

1998-39_bronidentificatie-waterbodemverontreiniging

stowa

Richting Toegepast Onderzoek Waterbeheer

**Bronidentificatie voor
waterbodemverontreiniging**
PCB- en PAK-patroonvergelijking



98 39

**Bronidentificatie voor
waterbodemonverontreiniging**
PCB- en PAK-patroonvergelijking

Arthur van Schendelstraat 816
Postbus 8090, 3503 RB Utrecht
Telefoon 030 232 11 99
Fax 030 232 17 66

Publicaties en het publicatie-
overzicht van de STOWA kunt u
uitsluitend bestellen bij:

Hageman Verpakkers BV

Postbus 281

2700 AC Zoetermeer

tel. 079 - 361 11 88

fax 079 - 361 39 27

o.v.v. ISBN- of bestelnummer en
een duidelijk afleveradres.

ISBN 90.5773.048.0

98 39

Ten geleide

In de komende jaren zullen in het kader van de Wet Bodemsanering op vele locaties waterbodemsaneringen worden uitgevoerd tegen in het algemeen hoge kosten. Omdat het moeilijk was om eenduidige relaties te leggen tussen voormalige lozings enerzijds en de in de waterbodem aangetroffen verontreinigingen anderzijds, hadden kostenverhaalsacties tot op heden weinig perspectief of succes.

Met behulp van monsters van vijf praktijklocaties is in het onderhavige onderzoek nagegaan of waterbodemverontreiniging met polycyclische aromatische koolwaterstoffen (PAK) en polychloorbifenylen (PCB) zodanig gekarakteriseerd kon worden, dat eenduidige relaties gelegd konden worden met aanwezige of historische bronnen.

Voor een relevante karakterisering moeten specifieke stoffen worden geanalyseerd, verhoudingen tussen enkele componenten worden vastgesteld en/of het procentuele aandeel van bepaalde stoffen in het totaalgehalte worden gemeten. De aldus ontwikkelde methodiek is in principe toepasbaar bij bron-identificatie en kostenverhaalsacties.

Het onderzoek werd door het bestuur van de STOWA opgedragen aan Grontmij Advies & Techniek bv Adviesgroep Bodem (projectleider drs. R. van Zoest); het analytische deel van het werk werd uitgevoerd door Alcontrol Laboratoria te Hoogvliet (projectleider ir. J. van den Berg). Het project werd namens de STOWA begeleid door een commissie bestaande uit dr.ir. J.C. Beurskens (voorzitter), mevr. H. van der Heijden, ing. J. Roumen, ing. R. Schuiling MSc, ir. P.C. Stamperius en ir. G.D. Willemsen. De STOWA is de zuiveringsschappen Drenthe en Limburg en het waterschap Veluwe bijzonder erkentelijk voor de assistentie bij de bemonstering van de praktijklocaties.

Utrecht, november 1998

De directeur van de STOWA

drs. J.F. Noorthoorn van der Kruijff

Inhoudsopgave

Samenvatting.....	4
1 Inleiding.....	6
2 Achtergrondgegevens.....	7
3 Vooronderzoek in het laboratorium.....	11
3.1 Inleiding.....	11
3.2 Werkwijze.....	11
3.2.1 Beschrijving van het monstermateriaal.....	11
3.2.2 Beschrijving van de spike-procedure.....	12
3.2.3 Beschrijving van de extractieprocedure.....	12
3.2.4 Beschrijving van de meting.....	12
3.2.5 Bepaling van de prestatiekenmerken.....	12
3.3 Resultaten.....	13
3.3.1 De herhaalbaarheid.....	13
3.3.2 De aantoonbaarheidsgrens.....	13
3.3.3 De reproduceerbaarheid.....	13
3.3.4 De terugvinding.....	14
3.3.5 Onderzoek naar een alternatieve droogmethode.....	14
3.4 Resumé.....	15
4 Onderzoek aan praktijklocaties.....	17
4.1 Inleiding.....	17
4.2 De onderzoekslocaties.....	17
4.2.1 Heelsumsebeek.....	17
4.2.2 Schippersvaart.....	18
4.2.3 Stadswateren Coevorden.....	18
4.2.4 Dorpse beek.....	19
4.2.5 Roer.....	19
4.3 Analyseresultaten.....	20
4.3.1 Heelsumsebeek.....	20
4.3.2 Schippersvaart.....	21
4.3.3 Stadswateren Coevorden.....	23
4.3.4 Dorpse beek.....	25
4.3.5 Roer.....	28
5 Evaluatie van de methodiek.....	31
6 Conclusies en aanbevelingen.....	34
6.1 Conclusies.....	34
6.2 Aanbevelingen.....	34
Literatuur.....	36

Inhoudsopgave (vervolg)

Bijlage 1 Analyseresultaten van het vooronderzoek

Bijlage 2 Situatieschets Heelsumsebeek

Bijlage 3 Situatieschets Schippersvaart

Bijlage 4 Situatieschets Stadswateren Coevorden

Bijlage 5 Situatieschets Dorpsebeek

Bijlage 6 Situatieschets Roer

Bijlage 7 Analyseresultaten van de praktijklocaties

Samenvatting

In het kader van de Wet Bodembescherming zullen de komende jaren op vele locaties in zowel de regionale als de Rijkswateren waterbodemsaneringen worden uitgevoerd. De kosten van dergelijke saneringen zijn in het algemeen erg hoog. Tot op heden zijn kostenverhaalsacties weinig perspectiefrijk of succesvol geweest. Een van de redenen hiervoor is dat het moeilijk is om eenduidige relaties te leggen tussen de voormalige lozingen enerzijds en de aangetroffen verontreinigingen in de waterbodem anderzijds.

De doelstelling van het onderhavige onderzoek is het karakteriseren van gevallen van waterbodemverontreiniging met polycyclische aromatische koolwaterstoffen (PAK) en polychloorbifenylen (PCB) op een zodanige wijze dat eenduidige relaties kunnen worden gelegd tussen de bronnen en de verontreinigingssituatie. Gestreefd is naar het opstellen van een algemeen toepasbare methodiek. De methodiek is toegepast op vijf praktijklocaties.

Het onderzoek is gefaseerd uitgevoerd:

- fase 1: vooronderzoek in het laboratorium;
- fase 2: onderzoek met praktijklocaties.

Ten behoeve van het onderzoek zijn de routinematig geanalyseerde PAK- en PCB-pakketten uitgebreid met respectievelijk zes en zeven stoffen. Voor PAK zijn dit benzo(e)pyreen, 2-methylfenantreen, coroneen en drie nitro-PAK-verbindingen. De zeven extra PCB's hebben een chloreringsgraad variërend tussen 3 en 7 en vormen daarmee een aanvulling op de 'standaard' zeven PCB's. Voor alle in het onderzoek gebruikte PAK en PCB's zijn allereerst de prestatiekenmerken aantoonbaarheidsgrens, herhaalbaarheid, reproduceerbaarheid en terugvinding vastgesteld. Voor de gehanteerde opwerkingsmethode (monster drogen met natriumsulfaat, extractie met de Accelerated Solvent Extractor, analyse met een gaschromatograaf voorzien van een massaspectrometer) is geconcludeerd dat de prestatiekenmerken voor de onderzochte stoffen in principe geschikt zijn voor het onderhavige onderzoek.

Vervolgens zijn vijf praktijklocaties geselecteerd, verdeeld over het gehele land. Voor alle locaties bestaat inzicht in de verontreinigingssituatie van de waterbodem en zijn bronnen kwalitatief in kaart gebracht. Twee locaties worden gekenmerkt door een verontreiniging met PCB's; de andere drie door PAK.

Ten behoeve van de karakterisering van de bronnen werden monsters onderzocht waarvan op voorhand kon worden verondersteld dat ze representatief zijn voor slechts één bron. Het karakteriseren gebeurde met behulp van specifieke stoffen, met verhoudingen tussen twee stoffen en/of het procentuele aandeel van een aantal stoffen in het totaalgehalte. Voor de meeste van de onderzochte locaties geldt dat het goed mogelijk was om tenminste één bron te karakteriseren.

Voor trajecten van waterlopen waar de invloed van meerdere bronnen aanwezig is, kon indicatief een verdeling tussen deze bronnen worden aangegeven. Dit lukte voor verontreinigingssituaties met PCB's overigens beter dan voor PAK.

De bijdrage van een bepaalde bron op de totale verontreinigingssituatie kon vanaf 10 à 20% worden vastgesteld. Tevens kon voor een bepaalde bron een bijdrage van vrijwel 100% in een aangrenzend water wordt gemeten.

Geconcludeerd is dat de voorgestelde methodiek voor bronidentificatie in principe toepasbaar is bij het ingang zetten van kostenverhaalsacties. Of de methodiek wordt toegepast hangt van locatie-specifieke omstandigheden af: zijn er voldoende nauwkeurige gegevens over de bronnen (ligging, aard van de lozing, eventueel variatie in de tijd), zijn vanuit juridisch oogpunt verhaalsacties haalbaar (was de handhaving ten tijde van de lozing in orde?), etcetera. Een en ander is in een eenvoudig stroomschema vastgelegd. Indien de hier voorgestelde methode daadwerkelijk gaat worden gebruikt bij kostenverhaalsacties zullen, naast de extra parameters, grotere monsteraantallen moeten worden geanalyseerd. De karakterisering van de verschillende bronnen kan op die wijze statistisch worden onderbouwd. Bovendien dient vooralsnog te worden aangesloten bij de in dit rapport beschreven analytische opwerkingsmethode.

1 Inleiding

In de komende jaren zullen op talloze locaties in Nederland onderzoeken worden uitgevoerd naar de kwaliteit van de waterbodem. Dergelijk onderzoek zal deels worden uitgevoerd om de kwaliteit van de specie, die om nautische of waterkwaliteitsredenen moet worden verwijderd, te bepalen. Afhankelijk van de kwaliteit kan de bestemming van de specie worden vastgesteld. Daarnaast zal veelvuldig onderzoek worden uitgevoerd naar de aard, de omvang en de risico's van zogenaamde saneringsspecie. De uitvoering van laatstgenoemd onderzoek zal voor een groot deel in opdracht van regionale waterkwaliteitsbeheerders worden uitgevoerd met provincies in de rol van toetsende instantie.

De kosten van waterbodemsaneringen zijn in het algemeen erg hoog. Tot op heden zijn kostenverhaalsacties in het geval van waterbodemverontreinigingssituaties weinig perspectiefrijk of succesvol geweest. Een van de redenen hiervoor is het feit dat er in veel gevallen sprake is (geweest) van meerdere bronnen die deels dezelfde soort stoffen hebben geloosd; vaak betreft het meerdere puntbronnen naast een bijdrage van diffuse bronnen. Eenduidige relaties tussen geloosde mengsels van stoffen enerzijds en het verontreinigingspatroon in de waterbodem anderzijds zijn, voor zover bekend, nergens 'operationeel'.

Het doel van de studie is tweeledig:

1. het karakteriseren van gevallen van waterbodemverontreiniging voor de stofgroepen PAK en PCB's op een zodanige wijze dat een eenduidige relatie tussen bron en verontreinigingspatroon in de waterbodem kan worden gelegd. Gestreefd wordt naar het opstellen van een algemeen toepasbare methodiek.
2. het toepassen van de methodiek op vijf voorbeeldlocaties.

Het rapport is als volgt opgebouwd. In hoofdstuk 2 wordt allereerst ingegaan op de theoretische achtergrond van de te ontwikkelen methodiek. Op basis van gegevens uit de literatuur wordt nagegaan welke specifieke PCB- of PAK-componenten karakteristiek zijn voor een bepaalde bron. In hoofdstuk 3 worden de resultaten van het onderzoek in het laboratorium naar de prestatiekenmerken van de geselecteerde PCB- en PAK-componenten gepresenteerd. De resultaten van het onderzoek op de vijf voorbeeldlocaties worden besproken in hoofdstuk 4. De evaluatie van de methodiek vindt plaats in hoofdstuk 5. De conclusies en de aanbevelingen tenslotte worden vermeld in hoofdstuk 6.

2 Achtergrondgegevens

In 1995 heeft M. Zwart [22], in het kader van een stage vanuit de Universiteit Utrecht, bij Grontmij een onderzoek uitgevoerd naar de (on)mogelijkheden van het karakteriseren van de PCB- en PAK-verontreinigingen in waterbodems, zodanig dat op basis van een patroonvergelijking de bron(nen) kan (kunnen) worden herleid. Dit onderzoek heeft grotendeels plaatsgevonden op basis van literatuurgegevens. Na afsluiting van het literatuuronderzoek is op beperkte schaal praktijkonderzoek uitgevoerd.

Met name verontreinigingssituaties met PCB's of PAK zijn geschikt:

- er zijn 209 (theoretisch mogelijke) PCB's. PCB's werden echter afhankelijk van de toepassing geproduceerd in mengsels met een bepaald (gemiddeld) gewichtspercentage aan chloor: PCB's in condensatoren bijvoorbeeld hebben een lagere chloreringsgraad dan in transformatoren. De chloeringsgraad van de meest gangbare PCB-mengsels, die in het verleden zijn geproduceerd en toegepast, varieert tussen 40 en 65 gew. % chloor (Aroclor series 1242 tot 1260, clophen A40-A60 [22]);
- van de PAK zijn minstens enkele honderden verbindingen bekend (inclusief de hetero-PAK). Op een klein aantal 'nuttige' toepassingen na, kunnen PAK in het algemeen worden gezien als ongewenste bijproducten bij de verbranding van fossiele brandstoffen. Afhankelijk van de omstandigheden waaronder deze verbranding plaatsvindt, zullen bepaalde verbindingen in meer of in mindere mate ontstaan.

Momenteel wordt in Nederland slechts een beperkt aantal verbindingen van de in het milieu voorkomende PCB- en PAK-mengsels geanalyseerd. Voor PCB's zijn dit de PCB-nummers (met tussen haakjes het aantal chlooratomen per molecuul):

- 28 (3);
- 52 (4);
- 101 (5);
- 118 (5);
- 138 (6);
- 153 (6);
- 180 (7).

In Tabel 1 staan de gangbare mengsels bij de PAK-analyses vermeld. De normen zijn gebaseerd op de tien PAK van VROM.

Op basis van ervaring kan worden gesteld dat de analyse van praktijkmonsters op genoemde parameters zelden voldoende differentiatie oplevert tussen mogelijke bronnen van waterboderverontreiniging.

Tabel 1 Verschillende groepen representatieve PAK, gebruikt voor beleid en onderzoek

PAK	6 van Borneff	10 van VROM	16 van EPA
naftaleen		*	*
acenaftyleen			*
acenafteen			*
fluoreen			*
antraceen		*	*
fenantreen		*	*
fluoranteen	*	*	*
pyreen			*
benzo(a)antraceen		*	*
chryseen		*	*
benzo(a)pyreen	*	*	*
benzo(b)fluoranteen	*		*
benzo(k)fluoranteen	*	*	*
dibenzo(ah)antraceen			*
indeno(123-cd)pyreen	*	*	*
benzo(ghi)peryleen	*	*	*

Voor de onderhavige doelstelling is daarom gezocht naar componenten ter aanvulling van de in waterbodemmonsters routinematig bepaalde stoffen. Voorwaarde hierbij is dat deze aanvullende componenten specifieke informatie geven over bepaalde (categorieën van) bronnen (PAK) of een waargenomen tendens in het routinematig gemeten mengsel eenduidig versterken (PCB's). Met betrekking tot dit laatste kan worden gesteld dat alleen een, bijvoorbeeld hoog PCB 28 gehalte ten opzichte van de andere PCB's niet als afdoend bewijs kan gelden voor een bron met een laag gechlloreerd PCB-mengsel. Analytische onnauwkeurigheden, bijvoorbeeld co-elutie met andere stoffen, zouden hieraan mede debet kunnen zijn.

Ter aanvulling van beide stofgroepen kunnen de volgende componenten in beschouwing worden genomen:

- PCB's, met tussen haakjes het aantal chlooratomen per molecuul: nummers 26 (3), 31 (3), 44 (4), 49 (4), 105 (5), 170 (7) en 187 (7). Met behulp van de uitbreiding van de standaard PCB's met genoemde zeven, zal interpretatie van het soort mengsel (licht of zwaar gechlloreerd) eenduidiger te maken zijn dan in de huidige situatie;
- PAK-verbindingen: benzo(e)pyreen, 2-methylfenantreen, 3-nitrofluoranteen, 1-nitropyreen, 9-nitroantraceen en coroneen. Genoemde stoffen zijn indicatief voor een bijdrage van effluenten van zuiveringsinstallaties (benzo(e)pyreen), onverbrande fossiele brandstoffen (2-methylfenantreen) en verkeersuitstoot (nitro-PAK [7] en coroneen [1]).

Voor beide stofgroepen geldt dat, naast gehalten in absolute zin, eveneens karakteristieke verhoudingen tussen stoffen bekeken kunnen worden ter identificatie van de bronnen. Deze verhoudingen (Tabel 2) zijn deels gepubliceerd in de internationale vakliteratuur (geciteerd in [22]) en deels hieruit afgeleid.

Uit voornoemde literatuurstudie is eveneens naar voren gekomen dat een beïnvloeding van de stofmengsels ten gevolge van natuurlijk in het milieu optredende processen, in het oppervlaktewater en in het sediment, in het algemeen geen grote rol speelt.

Processen die bekeken zijn, betreffen: fotolyse, afbraak, waaronder reductieve dechlorering voor PCB's, adsorptie/desorptie en verdamping.

In het algemeen geldt dat de binding van de geselecteerde stoffen sterk is: alle stoffen bezitten een lage oplosbaarheid en een hoge octanol-water verdeelingscoëfficiënt. Ten gevolge van sedimentatie van slibdeeltjes is de verblijftijd in het oppervlaktewater meestal kort. Hierdoor spelen de processen fotolyse en verdamping in kwantitatieve zin geen grote rol. Op het moment dat de stoffen in de waterbodem worden opgeslagen, verlopen genoemde processen in het algemeen veel langzamer.

Met betrekking tot microbiële afbraak kan worden gesteld dat dit proces in slib voor PAK geen enkele rol van betekenis speelt. Ten gevolge van de algemeen heersende zuurstofloze omstandigheden in slib komt PAK-afbraak niet voor, aangezien hiervoor zuurstof nodig is. Voor de afbraak van PCB's daarentegen geldt dat de afbraak van met name de zwaarder gechloroerde componenten juist onder anaerobe omstandigheden geschiedt. In de literatuurstudie is echter gebleken dat deze afbraak, de zogenaamde reductieve dechlorering zich niet lijkt voor te doen bij gehalten lager dan 50 mg/kg d.s. (som PCB). Aangezien deze gehalten niet/nauwelijks worden aangetroffen in de Nederlandse situatie wordt vooralsnog als hypothese gesteld dat microbiële afbraak in waterbodems voor PCB's geen rol van betekenis speelt.

Op basis van de literatuurstudie wordt geconcludeerd dat differentiatie van stofmengsels niet of nauwelijks optreedt na de lozing op het oppervlaktewater en tijdens de opslag in het slib, zodat het mengsel niet wezenlijk verschilt van het uitgangsmengsel.

Tabel 2 In de literatuur aangetroffen verhoudingen van PAK (samengevat in [22])^A. Voor de verwijzingen, zie literatuurlijst

locatie of bron	fen/ant	fen/met-fen	flu/pyr	BeP/BaP	pyr/BaP	flu/BaP
stedelijk sediment	3-4 ^{5,10}	0,9-1,6 ⁵	1,0-1,1 ⁵	0,8-1,0 ⁵		
afgelegen sediment	13-26 ^{5,10}	0,8-1,3 ⁵	1,2-1,7 ⁵	0,9-4,2 ⁵		
uitlaatgassen	3 ⁵		0,6-0,9 ^{5,20}	13 ⁵	3,8 ²⁰	3,5-8 ^{15,20}
houtverbranding	3 ⁵ /17 ¹⁰	3 ⁵	1,0 ⁵	0,4 ⁵		
kolenverbranding	3 ⁵		1,4 ⁵	0,8 ⁵		
ruwe olie	50 ⁵	0,1-0,3 ⁵		0,2-3,3 ⁵	10 ¹⁹	
smeerolie	8 ¹⁰					
haventeer sediment	23-38 ¹⁰					
koolteer	0,8-3,6 ^{11,13}		1,5-2 ¹¹	0,9 ¹¹		2 ¹⁵
olie verbranding		0,5 -1 ^{13,14}				
fossiele oliePAK		2-10 ^{13,14}				
zuiveringseffluent	9 ²⁰		0,7 ²⁰	3-4 ⁸	2,4 ²⁰	5
asfalt			0,5 ¹¹			
creosoot						650 ²
atmosferische depositie						10 ¹⁵

^A: verklaring van de afkortingen

fen: fenantreen

ant: antraceen

met-fen: methyl-fenantrenen

flu: fluoranteen

pyr: pyreen

BeP: benzo(e)pyreen

BaP: benzo(a)pyreen

Het onderzoek van M. Zwart in 1995 is afgesloten met het op beperkte schaal nagaan van de gevonden relaties in een praktijktest. Hiertoe zijn van drie locaties waterbodemmonsters onderzocht op PAK, inclusief bovenvermelde stoffen. In het algemeen kwam uit het onderzoek naar voren dat een aantal van de genoemde verbindingen weliswaar aantoonbaar was in de monsters, maar dat de gehalten dusdanig dicht de gehanteerde detectielimieten (0,2 à 0,5 mg/kg d.s.) benaderden, dat eenduidige relaties niet konden worden gelegd. In dit onderzoek werd dan ook de aanbeveling gedaan om in geval van vervolgonderzoek de detectielimieten met een factor 5 à 10 te verlagen.

3 Vooronderzoek in het laboratorium

3.1 Inleiding

Gezien het grote belang voor het onderzoek van nauwkeurige analyses, zijn voor alle in beschouwing genomen stoffen de prestatiekenmerken onderzocht. Dit onderzoek heeft niet als oogmerk te komen tot een uitputtende validatie van de bepalingmethode voor de geselecteerde verbindingen, maar veeleer te komen tot een verantwoorde beperkte validatie teneinde aan de hand van praktijkonderzoek met een beperkt aantal waterbodemmonsters de (on)mogelijkheden van de geschetste brontracering te inventariseren.

