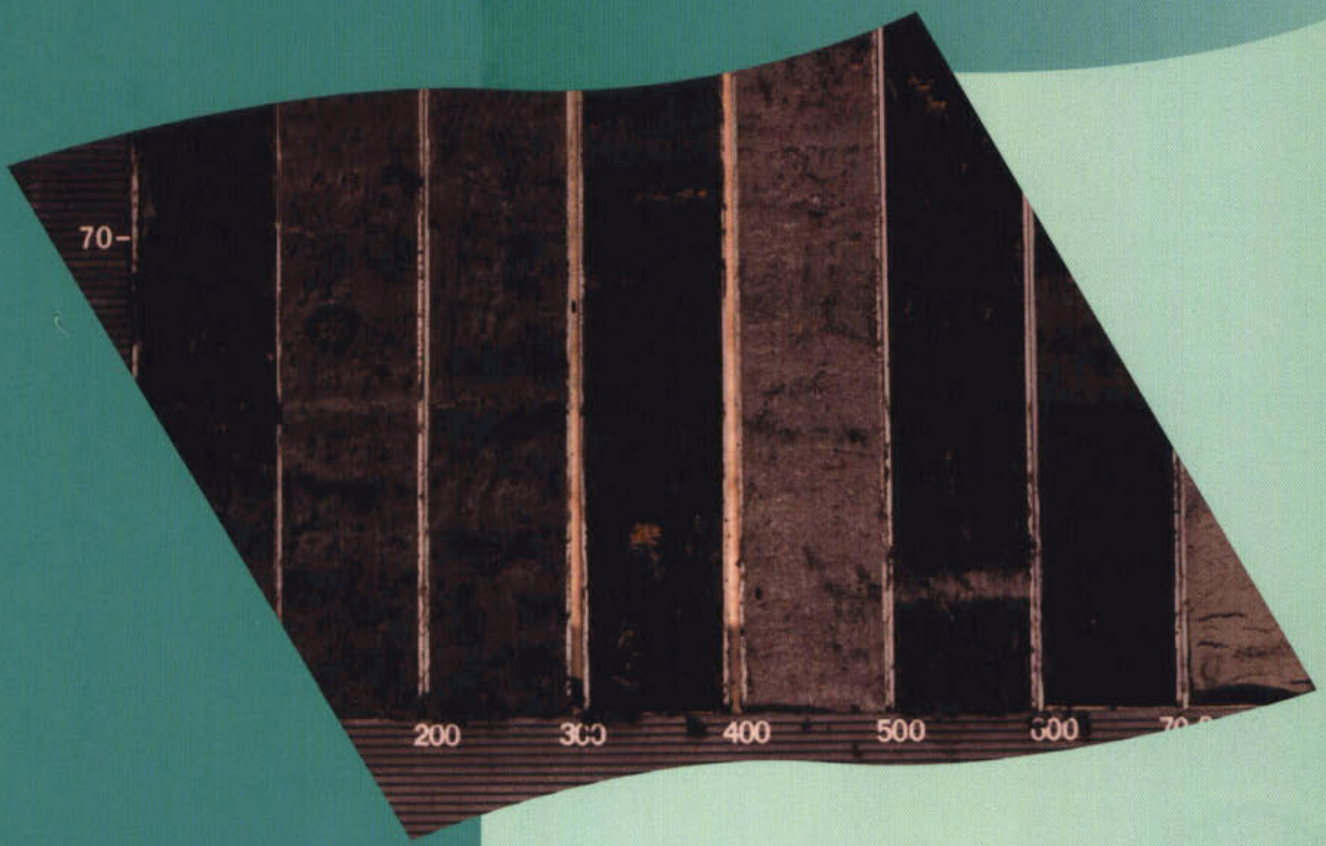
1999-10_PAKs-veenprofielen

stowa

tichting Toegepast Onderzoek Waterbeheer

Polycyclische Aromatische Koolwaterstoffen in veenprofielen



99 10

stowa

Stichting Toegepast Onderzoek Waterbeheer

Polycyclische Aromatische Koolwaterstoffen in veenprofielen

99 10

Arthur van Schendelstraat 816
Postbus 8090, 3503 RB Utrecht
Telefoon 030 232 11 99
Fax 030 232 17 66
E-mail stowa@stowa.nl

Publicaties en het publicatie-overzicht van de STOWA kunt u uitsluitend bestellen bij:
Hageman Verpakkers BV
Postbus 281
2700 AC Zoetermeer
tel. 079 - 347 00 11
fax 079 - 361 39 27
o.v.v. ISBN- of bestelnummer en een duidelijk afleveradres.
ISBN 90.5773.060.x

Tengeleide

Hoge gehaltes Poly Aromatisch Koolwaterstoffen (PAK) zijn in Nederland een probleem voor het omgaan met baggerspecie. Hoge gehaltes PAK zijn in veel gevallen niet te verklaren zijn door antropogene depositie. Dit is aanleiding geweest om te onderzoeken in hoeverre natuurlijke PAK vanuit organisch materiaal rijke sedimenten geleverd kan worden aan waterbodems. Als kan worden aangetoond dat de PAK in de waterbodem een natuurlijke oorsprong heeft in het onderliggend sediment, dan zou het beleid voor het omgaan met 'verontreinigd' baggerspecie moeten worden aangepast.

Viertien boringen in veenafzettingen verspreid over Nederland zijn geanalyseerd op PAK. Er is een eerst aanzet gemaakt voor het vaststellen van natuurlijke achtergrondgehaltes voor PAK. Vervolgens is een vergelijking gemaakt tussen het PAK gehalte in het boorprofiel en in waterbodems in de directe omgeving van de boring. Tenslotte is huidige normstelling voor PAK geëvalueerd op basis van de nieuwe meetgegevens.

Het onderzoek werd door het bestuur van de STOWA opgedragen aan het Nederlands Instituur vooor Toegepaste Geowetenschappen TNO (NITG-TNO). De begeleidingscommissie bestond uit vertegenwoordigers van de volgende instellingen:

Voorzitter	ir. B. van der Veer	HRS Rijnland, LEIDEN
Lid	ing. R. Kampf	HRS Uitwat. Sluizen Hollands Noorderkwartier, EDAM
Lid	dr.ir. J.E.M. Beurskens	Waterschap Maaskant, OSS
Lid	dr. R. Veeningen	Waterschap Friesland, LEEUWARDEN
Lid	drs. J. Harmsen	SC-DLO, WAGENINGEN
Lid	dr. A.G.M. van Hattum	Vrije Universiteit, IVM, AMSTERDAM
Lid	prof.dr. J.W. de Leeuw	NIOZ, DEN BURG
Lid	ing. D. Sundermeyer	Grondbank, ROTTERDAM
Lid	ir. E.S.J.van Tuinen	HRS Alblasserwaard/Vijfheerenlanden, GORINCHEM
Notulist	drs. J.H.A. Bosch	NITG-TNO, District Noord-Oost, ZWOLLE

Het geochemisch onderzoek werd gecoördineerd door NITG-TNO, Organisch Geochemisch Laboratorium te Utrecht (dr. P. David), het geologische onderzoek door NITG-TNO districtskantoor Noord-Oost (drs. J.H.A. Bosch). Projectleider was dr. W.J.J. Fermont. Omdat dr. W.J.J. Fermont sinds medio 1998 niet meer bij het NITG-TNO werkt, is het rapport afgerond door drs. B. van der Grift.

Utrecht, augustus 1999

De directeur van STOWA

ir. J.M.J. Leenen

Samenvatting

In opdracht van de STOWA is door het NITG onderzoek verricht naar het voorkomen van Polyclische Aromatische Koolwaterstoffen (PAK) in veenprofielen. Het voornaamste doel van het onderzoek is na te gaan of er een natuurlijke achtergrond van PAK in de Nederlandse ondiepe ondergrond bestaat en zo ja, of dit ook een bron kan zijn van hoge PAK concentraties in oppervlaktewater en waterbodem.
Het project bestaat uit twee delen. Het eerste deel is een inventarisatie van PAK voorkomens in veenprofielen. Hierbij is gekeken of er een onderscheid kan worden gemaakt tussen natuurlijke en antropogene PAK. Deel twee richt zich op de mogelijkheid van levering van PAK uit veenprofielen aan waterbodems. Er is hiervoor een vergelijking gemaakt tussen het voorkomen van PAK in veenprofielen en in waterbodems en tevens is de huidige normstelling voor PAK in waterbodems en in sedimenten geëvalueerd op basis van de nieuwe meetgegevens.

Deel 1: inventarisatie van PAK voorkomens in veenprofielen

Ten behoeve van dit onderzoek zijn op diverse plaatsen in Nederland ongestoorde boringen gezet in veenprofielen tot enkele meters diepte. Deze boringen zijn zorgvuldig beschreven en in een geologisch kader geplaatst. Monsters uit deze profielen zijn onderzocht op de aanwezigheid van PAK. De analytische uitvoering geschiedde aan de hand van de momenteel in Nederland gangbare normen, vastgelegd in NEN 5771, op basis van HPLC-UV/HPLC-FL-detectie. De onderzoeksmethoden zijn gevalideerd door het gebruik van referentiemateriaal en standaards, en contra-expertise door Waterschap Friesland. Vervolgens zijn de onderzoeksresultaten getoetst op interne consistentie en samenhang met multivariante statistische technieken. Met behulp van GC/MS is een kwalitatieve screening en identificatie van PAK verricht, met name op een deel van de monsters waarin opvallende composities van PAK werden waargenomen. De onderzoeksresultaten zijn vervolgens bekeken vanuit verschillende perspectieven als lithologie, monsterdiepte, geologische ouderdom en geografische spreiding.

