

RIVM - -

Rapport nr. 248701007

Onderzoek naar de radioactiviteit van  
oppervlaktewater. Resultaten over 1988.

F.C.M. Mattern, R.M.S. Drost, P. Glastra,  
A. Ockhuizen, A.C. Koolwijk

februari 1990

RIJKSINSTITUUT VOOR VOLKSGEZONDHEID EN MILIEUHYGIENE  
BILTHOVEN

Rapport nr. 248701007

Onderzoek naar de radioactiviteit van  
oppervlaktewater. Resultaten over 1988.

F.C.M. Mattern, R.M.S. Drost, P. Glastra,  
A. Ockhuizen, A.C. Koolwijk

februari 1990

Dit onderzoek werd uitgevoerd in opdracht en ten laste van de  
Hoofdinspectie van de Volksgezondheid voor de Milieuhygiëne, opdrachtbrief  
HMS nr. 736038, d.d. 10 maart 1986 en is beschreven in projectnummer  
248701.

VERZENDLIJST

- 1 - 15 Hoofdinspectie van de Volksgezondheid voor de Milieuhygiëne
- 16 Technische secretaris radioactieve stoffen CCRX
- 17 Directie RIVM
- 18 Dr. J.E.T. Moen
- 19 Laboratorium voor Stralingsonderzoek
- 20 Informatie- en Documentatie Centrum voor Kernongevallenbestrijding
- 21 - 25 Auteurs
- 26 Bureau Projecten- en Rapportenregistratie
- 27 - 30 Reserve

INHOUDSOPGAVE

blz.

VERZENDLIJST . . . . .	ii
INHOUDSOPGAVE . . . . .	iii
SUMMARY . . . . .	iv
SAMENVATTING . . . . .	v
1. INLEIDING . . . . .	1
2. MATERIALEN EN METHODEN . . . . .	3
2.1 Monsterfrequentie en monsterbehandeling . . . . .	3
2.2 Analysemethoden. . . . .	4
2.3 Berekeningen . . . . .	5
3. ONDERZOEKSRESULTATEN EN CONCLUSIES . . . . .	6
3.1 Rijn, Maas, Roer en Westerschelde(grens). . . . .	6
3.2 Westerschelde en Noordzee. . . . .	8
3.3 Additionele metingen. (Kanaal van Sas van Gent-Terneuzen)	9
4. REFERENTIES.. . . . .	9
Tabellen	10
Figuren	20

## SUMMARY

This report over 1988 summarizes the results of the determination of radioactivity in the rivers Meuse, Rhine, Roer and Scheldt at locations near the border, as well as the Westerscheldt at Hansweert and Vlissingen and the North Sea at some locations along the Dutch coast.

Concentrations of  $^{90}\text{Sr}$  in the Meuse, Rhine and Roer (about  $3.5 \text{ Bq/m}^3$ ) were equal to the levels during 1987. Concentrations of  $^{90}\text{Sr}$  in the Scheldt ( $9 \text{ Bq/m}^3$ ) and in the North Sea (5 upto  $11 \text{ Bq/m}^3$ ) were generally lower than 1987. The high concentrations of  $^{90}\text{Sr}$  in the Westerscheldt are explained by mixing with water from the North Sea and are caused by discharges of installations processing used nuclear fuel.

Just like in 1987, concentrations of  $^{90}\text{Sr}$  in the Meuse, Rhine and Roer were below the limit of detection.

In 1988 concentrations of  $^{226}\text{Ra}$  in the rivers Rhine ( $3.6 \text{ Bq/m}^3$ ), Meuse ( $3.3 \text{ Bq/m}^3$ ), Roer ( $9.4 \text{ Bq/m}^3$ ) and Scheldt ( $33 \text{ Bq/m}^3$ ) at locations near the border were a bit higher than in 1987. As usual the concentration in the Roer was higher than that in the Rhine or Meuse, which is explained by liquid discharges of coalmines in the Federal Republic of Germany. The relatively high levels in the Westerscheldt originate from discharges by plants processing phosphate rock. The amount of  $^{226}\text{Ra}$  transported in 1988 by the river Scheldt was approximately 220 GBq.

The concentration of  $^{210}\text{Pb}$  in the Scheldt near the border ( $18 \text{ Bq/m}^3$ ) clearly exceeds those in the rivers Meuse, Rhine and Roer (2 to  $4 \text{ Bq/m}^3$ ), due to discharges of phosphogypsum. Levels of  $^{210}\text{Po}$  were generally 10% till 20% lower than the levels of  $^{210}\text{Pb}$ . About one half of the  $^{210}\text{Pb}$  and  $^{210}\text{Po}$  was dissolved and the other half adsorbed on suspended matter.

Concentrations of H-3 in the North Sea varied between  $2200 \text{ Bq/m}^3$  for the location Noordwijk (10 kms out of the coast) down to  $1000 \text{ Bq/m}^3$  for the location Terschelling (100 kms out of the coast). These levels are similar to those in 1987.

Levels of  $^{137}\text{Cs}$  in the North Sea ranged from  $8 \text{ Bq/m}^3$  to  $26 \text{ Bq/m}^3$ .  $^{134}\text{Cs}$ -levels were below limit of detection ( $<2 \text{ Bq/m}^3$ ). Mean concentrations of  $^{134}\text{Cs}$  and  $^{137}\text{Cs}$  were lower than those in 1987.

## SAMENVATTING

Dit rapport geeft een samenvatting van de resultaten van het onderzoek naar de radioactiviteit van Maas, Rijn, Roer en Westerschelde bij de nederlandse grens, alsmede van de Westerschelde bij Hansweert en Vlissingen en van de Noordzee op enkele punten langs de nederlandse kust.

Het onderzoeksprogramma is vrijwel gelijk aan dat van 1987. Alleen is het onderzoek naar  $^{210}\text{Pb}$  en  $^{210}\text{Po}$  nu uitgevoerd aan steekmonsters gecentrifugeerd water en slib en de monsterpunten op de Noordzee zijn gewijzigd.

De  $^{90}\text{Sr}$ -concentraties in Maas, Rijn en Roer (circa  $3,5 \text{ Bq/m}^3$ ) waren vrijwel gelijk met die gedurende 1987. De concentraties in de Westerschelde bij de grens ( $9 \text{ Bq/m}^3$ ) en in het noordzeewater (5 tot  $11 \text{ Bq/m}^3$ ) lagen iets lager dan in 1987. De wat hogere concentraties in de Westerschelde zijn een gevolg van menging met noordzeewater en in hoofdzaak te wijten aan lozingen door splijtstofopwerkingsbedrijven.

Evenals in 1987 lagen de  $^{89}\text{Sr}$ -gehalten -alleen gemeten in Maas, Rijn en Roer- beneden de detectielimiet.

De concentraties van het  $^{226}\text{Ra}$  in de Rijn ( $3,6 \text{ Bq/m}^3$ ), de Maas ( $3,3 \text{ Bq/m}^3$ ), de Roer ( $9,4 \text{ Bq/m}^3$ ) en de Westerschelde (grens) ( $33 \text{ Bq/m}^3$ ) waren iets hoger dan in 1987. Evenals in voorgaande jaren waren de concentraties in de Roer wat hoger dan in de Rijn of Maas, hetgeen toegeschreven kan worden aan lozingen door kolenmijnen in de Bondsrepubliek Duitsland. De relatief hoge gehalten in de Westerschelde zijn een gevolg van lozingen van fosfaaterts verwerkende bedrijven. De door de Schelde afgevoerde hoeveelheid  $^{226}\text{Ra}$  werd voor 1988 berekend op circa 220 GBq.

Het  $^{210}\text{Pb}$ -gehalte in de Westerschelde(grens) ( $18 \text{ Bq/m}^3$ ) was als gevolg van lozingen van fosfaatgips duidelijk hoger dan de gehalten van Maas, Rijn en Roer (2 tot  $4 \text{ Bq/m}^3$ ). De  $^{210}\text{Po}$ -gehalten lagen in het algemeen 10% tot 20% lager dan de  $^{210}\text{Pb}$ -gehalten. Zowel voor  $^{210}\text{Pb}$  als voor  $^{210}\text{Po}$  is ongeveer de helft in opgeloste toestand aanwezig en de andere helft aan slib gebonden.

De tritiumconcentraties van de Noordzee variëerden van  $2200 \text{ Bq/m}^3$  voor het monsterpunt Noordwijk (10 km uit de kust) tot  $1000 \text{ Bq/m}^3$  voor het monsterpunt Terschelling (100 km uit de kust). De gehalten lagen op hetzelfde niveau als in 1987.

De  $^{137}\text{Cs}$ -concentraties in het noordzeewater variëerden van  $8 \text{ Bq/m}^3$  tot  $26 \text{ Bq/m}^3$ . De  $^{134}\text{Cs}$ -gehalten lagen beneden de detectielimiet ( $<2 \text{ Bq/m}^3$ ). Gemiddeld lagen zowel de  $^{134}\text{Cs}$ - als de  $^{137}\text{Cs}$ -gehalten in 1988 wat lager dan in 1987.

## 1. INLEIDING

Oppervlaktewater bevat van nature radioactieve nucliden als  $^{40}\text{K}$  en dochters uit de uranium- en thorium-reeksen. Deze zijn door uitloging uit de bodem in het water gekomen. Daarnaast kunnen nog op andere wijze radioactieve stoffen in het water terecht komen. Gedacht kan worden aan de fallout van kernwapenproeven in de atmosfeer, de gevolgen van nucleaire incidenten als Tsjernobyl, lozingen door nucleaire installaties en lozingen door ertsverwerkende bedrijven.

In opdracht van de Hoofdinspectie van de Volksgezondheid voor de Milieuhygiëne bepaalt het RIVM regelmatig de gemiddelde concentraties van een aantal radionucliden in het water van de belangrijkste grensoverschrijdende rivieren en van de Noordzee, om daarvan de niveaus vast te stellen en de trend te volgen.

Het meetprogramma loopt parallel met een onderzoek naar de totale  $\alpha$ - en  $\beta$ -activiteit en de tritium-concentraties, dat wordt uitgevoerd door de DBW/RIZA. Samen maken ze deel uit van het Nationaal Meetprogramma van de CCRX. De DBW/RIZA verzorgde de monsterneming voor het hier gerapporteerde onderzoek.

