussen de twee jaren in de uit de korrelgrootteverdeling berekende waarden. De gewogen gemiddelde verhouding met standaardfout van waarden uit 1995 met die uit 1994 in overeenkomstige vakken bedraagt  $0,93 \pm 0,08$  (Figuur 3).

<sup>5</sup> Van de vakken die zowel in 1994 als 1995 bemonsterd zijn werd de gemiddelde waarde gebruikt

### 3.2.3 Het gemeten radiumgehalte

De gemeten radiumgehalten  $R_a$  zijn weergegeven in Appendix B. De waarden<sup>6</sup> variëren van 13 tot 260 Bq kg<sup>-1</sup>.



*Figuur 4      Vergelijking van het gemeten radiumgehalte  $R_a$  van vakken die zowel in 1994 als in 1995 bemonsterd zijn*

Vergelijking van de radiumgehalten van zowel in 1994 als in 1995 bemonsterde vakken laat zien dat er een significant verschil bestaat tussen de twee jaren. De gewogen gemiddelde verhouding met standaardfout van waarden uit 1995 met die uit 1994 in overeenkomstige vakken bedraagt  $1,16 \pm 0,02$ , met andere woorden: het gemeten radiumgehalte in deze vakken is gemiddeld 16% gestegen (Figuur 4).

De stijging van 16% is significant maar klein ten opzichte van de verschillen tussen de vakken (voor een mogelijke verklaring zie 3.2.4). De gegevens van 1994 en 1995 kunnen daarom zonder veel bezwaar samengevoegd worden in één kaart die een beeld geeft van de spreiding van de radiumgehalten over het betreffende gebied (zie Figuur 8 in Appendix A).

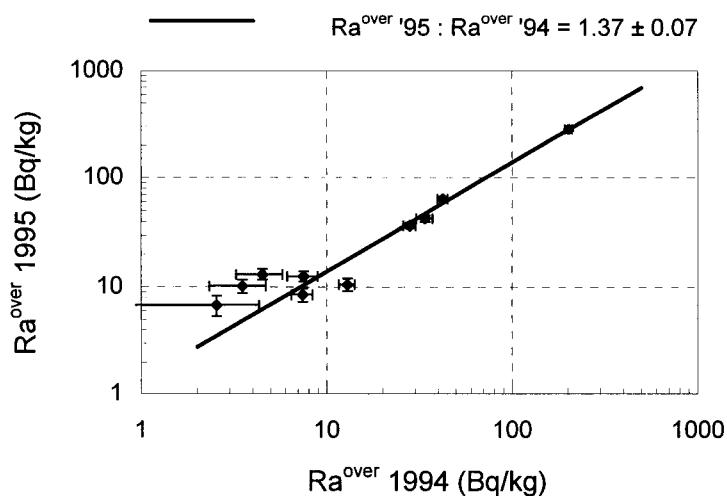
### 3.2.4 Het radium-overschotgehalte

Het radium-overschotgehalte  $R_a^{\text{over}}$  werd voor alle vakken berekend als het verschil van het gemeten radiumgehalte  $R_a$  en het natuurlijke radiumgehalte  $R_a^{\text{nat}}$ :

$$R_a^{\text{over}} = R_a - R_a^{\text{nat}} \quad (4)$$

en weergegeven in Appendix B. De waarden<sup>4</sup> variëren van 0 tot 240 Bq kg<sup>-1</sup>.

<sup>6</sup> Van de vakken die zowel in 1994 als 1995 bemonsterd zijn werd de gemiddelde waarde gebruikt

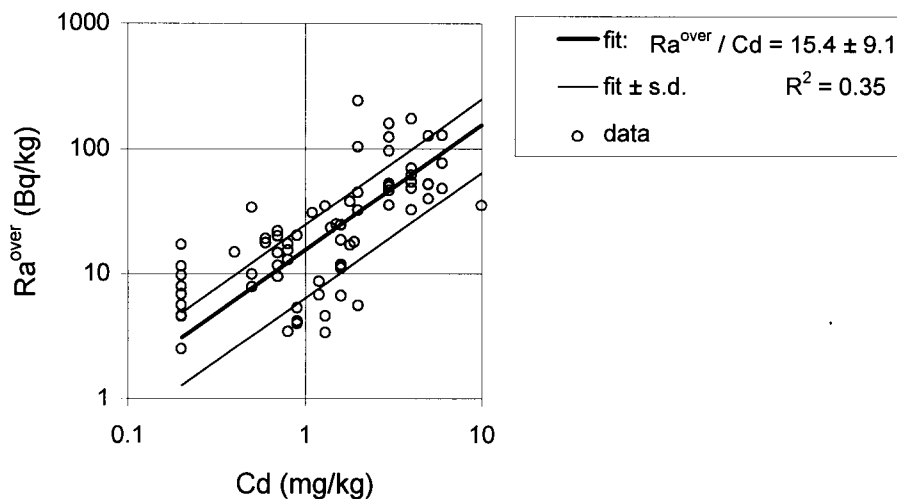


*Figuur 5      Vergelijking van het gemeten radium-overschotgehalte  $Ra^{\text{over}}$  van vakken die zowel in 1994 als in 1995 bemonsterd zijn*

Evenals bij de radiumgehalten is er een significante stijging van het overschot in 1995 ten opzichte van de in 1994 bemonsterde vakken zichtbaar. Door het aftrekken van de natuurlijke radiumgehalten die in 1995 net iets lager uitvielen dan in 1994, is de stijging van de overschotgehalten groter dan van de radiumgehalten zelf:  $39 \pm 7$  procent (Figuur 5).

Het RIZA geeft als mogelijke verklaringen voor deze stijging [Lu96]: gewijzigde lozing, gewijzigde hydrologische omstandigheden of beide. Uit een analyse van de emissiegegevens van Hydro Agri Rotterdam en Kemira Pernis blijkt dat de lozingen voor beide bedrijven samen in 1994, namelijk 809 GBq, 23 % hoger waren dan deze uit 1993, namelijk 660 GBq [Di94, Di95, Hy93, Ve95]. Hieruit blijkt dat een verhoogde emissie een plausibele verklaring is voor (een deel van) de stijging in het overschotgehalte dat is vastgesteld in slibmonsters verzameld in het voorjaar van 1995 in vergelijking met monsters uit het voorjaar van 1994.

### 3.2.5 Relatie radium-overschotgehalte met cadmiumgehalte



*Figuur 6 Relatie radium-overschotgehalte met cadmiumgehalte*

In eerdere studies naar radium-overschotgehalten in (gerijpte) baggerspecie werd geconstateerd dat er een relatie bestaat tussen het radium-overschotgehalte en het cadmiumgehalte [Mo92]. Om na te gaan of deze relatie nog steeds opgaat voor de huidige situatie in de Nieuwe Waterweg, zijn de over 1994 en 1995 gemiddelde radium-overschotgehalten uitgezet tegen de cadmiumgehalten uit [Ro94c]. Het blijkt dat de correlatie in de huidige specie minder sterk is ( $R^2 = 0,35$ ) dan voor oudere baggerspecie maar de hoogste radium-overschotgehalten komen nog steeds voor bij de hoogste cadmiumgehalten (Figuur 6).

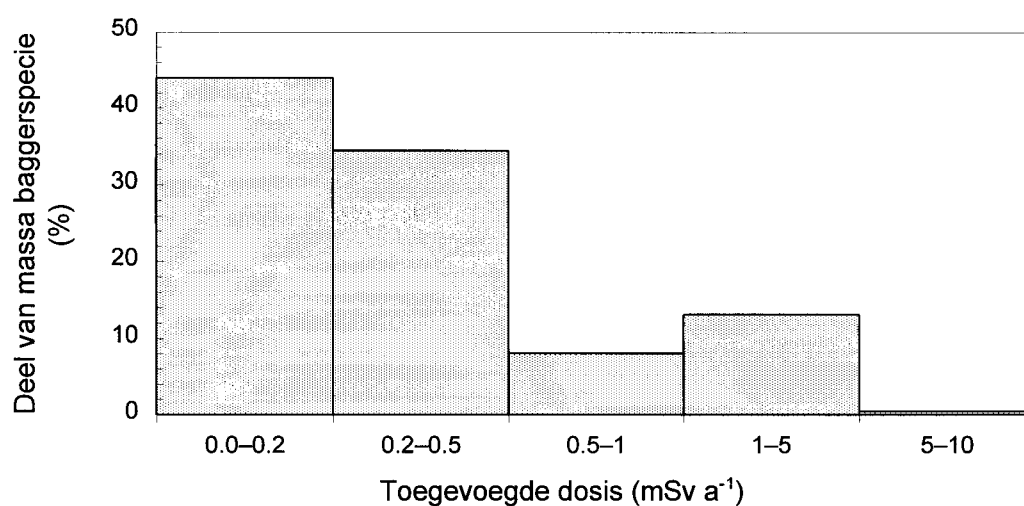
### 3.2.6 Radiumvrachten

Radiumvrachten en radium-overschotvrachten werden waar mogelijk berekend door het radiumgehalte, respectievelijk -overschot te vermenigvuldigen met de jaarlijks opgebaggerde droge massa van de baggerspecie (Appendix B). De waarden per vak lopen op tot 27000 respectievelijk 20000 MBq voor 1994 en 1995 samen (Figuur 12). De totale radium-overschotvracht voor alle vakken samen (ook de niet-gemeten vakken) bedraagt naar schatting  $145 \text{ GBq a}^{-1}$ . Deze schatting kwam als volgt tot stand:

Voor de niet gemeten vakken kan het radium-overschotgehalte  $Ra^{over}$  geschat worden uit het cadmiumgehalte (zie paragraaf 3.2.5). De massavracht per vak is het volume, vermenigvuldigd met de volumieke massa (Appendix B). Voor het volume werd de opgave van RIZA gebruikt en waar deze ontbrak, die van Gemeentewerken Rotterdam. Waar de Volumieke massa ontbrak, werd de gemiddelde waarde (gewogen naar droge massa) gebruikt, zijnde  $480 \text{ kg m}^{-3}$ .

Van 89% van de jaarlijks opgebaggerde droge specie (totaal 8,1 Mton) is minstens eenmaal het radiumgehalte bepaald. Het gemeten deel correspondeert naar schatting met 84% van de radium-overschotvracht en 79% van de cadmiumvracht.

### 3.2.7 Verdeling van toegevoegde doses



*Figuur 7 Verdeling van toegevoegde doses over de totale massa baggerspecie*

Het toegevoegde dosistempo  $\dot{D}$  verbonden met een radium-overschotgehalte  $Ra^{\text{over}}$  in baggerspecie werd voor elk vak berekend voor het belastingpad 'wonen op baggerspecie' volgens de methode beschreven in hoofdstuk 2:

$$\dot{D} = Ra^{\text{over}} \times 25 \mu\text{Sv a}^{-1} \text{ Bq}^{-1}.$$

Hieruit is een distributie van toegevoegde doses afgeleid (Figuur 7).



## 4. DOSISBEREKENING EN DISCUSSIE

### 4.1 Radiumgehalten en radium-overschotgehalten

De baggerspecie met de hoogste radiumgehalten worden gevonden in de havens die blijkens modelberekeningen en metingen aan andere componenten uit het geloosde afvalgips het sterkst door de emissies van de fosfaatertsverwerkende bedrijven worden beïnvloed [Ba95]. Het betreft de Petroleumhavens en de Botlekhavens. De radiumgehalten die in dit onderzoek voor deze havens zijn gevonden<sup>7</sup>, zijn vergelijkbaar met eerder gerapporteerde waarden gemeten aan monsters die ook door Gemeentewerken Rotterdam werden verzameld [Ti94, Wo96]. Zo werden voor de Botlekhavens waarden gevonden variërend tussen 41 en 90 Bq kg<sup>-1</sup>, tegenover 45 à 76 Bq kg<sup>-1</sup> in dit onderzoek, in de 1e en 2e Petroleumhaven werd respectievelijk 112 en 87 Bq kg<sup>-1</sup> gemeten tegenover respectievelijk 180 à 265 Bq kg<sup>-1</sup> en 83 à 151 Bq kg<sup>-1</sup> in dit onderzoek. Dit geeft aan dat de hoogte van en de ruimtelijke variatie in gemeten waarden vrij goed te reproduceren zijn. Nog sterker blijkt dit uit de overeenkomst tussen de in dit rapport opgenomen metingen over 1994 en 1995. De in dit onderzoek berekende natuurlijke radiumgehalten, 8 tot 25 Bq kg<sup>-1</sup>, vallen iets lager uit dan de eerder berekende waarden, 13 tot 37 Bq kg<sup>-1</sup> [Ti94].

Gebruik van de relatie tussen het radium-overschotgehalte en het cadmiumgehalte om te schatten hoe groot het overschotgehalte is voor niet bemonsterde vakken, en hoe groot de totale hoeveelheid niet van nature aanwezig radium in het Rijnmondgebied is, leert dat de hoogste radium-overschotgehalten (>200 Bq/kg) te vinden zijn in de Rijnhaven (vak 9) en de 1<sup>e</sup> Petroleumhaven (vak 51) en dat dergelijke waarden mogelijk te verwachten zijn in het binnengebied (vakken B1, B15, B16, B17, B18 en B19). In totaal is naar schatting 145 GBq <sup>226</sup>Ra aan het systeem toegevoegd. Dit komt overeen met 18% van de 809 GBq radium die in 1994 door beide in het gebied aanwezige fosfaatertsverwerkende bedrijven geloosd is [Di95, Ve95]. KEMA en DHV-IRI schatten de fractie van het geloosde radium die achterblijft in de havens op respectievelijk 5,3% en 14% [Ti94, Bo92].

### 4.2 Toegevoegde dosis

In wat volgt wordt de dosis<sup>8</sup> voor de haven met het hoogste radium-overschotgehalte berekend. Vervolgens wordt een en ander in perspectief geplaatst door te kijken naar de dosisverdeling voor alle opgebaggerde specie en door de consequenties van afvoer naar zee benaderend te kwantificeren.