Er zijn 138 monsters onderzocht, afkomstig van 14 boorlocaties uit Friesland, Noord-Holland, Zuid-Holland en Limburg.

Ten aanzien van de analyse methode die in dit project is gebruikt zijn de volgende conclusies te trekken:

- Er bestaan natuurlijke polycyclische aromatische componenten, die geen EPA- of VROM-PAK zijn, maar op grond van hun gecombineerde chemische eigenschappen, met name aromaticiteit en molecuulgewicht, geïnterpreteerd kunnen worden als EPA- of VROM-PAK bij gebruikmaking van HPLC-UV of HPLC-FL technieken. Dit was de oorzaak dat een groot aantal monsters een monotypische PAK samenstelling hebben. Dit is een PAK samenstelling die voornamelijk uit één component bestaat. BPE en in mindere mate BBF zijn de voornaamste componenten die een monotypische PAK samenstellingen veroorzaakten. Uit GC/MS onderzoek bleek dat

het zogenaamde BPE bestaat uit een complex van biomarkers, waaronder monoaromatische benzohopanen.
- Uit de vergelijking van UV en FL-signalen blijkt dat beneden de 0,5 ppm som-PAK geen conclusies meer verbonden kunnen worden met betrekking tot samenstelling van de individuele PAK. In complexe afzettingen moet 0,5 ppm gezien worden als een grenswaarde. De reden is waarschijnlijk dat een grote hoeveelheid onbekende stoffen in zeer geringe concentraties aanwezig zijn, waarvoor de EPA-PAK beneden 0,5 ppm niet meer als representatief gelden.

Voor de interpretatie van de PAK voorkomens naar correlatie met diepte en lithologie is er geen groot verschil tussen de gehele dataset en de dataset waarbij monsters met een monotypische PAK samenstelling zijn geëlimineerd. Hieruit kan geconcludeerd worden dat ondanks de beperkingen van de meetmethoden de resultaten van de PAK analyses bruikbaar zijn voor een inventarisatie van natuurlijke PAK gehaltes in sedimenten.

Op basis van de in dit project verkregen resultaten kan een model worden opgesteld dat het voorkomen van PAK in de veenprofielen verklaart.

Er bestaat een relatie tussen het PAK gehalte en de lithologie. Veraard veen heeft met 2,5 ppm de hoogste gemiddelde som-PAK gehaltes. Een logische verklaring hiervoor is dat bij oxidatie van veen PAK vrijkomt. Hierna volgt een groep venen met een gemiddeld organisch stofgehalte van meer dan 75% (mosveen, rietveen en wollegrasveen) en de toplaag. Deze groep heeft een gemiddeld som EPA-PAK gehalte van ongeveer 1,5 ppm. Doordat de gemiddelde som EPA-PAK gehaltes van de toplaag niet zijn verhoogd ten opzichte van de diepere veenlagen kan geconcludeerd worden dat de recente antropogene aanrijking van PAK in de onderzochte gebieden gemiddeld niet hoger is dan de natuurlijke PAK gehaltes in veen. De gemiddelde som EPA-PAK gehaltes in venen met minder dan 75% organisch stof (bosveen en amorf veen) is kleiner dan 0,5 ppm. Deze zijn niet meer onderscheidbaar van de overige lithologieën. Zoals verwacht heeft het PAK gehalte heeft dus een positieve correlatie met het organisch stofgehalte. Door oxidatie of verbranding van veen kan het natuurlijke PAK gehalte nog verder toenemen.

De relatie tussen aard en gehalte aan PAK en diepte is complex. Voor de som-PAK bestaat er een algemene trend van afname van PAK naar de diepte toe van gemiddeld ruim 2 ppm in de bovenste 100 cm tot minder dan 0,3 ppm beneden de 500 cm. Wanneer echter de individuele PAK afzonderlijk worden beschouwd ontstaat een geheel ander beeld. De PAK zijn dan onder te verdelen in drie groepen.
- Lichte PAK (NAF, ANT, ACN, FLR, FEN, BBF) deze hebben maximale gehaltes onder het oppervlak, die ontstaan zijn door migratie van antropogene PAK vanaf het maaiveld of door aërobe afbraak van in situ gevormde PAK aan het oppervlak. De laatste verklaring lijkt op basis van de resultaten het meest aannemelijk. Een combinatie van beide processen kan echter niet worden uitgesloten.
- Een groep zware PAK (BKF, BAA, BAP, DBA en BPE) die over het gehele diepte-interval van de boringen worden aangetroffen, zonder trendmatige verandering in de

diepte. Deze PAK is van natuurlijke oorsprong, gecorreleerd aan het organisch stofgehalte van het sediment en oxidatie/verbranding van veen.

- Een groep zware PAK (PYR, CHR, FLT en IND) die vrijwel uitsluitend in de bovenste meter van het profiel wordt aangetroffen. Mogelijk is deze PAK voornamelijk van antropogene oorsprong. De bijdrage van deze componenten aan het som-PAK gehalte is over het algemeen niet hoog.

Bronnen van PAK

PAK	NAF	ACN	FLR	FEN	ANT	FLT	PYR	BAA	CHR	BBF	BKF	BAP	DBA	BPE	INP
natuurlijk								X		x	X	X	X	X	
mogelijk natuurlijk	X	x	x	x	X										
antropogeen						x	x		x						x

De factoranalyse die op de dataset is uitgevoerd bevestigd het hierboven beschreven model waarmee het voorkomen van PAK kan worden verklaard.

Deel 2: PAK in waterbodem

Vergelijking PAK voorkomens in veenprofielen met waterbodems

De tweede doelstelling van dit project is te bepalen of de hoge PAK gehaltes in waterbodems kunnen worden verklaard door levering van uit het sediment. Hiervoor zijn PAK analyses van waterbodems in de directe omgeving van boringen vergeleken met de PAK samenstelling van het veen.

In totaal is er voor vier gebieden, waarvan één in Friesland en drie in Noord-Holland, een vergelijking gemaakt tussen de PAK samenstelling van de waterbodem en van het veenprofiel.

In het natuurgebied de Rottige Meenthe in Friesland is er mogelijk een relatie tussen de PAK in de waterbodem en de PAK in het veenprofiel. Beide bevatten meer dan 3 ppm voornamelijk zware PAK. DBA en de lichte twee en drierings PAK zijn zowel in de waterbodem als in de bovenstel laag van het veenprofiel afwezig. Het is echter niet mogelijk om aan te geven of de PAK in de waterbodem vanuit het veen geleverd wordt of dat er een antropogene bron is die zowel de waterbodem als de toplaag van het veenprofiel verrijkt.

Voor de drie boringen in Noord Holland kan met zekerheid geconcludeerd worden dat er geen relatie is tussen de PAK in de waterbodem en de PAK in het veenprofiel. Zowel de totaal gehaltes als de individuele samenstelling van de PAK komen niet overeen. Opvallend is dat het partoon van de PAK samenstelling in alle waterbodemmonsters uit Noord-Holland vrijwel exact hetzelfde is, ondanks totaal verschillende som-PAK gehaltes. Dit is alleen mogelijk als de PAK in Noord-Holland door een dezelfde (antropogene) bron veroorzaakt wordt. Dit lijkt echter niet waarschijnlijk en is een aanleiding om de PAK analyses in Noord-Holland nog eens nader te beschouwen.

Uit het vergelijkend onderzoek kan niet geconcludeerd worden of de PAK in de waterbodem nooit of soms uit het onderliggende sediment geleverd wordt. Vergelijking van PAK samenstelling van waterbodems en van veenprofielen hiervoor ook niet voldoende. Doordat de oplosbaarheid van de verschillende PAK componenten sterk varieert is het onwaarschijnlijk dat de levering vanuit het sediment voor alle componenten gelijk is. Daarnaast is het momenteel niet bekend of de PAK in veenafzettingen onder bepaalde, tot nu toe onbekende omstandigheden, mobiel kunnen worden en zich vervolgens in de waterbodem op kunnen hopen. Om meer inzicht te krijgen over de levering van natuurlijke PAK in veenafzettingen aan het PAK gehalte in waterbodems is het daarom noodzakelijk om onderzoek te doen naar het transport van PAK in organisch materiaal rijke afzettingen.

Evaluatie normstelling PAK

De derde doelstelling van dit project is de vigerende normstelling voor PAK te evalueren aan de hand van de nieuwe meetgegevens. In de regelegeving voor PAK bestaat een onderscheid tussen het waterbodembeleid en het algemene milieubeleid ten aanzien van milieugevaarlijke stoffen. Een afstemming tussen beide normstellingssytemen ontbreekt momenteel. Voor het waterbodembeleid geld de klasse indeling. Van de 138 geanalyseerde monsters heeft slechts één monster een PAK gehalte boven de toestingswaarde van 10 mg/kg. 42 monsters hebben een som PAK gehalte tussen de 1 en 10 mg/kg en vallen in klasse 2. Door levering vanuit het sediment kan hiermee dus in principe klasse twee baggerspecie ontstaat.