Conform afspraken tijdens het belgisch-nederlandse overleg in de gemengde werkgroepen kwaliteitsobjectieven van de "Technische Maascommissie" en de "Scheldewatercommissie", werd een onderzoek uitgevoerd naar de  $^{210}\text{Pb}$ - en  $^{210}\text{Po}$ -gehalten van het water van het kanaal van Sas van Gent naar Terneuzen, genomen bij de grens. De meetresultaten van dat onderzoek, samen met die van enkele oriënterende metingen uit 1987 zijn additioneel in dit rapport opgenomen.

Het plan voor het onderzoek voor 1988, waarvan de resultaten in dit rapport zijn gegeven omvatte:

---

Monsterpunt:	Analyses:
Maas (bij Eysden) Rijn (bij Lobith) Roer (bij Vlodrop) Westerschelde (Schaar van Ouden Doel)	Bepaling van de kwartaalgemiddelden van de   activiteits-conc. van $^{89}\text{Sr}$ , $^{90}\text{Sr}$ , $^{226}\text{Ra}$ en van   gamma-emitters. Eénmaal per kwartaal bepaling   van $^{210}\text{Pb}$ en $^{210}\text{Po}$ in centrifugeslib en in   gecentrifugeerd water van steekmonsters.
Westerschelde (Hansweert) Westerschelde (Vlissingen)	Bepaling van de kwartaalgemiddelden van de   activiteits-concentraties van $^{90}\text{Sr}$ en $^{226}\text{Ra}$ .
Noordzee, 4 punten langs de nederlandse kust	twee tot driemaal per jaar $^{134}\text{Cs}$ en $^{137}\text{Cs}$ en   jaargemiddelden van $^3\text{H}$ en $^{90}\text{Sr}$ .

Berekening van de jaargemiddelden voor de verschillende componenten, alsmede van de hoeveelheden  $^{226}\text{Ra}$  die door de Schelde werden afgevoerd.

Opmerking: In 1987 werden  $^{210}\text{Pb}$  en  $^{210}\text{Po}$  in kwartaalmengsels gemeten.

---

De Rijn en de Maas zijn belangrijk voor de drinkwatervoorziening in Nederland. Op beide rivieren vinden in het buitenland diverse lozingen plaats: op de Rijn door nucleaire installaties en kolennijnen en op de Maas door nucleaire installaties en kunstmestfabrieken.

De Roer wordt onderzocht, omdat daarop lozingen plaats vinden door het onderzoekscentrum te Jülich en kolenindustrie in Duitsland.

De Westerschelde wordt gecontroleerd in verband met lozingen door de centrales te Doel en van het onderzoekscentrum te Mol. Van meer belang zijn hier de fosfaaterts-verwerkende bedrijven, die met het afvalgips vrij grote hoeveelheden natuurlijke radionucliden lozen, in het bijzonder  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{210}\text{Pb}$  en  $^{210}\text{Po}$ .

Van de grensoverschrijdende rivieren worden de gehalten aan  $^{90}\text{Sr}$ ,  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{210}\text{Pb}$  en  $^{210}\text{Po}$  gemeten. Deze nucliden behoren tot de klasse met de hoogste radiotoxiciteit. De eerste twee worden al gedurende een lange reeks van jaren regelmatig gemeten. De belangstelling voor de laatste twee nucliden is van meer recente datum, nadat uit berekeningen naar de bijdrage van lozingen van afvalgips tot de stralingsbelasting van de mens was geconcludeerd dat  $^{210}\text{Po}$  de belangrijkste bijdrage levert<sup>3</sup>).

De bemonstering voor het  $^{210}\text{Pb}$ - en  $^{210}\text{Po}$ -onderzoek is ten opzichte van 1987 gewijzigd om meer inzicht te krijgen in de verdeling van deze nucliden tussen het water en het zwevend slib en hun onderlinge verhoudingen.

De radioactiviteit van de Noordzee wordt in belangrijke mate beïnvloed door lozingen van splijtstofopwerkingsbedrijven te Sellafield (UK) en Cap la Hague (Fr). Water uit Het Kanaal stroomt in hoofdzaak langs de franse, belgische en nederlandse kust in noordelijke richting. Water uit de Ierse Zee dringt voor een deel de Noordzee binnen, beweegt zich daar tegen de wijzers van de klok in en verlaat uiteindelijk eveneens in noordelijke richting de Noordzee. Tussen beide stromingen vindt gedeeltelijke menging plaats. Om die reden zijn meerdere (vier) monsterpunten gekozen, die op wisselende afstand uit de kust zijn gelegen.

De positie van de monsterpunten is in de loop van het eerste kwartaal 1988 herzien ten gevolge van wijziging van het meetnet van Rijkswaterstaat, dat voor de monsterneming zorg draagt.

Het onderzoek van het noordzeewater is gericht op de nucliden met lange halveringstijden als  $^3\text{H}$ ,  $^{90}\text{Sr}$ ,  $^{134}\text{Cs}$  en  $^{137}\text{Cs}$ . De kennis van de activiteitsniveaus in de Noordzee is mede belangrijk voor een goede interpretatie van de metingen op de Westerschelde.



## 2. MATERIALEN EN METHODEN

### 2.1 Monsterfrequentie en monsterbehandeling

#### Rijn, Maas, Roer en Westerschelde(grens).

Ten behoeve van het onderzoek naar gamma-emitters,  $^{90}\text{Sr}$ ,  $^{90}\text{Sr}$  en  $^{226}\text{Ra}$  werden steekmonsters genomen. De bemonsteringsfrequentie bedroeg in 1988 éénmaal in de twee weken voor de monsterpunten Lobith (Rijn), Eysden (Maas), Vlodrop (Roer), Schaar van den Ouden Doel (Westerschelde bij de grens). Een hogere frequentie van éénmaal per week kon voor Maas en Rijn gedurende een deel van het jaar worden gerealiseerd.

Voor elk monsterpunt werden elke maand de in die maand bij dat punt genomen monsters in gelijke volumedelen gemengd tot maandmengmonsters. Voor elk monsterpunt werden vervolgens drie opeenvolgende maandmengmonsters in gelijke volumedelen gemengd tot kwartaalmengmonsters.

Van de kwartaalmengmonsters zijn de gehalten aan gamma-emitters,  $^{90}\text{Sr}$ ,  $^{90}\text{Sr}$  en  $^{226}\text{Ra}$  bepaald. Van het water van de Westerschelde (grens) werd bovendien het  $^{40}\text{K}$ -gehalte gemeten. Het  $^{40}\text{K}$ -gehalte is een maat voor de verdunning van het scheldewater met zeewater en de bepalingen zijn uitgevoerd om een berekening te kunnen maken van de afvoer van  $^{226}\text{Ra}$  door de Schelde.

Ten behoeve van het onderzoek naar  $^{210}\text{Pb}$  en  $^{210}\text{Po}$  werden éénmaal per kwartaal steekmonsters genomen en ter plaatse gecentrifugeerd. Het gecentrifugeerde volume werd bepaald als product van debiet en tijd. Het afgecentrifugeerde slib werd ter plaatse of in het laboratorium gewogen, zodat het nat-slibgehalte kon worden vastgesteld.

Het slib werd bij ca 100 °C gedroogd en de droogrest bepaald. Met de zo verkregen gegevens werd uit het nat-slibgehalte het droog-slibgehalte berekend.

Zowel van het water als van het gedroogde slib werden de  $^{210}\text{Po}$ - en  $^{210}\text{Pb}$ -gehalten bepaald. Uit deze gehalten werden met behulp van de droog-slibgehalten de  $^{210}\text{Pb}$ - en  $^{210}\text{Po}$ -gehalten in de oorspronkelijke steekmonsters berekend.

De monsterneming met de centrifuge werd voor de Maas, de Rijn en de Roer pas in het tweede kwartaal gerealiseerd. Voorts hebben enkele monsters het laboratorium niet bereikt, waardoor enkele resultaten ontbreken.

Bij de bemonstering op 30 augustus 1988 van slib bij Lobith ontbraken de gegevens voor het vaststellen van het nat-slibgehalte. In plaats daarvan is voor de verdere berekeningen het daggemiddelde gebruikt, zoals het door DBW/RIZA wordt opgegeven.

### Westerschelde (Hansweert en Vlissingen).

De voor deze punten gewenste monsterfrequentie van éénmaal in de vier weken werd helaas niet gerealiseerd. In totaal werden 7 monsters ontvangen. Voor beide punten werden kwartaalmengmonsters gemaakt. De kwartaalmengsels werden onderzocht op  $^{40}\text{K}$ ,  $^{90}\text{Sr}$  en  $^{226}\text{Ra}$ .

### Noordzee

De monsterneming van noordzeewater wordt circa vier keer per jaar uitgevoerd op vier punten langs de nederlandse kust. In de afgelopen jaren waren dat, van noord naar zuid de punten Rottumeroog op 70 km uit de kust (code R70), Callantsoog op 20 km uit de kust (code C20), Ter Heijde op 70 km uit de kust (code T70) en Appelzak op 20 km uit de kust (code A20).

In de loop van het eerste kwartaal is het bemonsteringsplan van de dienst Noordzee van Rijkswaterstaat veranderd. De oude punten kwamen te vervallen en werden vervangen door van noord naar zuid de punten Terschelling op 100 km uit de kust (code Tsl100), Noordwijk op 10 km en op 70 km uit de kust (code N10 resp. N70) en Walcheren op 20 km uit de kust (code W20). De posities van de oude en nieuwe punten zijn aangegeven in figuur 1 en de coördinaten zijn opgenomen in tabel 6.

Alle monsters zijn onderzocht op  $^{134}\text{Cs}$  en  $^{137}\text{Cs}$ . Voorts zijn voor elk monsterpunt de monsters uit het tweede, derde en vierde kwartaal in gelijke hoeveelheden gemengd en zijn de mengsels onderzocht op tritium en  $^{90}\text{Sr}$ . De monsters uit het eerste kwartaal waren nog genomen op de oude punten C20, T70 en A20. Deze monsters zijn wel geanalyseerd op  $^{134}\text{Cs}$  en  $^{137}\text{Cs}$ , maar verder niet gebruikt voor het onderzoek op  $^3\text{H}$  en  $^{90}\text{Sr}$ .

## 2.2 Analysemethoden.

De analyses op de kwartaalmengsels worden uitgevoerd op ongefiltreerde watermonsters.