Zoals aangegeven in de inleiding is de belangrijkste blootstellingsroute bij lozing van radium in de Nieuwe Waterweg de inhalatie van radon en kortlevende radondochters binnenshuis

---

<sup>7</sup> Waar van toepassing is gewerkt met gemiddelden over 1994 en 1995

<sup>8</sup> In deze context staat 'dosis' voor potentieel toegevoegde effectieve jaardosis, i.e. gegeven het toepassen van de specie als ophoogmateriaal voor te bebouwen locaties.

door individuen die wonen op polders opgehoogd met havenspecie afkomstig uit de Rotterdamse havens. De dosis wordt becijferd met de in paragraaf 2.3 gegeven conversiefactor: een verhoging van het radiumgehalte met  $1 \text{ Bq kg}^{-1}$  leidt tot een toegevoegde effectieve dosis van  $25 \mu\text{Sv a}^{-1}$ . De te toetsen waarde is het per baggervak gemiddelde radium-overschotgehalte.

De dosis die op deze wijze wordt berekend voor beide fosfaatertsverwerkende bedrijven samen, uitgaande van de in dit rapport opgenomen metingen, varieert van 0 tot  $6 \text{ mSv a}^{-1}$ . De hoogste waarde wordt gevonden voor specie met een overschotgehalte van circa  $240 \text{ Bq kg}^{-1}$ , afkomstig uit de 1e Petroleumhaven.

De maximale dosis berekend door DHV-IRI is van dezelfde grootte-orde, namelijk  $6,2 \text{ mSv a}^{-1}$ . Laatstgenoemde waarde is met enigszins afwijkende aannames berekend uitgaande van een geschat aandeel aan de hoogste radiumgehalten van  $138 \text{ Bq kg}^{-1}$  voor Hydro Agri Rotterdam en van  $120 \text{ Bq kg}^{-1}$  voor Kemira Pernis [Bo92, Bo93]. KEMA geeft aan dat Hydro Agri naar schatting voor een derde bijdraagt aan de totale radiumlozing en becijfert de dosis als gevolg van lozingen door dit bedrijf op  $30 \mu\text{Sv a}^{-1}$  [Ti94]. Volgens het KEMA-rapport zou de dosis ten gevolge van de lozingen van beide bedrijven samen  $90 \mu\text{Sv a}^{-1}$  bedragen en dus een factor 67 lager zijn dan de hier berekende dosis.

Zoals blijkt uit de inleiding en een vergelijking van de metingen aan havenspecie waarop de verschillende rapporten zijn gebaseerd (zie 4.1), is bovengenoemd verschil in becijferde doses nagenoeg volledig terug te voeren op verschillen in uitgangspunten bij de blootstellings-berekening. Al of niet middelen van gemeten concentraties over het door de lozing beïnvloede havengebied is hierbij het belangrijkste verschilpunt.

Hoge radium-overschotten, met de daarbij behorende hoge toegevoegde doses, komen voor in een relatief kleine fractie van de hoeveelheid specie die wordt opgebaggerd (Figuur 7). Voor circa 15% van de baggerspeciemaassa is de berekende toegevoegde dosis bij gebruik als ophoogmateriaal voor te bebouwen polders meer dan  $1 \text{ mSv a}^{-1}$ . Voor circa 44% is het berekende overschotgehalte kleiner dan twee maal de standaardfout in het geschatte achtergrondgehalte. Voor dit deel van de specie is de berekende toegevoegde dosis dus kleiner dan  $0,2 \text{ mSv}$  en niet significant groter dan nul.

### 4.3 Rivier- versus zeersediment: vergelijking van consequenties van verhogingen

Een belangrijk deel van het geloosde radium wordt in opgeloste vorm afgevoerd naar zee of wordt, gebonden aan opgebaggerde specie, gestort op Loswal Noord, circa 5 km uit de kust. Als schatting van het risico van het passief dan wel actief afvoeren van het radium naar zee kan de benadering gevolgd worden die KEMA gebruikte bij het schatten van de risico's van het lozen van natuurlijke radioactieve stoffen bij olie- en gaswinning [He94]. KEMA definieert in dat verband drie referentiegroepen, namelijk: recreanten op het strand, mensen die dicht bij zee wonen, en bewoners van land dat is opgehoogd met zeezand. Voor deze referentiegroepen werd onder andere het risico berekend ten gevolge van het lozen van  $1 \text{ GBq a}^{-1} \text{ }^{226}\text{Ra}$  in evenwicht met dochtersprodukten, inclusief  $^{210}\text{Pb}$  en  $^{210}\text{Po}$ , in de

kustwateren voor Rotterdam – Den Helder. Het risico, opgeteld voor al deze nucliden bedraagt volgens de benadering van KEMA voor de drie referentiegroepen  $2,2 \times 10^{-10}$ ,  $0,9 \times 10^{-10}$  respectievelijk  $4,0 \times 10^{-10}$  per GBq a<sup>-1</sup> [He94]. De in dit verband door KEMA gehanteerde blootstellingsberekeningen worden als 'worst-case' benadering gepresenteerd. Om het risico 'wonen op zeezand' te kwantificeren wordt dezelfde methode gebruikt als die beschreven in paragraaf 2.3 met dat verschil dat 100% verblijf binnenshuis wordt verondersteld en dat het risico wordt berekend zoals voorgesteld in het basisdocument radon [Va91].

Voor het schatten van het risico verbonden aan de radiumlozingen van de fosfaaterts-verwerkende bedrijven in zee wordt verder alleen gebruik gemaakt van laatstgenoemde en hoogste conversiefactor ( $4,0 \times 10^{-10}$  per GBq a<sup>-1</sup>). Komt al het radium wat volgens opgave van beide bedrijven [Di95, Ve95] in 1994 is geloosd, namelijk 809 GBq, in de Noordzee terecht, dan is het maximale risico via het blootstellingspad 'wonen op verontreinigd zeezand' kleiner dan  $3,3 \times 10^{-7}$  a<sup>-1</sup>, wat overeenkomt met een dosis van minder dan 15 µSv a<sup>-1</sup>. Hierbij is verder aangenomen dat de activiteitsgehalten van <sup>226</sup>Ra, <sup>210</sup>Pb en <sup>210</sup>Po in het gips gelijk zijn, een uitgangspunt dat overigens door de metingen is bevestigd [Di95, Ve95].

Deze vergelijking toont aan dat 1) ook bij lozing van het gips op zee gebruik van het verontreinigde sediment het meest kritische blootstellingspad is en 2) dat de dosis als gevolg van het gebruik van het havenslib afkomstig uit de omgeving van het lozingspunt meer dan twee orden van grootte hoger is dan de dosis bij gebruik van materiaal afkomstig uit zee.

#### 4.4 Conclusies

De in deze studie gemaakte schattingen van de dosis door verhogingen van het <sup>226</sup>Ra-gehalte in havenspecie overstijgen de door de overheid gehanteerde limieten. Deze schattingen bevatten een aantal onzekerheden die aandacht behoeven of waaraan in lopend onderzoek aandacht wordt besteed. De belangrijkste onzekerheden zijn:

- de grootte van het (bodemtype afhankelijke) aandeel van radon afkomstig uit de bodem aan het radon dat in de woning wordt gevonden. Dit aspect is onderwerp van onderzoek bij RIVM.
- de (tijdsafhankelijke) hoogte van de bijdrage van diverse bronnen van natuurlijke radionucliden aan het gevonden overschot-gehalte op een willekeurige lokatie in het Rijnmondgebied. Dit aspect wordt gedeeltelijk behandeld in lopend onderzoek van ECN, waarin bronnen op basis van isotopenverhoudingen van elkaar worden onderscheiden.

Op basis van de in dit rapport beschreven uitgangspunten en de op dit moment beschikbare gegevens leidt gebruik van specie afkomstig uit de meest verontreinigde haven als ophoogmateriaal tot een toegevoegde potentiële individuele dosis van circa 6 mSv a<sup>-1</sup>. Voor circa 15% van de uit het Rijnmondgebied opgebaggerde specie geldt dat gebruik als ophoogmateriaal kan leiden tot een toegevoegde dosis van meer dan 1 mSv a<sup>-1</sup>.

Vergelijken van emissiegegevens met slibmetingen als functie van de tijd voor de naar

verwachting meest verontreinigde lokaties zou, zoals blijkt uit de gegevens in 3.2.4, een nuttige aanvulling zijn op het hier gerapporteerde onderzoek en het bij ECN in uitvoering zijnde onderzoek.

## REFERENTIES

- Ag95 Agter AR. Verslag van het overleg DGM, Kemira Pernis BV, Hydro Agri Rotterdam BV en RIVM, met bijlagen. Brief met kenmerk SVS/1506 dd. 12 mei 1995.
- AL95 Van den Broeck CLM, Alcontrol milieulaboratorium. Voorbehandeling monsters monstercampagne m.b.t. radiumanalyse. Brief met kenmerk KB/9509039 d.d. 28 september 1995.
- Ba95 Bakkenist S, van de Wiel B. Bepaling van het verspreidingspatroon van de lozingen van Hydro Agri en Kemira Pernis met lanthaniden als tracer. Landbouwwuniversiteit Wageningen, 126p. + bijlagen, 1995.
- Be92 Berger GW, Köster HW. De regionale distributie van Po-210, Pb-210, Ra-226 and Th-isothopen in de Nieuwe Waterweg, de verspreiding ervan langs de Nederlandse kust en de mogelijke radiologische consequenties. VROM-reeks Stralenbescherming 1992-2, VROM/DGM, Den Haag, 1992.
- Bo92 Bos AJJ, Ellerbroek G, van Sluis JW, Eijssen PHM. Risico-evaluatie radionuclidenemissies Hydro Agri Rotterdam BV. DHV Milieu & Infrastructuur BV en IRI, dossier F 3079-22-001, 86p., 1992.
- Bo93 Bos AJJ, Ellerbroek G, van Sluis JW, Eijssen PHM. Risico-evaluatie radionuclidenemissies Kemira Pernis BV. DHV Milieu & Infrastructuur BV en IRI, dossier G 1342-22-001, 84p., 1993.
- Di94 Van Dienst JA. Jaaroverzicht van radioactiviteitsmetingen en lozingen van Kemira Agro. Briefrapport dd. 28 juli 1994 aan VROM/TK.
- Di95 Van Dienst JA. Jaaroverzicht van radioactiviteitsmetingen en lozingen van Kemira Agro. Briefrapport dd. 29 mei 1995 met kenmerk JAvD\95052901.apb aan VROM/TSSP.
- Eg95 Eggink GJ. Radiologische aspecten van opslag en lozing van afvalstoffen door de fosfaatindustrie. RIVM, Bilthoven, rapport nr. 610050003, 21p., 1995.
- Ei87 van Eijk P, Huybregts M, Murk P, Roeloffzen A. Bijzonder inventariserend onderzoek baggerspecielocaties in het Rijnmondgebied. Eindrapport projectgroep BIO-baggerspecielocaties. DCMR, Schiedam, 18p. + bijlagen, 1987.
- GR87 Gezondheidsraad. Fosforzuurgips. Milieuhygiënische aspecten van het lozen of storten van fosforzuurgips. Rapport nr. 20, Den Haag, 214p. 1987.
- He94 Heling R, van der Steen. Risks of unit discharges of naturally occurring radioactive matter by oil and gas production platforms on the Dutch part of the Continental shelf. KEMA rapport nr 40287-NUC 94-5272, Arnhem, 69p., 1994
- Hy93 Hydro Agri Rotterdam B.V. Doorzet van radionucliden van de fosforzuurfabrieken in het kader van de Kernenergiewet. Kwartaalcijfers 1993.