In het kader van brontracering is het noodzakelijk zoveel mogelijk te beschikken over absolute gehalten van de desbetreffende componenten in waterbodem. In dat kader is besloten niet uit te gaan van de in Nederland voor bodemonderzoek genormaliseerde methoden (2^e ontwerp-NEN 5771 voor PAK en ontwerp-NEN 5718 voor PCB's). Deze methoden, die uitgaan van een schudextractie met aceton bij kamertemperatuur, geven in het algemeen geen absolute extractie. De terugvinding van deze extractie is afhankelijk van de te analyseren matrix, hetgeen de methode minder geschikt maakt voor brontracering.

Algemeen wordt Soxhlet-extractie gedurende 24 uur gezien als referentiemethode. Een korter durende extractie die hiermee door de Environmental Protection Agency (USA) gelijkwaardig is verklaard, is EPA 3545. Deze methode betreft Accelerated Solvent Extraction, waarbij de extractie plaatsvindt onder vrij extreme condities (temperatuur en druk). In het kader van het onderhavige project is besloten uit te gaan van deze extractiemethode.

Bij de validatie zijn de volgende prestatiekenmerken [18] bepaald:

- de herhaalbaarheid;
- de aantoonbaarheidsgrens;
- de reproduceerbaarheid;
- de terugvinding.

3.2 Werkwijze

De prestatiekenmerken zijn bepaald met behulp van praktijkmateriaal waaraan de te analyseren verbindingen zijn toegevoegd in bekende hoeveelheden, 'gespiket'.

3.2.1 Beschrijving van het monstermateriaal

Voor het monstermateriaal is uitgegaan van drie praktijk waterbodemmonsters, met als matrix klei (2x) en baggerspecie (1x). De monsters zijn elk gedurende 16 h gedroogd bij 105 °C, vervolgens vermalen en gezeefd over een zeef met maaswijdte van 250 µm.

De monsters zijn vervolgens bij elkaar gevoegd en gedurende 16 uur in één pot op een rollenbank gehomogeniseerd.

Het aldus verkregen monstermateriaal heeft de volgende kenmerken:

- organische stof: 3,7 %;
- minerale delen <2 µm (lutum): 15,9 %;
- gehalte aan PAK en PCB: niet aantoonbaar, dat wil zeggen lager dan de aantoonbaarheidsgrens van 10 µg/kg d.s.

Totaal is circa 800 g monstermateriaal verkregen.

3.2.2 Beschrijving van de spike-procedure

Voor elke spiking is 10,00 g monstermateriaal afgewogen. Hieraan is met behulp van een injectienaald 1,00 ml spike-oplossing (dichloormethaan), verspreid over het monsteroppervlak, toegevoegd. Vervolgens is het gespikete monster gedurende 2 h weggezet om het oplosmiddel te laten verdampen. Het gespikete monstermateriaal is met behulp van een spatel in het monsterpotje gehomogeniseerd en gedurende 48 h bij 5 °C opgeslagen.

Door deze opslagtijd komt enige binding tot stand tussen de te analyseren verbindingen en de matrix van het monster, waardoor een meer realistische uitgangssituatie wordt verkregen dan met vers gespikete monsters.

Na de opslagtijd is het gespikete monster bevochtigd met 4,3 ml gedemineraliseerd water. Daarmee is een veldvochtig monster verkregen met een drogestofpercentage van 70 %.

Dit monster is gereed voor extractie.

3.2.3 Beschrijving van de extractieprocedure

Het monster is opgewerkt op identieke wijze als bij een reëel waterbodemonster. De gehanteerde methode is conform EPA 3545.

Het veldvochtige monster (14,3 g) is gedroogd met 10,0 g monohydrisch magnesiumsulfaat ($MgSO_4 \cdot H_2O$) en met behulp van een spatel fijngemaakt. De extractie is uitgevoerd met behulp van een Accelerated Solvent Extractor (ASE) met dichloormethaan als extractiemiddel. De extractie is uitgevoerd bij een temperatuur van 100 °C en een druk van 1500 psi.

Het verkregen dichloormethaanextract is gedroogd met behulp van anhydrysch natriumsulfaat en overgebracht in een maatkolf van 50 ml. Hieraan is een interne standaard toegevoegd, bestaande uit twee gedeutereerde PAK, D8-naftaleen en D10-antraceen, alsmede mirex. De maatkolf is vervolgens aangevuld tot de maatstreep.

3.2.4 Beschrijving van de meting

De meting is uitgevoerd met behulp van een gaschromatograaf voorzien van een massaspectrometer (LC-LVI-GCMS). De berekening van de gehalten is uitgevoerd met behulp van een externe kalibratiestandaard.

3.2.5 Bepaling van de prestatiekenmerken

De herhaalbaarheid is bepaald door uitvoering van tien opeenvolgende bepalingen onder zoveel mogelijk identieke condities. Om spreiding in het resultaat als gevolg van het spiken te vermijden, is voor de herhaalbaarheid een hoeveelheid monster van 100 g gespiket met 10,0 ml spike-oplossing. Na de 48 h bewaartijd is de hoeveelheid gesplitst in tien porties van 10 g en vervolgens gescheiden opgewerkt. De herhaalbaarheid is uitgevoerd op een concentratieniveau van de te analyseren verbindingen van circa 50 µg/kg d.s.

Ten behoeve van de aantoonbaarheidsgrens is dezelfde werkwijze gehanteerd, echter nu met een lagere hoeveelheid van de spike-oplossing. De bepaling van de aantoonbaarheidsgrens is uitgevoerd op een concentratieniveau van de analyten van circa 2 µg/kg d.s.

De aantoonbaarheidsgrens is gedefinieerd als 3x de spreiding in de meetresultaten. Naast de aantoonbaarheidsgrens is tevens de bepalingsgrens bepaald, gedefinieerd als 10x de spreiding in de meetresultaten. De bepalingsgrens geeft de waarde die in rapportage kan worden gebruikt als laagst bepaalde waarde.

Voor de reproduceerbaarheid is uitgegaan van tien bepalingen op tien verschillende dagen. Hiertoe is de spikingsprocedure 48 h voor daadwerkelijke meting uitgevoerd, steeds uitgaande van 10 g materiaal. De reproduceerbaarheid is uitgevoerd op een concentratieniveau van de te analyseren verbindingen van circa 50 µg/kg d.s.

Voor de terugvinding zijn twee werkwijzen met elkaar vergeleken. De eerste werkwijze (A) is identiek aan de hierboven beschreven methode, hetgeen in het kort neerkomt op:

- monster spiken;
- gespikete monster laten drogen, waarbij het oplosmiddel verdampt;
- 48 uur wegzetten, er vindt interactie plaats tussen matrix en verbindingen;
- toevoegen tot 30 gew.% water; nabootsing van de gebruikelijke opwerkingsomstandigheden in het laboratorium;
- drogen met magnesiumsulfaat;
- extractie.

Aangezien in de eerste, oriënterende metingen naar de terugvinding lage opbrengstpercentages werden gevonden is eveneens voor dit prestatiekenmerk een aangepaste werkwijze onderzocht.

In deze aangepaste werkwijze (B) werd de stap van het toevoegen van water, gevolgd door de drogingsstap, achterwege gelaten.

3.3 Resultaten

De resultaten zijn weergegeven in de Tabellen 9-13 uit bijlage 1. De PCB nr.'s 28 en 31 konden op geen enkele wijze gaschromatografisch worden gescheiden. De resultaten van deze verbindingen zijn steeds als som van de twee verwerkt.

3.3.1 De herhaalbaarheid

De herhaalbaarheid (Tabel 9, bijlage 1) ligt voor alle verbindingen, behoudens de nitro-PAK-verbindingen en naftaleen, tussen 2,8 en 6,5 %. Voor naftaleen ligt de herhaalbaarheid op 9,7 %. De herhaalbaarheid voor de nitro-PAK-verbindingen ligt tussen 8,9 en 16,9 %.

De oorzaak voor de iets minder goede herhaalbaarheid van naftaleen is mogelijk de relatief hoge vluchtigheid van deze verbinding, waardoor bij het spiken en opwerken meer naftaleen kan verdwijnen.

De oorzaak voor de minder goede herhaalbaarheid van de nitro-PAK-verbindingen ligt mogelijk in de moeilijker extraheerbaarheid van deze verbindingen als gevolg van sterkere wisselwerking met de matrix.

3.3.2 De aantoonbaarheidsgrens

De aantoonbaarheidsgrens (C_{ag} in Tabel 10, bijlage 1) ligt voor alle verbindingen op het niveau van enkele tienden tot 3 $\mu\text{g}/\text{kg}$ d.s. Voor twee verbindingen ligt de aantoonbaarheidsgrens iets boven dit niveau, namelijk voor benzo(a)pyreen (3,5 $\mu\text{g}/\text{kg}$ d.s.) en benzo(e)pyreen (3,4 $\mu\text{g}/\text{kg}$ d.s.).

Benzo(b)fluoranteen en benzo(k)fluoranteen konden op dit niveau niet gaschromatografisch worden gescheiden. De aantoonbaarheidsgrens voor de som van beide verbindingen bedraagt 4,4 $\mu\text{g}/\text{kg}$ d.s. Per verbinding kan voorts nog 2,2 $\mu\text{g}/\text{kg}$ d.s. worden aangehouden.

In de meest rechtse kolom van Tabel 10 (bijlage 1) is de bepalingsgrens weergegeven. Deze is gedefinieerd als 10x de spreiding in de meetresultaten en dient als het niveau van minimale rapportagewaarde. In het algemeen ligt dit niveau lager dan 5 $\mu\text{g}/\text{kg}$ d.s. Voor enkele verbindingen ligt de bepalingsgrens tussen 5 en 10 $\mu\text{g}/\text{kg}$ d.s. Voor drie verbindingen – benzo(a)pyreen, dibenz(a,h)antracene en benzo(e)pyreen – moet derhalve een bepalingsgrens (rapportagegrens) van 10 $\mu\text{g}/\text{kg}$ d.s. worden aangehouden.

3.3.3 De reproduceerbaarheid

De reproduceerbaarheid (Tabel 11 uit bijlage 1) ligt voor alle verbindingen tussen 5,9 en 21,2 %. Voor naftaleen ligt de reproduceerbaarheid op 28,9 %. De minder goede reproduceerbaarheid van naftaleen is overeenkomstig de herhaalbaarheid. Gemiddeld genomen ligt de reproduceerbaarheid voor de PAK-verbindingen en PCB's een factor 2,5-3 hoger dan de herhaalbaarheid. De reproduceerbaarheid voor de nitro-PAK-verbindingen ligt tussen 10,5 en 17,3 %.

Hier is de factor 2,5-3 tussen herhaalbaarheid en reproduceerbaarheid niet aanwezig; de reproduceerbaarheid is voor deze stoffen juist lager dan de herhaalbaarheid. Een oorzaak hiervoor is niet te geven.

3.3.4 De terugvinding

De gemiddelde terugvinding bij de oorspronkelijke werkwijze (A) ligt tussen 51 en 56 % (zie Tabel 12A van bijlage 1). De resultaten van monster TV-1 worden als uitschieter beschouwd.

De herhaalde extractie (tweede extractie op een reeds geëxtraheerd monster) vertoont nog een terugvinding van gemiddeld 7,3 %. De verdeling van deze percentages is vrij gelijk over alle componenten (5,0-13,1 %).

De gemiddelde terugvinding bij de aangepaste werkwijze (B) ligt tussen 98 en 111 %.

De herhaalde extractie geeft nog een terugvinding van circa 2 %. Alleen bij naftaleen is bij de herhaalde extractie nog een substantieel deel van het totaal gehalte teruggevonden (12 %).

De terugvindingspercentages tonen aan dat de oorspronkelijke werkwijze (A) onvoldoende 'hard' is voor de extractie van de geselecteerde stofgroepen, in casu PCB's en PAK. De herhaalbaarheid van deze methode en de geringe variatie in terugvinding over de componenten geven aan dat de methode mogelijk wel robuust genoeg is, maar onvoldoende extractierendement oplevert. De terugvindingspercentages van de gewijzigde methode (B) liggen tussen 98 en 111 % en zijn goed te noemen. De terugvinding bij de herhaalde extractie toont aan dat de extractie vrijwel volledig is. Alleen voor naftaleen is bij de herhaalde extractie nog 12 % geëxtraheerd.

Het verschil in de gehanteerde werkwijzen betreft de bevochtiging met water en de droogstap met magnesiumsulfaat. Uit Tabel 12B (kolom 'TV-A gemengd met $MgSO_4$ ', bijlage 1) blijkt dat de toevoeging van magnesiumsulfaat geen effect heeft op de terugvinding. Het effect op de terugvinding zou derhalve veroorzaakt moeten zijn door de invloed op de extractie van de toevoeging van het water of van de eropvolgende droogstap met magnesiumsulfaat.

In de praktijk worden waterbodemmonsters in veldvochtige (natte) vorm aangeleverd. Uit het bovenstaande blijkt dat toevoeging van magnesiumsulfaat, om het monster te drogen, leidt tot onvoldoende extractierendement.

Aangezien het aanbeveling verdient om bij de te ontwikkelen bepalingmethode aansluiting te zoeken bij gangbare methoden (grote monsteraantallen in principe routinematig behandelen en analyseren), moet worden gezocht naar een andere vorm van droging van het monster. Opties hiervoor zijn vriesdrogen, drogen met natriumsulfaat of drogen bij 40 °C.

In een beperkt aanvullend onderzoek is bekeken welke alternatieve drogingsmethode aan de gestelde eisen voldoet.

3.3.5 Onderzoek naar een alternatieve droogmethode

Als alternatieve droogmethoden zijn onderzocht het drogen bij 40 °C aan de lucht in een stoof en het drogen door toevoeging van anhydrisch natriumsulfaat en vervolgens handmatig vermengen. Overigens is het uitgangsmateriaal voor het onderzoek naar de alternatieve droogmethode niet hetzelfde als beschreven in § 3.2.

Twee deelmonsters van elk van de twee geselecteerde waterbodemmonsters zijn allereerst gespiket met D8-naftaleen en D10-antraceen (externe standaarden). De spiking is verricht voorafgaande aan de droogstap.

Na veroudering gedurende 48 uur bij 5 °C zijn de monsters gedroogd. Een deelmonster van beide waterbodemonsters is gedurende 16 h gedroogd bij 40 °C in een glazen potje. Aan het andere deelmonster is een gelijke hoeveelheid natriumsulfaat toegevoegd en losjes gemengd. Na intrekken gedurende 1 h bij 5 °C is dit mengsel met behulp van een spatel losgemaakt en gemengd.

Alle vier gedroogde monsters zijn volledig ingezet bij de extractie. De verdere procedure is identiek als verricht in het validatie-onderzoek (zie § 3.2). Het geëxtraheerde monster is zonder verdere behandeling nogmaals geëxtraheerd. Na de extractie is aan alle acht extracten een exact bekende hoeveelheid mirex toegevoegd als interne kalibratiestandaard.

De analyseresultaten zijn weergegeven in de Tabellen 13A en 13B van bijlage 1. In Tabel 13A zijn resultaten uitgedrukt in µg/kg d.s. Ten behoeve van de berekening van percentages is aangenomen dat na de herhaalde extractie 100% van de verbindingen is geëxtraheerd. Op deze wijze kan het rendement van de eerste extractie en het aanvullende gedeelte van de herhaalde extractie worden berekend. Deze percentages zijn weergegeven in de Tabel 13B van bijlage 1.

Gemiddeld genomen vertonen beide droogmethoden vrijwel geen verschil. Bij de eerste extractie wordt gemiddeld tussen 84 en 92 % van de verbindingen geëxtraheerd. Met nadruk wordt gesteld dat de matrices die in dit onderzoek zijn opgenomen 'moeilijke' matrices betreffen (12,0 % organische stof, 30-33 % lutum).

Het rendement van de gespikete verbindingen bedraagt 73 – 89 % voor D8-naftaleen en 60 – 76 % voor D10-antraceen. Het verlies van D8-naftaleen is mogelijk veroorzaakt door verdamping tijdens de droogstap. Deze verdamping zal met name voor de gespikete verbindingen optreden, vanwege het feit dat hierbij nog geen binding met de matrix heeft plaatsgevonden. Het verlies aan D10-antraceen is niet zonder meer te verklaren. Verdamping van D10-antraceen is niet aannemelijk, gezien het feit dat deze verbinding minder vluchtig is dan D8-naftaleen. Uit het rendement van de tweede extractie volgt dat ook geen sprake is van een te sterke binding met de matrix waardoor onvoldoende extractierendement wordt gevonden. Het lage terugvindingspercentage van de tweede extractie ligt niet in lijn met de percentages van de niet-gespikete verbindingen.

De keuze van de droogmethode is met deze resultaten min of meer arbitrair. Op grond van praktische overwegingen en op grond van bredere toepassing van deze methode in de literatuur, wordt ervoor gekozen om de droogstap met behulp van natriumsulfaat toe te passen.

3.4 Resumé

De prestatiekenmerken van de onderzochte bepalingmethode zijn in Tabel 3 samengevat.

Tabel 3 **Samenvatting van de resultaten van het onderzoek naar de prestatiekenmerken (A). In de tabel zijn de tevens criteria (bovengrenzen of range) opgenomen uit het Accreditatieprogramma 'Bouwstoffenbesluit onderdeel grond: samenstelling (B).**

type verbinding	aantoonbaarheidsgrens (µg/kg d.s.)	herhaalbaarheid (%)		reproduceerbaarheid (%)		terugvinding (%)	
		A	B	A	B	A	B
PAK	0,1 -3,5	2,8 - 6,5 ¹	<10	7,4 - 21,2 ²	<15	86-93 ³	85-110 ⁵
Nitro-PAK	0,8 - 2,8	8,9 - 16,9		10,5 - 17,3		69 ⁴ -81	
PCB	0,2 - 0,6	3,2 -6,0	<15	6,9 - 13,9	<20	90-93	75-110

¹: naftaleen 9,7%

²: naftaleen 28,9%

³: naftaleen 77%

⁴: 9-nitroantraceen in een van beide monsters slechts 40%

⁵: voor naftaleen, fenantreen, benzo(k)fluorantheen en indeno(123-cd)pyreen geldt: 60-110%

Indien de resultaten van de prestatiekenmerken en de terugvinding (zoals bepaald volgens de gewijzigde werkwijze) aan deze criteria worden getoetst, dan wordt voor het grootste deel van de verbindingen hieraan voldaan. Met nadruk wordt hierbij gesteld dat in het kader van dit onderzoek is uitgegaan van een praktisch waterbodemmonster, in plaats van zand, waarvoor kolom B uit Tabel 3 is opgesteld.

Op het punt van de prestatiekenmerken herhaalbaarheid, reproduceerbaarheid en aantoonbaarheidsgrens wordt de voorgestelde bepalingmethodiek in principe geschikt geacht. Het concentratieniveau waarop de geselecteerde stoffen betrouwbaar kunnen worden aangetoond, bevindt zich ruimschoots onder de in verontreinigingssituaties gangbare niveaus.

Wat betreft de terugvinding komt de methode wellicht voor verbetering in aanmerking. Dit valt echter buiten het kader van dit onderzoek.

Gebleken is dat het de voorkeur verdient om de monsters te drogen met natriumsulfaat alvorens verder op te werken.

Strikt genomen gelden de behaalde resultaten voor de prestatiekenmerken herhaalbaarheid, aantoonbaarheidsgrens en reproduceerbaarheid voor een iets andere methode dan waar voor gekozen wordt, namelijk drogen met magnesiumsulfaat in plaats van natriumsulfaat. Van nadelige invloed op de prestatiekenmerken is dit niet, integendeel. Genoemde prestatiekenmerken zijn tot stand gekomen bij, analytisch gezien, minder gunstige omstandigheden waardoor de gevonden kenmerken als een 'worst-case' kunnen worden beschouwd.

4 Onderzoek aan praktijklocaties

4.1 Inleiding

In dit hoofdstuk worden de vijf locaties beschreven waar het praktijkonderzoek is uitgevoerd. Vervolgens worden de analyseresultaten van de geselecteerde monsters gepresenteerd en besproken. Hierbij wordt eerst gekeken naar de samenstelling van de zoveel mogelijk als 'zuiver' bemonsterde bronnen, dat wil zeggen niet vermengd met of beïnvloed door andere bronnen. Daarna wordt bekeken in hoeverre meetbaar is dat bepaalde gedeelten van de onderzochte waterlopen door meerdere bronnen zijn beïnvloed.

Deze aanpak is uiteraard geënt op de gebruikelijke onderzoeksstrategie, zoals deze wordt gehanteerd bij onderzoeken in het kader van de Wet Bodembescherming. Alvorens de verontreinigingssituatie tot in detail uit te karteren, is een historisch onderzoek uitgevoerd naar de (voormalige) bronnen. Een en ander is vastgelegd in de protocollen voor oriënterend en nader onderzoek. Tevens bestaat er een systematiek voor de bepaling van de urgentie van gevallen van (water)bodemverontreiniging. Het onderzoek zoals dat in dit hoofdstuk wordt beschreven bevat elementen die in de verschillende stadia van het onderzoek in het kader van de Wet Bodembescherming thuishoren. Verwacht wordt dat het feitelijke onderzoek naar de bijdrage van bronnen aan een verontreinigingssituatie in praktijk zal plaatsvinden als de volledige resultaten van het historisch onderzoek alsmede de resultaten van de kartering bekend zijn (en daartoe aanleiding geven).

4.2 De onderzoekslocaties

De volgende locaties zijn geselecteerd voor het praktijkonderzoek:

- Heelsumsebeek, in het beheersgebied van het waterschap Vallei & Eem;
- Schippersvaart te Driebergen, in het beheersgebied van het Hoogheemraadschap De Stichtse Rijnlanden;
- Stadswateren Coevorden, in het beheersgebied van het Zuiveringschap Drenthe;
- Dorpsebeek te Vaassen, in het beheersgebied van het waterschap Veluwe;
- Roer, in het beheersgebied van het Zuiveringschap Limburg.

De twee laatstgenoemde locaties zijn geselecteerd op basis van de waterbodempromblematiek met PCB's, de overige voor het onderzoek met PAK.

In de volgende paragrafen wordt in het kort de verontreinigingssituatie toegelicht.

4.2.1 Heelsumsebeek

De Heelsumsebeek is een circa 3.500 m lange beek, die bij Heelsum in de Rijn uitmondt. De beek is vrijwel altijd watervoerend. De breedte van de beek bedraagt nooit meer dan circa 1,5 m.