Het huidige milieubeleid ten aanzien van milieugevaarlijke stoffen is gebaseerd op de notitie Integrale Normstelling Stoffen (INS). Dit is het vervolg op de MILBOWA normstelling uit 1991. In de INS zijn streefwaarden en maximaal toelaatbare risiconiveau (MTR) vastgesteld op basis van ecotoxicologisch onderzoek. Het MTR is het gehalte van een stof waarbij geen nadelige effecten voor het ecosysteem te verwachten zijn. De streefwaarde (of verwaarloosbaar risiconiveau VR) is vastgesteld op 1/100 van het MTR. De streefwaardes en MTR's zijn vergeleken met de meetgegevens. Hieruit is gebleken dat de gemeten PAK gehaltes –met uitzondering van naftaleen- van vrijwel alle monster ruim lager zijn dan het MTR. De streefwaardes worden echter door een groot aantal PAK wel overscheden. Er kan met grote zekerheid worden aangenomen dat de gemeten PAK gehaltes in dit onderzoek voornamelijk van natuurlijke oorsprong zijn. Voor het vaststellen van streefwaardes van PAK zou rekening gehouden moeten worden met de natuurlijke achtergrond, zoals bij de normstelling van metalen in de INS inmiddels rekening wordt gehouden met het natuurlijk achtergrondniveau.
Geconcludeerd kan worden dat het zinvol is om het MTR te baseren op ecotoxicologisch onderzoek maar dat voor organische verbindingen die van nature in de bodem voorkomen (waaronder PAK) de streefwaardes gebaseerd zouden moeten worden op het natuurlijke achtergrondniveau van PAK in sedimenten.

Inhoud

Tengeleide i

Samenvatting iii

Lijst van figuren xi

Lijst van tabellen xiii

1 Inleiding 1

DEEL 1: INVENTARISATIE VAN PAK VOORKOMENS IN VEENPROFIELEN

2 Ontstaan en voorkomen van PAK 5
2.1 Bronnen van PAK 5
2.2 Vergelijking natuurlijke en antropogene PAK 8

3 Het ontstaan van veen 9
3.1 Algemeen 9
3.2 Pleistocene zandgebied 10
3.3 Kustvlakte 11
3.4 Riviervlakte 11

4 Materiaal 13
4.1 Selectie gebieden 13
4.2 Uitvoering boringen 14
4.3 Monstername 15
4.4 Opslag 15
4.5 Boorbeschrijvingen 16
4.5.1 Algemeen 16
4.5.2 Afzonderlijke boringen 17
4.6 Vocht- en organisch stofgehalte van de monsters 23
4.6.1 Vochtgehalte 23
4.6.2 Organische koolstofgehalte 24

5 Analysemethoden en validatie 27
5.1 Methode 27
5.1.1 Ontsluiten monsters 27
5.1.2 Analyse en detectie 28
5.2 Validatie en screening van de methode 29
5.2.1 Vergelijking referentiemateriaal 30
5.3 Discussie 32

6 Resultaten 35
6.1 PAK-analyseresultaten per boring 35
6.1.1 Bodegraven 1 (BG-1) 35
6.1.2 De Meije 1 (DM-1) 35
6.1.3 Grote Peel-1 (GP-1) 36
6.1.4 Grote Peel-3 (GP-3) 36
6.1.5 Grote Peel-4 (GP-4) 36
6.1.6 Hommerts 2 (HM-2) 36
6.1.7 Kloosterveen 1 (KV-1) 36
6.1.8 Knollendam 1 (KD-1) 36
6.1.9 Langweer 2 (LW-2) 37
6.1.10 Polder Molenaarsgraaf 1 (PM-1) 37
6.1.11 Rottige Meenthe 1 (RM-1) 37
6.1.12 Uitdam 1 (UD-1) 37
6.1.13 Warder 1 (WD-1) 37
6.1.14 Wartena-2 (WT-2) 38
6.1.15 Resumé 38
6.2 Statistische analyse van de dataset 38
6.2.1 Univariate analyse 38
6.2.2 Multivariate analyse 39
6.3 Evaluatie betrouwbaarheid HPLC methode 42
6.3.1 Experimentele UV versus fluorescentie data 42
6.3.2 GC/MS screening 44
6.4 Herkomst PAK 47
6.4.1 Correlatie met lithologie 47
6.4.2 Correlatie met diepte 49
6.4.3 Correlatie met geologische ouderdom 51
6.4.4 Geografische scheiding 52

7 Discussie 55

8 Conclusies 61

DEEL 2: PAK IN WATERBODEMS

9 Vergelijking PAK voorkomens veenprofielen met waterbodems 65
9.1 Friesland 65
9.1.1 Rottige Meenthe 65
9.2 Noord Holland 67
9.2.1 Knollendam 67
9.2.2 Uitdam 68
9.2.3 Warder 70

10 Normstelling PAK 73
10.1 Regelgeving voor waterbodemsanering 73

10.2 Huidige milieukwaliteitsnormen voor PAK 74
10.2.1 Afleiding maximaal toelaatbaar risiconiveau en streefwaardes voor PAK 75
10.2.2 Vergelijking huidige milieukwaliteitsnormen met meetgegevens 77

11 Discussie 81
11.1 Vergelijking veenprofielen met waterbodems 81
11.2 Normstelling PAK 82

12 Conclusies 85
12.1 Vergelijking PAK in waterbodems en veenprofielen 85
12.2 Normstelling PAK 85

13 Evaluatie voor de waterbeheerder: 87

14 Referenties 95

Bijlagen

Bijlage A: Boorbeschrijvingen

Bijlage B1: Droge stof- en watergehalte van de monsters

Bijlage B2: Resultaten PAK-analyses per boring

Bijlage B3: Correlatie met diepte - individuele PAK

Bijlage B4: Vertikale profielen lithologie – som PAK

Bijlage B5: Histogrammen individuele PAK

Bijlage B6: Multivariate statistische analyse

Bijlage B7: Correlatie met lithologie

Bijlage B8: Screening van monsters met GC/MS

Bijlage C1: PAK-analyses waterbodems

Bijlage C2: PAK-analyses veenprofielen omgerekend naar standaardbodem

Lijst van figuren

Figuur 3.1: Relatieve zeespiegelrijzing tijdens het Holoceen (uit: De Bakker en Locher,1992). 9
Figuur 4.1: Boring. 14
Figuur 4.2: Schematisch overzicht van de monstername 15
Figuur 5.1: Vergelijking tussen NITG en PAK-QIP (referentiemateriaal A).. 31
Figuur 5.2: Herhaalbaarheid NITG-1 en NITG-2 (referentiemateriaal A). 32
Figuur 6.1: Factorplot voor de factor analyse zonder extremen en som-PAK < 0,05, zie tekst voor verklaring 40
Figuur $6.2_{a,b}$: Plot van UVIS tegen FL data voor analyses op basis van droge stof a= tot 2 ppm, b= tot 0,2 ppm. 43
Figuur 6.3: GC/MS opname van PAK standaard. 44
Figuur 6.4: Voorbeeld van een GC/MS opname van een monster (Full Scan).45
Figuur 6.5: Voorbeeld van een GC/MS fragmentogram m/z. 46
Figuur 6.6: Relatie tussen lithologie en gemiddeld som-PAK gehalte op basis van droge stof –van de originele en gecorrigeerde dataset. 49
Figuur 6.7: Som EPA-PAK waardes van de complete dataset en de gecorrigeerde dataset geplot tegen de diepte. 50
Figuur 6.8: Geschatte ouderdommen van de veenafzettingen in de boorprofielen. 52
Figuur 7.2 Naftaleen (groep 1), benzo(a)pyreen (groep 2) en pyreen (groep 3) gehaltes uitgezet tegen de monsterdiepte 58
Figuur $9.1_{a,b}$: Gemiddelde PAK samenstelling van waterbodemmonsters uit de Rottige Meenthe en van twee ondiepe monsters (16-46 cm en 46-68 cm) uit het profiel van boring de Rottige Meenthe-1 66
Figuur $9.2_{a,b}$: Gemiddelde PAK samenstelling van boring Knollendam 1 en van waterbodems in de directe omgeving van de boring. 68
Figuur $9.3_{a,b}$: Gemiddelde PAK samenstelling van twee groepen waterbodemmonsters in de omgeving van boring Uitdam 1 69
Figuur $9.4_{a,b}$: Gemiddelde PAK samenstelling van de bovenste 30 cm van boring Uitdam-1 (a) en het interval tussen 166 en 600 cm uit boring Uitdam 1(b) 69
Figuur $9.5_{a,b,c}$: PAK samenstelling van twee waterbodems in omgeving van boring Warder 1 en de gemiddelde PAK samenstelling van boring Warder 1. 71
Figuur 10.1: Relatie tussen normen, klasse indeling en risiconiveau van waterbodems. 73
Figuur $10.2_{a\ t/m\ f}$: Gemeten gehaltes VROM-PAK geplot tegen het organisch stofgehalte van het monster en het Maximaal Toelaatbaar Risiconiveau en de Streefwaarde. 79
Figuur $10.2_{g\ t/mk}$: Gemeten gehaltes VROM-PAK geplot tegen het organisch stofgehalte van het monster, het Maximaal Toelaatbaar Risiconiveau en de Streefwaarde. 80

Figuur 10.3: Fenantreen gehalte van de monsters en een mogelijkheid om een maximaal natuurlijk achtergrondniveau vast te stellen waarop de streefwaarde kan worden gebasseerd..... 83
Figuur 13.1: Som EPA-PAK uitgezet tegen het organisch stof percentage van de monsters..... 90
Figuur 13.2: Naftaleen, benzo(a)pyreen en pyreen gehaltes uitgezet tegen de monsterdiepte..... 91
Figuur 13.3: Fenantreen gehalte van de monsters, huidige streefwaarde en een mogelijkheid om een maximaal natuurlijk achtergrondniveau vast te stellen..... 94