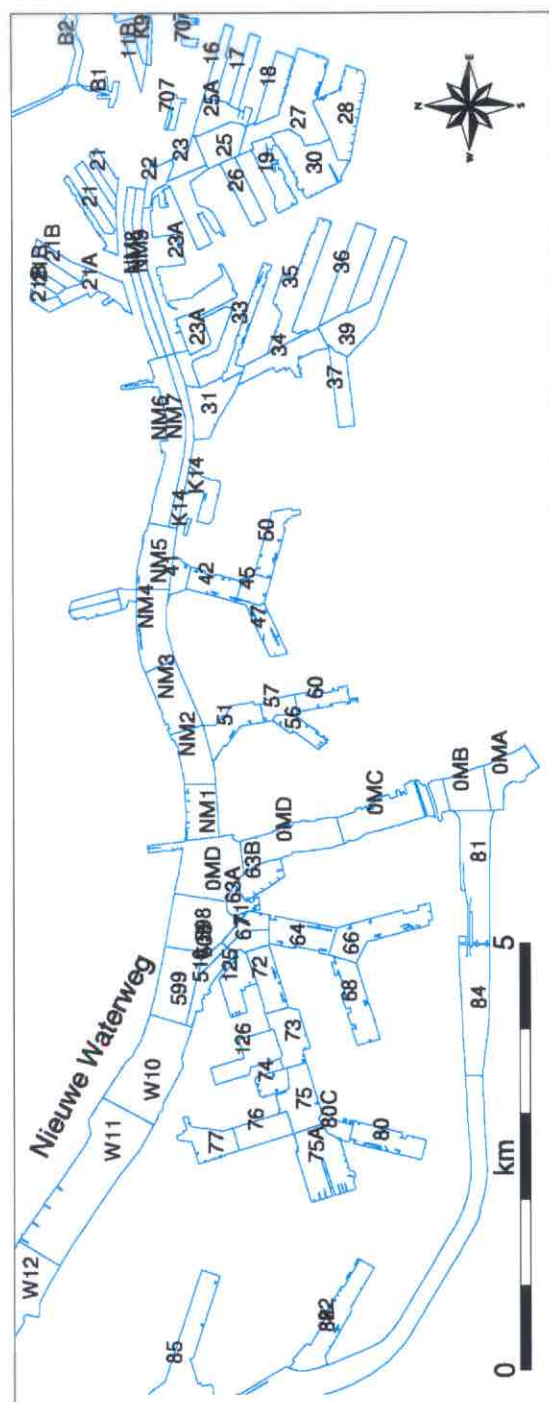
- IC81 International Commission on Radiological Protection. Limits for inhalation of radon daughters by workers. ICRP publikatie nr. 32, Pergamon Press, Oxford, 1981.
- Kö85 Köster HW, Leenhouts HP, van Weers AW, Frissel MJ. Radioecological model calculation for natural radionuclides released into the environment by disposal of phosphogypsum. Sci. Total Environ. 45, 47-53, 1985.
- Kö88 Köster HW, Keen A, Pennders RMJ, Bannink DW, de Winkel JH. Linear regression models for the natural radioactivity ( $^{238}\text{U}$ ,  $^{232}\text{Th}$  and  $^{40}\text{K}$ ) in Dutch soils: a key to anomalies. Radiat. Prot. Dosim. 24, pp. 63-68, 1988.
- Kö90 Köster HW, Marwitz PA, Berger GW, van Weers AW, Hagel P, Nieuwenhuize J. Oriënterend onderzoek naar polonium-210 en andere natuurlijke radionucliden in Nederlandse aquatische ecosystemen. RIVM rapport nr. 248476004, Bilthoven, 226p., 1990.
- Kö91 Köster HW. Schatting van de stralingsbelasting van de mens ten gevolge van fosfogipslozingen in de Nieuwe Waterweg bij Rotterdam. RIVM rapport nr. 249101001, 21p., 1991.
- Kö92 Köster HW, Marwitz PA, Berger GW, van Weers AW, Hagel P, Nieuwenhuize J.  $^{210}\text{Po}$ ,  $^{210}\text{Pb}$ ,  $^{226}\text{Ra}$  in aquatic ecosystems and polders, anthropogenic sources, distribution and enhanced radiation doses in the Netherlands. Radiat. Prot. Dosim. 45, 715-719, 1992.
- Le94 Leenhouts HP. Risico-analyse baggerspecie. Briefrapport met kenmerk 569/94 LSO VA/ms, dd. 22 april 1994.
- Le95 Lembrechts J. Verslag van het afstemmingsoverleg KEMA-RIVM. Brief met kenmerk 47/95 LSO Lem/ms, dd. 11 januari 1995.
- Lu96 Ludikhuize D. Telefax d.d. 29 maart 1996.
- Mo92 Moen JET, Stoop P, Köster HW. Oriënterend onderzoek naar een  $^{226}\text{Ra}$  overschot in havenspeciepoldergronden in het Rijnmondgebied. RIVM, Bilthoven, rapport nr. 749208001, 29p., 1992.
- Ro92 Gemeentewerken Rotterdam. Milieuaspecten onderhoudsbaggerspecie. Analyseverslag Monstercampagne 1992. 11p. + bijlagen, Rotterdam 1992.
- Ro94a Gemeentewerken Rotterdam. Bemonstering bodemsediment van havens en vaarwegen in het Rotterdams havengebied. Bemonsteringsplan - Monstercampagne 1994. Rotterdam, 10p. + bijlagen, 1994.
- Ro94b Gemeentewerken Rotterdam. Bemonstering bodemsediment van havens en vaarwegen in het Rotterdams havengebied. Verslag van het veldwerk - Monstercampagne 1994. Rotterdam, 11p. + bijlagen, 1994.
- Ro94c Gemeentewerken Rotterdam. Milieuaspecten onderhoudsbaggerspecie.

- Resultaten Monstercampagne 1994. Rapport nr. 94-057-MAB/JK, Rotterdam, 11p. + bijlagen, 1994.
- St93 Stoop P, Lembrechts J. Opties voor het afleiden van streef- en interventiewaarden voor radonmoeders uit de  $^{238}\text{U}$ - en  $^{232}\text{Th}$ -reeks in de bodem. RIVM, Bilthoven, rapport nr. 749201003, 54p., 1993.
- St94 Stoop P, Pennders R, Lembrechts J. 1994. Tussenrapportage over fase 1 en 2 van het vervolgonderzoek naar  $^{226}\text{Ra}$  in havenspeciepoldergronden. RIVM rapport nr. 610058001, Bilthoven, 41p., 1994.
- St95 Stoop P. Brief met kenmerk 313/95 LSO St/ms aan RWS/Directie Noordzee afd. AMU en aan DGM/SVS. Onderwerp: Radiumgehalten waterbodem-monsters. Bijlage: Lijst met radiumgehalten van waterbodemmonsters uit de Rijnmond (55 vakken), Scheveningen (5 vakken) en IJmuiden (15 vakken).
- St95a Stoop P. Aanlevering havenslibmonsters t.b.v. radiumbepaling. Brief met kenmerk 468/95 LSO St/ms d.d. 5 april 1995.
- Ti94 Timmermans CWM. Radioactieve verontreiniging van baggerspecie ten gevolge van lozingen door Hydro Agri Rotterdam BV. Een nadere beschouwing van een eerder uitgevoerde risico-analyse. KEMA, Arnhem, rapport nr. 40206-NUC 93-5924, 15p., 1994.
- UN82 United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. Report to the General Assembly, pp. 107-140, 1982.
- Ve95 Vermeul RM. Jaaroverzicht van radioactiviteitsmetingen en lozingen van Hydro Agri Rotterdam. Briefrapport dd. 2 mei 1995 met kenmerk RVe:svr aan de RIMH.
- Va91 Vaas LH et al. Basisdocument Radon. Publikatiereeks Milieubeheer, Rapport nr. 10, VROM, den Haag, 197p. + 41p., 1991.
- VR93 VROM/SVS Straling en Nucleaire Veiligheid. Handleiding Beleidsstandpunten stralingshygiëne tbv Vergunningverlening. Deel 1: Reguliere toepassingen (versie d.d. 15 december 1993).
- We90 van Weers AW, Groothuis REJ. Polonium-210 en lood-210 in het aquatisch milieu. Energiespectrum, 69-76, 1990.
- Wo92a Woittiez JRW. De bepaling van de doorzet aan natuurlijke radioactiviteit bij de fosforzuurfabricage volgens het natte proces. 1. De fosforzuurfabriek van Hydro Agri Rotterdam te Vlaardingen. IRI, Delft, 14p. + bijlagen, 1992.
- Wo92b Woittiez JRW. De bepaling van de doorzet aan natuurlijke radioactiviteit bij de fosforzuurfabricage volgens het natte proces. 2. De fosforzuurfabriek van Kemira Pernis BV te Rotterdam. IRI, Delft, 20p. + bijlagen, 1992.
- Wo96 Woittiez J.R.W. Mondelinge toelichting bij Timmermans, 1994.

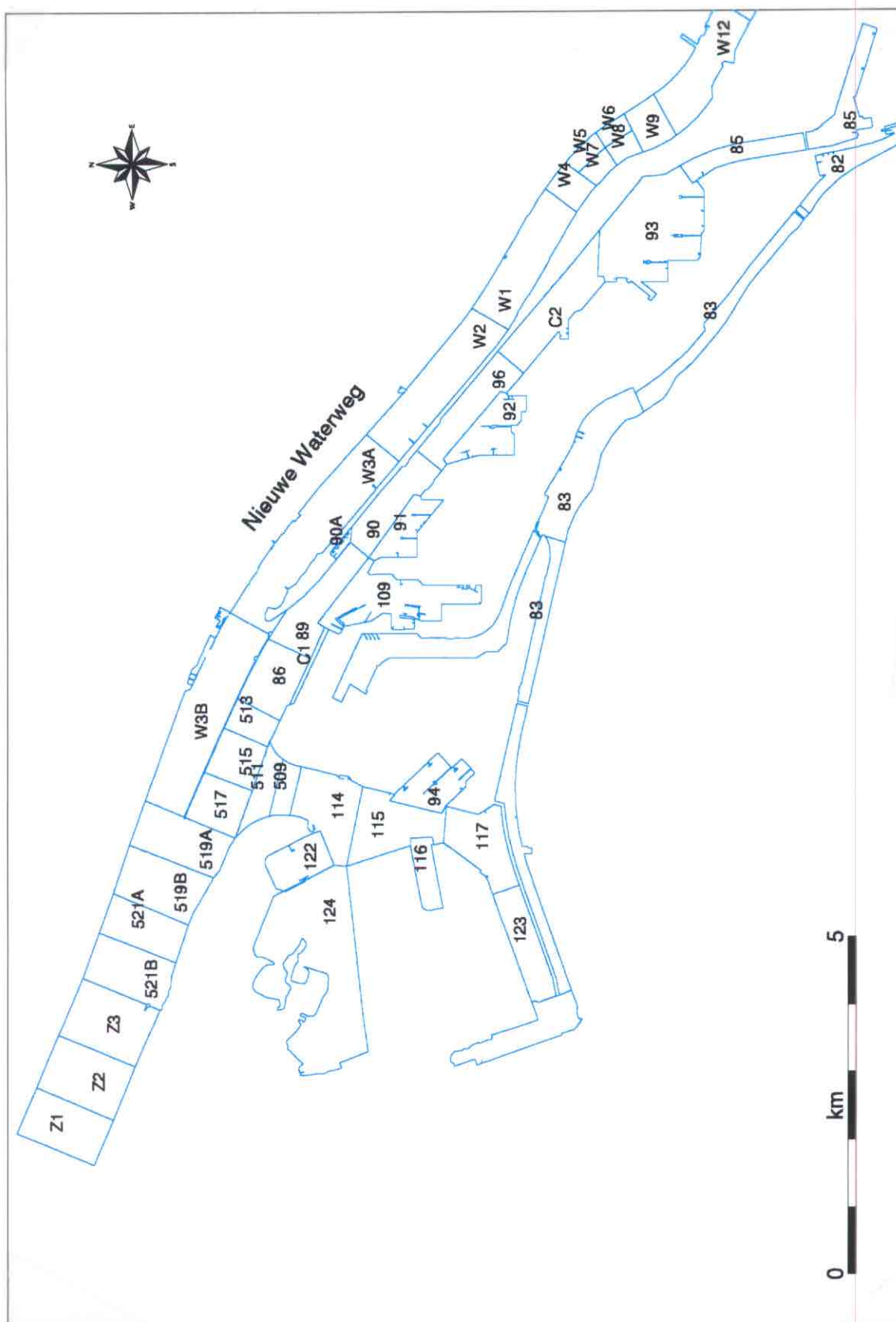
## **APPENDIX A      KAARTEN**

Op de volgende vijf pagina's staan kaarten met daarop aangegeven de in dit onderzoek gebruikte vakindeling, de bepaalde radiumgehalten en -vrachten.