In 1994 is een oriënterend onderzoek uitgevoerd naar de waterbodemkwaliteit [17]. Uit dit onderzoek kwam naar voren dat het slib in de beek hoofdzakelijk in klasse 3 wordt ingedeeld ten gevolge van de aangetroffen PAK-gehalten.

Er werden in genoemd rapport ten minste drie bronnen voor PAK onderscheiden: gecreosoteerde oeverbeschoeiing in het bovenstroomse gedeelte van de beek, hemelwater afkomstig van de A50 en twee riooloverstorten (bijlage 2). Het PAK-profiel ten gevolge van de meest bovenstrooms gelegen bron (gecreosoteerde oeverbeschoeiing) is naar verwachting eenvoudig te karakteriseren, aangezien daar geen andere bronnen (bekend) zijn.

Ten behoeve van de karakterisering van het PAK-mengsel afkomstig van het verkeer is gezocht naar een afwateringspunt langs een andere snelweg waar bezinking van zwevende stof, afkomstig van de weg, plaatsvindt in een bezinkput en in bezinkingsvijver. Hiervoor is de locatie langs de A12 in het waterwingebied La Cabine gekozen.

In de Heelsumsebeek zijn tien monsters van de sliblaag genomen, verdeeld over de gehele lengte van de beek. De waterdiepte was het grootst in het bovenstroomse gedeelte van de beek (circa 0,6 m), terwijl benedenstrooms de waterdiepte slechts circa 0,1 m bedroeg. In het algemeen is het slib vrij zandig van samenstelling. De dikte van de sliblaag varieert tussen circa 0,1-0,45 m.

Overigens zijn, ondanks de verwachtingen, tijdens het veldwerk nergens op grote schaal langs de beek gecreosoteerde oeverbeschoeiingen aangetroffen. Slechts in de bovenloop van de beek bevinden zich enkele oude houten palenrijen ter verdediging van de oever.

4.2.2 Schippersvaart

De Schippersvaart is een circa 1.000 m lange sloot, tussen Driebergen en de Langbroekerwetering. De breedte van de sloot bedraagt enkele meters. De vaart is een primaire watergang voor ontwatering en doorvoer, heeft als functie natuur en landschap en als nevenfunctie water voor de land- tuin- en bosbouw. Aan de kant van Driebergen staat de vaart in open verbinding met enkele vijvers, waarop riooloverstorten uitkomen. Enige jaren geleden is 'schoon' slib uit deze vijvers verwijderd. Aan de andere zijde staat de vaart in open verbinding met de Langbroekerwetering. Het water in de Langbroekerwetering stroomt in noordwestelijke richting. In het slib van de Langbroekerwetering nemen de PAK-gehalten in stroomafwaartse richting toe [3]. Tot medio jaren zeventig is bedrijfsafvalwater afkomstig van een koolteerverwerkende kurkplatenfabriek geloosd op de vaart. Het is bekend dat de fabriek een aantal malen is afgebrand, waarbij vermoedelijk bluswater en koolresten in het oppervlaktewater zijn terechtgekomen [4]. Najaar 1997 werden in het slib van de betreffende sloot nog steeds bijzonder hoge PAK-gehalten aangetroffen (klasse 4). De karakterisering van het PAK-profiel zal eenvoudig kunnen worden uitgevoerd ter plaatse van de voormalige vestigingsplaats van de fabriek.

In de Schippersvaart zijn vijf monsters van de sliblaag genomen (bijlage 3). De dikte van de sliblaag bedroeg gemiddeld circa 0,5 m, de waterdiepte 0,2-0,3 m. De dikte van de sliblaag in de Langbroekerwetering varieert tussen 0,2 en 0,6 m. Dit slib is lokaal sterk zandig.

4.2.3 Stadswateren Coevorden

Rondom de kern van Coevorden ligt een stelsel van grachten/kanalen. Met uitzondering van het Grachtenpark, hebben alle wateren de scheepvaart- en afwateringsfunctie. Het Grachtenpark, een voormalige stadsgracht, dient nu als parkvijver en is ontvangend oppervlaktewater voor enkele riooloverstorten. De breedte van de kanalen varieert tussen 18 en 35 m. De diepte varieert tussen 1,8 en 3 m. In het algemeen stroomt het water langzaam in zuidwestelijke richting met een stromingssnelheid lager dan 0,2 m/s. In 1980 is een aantal waterlopen (deels) gebaggerd. Uit een nader onderzoek is gebleken dat het slib in vrijwel alle stadswateren van Coevorden in meer of in mindere mate verontreinigd is. Veelvoorkomende verontreinigende stoffen zijn: PAK, koper, lood, zink en nikkel [6].

In het stelsel van kanalen zijn diverse PAK-bronnen 'actief' geweest: gasfabriek (Melkkade), rwzi (Binnengracht), riooloverstorten (Grachtenpark) en scheepswerven (Stieltjeskanaal en Afwateringskanaal). De samenstelling van de individuele bronnen is zoveel mogelijk in de directe nabijheid van de bronnen onderzocht, waarbij specifiek het slib langs de oever, waar de voormalige lozing heeft plaatsgevonden, is bemonsterd. De bijdrage van de diverse bronnen aan de totale verontreinigingssituatie is onderzocht in het Afwateringskanaal waar de verschillende stadswateren samen komen.

In de stadswateren van Coevorden zijn in eerste instantie in totaal 18 monsters van de sliblaag genomen (bijlage 4). De slibdikte vertoont grote verschillen. De dikte van de sliblaag bedroeg 0,2-0,4 m in het Stieltjeskanaal, terwijl in de overige watergangen slibdiktes tussen 0,5 en 1 m werden aangetroffen.

Grotere slibdiktes tot circa 1,5 m werden lokaal aangetroffen in de Binnengracht en het Afwateringskanaal. In het algemeen is het slib matig slap, lokaal iets steviger door de aanwezigheid van zand. In tweede instantie zijn monsters genomen van drie locaties in Coevorden waarbij erop is gelet dat het verticale bemonsteringstraject maximaal 0,5 m bedraagt.

4.2.4 Dorpse beek

Het beekstelsel heeft een lengte van circa 6 km en ontspringt op de Veluwe en mondt uit in de Grift. De beek is vrijwel altijd watervoerend. De bodembreedte bedraagt maximaal circa 2,5 m, de diepte maximaal circa 0,5 m.

Op de beek hebben in het verleden twee grote lozingen van bedrijfsafvalwater plaatsgevonden [11]. Beide zijn inmiddels beëindigd. De twee lozingen bevatten beide PCB's, zij het met een verschillende chloreringsgraad. De twee oorspronkelijke mengsels zijn naar verwachting goed separaat te bemonsteren en te analyseren. Het meest bovenstrooms gelegen lozingspunt betreft een papierfabriek. De lozing vond plaats tot begin jaren zeventig.

Het andere lozingspunt betreft een aluminiumfabriek. De lozing is stopgezet eind zeventiger jaren. Vervolgens hebben er wel nog calamiteiten plaatsgevonden. Ter plaatse van het lozingspunt is de oever en de vaste bodem onder de sliblaag tot een diepte van enkele meters sterk verontreinigd met onder andere PCB's. Hiervan wordt vermoed dat het mengsel karakteristiek is voor het effluent van de aluminiumfabriek. In slibmonsters benedenstrooms van het tweede lozingspunt is de bijdrage van beide lozingen aan de totale verontreinigingssituatie onderzocht.

In totaal zijn, in het kader van dit onderzoek in de Dorpsebeek in slib en oevergrond 13 monsters genomen (bijlage 5). De sliblaag, die overal sterk zandig is ontwikkeld, heeft een dikte die varieert tussen 0,2 en 0,5 m. Op een aantal plaatsen is, conform het onderzoek van Oranjewoud [12], alleen de diepere sliblaag bemonsterd en niet het zandige top laagje (10 à 20 cm).

Ter plaatse van de voormalige aluminiumfabriek is een boring geplaatst in de oever. In dit zandige profiel was op circa 0,8 m -mv een oliedrijflaag aanwezig. In de oude beekbedding (nu een droge greppel), waar de monsterpunten DBV 10 en 11 zijn genomen, werd eveneens een oliedrijflaag aangetroffen.

4.2.5 Roer

Het is bekend dat zowel het slib in de Roer als in de Maas verontreinigd is met PCB's. De PCB's in de Roer zijn grotendeels afkomstig uit Duitsland en worden in verband gebracht met het gebruik van PCB's in hydraulische vloeistoffen in de Duitse bruinkoolmijnen. Het mengsel is laag gechloreerd. De PCB's die worden aangetroffen in de Maas zijn van een zwaarder mengsel. De bron(nen) ligt (liggen) vermoedelijk op Belgisch grondgebied.

Ten behoeve van het onderzoek in de Roer zijn enkele oude rivierarmen en uiterwaarden bemonsterd, dus geen slib. Op alle locaties (bijlage 6) is steeds de bovenste 5 à 10 cm bemonsterd. De door de Maas en de Roer aangevoerde mengsels zijn onderzocht met behulp van monsters afkomstig van respectievelijk de uiterwaarden (stroomopwaarts van Roermond, monsternummers ROER 5-8) en oude meanders van de Roer, waarvan het bekend is dat er met PCB verontreinigd slib is afgezet [21]. De invloed van beide mogelijke bronnen is onderzocht in het overstromingsgebied waar beide rivieren voor beïnvloeding kunnen hebben gezorgd. Hiervoor is in overleg met het Waterschap Roer en Overmaas gekozen voor monsternamen op het laaggelegen onderhoudspad van de Hambeek, ten zuiden Roermond (ROER 9-12).

Dit gebied valt binnen het inundatiegebied van de Maas dat één maal per twee jaar wordt overstroomd [16]. Met name voor een aantal van de laatstgenoemde monsterpunten werd door de veldploeg aangegeven dat het bodemprofiel vergraven/vermengd is. In tweede instantie zijn nog enkele monsters van de uiterwaarden bij Borghaven en Eijsden (Zuid-Limburg) genomen.

4.3 Analyseresultaten

Voor iedere locatie is in eerste instantie een beperkt aantal monsters geselecteerd. Hierbij is gelet op de representativiteit qua ligging en ongestoorde bodemopbouw.

De analyseresultaten staan per locatie in de Tabellen 14 - 18 van bijlage 7 weergegeven. In een aantal gevallen zijn berekeningen uitgevoerd met de analyseresultaten: bijvoorbeeld berekening PAK-totaal, verhoudingen, bijdrage tetrachloorbiphenylen aan het totaal PCB-gehalte. In alle voorkomende gevallen is met 'kleiner dan de bepalingsgrens' gerekend als $0,5 \cdot \text{bepalingsgrens}$ met uitzondering van de totaal-gehalten zoals deze zijn vermeld in bijlage 7.

Overigens konden slechts in een zeer beperkt aantal monsters niet alle geselecteerde stoffen worden bepaald.

De berekeningsresultaten staan in tabelvorm in de hoofdttekst.

4.3.1 Heelsumsebeek

De van te voren in de Heelsumsebeek onderscheiden bronnen waren:

- gecreosoteerde oeverbeschoeiing in de bovenloop;
- verkeersemmissie vanaf de snelweg A50. Om deze bron separaat te onderzoeken is tevens een bezinkput langs de A12 bemonsterd [9];
- twee riooloverstorten in de benedenloop van de beek. Voor dit type bron geldt uiteraard dat meerdere bronnen aan het PAK-mengsel kunnen bijdragen.

Uit de analyseresultaten blijken de PAK-gehalten in absolute zin toe te nemen in stroomafwaartse richting. Opgemerkt wordt dat de verontreinigingsgraad (klasse 0-2) overigens beduidend lager is dan is geconstateerd in het oriënterend onderzoek [17]. De reden hiervoor is niet bekend. Het PAK-patroon vertoont eveneens trends in stroomafwaartse richting:

- de procentuele bijdrage van de nitro-PAK aan het PAK-totaalgehalte neemt af in stroomafwaartse richting (van circa 10% tot circa 1%). Dit betekent dat er geen piek waarneembaar is in de nabijheid van de lozing van het rioleringswater van de A50;
- de verhouding fenantreen/antraceen is bovenstrooms hoger dan benedenstrooms.

Voor de meest bovenstrooms gelegen monsters werd verwacht dat de invloed van gecreosoteerde oeverbeschoeiing waarneembaar zou zijn. Dit zou met name gekarakteriseerd moeten worden door een relatief hoge bijdrage van lichte PAK-verbindingen (2 en 3 aromatische ringen) aan het totaal. Hiervan is echter niet of nauwelijks sprake (Tabel 4). Opvallender in beide monsters is echter de relatief hoge bijdrage van nitro-PAK. Het gemiddelde van beide monsters, circa 8% nitro PAK-aandeel op het PAK-totaalgehalte, komt het dichtst van de onderzochte monsters in de buurt van het percentage dat is gevonden in het slib van een bezinkput langs de A12, La Cabine (13%). Dit gegeven doet het vermoeden rijzen dat voor het slib in de bovenloop van de Heelsumsebeek momenteel als belangrijkste PAK-bron de verkeersemmissie vanaf de A50 *via de lucht* geldt.

Tabel 4 *Bewerking van de PAK-gegevens voor de Heelsumsebeek*

Verhouding	HEEL-1 bovenloop	HEEL-2 bovenloop	HEEL-4 voor lo- zingspunt snelweg	HEEL-6 na lozings- punt snel- weg	HEEL-9 vlak voor de Rijn	HEEL-10 na rioolo- verstort	cabine-1 bezinkput langs A12
bep/bap	0,76	0,89	1,02	1,55	1,22	0,97	1,49
fen/met.fen	5,10	6,62	5,78	6,41	5,25	8,58	2,59
coron%PAK	0,37	0,74	1,36	0,61	0,37	1,05	4,34
lichte PAK	4,3	6,5	2,2	0,8	4,8	4,2	2,0
%nitroPAK	10,5	7,0	7,4	3,7	2,9	0,7	13,4
fla/pyr	1,22	1,18	1,21	1,19	1,34	1,18	1,11
fen/ant	4,68	6,62	3,23	4,27	3,65	3,65	4,06
nitro/antr	0,75	2,00	1,88	0,23	0,09	0,03	1,08
nitro/fluor	0,35	0,11	0,15	0,07	0,06	0,02	0,11
nitro/pyr	0,55	0,37	0,25	0,27	0,18	0,02	1,13

<i>bep:</i>	<i>benzo(e)pyreen</i>
<i>bap:</i>	<i>benzo(a)pyreen</i>
<i>fen:</i>	<i>fenantreen</i>
<i>metfen:</i>	<i>2-methylfenantreen</i>
<i>coron%PAK:</i>	<i>coroneen als percentage van PAK-totaal</i>
<i>lichte PAK:</i>	<i>som PAK met 2 aromaatringen als percentage van PAK-totaal</i>
<i>%nitroPAK:</i>	<i>nitroPAK als percentage van PAK-totaal</i>
<i>fla:</i>	<i>fluoranteen</i>
<i>pyr:</i>	<i>pyreen</i>
<i>ant:</i>	<i>antracene</i>
<i>nitro/antr:</i>	<i>verhouding tussen 9-nitroantracene en antracene</i>
<i>nitro/fluor:</i>	<i>verhouding tussen 3-nitrofluoranteen en fluoranteen</i>
<i>nitro/pyr:</i>	<i>verhouding tussen 1-nitropyreen en pyreen</i>

Uit de waargenomen tendens in de verhouding fenantreen/antracene valt niet eenduidig de bijdrage van (een) bepaalde bron(nen) af te leiden. Hiervoor zijn de gevonden waarden niet uiteenlopend genoeg.

Samenvattend kan voor het onderzoek in de Heelsumsebeek worden gesteld dat er wel een zekere overeenkomst is aangetroffen tussen het direct door verkeersemissies beïnvloede slib van La Cabine, maar dat deze mogelijke overeenkomst in PAK-profiel niet is aangetroffen op de verwachte locatie (afwatering A50). Voor de andere vermoede bronnen, gecreosoteerde oeverbeschoeiing en riooloverstorten, konden geen kenmerkende profielen worden vastgesteld.

4.3.2 Schippersvaart

In de Schippersvaart is sprake van één bron, een kurkplatenfabriek. Toch zijn er meerdere PAK-profielen mogelijk, gezien de historie van de fabriek:

- er heeft lozing van ongezuiverd afvalwater plaatsgevonden met mogelijk teerresten;
- de fabriek is meerdere malen afgebrand.

De monsters LBW 1, 2 en 3 zijn afkomstig van de Schippersvaart en zijn rechtstreeks gekoppeld aan de activiteiten van de fabriek. LBW 5 is afkomstig uit de Schippersvaart maar is niet gelegen direct aan het fabrieksterrein. De monsters LWB 8-9 en 6-7 zijn respectievelijk stroomop- en stroomafwaarts genomen van de Schippersvaart in de Langbroekerwetering en zijn derhalve representatief voor Langbroekerweteringslib zonder en met mogelijke beïnvloeding vanuit de Schippersvaart.

Uit de analysesresultaten blijkt dat de drie meetpunten LBW 1, 2 en 3 in het algemeen een redelijk overeenkomstig PAK-profiel bezitten.

Met name de verhouding van benzo(e)pyreen /benzo(a)pyreen en fenantreen /methylfenantreen zijn voor deze drie monsters overeenkomstig (Tabel 5). In absolute zin is eerstgenoemde verhouding indicatief voor koolteer, hetgeen inderdaad door de betreffende kurkplatenfabriek veelvuldig is toegepast en geloosd. De twee andere in Tabel 2 genoemde verhoudingen (fenantreen/antraceen en fluoranteen/pyreen), die als representatief gelden voor koolteer, komen eveneens redelijk in de buurt van de literatuurwaarden.

In de onderzochte monsters zijn geen aanwijzingen voor een substantiële bijdrage van verbrandingsproducten gevonden (gerepresenteerd als houtverbranding in Tabel 2).

Tabel 5 *Bewerking van de PAK-gegevens voor de Schippersvaart*

Verhouding	LBW-1 tpv fabriek	LBW-2 tpv fabriek	LBW-3 tpv fabriek	LBW-5 bovenstrooms van lozings- punt	LBW-6 Langbroeker- wetering bene- denstrooms van Schippers- vaart	LBW-7 Langbroeker- wetering bene- denstrooms Schippersvaart	LBW-8 Langbroeker- wetering boven- strooms Schip- persvaart	LBW-9 Langbroeker- wetering boven- strooms Schip- persvaart
bep/bap	0,91	0,91	0,94	1,13	0,89	0,87	0,89	0,96
fen/met.fen	8,12	7,33	7,33	17,36	6,5	7,90	5,3	3,98
coron%PAK	0,84	1,33	1,49	2,04	1,5	0,97	1,4	0,61
lichte PAK	3,5	2,0	1,6	1,9	1,9	1,7	1,3	2,4
%nitroPAK	1,1	0,5	0,3	0,5	0,9	0,9	-	1,3
fla/pyr	1,26	1,14	1,07	0,87	1,20	1,26	1,27	1,58
fen/ant	3,03	2,45	2,48	2,91	2,23	3,17	3,0	2,83
nitro/antr	0,01	0,04	0,01	0,11	0,08	0,01	-	0,14
nitro/fluor	0,06	0,02	0,02	0,01	0,03	0,05	-	0,02
nitro/pyr	0,02	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	-	0,10

<i>bep:</i>	<i>benzo(e)pyreen</i>
<i>bap:</i>	<i>benzo(a)pyreen</i>
<i>fen:</i>	<i>fenantreen</i>
<i>metfen:</i>	<i>2-methylfenantreen</i>
<i>coron%PAK:</i>	<i>coronee als percentage van PAK-totaal</i>
<i>lichte PAK:</i>	<i>som PAK met 2 aromaatringen als percentage van PAK-totaal</i>
<i>%nitroPAK:</i>	<i>nitroPAK als percentage van PAK-totaal</i>
<i>fla:</i>	<i>fluoranteen</i>
<i>pyr:</i>	<i>pyreen</i>
<i>ant:</i>	<i>antraceen</i>
<i>nitro/antr:</i>	<i>verhouding tussen 9-nitroantraceen en antraceen</i>
<i>nitro/fluor:</i>	<i>verhouding tussen 3-nitrofluoranteen en fluoranteen</i>
<i>nitro/pyr:</i>	<i>verhouding tussen 1-nitropyreen en pyreen</i>

Monster LBW 5 lijkt niet sterk te zijn beïnvloed door de lozingen van de kurkplatenfabriek. Mogelijk is de overheersende stromingsrichting sterk genoeg om het verontreinigde slib in de richting van de Langbroekerwetering te verplaatsen.

In het slib van de Langbroekerwetering zijn grote verschillen aanwezig tussen het punt boven- en benedenstrooms van de Schippersvaart. Het PAK-totaalgehalte gaat van 2 à 4 mg/kg d.s. naar 16 à 35 mg/kg d.s. De verhoudingen van onder andere fenantreen/methylfenantreen (van 4,5 naar ruim 7) en fluoranteen/pyreen (van 1,4 naar 1,2) gaan sterk in de richting van de waarden van het slib in de Schippersvaart. Uit dit gegeven, gecombineerd met de toename in het absoluut PAK-gehalte, wordt voorzichtig geconcludeerd dat vanaf het punt waar de Schippersvaart in de Langbroekerwetering komt, de lozing vanuit kurkplatenfabriek de belangrijkste (voormalige) PAK-bron is.

4.3.3 Stadswateren Coevorden

In de Stadswateren van Coevorden zijn meerdere voormalige bronnen te onderscheiden:

- scheepswerven: een scheepswerf in het Stieltjeskanaal, en een scheepswerf aan het Afwateringskanaal;
- een gasfabriek aan de Melkkade
- een rioolwaterzuiveringsinrichting
- diverse riooloverstorten in het Grachtenpark

Gezien de overheersende stromingsrichting in de stadswateren is de verwachting dat alle beïnvloedingen merkbaar zullen zijn in het Afwateringskanaal.