Lijst van tabellen

Tabel 2.1: Overzicht van bronnen van PAK. 5
Tabel 4.1: Overzicht van de boorlocaties. 13
Tabel 4.2: Gemiddelde vochtgehalte per lithologische categorie (in gewichts %). 23
Tabel 4.3: Gemiddelde vochtgehalte per lithologie (in gewichts %). 24
Tabel 4.4: Overzicht TOC en DOS gehaltes per lithologische categorie op basis van droog gewicht (in gewichts %) 24
Tabel 4.5: Gemiddelde gehalte DOS per lithologie op basis van droog gewicht (in gewichts %) 25
Tabel 5.1: Vergelijking van verschillende PAK extractiemethode (uit Noordkamp et al., 1997). 28
Tabel 5.2: Ingestelde excitatie- / emissie- golflengte bij fluorescentie. 29
Tabel 5.3: Vergelijking referentiemateriaal A en NITG-analyse (ppt.) 30
Tabel 6.1: Overzicht gemiddelde totaalscores en standaarddeviatie VROM en EPA-PAK van alle monster op basis van droge stof gehalte (in ppm). 38
Tabel 6.2: Gemiddelde PAK samenstelling per cluster. 41
Tabel 6.3: Overzicht van het aantal monotypische monsters per individuele PAK. 47
Tabel 6.4: Gemiddeld organisch stof en som EPA-PAK gehalte per type veen48
Tabel 6.5: Gemiddelde som EPA-PAK gehaltes op verschillende diepten. .. 50
Tabel 8.1: Bronnen van PAK 62
Tabel 10.1: Klasse indeling van de geanalyseerde monsters. 73
Tabel 10.2: Milieukwaliteitsnormen voor PAK in water, bodem en lucht zoals vastgesteld in de Integrale Normstelling Stoffen. 76
Tabel 13.1: Gemiddeld organisch stof en som EPA-PAK gehalte per type veen90
Tabel 13.2: Klasse indeling van de geanalyseerde monsters. 93

1 Inleiding

aanleiding
In opdracht van de Stichting Toegepast Onderzoek Waterbeheer (STOWA) is door het Nederlands Instituut voor Toegepaste Geowetenschappen TNO (NITG-TNO) een onderzoek uitgevoerd naar de aard en het voorkomen van Polycyclische Aromatische Koolwaterstoffen (PAK) in veenprofielen.

De aanleiding voor het onderzoek is het voorkomen van onverklaarde, hoge concentraties van PAK in oppervlaktewateren en waterbodems. De centrale vraag is in hoeverre natuurlijke sedimenten als bron kunnen fungeren voor PAK in water en waterbodems. In dit onderzoek wordt geprobeerd om verbanden te leggen tussen sedimenten met een hoog gehalte aan organisch materiaal (cq. veenafzettingen), type veen, geologische setting en de aard van de aangetroffen koolwaterstoffen.

doelstelling
Dit onderzoeksproject omvat drie doelstellingen:
1. Inventarisatie van natuurlijke PAK voorkomens in sedimenten en indien mogelijk het maken van onderscheid tussen natuurlijke en antropogene PAK voorkomens,
2. Vergelijking PAK voorkomens in veenprofielen met veldgegevens over PAK in waterbodems,
3. Evaluatie van de vigerende normstelling op basis van de nieuwe meetgegevens.

achtergrond
De al dan niet antropogene oorsprong van PAK is niet direct af te leiden uit hun aanwezigheid. Wel kunnen uit het PAK spectrum, en de locatie waar ze zijn aangetroffen indirecte aanwijzingen voor hun oorsprong gevonden worden. In dit onderzoek is het selecteren van monsterlocaties waarvan redelijkerwijs kan worden aangenomen dat deze vrij zijn van antropogene PAK een belangrijk criterium. In een dichtbevolkt en hoog geindustrialiseerd land als Nederland is in principe elk oppervlak en elke waterbodem echter verdacht. Daarom is besloten vergelijkende onderzoeken te doen aan monsters uit verticale boorprofielen. De oppervlakte monsters kunnen uiteraard aangereikt zijn met antropogene PAK. Uit geologische, geografische en chemische gegevens valt in te schatten of de dieper gelegen monsters antropogene PAK kunnen bevatten of niet. In dit verband is ook belangrijk dat gesteenten zijn onderzocht met een grote rijkdom aan organisch materiaal. Aangenomen wordt dat gesteenten die arm zijn aan organisch materiaal niet het juiste medium zijn voor een onderzoek naar natuurlijke PAK en dat het gunstige preservatiepotentiaal van veenafzettingen ook ten voordele werkt van het behouden van polycyclische aromaten.

opbouw onderzoek
Het onderzoeksproject bestond uit drie fasen - uitgevoerd in de periode 1995-1997 - een vooronderzoek, een hoofdonderzoek en een afronding- en evaluatiefase. In de eerste fase van het project zijn enkele boorlocaties geselecteerd en drie boringen gezet tot enkele meters diepte. Uit deze boringen zijn de aanwezige venen beschreven en monsters

geselecteerd voor analyse. Tevens zijn de analysemethoden geëvalueerd. In de tweede fase is, mede op grond van de resultaten van het vooronderzoek, een uitgebreider onderzoek verricht aan veenprofielen in Nederland. De resultaten van het vooronderzoek zijn in dit eindrapport beschreven, maar zijn ook separaat gerapporteerd (Fermont et al., 1997).

opbouw rapport

Het voorliggende rapport is het eindrapport van het gehele onderzoeksproject. Het is opgebouwd uit twee delen. Deel 1 (hoofdstuk 2 t/m 8) behandelt de inventarisatie van natuurlijke PAK voorkomens in veenprofielen. Als eerste wordt het ontstaan en voorkomen van PAK beschreven. Vervolgens wordt het ontstaan van veen behandeld. Daarna volgt een beschrijving van de monsters en de methode die gebruikt zijn voor de inventarisatie van natuurlijke PAK voorkomens. Als laatste worden de resultaten van de PAK analyses beschreven en geïnterpreteerd.

Deel 2 van dit rapport is meer gericht op de praktijk (hoofdstuk 9 t/m 12). Hierin wordt een vergelijking gemaakt tussen de gemeten PAK voorkomens in veenprofielen en beschikbare data van PAK in waterbodems. Dit moet inzicht geven in de vraag of de PAK in de waterbodem oorspronkelijk uit het sediment afkomstig is of dat deze antropogeen is verrijkt. Indien mogelijk wordt ook aangegeven in hoeverre de PAK in de waterbodem van antropogene oorsprong is. Tevens wordt in deel twee van dit rapport beschreven wat de consequenties zijn van de nieuwe meetgegevens voor de huidige normen voor PAK.

Aan het eind van het rapport is in een extra hoofdstuk een evaluatie van het onderzoek voor waterbeheerders opgenomen. Dit is de notitie PAK in veenafzettingen als mogelijke bron voor 'vervuiling' van waterbodems. In deze notitie staat beschreven welke resultaten van het onderzoek van belang zijn voor de waterbeheerder en hoe deze er mee om moet gaan.

DEEL 1: INVENTARISATIE VAN PAK VOORKOMENS IN VEENPROFIELEN

2 Ontstaan en voorkomen van PAK

2.1 Bronnen van PAK

PAK is de afkorting voor een verzameling van zeer uiteenlopende koolwaterstoffen, die gekenmerkt worden door meerdere aromatische ringstructuren. Aangezien het onmogelijk is om al deze stoffen te meten, gedeeltelijk vanwege de uiteenlopende fysisch-chemische eigenschappen als polariteit en oplosbaarheid, maar nog belangrijker wegens het ontbreken van referentiemateriaal, worden in de praktijk enkele eenvoudige PAK, zonder zijketens, geïdentificeerd en gekwantificeerd. Voorbeelden hiervan zijn de Borneff-6 PAK, de VROM-10 PAK of de EPA-16 PAK. Verondersteld wordt dat deze als groep representatief zijn voor het totale PAK spectrum. De kwantitatieve aanwezigheid van deze PAK vormt de basis voor de classificatie van bodems en waterbodems. Bij het onderzoek naar PAK is dit gegeven van belang, omdat in de natuur, maar ook bij allerlei door mensen geïnduceerde processen, een grote diversiteit aan polycyclische aromatische componenten voorkomt.

PAK kunnen zowel van antropogene als natuurlijke oorsprong zijn. In tabel 2.1 is een overzicht gegeven van enkele processen, waarbij PAK gevormd dan wel gemodificeerd kunnen worden. Qua genese worden hier natuurlijke en antropogene processen onderscheiden. Het zal echter duidelijk zijn dat zelfs de beste massaspectrometer geen onderscheid kan maken tussen PAK die ontstaan zijn ten gevolge van brand door blikseminslag, of als gevolg van een uit de hand gelopen kampvuur.

Tabel 2.1: Overzicht van bronnen van PAK.