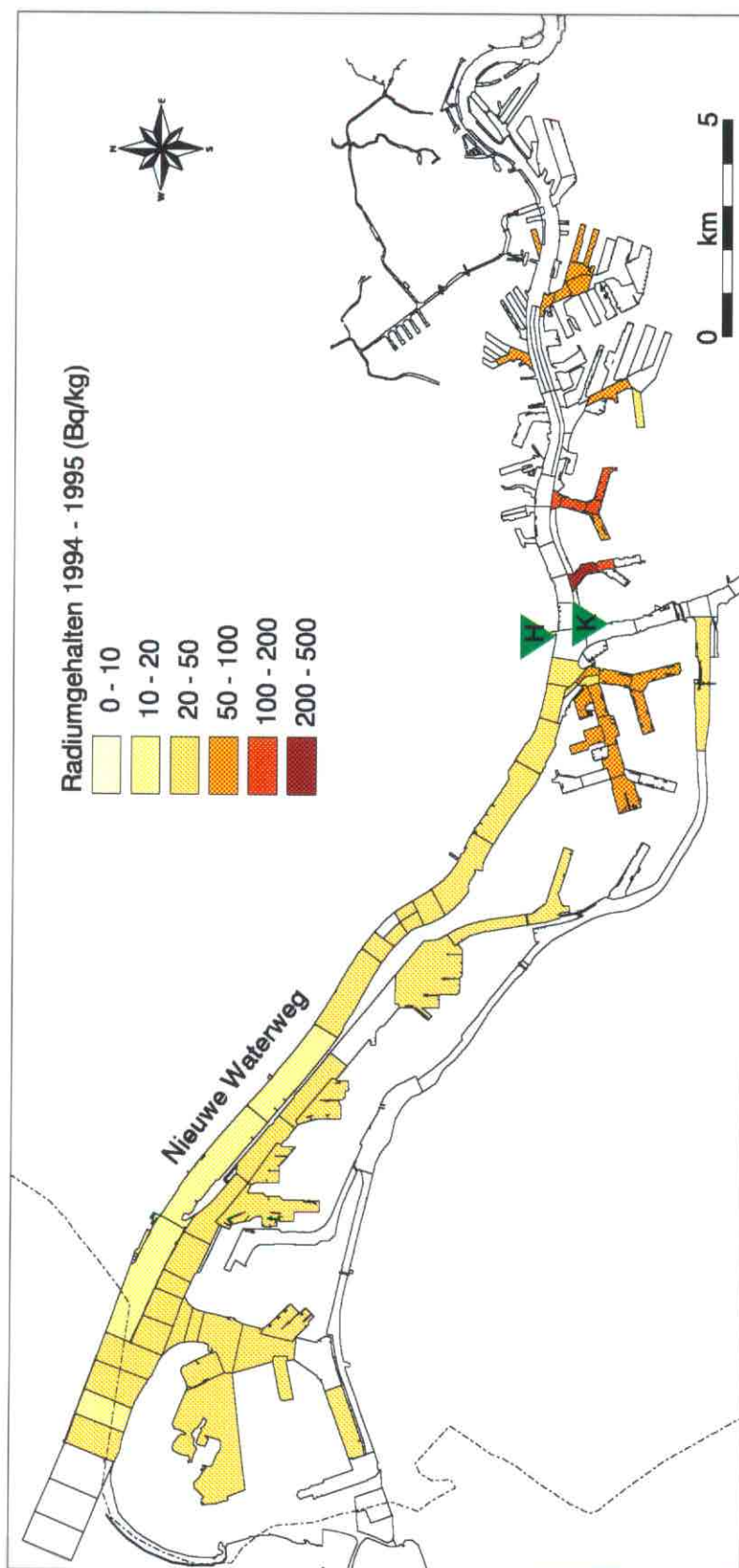




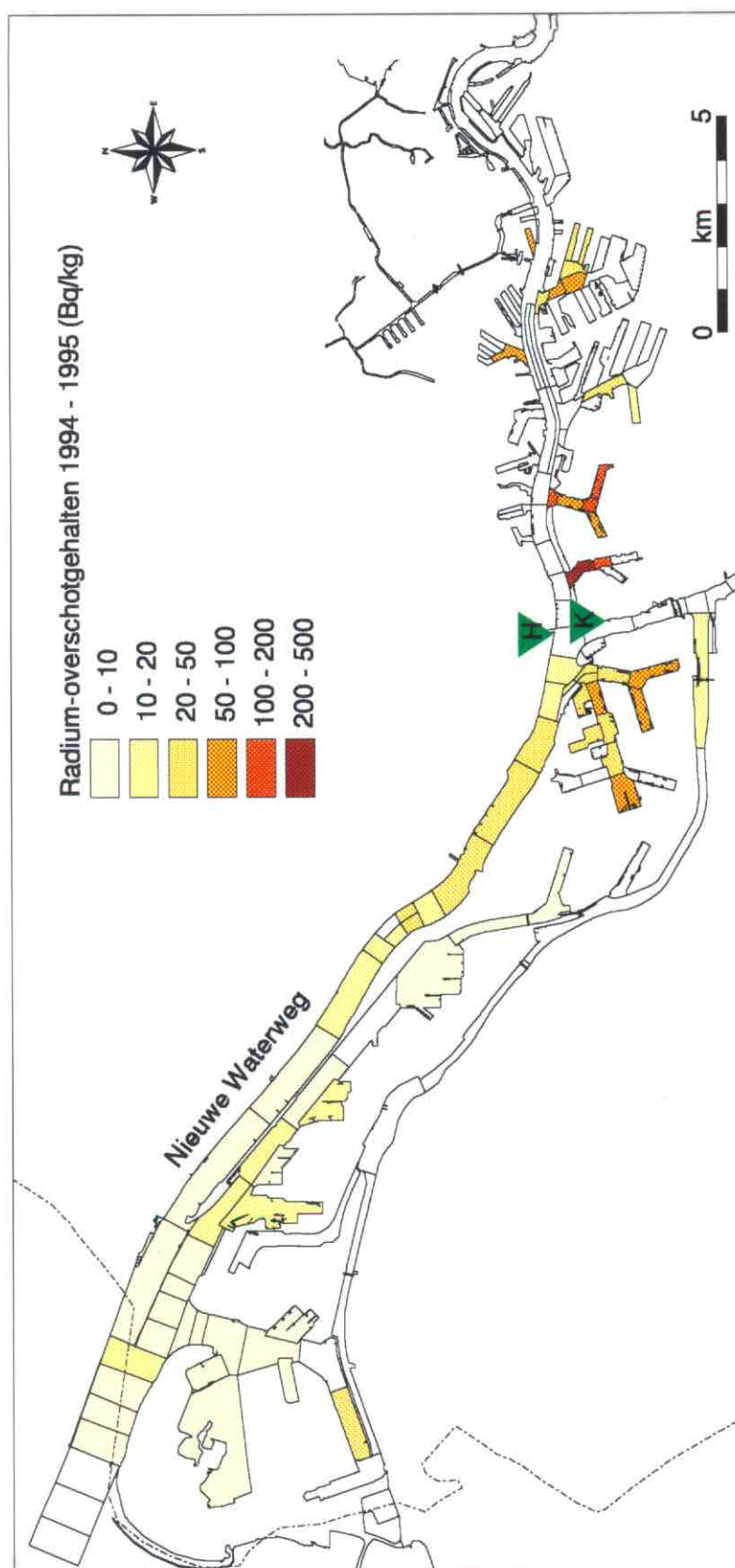
Figuur 8 Indeling in vakken van de havens en vaarwegen in westelijk deel van het Rijnmondgebied



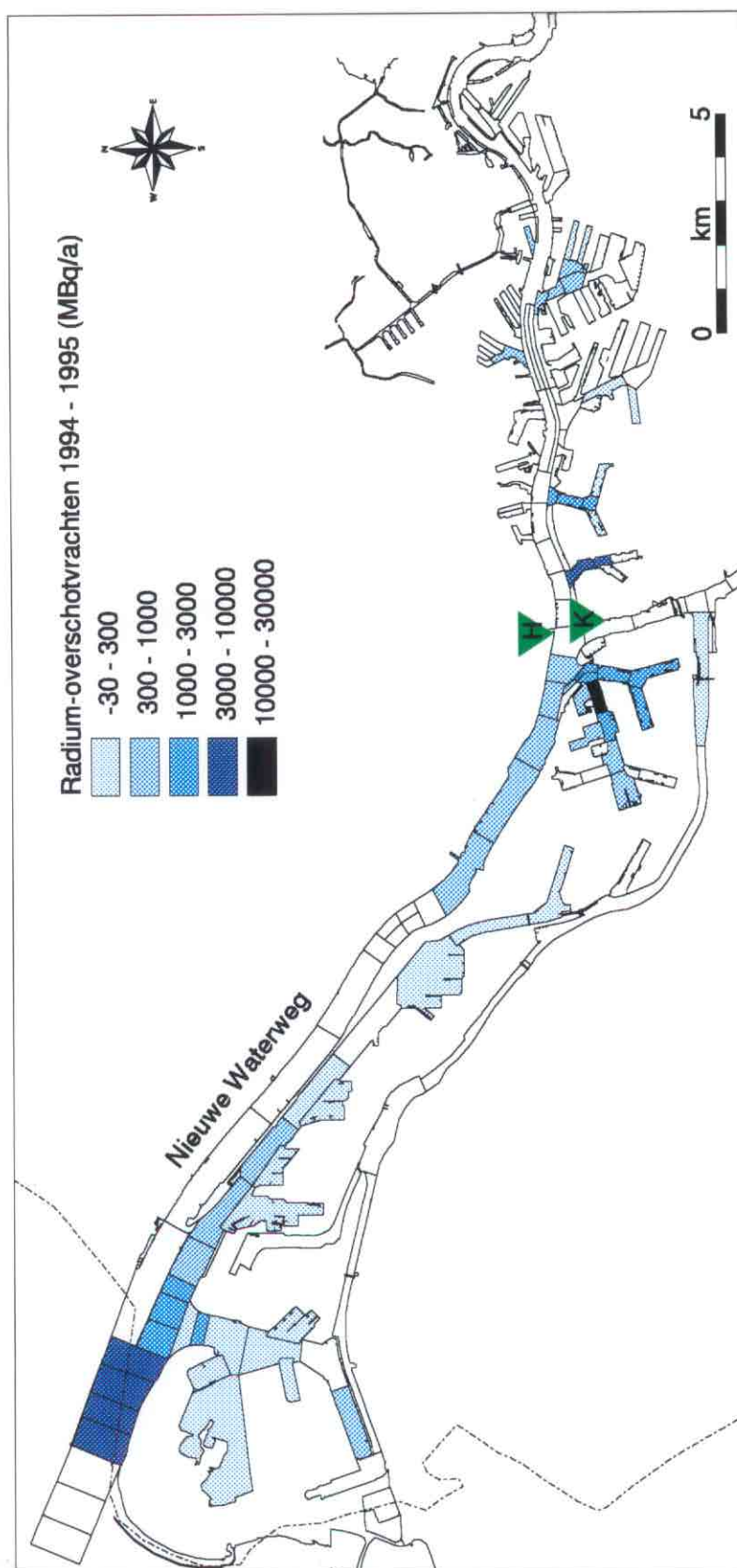
*Figuur 9 Indeling in vakken van de havens en vaarwegen in oostelijk deel van het Rijnmondgebied*



*Figuur 10*      *Gemeten radiumgehalten van baggerspecie uit vakken in het Rijnmondgebied in 1994 en 1995*



*Figuur 11 Radium-overschotgehalten van baggerspecie uit vakken in het Rijnmondgebied in 1994 en 1995*



*Figuur 12 Radium-overschot-vrachten in baggerspecie uit vakken in het Rijnmondgebied in 1994 en 1995*

## APPENDIX B RADIUMGEGEVENS BAGGERSPECIE 1994 EN 1995

In deze appendix zijn de in dit rapport beschreven gegevens numeriek weergegeven.

De eerste drie pagina's (39–41) bevatten de gemeten, natuurlijke en overschotwaarden van het radiumgehalte en de vrachten voor 1994 en 1995. Ra staat hier voor het gemeten radiumgehalte,  $Ra^{nat}$  voor het natuurlijke radiumgehalte en  $Ra^{over}$  voor het radium-overschot. De toevoeging '-activiteit' geeft aan dat het om *vrachten* gaat, dat wil zeggen, het produkt van het betreffende activiteitsgehalte met de jaarlijks (volgens opgaven van RIZA) opgebaggerde droge massa van de specie.

De pagina's 42 en verder bevatten gegevens waarmee de gegevens op pagina 39–41 zijn berekend. Op pagina 42–43 staan de langjarig gemiddelde baggerspecievolumina volgens opgave van Gemeentewerken Rotterdam [Ro92] en RIZA. De gegevens van RIZA zijn gebruikt bij het berekenen van de vrachten omdat hierbij ook de volumieke massa van de droge stof in de baggerspecie gegeven wordt.

Daar achter (pagina 44–47) volgen de gegevens van de gemeten baggerspeciemonsters. Op pagina 44–45 staan de gegevens van 1994 en op pagina 46–47 die van 1995.

Waar gegevens niet beschikbaar zijn, wordt dit aangegeven met #N/A.



[illegible]





| vak<br># | 1994                 |  | 1995                 |  | 1994                                |  | 1995                                |  | 1994                                   |  | 1995                                   |  | 1994                                 |  | 1995                                 |  | 1994                                    |  | 1995                                    |  |
|----------|----------------------|--|----------------------|--|-------------------------------------|--|-------------------------------------|--|----------------------------------------|--|----------------------------------------|--|--------------------------------------|--|--------------------------------------|--|-----------------------------------------|--|-----------------------------------------|--|
|          | Ra ± fout<br>(Bq/kg) |  | Ra ± fout<br>(Bq/kg) |  | Ra <sup>nat</sup> ± fout<br>(Bq/kg) |  | Ra <sup>nat</sup> ± fout<br>(Bq/kg) |  | Ra <sup>nat</sup> -activiteit<br>(MBq) |  | Ra <sup>nat</sup> -activiteit<br>(MBq) |  | Ra <sup>over</sup> ± fout<br>(Bq/kg) |  | Ra <sup>over</sup> ± fout<br>(Bq/kg) |  | Ra <sup>over</sup> -activiteit<br>(MBq) |  | Ra <sup>over</sup> -activiteit<br>(MBq) |  |
| W 8      | 33.8 ± 1.9           |  |                      |  | 13 ± 4                              |  |                                     |  | #N/A                                   |  |                                        |  | 20 ± 4                               |  |                                      |  | #N/A                                    |  |                                         |  |
| W 9      | 31.4 ± 1.5           |  |                      |  | 12 ± 4                              |  |                                     |  | #N/A                                   |  |                                        |  | 19 ± 4                               |  |                                      |  | #N/A                                    |  |                                         |  |
| W10      | 49 ± 2               |  |                      |  | 15 ± 4                              |  |                                     |  |                                        |  | 280                                    |  | 34 ± 5                               |  |                                      |  |                                         |  | 656                                     |  |
| W11      | 41.0 ± 1.8           |  |                      |  | 10 ± 4                              |  |                                     |  |                                        |  | 197                                    |  | 31 ± 4                               |  |                                      |  |                                         |  | 592                                     |  |
| W12      | 30.4 ± 1.4           |  |                      |  | 10 ± 4                              |  |                                     |  |                                        |  | 197                                    |  | 20 ± 4                               |  |                                      |  |                                         |  | 388                                     |  |