Voor de bepaling van gammastralers worden de watermonsters na toevoeging van zwavelzuur drooggedampt en een sulfaatresidu gemaakt. Van het sulfaatresidu wordt vervolgens met een Ge(Li)-halfgeleiderdetector een gammaspectrum opgenomen over een energiebereik van 80-2000 keV (meetijd 54000 sec). Als criterium voor de detectie van fotopieken in het spectrum geldt dat de inhoud van twee opeenvolgende kanalen de gemiddelde ondergrond met 2,5 maal de standaarddeviatie dient te overschrijden. De activiteiten van aangetoonde radionucliden worden voor radioactief verval gecorrigeerd tot het midden van de monsterperiode.

Voor de bepaling van  $^{89}\text{Sr}$  en  $^{90}\text{Sr}$  wordt de "salpeterzuur"-methode toegepast. Bij de zoutrijke monsters van de Westerschelde en de Noordzee wordt  $^{85}\text{Sr}$  toegepast als merker voor de bepaling van de chemische opbrengst. De bepaling van het  $^{90}\text{Sr}$ -gehalte wordt in die gevallen onbetrouwbaar en daarom achterwege gelaten.

De bepaling van  $^{226}\text{Ra}$  vindt plaats door meting van de activiteit van ingegroeid  $^{222}\text{Rn}$  met behulp van een 'Lewiscel'. Voor het bepalen van de chemische opbrengst van het  $^{226}\text{Ra}$  wordt  $^{133}\text{Ba}$  als merker toegepast.

De bepaling van  $^{210}\text{Po}$  vindt plaats door middel van alfaspectrometrie onder toepassing van  $^{208}\text{Po}$  als merker voor de bepaling van de chemische opbrengst. De  $^{210}\text{Po}$  concentraties worden voor ingroei uit aanwezig  $^{210}\text{Pb}$  en voor radioactief verval gecorrigeerd tot de monsterdatum.

De bepaling van  $^{210}\text{Pb}$  vindt plaats na afscheiding van het reeds aanwezige  $^{210}\text{Po}$ . Gedurende een wachtperiode laat men uit het aanwezige  $^{210}\text{Pb}$  nieuw  $^{210}\text{Po}$  ingroeien, waarvan vervolgens de activiteit bepaald wordt. Rekening houdend met de ingroeitijd kan dan het  $^{210}\text{Pb}$  gehalte worden berekend.

Tritium in zeewater wordt bepaald door middel van een vloeistof-scintillatietelling na destillatie en electrolytische verrijking.

Voor de bepaling van het  $^{134}\text{Cs}$ - en  $^{137}\text{Cs}$ -gehalte van zeewater wordt het caesium geadsorbeerd aan ammonium-molybdo-fosfaat, dat daarna gammaspectrometrisch wordt gemeten.

Het  $^{40}\text{K}$ -gehalte wordt berekend uit het gehalte aan natuurlijk kalium, dat bepaald wordt door middel van atomaire-absorbtie-spectrometrie.

### 2.3 Berekeningen

De jaargemiddelden van de concentraties van de diverse componenten zijn berekend uit de kwartaalgemiddelden. Concentraties beneden de detectielimiet zijn voor deze berekening gelijk gesteld aan die detectielimiet.

De gehalten aan  $^{210}\text{Pb}$  in de steekmonsters werden berekend met de formule  $^{210}\text{Pb}(\text{totaal}) = ^{210}\text{Pb}(\text{opgelost}) + \text{slibgehalte} * ^{210}\text{Pb}(\text{slib})$ . Op analoge wijze werden de  $^{210}\text{Po}$  gehalten berekend.

Voor de Schelde is een berekening gemaakt voor de afgevoerde hoeveelheden  $^{226}\text{Ra}$ . Daartoe werd eerst met behulp van een verdunningsmodel<sup>4)</sup> uit de gemiddelde  $^{40}\text{K}$ - en  $^{226}\text{Ra}$ -gehalten bij de grens en bij Vlissingen de concentratie berekend van  $^{226}\text{Ra}$  in het scheldewater, voor het geval dat geen vermenging met zeewater zou zijn opgetreden. Dit werd eveneens gedaan uit de gegevens van Hansweert en Vlissingen. Beide resultaten werden gemiddeld. Door vermenigvuldiging van dit gemiddelde met de jaarafvoer van scheldewater (= debiet \* tijd) werd de totale  $^{226}\text{Ra}$ -last berekend.

Voor de schatting van de bijdrage van het van nature aanwezige  $^{226}\text{Ra}$  werd aangenomen dat de concentratie van het  $^{226}\text{Ra}$  gelijk zou zijn aan het gemiddelde van die van Maas en Rijn. Door dat gemiddelde te vermenigvuldigen met de jaarafvoer van het scheldewater werd de nul-last berekend.

Het debiet van de Schelde in 1988 werd net als in voorgaande jaren verkregen door het bovendebiet van de Schelde te Schelle te vermenigvuldigen met een factor 1,12 in verband met lozingen van water uit polders en van Antwerpen, welke plaats vinden tussen Schelle en de grens. De berekeningen voor de afvoeren over de periode 1973 t/m 1988 zijn in tabel 10 samengevat.

### 3. ONDERZOEKSRESULTATEN EN CONCLUSIES

De meetresultaten van het onderzoek zijn gegeven in de tabellen 1 t/m 6 en 9. De opgegeven nauwkeurigheden zijn gebaseerd op de statistische meetfouten en bedragen voor alle genoemde radionucliden 10 à 30%. De onnauwkeurigheid in de  $^{40}\text{K}$ -gehalten is minder dan 5%.

#### 3.1 Rijn, Maas, Roer en Westerschelde(grens).

Tabel 7 geeft voor enkele parameters van Maas, Rijn, Roer en Westerschelde(grens) een overzicht van de jaargemiddelden met laagste en hoogste kwartaalgemiddelden, samen met de overeenkomstige waarden uit 1987.

De gemiddelde  $^{90}\text{Sr}$ -gehalten van de Rijn, de Maas en de Roer waren vrijwel aan elkaar gelijk (circa  $3,5 \text{ Bq/m}^3$ ). Dat van de Westerschelde(grens) lag duidelijk hoger ( $9 \text{ Bq/m}^3$ ), hetgeen veroorzaakt is door vermenging met zeewater. Vergeleken met 1987 zijn de gehalten in het water van Rijn, Roer en Maas vrijwel gelijk gebleven en dat van de Westerschelde iets gedaald. De  $^{90}\text{Sr}$ -gehalten sedert 1972 zijn grafisch weergegeven in figuren 2 en 3.

Het  $^{226}\text{Ra}$ -gehalte van de Roer ( $9,4 \text{ Bq/m}^3$ ) blijft duidelijk hoger dan dat van Maas ( $3,3 \text{ Bq/m}^3$ ) en Rijn ( $3,6 \text{ Bq/m}^3$ ). Dit kan worden toegeschreven aan lozingen door kolenmijnen in de Bondsrepubliek Duitsland<sup>1</sup>). De verhoogde gehalten in de Westerschelde ( $33 \text{ Bq/m}^3$ ) worden veroorzaakt door lozingen van fosfaatgips door kunstmestindustrieën<sup>3</sup>).

De  $^{226}\text{Ra}$ -gehalten zijn iets hoger dan die in 1987. De  $^{226}\text{Ra}$ -gehalten sedert 1972 zijn grafisch weergegeven in de figuren 4 en 5.

De  $^{210}\text{Pb}$ -gehalten van de Maas, de Rijn en de Roer zijn in 1988 vrijwel aan elkaar gelijk ( $2$  tot  $4 \text{ Bq/m}^3$ ). Daaruit zou kunnen worden afgeleid dat de lozingen van de duitse kolenmijnen geen belangrijke invloed hebben op de  $^{210}\text{Pb}$ -gehalten van de Roer. De  $^{210}\text{Pb}$ -gehalten van de Westerschelde zijn beduidend hoger ( $18 \text{ Bq/m}^3$ ), hetgeen toegeschreven kan worden aan de fosfaatgipslozingen.

In het algemeen blijken de bijdragen van opgelost en aan slib geadsorbeerd  $^{210}\text{Pb}$  ongeveer aan elkaar gelijk te zijn.

De  $^{210}\text{Po}$ -gehalten liggen over het algemeen lager dan de overeenkomstige  $^{210}\text{Pb}$ -gehalten. De verhouding  $^{210}\text{Po}/^{210}\text{Pb}$  bedraagt gemiddeld  $0,77 \pm 0,23$  voor het water en  $0,80 \pm 0,32$  voor het slib. Een lage verhouding ( $0,13$ ) werd gevonden voor het slib van de Rijn op 1 juni.

Het is niet mogelijk om vast te stellen of de verhoudingen voor de diverse monsterpunten van elkaar verschillen. Daarvoor is het aantal resultaten niet groot genoeg.

De bijdragen van opgelost en aan slib geadsorbeerd  $^{210}\text{Po}$  zijn ongeveer aan elkaar gelijk.

De  $^{89}\text{Sr}$ -gehalten lagen systematisch beneden de detectielimiet (circa  $12 \text{ Bq/m}^3$ ) en zijn daarom niet in de tabellen opgenomen.

Met het gammaspectrometrisch onderzoek konden geen meetbare concentraties aan gammastralers worden vastgesteld. De metingen zijn aan betrekkelijk kleine hoeveelheden monstermateriaal verricht. Hierdoor is de minimaal detecteerbare concentratie, uitgedrukt in  $\text{Bq/m}^3$ , relatief hoog. Bij deze metingen bedroeg ze voor  $^{134}\text{Cs}$  en  $^{137}\text{Cs}$  circa  $20 \text{ Bq/m}^3$  voor het water van de Westerschelde en circa  $10 \text{ Bq/m}^3$  voor het water van de Rijn, de Maas en de Roer. Hoewel ze beneden de detectiegrenzen lagen zijn de resultaten van  $^{134}\text{Cs}$  en  $^{137}\text{Cs}$  expliciet in de tabellen opgenomen, omdat het de belangrijkste langlevende radionucliden zijn, die o.a. als gevolg van Tsjernobyl in het milieu zijn gekomen.

### 3.2 Westerschelde en Noordzee.

Tabel 8 geeft van een aantal parameters de gemiddelden van de jaren 1987 en 1988. Voor de volledigheid zijn de resultaten van Westerschelde(grens) hier nogmaals opgenomen. Voor de Noordzee zijn de resultaten van de monsterpunten in 1987 gezet naast die van de vervangende punten in 1988.