Tabel 6A *Bewerking van de PAK-gegevens voor de stadswateren te Coevorden; monsters van de gehele sliblaag*

Verhouding ¹⁾	COEV-2 Stieltjes- kanaal scheeps- werf	COEV-6 Grachten- park rioolover- stort	COEV-8 Melkkade gasfabriek	COEV-12 Binnen- gracht na rwzi	COEV-13 Afwaterings kanaal	COEV-16 Afwaterings kanaal	COEV-18 Afwaterings kanaal scheeps- werf
bep/bap	0,89	0,86	0,89	0,81	0,83	1,00	0,87
fen/met.fen	6,15	18,36	6,27	8,79	10,10	7,21	9,51
coron%PAK	1,41	0,77	0,42	0,13	0,12	0,14	1,25
lichte PAK	4,4	3,0	4,3	3,7	9,5	5,4	6,1
%nitroPAK	1,4	1,2	0,7	0,5	0,8	1,0	1,1
fla/pyr	1,22	1,36	1,22	1,29	1,23	1,26	1,30
fen/ant	2,39	2,18	2,18	3,43	2,56	3,15	4,40
nitro/antr	0,06	0,10	0,02	0,04	0,05	0,24	0,08
nitro/fluor	0,02	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01	0,04
nitro/pyr	0,07	0,07	0,03	0,02	0,03	0,03	0,04

<i>bep:</i>	<i>benzo(e)pyreen</i>
<i>bap:</i>	<i>benzo(a)pyreen</i>
<i>fen:</i>	<i>fenantreen</i>
<i>metfen:</i>	<i>2-methylfenantreen</i>
<i>coron%PAK:</i>	<i>coroneen als percentage van PAK-totaal</i>
<i>lichte PAK:</i>	<i>som PAK met 2 aromaatringen als percentage van PAK-totaal</i>
<i>%nitroPAK:</i>	<i>nitroPAK als percentage van PAK-totaal</i>
<i>fla:</i>	<i>fluoranteen</i>
<i>pyr:</i>	<i>pyreen</i>
<i>ant:</i>	<i>antraceen</i>
<i>nitro/antr:</i>	<i>verhouding tussen 9-nitroantraceen en antraceen</i>
<i>nitro/fluor:</i>	<i>verhouding tussen 3-nitrofluoranteen en fluoranteen</i>
<i>nitro/pyr:</i>	<i>verhouding tussen 1-nitropyreen en pyreen</i>

Tabel 6B *Bewerking van de PAK-gegevens voor de stadswateren te Coevorden; monsters van verticale trajecten van 0,5 m per boring*

	COEV 2A-1 0,0-0,55m	COEV 2A-2 0,55-1,10m	COEV 7A-1 0,0-0,5m	COEV 7A-2 0,5-1,0m	COEV 11A-1 0,0-0,5m	COEV 11A-2 0,5-1,0m	COEV 11A-3 1,0-1,5m
bep/bap	0,82	0,94	0,78	0,79	0,95	0,92	0,98
fen/met.fen	4,94	8,78	6,61	11,39		15,66	4,94
coron%PAK	1,32	0,80	1,88	1,47	1,85	2,07	1,40
lichte PAK	5,9	5,9	2,0	3,4	4,8	3,0	3,0
%nitroPAK	2,6	2,5	0,8	0,7	0,7	0,9	2,2
fla/pyr	1,22	1,26	1,01	1,08	1,21	1,19	1,21
fen/ant	2,40	2,59	1,26	1,63	2,50	3,03	2,78
nitro/ant	0,02	0,02	0,01	0,02	0,12	0,03	0,07
nitro/fluor	0,01	0,05	0,01	0,01	0,02	0,03	0,03
nitro/pyr	0,01	0,03	0,01	0,01	0,02	0,03	0,04

Uit de analyseresultaten (Tabel 6A) blijkt dat het 'overall' PAK-gehalte in het slib van de stadswateren Coevorden hoog is. Bovendien is een aantal 'hot spots' aan te wijzen:

- de scheepswerf in het Stieltjeskanaal (PAK totaal circa 78 mg/kg d.s.);
- ter plaatse van de voormalige gasfabriek (PAK totaal circa 64 mg/kg d.s.);
- de scheepswerf ter plaatse van het Afwateringskanaal (PAK totaal circa 48 mg/kg d.s.).

Hieruit kan worden afgeleid dat, ook na het baggeren, de beïnvloeding door een aantal voormalige bronnen nog goed merkbaar is in de huidige slibkwaliteit: de absolute gehalten zijn beduidend hoger dan elders in de stadswateren. Op een beperkt aantal uitzonderingen na is hiervan echter weinig te merken in de PAK-profielen die opmerkelijk uniform zijn in de geselecteerde monsters. Zo is bijvoorbeeld het verwachte dominante voorkomen van lichte PAK in het monster ter plaatse van de ligging van de voormalige gasfabriek niet herkenbaar.

Een afwijkende benzo(e)pyreen/benzo(a)pyreen verhouding ter plaatse van de voormalige rioolwaterzuiveringsinrichting is niet aangetroffen. Eenduidige aanwijzingen voor teer, toegepast als coating op scheepshuiden in scheepswerven, zijn er al evenmin (Tabel 6).

Opgemerkt wordt dat de in alle slibmonsters relatief constante verhoudingen van benzo(e)pyreen/benzo(a)pyreen, fluoranteen/pyreen en fenantreen /antraceen de mogelijkheid open laten dat voor het slib in alle stadswateren van Coevorden, uitlozing van teer van scheepshuiden als één van de mogelijke bronnen geldt.

De hierboven bedoelde uitzonderingen betreffen het aandeel van coroneen aan het totaal PAK-gehalte, alsmede het aandeel nitroPAK aan het totaalgehalte. Het percentage coroneen bedraagt ter plaatse van beide scheepswerven gemiddeld 1,3%, terwijl het in geen enkel ander monster 0,5% overschrijdt, met uitzondering van COEV 6 ter plaatse van de riooloverstorten: 0,8%. Een soortgelijke tendens is aanwezig bij de nitroPAK, al zijn hier de verschillen wat kleiner. Mogelijk is hier sprake van een verhoogde bijdrage van uitlaatgassen aan het PAK-totaalgehalte, waarvoor zowel coroneen als nitroPAK indicatief is.

Meerdere monsters per boring

Op drie locaties in de stadswateren van Coevorden zijn aanvullende monsternames uitgevoerd teneinde na te gaan of het PAK-profiel in de diepte varieert. De drie monsterlocaties zijn: COEV 2 (scheepswerf), COEV 7 (gasfabriek) en COEV 11 (rwzi). Ten behoeve van het onderscheid met de monsters van de gehele sliblaag hebben de monsters van een bepaald diepte-interval de toevoeging 'A' gekregen. In Tabel 6B zijn de resultaten weergegeven.

Voor alle drie locaties geldt dat de gemiddelde absolute gehalten van de twee of drie 'A'-monsters per boring niet goed overeenkomen met de gehalten die zijn gemeten in de totale sliblaag. In het algemeen zijn de gehalten lager. Dit kan mogelijk worden verklaard door een grote heterogeniteit in de sliblaag.

Het opsplitsen van de gehele sliblaag in deelmonsters in verticale richting heeft geen grote invloed op bovenstaande interpretatie. Eenduidige relaties tussen bron en PAK-profiel zijn ook nu niet zichtbaar. Wel zijn trends zichtbaar die mogelijk verband houden met de historische lozingen:

- ter plaatse van de gasfabriek is het aandeel van lichte PAK, met name antraceen, in het diepste monster het hoogst;
- de historische belasting van PAK door de lozing van onverbrande fossiele brandstoffen door de gasfabriek en scheepswerf wordt gereflecteerd door de hogere fenantreen/2-methylfenantreen verhouding in het diepste monster.

Samenvattend kan voor de onderzoekslocatie worden opgemerkt dat de gemeten PAK-profielen veel minder variaties vertonen dan van te voren werd verwacht. De aanwijzingen voor de bijdrage van bepaalde bronnen zijn eerder vaag dan eenduidig te noemen. Als mogelijke oorzaken kunnen worden genoemd de 'overall' beïnvloeding vanuit de scheepvaart en de uitgevoerde baggerwerkzaamheden rond 1980.

4.3.4 Dorpse beek

Het 'zuivere' PCB-mengsel afkomstig van de papierfabriek is gemeten in de monsters van het traject bovenstrooms van de aluminiumfabriek (monsternr's DBV 1 en 3). Het zuivere PCB-mengsel afkomstig van de aluminiumfabriek is bemonsterd in een boring in de vaste bodem van de beek en op de oever ter plaatse van het voormalige lozingspunt van deze fabriek (DBV 6 en 7 respectievelijk DBV 12). De monsters DBV 8-11 representeren het traject waar in principe beide beïnvloedingen merkbaar kunnen zijn geweest.

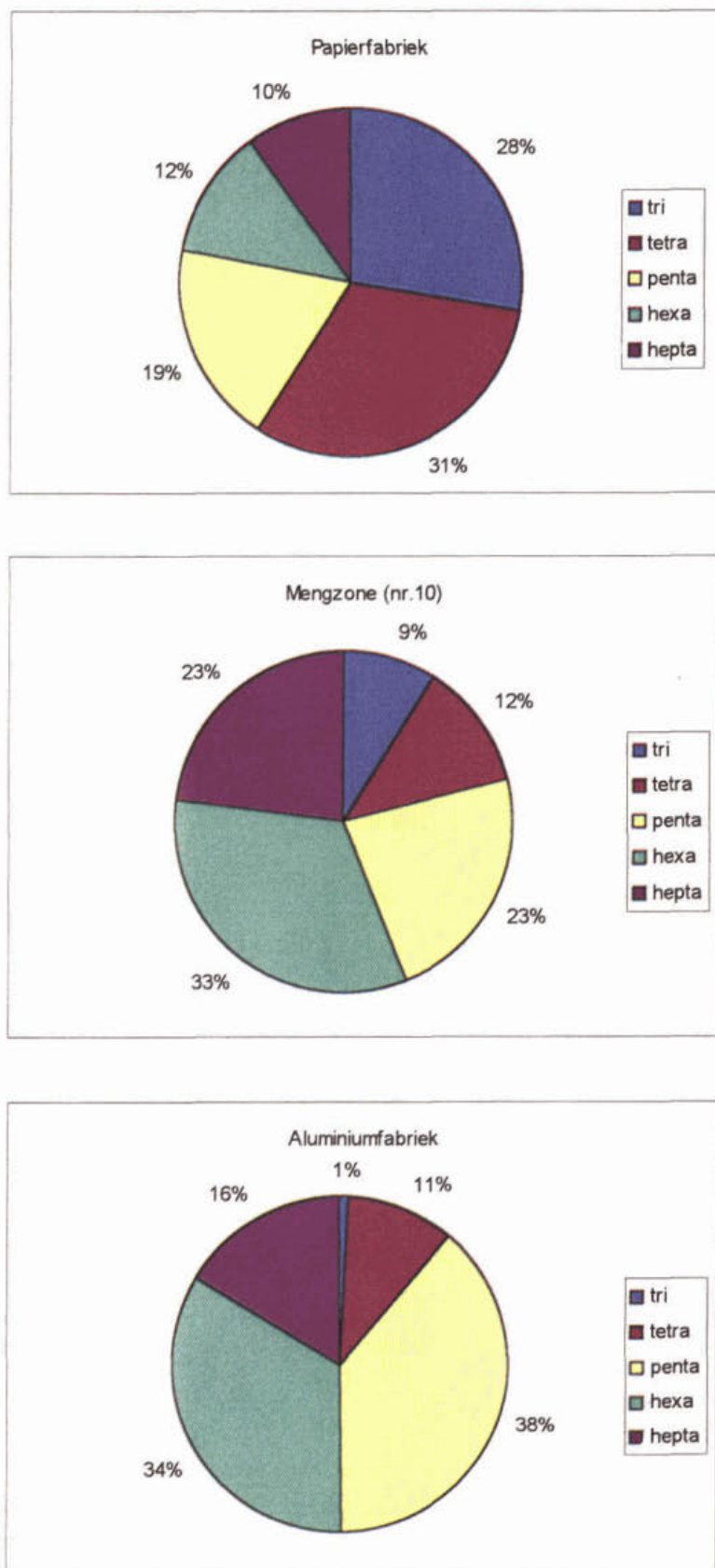
Uit de analyseresultaten blijkt dat de PCB-gehalten bijzonder hoog zijn: het hoogst aangetroffen gehalte bedraagt 54 mg/kg d.s. (som 14 PCB's) in een monster van de oever ter plaatse van de voormalige lozing van de aluminiumfabriek (DBV 12). In het slib van de beek is maximaal 44 mg/kg d.s. aangetroffen: DBV 1, alleen beïnvloeding vanuit de voormalige papierfabriek.

Beide bronnen zijn goed van elkaar te onderscheiden. In Tabel 7 zijn de PCB's met dezelfde chloreringsgraad gegroepeerd en als percentage van het totaalgehalte weergegeven (zie ook figuur 1). In figuur 1 is het gemiddelde weergegeven van monsterpunten die kenmerkend zijn voor één van beide bronnen. Hexa- en heptachloorbifenylen dragen voor gemiddeld circa 50% (46-57%) bij aan het PCB-mengsel afkomstig van de aluminiumfabriek, terwijl dit percentage in het mengsel afkomstig van de papierfabriek 22% (18-26%) bedraagt.

Tabel 7 *Bewerking van de PCB-gegevens voor de Dorpsebeek. De PCB's met eenzelfde chloreringsgraad zijn weergegeven als percentage van het totaalgehalte. P=papierfabriek, A= aluminiumfabriek*

	DBV-1 slib bo- venloop papierfabriek	DBV-3 slib boven- loop papier- fabriek	DBV-6 vaste bodem aluminium- fabriek	DBV-7 vaste bodem aluminium- fabriek	DBV-12 oever tpv aluminium- mfabriek	DBV-8 slib stroom- afwaarts alumi- niumfabriek	DBV-9 slib stroom- afwaarts alumi- niumfabriek	DBV-10 greppel vm. Beekbedding stroom- afwaarts van aluminium- fabriek	DBV-11 slib stroomaf- waarts alumi- niumfabriek
	P	P	A	A	A	A+P	A+P	A+P	A+P
tri	16	39	1	1	0	2	2	9	3
tetra	33	30	9	12	11	13	6	12	8
penta	25	13	33	38	43	37	20	23	24
hexa	15	9	31	39	33	31	39	33	37
hepta	11	9	26	10	13	17	33	23	28

In de monsterpunten die stroomafwaarts zijn gelegen van de tweede bron in de mengzone wordt een verschillend PCB-patroon aangetroffen. DBV 8 is vrijwel identiek aan DBV 6 en 7, zodat deze PCB-verontreiniging vrijwel volledig wordt verklaard door het tweede lozingspunt. De PCB-mengels van DBV 9 en 11 lijken eveneens het meest op het mengsel afkomstig van de aluminiumfabriek, zeker voor wat betreft de laaggechlorideerde PCB's. DBV 10 daarentegen geeft een gemengd patroon weer: het percentage (tri+tetra)chloorbifenylen bedraagt circa 20%, terwijl dit voor de oorspronkelijke mengsels van beide bronnen respectievelijk 60% (DBV 1 en 3) en 10% (DBV 6, 7 en 12) is. Op basis van de aangetroffen percentages tri- en tetrachloorbifenylen in de mengzone (A+P) kan de relatieve bijdrage van beide bronnen indicatief als volgt worden ingeschat: maximaal 20% papierfabriek en minimaal 80% aluminiumfabriek (DBV-10), tot maximaal 10% papierfabriek en minimaal 90% aluminiumfabriek (overige locaties in de mengzone).



Figuur 1 Verdeling PCB-mengsel op basis van het aantal chlooratomen voor monsters uit de Dorpsebeek

Papierfabriek: gemiddelde van DBV 1 en 3;
 Mengzone: DBV 10;
 Aluminiumfabriek: gemiddelde van DBV 6,7 en 12.

Het resultaat van deze indicatieve berekening is gevoelig voor eventuele analytische onnauwkeurigheden voor één van de tri- of tetrachloorbifenylen. Bovendien kunnen verschillen in het berekeningsresultaat optreden als wordt gekeken naar het percentage (hexa + hepta) chloorbifenylen in plaats van naar de laaggechlorerde PCB's.

Deze bezwaren treden in mindere mate op indien de chloreringsgraad van het gemeten PCB-gehalte in een monster wordt uitgedrukt als één getal: het gewichtspercentage van het totaal-PCB-gehalte dat uit chloor bestaat. Dit getal is eenvoudig te bepalen door (op basis van de molgewichten) voor iedere individuele PCB het gewichtspercentage chloor te berekenen, dit vervolgens te vermenigvuldigen met de gewichtsfractie van de betreffende PCB op het totaal PCB gehalte en ten slotte te sommeren voor alle PCB's.

In formule met PCB 26, een trichloorbifenyl als voorbeeld:

$$\frac{3 * m_{Cl} * \text{gehaltePCB26}}{m_{PCB26} * \text{totaalPCB} - \text{gehalte}}$$

Hierin zijn m_{Cl} en m_{PCB26} respectievelijk het atoomgewicht van chloor (35,5) en het molekulgewicht van PCB 26 (257,5). Het gewichtspercentage chloor in het gehele mengsel komt door sommatie voor alle individuele PCB's tot stand:

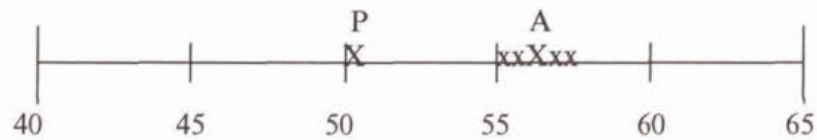
$$\text{gew. \% Cl} = \sum_{n=3}^{n=7} \frac{n * m_{Cl}}{m_{PCBx}} * \frac{\text{gehaltePCBx}}{\text{totaalPCB} - \text{gehalte}}$$

Hierin is n het aantal chlooratomen per PCB.

Het voordeel van deze berekeningswijze is dat alle gemeten PCB's worden gebruikt en dat een analytische onnauwkeurigheid in één van de gemeten stoffen minder zwaar doortelt. Hieronder staan de berekeningsresultaten voor de negen monsters uit de Dorpse beek:

locatie	Monster	gew. % Cl
Papierfabriek; gemiddelde 50,3	1	52,0
	3	48,7
Aluminiumfabriek; gemiddelde 56,6	6	57,4
	7	56,1
	12	56,2
Mengzone	8	56,2
	11	57,7
	9	58,4
	10	55,9

De resultaten staan grafisch weergegeven in figuur 2. Uit deze resultaten blijkt dat beide eindleden goed van elkaar zijn te onderscheiden. In monsternr. 10 lijkt als enige uit de mengzone, een bijdrage van de papierfabriek merkbaar te zijn. Deze bijdrage wordt berekend op circa 10%, op basis van de chloreringsgraad van het gehele monster ($0,1 * 50,3 + 0,9 * 56,6$).



Figuur 2 Grafische weergave van de PCB-karakterisering van de monsterpunten in de Dorpse beek op basis van de chloreringsgraad (P=papierfabriek, A=Aluminiumfabriek, x='mengzone' A+P).

Teneinde de bijdrage van beide lozingen op de volledige verontreinigingssituatie in de beek in te schatten dienen uiteraard veel meer monsters op deze wijze geëvalueerd te worden. Bovendien dient in dat geval opgelost te worden waarom in DBV 8, 9 en 11 niet of nauwelijks een bijdrage van de papierfabriek wordt aangetroffen. Een mogelijke verklaring is gelegen in het feit dat de papierfabriek tot omstreeks 1970 heeft geloosd en de aluminiumfabriek tot in de tachtiger jaren. Het is goed denkbaar dat tussen beide momenten slib is verwijderd uit de Dorpse beek (in verband met onderhoud) waardoor de bijdrage van de papierfabriek tenminste gedeeltelijk 'onzichtbaar' is geworden. DBV-10 is afkomstig uit een oude loop van de beek, die is gedempt. Vermoedelijk heeft hier geen slibverwijdering plaatsgeworden, alvorens de beekbekking te dempen.

4.3.5 Roer

De samenstelling van het PCB-mengsel in het Roerslib is bepaald in enkele oude meanders van de rivier (ROER 2 en 3). Het mengsel, dat karakteristiek is voor de Maas, is bemonsterd in de uiterwaarden bovenstrooms van Roermond (ROER 6 en 7). Voor de monsters van de Hambeek (ROER 9, 10 en 12) wordt verondersteld dat beïnvloeding door beide bronnen is opgetreden.

Uit de analysesresultaten (Tabel 18a uit bijlage 7) blijkt dat met name de monsters uit de Maas-uiterwaarden nauwelijks verontreinigd zijn. De laaggechloroerde PCB's waren in deze monsters niet aan te tonen. De hooggechloroerde PCB's waren wel aantoonbaar in deze monsters, hetgeen een indicatie is voor een hooggechloroerd mengsel afkomstig uit de Maas. Het PCB-mengsel afkomstig uit de Roer bestaat, zoals verwacht, voor een belangrijk gedeelte uit laaggechloroerde PCB's.

Tabel 8A *Bewerking van de PCB-gegevens voor de Roer. De PCB's met eenzelfde chloreringsgraad zijn weergegeven als percentage van het totaalgehalte*

	ROER-2 Meander van de Roer	ROER-3 Meander van de Roer	ROER-6 Maas- uiterwaard	ROER-7 Maas- uiterwaard	ROER-9 Hambeek	ROER-10 Hambeek	ROER-12 Hambeek
tri	13	12	4	3	6	1	6
tetra	11	12	5	4	11	11	11
penta	20	20	21	14	20	41	38
hexa	30	32	36	37	30	31	29
hepta	26	24	34	42	33	16	16

Tabel 8B *Bewerking van de PCB-gegevens voor de Roer. De PCB's met eenzelfde chloreringsgraad zijn weergegeven als percentage van het totaalgehalte*

	ROER-13 Borgharen 0-10 cm Maas- uiterwaard	ROER-14 Borgharen 10-20 cm Maas- uiterwaard	ROER-15 Eijsden 0-10 cm Maas- uiterwaard
tri	2	5	1
tetra	1	7	2
penta	12	10	11
hexa	33	26	35
hepta	52	52	51

Maasuitwaarden bij Borgharen en Eijsden

Ten einde het PCB-mengsel uit de Maas beter te karakteriseren zijn nog enkele monsters uit de uiterwaarden ter plaatse van Borgharen en Eijsden genomen en geanalyseerd. De verwachting was dat de PCB-gehalten hier aanmerkelijk hoger zouden zijn dan ter hoogte van Roermond (dichter bij de bron). De resultaten van de (beperkte) steekproef kunnen dit echter niet bevestigen. Ook in deze monsters (Tabel 18B uit bijlage 7) zijn de hogere PCB's goed aantoonbaar, terwijl de lagere PCB's onder de bepalingsgrens bleven.