Natuurlijke Bronnen (zowel historisch als recent)		**Antropogene bronnen (zowel in situ als allochtoon)**	
in situ	biogeen biodegradatie langzame oxidatie in situ veenbrand asfaltmeren teerzanden olieschalies	*historisch*	boekweitcultuur veenverbranding
allochtoon	depositie via lucht (overige branden) depositie via water sediment transport olieseepages	*modern*	landbouw transport chemie energie

PAK komen wijd verspreid in het milieu voor. Ze komen onder andere voor in sedimenten (Giger & Blumer, 1974, Dunn, 1980, 1983, Bieri et al., 1978, Giger & Schaffner, 1978), in voedsel (Fazio & Howard, 1983), in mariene organismen (Neff & Anderson, 1975, Warner 1976, Pancirov & Brown, 1977, Fazio & Howard, 1983), zoet water (Bornef & Kunte, 1983) en minerale oliën (Fazio & Howard, 1983) en steenkool

(White, 1983). Het voorkomen van natuurlijke PAK in sedimenten is door talrijke auteurs beschreven. Complexe, polycyclische mono-bi- en tri-aromatische koolwaterstoffen als biogene producten zijn vaak gerapporteerd (voor overzicht en lit., zie Peters & Moldowan, 1993). Bijvoorbeeld mono-aromatische hopanoiden stammen af van bacteriële precursors. Tetra- en pentacyclische aromaten met oleanaan-, lupaan- of ursaanskeletten worden toegeschreven aan hogere landplanten (Loureiro & Cardosos, 1990). Douglas & Mair (1965) suggereerden dat fenantreen in aardolie in situ kan ontstaan door dehydrogenatie van sterolen. Tetra- en pentacyclische aromatische koolwaterstoffen zijn door talrijke auteurs aangetoond in aardolie en in diverse gesteenten (Carruthers & Watkins, 1963, Greiner et al., 1976,1977, Bouloubassi & Saliot, 1991). Laflamme & Hites (1979) suggereerden, dat deze stoffen afgeleid kunnen zijn van triterpenoide precursors. In monsters van recent materiaal uit het Amazonegebied vonden zij een aantal tussenvormen tussen pentacyclische triterpenoiden en tri- en tetracyclische aromatische structuren. Hiervoor zijn niet altijd lange geologische perioden nodig, maar sommige stoffen ontstaan reeds in perioden van enkele tientallen jaren. Peryleen bijvoorbeeld is regelmatig in hoge concentraties aangetroffen in recente sedimenten van minder dan 200 jaar oud (Orr & Grady, 1967, Brown et al., 1972, Wakeham et al., 1979b).
Wakeham et al., (1979a) vonden diverse groepen van poly aromatische structuren in recente sedimenten in Zwitserse en Noordamerikaanse meren, waaronder peryleen, fenantreen homologen, reteen (afgeleid van diterpenen) en een serie van tetra- en pentacyclische PAK (mogelijk afgeleid van pentacyclische triterpenen). Zij concludeerden dat deze alleen gevormd konden zijn in situ in de nog jonge sedimenten. Tan & Heit (1981) concludeerden eveneens dat diverse PAK afgeleid zijn van biogene precursors in recente sedimenten van de verafgelegen Adirondack meren in de VS. Bouloubassi & Saliot (1991, 1993) onderzochten de natuur van organische verbindingen in de Rhone-delta. Zij waren in staat om diverse bronnen van PAK te onderscheiden. Reteen en tetrahydrochryseen worden door hen beschouwd als moleculaire markers voor natuurlijke biogene input, omdat hun precursor, abeitinezuur voorkomt in coniferen. Ook werden alfa- en beta-amyrine aangetoond, die voorkomen in de epi-cuticulaire wassen van hogere landplanten. Deze zouden langs diagenetische weg chryseen en piceen opleveren. De auteurs betwijfelen of peryleen, dat door anderen beschouwd wordt als van natuurlijke oorsprong, dit ook werkelijk is.
In de literatuur is overigens diverse malen gesuggereerd dat peryleenverwante stoffen kunnen ontstaan door degradatie van biologische precursors (Laflamme & Hites, 1978).

Een zeer interessante studie is verricht door Lichtfouse et al. (1997). Deze auteurs bestudeerden de aanwezigheid van PAK in oude maisvelden waarop meer dan 20 jaar mais verbouwd werd. Daarnaast bestudeerden ze isotopenratio's van de onderzochte PAK met behulp van massa-spectrometrie en 14C isotopen voor de ouderdomsbepalingen. Om schattingen te kunnen maken van de paleo-temperatuur waarbij het organisch materiaal is gevormd, werden hopanen en PAK isomeren geanalyseerd. Op grond van verschillende moleculaire markerverhoudingen (voor refs. zie Peters & Moldowan, 1993) werden vervolgens schattingen gemaakt van de maximale thermische stress, die de organische componenten hadden doorstaan. Deze gecombineerde bevindingen leidden Lichtfouse et

al. tot de conclusie dat de meeste geanalyseerde PAK in de bodem een ouderdom hadden van 9.800 jaar of meer en ontstaan waren als pyrolytisch product. Een directe biogene afkomst door aromatisatie van bodem-biomassa of recent plantenmateriaal werd uitgesloten wegens de afwezigheid van biogene precursors. Deze pyrolytische producten moeten dan allochtoon van aard, omdat aangetoond kon worden dat ze onder hoge temperaturen gevormd werden die in de sedimenten waarin ze voorkomen onwaarschijnlijk zijn.

Een andere bron van PAK kan men vinden in natuurlijk voorkomende gesteenten, die rijk zijn aan thermisch geevolueerde, organische bestanddelen. Hieronder vallen fossiele energiedragers als steenkool, teerzanden, olieschalies, asfaltafzettingen en olie- en gasmoedergesteenten. Voorwaarde is dat deze gesteenten in het geologisch verleden diep genoeg begraven zijn geweest om tot koolwaterstofgeneratie te komen (het "olievenster"). Als deze gesteenten door erosie vervolgens weer aan de oppervlakte komen zijn ze in principe beschikbaar als bron voor PAK. Deze PAK zijn zeer heterogeen. Borrego et al. (1997) analyseerden PAK van de Puertollano olieschalies in Spanje. In de aromatische GC-fracties herkenden ze tientallen mono-, bi- en tricyclische gealkyleerde aromaten. Bovendien suggereren deze auteurs dat gedurende de degradatie van isarborinol via ring-cleavage gealkyleerde phenantrenen kunnen ontstaan.

Allochtone PAK zijn PAK die aangetroffen worden buiten hun oorsprongsgebied. Het transport kan zich voltrekken via de lucht, het water en de bodem. Een van de meest omvangrijke bronnen voor PAK op wereldniveau zijn ongetwijfeld spontane branden. Deze kunnen zich afspelen onder diverse omstandigheden zoals bosbranden, heidebranden, veenbranden, steenkoolbranden, enzovoorts. Dergelijke processen zijn regel. In organische afzettingen uit het Carboon (ca. 300 miljoen jaar geleden) komen bouwstoffen (inertinieten) voor die men kan identificeren als houtskoolresten (Stach et al., 1982). Het percentage daarvan ligt vaak rond de 10 gewichts procent. Menselijke oorzaken voor deze branden zijn daarbij uitgesloten. Bij pyrolyse of onvolledige verbranding van organisch materiaal komen zeer uiteenlopende aromatische componenten vrij. Er is echter weinig kwantitatief onderzoek gedaan naar de relatie tussen PAK uitstoot en branden (Cofer et al., 1996).
Antropogene PAK kunnen ontstaan door industriële processen, b.v. aardolie-exploratie, petrochemie, transport, onvolledige verbranding van fossiele brandstoffen etc. (Warmenhoven et al., 1989).
Van belang voor dit onderzoek is dat grootschalige verbranding van fossiele brandstoffen in Nederland het oudste antropogene proces is waarbij op grootschalige wijze PAK gevormd konden worden. Grootschalige turf-exploitatie kwam in Nederland op gang aan het eind van de Middeleeuwen. De Nederlandse energieproductie uit veen bedroeg in 1400 ca 4 *10^{12} KJ (ca. 500.000 ton droog gewicht) en rond 1870 ca 30*1012 KJ (ca 3 miljoen ton droog gewicht) (Zagwijn et al., 1985). Vanaf die tijd is de turf echter snel vervangen door steenkool. In toptijden produceerde Nederland circa 15 miljoen ton steenkool. Aan de steenkoolproductie kwam in 1974 een eind. Gezien het feit dat de jongste veenafzettingen veel ouder zijn dan het begin van het grootschalige verbruik van brandstoffen en PAK van nature niet mobiel is, kan men stellen dat alle PAK, als gevolg

van verbranding van veen, steenkool of andere grondstoffen, in de toplagen van dergelijke sedimenten geaccumuleerd moeten zijn.
Van belang voor het onderzoek is tenslotte de constatering dat PAK zeer uiteenlopende oplosbaarheden hebben, variërend van 16000 ppm voor naftaleen en minder dan 0,1 ppm voor zwaardere PAK. Als gevolg hiervan zal de mobiliteit in aquatisch milieu sterk uiteenlopen.