De tritium-gehalten lagen op dezelfde niveaus als in 1987 (1000 tot 2200 Bq/m<sup>3</sup>). De hoogste waarde werd gevonden voor het punt Noordwijk 10 (N10). Voor de overige monsterpunten vertoonden de concentraties van zuid naar noord een afnemende tendens.

De <sup>137</sup>Cs-gehalten van het noordzeewater variëerden van 8 Bq/m<sup>3</sup> tot 26 Bq/m<sup>3</sup>. De <sup>134</sup>Cs-gehalten lagen beneden de detectielimiet (<2 Bq/m<sup>3</sup>). Gemiddeld lagen zowel de <sup>134</sup>Cs- als de <sup>137</sup>Cs-gehalten in 1988 wat lager dan in 1987.

De <sup>90</sup>Sr-gehalten van het noordzeewater lagen tussen 5 en 11 Bq/m<sup>3</sup> en waren lager dan in 1987. Dit geldt in het bijzonder voor het noordzeewater voor de zeeuwse kust, waar in 1987 een concentratie van 41 Bq/m<sup>3</sup> werd gemeten en in 1988 11 Bq/m<sup>3</sup>.

Deze verlaging resulteert ook in lagere <sup>90</sup>Sr-gehalten van het westerscheldewater. Het in de Westerschelde aangetroffen <sup>90</sup>Sr is in hoofdzaak afkomstig van het instromende noordzeewater. Dit kan worden geconcludeerd uit het feit dat in de Westerschelde van de grens naar de zee een toename in de concentratie waarneembaar is (van 8,6 tot 14 Bq/m<sup>3</sup>). Aangenomen moet worden dat het <sup>90</sup>Sr afkomstig is van lozingen door splijtstofopwerkingsbedrijven.

Zoals eerder werd vermeld zijn de concentraties van <sup>226</sup>Ra in de Westerschelde in vergelijking met de Maas en de Rijn verhoogd als gevolg van lozingen door kunstmestindustrieën<sup>3</sup>). De concentraties nemen in de richting van de zee af.

De hoeveelheid <sup>226</sup>Ra die in 1988 met het scheldewater is aangevoerd (tabel 10) wordt geschat op ca 220 Gbq en komt overeen met de hoeveelheden uit voorafgaande jaren. De onnauwkeurigheid van deze waarde wordt geschat op circa 10%. De bijdrage van natuurlijk aanwezig <sup>226</sup>Ra wordt geschat op ca 20 GBq.

De jaargemiddelden van de waterafvoer van de Schelde en de hoeveelheden <sup>226</sup>Ra die jaarlijks met het scheldewater zijn aangevoerd over de periode

1973 t/m 1988 zijn in figuur 6 weergegeven. Uit deze figuur blijkt de geringe variatie in de afvoer van  $^{226}\text{Ra}$ .

### 3.3 Additionele metingen. (Kanaal van Sas van Gent-Terneuzen)

De  $^{210}\text{Pb}$ -gehalten van het kanaalwater bij Sas van Gent (tabel 9a) bedroegen gemiddeld  $7 \text{ Bq/m}^3$  en liggen tussen die van de Rijn, de Maas en de Roer enerzijds en die van de Westerschelde anderzijds. Het gemiddelde van de  $^{210}\text{Po}/^{210}\text{Pb}$  verhoudingen bedroeg  $0,51 \pm 0,06$  voor het water en  $0,55 \pm 0,11$  voor het slib en deze waarden liggen binnen de range van de overige monsterpunten.

De resultaten van de in 1987 genomen steekmonsters van de Westerschelde en de Maas (tabel 9b) liggen hoger dan de meetresultaten van de overeenkomstige mengmonsters. Dit kan toeval zijn, maar het mag niet uitgesloten worden, dat bij de mengmonsters toch adsorptie verliezen zijn opgetreden door de wachttijd tot alle monsters aanwezig zijn.

## 4. REFERENTIES.

- 1) I Gans e.a.  
Technologically Enhanced Radiation Exposure of Population due to Radium-226 in Waste Water. 6 th I.R.P.A Congress, Berlin 1984
- 2) R.M.S.Drost en F.C.M.Mattern,  
Enkele metingen naar het voorkomen van tritium,  $^{90}\text{Sr}$  en  $^{226}\text{Ra}$  in de Noordzee, memo Fl/1980/24a/6, RIV Bilthoven.
- 3) H.W.Köster en A.W. van Weers,  
Radiologie van en stralingsbelasting door Nederlands afvalgips in het buitenmilieu. RIVM-Rapport 248305001, 22 juni 1985.
- 4) F.C.M. Mattern, R.M.S. Drost, P.Glastra, A. Ockhuizen, A.C. Koolwijk.  
Onderzoek naar de radioactiviteit van oppervlaktewater. Resultaten over 1987. RIVM-Rapport nr. 248701004, juni 1989

Tabel 1a.  
Maas bij Eysden  
Radioactiviteitsconcentraties in mengmonsters, samengesteld uit over perioden van drie maanden genomen steekmonsters.

Periode 1988	monsterdata	<sup>90</sup> Sr Bq/m <sup>3</sup>	<sup>134</sup> Cs Bq/m <sup>3</sup>	<sup>137</sup> Cs Bq/m <sup>3</sup>	<sup>226</sup> Ra Bq/m <sup>3</sup>
januari	12,26	4,9 ± 0,4	<10	<10	4,2 ± 0,4
februari	09,17,23				
maart	08,15,23				
april	05,13,19,26	2,1 ± 0,3	<10	<10	2,0 ± 0,2
mei	03,10,17,24				
juni	07,14,21,28				
juli	05,12,20,26	3,2 ± 0,2	<10	<10	3,4 ± 0,3
augustus	02,09,17,23				
september	06,13,20,27				
oktober	04,11,18,25	3,5 ± 0,3	<10	<10	3,7 ± 0,4
november	01,08,15,22,29				
december	06,13				
gemiddelde		3,4 ± 0,2	<10	<10	3,3 ± 0,2

Tabel 1b. <sup>210</sup>Pb en <sup>210</sup>Po concentraties in steekmonsters.

Datum 1988	opgelost		slib gedroogd		slib gehalte ge-droogd kg/m <sup>3</sup>	totaal	
	<sup>210</sup> Pb	<sup>210</sup> Po	<sup>210</sup> Pb	<sup>210</sup> Po		<sup>210</sup> Pb	<sup>210</sup> Po
	Bq/m <sup>3</sup>	Bq/m <sup>3</sup>	Bq/kg	Bq/kg		Bq/m <sup>3</sup>	Bq/m <sup>3</sup>
le kwartaal	*	*	*	*	*	*	*
mei 28/29	1,6±0,2	1,0±0,1	530±40	210±20	0,0061	4,8±0,3	2,3±0,2
augustus 23	1,4±0,2	0,8±0,2	280±30	200±20	0,0055	2,9±0,4	1,9±0,2
november 15	3,5±0,5	1,0±0,2	*	*	*	*	*
gemiddelde	2,2±0,2	0,9±0,1	410±30	210±20	0,0058	3,9±0,3	2,1±0,2

\*geen monster ontvangen.



Tabel 2a.  
Rijn bij Lobith  
Radioactiviteitsconcentraties in mengmonsters, samengesteld uit over perioden van drie maanden genomen steekmonsters.

Periode 1988	monsterdata	<sup>90</sup> Sr Bq/m <sup>3</sup>	<sup>134</sup> Cs Bq/m <sup>3</sup>	<sup>137</sup> Cs Bq/m <sup>3</sup>	<sup>226</sup> Ra Bq/m <sup>3</sup>
januari	13,27	4,4 ± 0,4	<10	<10	2,1 ± 0,2
februari	10,17,24				
maart	02,09,16,23,30				
april	13,20,29	4,1 ± 0,3	<10	<10	3,5 ± 0,4
mei	03,11,16,25				
juni	07,14,21,28				
juli	13,20,27	2,6 ± 0,3	<10	<10	4,1 ± 0,4
augustus	02,10,17,24,31				
september	07,14,21,28				
oktober	05,12,19,24	3,2 ± 0,1	<10	<10	4,5 ± 0,5
november	02,16,23,30				
december	07,14				
gemiddelde		3,6 ± 0,2	<10	<10	3,6 ± 0,2

Tabel 2b. <sup>210</sup>Pb en <sup>210</sup>Po concentraties in steekmonsters.

Datum 1988	opgelost		slib gedroogd		slib gehalte	totaal	
	<sup>210</sup> Pb	<sup>210</sup> Po	<sup>210</sup> Pb	<sup>210</sup> Po	ge- droogd	<sup>210</sup> Pb	<sup>210</sup> Po
	Bq/m <sup>3</sup>	Bq/m <sup>3</sup>	Bq/kg	Bq/kg	kg/m <sup>3</sup>	Bq/m <sup>3</sup>	Bq/m <sup>3</sup>
le kwartaal	*	*	*	*	*	*	*
juni 1	0,9±0,1	0,5±0,1	310±30	40±5	0,0113	4,5±0,4	0,9±0,1
augustus 30	0,9±0,1	0,9±0,2	70±10	70±10	0,0115#	1,7±0,3	1,7±0,2
november	*	*	*	*	*	*	*
gemiddelde	0,9±0,1	0,7±0,1	190±20	55±5	0,0114	3,1±0,3	1,3±0,1

\* geen monster ontvangen

# gebaseerd op 24-uursgemiddelde.

Tabel 3a.  
Roer bij Vlodrop  
Radioactiviteitsconcentraties in mengmonsters, samengesteld uit over perioden van drie maanden genomen steekmonsters.

Periode 1988	monsterdata	<sup>90</sup> Sr Bq/m <sup>3</sup>	<sup>134</sup> Cs Bq/m <sup>3</sup>	<sup>137</sup> Cs Bq/m <sup>3</sup>	<sup>226</sup> Ra Bq/m <sup>3</sup>
januari	12,26	5,0 ± 0,4	<10	<10	4,7 ± 0,5
februari	09				
maart	08,22				
april	13,19,26	3,1 ± 0,3	<10	<10	6,7 ± 0,7
mei	03,17,31				
juni	07,14,28				
juli	05,12,26	3,3 ± 0,4	<10	<10	14 ± 1
augustus	02,09,23				
september	06				
oktober	11,18	2,2 ± 0,3	<10	<10	12 ± 1
november	15				
december	13,27				
gemiddelde		3,4 ± 0,2	<10	<10	9,4 ± 0,4

Tabel 3b. <sup>210</sup>Pb en <sup>210</sup>Po concentraties in steekmonsters.