| vak<br># | gegevens Gem. R'dam      |                                    | gegevens RIZA                      |                               | Opgebaggerde<br>droge slibmassa<br>(ton) |
|----------|--------------------------|------------------------------------|------------------------------------|-------------------------------|------------------------------------------|
|          | Cd<br>gehalte<br>(mg/kg) | Opgebaggerd<br>volume<br>(1000 m3) | Opgebaggerd<br>volume<br>(1000 m3) | Volumieke<br>massa<br>(kg/m3) |                                          |
| 11B      | 5                        | 40                                 | 43                                 | 372                           | 15866                                    |
| 16       | 10                       | 25                                 | 18                                 | 372                           | 6581                                     |
| 17       | 6                        | 11                                 | 9                                  | 372                           | 3291                                     |
| 21A      | 6                        | 40                                 | 31                                 | 372                           | 11579                                    |
| 22       | 3                        | 11                                 | 16                                 | 372                           | 6052                                     |
| 23       | 4                        | 90                                 | 37                                 | 372                           | 13821                                    |
| 25       | 6                        | 34                                 | 29                                 | 372                           | 10642                                    |
| 25A      | 4                        | 25                                 | 25                                 | 372                           | 9203                                     |
| 34       | 1.3                      | 5                                  | 11                                 | 372                           | 3978                                     |
| 37       | 1.6                      | 3                                  | 8                                  | 372                           | 2827                                     |
| 41       | 2                        | 24                                 | 51                                 | 372                           | 18938                                    |
| 42       | 3                        | 150                                | 78                                 | 372                           | 29043                                    |
| 45       | 6                        | 36                                 | 42                                 | 372                           | 15648                                    |
| 47       | 4                        | 25                                 | 1                                  | 372                           | 530                                      |
| 50       | 5                        | 25                                 | 1                                  | 372                           | 528                                      |
| 51       | 2                        | 170                                | 81                                 | 372                           | 30046                                    |
| 57       | 3                        | 70                                 | 55                                 | 372                           | 20427                                    |
| 64       | 1.8                      | 230                                | 160                                | 372                           | 59399                                    |
| 66       | 3                        | 150                                | 139                                | 372                           | 51680                                    |
| 67       | 1.6                      | 120                                | 204                                | 372                           | 75843                                    |
| 68       | 3                        | 175                                | 147                                | 372                           | 54649                                    |
| 71       | 2                        | 285                                | 234                                | 372                           | 87054                                    |
| 72       | 3                        | 750                                | 853                                | 372                           | 317319                                   |
| 73       | 2                        | 135                                | 125                                | 372                           | 46340                                    |
| 75       | 3                        | 75                                 | 67                                 | 372                           | 25063                                    |
| 75A      | 5                        | 80                                 | 44                                 | 372                           | 16426                                    |
| 81       | 0.8                      | 15                                 | 34                                 | 372                           | 12465                                    |
| 84       | 0.8                      | 25                                 | 21                                 | 372                           | 7934                                     |
| 85       | 0.2                      | 8                                  | 3                                  | 372                           | 1091                                     |
| 86       | 1.3                      | 480                                | 441                                | 372                           | 164030                                   |
| 89       | 1.6                      | 120                                | 208                                | 372                           | 77533                                    |
| 90       | 1.8                      | 50                                 | 70                                 | 372                           | 25908                                    |
| 91       | 2                        | 12                                 | 16                                 | 372                           | 5840                                     |
| 92       | 1.6                      | 10                                 | 4                                  | 372                           | 1488                                     |
| 93       | 0.9                      | 10                                 | 7                                  | 372                           | 2533                                     |
| 94       | 1.6                      | 10                                 | 10                                 | 372                           | 3541                                     |
| 96       | 0.2                      | 10                                 | 25                                 | 372                           | 9388                                     |
| 109      | 1.6                      | 75                                 | 56                                 | 372                           | 21017                                    |
| 114      | 1.3                      | 224                                | 179                                | 372                           | 66638                                    |
| 115      | 1.2                      | 56                                 | 53                                 | 372                           | 19794                                    |
| 116      | 0.7                      | 10                                 | 0                                  | 372                           | 0                                        |
| 122      | 0.8                      | 5                                  | 14                                 | 372                           | 5149                                     |
| 123      | 1.4                      | 35                                 | 40                                 | 372                           | 14747                                    |
| 124      | 0.4                      | 18                                 | 2                                  | 372                           | 756                                      |
| 125      | 3                        | 42                                 | 34                                 | 372                           | 12592                                    |
| 126      | 5                        | 42                                 | 37                                 | 372                           | 13699                                    |
| 508      | 0.8                      | 45                                 | 83                                 | 372                           | 30936                                    |
| 509      | 1.2                      | 900                                | 847                                | 394                           | 333569                                   |
| 511      | 1                        | 900                                | 847                                | 394                           | 333569                                   |
| 513      | 1.2                      | 900                                | 809                                | 394                           | 318680                                   |
| 515      | 0.9                      | 900                                | 809                                | 394                           | 318680                                   |
| 517      | 0.9                      | 900                                | 847                                | 394                           | 333569                                   |

| vak<br># | gegevens Gem. R'dam      |                                    | gegevens RIZA                      |                               | Opgebaggerde<br>droge slibmassa<br>(ton) |
|----------|--------------------------|------------------------------------|------------------------------------|-------------------------------|------------------------------------------|
|          | Cd<br>gehalte<br>(mg/kg) | Opgebaggerd<br>volume<br>(1000 m3) | Opgebaggerd<br>volume<br>(1000 m3) | Volumieke<br>massa<br>(kg/m3) |                                          |
| 519A     | 0.7                      | 1625                               | 1470                               | 567                           | 833369                                   |
| 519B     | 0.5                      | 1625                               | 1470                               | 567                           | 833369                                   |
| 521A     | 0.2                      | 1625                               | 1470                               | 567                           | 833369                                   |
| 521B     | 0.5                      | 1625                               | 1470                               | 567                           | 833369                                   |
| 598      | 0.2                      | 20                                 | 32                                 | 1000                          | 32496                                    |
| 599      | 0.2                      | 20                                 | 32                                 | 1000                          | 32496                                    |
| NM-2     | 4                        | 56                                 | 77                                 | 528                           | 40756                                    |
| NM-4     | 3                        | 56                                 | 77                                 | 528                           | 40756                                    |
| NM-7     | 4                        | 56                                 | 11                                 | 528                           | 5757                                     |
| NM-8     | 1.9                      | 56                                 | 11                                 | 528                           | 5757                                     |
| NM-9     | 4                        | 56                                 | 11                                 | 528                           | 5757                                     |
| OMA      | 1.5                      | 20                                 | #N/A                               | #N/A                          | #N/A                                     |
| OMB      | 0.2                      | 20                                 | #N/A                               | #N/A                          | #N/A                                     |
| W 1      | 0.4                      | 33                                 | #N/A                               | #N/A                          | #N/A                                     |
| W 2      | 0.2                      | 33                                 | #N/A                               | #N/A                          | #N/A                                     |
| W 3A     | 0.2                      | 20                                 | #N/A                               | #N/A                          | #N/A                                     |
| W 3B     | 0.2                      | 20                                 | #N/A                               | #N/A                          | #N/A                                     |
| W 4      | 0.6                      | 167                                | #N/A                               | #N/A                          | #N/A                                     |
| W 6      | 0.7                      | 167                                | #N/A                               | #N/A                          | #N/A                                     |
| W 7      | 0.7                      | 167                                | #N/A                               | #N/A                          | #N/A                                     |
| W 8      | 0.9                      | 167                                | #N/A                               | #N/A                          | #N/A                                     |
| W 9      | 0.6                      | 167                                | #N/A                               | #N/A                          | #N/A                                     |
| W10      | 0.5                      | 33                                 | 19                                 | 1000                          | 19243                                    |
| W11      | 1.1                      | 33                                 | 19                                 | 1000                          | 19243                                    |
| W12      | 0.7                      | 33                                 | 19                                 | 1000                          | 19243                                    |