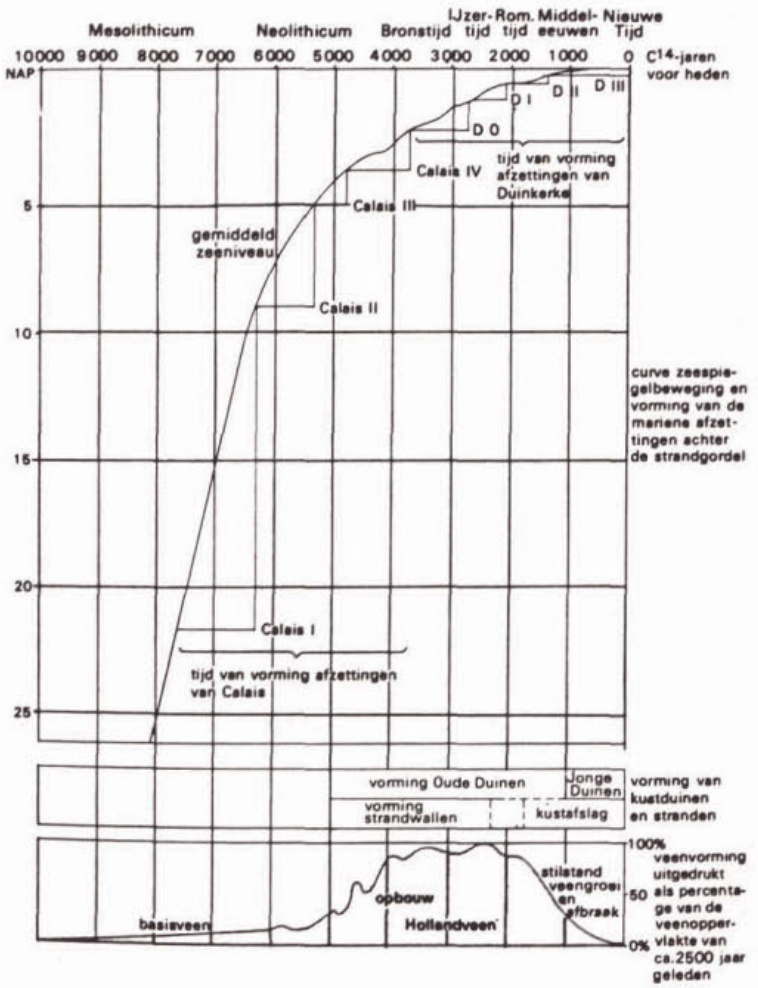
2.2 Vergelijking natuurlijke en antropogene PAK

Om een vergelijking met de bestaande klasse indeling van waterbodemvervuiling mogelijk te maken is afgesproken dat het onderzoek in beginsel is gericht op de beperkte aantal PAK, waarop het klassificatiesysteem in Nederland is gebaseerd, namelijk EPA, of VROM-PAK. In de vorige alinea's is aangegeven dat een aantal PAK zowel natuurlijk als antropogeen kunnen voorkomen. Het aantreffen van PAK geeft dus geen direct uitsluitsel over de oorsprong van de PAK. Om dit probleem te omzeilen is in dit onderzoek gekozen voor een bemonstering van diepe en ondiepe monsters uit verticale veenprofielen, waarvan de ouderdommen bij benadering bekend zijn. De gedachte daarachter is, dat diepe monsters, waarvan de ouderdom kan oplopen tot duizenden jaren, stammen uit perioden met een zeer beperkte dan wel zonder menselijke invloed, waardoor in deze monsters vermoedelijk geen antropogene PAK aangetroffen worden. Als er toch PAK aangetroffen worden zouden deze waarschijnlijk van natuurlijke oorsprong zijn.

3 Het ontstaan van veen

3.1 Algemeen

Veen ontstaat op plaatsen waar plantendelen na het afsterven geconserveerd worden. Wanneer sprake is van stagnerend water boven de plantenresten, wordt de zuurstof, die in het water aanwezig is, geconsumeerd. Het gevolg is een afname van de redoxpotentiaal en er ontstaan anaërobe omstandigheden. Oxidatie van de plantenresten treedt dan niet op, terwijl de anaërobe degradatie van organisch materiaal zo veel langzamer gaat dan de aërobe degradatie, dat de kans op bewaren van organische resten sterk toeneemt.



Figuur 3.1: Relatieve zeespiegelrijzing tijdens het Holoceen (uit: De Bakker en Locher,1992).

De preservatiepotentiaal van organisch materiaal beschrijft de kans dat organisch materiaal na afsterven bewaard blijft. Deze is afhankelijk van een complex van factoren, zoals bodemdaling of -stijging, bodemtemperatuur, watercirculatie, de aard van het organisch materiaal en de bodemflora en fauna. Naarmate de preservatiepotentiaal hoger is zal meer van de oorspronkelijke structuur van het plantenmateriaal bewaard blijven. Nederland heeft tijdens het Holoceen perioden gekend waarbij de omstandigheden zeer gunstig waren voor de preservatie van organisch materiaal, hetgeen leidde tot de vorming van uitgebreide veenafzettingen. Tijdens het Preaboreaal en het Boreaal, na afloop van het Laat Glaciaal, begon de temperatuur snel te stijgen en smolt het landijs. De zeespiegel begon snel te stijgen, tijdens het Atlanticum gemiddeld met circa 1 meter per 100 jaar. Later zwakte deze stijging af tot minder dan 20 cm per 100 jaar (zie figuur 3.1).
Deze zeespiegelrijzing controleerde voor het grootste deel de land-waterverdeling en daarmee ook de veengroei in Nederland. Met het blote oog kan men in veen een aantal kenmerkende plantentaxa herkennen. Vaak zijn deze indicatief voor de voedselomstandigheden die ten tijde van het ontstaan van het veen aanwezig waren. Op grond van de voedselrijkdom van het vormingsmilieu – meestal op basis van het hierin aanwezige water - kan men drie verschillende landschaptypes onderscheiden, waarin sterk van elkaar verschillende plantenassociaties tot veenvorming leiden. De drie gebieden zijn het pleistocene zandgebied, de kustvlakte en tenslotte het rivierengebied.

3.2 Pleistocene zandgebied

Het pleistocene zandgebied is in het algemeen gesproken een goed ontwaterd gebied. Er zijn twee situaties waarin grondwater van nature aan de oppervlakte komt. Dit is het geval in beekdalen en in afvoerloze depressies.
In het beekdal wordt voedselrijk grondwater afgevoerd. In de plantenassociaties zijn in dit eutrofe milieu riet en elzen goed vertegenwoordigd. Het veen in een beekdal zal door de goede afwatering niet zo snel tot een oligotroof veenmassief uitgroeien. Wel is het zo dat door de uitbreiding van het veen vanaf hoger gelegen gronden het beekdal overgroeid kan raken met hoogveen, zoals het in oligotroof milieu gevormde veen ook wel genoemd wordt.
In een afvoerloze depressie kan ook voedselrijk grondwater worden aangevoerd, maar door menging met ter plaatse vallende neerslag kunnen de voedselomstandigheden voedselarmer, b.v. mesotroof, zijn. Aanvankelijk zal de opvulling hier in open stilstaand water plaats vinden. Fijne plantenresten vormen hier een gyttja. Gyttja bestaat uit in water bezonken zeer kleine resten van planten (en vaak ook van kleine dieren), dikwijls met wat klei en soms met kalk. Daarop vindt rietgroei plaats, dat op zijn beurt plaats maakt voor zeggen. In de volgende fase van de successie groeien er bomen op het veenoppervlak; eerst elzen en later ook berken. Naarmate de bijdrage van het grondwater verder afneemt en de invloed van het voedselarme regenwater gaandeweg meer merkbaar wordt, komen er meer plantensoorten voor die oligotrofe omstandigheden op prijs stellen. Diverse soorten veenmossen komen in grote hoeveelheden voor, later gevolgd door wollegras. De laatste stap in de successie wordt gezet door verschillende heidesoorten. Een dergelijke volledige cyclus vertegenwoordigt dus de verlanding van het oorspronkelijke meer.

3.3 Kustvlakte

De laatste duizenden jaren is de zeespiegel in het Nederlandse kustgebied voortdurend gestegen. Aanvankelijk ging dat snel (8000 jaar geleden 1 m per eeuw) maar de snelheid waarmee de stijging doorzette nam af (4000 jaar geleden 15 cm per eeuw). Landwaarts van de hoogwaterlijn was een zone aanwezig waar kwel van zoet water een moeras-milieu opleverde. De overblijfselen van deze in een voedselrijk milieu gegroeide vegetatie worden nu als 'Basisveen' terug gevonden. Bij het doorzetten van deze overstroming worden in de kustvlakte dikke pakketten klei en zand afgezet. Van tijd tot tijd kunnen zich op de zeeklei uitgebreide rietmoerassen ontwikkelen. Het veen dat hierin gevormd wordt raakt uiteindelijk bedekt onder jongere afzettingen, die worden neergelegd wanneer de zee het gebied opnieuw inundeert. Er bestaat dus een dynamisch evenwicht tussen de tendens van het veengebied om te verlanden en de voortdurende bodemdaling. In West-Nederland nam rond 4000 jaar geleden de invloed van de zee sterk af door een langzamere relatieve zeespiegelrijzing. Het evenwicht verschoof daardoor in het voordeel van het veen dat zich daarna kon ontwikkelen van een voedselrijk milieu naar een voedselarm milieu; er ontstaan uitgebreide hoogveenmoerassen, waarin vooral veenmossen veel bijdragen aan de veenvorming. Het grootste deel van dit veen is afgegraven. Op deze plaatsen zijn nu de droogmakerijen te vinden waarin zeeklei aan de oppervlakte ligt.

3.4 Riviervlakte

Evenals in de kustvlakte is in de riviervlakte de zeespiegelstijging één van de belangrijkste factoren geweest voor de ontwikkeling van veen. In de riviervlakte wordt alleen daar veen gevormd waar door het stromende water geen klei of zand wordt neergelegd. De stijgende zeespiegel had als gevolg dat met name in de benedenloop van de riviervlakte dermate weinig sediment beschikbaar was dat op uitgebreide schaal veenvorming op kon treden. Ook ontstonden grote meren waarin uit de afbraakprodukten van waterplanten dikke pakketten gyttja werden gevormd. In ondieper water en op oeverwallen ontwikkelt zich naast rietveen ook broekveen. Hierin komen veel houtresten voor van vochtminnende bomen zoals de els. De successie van de vegetatie leidt uiteindelijk tot een open bostype waarin berken voorkomen met heide als lage begroeiing. Door de aanwezigheid van voedselrijk rivierwater, dat bovendien tijdens overstromingen vaak ver in het moerasgebied door kan dringen, komt dit echter op zeer beperkte schaal voor.