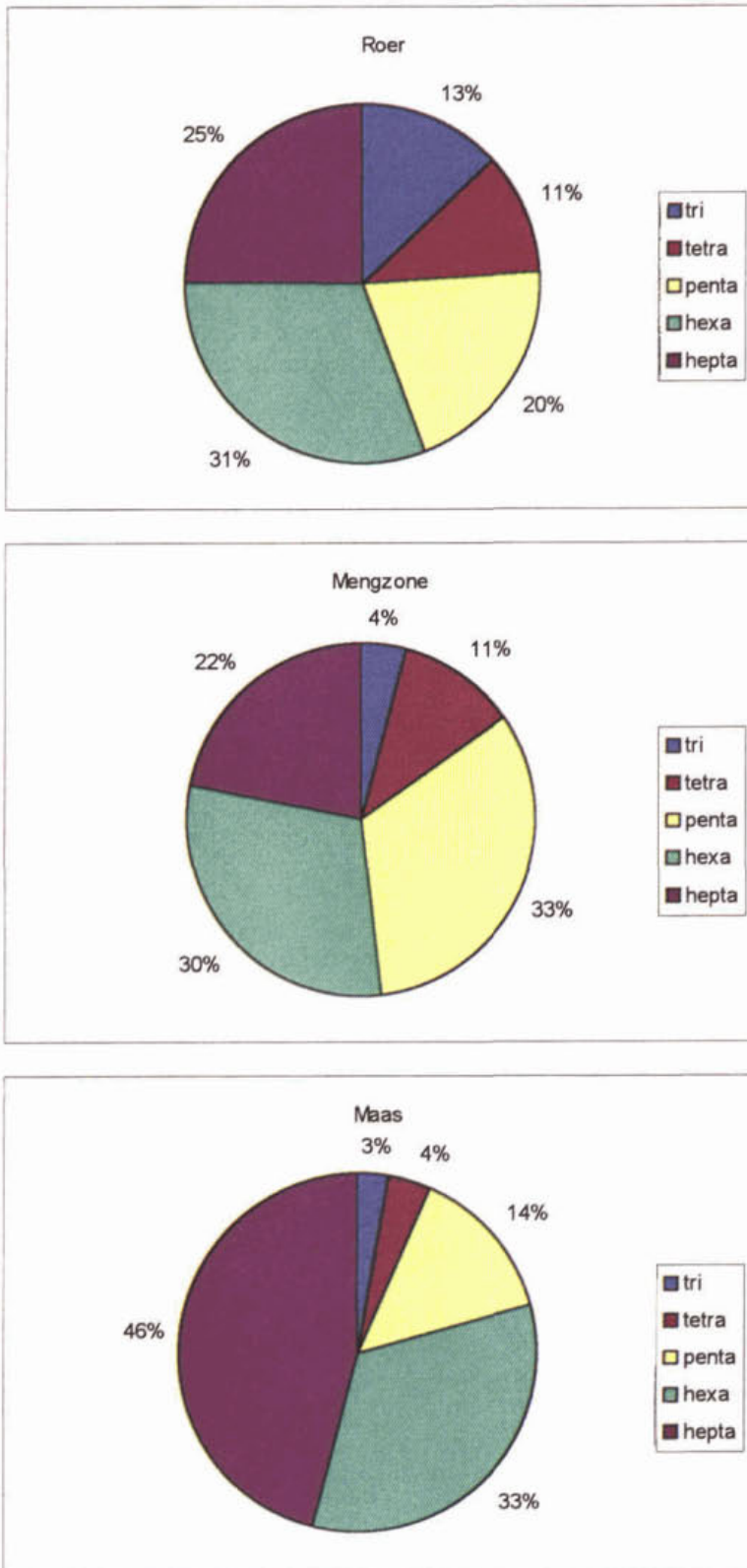
Evenals voor de Dorpsbeek is voor de monsterpunten uit de Roer, Hambeek en Maas de chloreringsgraad uitgedrukt als één getal. De resultaten zijn hieronder vermeld en grafisch weergegeven in figuur 4.

Locatie	monster	gew.%Cl
Roer; gemiddelde 55,7	2	55,6
	3	55,7
Hambeek	12	55,6
	10	56,4
	9	57,1
Maas (Roermond)	6	58,1
	7	59,0
Maas (Borgharen)	13	59,9
	14	59,0
Maas (Eijsden)	15	60,0
Maas; gemiddelde 59,2		

Uit het overzicht en figuur 4 blijkt dat de PCB-mengels uit de Roer en de Maas goed zijn te onderscheiden. In de Hambeek wordt het intermediaire patroon gevonden, waarbij het opvalt dat er een gradient zichtbaar is: de chloreringsgraad neemt toe in stroomafwaartse richting, met andere woorden in de richting van de Maas.



Figuur 4: Grafische weergave van de PCB-karakterisering van de monsterpunten in de Roer, Hambeek en Maas op basis van de chloreringsgraad (R=Roer, M=Maas, x=mengzone Hambeek).



Figuur 3 Verdeling PCB-mengsel op basis van het aantal chlooratomen voor monsters uit de Roer

Roer: gemiddelde van Roer 2 en 3;
 Mengzone: gemiddelde van Roer 6,7,13,14 en 15;
 Maas: gemiddelde van Roer 9,10 en 12.

5 Evaluatie van de methodiek

In dit project is getracht om met een beperkt vooronderzoek de haalbaarheid van het karakteriseren van waterbodemonverontreiniging op basis PCB- en PAK-patronen in praktijkmonsters vast te stellen, zodanig dat er een relatie kan worden gelegd tussen het verontreinigingspatroon en (voormalige) bronnen. De methodiek is voor vijf praktijklocaties, verdeeld over het gehele land toegepast.

Vooronderzoek

Het vooronderzoek was beperkt omdat:

- slechts op een klein aantal aanvullende parameters is geanalyseerd. Dit heeft onder andere te maken met de momenteel beperkte beschikbaarheid van zuivere standaarden voor de laboratoriumanalyse. Als aanvulling valt hierbij te denken aan andere hetero-PAK verbindingen en alkyl-gesubstitueerde PAK;
- in het laboratorium is een beperkte validatie uitgevoerd. Hoewel de resultaten van de prestatiekenmerken, zoals herhaalbaarheid, reproduceerbaarheid en aantoonbaarheidsgrens bevredigend waren, is de terugvinding (mogelijk in combinatie met de keuze van de drogingsstap) voor sommige stoffen aan de lage kant. De methodiek kan daardoor voor de praktijk tekortschieten.

Geconcludeerd is dat in het kader van dit haalbaarheidsonderzoek de 'performance' (de resultaten van het onderzoek naar de prestatiekenmerken) voldoende is om te kunnen beoordelen of de methodiek van bronidentificatie functioneert.

Praktijklocatie

Voor een aantal bronnen is geconstateerd dat de te verwachten oorspronkelijke mengsels inderdaad konden worden gekarakteriseerd en voldoende onderscheidend waren van andere bronnen. Dit geldt met name voor de PCB-bronnen. Voor PAK geldt dat soms helemaal geen overeenkomst tussen voorkennis en praktijk is aangetroffen en soms ten dele.

In een aantal gevallen lijkt een verdere uitkartering van het beïnvloedingsgebied van (een) bepaalde bron mogelijk: PAK in Langbroekerwetering, afkomstig uit de Schippersvaart, de onderlinge bijdrage van de twee bekende bronnen aan de totale verontreinigingssituatie in de Dorpse beek, en mogelijk de bijdragen van Roer en Maas in de Hambeek. Oorzaken voor het niet of niet voldoende onderscheidend zijn van verschillende bronnen kunnen zijn: baggerwerkzaamheden in de te onderzoeken watergangen, menging van sliblagen (van verschillende ouderdom) door de scheepvaart of ten tijde van piekafvoer.

Op basis van de resultaten kunnen ook enkele mogelijke praktische beperkingen worden genoemd:

- het is niet altijd bekend of op een bepaalde locatie de gehele sliblaag in verticale richting moet worden samengenomen in één monster. Opmengen kan betekenen dat een bepaalde indicator minder duidelijk of zelfs onzichtbaar wordt;

- de spreiding tussen verhoudingen en/of percentages van een aantal stoffen op het totaal in monsters, die representatief zijn gesteld voor dezelfde bron, is soms zo groot dat overlap met andere bronnen plaatsvindt. Ter voorkoming hiervan zijn grotere monsteraantallen vereist teneinde de karakterisering statistisch te onderbouwen.

Stroomschema

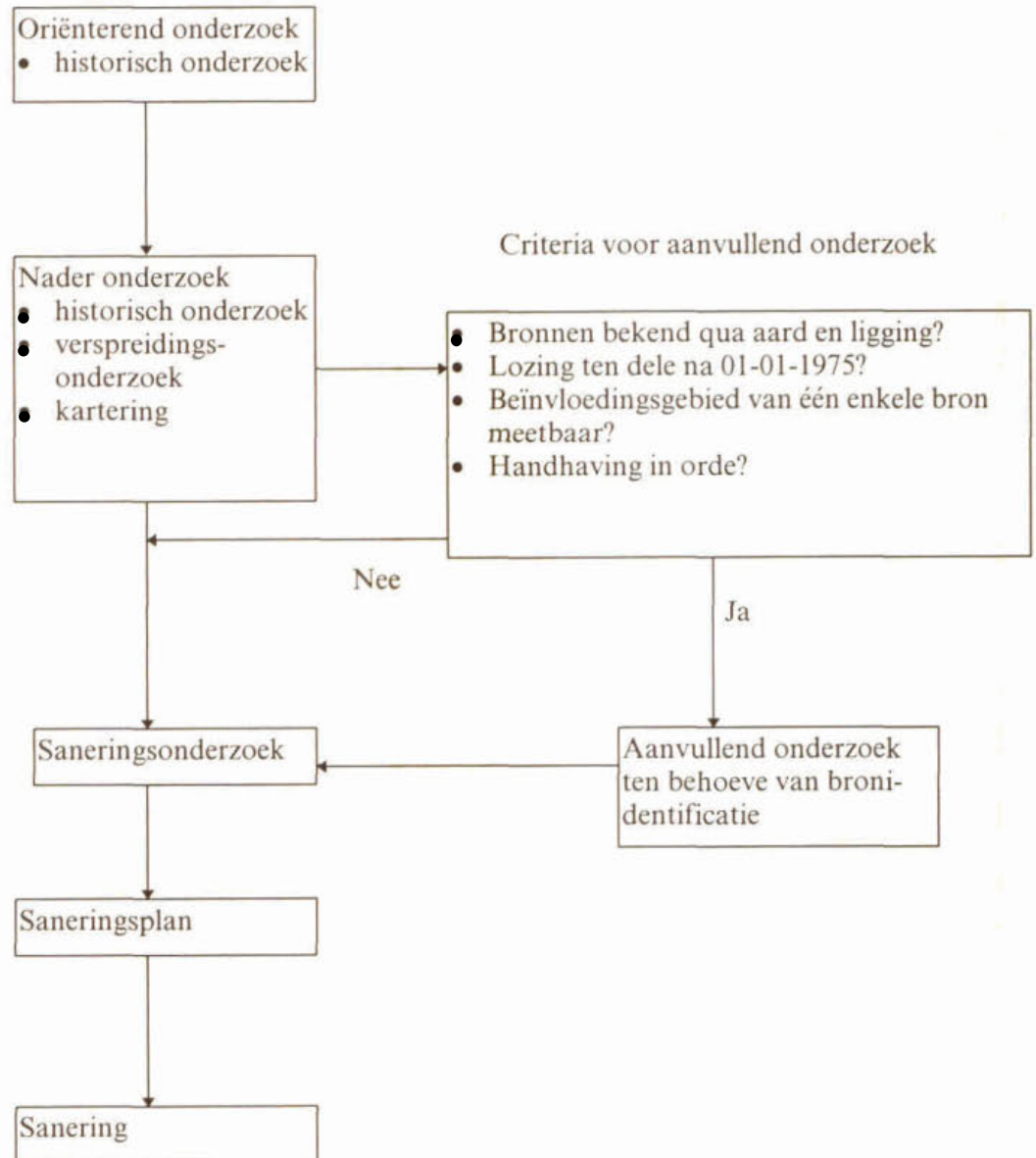
Om te kunnen bepalen of een locatie in aanmerking komt voor toepassing van de methodiek van bronlocalisering is een stroomschema (figuur 5) opgesteld waarin staat aangegeven welke stappen moeten worden doorlopen en aan welke randvoorwaarden/uitgangspunten een praktijklocatie moet voldoen teneinde meerwaarde aan de hier ontwikkelde methodiek te kunnen ontlenen.

Het stroomschema is feitelijk een uitbreiding van de gangbare lijn die een project volgt in het kader van de Wet Bodembescherming. Hierbij wordt het historisch onderzoek meestal binnen het oriënterend onderzoek en soms binnen het nader onderzoek uitgevoerd.

Uit het stroomschema volgt dat naar aanleiding van de resultaten van het nader onderzoek (historisch onderzoek en kartering van de verontreinigings-situatie) kan worden besloten tot het uitvoeren van aanvullend onderzoek, gericht op kostenverhaalsacties.

De hoeveelheid extra werk kan hiermee beperkt blijven: met bestaande monsters uit de laboratorium-opslag, mits op de goede wijze bewaard, kunnen de analyses op de in dit onderzoek geselecteerde aanvullende stoffen (7 extra PCB's en 6 extra PAK) worden uitgevoerd. Vooralsnog dient echter wel te worden gewerkt met de hier gehanteerde opwerkingmethode (in plaats van de ontwerp-NEN voorschriften).

Uitgangspunt: ernstig geval van waterbodempluimverontreiniging (klasse 4 door PAK of PCB)



Figuur 5 Stroomschema: plaats van het aanvullend onderzoek ten behoeve van kostenverhaalsacties

6 Conclusies en aanbevelingen

6.1 Conclusies

Uit de resultaten van het onderzoek kunnen de volgende conclusies worden getrokken.

Vooronderzoek

- een beperkt vooronderzoek in het laboratorium naar de prestatiekenmerken van de geselecteerde 'extra' PAK- en PCB-componenten is in principe voldoende om de haalbaarheid van het concept van bronidentificatie voor waterbodemonverontreiniging te kunnen nagaan;
- de resultaten van het vooronderzoek zijn in het algemeen bevredigend. Mogelijk dient de terugvinding voor enkele stoffen te worden verbeterd.

Praktijklocaties

- de onderscheiden bronnen kunnen ten dele worden gekarakteriseerd met behulp van de in de literatuur aangetroffen indicatoren. In de gevallen waar eenduidige karakterisering lukt, kan een indicatie worden gegeven van de bijdrage van de betreffende bron aan de totale verontreinigingssituatie. Een bijdrage vanaf 10-20% aan de totale verontreinigingssituatie kan worden aangetoond;
- het niet kunnen karakteriseren van bronnen kan een aantal oorzaken hebben:
 1. er is onvoldoende bekend over de bronnen (ligging, variaties in de tijd);
 2. intensieve menging van slib door bijvoorbeeld de scheepvaart of baggerwerk ten tijde van of na de lozingen kunnen de indicatoren minder goed herkenbaar maken;
 3. de bandbreedte rondom een indicator is te groot in relatie tot de analytische nauwkeurigheid;
 4. de in de literatuur gevonden indicatoren zijn onvoldoende onderbouwd.

In een stroomschema is aangegeven op welke wijze aanvullend onderzoek ten behoeve van kostenverhaalacties ingepast kan worden ingepast in het kader van Wbb-onderzoek. Tevens is in het stroomschema aangegeven aan welke criteria een praktijkgeval moet voldoen om dit aanvullend onderzoek ten behoeve van bronidentificatie zinvol en perspectiefrijk te laten zijn.

6.2 Aanbevelingen

Op basis van de onderzoeksresultaten worden de volgende aanbevelingen gedaan:

- ten behoeve van de bronidentificatie wordt aanbevolen om de in dit onderzoek gebruikte analytische opwerkingsprocedure (monster drogen met natriumsulfaat, extractie met de Accelerated Solvent Extractor, analyse met een gaschromatograaf voorzien van een massaspectrometer) te hantieren in plaats van de routine-matig toegepaste ontwerp-NEN richtlijnen voor waterbodemonderzoek;

- teneinde meer ervaring op te doen met de voorgestelde methodiek, zou de hier gehanteerde onderzoeksopzet volledig moeten worden geïntegreerd in twee reguliere Wbb-projecten (een voor PAK, een voor PCB). In het oriënterend onderzoek dienen dan alle relevante gegevens over de bronnen in kaart te worden gebracht. In het nader onderzoek worden op basis van de kartering van de verontreinigingssituatie in horizontale en in verticale richting monsters geselecteerd ten behoeve van de analyse op de aanvullende parameters uit het onderhavige onderzoek. Grotere monsteraantallen voor de karakterisering van bronnen kunnen in positieve zin bijdragen aan de hier voorgestelde methodiek, aangezien op deze wijze de karakterisering statistisch onderbouwd kan worden.

Literatuur

- [1] Baek, S.O., Field, R.A. en Goldstone M.E., 1991. *A review of atmospheric polyaromatic hydrocarbons: sources, fate and behaviour* Water, air and soil pollution 60, 279-300.
- [2] Campen, A.L.B.M., Quarles van Ufford, C.H.A., Berbee, R.P.M. en Schwartz, M.J.C., 1991. *PAK in het oppervlaktewater: bronnen en maatregelen*. SPEED werkplanPAK, RIVM & RIZA.
- [3] Grontmij (1991). *Baggerbergingsplan provincie Utrecht, blok 3*. Aanvullend onderzoek.
- [4] Grontmij, (1997). *Oriënterend waterbodemonderzoek*. Houderingervaart te De Bilt, Schippersvaart te Driebergen-Rijsenbrug, Achtersloot te IJsselstein.
- [5] Gschwend, P.M. en Hites, R.A., 1981. *Fluxes of polyaromatic hydrocarbons to marine and lacustrine sediments in the northeastern United States*, *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 45, 2359-2367.
- [6] Heidemij, (1996). *Nader onderzoek stadswateren Coevorden + bijlagenrapport*.
- [7] Hoogen, E. van, 1994. *Dieselmotoren wellicht belangrijke bron van nitropak's* Chemisch magazine 383.
- [8] Hostettler, F.D., Rapp, J.B. en Kvenvolden, K.A., 1989. *Organic markers as source discriminants and sediment transport indicators in south San Francisco bay, California*. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 53, 1563-1576.
- [9] Janssen, M., (1996). *Inventarisatie maatregelen tegen run-off*. Verslag van afstudeeropdracht bij Rijkswaterstaat-Dienst Weg- en waterbouwkunde.
- [10] Lake, J.L., Norwood, C. en Dimock, C., 1979. *Origins of polycyclic aromatic hydrocarbons in estuarine sediments*. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 43, 1847-1854.
- [11] Naald, W.G.H. van der, Tamis, W. en van der Berg, M.M.H.E., 1987. *Polycyclische aromatische koolwaterstoffen in het Nederlandse milieu*. VROM.
- [12] Oranjewoud, 1996. *Nader onderzoek Dorpsebeek Vaassen*. Projectnummer 10078-71271.
- [13] Pavoni, B., Sfriso, A. en Marcomini, A., 1987. *Concentration and flux profiles of PCB, DDT's and PAH's in a dated sediment core from the lagoon of Venice*. *Marine Chemistry*, 21, 25-35.
- [14] Prahl, F.G. en Carpenter, R., 1983. *Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAH)-phase associations in Washington coastal sediment*. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 47, 1013-1023.
- [15] Raad, J.S., Feenstra, J.F. en van Hattum, B., 1993. *Stofstromen van PCB's*. Samenwerkingsproject effectieve emissiereductie diffuse bronnen. Instituut voor milieuvraagstukken.
- [16] Rijkswaterstaat, directie Limburg. *Rivier de Maas. Indeling van het winterbed*. Kaartbladen schaal 1:25.000.
- [17] Tebodin. (1994). *Verslag van oriënterend onderzoek naar waterbodemonverontreiniging in de Heelsumsebeek*.
- [18] Wiel, A. van de, Van Rooij en Janssens, 1994. *Prestatiekenmerken voor meetmethoden in het kader van actieprogramma normalisatie en validatie van milieumeetmethoden*. RIVM-rapport 219101004.
- [19] Wild, S.R., McGrath, S.P. en Jones K.C., 1990. *Polynuclear aromatic hydrocarbon (PAH) content of archived sewage sludges*. *Chemosphere*, 20, 703-716.
- [20] Wild, S.R. en Jones K.C., 1995. *Polynuclear aromatic hydrocarbon in the United Kingdom environment: a preliminary source inventory and budget*. *Environmental pollution* 88, 91-108.

- [21] Zuiveringschap Limburg, (1995). *Waterbodems in Limburg. Evaluatie van de onderzoeksperiode 1989-1994.*
- [22] Zwart, M., (1995). *Onderzoek naar de mogelijkheid voor PCB- en PAK-patroonvergelijking als methode voor bronlokalisering.* Verslag van stage bij Grontmij.



Bijlage 1 Analyseresultaten van het vooronderzoek

Tabel 9 Onderzoeksresultaten van de herhaalbaarheid. Alle gehalten in $\mu\text{g}/\text{kg}$ d.s.