Datum 1988	opgelost		slib gedroogd		slib gehalte	totaal		
	<sup>210</sup> Pb	<sup>210</sup> Po	<sup>210</sup> Pb	<sup>210</sup> Po	ge- droogd	<sup>210</sup> Pb	<sup>210</sup> Po	
	Bq/m <sup>3</sup>	Bq/m <sup>3</sup>	Bq/kg	Bq/kg	kg/m <sup>3</sup>	Bq/m <sup>3</sup>	Bq/m <sup>3</sup>	
1e kwartaal	*	*	*	*	*	*	*	
juni	27	1,3±0,1	1,0±0,1	150±20	90±10	0,0103	2,8±0,3	1,9±0,2
augustus	1	0,7±0,2	0,6±0,2	70±10	60±10	0,0172	1,9±0,3	1,6±0,2
november	15	2,0±0,3	1,5±0,2	80±10	80±10	0,0143	3,1±0,3	2,6±0,3
gemiddelde		1,3±0,1	1,0±0,1	100±10	80±10	0,0139	2,6±0,2	2,0±0,2

\*geen monster ontvangen

Tabel 4a.

Westerschelde, Schaar van den Ouden Doel

Radioactiviteitsconcentraties in mengmonsters, samengesteld uit over perioden van drie maanden genomen steekmonsters.

Periode 1988	monster-data	<sup>40</sup> K Bq/m <sup>3</sup>	<sup>90</sup> Sr Bq/m <sup>3</sup>	<sup>134</sup> Cs Bq/m <sup>3</sup>	<sup>137</sup> Cs Bq/m <sup>3</sup>	<sup>226</sup> Ra Bq/m <sup>3</sup>
januari	11,25	700	9 ± 1	<20	<20	32 ± 3
februari	08,22					
maart	07					
april	05,18	1600	8 ± 1	<20	<20	29 ± 3
mei	02,16					
juni	06,21					
juli	04,18	2600	9 ± 1	<20	<20	34 ± 3
augustus	01,16,23,30					
september	19					
oktober	03,11,17	2400	9 ± 1	<20	<20	35 ± 4
november	14,28					
december	12,19					
gemiddelde		1800	9 ± 1	<20	<20	33 ± 2

Tabel 4b. <sup>210</sup>Pb en <sup>210</sup>Po concentraties in steekmonsters.

Datum 1988	opgelost		slib gedroogd		slib gehalte	totaal		
	<sup>210</sup> Pb	<sup>210</sup> Po	<sup>210</sup> Pb	<sup>210</sup> Po	ge-droogd	<sup>210</sup> Pb	<sup>210</sup> Po	
	Bq/m <sup>3</sup>	Bq/m <sup>3</sup>	Bq/kg	Bq/kg	kg/m <sup>3</sup>	Bq/m <sup>3</sup>	Bq/m <sup>3</sup>	
febr. 23	13 ± 2	10 ± 1	150±20	170±10	0,0390	19 ± 3	17 ± 1	
mei 16	4,9±0,5	4,3±0,3	180±20	220±20	0,0283	10 ± 1	11 ± 1	
augustus 30	11 ± 2	12 ± 1	190±20	200±20	0,0649	23 ± 3	25 ± 2	
november 15	7 ± 1	8 ± 1	350±40	250±30	0,0320	18 ± 2	16 ± 2	
gemiddelde		9 ± 1	8,6±0,4	220±20	210±10	0,0411	18 ± 1	17 ± 1

Tabel 5.  
Westerschelde bij Hansweert en Vlissingen  
Radioactiviteitsconcentraties in mengmonsters, samengesteld uit over perioden van drie maanden genomen steekmonsters.

Periode monster- 1988 data	Hansweert			Vlissingen		
	<sup>40</sup> K Bq/m <sup>3</sup>	<sup>90</sup> Sr Bq/m <sup>3</sup>	<sup>226</sup> Ra Bq/m <sup>3</sup>	<sup>40</sup> K Bq/m <sup>3</sup>	<sup>90</sup> Sr Bq/m <sup>3</sup>	<sup>226</sup> Ra Bq/m <sup>3</sup>
januari 11	2700	9 ± 1	23 ± 2	8500	18 ± 3	6,1±0,6
februari 08						
maart *						
april 05	3900	10 ± 1	20 ± 2	8400	12 ± 2	7,3±0,7
mei *						
juni 06						
juli 04	5600	11 ± 1	24 ± 2	9300	11 ± 1	4,3±0,4
augustus 01						
september 19						
oktober *	*	*	*	*	*	*
november *						
december *						
gemiddelde	4100	10 ± 1	22 ± 1	8700	14 ± 1	5,9±0,3

\* geen monster ontvangen

Tabel 6.

Noordzeewater

Kwartaalbemonstering van Noordzeewater op vier punten.

Meting van Cs-134 en Cs-137 in steekmonsters.

Meting van H-3 en Sr-90 in mengmonsters.

Herkomst:	Monsterdatum 1988	H-3 Bq/m <sup>3</sup>	Sr-90 Bq/m <sup>3</sup>	Cs-134 Bq/m <sup>3</sup>	Cs-137 Bq/m <sup>3</sup>
Terschelling Tsl00 100 km uit de kust.	88-05-18			<2	19±1
	88-06-22			<2	14±1
	88-08-24			<2	36±1
	88-11-08			4±1	36±1
Coördinaten: NB 54 08'58'' OL 04 20'34''	Gemiddeld	1000±60	5±3	<2	26±1
Callantsoog C20 NB 52 54'46'' OL 04 24'52''	88-02-16	-	-	<2	13±1
Noordwijk N10 10 km uit de kust.	*				
	88-06-21			<2	7±1
	88-08-23			<2	8±1
	88-11-09			<2	9±1
	Gemiddeld	2200±70	10±2	<2	8±1
Ter Heijde T70 NB 52 26'08'' OL 03 23'20''	88-02-17	-	-	<2	8±1
Noordwijk N70 70 km uit de kust.	88-05-17			<2	12±1
	88-06-21			<2	9±1
	88-08-23			3±1	9±1
	88-11-09			<2	12±1
	Gemiddeld	1100±50	6±2	<2	11±1
Appelzak A20 NB 51 29'42'' OL 03 09'33''	88-02-15	-	-	<2	19±1
Walcheren W20 20 km uit de kust.	*				
	88-06-20			<2	9±1
	88-08-23			<2	10±1
	88-11-10			<2	11±1
	Gemiddeld	1900±60	11±3	<2	10±1

\* geen monster ontvangen.

- geen analyse.

Tabel 7.

Gemiddelde waarden voor de jaren 1987 en 1988 van enkele parameters van Maas, Rijn, Roer en Westerschelde(grens) en hun minimale en maximale kwartaalgemiddelden.

	1987			1988		
	min	max	gem	min	max	gem
<b><sup>90</sup>Sr (Bq/m<sup>3</sup>)</b>						
Rijn	3	6	5	2,6	4,4	3,6
Maas	2	6	4	2,1	4,9	3,4
Roer	3	5	4	2,2	5,0	3,4
Ws(grens)	10	21	13	8,0	9,0	9
<b><sup>226</sup>Ra (Bq/m<sup>3</sup>)</b>						
Rijn	1,3	4,0	2,8	2,1	4,5	3,6
Maas	0,8	3,9	2,0	2,0	4,2	3,2
Roer	3,4	9,3	7,2	4,7	14	9,4
Ws(grens)	11	50	32	29	35	33
<b><sup>210</sup>Pb (Bq/m<sup>3</sup>)</b>						
Rijn	1,7	4,1	2,5	1,7	4,5	3,1
Maas	1,3	3,8	2,6	2,9	4,8	3,9
Roer	2,5	3	2,7	1,9	3,1	2,6
Ws(grens)	12	17	13	10	23	18
<b><sup>210</sup>Po (Bq/m<sup>3</sup>)</b>						
Rijn	1,4	2,6	1,9	0,9	1,7	1,3
Maas	1,1	3,3	2,1	1,9	2,3	2,1
Roer	2,1	2,6	2,4	1,6	2,6	2,0
Ws(grens)	9	15	12	11	25	17

Tabel 8.

Gemiddelde waarden voor de jaren 1988 en 1987 van enkele parameters van Westerschelde en de Noordzee.

nuclide	monsterpunt	1988 Bq/m <sup>3</sup>	1987 Bq/m <sup>3</sup>	monsterpunt
<sup>3</sup> H	Walcheren 20	1900	2200	Appelzak 20
	Noordwijk 70	1100	1700	Ter Heijde 70
	Noordwijk 10	2200	1500	Callantsoog 20
	Terschelling 100	1000	1100	Rottumeroog 70
<sup>134</sup> Cs/ <sup>137</sup> Cs	Ws grens	<20/<20	<20/<20	
	Walcheren 20	< 2/10	3/15	Appelzak 20
	Noordwijk 70	< 2/11	2/13	Ter Heijde 70
	Noordwijk 10	< 2/ 8	8/36	Callantsoog 20
	Terschelling 100	< 2/26	< 2/24	Rottumeroog 70
<sup>90</sup> Sr	Ws grens	8,6	13	
	Ws Hansweert	10	16	
	Ws Vlissingen	14	27	
	Walcheren 20	11	41	Appelzak 20
	Noordwijk 70	6	12	Ter Heijde 70
	Noordwijk 10	10	13	Callantsoog 20
	Terschelling 100	5	14	Rottumeroog 70
<sup>226</sup> Ra	Ws grens	33	32	
	Ws Hansweert	22	25	
	Ws Vlissingen	5,9	9,6	
	Noordzee	*	*	

\* In 1979 werd een waarde van 0,15 Bq/m<sup>3</sup> gevonden. 2)

Additionele resultaten.

Tabel 9a.

Kanaal van Sas van Gent naar Terneuzen bij Sas van Gent.

$^{210}\text{Pb}$  en  $^{210}\text{Po}$  concentraties in steekmonsters.