4 Materiaal

Dit hoofdstuk is een beschrijving van het materiaal dat voor de inventarisatie van natuurlijke PAK voorkomens is gebruikt. Als eerste wordt behandeld waar en hoe de boringen zijn uitgevoerd. Vervolgens komt de monstername en monsteropslag aan de orde. Daarna volgt een uitgebreide beschrijving van de afzonderlijke boringen. In de laatste paragraaf van dit hoofdstuk wordt ingegaan op het water- en organisch stofgehalte van de monsters.

4.1 Selectie gebieden

Om een breed overzicht te geven van in de Nederlandse ondergrond aanwezige organische afzettingen, zijn locaties geselecteerd op grond van verschillen in ontstaanswijze van de veenafzettingen. In eerste instantie zijn de lokaties gekozen op basis van boorinformatie, aanwezig in de NITG-archieven. Daarnaast zijn door het Wetterskip Fryslân en het Hoogheemraadschap Alblasserwaard en Vijfheerenlanden analysegegevens van waterbodems van twee lokaties toegeleverd en gebruikt bij de selectie. Ook zijn monsters genomen in het Natuurreservaat de Grote Peel, waar in 1991, 1993 en 1995 grote veenbranden hebben gewoed. Tenslotte speelde de bereikbaarheid met de boorwagen een belangrijke rol in de veelal drassige gebieden.

In Tabel 4.1 is administratieve informatie van de boorlocaties samengevat.

Tabel 4.1: Overzicht van de boorlocaties.

Nr.	Boring	Code	Registratie nr.	Jaar	diepte (cm)	Provincie
1	Bodegraven –1	BG-1	454-113-0015	1997	750	Zuid-Holland
2	De Meije-1	DM-1	457-111-0006	1997	800	Zuid-Holland
3	Groote Peel-1	GP-1	Grote Oale Baan	1997	100	Limburg
4	Groote Peel-3	GP-3	Filose Peel	1997	100	Limburg
5	Groote Peel-4	GP-4	Astense Peel	1997	150	Limburg
6	Hommerts-2	HM-2	555-174-0014	1997	250	Friesland
7	Kloosterveen-1	KV-1	557-228-0020	1995	200	Drenthe
8	Knollendam-1	Kd-1	503-115-0005	1996	300	Noord-Holland
9	Langweer-2	LW-2	553-175-0010	1997	260	Friesland
10	Polder Molenaarsgraaf-1	PM-1	429-115-0021	1995	625	Zuid-Holland
11	Rottige Meenthe-1	RM-1	538-189-0008	1995	300	Friesland
12	Uitdam-1	UD-1	492-132-0007	1996	600	Noord-Holland
13	Warder-1	WD-1	509-130-0009	1996	400	Noord-Holland
14	Wartena –2	WT-2	571-187-0014	1997	300	Friesland

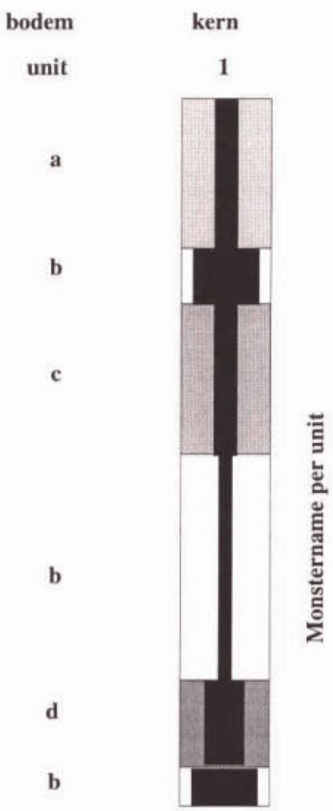
4.2 Uitvoering boringen

Voordat een bemonstering is uitgevoerd vond een veldverkenning plaats, waarbij een optimale monsterlokatie werd uitgekozen. Hierbij werd met handboorapparatuur op de, op basis van informatie uit het boorarchief, veelbelovende lokaties nagegaan of de beschreven laagopeenvolging teruggevonden kon worden.
De bemonstering zelf vond plaats met een Nordmeijer-boorinstallatie voor ondiepe kernen en een Stihl-boorinstallatie voor de diepere boringen. In figuur 4.1 is een foto van de boring te zien. De steekbus is voorzien van een PVC-pijp met een lengte van 1.10 m en een doorsnede van 0.10 m. Deze is met een valgewicht van 60 kg de bodem in geslagen. De PVC-buizen zijn in het veld zo veel mogelijk aangevuld met, in plastic zakken verpakte, grond om oxidatie van het kernmateriaal tijdens vervoer en opslag zo veel mogelijk te voorkomen. De uiteinden van de buizen zijn afgesloten met plastic doppen. De monsters zijn gekoeld bewaard bij een temperatuur van 0 °C tot het moment waarop de buizen werden opengesneden.
Het Peelgebied is onbereikbaar voor boorinstallaties. Hier werden met de hand monsters tot een diepte van ongeveer 1 meter gestoken. Aan het oppervlak zijn enkele parallelle oppervlaktemonsters genomen op de plaatsen waar in opeenvolgende jaren veenbranden hebben gewoed. Deze zijn in de lithologische beschrijvingen opgenomen als puntlocaties in de Peelboringen.
Het boorprogramma is gefaseerd uitgevoerd gedurende de jaren 1995, 1996 en 1997.

Figuur 4.1: Boring.

4.3 Monstername

De bemonstering van het kernmateriaal is uitgevoerd in de laboratoria van het NITG. De kernbuizen zijn daartoe in de lengte doorgezaagd met een daartoe speciaal voor NITG ontworpen zaagmachine. Vervolgens zijn de kernen doorgesneden met een dunne staaldraad. Na het opensnijden van de kernen zijn deze allereerst gefotografeerd. Vervolgens is een macroscopische beschrijving gemaakt waarbij de grondsoorten en de daarin aanwezige bijmengsels zijn onderscheiden. Tenslotte zijn diverse series monsters uitgenomen voor de verschillende analyses. Van elk lithologisch interval werd een representatief monster gestoken over de hele lengte van het interval. Deze monsters werden in duplo genomen van elk van de doorgezaagde kernhelften. Een schematisch overzicht van de monstername is weergegeven in figuur 4.2.



Figuur 4.2: Schematisch overzicht van de monstername.

4.4 Opslag

De monsters voor organisch geochemische analyse zijn opgeslagen in glazen potten met teflon deksel en worden bewaard bij 0-4 °C.

4.5 Boorbeschrijvingen

4.5.1 Algemeen

In het veld werden beschrijvingen gemaakt van de verkenningsboringen. In het laboratorium werden definitieve boorbeschrijvingen van de monsterlocaties opgesteld aan de hand van de opengesneden kernen. De lithologische boorbeschrijvingen geschiedden aan de hand van de NITG-standaardboorbeschrijvingsmethode. Verder werd de laagopeenvolging stratigrafisch geïnterpreteerd, dat wil zeggen een beschrijving van de ontwikkelingsgeschiedenis van het veen. Hierbij zijn ook de boringen uit de omringende gebieden gebruikt.
De monsterlocaties zijn weergegeven in figuur 4.3.

Figuur 4.3: Monsterlocaties.

De gedetailleerde boorschrijvingenbeschrijvingen van de kernen met achtereenvolgens monsternummers, x,y-cooördinaat, boven- en onderdiepte van de onderscheiden lithologische eenheden, grondsoort en omschrijving zijn weergegeven in de bijlagen A1.1 tot en met A1.14. Bovendien zijn bij elke boring relevante geografische gegevens opgenomen. Een korte toelichting voor elke boring volgt hierna.

4.5.2 Afzonderlijke boringen

4.5.2.1 Bodegraven 1 (BG-1)

Het laagpakket van de boring Bodegraven wordt gekenmerkt door een afwisseling van bosveen met kleilagen.
De bovenste zeven meter is opgebouwd uit afzettingen die daar gedurende de laatste 6500 jaar zijn afgezet. De belangrijkste oorzaak voor het ontstaan van deze afzettingen moet gezocht worden in de stijging van de zeespiegel tijdens het Holoceen (zie paragraaf 3.3 kustvlakte). De afzettingen zijn in een milieu gevormd, dat met zoet water was gevuld. Het bosveen is hiervan de duidelijkste indicator. In dit veen worden veel houtresten gevonden, vooral van vochtminnende boomsoorten zoals de els, maar ook van de eik die meer van droger milieu houdt. In zoet water afgezette klei heeft vaak een hoger gehalte organische stof dan in zout water gevormde klei. In de boring Bodegraven geeft ook de aanwezigheid van zoetwaterschelpen en het mineraal vivianiet aan, dat het gehele profiel in zoet water is ontstaan.
In de monsters van boring Bodegraven is in het zand direct onder het oudste holocene veenlaag houtskool gevonden. Daarnaast is ook in de veenlaag tussen 0.40 en 0.43 m beneden maaiveld waarschijnlijk houtskool aangetroffen. Deze bovenste laag maakt naar alle waarschijnlijkheid deel uit van een door ploegen of anderszins verstoorde ondergrond.
Een gedetailleerde lithologische beschrijving is opgenomen in bijlage A.1