Component	H1	H2	H3	H4	H5	H6	H7	H8	H9	H10	RSDr %
naftaleen	44,0	39,2	39,4	36,3	40,0	35,1	36,0	32,9	32,7	34,5	9,7%
acenaftaleen	27,7	28,1	26,4	27,5	27,6	25,6	27,5	27,1	26,3	28,9	3,5%
fluoreen	30,5	33,0	31,7	32,7	31,6	30,4	32,9	33,1	31,0	33,0	3,4%
fenantreen	38,7	40,6	38,4	39,7	37,5	37,2	39,0	38,8	37,3	39,1	2,8%
antraceen	9,3	10,0	9,4	10,1	10,2	8,9	10,1	10,9	9,6	10,0	5,8%
fluoranteen	42,8	45,1	41,4	42,3	40,1	38,9	41,6	42,3	39,3	41,1	4,4%
pyreen	32,8	34,0	31,4	32,7	30,9	30,5	32,2	33,0	30,8	32,7	3,6%
benzo(a)antraceen	26,0	29,4	26,9	28,3	26,3	26,3	28,2	28,8	26,8	28,2	4,3%
chryseen	34,8	39,3	35,7	38,0	34,9	34,9	37,4	37,8	34,9	37,5	4,5%
benzo(b)fluoranteen	25,8	30,2	29,2	28,0	25,9	26,1	26,9	30,6	27,4	27,8	6,2%
benzo(k)fluoranteen	36,4	41,4	39,3	44,1	39,4	39,7	40,9	40,8	37,1	40,6	5,4%
benzo(a)pyreen	9,4	10,5	9,6	10,5	9,4	9,6	10,0	9,8	8,9	9,6	5,1%
dibenz(a,h)antraceen	20,2	23,1	20,4	22,0	19,6	19,7	18,8	21,1	19,1	20,5	6,5%
benzo(ghi)peryleen	23,7	26,2	24,0	25,9	22,5	22,4	24,2	24,1	21,5	23,4	6,2%
indeno(123cd)pyreen	24,5	27,6	24,7	26,2	23,4	23,4	24,8	25,1	22,7	24,4	5,8%
benzo(e)pyreen	42,1	48,2	43,8	46,8	41,7	41,8	44,0	44,9	41,4	43,6	5,2%
2-methylfenantreen	31,9	35,4	ub	33,1	30,1	29,8	32,2	32,2	29,8	32,3	5,7%
9-nitroantraceen	ub	19,0	22,4	27,5	29,9	31,2	32,8	31,8	31,2	31,9	16,8%
3-nitrofluoranteen	ub	14,1	15,4	18,7	18,3	19,6	22,1	21,8	19,4	21,5	14,6%
1-nitropyreen	ub	18,1	17,5	19,5	19,6	21,9	21,9	22,0	22,1	21,7	8,9%
coroneen	19,8	ub	17,3	17,3	14,6	14,7	14,0	13,4	12,3	12,4	16,9%
PCB 26	34,8	38,0	35,8	36,3	34,8	33,9	35,9	36,2	34,2	35,9	3,4%
PCB 28+31	63,6	68,8	64,5	65,8	63,3	62,4	65,7	65,4	61,7	65,5	3,2%
PCB 44	13,4	14,5	13,5	13,9	13,2	13,3	14,1	14,2	13,2	14,2	3,5%
PCB 49	51,4	55,8	52,2	53,5	51,3	50,9	53,8	54,4	51,0	54,8	3,4%
PCB 52	29,9	32,4	30,2	31,2	29,8	29,5	31,4	31,4	29,5	31,7	3,4%
PCB 101	26,6	30,0	27,6	28,5	26,8	27,3	28,8	29,1	27,1	28,9	4,1%
PCB 105	33,1	36,8	34,4	35,7	33,5	33,6	35,7	36,4	33,3	35,9	4,1%
PCB 118	25,9	28,8	26,7	28,3	26,4	26,4	27,8	28,3	25,9	28,0	4,0%
PCB 138	25,2	28,9	26,2	27,8	25,3	25,9	27,1	27,5	25,3	27,2	4,7%
PCB 153	24,5	27,8	25,3	26,6	24,4	24,8	26,2	26,8	24,6	26,4	4,6%
PCB 170	21,1	24,7	22,5	24,4	22,1	23,2	23,6	24,8	23,3	24,0	5,1%
PCB 180	23,3	27,9	24,9	26,8	24,9	25,9	27,0	28,2	25,1	27,4	6,0%
PCB 187	23,6	26,7	24,0	26,1	24,6	25,1	25,5	26,4	24,8	26,4	4,2%

ub = uitbijter

RSDr % = standaarddeviatie van de herhaalbaarheid

Tabel 10 Onderzoeksresultaten van de aantoonbaarheidsgrens. Alle gehalten in µg/kg d.s.

Component	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10	Cag	Rapp.wrde
naftaleen	9,78	10,48	10,40	10,10	9,75	10,09	10,12	10,51	10,09	9,96	0,8	2,69
acenaftaleen	0,79	0,74	0,80	0,76	0,72	0,78	0,80	0,83	0,74	0,79	0,1	0,34
fluoreen	2,26	2,20	2,29	2,23	2,12	2,27	2,27	2,26	2,17	2,10	0,2	0,68
fenantreen	8,81	8,41	8,88	8,71	8,94	8,32	8,54	10,56	8,81	7,81	2,1	7,14
antraceen	1,20	1,10	0,88	0,95	0,87	0,97	1,08	1,02	0,98	0,95	0,3	1,03
fluoranteen	14,87	12,91	13,45	13,75	13,01	13,65	13,62	14,72	14,75	12,51	2,5	8,22
pyreen	9,78	8,20	8,78	9,01	8,19	8,98	8,79	9,95	9,99	7,91	2,2	7,48
benzo(a)antraceen	6,67	4,68	5,79	5,92	5,33	5,78	5,64	6,10	7,02	5,60	2,0	6,55
chryseen	11,20	8,76	10,10	10,15	9,04	10,04	10,12	10,36	11,37	10,06	2,4	8,04
benzo(b)fluoranteen	14,36	12,46	10,61	12,62	11,46	12,43	12,35	13,33	15,88	12,61	4,4	3,41
benzo(k)fluoranteen												
benzo(a)pyreen	7,84	6,13	6,14	5,56	5,63	5,99	5,69	6,92	9,02	5,45	3,5	11,63
dibenz(a,h)antraceen	5,86	4,72	4,61	4,38	3,88	4,63	4,70	5,44	7,38	4,21	3,0	10,15
benzo(ghi)peryleen	9,07	7,55	7,56	7,68	6,93	7,76	7,37	8,36	10,19	7,36	2,9	9,76
indeno(123cd)pyreen	7,23	6,13	6,24	5,98	4,72	5,88	5,85	6,77	8,20	5,85	2,8	9,37
benzo(e)pyreen	11,56	9,47	9,64	9,74	8,69	9,44	9,25	10,21	12,34	9,51	3,4	11,20
2-methylfenantreen	3,03	3,36	3,92	3,56	3,43	3,21	3,48	3,45	3,20	3,09	0,8	2,61
9-nitroantraceen	0,84	1,34	1,21	1,38	0,98	0,99	1,15	1,28	1,53	0,75	0,8	2,51
3-nitrofluoranteen	2,21	2,69	3,45	2,59	0,60	1,85	3,88	3,44	2,56	2,62	2,8	9,31
1-nitropyreen	1,69	3,08	2,47	1,79	1,46	1,91	2,61	1,57	1,97	1,89	1,5	5,15
coroneen	3,66	2,50	2,54	2,46	2,14	2,37	2,27	2,16	2,56	2,26	1,3	4,39
PCB 26	1,44	1,39	1,40	1,43	1,24	1,46	1,49	1,32	1,30	1,44	0,2	0,79
PCB 28 + 31	2,77	2,46	2,67	3,05	2,45	2,46	2,54	2,45	2,66	2,74	0,6	1,96
PCB 44	0,53	0,56	0,60	0,59	0,48	0,65	0,64	0,64	0,59	0,61	0,2	0,52
PCB 49	2,05	2,24	2,36	2,42	2,07	2,31	2,35	2,41	2,39	2,35	0,4	1,35
PCB 52	1,21	1,40	1,54	1,57	1,25	0,97	1,44	1,53	1,48	1,50	0,6	1,89
PCB 101	1,52	1,28	1,44	1,49	1,15	1,43	1,41	1,34	1,40	1,40	0,3	1,08
PCB 105	1,87	n.d.	1,70	1,88	1,40	1,61	1,61	1,55	1,65	1,60	0,4	1,50
PCB 118	1,46	1,29	1,30	1,42	1,16	1,38	1,45	1,35	1,31	1,33	0,3	0,89
PCB 138	1,47	1,27	1,55	1,47	1,24	1,40	1,35	1,32	1,37	1,54	0,3	1,08
PCB 153	1,47	1,22	1,28	1,41	1,13	1,26	1,27	1,31	1,27	1,39	0,3	0,99
PCB 170	1,47	1,20	1,13	1,14	1,04	1,22	1,24	1,17	1,18	1,26	0,3	1,11
PCB 180	1,51	1,15	1,37	1,37	1,11	1,33	1,36	1,26	1,29	1,39	0,3	1,16
PCB 187	1,43	1,04	1,10	1,12	0,93	1,21	1,14	1,10	1,08	1,32	0,4	1,41

n.d. = niet detecteerbaar

Cag = aantoonbaarheidsgrens

Rapp. Wrde = realiseerbare minimale rapporteringswaarde

Tabel 11 Onderzoeksresultaten van de reproduceerbaarheid. Alle gehalten in $\mu\text{g}/\text{kg}$ d.s.

component	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	R9	R10	RSDR %
naftaleen	44,6	31,4	32,8	33,5	26,4	29,8	55,8	57,0	46,1	28,9%
acenafteen	29,7	25,2	27,5	28,8	27,0	29,6	41,6	39,4	36,4	18,6%
fluoreen	35,7	29,7	31,0	31,9	31,9	32,8	43,3	39,3	37,6	12,9%
fenantreen	43,3	36,0	37,7	36,8	38,3	37,7	46,1	45,2	45,3	10,2%
antraceen	21,7	16,2	16,8	14,3	16,0	18,6	27,0	23,0	18,6	21,2%
fluoranteen	43,8	41,5	49,3	38,3	41,8	40,4	44,3	40,8	41,5	7,4%
pyreen	34,5	33,2	41,5	30,5	32,9	32,7	37,0	ub	34,9	9,7%
benzo(a)antraceen	27,4	29,2	37,8	24,4	29,0	27,6	26,4	24,8	24,5	14,9%
chryseen	35,9	35,6	43,1	31,0	33,1	34,5	34,4	32,0	31,8	10,4%
benzo(b)fluoranteen	25,9	34,2	35,7	24,9	27,4	27,2	25,1	21,1	19,8	19,7%
benzo(k)fluoranteen	27,6	23,8	27,7	20,0	27,9	23,9	20,1	24,4	20,7	13,5%
benzo(a)pyreen	14,0	17,8	21,1	12,7	16,4	15,9	18,0	16,7	17,1	14,4%
dibenz(a,h)antraceen	19,2	21,4	22,0	15,9	21,2	18,7	15,5	14,2	13,3	18,4%
benzo(ghi)peryleen	21,3	25,7	27,1	19,4	24,4	21,9	20,2	18,4	18,4	14,6%
indeno(123cd)pyreen	22,4	25,2	26,7	18,6	23,7	21,1	17,3	16,7	16,6	18,3%
benzo(e)pyreen	39,8	40,9	44,5	32,9	39,6	37,3	33,8	32,2	30,7	12,8%
2-methylfenantreen	ub	29,3	28,8	27,6	30,8	30,4	31,1	29,4	26,0	5,9%
9-nitroantraceen	74,3	61,2	70,4	65,9	72,9	72,0	71,5	61,7	53,3	10,5%
3-nitrofluoranteen	41,1	46,8	48,5	46,1	55,2	56,1	47,2	35,5	33,1	17,3%
1-nitropyreen	40,4	42,0	46,8	45,1	48,9	51,5	42,6	37,1	28,6	16,1%
coroneen	17,6	19,5	19,7	15,3	20,4	17,9	15,3	14,0	13,4	15,4%
PCB 26	34,5	32,0	32,2	27,7	34,0	32,0	32,7	29,5	29,3	7,2%
PCB 28+31	62,3	58,4	57,9	51,2	62,5	58,8	58,0	54,8	52,4	6,9%
PCB 44	12,9	12,3	12,3	10,7	13,7	12,6	12,1	11,0	10,5	9,0%
PCB 49	50,5	48,6	48,1	41,5	52,9	49,1	47,0	43,5	42,6	8,1%
PCB 52	28,4	27,5	27,5	23,4	30,2	27,9	26,7	24,7	23,9	8,5%
PCB 101	24,9	24,5	24,3	20,0	26,9	24,8	23,0	21,1	20,0	10,5%
PCB 105	30,1	29,3	29,6	23,9	32,8	29,7	26,0	24,3	22,5	12,7%
PCB 118	23,3	22,7	23,2	18,8	26,0	23,4	20,8	19,0	18,7	11,8%
PCB 138	23,2	23,7	23,4	18,5	25,9	22,9	20,2	18,6	17,1	13,9%
PCB 153	22,1	22,6	22,2	17,6	25,0	22,2	19,1	17,9	17,1	13,4%
PCB 170	19,4	19,4	18,9	14,7	21,6	18,8	16,4	15,6	14,7	13,7%
PCB 187	20,0	19,5	19,7	15,3	21,6	19,2	17,0	16,0	15,0	13,0%
PCB 180	21,9	22,3	22,1	16,8	24,5	21,7	19,0	18,2	16,5	13,7%

ub = uitbijter

RSDR % = standaarddeviatie van de reproduceerbaarheid

Tabel 12a **Onderzoeksresultaten van de terugvinding (methode A; toevoegen water, drogen met magnesiumsulfaat). Alle waarden als %.**

component	TV-1	TV-2	TV-3	TV-4	TV-5	TV-3 (herhaalde extractie)
naftaleen	46,7%	54,1%	54,4%	60,6%	56,5%	13,1%
acenaftaleen	34,1%	64,4%	65,4%	70,4%	66,6%	7,5%
fluoreen	31,5%	63,9%	66,6%	71,8%	65,8%	7,1%
fenantreen	35,3%	75,7%	79,0%	84,4%	76,1%	11,2%
antracene	14,1%	35,5%	34,1%	38,3%	40,1%	6,1%
fluoranteen	33,3%	82,7%	76,5%	79,3%	71,5%	11,0%
pyreen	31,4%	n.b.	72,3%	74,8%	n.b.	10,1%
benzo(a)antracene	21,2%	52,4%	51,5%	52,5%	48,6%	7,6%
chryseen	26,6%	63,6%	63,1%	64,8%	58,8%	10,2%
benzo(b)fluoranteen	18,0%	50,5%	44,5%	44,3%	42,2%	6,9%
benzo(k)fluoranteen	20,9%	41,7%	51,4%	52,9%	46,6%	7,4%
benzo(a)pyreen	17,2%	39,7%	39,3%	39,9%	37,8%	6,2%
dibenz(a,h)antracene	15,4%	35,8%	39,0%	38,0%	35,3%	5,0%
benzo(ghi)peryleen	18,0%	44,5%	46,7%	45,9%	41,6%	7,2%
indeno(123cd)pyreen	17,4%	42,1%	44,7%	41,0%	37,9%	6,4%
benzo(e)pyreen	20,1%	47,2%	50,1%	50,3%	46,5%	7,5%
2-methylfenantreen	23,3%	54,6%	56,6%	59,7%	55,1%	6,5%
9-nitroantracene	30,3%	68,5%	71,0%	75,0%	68,4%	8,9%
3-nitrofluoranteen	21,7%	53,3%	60,9%	64,4%	57,9%	7,6%
1-nitropyreen	12,5%	38,3%	43,0%	48,8%	40,3%	5,3%
coroneen	15,5%	31,9%	33,0%	32,2%	30,6%	5,6%
PCB 26	24,3%	57,3%	60,5%	64,3%	58,6%	6,2%
PCB 28+31	23,9%	56,6%	60,7%	63,7%	58,8%	6,1%
PCB 44	22,0%	54,2%	57,3%	60,5%	56,3%	6,5%
PCB 49	22,4%	54,2%	57,4%	60,6%	55,8%	6,5%
PCB 52	22,4%	53,6%	58,2%	60,8%	55,9%	6,4%
PCB 101	19,5%	46,8%	51,3%	51,8%	48,5%	6,3%
PCB 105	18,6%	44,8%	48,7%	50,6%	46,7%	6,1%
PCB 118	18,6%	44,0%	49,3%	48,9%	46,1%	5,8%
PCB 138	17,6%	44,3%	48,1%	48,5%	46,3%	6,1%
PCB 153	17,2%	43,2%	47,1%	47,7%	44,0%	5,9%
PCB 170	17,3%	44,5%	50,4%	48,2%	43,3%	6,6%
PCB 180	18,0%	43,3%	47,0%	46,3%	45,0%	7,5%
PCB 187	18,6%	42,6%	47,0%	47,2%	44,6%	7,6%
gemiddelde TV %	22,5%	50,6%	53,7%	55,5%	50,7%	7,3%

Alle terugvindingen bepaald op een concentratieniveau van circa 50 µg/kgds.

n.b.: niet bepaald

Tabel 12b **Onderzoeksresultaten van de terugvinding (methode B, zonder de toevoeging van water en de daaropvolgende drogingsstap). Alle waarden als %.**

component	TV-1	TV-2	TV-3	TV-4	TV-5	TV-2 (herhaalde extractie)	TV-3 (herhaalde extractie)	TV-A (gemengd met MgSO ₄)
naftaleen	112,5%	105,5%	107,1%	107,9%	119,4%	11,8%	12,1%	103,5%
acenaftaleen	103,4%	101,5%	102,1%	101,8%	102,4%	4,1%	4,7%	96,3%
fluoreen	99,4%	97,9%	97,0%	98,7%	103,4%	0,0%	0,0%	94,4%
fenantreen	116,9%	114,1%	113,1%	114,1%	118,1%	3,9%	4,1%	109,5%
antraceen	95,7%	91,4%	89,1%	85,7%	111,3%	2,2%	2,6%	78,4%
fluoranteen	135,7%	126,6%	137,4%	125,4%	134,1%	2,2%	3,2%	124,4%
pyreen	124,5%	108,4%	118,6%	108,8%	115,3%	2,2%	3,1%	103,1%
benzo(a)antraceen	119,0%	104,2%	112,1%	105,2%	108,8%	0,2%	0,2%	98,8%
chryseen	136,8%	122,9%	126,7%	123,1%	121,7%	2,4%	1,2%	117,3%
benzo(b)fluoranteen	129,4%	117,3%	120,2%	117,5%	115,0%	0,8%	1,5%	92,2%
benzo(k)fluoranteen	131,8%	118,1%	130,1%	118,0%	128,4%	3,3%	3,5%	128,6%
benzo(a)pyreen	104,7%	91,9%	100,7%	91,2%	107,4%	1,5%	2,8%	80,9%
dibenz(a,h)antraceen	106,5%	99,8%	99,7%	97,7%	102,9%	1,5%	1,7%	93,0%
benzo(ghi)peryleen	128,0%	117,3%	123,2%	116,3%	118,1%	2,5%	3,0%	110,9%
indeno(123cd)pyreen	124,8%	114,2%	119,3%	112,8%	117,7%	2,1%	3,0%	107,2%
benzo(e)pyreen	119,7%	110,0%	115,2%	107,7%	110,9%	1,6%	2,4%	103,1%
2-methylfenantreen	96,9%	91,0%	79,9%	90,0%	101,7%	0,2%	0,2%	90,5%
9-nitroantraceen	112,2%	114,3%	114,3%	117,2%	n.b.	1,4%	1,1%	116,2%
3-nitrofluoranteen	141,7%	164,3%	146,2%	173,0%	n.b.	0,7%	0,2%	169,5%
1-nitropyreen	90,8%	101,6%	105,6%	110,3%	n.b.	0,3%	2,1%	112,7%
coroneen	114,3%	107,4%	107,0%	103,9%	103,1%	1,8%	1,5%	99,8%
PCB 26	97,8%	92,3%	90,6%	93,1%	101,0%	0,7%	1,1%	91,1%
PCB 28+31	98,9%	94,2%	91,9%	93,7%	99,5%	0,7%	1,3%	89,0%
PCB 44	101,0%	96,0%	95,9%	96,0%	99,4%	0,9%	1,7%	93,2%
PCB 49	97,5%	92,8%	91,8%	93,1%	98,1%	0,7%	1,7%	89,3%
PCB 52	100,4%	96,4%	94,3%	96,3%	99,5%	0,6%	1,6%	92,2%
PCB 101	99,6%	95,3%	97,6%	97,6%	98,1%	1,4%	2,0%	93,2%
PCB 105	105,2%	100,8%	99,0%	100,3%	99,3%	1,1%	2,0%	97,8%
PCB 118	101,6%	97,6%	95,5%	101,8%	100,4%	1,0%	1,8%	93,3%
PCB 138	102,7%	96,7%	94,6%	96,7%	95,7%	1,5%	2,2%	94,4%
PCB 153	96,3%	93,3%	91,9%	94,6%	96,8%	1,3%	2,1%	90,4%
PCB 170	107,2%	101,8%	98,3%	101,8%	101,1%	1,5%	2,1%	98,2%
PCB 180	102,8%	99,4%	96,8%	99,5%	98,3%	1,8%	2,7%	95,9%
PCB 187	101,9%	97,7%	95,7%	98,1%	98,3%	1,9%	2,9%	94,3%
gemiddelde TV %	110,5%	105,1%	105,8%	105,6%	97,8%	1,8%	2,3%	101,3%

Alle terugvindingen bepaald op een concentratieniveau op circa 50 µg/kgds.
n.b.: niet bepaald.