Datum 1988	opgelost		slib gedroogd		slib gehalte ge- droogd kg/m <sup>3</sup>	totaal	
	$^{210}\text{Pb}$	$^{210}\text{Po}$	$^{210}\text{Pb}$	$^{210}\text{Po}$		$^{210}\text{Pb}$	$^{210}\text{Po}$
	Bq/m <sup>3</sup>	Bq/m <sup>3</sup>	Bq/kg	Bq/kg		Bq/m <sup>3</sup>	Bq/m <sup>3</sup>
febr. 29	4,7±0,5	2,8±0,3	450±40	300±30	0,0120	10±1	6,4±0,7
mei 24	5,3±0,5	2,2±0,2	1250±150	480±40	0,0030	9,0±0,9	3,6±0,4
augustus 15	2,6±0,3	1,3±0,2	410±30	260±20	0,0023	3,5±0,4	1,9±0,2
november 8	3,1±0,4	1,6±0,2	590±60	300±30	0,0040	5,5±0,6	2,8±0,3
gemiddelde	3,9±0,2	2,0±0,1	600±40	340±20	0,0053	7,0±0,4	3,7±0,2

Tabel 9b.

Oriënterende metingen in 1987 van Westerschelde(grens), Kanaal van Sas van Gent-Terneuzen(Sas van Gent) en Maas(Eysden).

$^{210}\text{Pb}$  en  $^{210}\text{Po}$  concentraties in steekmonsters.

Datum 1987	opgelost		slib gedroogd		slib gehalte ge- droogd kg/m <sup>3</sup>	totaal	
	$^{210}\text{Pb}$	$^{210}\text{Po}$	$^{210}\text{Pb}$	$^{210}\text{Po}$		$^{210}\text{Pb}$	$^{210}\text{Po}$
	Bq/m <sup>3</sup>	Bq/m <sup>3</sup>	Bq/kg	Bq/kg		Bq/m <sup>3</sup>	Bq/m <sup>3</sup>
W.S grens mrt. 23	7,8±0,8	8,2±0,6	490±40	360±30	0,0949	54±4	42±3
Maas bij Eysden april 28	3,6±0,4	3,4±0,3	280±30	240±20	0,0082	5,9±0,6	5,4±0,5
Kanaal van SvG. augustus 20	4,2±0,4	2,1±0,2	510±40	330±30	0,0075	8,0±0,7	4,6±0,4
W.S grens augustus 27	8,2±0,8	8,2±0,6	180±20	140±10	0,0659	20±2	17±1



Tabel 10.

Berekende  $^{226}\text{Ra}$ -concentraties in scheldewater en de daarmee afgevoerde hoeveelheden  $^{226}\text{Ra}$ .

	GEGEVEN CONCENTRATIES (Bq/m <sup>3</sup> )								DEBIET SCHELDE m <sup>3</sup> /s	BEREKENDE RESULTATEN SCHELDE				
	KALIUM			RADIUM						RA-CONC (Bq/m <sup>3</sup> )			TOTAAL-	MUL-
	WESTERSCHELDE			RIJN- MAAS	WESTERSCHELDE					GV**	HV**	GEM.	LAST GBq	LAST GBq
1973	3570	6742	11168	3,6	45,3	27,5	2,5	67,8	64,5	64,7	64,6	138	8	
1974	3343	6067	9314	5,2	58,5	29,5	9,1	139,3	84,9	66,8	75,9	332	23	
1975	2266	4800	9073	3,8	52,3	35,0	9,4	102,3	65,6	62,9	64,2	206	12	
1976	4264	6761	9517	3,4	54,8	38,0	18,7	60,3	83,0	84,4	83,7	159	6	
1977	3719	6955	10023	3,5	47,5	34,0	10,2	98,3	68,6	86,8	77,7	240	11	
1978	3090	6187	9554	3,3	49,5	36,0	8,4	86,0	68,2	85,5	76,8	208	9	
1979	3658	6113	11800*	3,5	41,5	31,3	1,5*	106,3	58,7	62,4	60,6	202	12	
1980	2195	5327	11800*	3,3	35,3	27,3	1,5*	122,5	42,4	47,8	45,1	174	13	
1981	1998	4920	11800*	3,3	32,0	28,3	1,5*	157,5	37,8	46,8	42,3	209	16	
1982	2652	5531	9501	3,4	37,8	25,8	9,1	125,8	48,2	48,3	48,2	191	14	
1983	2727	5704	9341	3,2	43,0	26,0	7,9	119,5	56,7	53,6	55,1	207	12	
1984	2498	5338	9223	2,9	31,8	23,5	6,5	147,4	40,6	46,2	43,4	201	14	
1985	2498	5338	9223	3,4	42,5	24,5	6,6	120,0	55,0	48,5	51,8	195	13	
1986	3248	5829	9237	3,3	38,9	22,3	8,8	127,3	54,5	44,7	49,6	199	13	
1987	2050	4525	9100	2,4	31,8	25,0	9,4	164,4	37,8	39,9	38,8	201	12	
1988	1630	4100	8700	3,4	33,0	22,0	5,9	188,0	38,7	35,8	37,2	220	20	

\* aangenomen gehalten voor noordzeewater

\*\* Theoretische concentratie in scheldewater, zonder bijmenging van zeewater.

GV berekend door combinatie van de meetresultaten van de grens en van Vlissingen met de formule:  $Ra = [Rag \cdot (150 - Kv) - Rav \cdot (150 - Kg)] / (Kg - Kv)$ ;

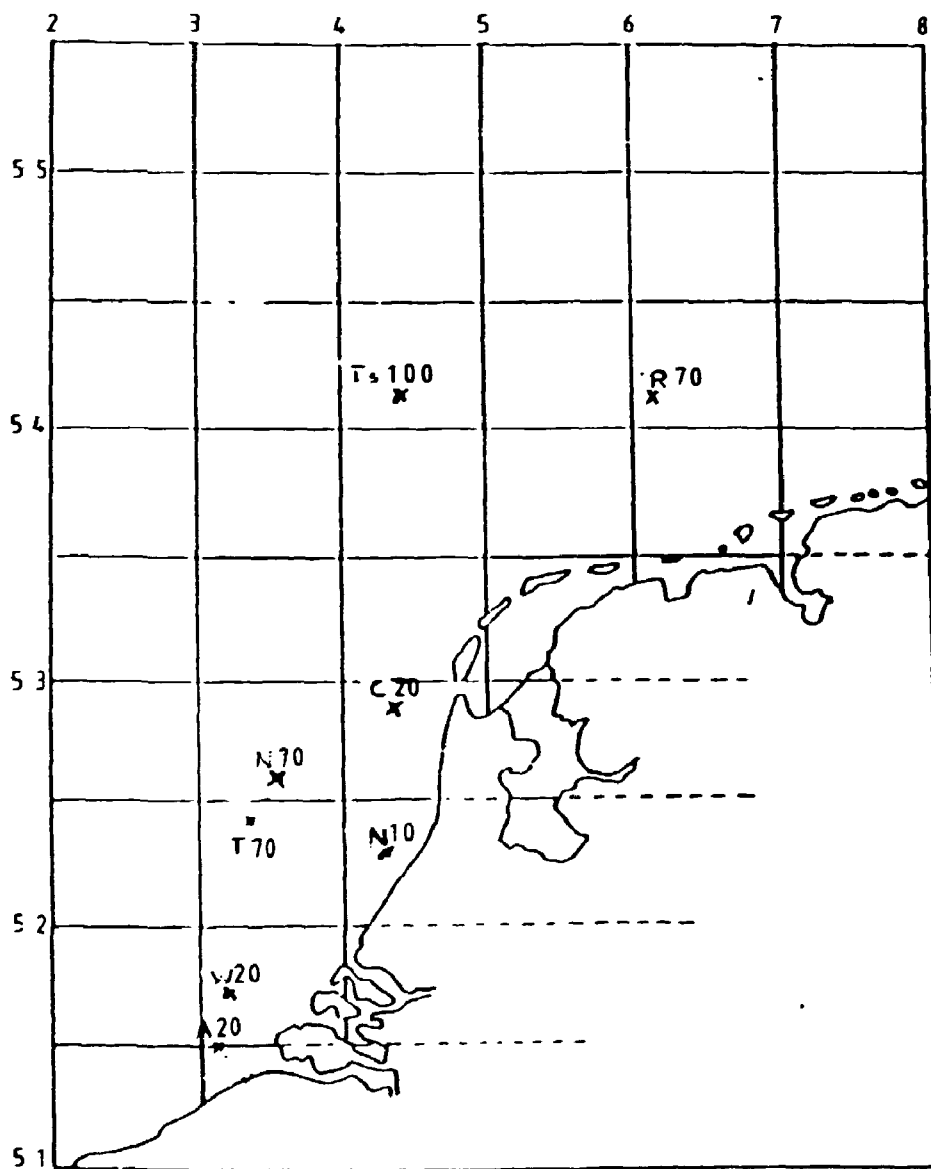
HV berekend door combinatie van de meetresultaten van Hansweert en van Vlissingen met de formule:  $Ra = [Rah \cdot (150 - Kv) - Rav \cdot (150 - Kh)] / (Kh - Kv)$ ;

waarin Kg, Kh en Kv de  $^{40}\text{K}$ -gehalten zijn bij resp. grens, Hansweert en Vlissingen en Rag, Rah en Rav de  $^{226}\text{Ra}$ -gehalten zijn bij resp. grens, Hansweert en Vlissingen.