| Monster # | Vak (ruw) # | Locatie           | Ontvangst-datum | Meet-datum | Code Voor-bewerker | Vulmassa droog (g) | f <sub>2</sub> (% van min.) | f <sub>2,50</sub> (% van min.) | f <sub>50</sub> (% van min.) | Org tot.) | CaCO <sub>3</sub> (% van tot.) | F <sub>2</sub> (% van tot.) | F <sub>2,50</sub> (% van tot.) | F <sub>50</sub> (% van tot.) | Controle fracties (% van min.) | Gehalte Pb-214 (Bq/kg) | Telfout Pb-214 (%) | Gehalte Bi-214 (Bq/kg) | Telfout Bi-214 (%) | Geh. Ra (ruw) (Bq/kg) | fout rel (%) |      |
|-----------|-------------|-------------------|-----------------|------------|--------------------|--------------------|-----------------------------|--------------------------------|------------------------------|-----------|--------------------------------|-----------------------------|--------------------------------|------------------------------|--------------------------------|------------------------|--------------------|------------------------|--------------------|-----------------------|--------------|------|
| K0662     | 34          | Eemhaven          | 29-sep-94       | 18-okt-94  | 9421423x10         | 341.07             | 10.0                        | 35.0                           | 55.0                         | 6.2       | 12.0                           | 8.2                         | 28.6                           | 45.0                         | 100.0                          | 67.6                   | 4.3                | 59.0                   | 5.4                | 54.1                  | 2.3          | 4.3  |
| K0663     | 34          |                   |                 |            |                    | 359.22             |                             |                                |                              |           |                                |                             |                                |                              |                                | 46.4                   | 3.2                | 43.6                   | 3.3                |                       |              |      |
| K0636*    | 37          | Eemhaven          | 17-nov-94       | 14-feb-95  | 9421226x6          | 360.00             | 20.0                        | 26.0                           | 54.0                         | 5.8       | 15.9                           | 15.7                        | 20.4                           | 42.3                         | 100.0                          | 35.5                   | 2.7                | 32.8                   | 3.3                | 39.0                  | 6.0          | 15.4 |
| K0637     | 41          | 2e Petroleumhaven | 17-nov-94       | 5-dec-94   | 9421141x7          | 355.53             | 25.0                        | 26.0                           | 49.0                         | 7.0       | 16.8                           | 19.1                        | 19.8                           | 37.3                         | 100.0                          | 136.8                  | 1.4                | 131.1                  | 1.7                | 126.4                 | 4.7          | 3.7  |
| K0638     | 41          |                   |                 |            |                    | 352.34             |                             |                                |                              |           |                                |                             |                                |                              |                                | 122.1                  | 1.3                | 115.5                  | 1.4                |                       |              |      |
| K0664     | 51          | 1e Petroleumhaven | 29-sep-94       | 19-okt-94  | 9421143x1          | 324.48             | 27.0                        | 27.0                           | 44.0                         | 6.7       | 16.0                           | 20.9                        | 20.9                           | 34.0                         | 98.0                           | 203.7                  | 2.3                | 187.1                  | 2.9                | 225.5                 | 8.8          | 3.9  |
| K0665     | 51          |                   |                 |            |                    | 306.35             |                             |                                |                              |           |                                |                             |                                |                              |                                | 257.6                  | 2.3                | 253.7                  | 2.4                |                       |              |      |
| K0639     | 64          | 3e Petroleumhaven | 17-nov-94       | 6-dec-94   | 9420469x7          | 315.17             | 24.0                        | 36.0                           | 40.0                         | 6.3       | 17.9                           | 18.2                        | 27.3                           | 30.3                         | 100.0                          | 55.4                   | 4.9                | 59.4                   | 6.8                | 57.4                  | 3.4          | 6.0  |
| K0666     | 67          | Monding Botlek    | 29-sep-94       | 19-okt-94  | 9421143x3          | 329.53             | 21.0                        | 26.0                           | 53.0                         | 5.4       | 15.9                           | 16.5                        | 20.5                           | 41.7                         | 100.0                          | 38.7                   | 3.4                | 36.4                   | 3.4                | 45.5                  | 2.1          | 4.6  |
| K0667     | 67          |                   |                 |            |                    | 343.89             |                             |                                |                              |           |                                |                             |                                |                              |                                | 53.0                   | 6.3                | 53.9                   | 5.8                |                       |              |      |
| K0668     | 71          | Monding Botlek    | 29-sep-94       | 20-okt-94  | 9424253x1          | 367.42             | 26.0                        | 21.0                           | 53.0                         | 7.3       | 15.5                           | 20.1                        | 16.2                           | 40.9                         | 100.0                          | 48.5                   | 5.7                | 50.4                   | 6.2                | 49.4                  | 2.2          | 4.4  |
| K0669     | 71          |                   |                 |            |                    | 324.30             |                             |                                |                              |           |                                |                             |                                |                              |                                | 52.1                   | 3.1                | 46.4                   | 3.4                |                       |              |      |
| K0670     | 72          | Centrale Geul     | 29-sep-94       | 24-okt-94  | 9420469x8          | 367.18             | 24.0                        | 33.0                           | 43.0                         | 6.5       | 16.5                           | 18.5                        | 25.4                           | 33.1                         | 100.0                          | 67.3                   | 4.5                | 63.4                   | 5.3                | 65.4                  | 2.7          | 4.1  |
| K0671     | 72          |                   |                 |            |                    | 374.20             |                             |                                |                              |           |                                |                             |                                |                              |                                | 67.4                   | 2.2                | 63.6                   | 2.3                |                       |              |      |
| K0640     | 75          | Centrale Geul     | 17-nov-94       | 6-dec-94   | 9420470x1          | 303.61             | 28.0                        | 37.0                           | 35.0                         | 7.8       | 17.3                           | 21.0                        | 27.7                           | 26.2                         | 100.0                          | 60.5                   | 3.6                | 56.6                   | 4.2                | 60.5                  | 2.5          | 4.1  |
| K0700     | 75          |                   |                 |            |                    | 303.88             |                             |                                |                              |           |                                |                             |                                |                              |                                | 64.3                   | 3.2                | 60.8                   | 4.3                |                       |              |      |
| K1795     | 81          | Hartelkanaal      | 17-nov-94       | 6-dec-94   | 9422038x1          | 441.64             | 4.5                         | 9.5                            | 86.0                         | 1.5       | 11.1                           | 3.9                         | 8.3                            | 75.2                         | 100.0                          | 24.9                   | 4.0                | 25.1                   | 5.1                | 26.9                  | 1.4          | 5.3  |
| K1972     | 81          |                   |                 |            |                    | 422.86             |                             |                                |                              |           |                                |                             |                                |                              |                                | 27.1                   | 8.6                | 30.7                   | 9.7                |                       |              |      |
| K1973     | 84          | Hartelkanaal      | 17-nov-94       | 23-jan-95  | 9422038x2          | 446.08             | 8.7                         | 8.3                            | 83.0                         | 3.3       | 11.0                           | 7.5                         | 7.1                            | 71.1                         | 100.0                          | 23.4                   | 6.4                | 27.5                   | 7.6                | 25.9                  | 1.3          | 5.2  |
| K1974     | 84          |                   |                 |            |                    | 443.55             |                             |                                |                              |           |                                |                             |                                |                              |                                | 28.2                   | 6.4                | 24.4                   | 8.9                |                       |              |      |
| K1975     | 85          | Brittanniëhaven   | 17-nov-94       | 19-jan-95  | 9421034x9          | 391.84             | 12.0                        | 14.0                           | 74.0                         | 3.3       | 10.1                           | 10.4                        | 12.1                           | 64.1                         | 100.0                          | 25.5                   | 6.6                | 25.8                   | 6.9                | 25.6                  | 1.6          | 6.4  |
| K1976     | 86          | Calandkanaal      | 17-nov-94       | 24-jan-95  | 9420470x3          | 321.46             | 31.0                        | 30.0                           | 39.0                         | 6.7       | 20.1                           | 22.7                        | 22.0                           | 28.5                         | 100.0                          | 25.8                   | 5.8                | 27.3                   | 8.4                | 26.6                  | 1.8          | 6.7  |
| K1977     | 89          | Calandkanaal      | 17-nov-94       | 8-dec-94   | 9420470x4          | 329.77             | 27.0                        | 29.0                           | 44.0                         | 9.4       | 18.6                           | 19.4                        | 20.9                           | 31.7                         | 100.0                          | 32.0                   | 7.0                | 31.5                   | 9.7                | 33.3                  | 1.7          | 5.2  |
| K1978     | 89          |                   |                 |            |                    | 311.70             |                             |                                |                              |           |                                |                             |                                |                              |                                | 35.7                   | 5.8                | 34.0                   | 6.9                |                       |              |      |
| K1970     | 90          | Calandkanaal      | 29-sep-94       | 20-okt-94  | 9420470x5          | 329.63             | 26.0                        | 26.0                           | 48.0                         | 7.2       | 17.3                           | 19.6                        | 19.6                           | 36.2                         | 100.0                          | 32.7                   | 6.9                | 30.2                   | 7.1                | 39.0                  | 1.8          | 4.7  |
| K1971     | 90          |                   |                 |            |                    | 331.75             |                             |                                |                              |           |                                |                             |                                |                              |                                | 47.1                   | 5.1                | 45.9                   | 5.2                |                       |              |      |
| K1979     | 91          | 4e Petroleumhaven | 17-nov-94       | 7-dec-94   | 9420470x7          | 361.36             | 27.0                        | 30.0                           | 43.0                         | 6.9       | 16.4                           | 20.7                        | 23.0                           | 33.0                         | 100.0                          | 24.6                   | 7.2                | 28.3                   | 8.8                | 29.2                  | 1.6          | 5.5  |
| K1980     | 91          |                   |                 |            |                    | 343.49             |                             |                                |                              |           |                                |                             |                                |                              |                                | 29.8                   | 7.6                | 34.3                   | 8.5                |                       |              |      |
| K0672     | 92          | 5e Petroleumhaven | 29-sep-94       | 9-jan-95   | 9421034x7          | 356.51             | 13.0                        | 8.0                            | 79.0                         | 6.7       | 11.9                           | 10.6                        | 6.5                            | 64.3                         | 100.0                          | 28.1                   | 9.0                | 25.6                   | 9.2                | 25.1                  | 1.3          | 5.2  |
| K0673     | 92          |                   |                 |            |                    | 377.86             |                             |                                |                              |           |                                |                             |                                |                              |                                | 24.3                   | 4.3                | 22.3                   | 4.1                |                       |              |      |
| K0674     | 93          | 7e Petroleumhaven | 29-sep-94       | 25-okt-94  | 9421034x8          | 368.64             | 24.0                        | 26.0                           | 50.0                         | 5.3       | 15.8                           | 18.9                        | 20.5                           | 39.5                         | 100.0                          | 27.6                   | 3.9                | 25.1                   | 4.8                | 26.4                  | 1.4          | 5.2  |
| K0675     | 93          |                   |                 |            |                    | 359.25             |                             |                                |                              |           |                                |                             |                                |                              |                                | 26.1                   | 10.0               | 26.7                   | 8.9                |                       |              |      |
| K1981     | 94          | 6e Petroleumhaven | 17-nov-94       | 7-jan-95   | 9421141x5          | 324.51             | 24.0                        | 23.0                           | 53.0                         | 6.5       | 17.2                           | 18.3                        | 17.5                           | 40.4                         | 100.0                          | 29.3                   | 4.8                | 27.4                   | 4.7                | 27.5                  | 1.4          | 5.1  |
| K1982     | 94          |                   |                 |            |                    | 370.21             |                             |                                |                              |           |                                |                             |                                |                              |                                | 26.8                   | 9.6                | 26.4                   | 7.9                |                       |              |      |
| K0676     | 96          | Calandkanaal      | 29-sep-94       | 25-jan-95  | 9421034x6          | 444.14             | 13.0                        | 13.0                           | 74.0                         | 4.2       | 10.8                           | 11.1                        | 11.1                           | 62.9                         | 100.0                          | 21.2                   | 8.5                | 19.7                   | 7.6                | 20.4                  | 1.0          | 5.0  |
| K0677     | 96          |                   |                 |            |                    | 449.22             |                             |                                |                              |           |                                |                             |                                |                              |                                | 21.5                   | 5.0                | 19.3                   | 5.8                |                       |              |      |
| K0678     | 109         | Beneluxhaven      | 29-sep-94       | 27-okt-94  | 9420470x6          | 404.33             | 18.0                        | 16.0                           | 66.0                         | 5.0       | 14.0                           | 14.6                        | 13.0                           | 53.5                         | 100.0                          | 26.9                   | 6.9                | 26.1                   | 8.3                | 29.7                  | 1.6          | 5.5  |
| K0679     | 109         |                   |                 |            |                    | 369.31             |                             |                                |                              |           |                                |                             |                                |                              |                                | 38.5                   | 7.7                | 27.4                   | 8.9                |                       |              |      |
| K1983     | 114         | Beerkanaal        | 17-nov-94       | 7-dec-94   | 9421141x3          | 368.98             | 28.0                        | 32.0                           | 40.0                         | 7.5       | 21.4                           | 19.9                        | 22.8                           | 28.4                         | 100.0                          | 22.9                   | 7.5                | 27.7                   | 8.5                | 26.1                  | 1.5          | 5.6  |
| K1984     | 114         |                   |                 |            |                    | 300.34             |                             |                                |                              |           |                                |                             |                                |                              |                                | 26.8                   | 9.2                | 26.8                   | 8.1                |                       |              |      |
| K1985     | 115         | Beerkanaal        | 17-nov-94       | 8-jan-95   | 9421141x4          | 361.29             | 26.0                        | 30.0                           | 44.0                         | 6.9       | 20.3                           | 18.9                        | 21.8                           | 32.0                         | 100.0                          | 22.3                   | 5.6                | 21.5                   | 5.8                | 22.5                  | 1.0          | 4.6  |
| K1986     | 115         |                   |                 |            |                    | 343.91             |                             |                                |                              |           |                                |                             |                                |                              |                                | 23.8                   | 5.4                | 22.4                   | 5.3                |                       |              |      |
| K0680     | 116         | Amazonehaven      | 29-sep-94       | 27-okt-94  | 9421226x5          | 404.26             | 13.0                        | 14.0                           | 73.0                         | 8.6       | 14.0                           | 10.1                        | 10.8                           | 56.5                         | 100.0                          | 25.1                   | 5.2                | 24.4                   | 5.0                | 24.1                  | 1.2          | 5.0  |
| K0681     | 116         |                   |                 |            |                    | 383.05             |                             |                                |                              |           |                                |                             |                                |                              |                                | 23.2                   | 7.5                | 23.9                   | 8.7                |                       |              |      |
| K0682     | 122         | 8e Petroleumhaven | 29-sep-94       | 26-jan-95  | 9421226x2          | 375.35             | 16.5                        | 20.0                           | 63.0                         | 5.0       | 14.5                           | 13.3                        | 16.1                           | 50.7                         | 99.5                           | 23.0                   | 4.3                | 22.1                   | 4.3                | 21.5                  | 1.0          | 4.5  |
| K0683     | 122         |                   |                 |            |                    | 385.59             |                             |                                |                              |           |                                |                             |                                |                              |                                | 21.2                   | 5.3                | 19.7                   | 5.6                |                       |              |      |
| K0684     | 123         | Mississippihaven  | 29-sep-94       | 31-okt-94  | 9421226x1          | 375.93             | 17.0                        | 18.0                           | 65.0                         | 6.3       | 14.1                           | 13.5                        | 14.3                           | 51.7                         | 100.0                          | 45.2                   | 3.0                | 39.7                   | 3.6                | 41.0                  | 1.7          | 4.1  |
| K0685     | 123         |                   |                 |            |                    | 368.41             |                             |                                |                              |           |                                |                             |                                |                              |                                | 39.3                   | 3.3                | 39.8                   | 3.9                |                       |              |      |
| K0686     | 124         | Europahaven       | 29-sep-94       | 21-feb-95  | 9421141x6          | 426.93             | 13.0                        | 17.0                           | 70.0                         | 2.9       | 16.2                           | 10.5                        | 13.8                           | 56.6                         | 100.0                          | 22.0                   | 5.7                | 27.6                   | 7.2                | 24.0                  | 1.1          | 4.7  |
| K0687     | 124         |                   |                 |            |                    | 426.88             |                             |                                |                              |           |                                |                             |                                |                              |                                | 24.1                   | 4.4                | 22.2                   | 4.4                |                       |              |      |
| K0688     | 508         | Monding Botlek    | 29-sep-94       | 3-nov-94   | 9421143x2          | 443.19             | 11.0                        | 10.0                           | 79.0                         | 2.8       | 12.0                           | 9.4                         | 8.5                            | 67.3                         | 100.0                          | 33.3                   | 7.4                | 32.6                   | 6.4                | 31.6                  | 1.6          | 5.1  |