Tabel 13a **Onderzoeksresultaten van de terugvinding. Vergelijking van twee droogmethoden voor twee verschillende monsters. Alle waarden (rendementen) in $\mu\text{g}/\text{kg}$ d.s.**

Component	Monster 1	Monster 1	Monster 1	Monster 1	Monster 2	Monster 2	Monster 2	Monster 2
	drogen 40 C	drogen 40 C	Na ₂ SO ₄	Na ₂ SO ₄	drogen 40 C	drogen 40 C	Na ₂ SO ₄	Na ₂ SO ₄
		herhaald		herhaald		herhaald		herhaald
naftaleen-D8	72,54	2,90	82,78	0,53	74,24	6,04	88,57	4,07
antraceen-D10	68,43	3,39	75,60	1,10	60,44	4,42	68,61	3,83
naftaleen	208,92	46,37	215,76	30,25	128,23	43,90	166,49	41,63
acenaftyleen	5,79	1,56	5,58	0,91	3,72	0,89	4,48	0,85
acenaftteen	28,30	5,96	27,43	1,81	20,78	3,04	24,63	2,64
fluoreen	42,13	8,54	39,10	4,27	27,15	5,48	31,77	4,98
fenantreen	278,16	54,42	286,57	30,15	197,07	31,28	254,96	30,19
antraceen	307,23	58,05	305,32	30,71	196,30	29,68	218,45	28,24
fluoranteen	362,50	62,63	381,02	30,26	260,77	31,68	302,31	29,00
pyreen	293,22	51,83	306,01	25,67	209,15	26,24	242,06	23,68
chryseen	282,96	51,73	277,44	27,18	185,90	24,01	208,65	21,64
benzo(a)antraceen	235,79	43,18	236,72	21,94	158,17	19,67	184,81	17,29
benzo(b)fluoranteen	394,47	76,13	394,56	36,01	252,46	30,59	279,82	29,34
benzo(k)fluoranteen	108,93	18,52	126,68	8,98	66,43	8,14	82,63	7,61
benzo(a)pyreen	217,12	37,02	222,60	16,30	154,82	17,20	173,91	14,15
dibenz(a,h)antraceen	96,59	30,33	115,75	11,27	69,93	13,71	82,72	7,62
benzo(ghi)peryleen	186,32	36,43	197,42	16,52	126,72	15,27	144,02	13,26
indeno(123-cd)pyreen	194,44	38,62	207,01	19,02	120,49	14,72	134,35	14,53
benzo(e)pyreen	276,15	51,63	289,83	24,47	182,39	21,89	207,26	19,85
2-methylfenantreen	60,84	17,67	65,95	11,71	37,61	9,43	49,78	9,98
1-nitropyreen	50,31	16,04	49,80	7,16	31,83	6,77	35,92	5,89
3-nitrofluoranteen	62,19	7,95	59,67	3,22	32,92	5,89	39,99	5,23
9-nitroantraceen	12,59	5,01	7,75	2,28	3,87	5,77	4,27	1,80
coroneen	73,08	15,90	80,69	5,82	34,04	4,33	40,05	3,93
PCB 26	3,87	0,53	3,56	0,27	2,86	0,34	2,94	0,25
PCB 28+31	53,51	7,57	48,58	2,19	33,59	3,71	39,28	3,21
PCB 44	11,66	1,65	11,02	0,46	7,04	0,78	8,43	0,76
PCB 49	20,33	2,96	19,11	0,83	12,20	1,38	14,38	1,19
PCB 52	36,76	5,38	35,27	1,51	22,06	2,55	26,59	2,25
PCB 101	31,09	4,70	31,22	1,37	18,40	2,06	22,78	1,92
PCB 105	4,55	0,60	4,36	0,18	2,97	0,26	3,01	0,31
PCB 118	23,35	3,58	22,68	1,09	14,18	1,57	16,95	1,37
PCB 135	16,94	2,75	18,66	0,82	10,17	1,16	12,49	1,06
PCB 153	29,32	4,59	31,51	1,56	16,95	1,88	22,08	1,89
PCB 170	8,87	1,38	9,13	0,55	4,95	0,78	6,46	0,59
PCB 180	12,86	2,35	14,55	1,22	7,84	1,04	9,48	0,92
PCB 187	3,53	1,08	3,54	0,00	1,70	0,00	2,74	0,00

herhaald = herhaalde extractie op reeds geëxtraheerd monster

Tabel 13b Onderzoeksresultaten van de terugvinding. Vergelijking van twee droogmethoden voor twee verschillende monsters. Alle waarden (rendementen) omgerekend naar %.

Component	Monster 1	Monster 1	Monster 1	Monster 1	Monster 2	Monster 2	Monster 2	Monster 2
	drogen 40 C	drogen 40 C	Na2SO4	Na2SO4	drogen 40 C	drogen 40 C	Na2SO4	Na2SO4
		herhaald		herhaald		herhaald		herhaald
naftaleen-D8	73%	3%	83%	1%	74%	6%	89%	4%
antraceen-D10	68%	3%	76%	1%	60%	4%	69%	4%
naftaleen	82%	18%	88%	12%	74%	26%	80%	20%
acenaftyleen	79%	21%	86%	14%	81%	19%	84%	16%
acenafteen	83%	17%	94%	6%	87%	13%	90%	10%
fluoreen	83%	17%	90%	10%	83%	17%	86%	14%
fenantreen	84%	16%	90%	10%	86%	14%	89%	11%
antraceen	84%	16%	91%	9%	87%	13%	89%	11%
fluoranteen	85%	15%	93%	7%	89%	11%	91%	9%
pyreen	85%	15%	92%	8%	89%	11%	91%	9%
chryseen	85%	15%	91%	9%	89%	11%	91%	9%
benzo(a)antraceen	85%	15%	92%	8%	89%	11%	91%	9%
benzo(b)fluoranteen	84%	16%	92%	8%	89%	11%	91%	9%
benzo(k)fluoranteen	85%	15%	93%	7%	89%	11%	92%	8%
benzo(a)pyreen	85%	15%	93%	7%	90%	10%	92%	8%
dibenz(a,h)antraceen	76%	24%	91%	9%	84%	16%	92%	8%
benzo(ghi)peryleen	84%	16%	92%	8%	89%	11%	92%	8%
indeno(123-cd)pyreen	83%	17%	92%	8%	89%	11%	90%	10%
benzo(e)pyreen	84%	16%	92%	8%	89%	11%	91%	9%
2-methylfenantreen	77%	23%	85%	15%	80%	20%	83%	17%
1-nitropyreen	76%	24%	87%	13%	82%	18%	86%	14%
3-nitrofluoranteen	89%	11%	95%	5%	85%	15%	88%	12%
9-nitroantraceen	72%	28%	77%	23%	40%	60%	70%	30%
coroneen	82%	18%	93%	7%	89%	11%	91%	9%
PCB 26	88%	12%	93%	7%	89%	11%	92%	8%
PCB 28+31	88%	12%	96%	4%	90%	10%	92%	8%
PCB 44	88%	12%	96%	4%	90%	10%	92%	8%
PCB 49	87%	13%	96%	4%	90%	10%	92%	8%
PCB 52	87%	13%	96%	4%	90%	10%	92%	8%
PCB 101	87%	13%	96%	4%	90%	10%	92%	8%
PCB 105	88%	12%	96%	4%	92%	8%	91%	9%
PCB 118	87%	13%	95%	5%	90%	10%	93%	7%
PCB 135	86%	14%	96%	4%	90%	10%	92%	8%
PCB 153	86%	14%	95%	5%	90%	10%	92%	8%
PCB 170	87%	13%	94%	6%	86%	14%	92%	8%
PCB 180	85%	15%	92%	8%	88%	12%	91%	9%
PCB 187	77%	23%	100%	0%	100%	0%	100%	0%

Gemiddeld rendement 83% 16% 92% 7% 85% 13% 89% 10%

herhaald = herhaalde extractie op reeds geëxtraheerd monster

Gegevens monsters:

monster 1:

organische stof 12.0 %

calciet 9.0 %

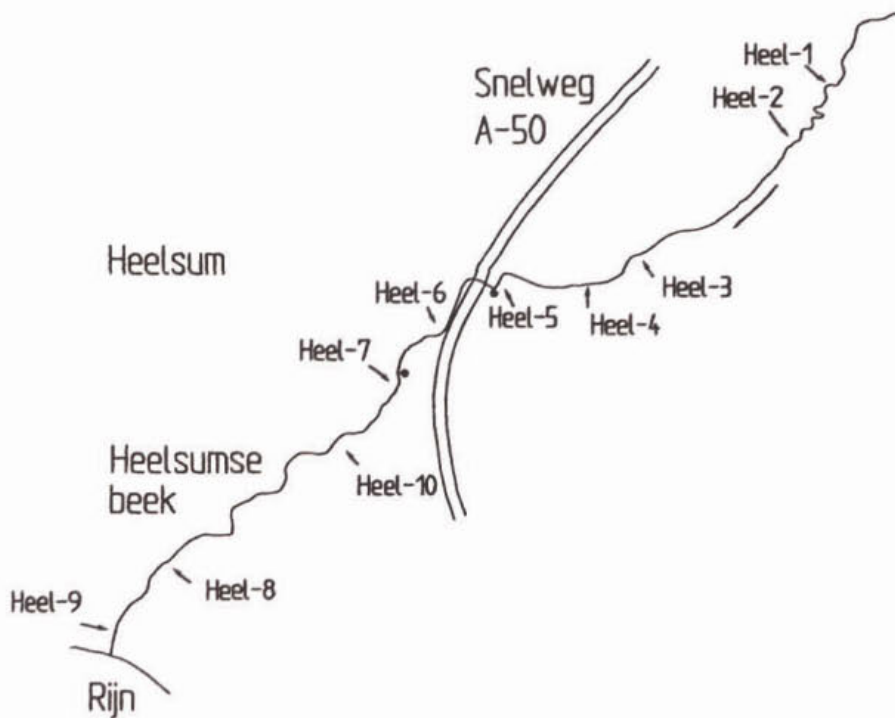
lutum 33 %

monster 2:

organische stof 12.0 %

calciet 8.4 %

lutum 30 %



— stromingsrichting
 Heel-2 monsterpunt
 • rioloverstort



project: Bronidentificatie voor waterbodemverontreiniging

opdrachtgever: STOWA

onderdeel: Situatieschets Heelsumsebeek

schaal: 1:25000

bestek:

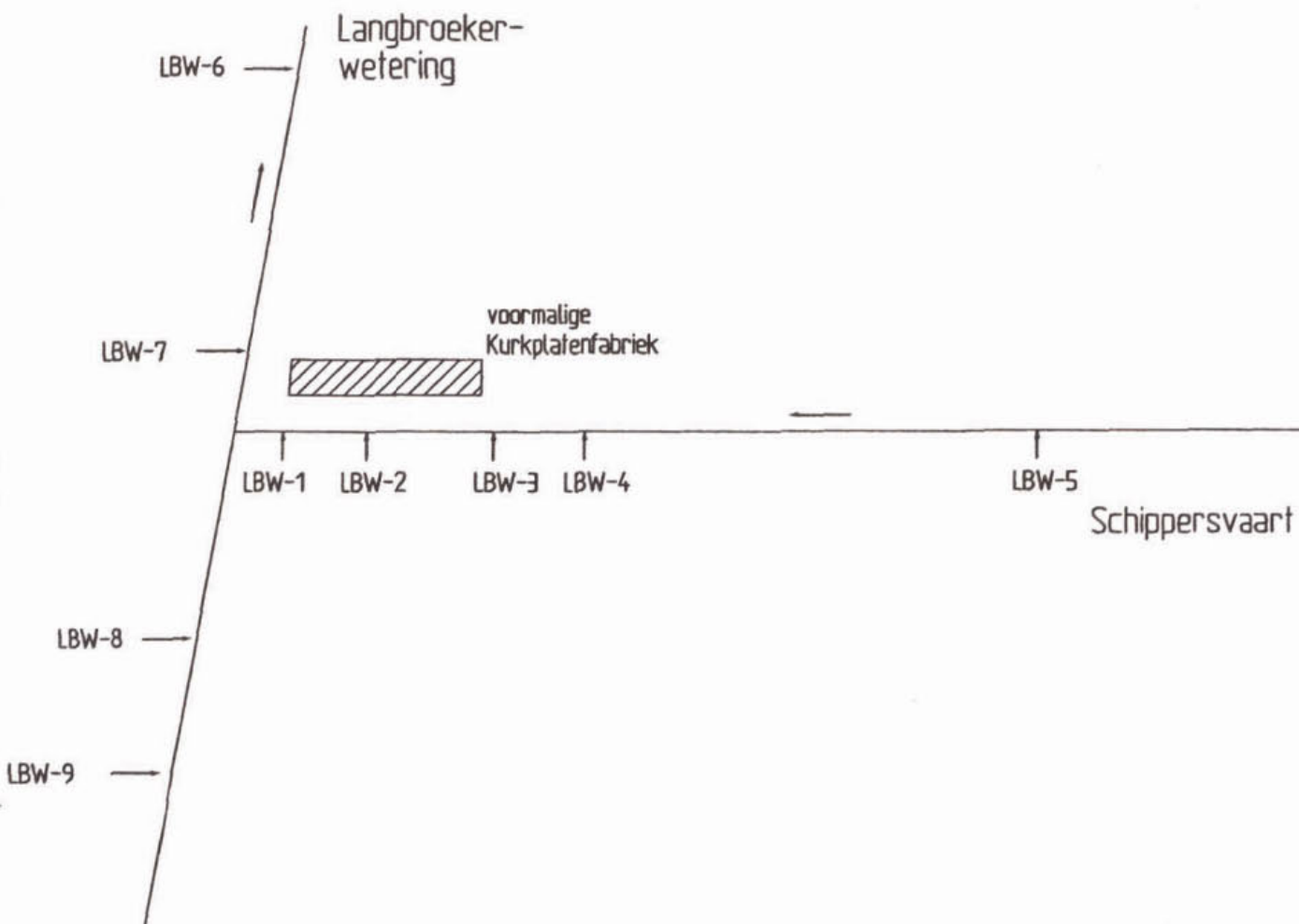
tekening nr.:

wijzigingen:
 code: datum:

get.: acc.: datum:
 20-10-1998

order nr.: 13-4605-1

bijlage nr.: 2 in bladen bladnr.:



— Stromingsrichting
 LBW-1 Monsterpunt



project: Bronidentificatie voor waterbodemonreiniging

opdrachtgever: STOWA

onderdeel: Situatieschets Schippersvaart

schaal: 1:5000

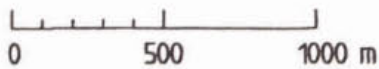
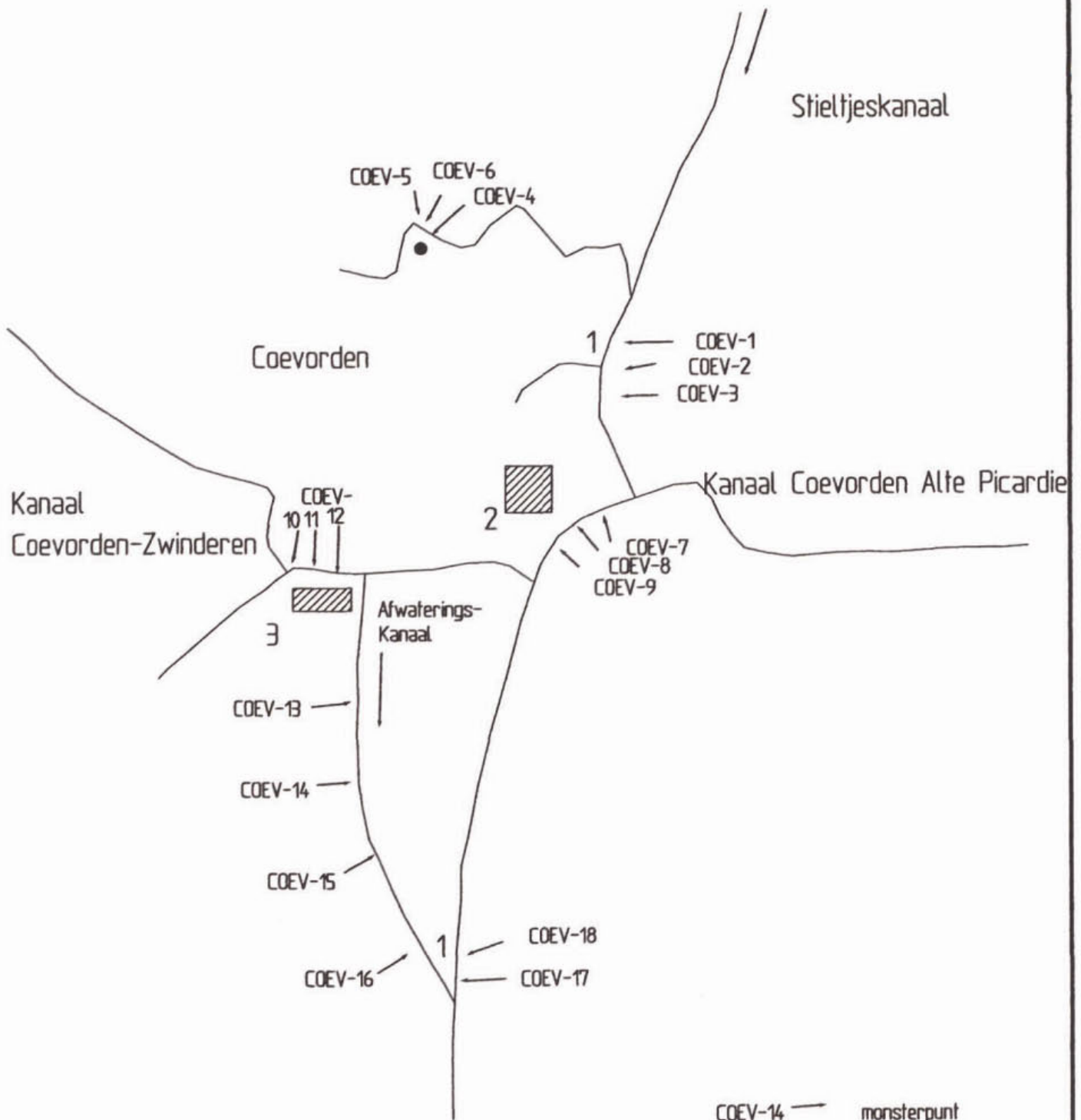
bestek:

tekening nr.:

wijzigingen: get.: acc.: datum: 20-10-1998
 code: datum:

order nr.: B-4605-1

bijlage nr.: 3 in bladen bladnr.:



- COEV-14 — monsterpunt
- rioloverstort
- 1 scheepswerf
- 2 voormalige gasfabriek
- 3 voormalige rwzi

Grontmij

project: Bronidentificatie voor waterboderverontreiniging

opdrachtgever:
STOWA

onderdeel:
Situatieschets Stadswateren Coevorden



schaal: 1:25000

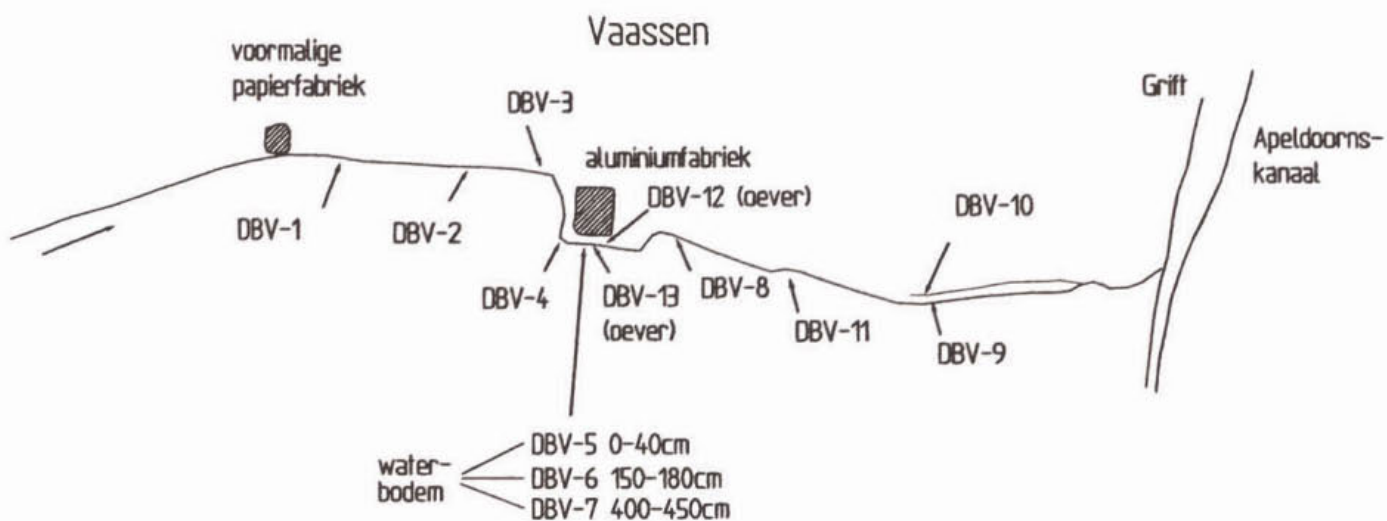
bestek:

tekening nr.:

wijzigingen: get.: acc.: datum:
code: datum: 20-10-1998

order nr.: 13-4605-1

bijlage nr.: 4 in bladen bladnr.:



 **Grontmij**

project: Bronidentificatie voor waterboderverontreiniging

opdrachtgever:
STOWA

onderdeel:
Situatieschets Dorpsbeek

schaal: 1:25000

bestek:

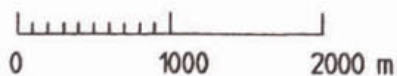
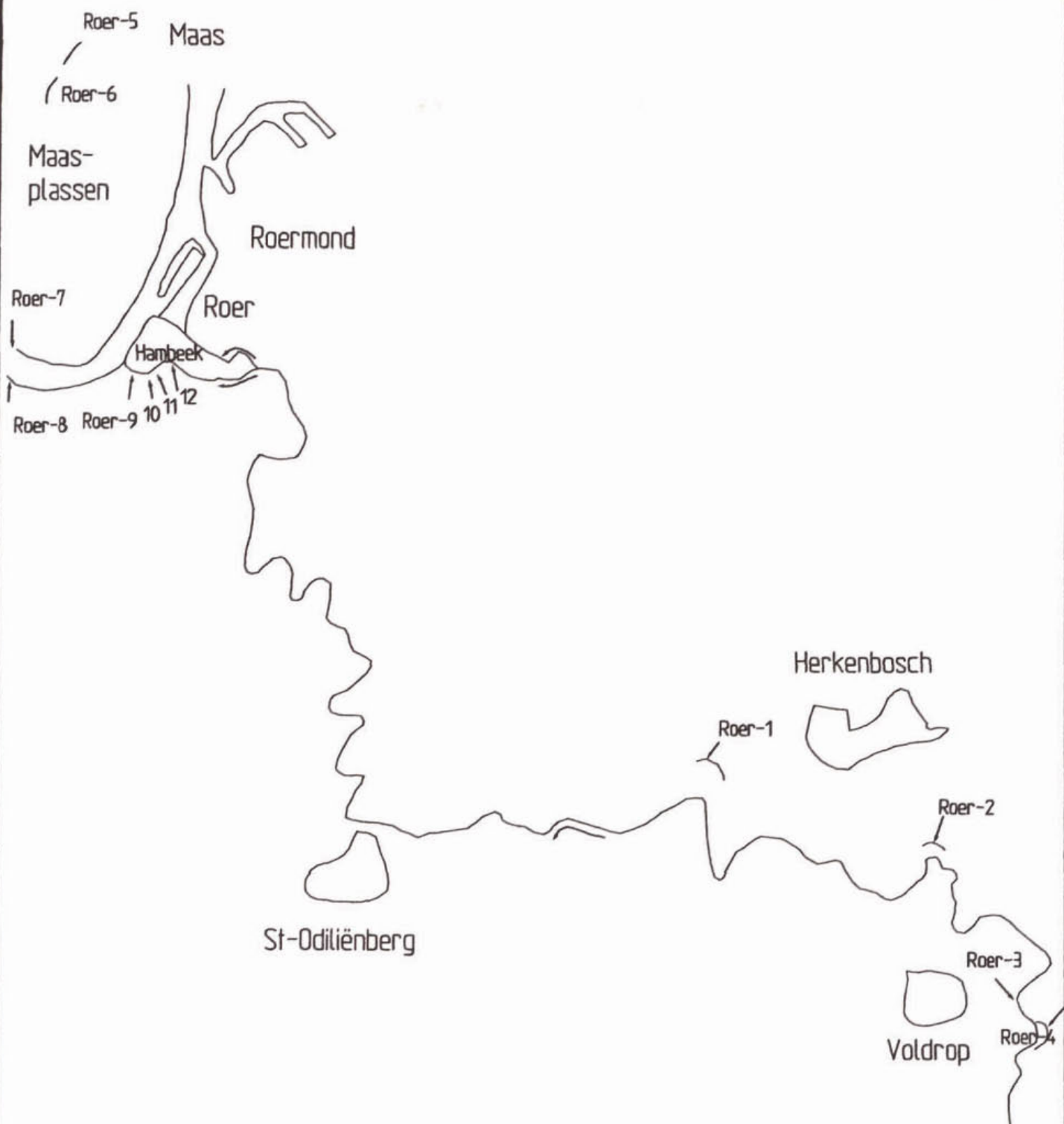
tekening nr.:

wijzigingen:
code: datum:

get.: acc.: datum:
20-10-1998

order nr.: 13-4605-1

bijlage nr.: 5 in bladen bladnr.:



→ Roer-2 monsterpunt
 ~~~~~ Stromingsrichting



project: Bronidentificatie voor waterbodemonverontreiniging

opdrachtgever: STOWA

onderdeel: Situatieschets Roer



school: 1:50000

bestek:

tekening nr.:

wijzigingen: code: datum:

get.: acc.: datum: 20-10-1998

order nr.: 13-4605-1



## Bijlage 7 Analyseresultaten van de praktijklocaties

Tabel 14 Analyseresultaten van de monsters uit de Heelsumsebeek. Alle gehalten in  $\mu\text{g}/\text{kg}$  d.s., tenzij anders vermeld

| Component            | HEEL-1 | HEEL-2 | HEEL-4 | HEEL-6 | HEEL-9 | HEEL-10 | cabine-1 |
|----------------------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|----------|
| naftaleen            | 11,6   | 9,1    | 11,8   | 27     | 899    | 327     | 192      |
| acenaftyleen         | <5     | <5     | <5     | <5     | 31     | 70      | 38       |
| acenaftteen          | 12,3   | 7,9    | 12,2   | 27     | 293    | 130     | 108      |
| fluoreen             | <5     | <5     | 6,4    | 22     | 631    | 349     | 137      |
| fenantreen           | 31     | 16,5   | 75     | 281    | 3628   | 3041    | 951      |
| antraceen            | 6,6    | <5     | 23     | 66     | 993    | 834     | 234      |
| fluoranteen          | 84     | 44     | 187    | 1094   | 5339   | 3296    | 2556     |
| pyreen               | 68     | 37     | 154    | 920    | 3986   | 2794    | 2313     |
| benzo(a)antraceen    | 34     | 15,7   | 103    | 438    | 2413   | 1514    | 885      |
| chryseen             | 76     | 28     | 132    | 869    | 3655   | 1657    | 1899     |
| benzo(b)fluoranteen  | 63     | 35     | 137    | 1440   | 3641   | 1387    | 2756     |
| benzo(k)fluoranteen  | 32     | 13,1   | 77     | 314    | 1473   | 593     |          |
| benzo(a)pyreen       | 58     | 30     | 116    | 707    | 2346   | 1231    | 1359     |
| dibenz(a,h)antraceen | 15,0   | <5     | 33     | 84     | 693    | 282     | 455      |
| benzo(ghi)peryleen   | 27     | 17,6   | 87     | 773    | 1817   | 730     | 1627     |
| indenopyreen         | 31     | 19,6   | 80     | 664    | 1699   | 709     | 1235     |
| benzo(e)pyreen       | 44     | 27     | 118    | 1092   | 2851   | 1196    | 2027     |
| 2-methylfenantreen   | 6,1    | <5     | 13,0   | 44     | 691    | 354     | 367      |
| 9-nitroantraceen     | <10    | <10    | 44     | 15,4   | 85     | 29      | 252      |
| 3-nitrofluoranteen   | 29     | <10    | 28     | 80     | 319    | 64      | 272      |
| 1-nitropyreen        | 37     | 13,6   | 39     | 245    | 709    | 54      | 2605     |
| coroneen             | <5     | <5     | 20     | 56     | 142    | 219     | 1010     |
| droge stof (%)       | 17,7   | 30,3   | 25,9   | 25,5   | 50,7   | 13,9    | 11,2     |
| org. stof (600C) (%) | 26,7   | 9,6    | 18,3   | 13,9   | 28,4   | 7,1     | 49,3     |

|                   |     |     |      |      |       |       |       |
|-------------------|-----|-----|------|------|-------|-------|-------|
| <i>totaal-PAK</i> | 666 | 314 | 1498 | 9258 | 38334 | 20861 | 23280 |
| <i>klasse</i>     | 0   | 0   | 0    | 2    | 2     | 3     | 2     |

**Tabel 15** Analyseresultaten van de monsters uit de Schippersvaart. Alle gehalten in  $\mu\text{g}/\text{kg}$  d.s., tenzij anders vermeld.

| Component            | LBW-1 | LBW-2 | LBW-3 | LBW-5 | LBW-6 | LBW-7 | LBW-8 | LBW-9 |
|----------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| naftaleen            | 7335  | 97    | 42    | 14,6  | 77    | 82    | 15,0  | 18,8  |
| acenaftyleen         | 12,1  | 5,4   | <5    | <5    | <5    | <5    | <5    | <5    |
| acenaftteen          | 4322  | 292   | 247   | 25    | 135   | 283   | 16,2  | 18,7  |
| fluoreen             | 4800  | 249   | 218   | 16,7  | 88    | 237   | 16,4  | 13,8  |
| fenantreen           | 47150 | 2556  | 2037  | 137   | 944   | 2360  | 230   | 100   |
| antraceen            | 15586 | 1042  | 822   | 47    | 423   | 746   | 76    | 35    |
| fluoranteen          | 66984 | 4485  | 3902  | 345   | 2245  | 4466  | 619   | 302   |
| pyreen               | 52975 | 3930  | 3649  | 397   | 1873  | 3539  | 488   | 191   |
| benzo(a)antraceen    | 41531 | 3074  | 3209  | 239   | 1423  | 2930  | 329   | 156   |
| chryseen             | 46746 | 3033  | 3203  | 258   | 1540  | 3701  | 390   | 206   |
| benzo(b)fluoranteen  | 36158 | 2773  | 3103  | 315   | 1329  | 3680  | 319   | 216   |
| benzo(k)fluoranteen  | 17647 | 1196  | 1515  | 149   | 676   | 1226  | 157   | 105   |
| benzo(a)pyreen       | 34945 | 2625  | 2964  | 259   | 1398  | 3310  | 332   | 213   |
| dibenz(a,h)antraceen | 8155  | 579   | 735   | 75    | 524   | 782   | <10   | 54    |
| benzo(ghi)peryleen   | 19561 | 1585  | 1820  | 202   | 821   | 1759  | 186   | 153   |
| indenopyreen         | 19088 | 1530  | 1790  | 199   | 851   | 1854  | 192   | 149   |
| benzo(e)pyreen       | 31760 | 2375  | 2784  | 291   | 1247  | 2874  | 297   | 206   |
| 2-methylfenantreen   | 5803  | 349   | 278   | 7,9   | 145   | 299   | 43    | 25    |
| 9-nitroantraceen     | 199   | 38    | <10   | <10   | 34    | <10   | <10   | <10   |
| 3-nitrofluoranteen   | 4102  | 81    | 59    | <10   | 72    | 225   | <10   | <10   |
| 1-nitropyreen        | 1043  | 50    | 43    | <10   | 46    | 78    | <10   | 20    |
| coroneen             | 3946  | 431   | 489   | 62    | 250   | 337   | 52    | 13,5  |
| droge stof (%)       | 43,0  | 30,6  | 25,2  | 40,9  | 65,7  | 32,5  | 59,3  | 56,6  |
| org. stof (600C) (%) | 6,7   | 10,8  | 12,3  | 6,1   | 2,5   | 8,4   | 4,0   | 4,3   |

|                   |                      |       |       |      |       |       |      |      |
|-------------------|----------------------|-------|-------|------|-------|-------|------|------|
| <i>totaal-PAK</i> | 469848               | 32375 | 32912 | 3039 | 16142 | 34769 | 3758 | 2197 |
| <i>klasse</i>     | 4                    | 3     | 3     | 2    | 3     | 3     | 2    | 2    |
|                   | (1212%) <sup>1</sup> |       |       |      |       |       |      |      |

<sup>1</sup>: percentage overschrijding interventiewaarde



**Tabel 16A** Analyseresultaten van de monsters van de gehele sliblaag uit de Stadswateren Coevorden. Alle gehalten in  $\mu\text{g}/\text{kg}$  d.s., tenzij anders vermeld.

| Component            | COEV-2 | COEV-6 | COEV-8 | COEV-12 | COEV-13 | COEV-16 | COEV-18 |
|----------------------|--------|--------|--------|---------|---------|---------|---------|
| naftaleen            | 451    | 19,6   | 531    | 120     | 102     | 54      | 276     |
| acenaftyleen         | 53     | <5     | 29     | 10,5    | 8,8     | 5,1     | 24      |
| acenaftteen          | 1220   | 26     | 1100   | 191     | 899     | 112     | 1442    |
| fluoreen             | 1652   | 18,2   | 1066   | 194     | 420     | 87      | 1146    |
| fenantreen           | 8456   | 113    | 5355   | 1354    | 1335    | 381     | 4130    |
| antraceen            | 3542   | 52     | 2459   | 395     | 523     | 121     | 939     |
| fluoranteen          | 11246  | 334    | 11068  | 2300    | 2109    | 771     | 5938    |
| pyreen               | 9227   | 245    | 9064   | 1786    | 1707    | 614     | 4569    |
| benzo(a)antraceen    | 5685   | 222    | 4772   | 1248    | 1400    | 363     | 3342    |
| chryseen             | 6145   | 238    | 5348   | 1318    | 1337    | 480     | 4713    |
| benzo(b)fluorantheen | 4574   | 216    | 4331   | 1187    | 1114    | 421     | 5246    |
| benzo(k)fluoranteen  | 2687   | 100    | 1934   | 496     | 568     | 174     | 1491    |
| benzo(a)pyreen       | 5682   | 201    | 4520   | 1076    | 1107    | 329     | 4106    |
| dibenz(a,h)antraceen | 1329   | 39     | 994    | 216     | 225     | 85      | 861     |
| benzo(ghi)peryleen   | 3730   | 84     | 3051   | 473     | 508     | 178     | 2105    |
| indenopyreen         | 3353   | 104    | 2785   | 545     | 557     | 193     | 2202    |
| benzo(e)pyreen       | 5060   | 174    | 4022   | 870     | 918     | 328     | 3566    |
| 2-methylfenantreen   | 1374   | 6,2    | 854    | 154     | 132     | 53      | 434     |
| 9-nitroantraceen     | 208    | <10    | 45     | 16,4    | 29      | 28      | 78      |
| 3-nitrofluoranteen   | 225    | <10    | 143    | 25      | 41      | <10     | 252     |
| 1-nitropyreen        | 647    | 17,0   | 242    | 34      | 55      | 15      | 197     |
| coroneen             | 1098   | 17,3   | 271    | 19      | 17,5    | 7       | 597     |
| droge stof (%)       | 62,1   | 50,0   | 58,9   | 55,0    | 61,0    | 26,0    | 42,3    |
| org. stof (600C) (%) | 5,1    | 5,1    | 4,6    | 9,1     | 4,7     | 19,2    | 18,3    |

|                   |                          |      |             |       |       |      |       |
|-------------------|--------------------------|------|-------------|-------|-------|------|-------|
| <i>totaal-PAK</i> | 77646                    | 2225 | 63985       | 14028 | 15112 | 4799 | 47653 |
| <i>klasse</i>     | 4<br>(179%) <sup>1</sup> | 2    | 4<br>(153%) | 3     | 3     | 2    | 3     |

<sup>1</sup>: percentage overschrijding interventiewaarde

**Tabel 16B** Analyseresultaten van de monsters uit de Stadswateren Coevorden.  
(monsters van verticale trajecten van 0,5 m per boring). Alle gehalten in  $\mu\text{g/kg}$  d.s., tenzij anders vermeld.

| Component            | COEV | COEV  | COEV | COEV | COEV  | COEV  | COEV  |
|----------------------|------|-------|------|------|-------|-------|-------|
|                      | 2A-1 | 2A-2  | 7A-1 | 7A-2 | 11A-1 | 11A-2 | 11A-3 |
| naftaleen            | 134  | 91    | 214  | 84   | 33    | 33    | 42    |
| acenaftyleen         | 18,6 | 12,1  | 22   | 8,8  | 2,5   | 5,2   | 2,5   |
| acenafteen           | 336  | 724   | 128  | 151  | 139   | 117   | 100   |
| fluoreen             | 518  | 809   | 143  | 64   | 46    | 85    | 83    |
| fenantreen           | 1928 | 3775  | 1231 | 447  | 239   | 522   | 558   |
| antraceen            | 803  | 1456  | 980  | 273  | 95    | 172   | 200   |
| fluorantheen         | 2792 | 4743  | 3384 | 1566 | 732   | 1245  | 1267  |
| pyreen               | 2280 | 3765  | 3357 | 1448 | 605   | 1044  | 1051  |
| benzo(a)antraceen    | 1167 | 1774  | 2277 | 773  | 321   | 543   | 533   |
| chryseen             | 1364 | 2146  | 2468 | 760  | 422   | 728   | 700   |
| benzo(b)fluorantheen | 973  | 1579  | 1850 | 631  | 368   | 661   | 561   |
| benzo(k)fluorantheen | 528  | 776   | 1016 | 320  | 163   | 296   | 259   |
| benzo(a)pyreen       | 1138 | 1544  | 2470 | 758  | 355   | 662   | 521   |
| dibenz(ah)antraceen  | 272  | 356   | 503  | 220  | 111   | 228   | 124   |
| benzo(ghi)peryleen   | 656  | 951   | 1515 | 432  | 248   | 468   | 351   |
| indeno(123-cd)pyreen | 652  | 931   | 1423 | 423  | 260   | 449   | 345   |
| benzo(e)pyreen       | 938  | 1451  | 1915 | 601  | 338   | 607   | 511   |
| 2-methylfenantreen   | 390  | 430   | 186  | 39   | <5    | 33    | 113   |
| 9-nitroantraceen     | 13,3 | 25,3  | <10  | <10  | 11,3  | <10   | 13,1  |
| 3-nitrofluoranteen   | 35,7 | 235,0 | 23,6 | 19,8 | 16,9  | 35,8  | 41,1  |
| 1-nitropyreen        | 25   | 96    | 29   | 19,4 | 14,4  | 28    | 39    |
| coroneen             | 227  | 224   | 482  | 135  | 85    | 168   | 106   |
| drogestof (%)        | 51,9 | 36,2  | 59,2 | 73,3 | 34,2  | 25,0  | 45,5  |
| org. Stof(600C)(%)   | 9,5  | 19,2  | 7,2  | 3,6  | 17,6  | 21,6  | 13,0  |

|                |       |       |       |      |      |      |      |
|----------------|-------|-------|-------|------|------|------|------|
| <i>som PAK</i> | 17188 | 27895 | 25616 | 9175 | 4608 | 8130 | 7520 |
| <i>klasse</i>  | 3     | 3     | 3     | 3    | 2    | 2    | 2    |



**Tabel17**      **Analyseresultaten van de monsters uit de Dorpse beek. Alle gehalten in  $\mu\text{g}/\text{kg}$  d.s., tenzij anders vermeld.**

| Component            | DBV-1 | DBV-3 | DBV-6 | DBV-7 | DBV-8 | DBV-9 | DBV-10 | DBV-11 | DBV-12 |
|----------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|
| PCB-26               | 442   | 81    | 6,5   | 26    | 75    | <5    | 237    | 26     | 15,1   |
| PCB 28+31            | 6854  | 410   | 68    | 224   | 363   | <5    | 2110   | 277    | 119    |
| PCB-44               | 2697  | 52    | 95    | 364   | 384   | <5    | 453    | 127    | 783    |
| PCB-49               | 3753  | 135   | 114   | 531   | 925   | 7,8   | 974    | 236    | 1014   |
| PCB-52               | 7760  | 193   | 539   | 1942  | 1959  | 14,9  | 1718   | 577    | 4204   |
| PCB-101              | 4395  | 65    | 1387  | 4036  | 3953  | 43    | 3286   | 1535   | 9137   |
| PCB-105              | 2592  | 60    | 442   | 1594  | 1441  | 9,8   | 658    | 400    | 4808   |
| PCB-118              | 4222  | 39    | 942   | 3307  | 3563  | 26    | 1855   | 933    | 9620   |
| PCB-138              | 2709  | 51    | 775   | 4615  | 3597  | 66    | 3270   | 1872   | 9840   |
| PCB-153              | 3928  | 67    | 1858  | 4379  | 3954  | 86    | 4917   | 2470   | 7827   |
| PCB-170              | 1885  | 44    | 933   | 2009  | 1650  | 47    | 1905   | 1087   | 2997   |
| PCB-180              | 2734  | 61    | 1195  | 78    | 2285  | 71    | 3508   | 1945   | 3596   |
| PCB-187              | 249   | <5    | 93    | 234   | 226   | 12,0  | 359    | 322    | 297    |
| droge stof (%)       | 84,9  | 61,6  | 75,3  | 70,5  | 74,1  | 71,5  | 66,8   | 71,3   | 74,2   |
| org. stof (600C) (%) | 0,3   | 3,8   | 0,3   | 4,8   | 2,8   | 1,8   | 5,4    | 4,3    | 5,2    |

*som PCB*            44219        1261        8448        23340        24376        384        25249        11807        54258

*klasse*            4            4            4            4            4            3            4            4            4  
                       (14474%)<sup>1</sup>    (99%)    (3265%)    (4175%)    (9645%)            (3934%)    (2102%)    (9362%)

<sup>1</sup>:      *percentage overschrijding interventiewaarde*

**Tabel 18A** Analyseresultaten van de monsters uit de Roer. Alle gehalten in  $\mu\text{g/kg d.s.}$ , tenzij anders vermeld

| Component            | ROER-2 | ROER-3 | ROER-6 | ROER-7 | ROER-9 | ROER-10 | ROER-12 |
|----------------------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|---------|
| PCB-26               | 2,1    | 1,0    | <0,8   | <0,8   | 1,0    | <0,8    | <0,8    |
| PCB 28+31            | 24     | 15,2   | <2     | <2     | 2,1    | 4,0     | 6,1     |
| PCB-44               | 3,5    | 2,6    | <0,6   | <0,6   | 1,0    | 5,7     | <2      |
| PCB-49               | 6,6    | 5,0    | <1,4   | <1,4   | 1,8    | 8,3     | 2,9     |
| PCB-52               | 11,2   | 8,8    | <2     | <2     | 2,9    | 29      | 7,9     |
| PCB-101              | 16,6   | 12,6   | 3,6    | 3,3    | 4,4    | 62      | 15,2    |
| PCB-105              | 7,7    | 6,4    | 2,0    | <1,5   | 2,0    | 36      | 10,2    |
| PCB-118              | 14,5   | 9,7    | 2,5    | 2,4    | 4,0    | 70      | 18,0    |
| PCB-138              | 29     | 20     | 6,1    | 7,4    | 7,3    | 69      | 17,2    |
| PCB-153              | 31     | 24     | 7,9    | 9,7    | 8,1    | 57      | 16,2    |
| PCB-170              | 24     | 16,2   | 4,5    | 6,8    | 7,9    | 32      | 7,4     |
| PCB-180              | 25     | 16,6   | 7,8    | 10,7   | 7,1    | 32      | 9,5     |
| PCB-187              | 2,8    | <1,5   | <1,5   | 2,2    | 1,8    | <1,5    | <1,5    |
| droge stof (%)       | 70,1   | 75,0   | 75,8   | 79,5   | 75,6   | 81,6    | 81,0    |
| org. stof (600C) (%) | 12,2   | 8,3    | 6,2    | 4,6    | 7,5    | 5,6     | 6,8     |

|         |     |     |    |    |    |     |     |
|---------|-----|-----|----|----|----|-----|-----|
| som PCB | 198 | 138 | 34 | 43 | 51 | 405 | 111 |
| klasse  | 2   | 2   | 2  | 2  | 2  | 3   | 2   |

**Tabel 18B** Analyseresultaten van de monsters uit de Roer. Alle gehalten in  $\mu\text{g/kg d.s.}$ , tenzij anders vermeld.

| Component           | ROER-13 | ROER-14 | ROER-15 |
|---------------------|---------|---------|---------|
| pcb-26              | <0,8    | <0,8    | <0,8    |
| pcb-28+31           | 2,7     | <2      | <2      |
| pcb-44              | <0,6    | <0,6    | <0,6    |
| pcb-49              | <1,4    | <1,4    | <1,4    |
| pcb-52              | <2      | <2      | 2,1     |
| pcb-101             | 11,0    | 2,0     | 8,4     |
| pcb-105             | 2,1     | <1,5    | 1,9     |
| pcb-118             | 3,4     | <0,9    | 4,2     |
| pcb-153             | 28      | 5,5     | 27      |
| pcb-138             | 18,8    | 2,7     | 22      |
| pcb-170             | 17,2    | 2,8     | 18,5    |
| pcb-180             | 45      | 9,3     | 44      |
| pcb-187             | 10,8    | 4,0     | 8,9     |
| droge stof (%)      | 80,5    | 84,4    | 80,6    |
| org.stof (600C) (%) | 7,7     | 5,1     | 7,8     |

|         |     |    |     |
|---------|-----|----|-----|
| som PCB | 139 | 26 | 137 |
| klasse  | 3   | 2  | 3   |