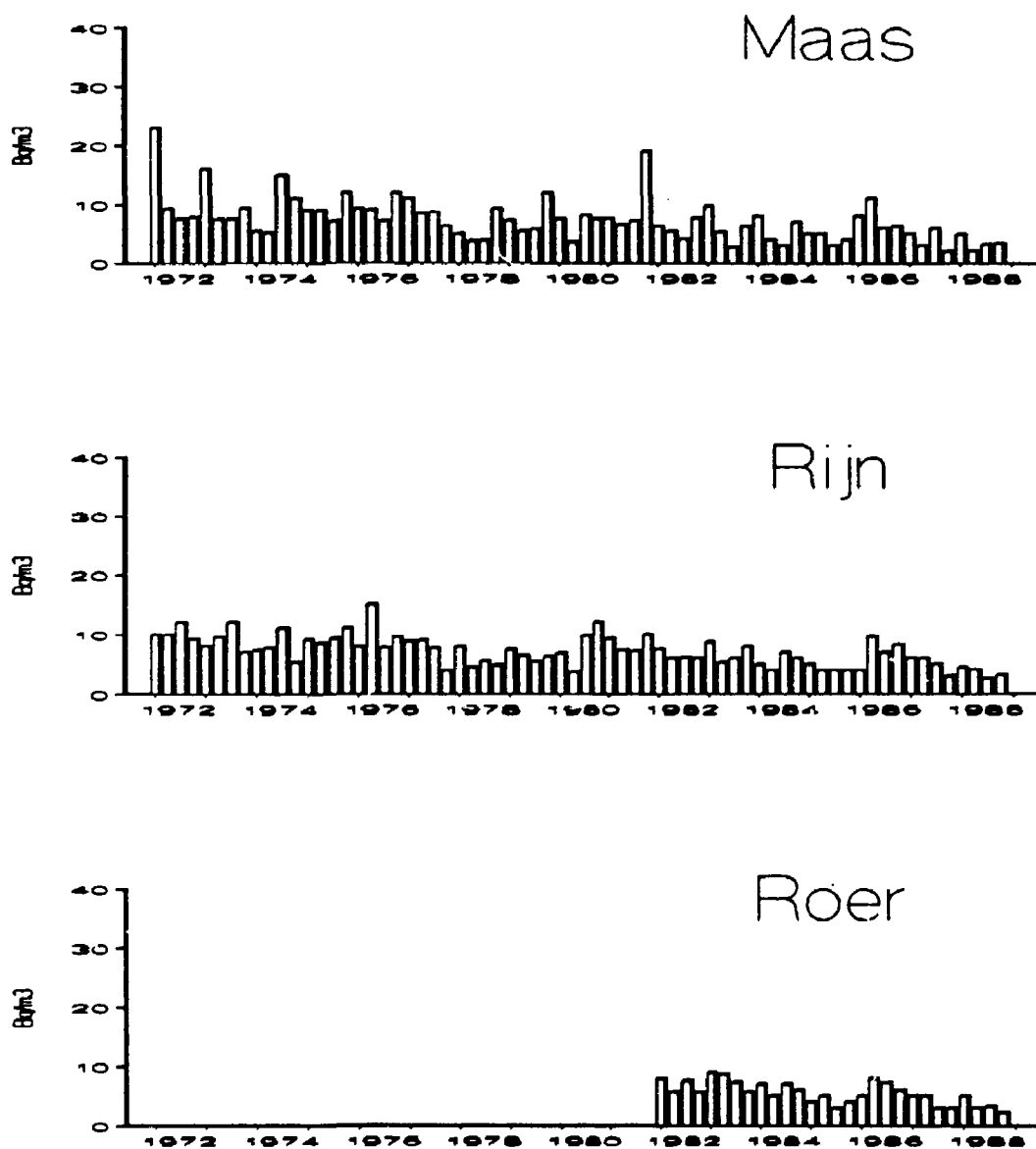
De constante is de constant veronderstelde concentratie van  $^{40}\text{K}$  in het onverdunde scheldewater (150 Bq/m<sup>3</sup>).

$$\text{Totaal-last [Bq]} = Ra(\text{gem.}) [\text{Bq/m}^3] \cdot \text{debiet [m}^3/\text{s}] \cdot 31,5 \cdot 10^6$$

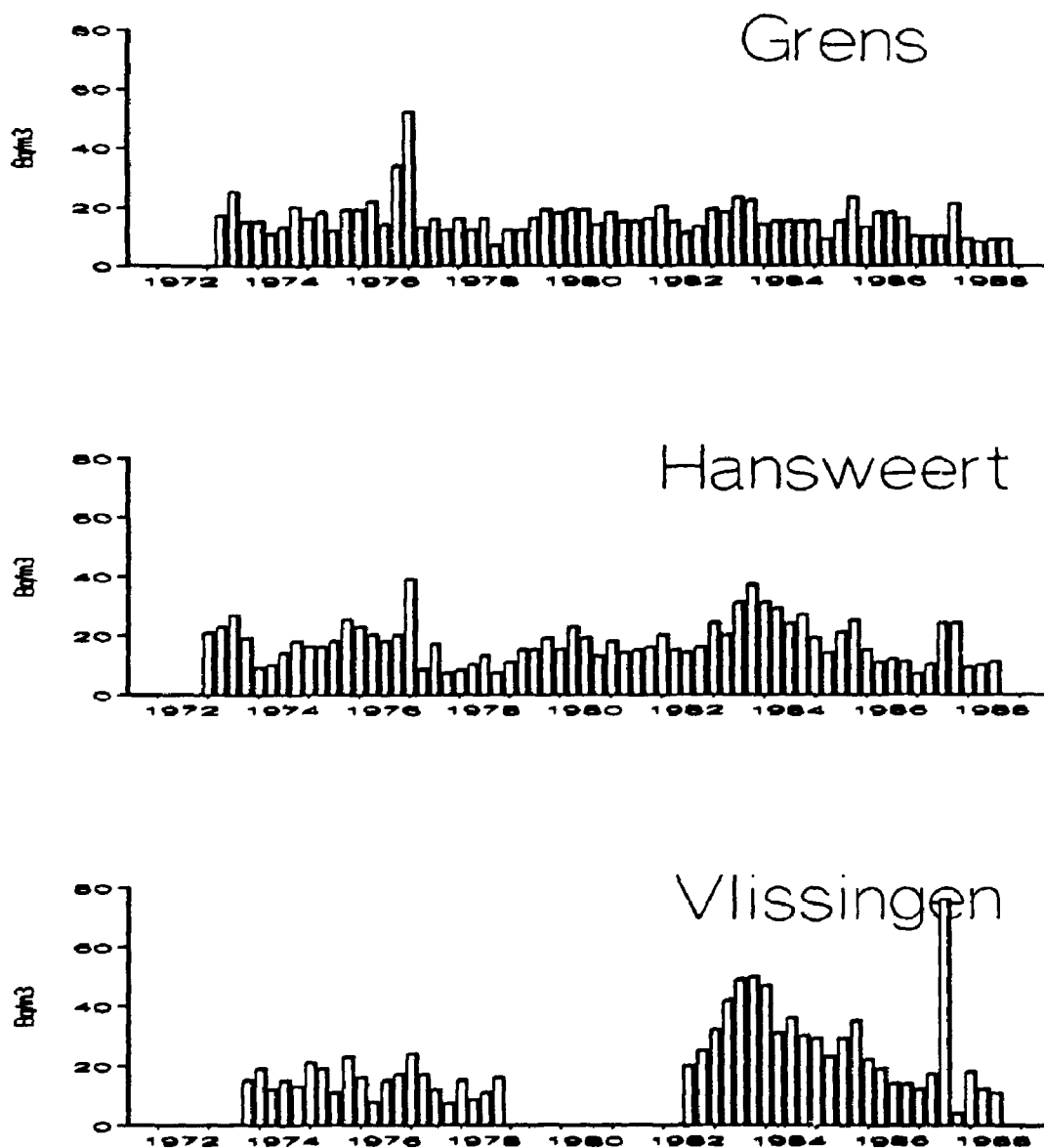
$$\text{Mul-last [Bq]} = Ra(\text{Rijn-Maas}) [\text{Bq/m}^3] \cdot \text{debiet [m}^3/\text{s}] \cdot 31,5 \cdot 10^6.$$



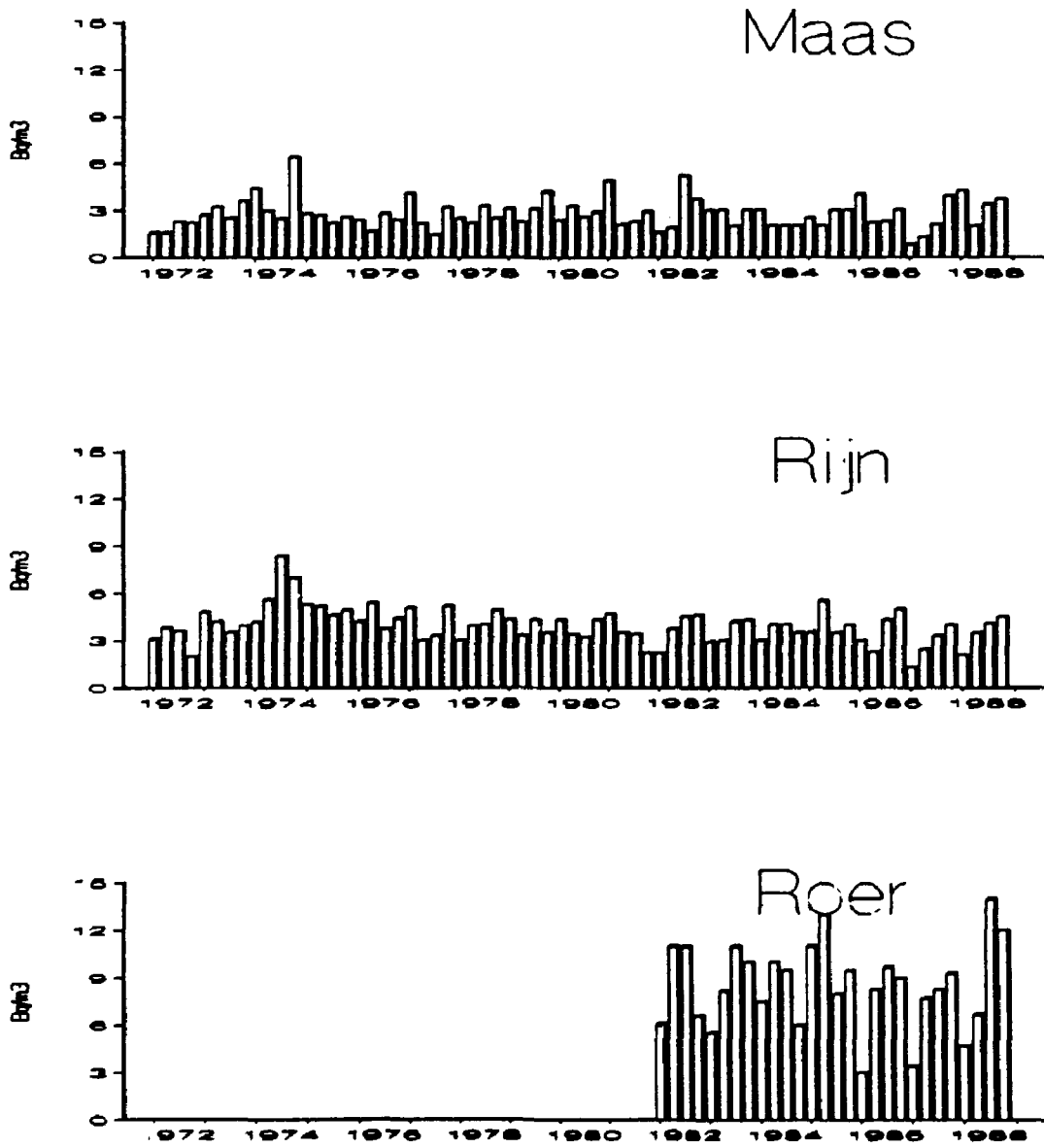
Figuur 1. Positie van de monsterpunten van noordzeewater: Appelzak (A20), Ter Heijde (T70) en Callantsoog (C20) in het eerste kwartaal en Walcheren (W20), Noordwijk (N10) en (N70) en Terschelling (Ts100) gedurende de rest van 1988.