| Monster # | Vak (ruw) # | Locatie              | Ontvangst- datum | Meet- datum | Code Voor- bewerker | Vulmassa droog (g) | f <sub>2</sub> (% van min.) | f <sub>2,50</sub> (% van min.) | f <sub>50</sub> (% van min.) | Org (% van min.) | CaCO <sub>3</sub> (% van tot.) | F <sub>2</sub> (% van tot.) | F <sub>2,50</sub> (% van tot.) | F <sub>50</sub> (% van tot.) | Controle van fracties (% van min.) | Gehalte Pb-214 (Bq/kg) | Telfout Pb-214 (%) | Gehalte Bi-214 (Bq/kg) | Telfout Bi-214 (%) | Geh. Ra (Bq/kg) | fout rel (ruw) (%) |
|-----------|-------------|----------------------|------------------|-------------|---------------------|--------------------|-----------------------------|--------------------------------|------------------------------|------------------|--------------------------------|-----------------------------|--------------------------------|------------------------------|------------------------------------|------------------------|--------------------|------------------------|--------------------|-----------------|--------------------|
| K0689     | 508         |                      |                  |             |                     | 409.60             |                             |                                |                              |                  |                                |                             |                                |                              |                                    | 31.3                   | 6.8                | 29.4                   | 7.3                |                 |                    |
| K0690     | 509         | Maasmond             | 29-sep-94        | 26-jan-95   | 9421141x1           | 336.17             | 26.0                        | 28.0                           | 46.0                         | 6.0              | 20.2                           | 19.2                        | 20.7                           | 33.9                         | 100.0                              | 26.6                   | 8.2                | 23.8                   | 7.1                | 26.4            | 1.3                |
| K0691     | 509         |                      |                  |             |                     | 340.37             |                             |                                |                              |                  |                                |                             |                                |                              |                                    | 22.9                   | 4.2                | 26.3                   | 4.4                |                 |                    |
| K1987     | 511         | Maasmond             | 17-nov-94        | 8-dec-94    | 9421141x2           | 333.21             | 24.0                        | 35.0                           | 41.0                         | 6.6              | 20.8                           | 17.4                        | 25.4                           | 29.8                         | 100.0                              | 28.9                   | 9.8                | 21.5                   | 8.2                | 22.2            | 1.7                |
| K1988     | 513         | Maasmond             | 17-nov-94        | 3-feb-95    | 9420470x2           | 350.60             | 26.0                        | 34.0                           | 40.0                         | 7.7              | 20.7                           | 18.6                        | 24.3                           | 28.6                         | 100.0                              | 27.0                   | 5.4                | 27.2                   | 6.1                | 26.0            | 1.2                |
| K1989     | 513         |                      |                  |             |                     | 354.29             |                             |                                |                              |                  |                                |                             |                                |                              |                                    | 25.6                   | 3.6                | 24.1                   | 6.1                |                 |                    |
| K1990     | 515         | Maasmond             | 17-nov-94        | 3-jen-95    | 9420469x5           | 323.59             | 24.0                        | 35.0                           | 41.0                         | 7.0              | 21.4                           | 17.2                        | 25.1                           | 29.4                         | 100.0                              | 26.5                   | 6.0                | 25.5                   | 6.4                | 26.0            | 1.6                |
| K0692     | 517         | Maasmond             | 29-sep-94        | 8-okt-94    | 9420469x6           | 329.02             | 25.0                        | 32.0                           | 43.0                         | 6.6              | 21.9                           | 17.9                        | 22.9                           | 30.7                         | 100.0                              | 27.0                   | 9.1                | 25.8                   | 7.4                | 27.0            | 1.4                |
| K0693     | 517         |                      |                  |             |                     | 322.62             |                             |                                |                              |                  |                                |                             |                                |                              |                                    | 27.4                   | 5.5                | 28.0                   | 4.8                |                 |                    |
| K1991     | 519A        | NWW km 1033-1035     | 17-nov-94        | 9-dec-94    | 9420469x3           | 391.30             | 17.0                        | 10.0                           | 73.0                         | 4.0              | 19.2                           | 13.1                        | 7.7                            | 56.1                         | 100.0                              | 29.3                   | 5.9                | 29.5                   | 7.4                | 28.1            | 1.3                |
| K1992     | 519A        |                      |                  |             |                     | 394.79             |                             |                                |                              |                  |                                |                             |                                |                              |                                    | 27.3                   | 2.6                | 26.3                   | 2.5                |                 |                    |
| K1993     | 519B        | NWW km 1033-1035     | 17-nov-94        | 14-dec-94   | 9420469x4           | 355.09             | 16.0                        | 14.0                           | 70.0                         | 3.9              | 20.8                           | 12.0                        | 10.5                           | 52.7                         | 100.0                              | 22.9                   | 3.6                | 22.1                   | 3.3                | 22.8            | 1.0                |
| K1994     | 519B        |                      |                  |             |                     | 382.59             |                             |                                |                              |                  |                                |                             |                                |                              |                                    | 22.5                   | 3.6                | 23.6                   | 5.7                |                 |                    |
| K0694     | 521A        | NWW km 1033-1035     | 29-sep-94        | 26-jan-95   | 9420469x1           | 403.06             | 12.0                        | 13.0                           | 75.0                         | 2.9              | 16.5                           | 9.7                         | 10.5                           | 60.5                         | 100.0                              | 19.9                   | 5.1                | 19.9                   | 5.7                | 19.2            | 0.9                |
| K0695     | 521A        |                      |                  |             |                     | 406.10             |                             |                                |                              |                  |                                |                             |                                |                              |                                    | 19.0                   | 3.7                | 18.1                   | 7.5                |                 |                    |
| K0696     | 521B        | NWW km 1033-1035     | 29-sep-94        | 10-nov-94   | 9420469x2           | 419.47             | 14.0                        | 19.0                           | 67.0                         | 3.2              | 17.2                           | 11.1                        | 15.1                           | 53.3                         | 100.0                              | 23.4                   | 8.8                | 23.4                   | 8.4                | 24.1            | 1.4                |
| K0697     | 521B        |                      |                  |             |                     | 402.12             |                             |                                |                              |                  |                                |                             |                                |                              |                                    | 25.4                   | 9.9                | 24.1                   | 8.5                |                 |                    |
| K1995     | 598         | NWW km 1013.5-1014.5 | 17-nov-94        | 8-dec-94    | 9422038x7           | 526.76             | 1.0                         | 1.0                            | 98.0                         | 0.5              | 3.1                            | 1.0                         | 1.0                            | 94.5                         | 100.0                              | 18.5                   | 5.0                | 19.3                   | 7.1                | 20.1            | 0.9                |
| K1996     | 598         |                      |                  |             |                     | 572.67             |                             |                                |                              |                  |                                |                             |                                |                              |                                    | 21.6                   | 3.5                | 20.9                   | 5.2                |                 |                    |
| K1997     | 599         | NWW km 1013.5-1014.5 | 17-nov-94        | 25-jan-95   | 9422038x6           | 457.15             | 1.0                         | 2.7                            | 96.0                         | 0.5              | 3.6                            | 1.0                         | 2.6                            | 92.1                         | 99.7                               | 24.0                   | 6.7                | 27.8                   | 8.5                | 26.2            | 1.3                |
| K1998     | 599         |                      |                  |             |                     | 506.38             |                             |                                |                              |                  |                                |                             |                                |                              |                                    | 47.4                   | 4.7                | 25.4                   | 7.8                |                 |                    |
| K1999     | OMA         | Oude Maas            | 17-nov-94        | 12-dec-94   | 9422038x3           | 404.08             | 15.0                        | 14.0                           | 71.0                         | 4.1              | 13.4                           | 12.4                        | 11.6                           | 58.6                         | 100.0                              | 25.2                   | 5.8                | 45.6                   | 6.6                | 41.4            | 2.0                |
| K2000     | OMA         |                      |                  |             |                     | 417.11             |                             |                                |                              |                  |                                |                             |                                |                              |                                    | 39.8                   | 4.8                | 35.1                   | 6.5                |                 |                    |
| K2151     | OMB         | Oude Maas            | 17-nov-94        | 25-jan-95   | 9422038x4           | 522.59             | 2.1                         | 1.7                            | 96.0                         | 0.5              | 4.2                            | 2.0                         | 1.6                            | 91.5                         | 99.8                               | 14.7                   | 4.0                | 14.7                   | 8.4                | 14.8            | 0.7                |
| K2152     | OMB         |                      |                  |             |                     | 544.89             |                             |                                |                              |                  |                                |                             |                                |                              |                                    | 14.0                   | 4.9                | 15.8                   | 6.2                |                 |                    |
| K1954     | W 1         | NWW km 1022-1032     | 29-sep-94        | 10-nov-94   | 9421423x1           | 483.29             | 7.5                         | 12.5                           | 80.0                         | 2.0              | 8.0                            | 6.8                         | 11.3                           | 72.0                         | 100.0                              | 23.8                   | 6.0                | 28.8                   | 8.1                | 28.9            | 1.4                |
| K1955     | W 1         |                      |                  |             |                     | 447.36             |                             |                                |                              |                  |                                |                             |                                |                              |                                    | 32.6                   | 3.9                | 30.5                   | 5.1                |                 |                    |
| K1956     | W 2         | NWW km 1022-1032     | 29-sep-94        | 9-nov-94    | 9421423x2           | 495.58             | 1.0                         | 1.0                            | 98.0                         | 0.5              | 6.9                            | 0.9                         | 0.9                            | 90.7                         | 100.0                              | 16.0                   | 5.8                | 14.6                   | 5.8                | 15.1            | 0.7                |
| K1957     | W 2         |                      |                  |             |                     | 516.90             |                             |                                |                              |                  |                                |                             |                                |                              |                                    | 15.8                   | 6.8                | 14.0                   | 6.6                |                 |                    |
| K1958     | W 2         | NWW km 1022-1032     | 29-sep-94        | 10-okt-94   | 9421226x3           | 527.28             | 2.7                         | 2.5                            | 95.0                         | 0.5              | 7.0                            | 2.5                         | 2.3                            | 87.9                         | 100.2                              | 13.6                   | 7.5                | 15.3                   | 8.8                | 14.0            | 0.8                |
| K1959     | W 3A        |                      |                  |             |                     | 549.34             |                             |                                |                              |                  |                                |                             |                                |                              |                                    | 12.4                   | 6.3                | 14.8                   | 8.4                |                 |                    |
| K1960     | W 3B        | NWW km 1022-1032     | 29-sep-94        | 2-feb-95    | 9421226x4           | 521.18             | 3.3                         | 6.5                            | 90.0                         | 0.5              | 6.6                            | 3.1                         | 6.0                            | 83.6                         | 99.8                               | 12.7                   | 3.7                | 13.8                   | 4.6                | 13.3            | 0.6                |
| K1961     | W 3B        |                      |                  |             |                     | 539.54             |                             |                                |                              |                  |                                |                             |                                |                              |                                    | 13.5                   | 4.6                | 13.2                   | 8.4                |                 |                    |
| K1962     | W 4         | NWW km 1020-1022     | 29-sep-94        | 28-okt-94   | 9421423x3           | 458.60             | 4.2                         | 4.4                            | 91.0                         | 1.6              | 11.8                           | 3.6                         | 3.8                            | 78.8                         | 99.6                               | 28.7                   | 7.8                | 27.2                   | 6.0                | 27.7            | 1.4                |
| K1963     | W 4         |                      |                  |             |                     | 440.41             |                             |                                |                              |                  |                                |                             |                                |                              |                                    | 26.2                   | 6.9                | 28.6                   | 5.9                |                 |                    |
| K1964     | W 6         | NWW km 1020-1022     | 29-sep-94        | 27-okt-94   | 9421423x5           | 414.98             | 5.4                         | 12.6                           | 82.0                         | 2.3              | 13.5                           | 4.5                         | 10.6                           | 69.0                         | 100.0                              | 36.1                   | 5.6                | 33.3                   | 5.1                | 34.2            | 1.6                |
| K1965     | W 6         |                      |                  |             |                     | 430.09             |                             |                                |                              |                  |                                |                             |                                |                              |                                    | 33.5                   | 5.8                | 34.0                   | 6.0                |                 |                    |
| K2153     | W 7         | NWW km 1020-1022     | 17-nov-94        | 10-feb-95   | 9421423x6           | 403.35             | 5.2                         | 4.8                            | 90.0                         | 3.0              | 12.1                           | 4.4                         | 4.1                            | 76.4                         | 100.0                              | 23.9                   | 5.2                | 26.2                   | 5.9                | 25.1            | 1.5                |
| K2154     | W 8         |                      |                  |             |                     | 447.54             |                             |                                |                              |                  |                                |                             |                                |                              |                                    | 33.2                   | 5.5                | 34.4                   | 5.1                | 33.8            | 1.9                |
| K1966     | W 9         | NWW km 1020-1022     | 17-nov-94        | 10-feb-95   | 9421423x7           | 429.66             | 9.5                         | 11.5                           | 79.0                         | 3.0              | 14.6                           | 7.8                         | 9.5                            | 65.1                         | 100.0                              | 30.0                   | 4.9                | 31.6                   | 5.5                | 31.4            | 1.5                |
| K1967     | W 9         |                      |                  |             |                     | 431.46             |                             |                                |                              |                  |                                |                             |                                |                              |                                    | 32.2                   | 5.9                | 31.8                   | 6.4                |                 |                    |
| K2155     | W10         | NWW km 1014.5-1020   | 17-nov-94        | 5-jan-95    | 9422038x8           | 419.64             | 10.0                        | 12.0                           | 78.0                         | 1.8              | 10.9                           | 8.7                         | 10.5                           | 68.1                         | 100.0                              | 50.9                   | 3.4                | 51.5                   | 4.9                | 48.7            | 2.1                |
| K2157     | W11         |                      |                  |             |                     | 462.65             |                             |                                |                              |                  |                                |                             |                                |                              |                                    | 46.7                   | 4.2                | 45.7                   | 4.4                |                 |                    |
| K2158     | W11         | NWW km 1014.5-1020   | 17-nov-94        | 12-dec-94   | 9422038x9           | 521.47             | 4.9                         | 2.5                            | 93.0                         | 3.0              | 6.3                            | 4.4                         | 2.3                            | 84.4                         | 100.4                              | 41.1                   | 4.4                | 41.8                   | 5.5                | 41.0            | 1.8                |
| K1968     | W12         |                      |                  |             |                     | 484.17             |                             |                                |                              |                  |                                |                             |                                |                              |                                    | 39.9                   | 4.1                | 41.3                   | 4.6                |                 |                    |
| K1969     | W12         | NWW km 1014.5-1020   | 29-sep-94        | 25-okt-94   | 9421423x9           | 488.11             | 4.8                         | 3.1                            | 92.0                         | 1.9              | 8.2                            | 4.3                         | 2.8                            | 82.7                         | 99.9                               | 29.5                   | 5.4                | 31.3                   | 5.1                | 30.4            | 1.4                |
|           |             |                      |                  |             |                     | 487.35             |                             |                                |                              |                  |                                |                             |                                |                              |                                    | 31.4                   | 5.0                | 29.3                   | 5.6                |                 |                    |

\* aangevuld met 53.82 g kwartsand (oorspronkelijk gewicht 306.18 g)