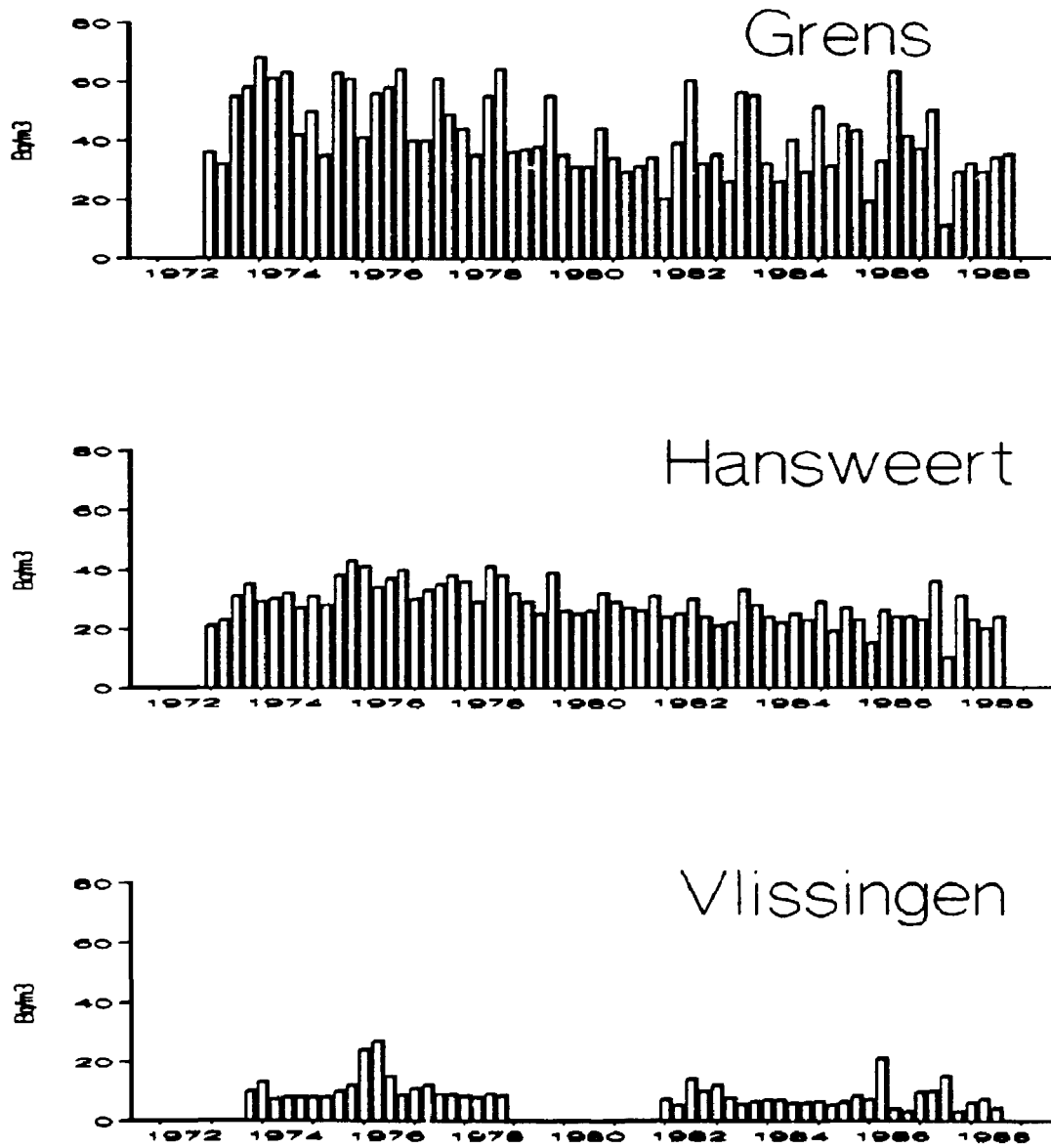
Figuur 2. Kwartaalgemiddelde  $^{90}\text{Sr}$ -concentraties in Maas, Rijn en Roer.



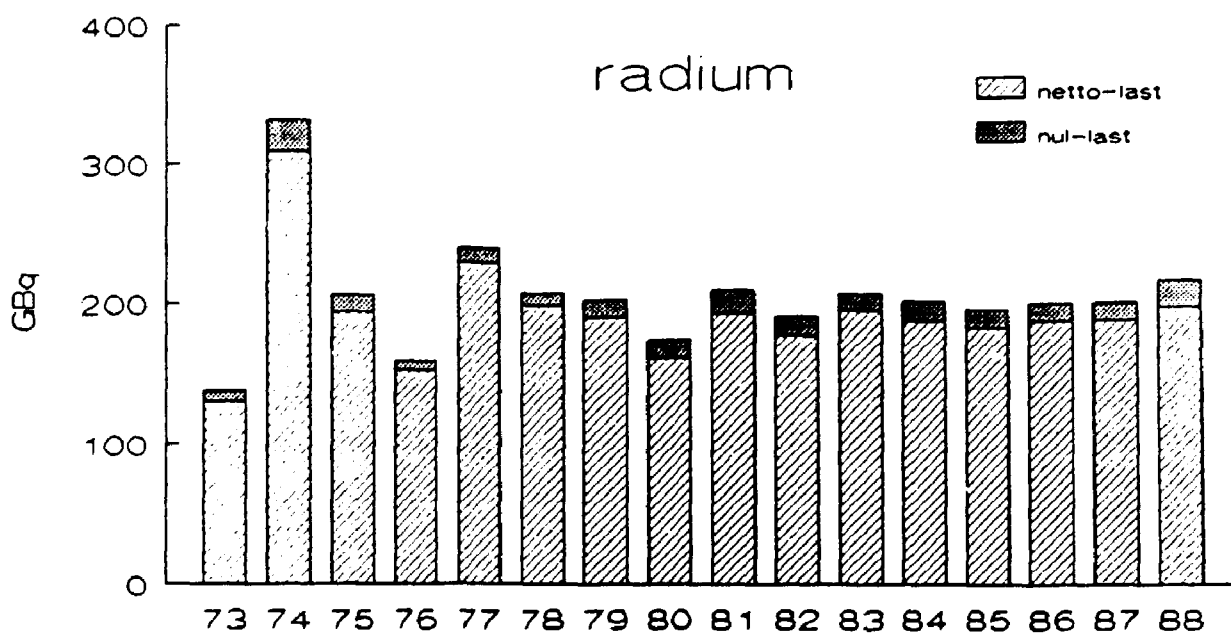
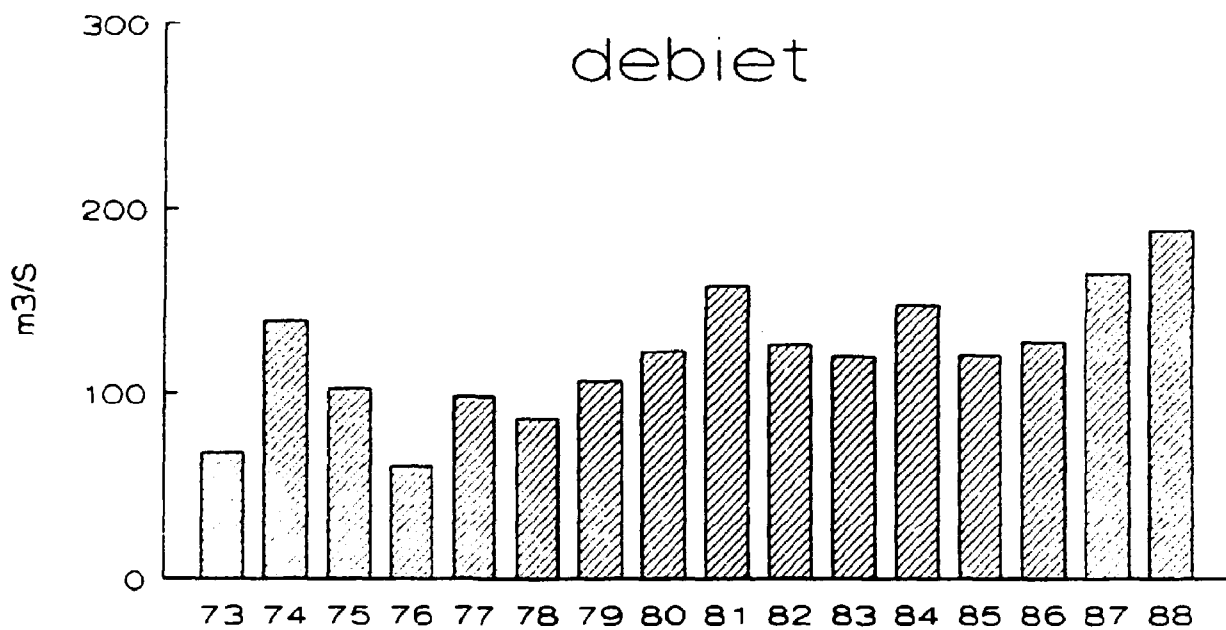
Figuur 3. Kwartaalgemiddelde  $^{90}\text{Sr}$ -concentraties in Westerscheldewater op drie locaties.



Figuur 4. Kwartaal gemiddelde  $^{226}\text{Ra}$ -concentraties in Maas, Rijn en Roer.



Figuur 5. Kwartaalgemiddelde  $^{226}\text{Ra}$ -concentraties in Westerscheldewater op drie locaties.



Figuur 6. Jaargemiddelden van debiet en <sup>226</sup>Ra-last voor de Schelde.