\*\* mengmonster

| Monster # | Vak (ruw) # | Ontvangst-datum | Meet-datum | Code Alcontrol | Vulmassa droog (g) | Org (% van tot.) | CaCO <sub>3</sub> (% van tot.) | F <sub>2</sub> (% van tot.) | F <sub>2-50</sub> (% van tot.) | F <sub>50-</sub> (% van tot.) | Controle fracties (%) | Telfout Gehalte Pb-214 (Bq/kg) | Telfout Gehalte Bi-214 (Bq/kg) | Telfout Ra (Bq/kg) | Geh. fout rel fout Ra (ruw) (%) |
|-----------|-------------|-----------------|------------|----------------|--------------------|------------------|--------------------------------|-----------------------------|--------------------------------|-------------------------------|-----------------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------|---------------------------------|
| K2620A    | 50          | 21-jul-95       | 12-sep-95  | 9521345x4      | 328                | 12.8             | 15                             | 15.9                        | 28.2                           | 28.2                          | 100.1                 | 151.14                         | 143.34                         | 150.4              | 3.9                             |
| K2620B    | 50          |                 |            |                | 311                |                  |                                |                             |                                |                               |                       | 162.08                         | 144.89                         |                    |                                 |
| K2621A    | 47          | 21-jul-95       | 12-sep-95  | 9521019x5      | 331                | 13.9             | 13                             | 17.5                        | 21.2                           | 34.4                          | 100.0                 | 73.50                          | 71.61                          | 83.3               | 4.1                             |
| K2621B    | 47          |                 |            |                | 346                |                  |                                |                             |                                |                               |                       | 97.55                          | 90.38                          |                    |                                 |
| K2622A    | 45          | 21-jul-95       | 13-sep-95  | 9521019x4      | 320                | 13.7             | 16                             | 21.1                        | 20.4                           | 28.8                          | 100.0                 | 151.31                         | 147.67                         | 151.4              | 3.9                             |
| K2622B    | 45          |                 |            |                | 317                |                  |                                |                             |                                |                               |                       | 157.99                         | 148.49                         |                    |                                 |
| K2623A    | 57          | 21-jul-95       | 14-sep-95  | 9521019x6      | 355                | 14.2             | 16                             | 20.9                        | 20.9                           | 27.9                          | 99.9                  | 189.94                         | 174.40                         | 183.1              | 3.8                             |
| K2623B    | 57          |                 |            |                | 361                |                  |                                |                             |                                |                               |                       | 187.68                         | 180.25                         |                    |                                 |
| K2624A    | 126         | 21-jul-95       | 15-sep-95  | 9521019x8      | 377                | 9.4              | 15                             | 18.9                        | 11.3                           | 45.4                          | 100.0                 | 62.20                          | 55.22                          | 59.1               | 4.2                             |
| K2624B    | 126         |                 |            |                | 379                |                  |                                |                             |                                |                               |                       | 59.02                          | 59.79                          |                    |                                 |
| K2625A    | 125         | 21-jul-95       | 18-sep-95  | 9521019x7      | 368                | 10.9             | 15                             | 23.0                        | 23.7                           | 27.4                          | 100.0                 | 73.55                          | 71.02                          | 71.5               | 4.1                             |
| K2625B    | 125         |                 |            |                | 359                |                  |                                |                             |                                |                               |                       | 71.49                          | 70.05                          |                    |                                 |
| K2626A    | 25A         | 21-jul-95       | 19-sep-95  | 9521345x2      | 343                | 9.7              | 9.6                            | 16.9                        | 23.4                           | 40.4                          | 100.0                 | 73.05                          | 69.84                          | 70.8               | 4.2                             |
| K2626B    | 25A         |                 |            |                | 353                |                  |                                |                             |                                |                               |                       | 71.65                          | 68.67                          |                    |                                 |
| K2627A    | 25          | 21-jul-95       | 19-sep-95  | 9521019x3      | 366                | 12.2             | 12                             | 19.0                        | 21.2                           | 35.6                          | 100.0                 | 106.67                         | 101.18                         | 99.4               | 4.0                             |
| K2627B    | 25          |                 |            |                | 376                |                  |                                |                             |                                |                               |                       | 96.79                          | 92.90                          |                    |                                 |
| K2628A    | 17          | 21-jul-95       | 19-sep-95  | 9521019x2      | 343                | 9.1              | 12                             | 17.4                        | 16.6                           | 45.0                          | 100.1                 | 68.11                          | 67.51                          | 68.4               | 4.2                             |
| K2628B    | 17          |                 |            |                | 353                |                  |                                |                             |                                |                               |                       | 70.67                          | 67.44                          |                    |                                 |
| K2629A    | 16          | 21-jul-95       | 20-sep-95  | 9521019x1      | 370                | 9.2              | 10                             | 12.1                        | 16.7                           | 45.7                          | 93.7                  | 55.13                          | 50.74                          | 52.1               | 4.3                             |
| K2629B    | 16          |                 |            |                | 384                |                  |                                |                             |                                |                               |                       | 53.38                          | 49.23                          |                    |                                 |
| K2630A    | 21A         | 21-jul-95       | 20-sep-95  | 9521345x3      | 333                | 14.3             | 14                             | 11.5                        | 33.7                           | 26.5                          | 100.0                 | 101.33                         | 95.93                          | 98.7               | 4.0                             |
| K2630B    | 21A         |                 |            |                | 345                |                  |                                |                             |                                |                               |                       | 99.76                          | 97.62                          |                    |                                 |
| K2631A    | 11B         | 21-jul-95       | 21-sep-95  | 9521345x1      | 341                | 15.9             | 15                             | 17.3                        | 18.7                           | 33.2                          | 100.1                 | 69.85                          | 76.95                          | 72.1               | 4.1                             |
| K2631B    | 11B         |                 |            |                | 361                |                  |                                |                             |                                |                               |                       | 68.22                          | 73.37                          |                    |                                 |
| K2632A    | 75A         | 21-jul-95       | 21-sep-95  | 9521345x7      | 406                | 17.8             | 17                             | 18.9                        | 28.7                           | 17.6                          | 100.0                 | 73.63                          | 70.96                          | 76.1               | 4.0                             |
| K2632B    | 75A         |                 |            |                | 400                |                  |                                |                             |                                |                               |                       | 82.77                          | 77.08                          |                    |                                 |
| K2633A    | 73          | 21-jul-95       | 22-sep-95  | 9521345x6      | 364                | 12.7             | 18                             | 19.4                        | 20.1                           | 29.8                          | 100.0                 | 67.55                          | 68.40                          | 66.6               | 4.2                             |
| K2633B    | 73          |                 |            |                | 381                |                  |                                |                             |                                |                               |                       | 67.66                          | 62.68                          |                    |                                 |
| K2634A    | 68          | 21-jul-95       | 23-sep-95  | 9522234x3      | 338                | 15.1             | 16                             | 24.1                        | 16.6                           | 28.2                          | 100.0                 | 76.95                          | 73.76                          | 75.2               | 4.2                             |
| K2634B    | 68          |                 |            |                | 352                |                  |                                |                             |                                |                               |                       | 77.92                          | 72.15                          |                    |                                 |
| K2635A    | 66          | 21-jul-95       | 23-sep-95  | 9522234x2      | 349                | 15.1             | 18                             | 21.4                        | 18.7                           | 26.8                          | 100.0                 | 77.24                          | 68.76                          | 73.8               | 4.1                             |
| K2635B    | 66          |                 |            |                | 334                |                  |                                |                             |                                |                               |                       | 77.19                          | 71.86                          |                    |                                 |
| K2636A    | 42          | 21-jul-95       | 23-sep-95  | 9522607x1      | 350                | 10               | 15                             | 20.3                        | 21.7                           | 33                            | 100.0                 | 121.08                         | 115.09                         | 120.2              | 3.9                             |
| K2636B    | 42          |                 |            |                | 364                |                  |                                |                             |                                |                               |                       | 123.25                         | 121.18                         |                    |                                 |
| K2637A    | 23          | 21-jul-95       | 24-sep-95  | 9522598x2      | 380                | 9.6              | 13                             | 18.6                        | 22.4                           | 36.4                          | 100.0                 | 76.07                          | 79.34                          | 76.8               | 4.0                             |
| K2637B    | 23          |                 |            |                | 373                |                  |                                |                             |                                |                               |                       | 77.53                          | 74.24                          |                    |                                 |
| K2638A    | 22          | 21-jul-95       | 24-sep-95  | 9522598x1      | 353                | 9.3              | 14                             | 18.4                        | 22.3                           | 36                            | 100.0                 | 70.47                          | 66.84                          | 72.2               | 4.1                             |
| K2638B    | 22          |                 |            |                | 347                |                  |                                |                             |                                |                               |                       | 77.36                          | 74.11                          |                    |                                 |
| K2639A    | NM-9        | 21-jul-95       | 25-sep-95  | 9523189x3      | 474                | 2.5              | 9.5                            | 4.3                         | 5.4                            | 78.3                          | 100.0                 | 42.30                          | 43.25                          | 43.3               | 4.3                             |
| K2639B    | NM-9        |                 |            |                | 467                |                  |                                |                             |                                |                               |                       | 44.31                          | 43.52                          |                    |                                 |
| K2640A    | NM-8        | 21-jul-95       | 25-sep-95  | 9522598x3      | 529                | 2.6              | 8.3                            | 4.8                         | 9.5                            | 77                            | 102.2                 | 30.31                          | 30.33                          | 30.6               | 4.6                             |
| K2640B    | NM-8        |                 |            |                | 520                |                  |                                |                             |                                |                               |                       | 30.36                          | 31.43                          |                    |                                 |

| Monster # | Vak (ruw) # | Ontvangst- datum | Meet- datum | Code Alcontrol | Vulmassa droog (g) | Org (% van tot.) | CaCO <sub>3</sub> (% van tot.) | F <sub>-2</sub> (% van tot.) | F <sub>2-50</sub> (% van tot.) | F <sub>50</sub> (% van tot.) | Controle fracties (%) | Gehalte Pb-214 (Bq/kg) | Telfout Pb-214 (%) | Gehalte Bi-214 (Bq/kg) | Telfout Bi-214 (%) | Geh. Ra (Bq/kg) | fout rel Ra (ruw) (%) |     |
|-----------|-------------|------------------|-------------|----------------|--------------------|------------------|--------------------------------|------------------------------|--------------------------------|------------------------------|-----------------------|------------------------|--------------------|------------------------|--------------------|-----------------|-----------------------|-----|
| K2641A    | NM-7        | 21-jul-95        | 26-sep-95   | 9524279x1      | 421                | 6.4              | 11                             | 7.7                          | 7.2                            | 67.7                         | 100.0                 | 78.91                  | 3.13               | 81.17                  | 3.03               | 83.2            | 3.3                   | 4.0 |
| K2641B    | NM-7        |                  |             |                | 426                |                  |                                |                              |                                |                              |                       | 86.55                  | 2.89               | 86.14                  | 3.00               |                 |                       |     |
| K2642A    | NM-4        | 21-jul-95        | 26-sep-95   | 9522335x2      | 362                | 9.4              | 15                             | 15.9                         | 15.1                           | 44.6                         | 100.0                 | 146.64                 | 2.61               | 144.97                 | 2.29               | 143.9           | 5.6                   | 3.9 |
| K2642B    | NM-4        |                  |             |                | 359                |                  |                                |                              |                                |                              |                       | 146.65                 | 2.20               | 137.45                 | 2.70               |                 |                       |     |
| K2643A    | NM-2        | 21-jul-95        | 29-sep-95   | 9523189x2      | 391                | 6.3              | 13                             | 11.3                         | 16.9                           | 52.5                         | 100.0                 | 186.85                 | 2.00               | 180.75                 | 2.19               | 191.3           | 7.3                   | 3.8 |
| K2643B    | NM-2        |                  |             |                | 393                |                  |                                |                              |                                |                              |                       | 201.47                 | 1.86               | 196.03                 | 1.89               |                 |                       |     |
| K2644A    | NM-1        | 21-jul-95        | 29-sep-95   | 9523189x1      | 399                | 7.2              | 15                             | 12.4                         | 14.8                           | 50.6                         | 100.0                 | 111.47                 | 2.73               | 100.51                 | 2.89               | 108.6           | 4.3                   | 3.9 |
| K2644B    | NM-1        |                  |             |                | 397                |                  |                                |                              |                                |                              |                       | 113.33                 | 2.52               | 109.17                 | 2.65               |                 |                       |     |
| K2645A    | 72          | 21-jul-95        | 30-sep-95   | 9522335x1      | 351                | 12               | 17                             | 9.9                          | 32                             | 29.1                         | 100.0                 | 90.02                  | 3.01               | 80.16                  | 3.46               | 84.0            | 3.4                   | 4.0 |
| K2645B    | 72          |                  |             |                | 355                |                  |                                |                              |                                |                              |                       | 84.25                  | 3.00               | 81.60                  | 3.33               |                 |                       |     |
| K2646A    | 64          | 21-jul-95        | 2-okt-95    | 9522234x1      | 359                | 9.3              | 18                             | 19.6                         | 31.1                           | 30.5                         | 108.5                 | 66.57                  | 3.72               | 66.32                  | 3.72               | 67.8            | 2.8                   | 4.1 |
| K2646B    | 64          |                  |             |                | 347                |                  |                                |                              |                                |                              |                       | 71.64                  | 3.77               | 66.84                  | 3.78               |                 |                       |     |
| K2647A    | 71          | 21-jul-95        | 3-okt-95    | 9521345x5      | 375                | 9.9              | 17                             | 15.4                         | 15.3                           | 42.4                         | 100.0                 | 54.29                  | 4.40               | 56.09                  | 4.73               | 54.9            | 2.3                   | 4.2 |
| K2647B    | 71          |                  |             |                | 357                |                  |                                |                              |                                |                              |                       | 55.69                  | 3.86               | 53.54                  | 4.00               |                 |                       |     |
| K2648A    | 51          | 21-jul-95        | 3-okt-95    | 9522607x2      | 362                | 10.6             | 15                             | 17.9                         | 21.5                           | 35                           | 100.0                 | 314.65                 | 1.44               | 295.79                 | 1.53               | 302.7           | 11.4                  | 3.8 |
| K2648B    | 51          |                  |             |                | 375                |                  |                                |                              |                                |                              |                       | 309.69                 | 1.46               | 290.60                 | 1.66               |                 |                       |     |
| K2649A    | 86          | 21-jul-95        | 3-okt-95    | 9520301x1      | 353                | 17.2             | 12                             | 17                           | 29                             | 24.8                         | 100.0                 | 28.90                  | 6.86               | 29.13                  | 6.50               | 29.7            | 1.5                   | 4.9 |
| K2649B    | 86          |                  |             |                | 362                |                  |                                |                              |                                |                              |                       | 32.85                  | 5.47               | 27.91                  | 7.53               |                 |                       |     |
| K2650A    | 513         | 21-jul-95        | 4-okt-95    | 9520301x3      | 370                | 17.3             | 22                             | 19.4                         | 16.4                           | 24.9                         | 100.0                 | 29.66                  | 7.05               | 33.09                  | 6.34               | 29.9            | 1.5                   | 4.9 |
| K2650B    | 513         |                  |             |                | 378                |                  |                                |                              |                                |                              |                       | 29.89                  | 6.02               | 26.92                  | 6.05               |                 |                       |     |
| K2651A    | 509         | 21-jul-95        | 4-okt-95    | 9520301x2      | 377                | 14.1             | 21                             | 6.4                          | 26.7                           | 31.8                         | 100.0                 | 29.15                  | 6.87               | 29.93                  | 6.59               | 29.3            | 1.4                   | 4.9 |
| K2651B    | 509         |                  |             |                | 392                |                  |                                |                              |                                |                              |                       | 30.48                  | 6.40               | 27.60                  | 6.63               |                 |                       |     |
| K2652A    | 519B        | 21-jul-95        | 5-okt-95    | 9522599x2      | 400                | 10               | 20                             | 12.6                         | 12.6                           | 44.8                         | 100.0                 | 26.75                  | 7.15               | 23.99                  | 6.60               | 24.3            | 1.2                   | 5.1 |
| K2652B    | 519B        |                  |             |                | 398                |                  |                                |                              |                                |                              |                       | 23.33                  | 6.65               | 22.95                  | 8.00               |                 |                       |     |
| K2653A    | 519A        | 21-jul-95        | 5-okt-95    | 9522599x1      | 406                | 9.6              | 20                             | 12.7                         | 15.5                           | 42.2                         | 100.0                 | 27.56                  | 6.82               | 25.88                  | 8.99               | 27.2            | 1.4                   | 5.1 |
| K2653B    | 519A        |                  |             |                | 409                |                  |                                |                              |                                |                              |                       | 28.30                  | 5.42               | 27.20                  | 7.37               |                 |                       |     |
| K2654A    | 521B        | 21-jul-95        | 6-okt-95    | 9522599x3      | 404                | 9.5              | 19                             | 10.7                         | 13.6                           | 47.2                         | 100.0                 | 28.36                  | 5.99               | 26.14                  | 6.81               | 27.7            | 1.3                   | 4.9 |
| K2654B    | 521B        |                  |             |                | 384                |                  |                                |                              |                                |                              |                       | 29.55                  | 6.02               | 26.71                  | 6.83               |                 |                       |     |