4.5.2.2 De Meije 1 (DM-1)

De boring de Meije is opgebouwd uit een afwisseling van veen- en kleilagen. Het veen bestaat tot een diepte van bijna 6 meter beneden NAP voornamelijk uit bosveen en in het onderste deel van de boring uit rietveen.
Deze afzettingen zijn gedurende de laatste 6500 jaar afgezet. De belangrijkste oorzaak voor het ontstaan van deze afzettingen moet gezocht worden in de stijging van de zeespiegel tijdens het Holoceen (zie paragraaf 3.3 kustvlakte). In dit gebied rond de Oude Rijn heeft alleen in het onderste deel van het bodemprofiel de sedimentatie ook in zout tot brak water plaats gevonden. De rietveenlagen zijn daarvoor een goede aanwijzing. De overige afzettingen zijn in een zoet water milieu gevormd. Het bosveen is hiervan de duidelijkste indicator.
Houtskool wordt aangetroffen in de onderste veenlaag van het profiel, het zogenaamde Basisveen, dat rust op het pleistocene zand. Brokjes verkoold hout, in grootte varierend van 0,5 tot 1 centimeter, werden aangetroffen op een diepte van 7,30 m beneden maaiveld.
Hoewel niet van belang in het kader van dit onderzoek is het goed te wijzen op de aanwezigheid van een dun laagje zogenaamde klapklei in boring de Meije tussen 5,95 en

5,97 m beneden maaiveld. De scherpe grenzen van deze laag geven aan dat de klei pas na de vorming van de daarboven liggende veenlaag is afgezet. Dit kon plaatsvinden omdat veen bij hoge waterstanden kan gaan drijven. De klei wordt dan afgezet in de voor een groot deel horizontaal verlopende scheursystemen. Na het zakken van het water ligt de klei ingeklemd in het veenpakket, waarbij een jongere afzetting zich tussen ouder materiaal heeft genesteld. Het omgekeerde is in deze boring het geval tussen 6,70 en 6,78 m beneden maaiveld. Hier is een veenlaag aangeboord met scherpe boven- en ondergrenzen. Dit is een brok veen dat elders uit een oudere veenlaag is weggenomen en hier in de kleilaag opgenomen. Hier ligt ouder materiaal dus ingesloten in een jongere laag.
Een gedetailleerde lithologische beschrijving is opgenomen in bijlage A.2.

4.5.2.3 Grote Peel-1 (GP-1)

Het Peelgebied wordt gerekend tot hoogveengebied van Nederland. De eerste aanzet tot veenvorming vond reeds plaats vanaf het begin van het Atlanticum, ongeveer 8000 jaar geleden, op de slecht afwaterende Pleistocene ondergrond. Dateringen van de toplaag zijn schaars omdat die grotendeels is afgegraven tijdens de turfwinning. In het natuurreservaat de Grote Peel bij Ospel is de basis van het Spaghnum cuspidatum veen gedateerd op ca 1400 BP. Het hierboven liggende veenmosveen is dus nog jonger. Dit hoogveengebied, op ca. 30 m boven NAP, is afhankelijk van regenwater en dus gevoeliger voor veenbranden dan de overige veengebieden in Nederland, met name gedurende aanhoudende perioden van droogte. Hierbij zakt het grondwaterpeil aanzienlijk en kan het aanwezige organische materiaal geoxideerd worden. Het veen in het studiegebied is overwegend mosveen en heeft recent enige malen grote veenbranden gekend. De drie boringen staan dicht bij elkaar in het onderzochte gebied. Het houtskool dat frequent is aangetroffen in de Peelboringen, wijst erop dat natuurlijke branden. Dit was in tegenstelling tot de Nederlandse kustvlakte tijdens het Holoceen, in dit gebied een veel voorkomend verschijnsel.
Grote Peel 1 bestaat uit een boortraject van 100 cm diepte. Het is genomen op de Groote Oale Baan in de Grote Peel, ca. 28 m boven NAP. De top van het veen, circa 20 cm dik, bestaat uit veraard veen dat naar beneden overgaat in lichtbruin mosveen. In de directe omgeving van de boorlocatie bevinden zich de verkoolde resten van bomen. In 1995 heeft hier een veenbrand gewoed, die alleen het oppervlak lijkt te hebben aangetast. Beneden 40 cm verandert de kleur in donkerbruin mosveen. Aan de basis is het mosveen doorworteld.
Een gedetailleerde lithologische beschrijving is opgenomen in bijlage A.3.

4.5.2.4 Grote Peel-3 (GP-3)

Grote Peel-3 is 150 m ten zuiden van de rand van de Filose Peel gezet. Ook deze boring bevindt zich op een hoogte van 28 m boven NAP. Door problemen met de bemonstering zijn hier monsters gestoken van verschillende diepten langs een richel. De bovenste 10 cm van het veen is rijk aan houtskoolresten, op 20 cm diepte komt een laagje voor met fijne houtskoolresten. Tussen 20 en 90 cm bevindt zich relatief droog, donker mosveen. Aan de basis van het 90 cm dikke veenprofiel bevindt zich een leemlaag. Lateraal van het profiel is aanvullend monstermateriaal verzameld van de houtskoolrijke laagjes (monsters

970135-970139). In deze omgeving heeft in 1991 een veenbrand gewoed: ook in diepere delen van het profiel zijn verbrandingsresten aangetroffen.
Een gedetailleerde lithologische beschrijving is opgenomen in bijlage A.4.

4.5.2.5 Grote Peel 4 (GP-4)

Grote Peel 4 is gezet in de Astense Peel, ca. 100 m ten noordwesten van de Eeuwelse Loop. De boorlocatie ligt op ca. 29 m boven NAP. De top van het veen bestaat uit verbrand veen met gras. De bovenste 30 cm bestaat uit relatief los veen met daarin verspreid houtskoolfragmenten. Tussen 30 en 120 cm bevindt zich een laag mosveen, dat eveneens droog is. Tussen 120 en 150 cm bevindt zich een afsluitende leemlaag. In dit gebied heeft in 1993 een brand gewoed. De verspreide houtskoolresten, bijvoorbeeld op 20 cm diepte en in de top van het profiel duiden er op dat branden vaker zijn opgetreden.
Een gedetailleerde lithologische beschrijving is opgenomen in bijlage A.5.

4.5.2.6 Hommerts 2 (HM-2)

De boorlokatie Hommerts 2 ligt in het zuidelijke gedeelte van Friesland, 5 km ten zuiden van Sneek. De monsterlokatie ligt op de noordflank van de keileemrug die van het Gaasterland in noordoostelijke richting naar St. Nicolaasga loopt.
In boring Hommerts 2 ligt aan de basis van het pakket een laag rietveen van 0,5 tot ruim 1,0 m dik. Het bovenste deel van het veenpakket bestaat uit een ongeveer 1,5 m dikke laag mosveen, waarin regelmatig de overblijfselen van wollegras worden aangetroffen. Aan het maaiveld ligt een enkele decimeters dunne kleilaag.
Rond 3500 jaar geleden kon voedselrijk brak water het gebied bereiken, waarin het veen vooral door rietresten werd opgebouwd. De invloed van zeewater werd omstreeks 3000 jaar geleden kleiner. Doordat alleen neerslag het gebied kon bereiken werd het milieu voedselarm. In het veen zijn in die periode onststane resten van heide, mossen en wollegras terug te vinden. Aan de veenvorming kwam 1000 jaar geleden een einde door overstroming met zeewater. De aan het maaiveld liggende kleilaag is hiervan het resultaat.
Een gedetailleerde lithologische beschrijving is opgenomen in bijlage A.6.

4.5.2.7 Kloosterveen 1 (KV-1)

Deze monsterlocatie ligt in het landbouwgebied iets ten noorden van het Fochtelooërveen. Door turfwinning is hier een deel van het bodemprofiel verwijderd. Vanaf de pleistocene ondergrond worden hier rietveen, wollegrasveen en veenmosveen aangetroffen. Deze opeenvolging is kenmerkend voor een hoogveengebied. De dikte van het pakket rietveen hangt af van de hoogteligging van de daaronder liggende pleistocene afzettingen. Deze laatste bestaan hier uit matig fijne zanden met daarin een variërend gehalte silt. Boring Kloosterveen is gezet in het diepste deel van de pleistocene depressie. De stijging van de regionale grondwaterspiegel is het voornaamste proces dat het begin van de veenvorming veroorzaakt. De invloed van de mondiale stijging van het zeeniveau is op deze locatie gering en slechts indirect verantwoordelijk voor de regionale veengroei. In deze omgeving zijn nog niet veel ouderdomsbepalingen aan de veenafzettingen uitgevoerd. De aanvang van de veenvorming kan van plaats tot plaats sterk verschillen en begon tussen 7000 en 2500 jaar geleden. Omdat de onderkant van de veenlaag op deze

monsterlocatie op een zeer laag deel van de zandondergrond ligt, waar in principe de veenvorming vroeg begon, kan zelfs een nog hogere ouderdom niet worden uitgesloten. Ook voor de bovenkant van het veen is de ouderdom moeilijk, zonder nadere analyse, te voorspellen. Het is niet bekend hoeveel veen op deze locatie is afgegraven. De bovenkant van het veen zou tussen de 3000 en 1000 jaar oud kunnen zijn.
Een gedetailleerde lithologische beschrijving is opgenomen in bijlage A.7.

4.5.2.8 Knollendam 1 (KD-1)

Deze boring werd uitgevoerd in de Polder Wormer, Jisp en Nek ten oosten van Knollendam juist ten noorden van de droogmakerij de Schaalsmeerpolder. In de droogmakerij is nagenoeg geen veen meer aanwezig, maar op de boorlocatie in het niet uitgegraven bovenland is nog een dik veenpakket aanwezig.
Op een diepte van ruim 2 meter beneden maaiveld ligt, boven op de klei met rietwortels, een 0,5 m dikke laag rietveen. De donkere kleur in het traject tussen 1,63 en 1,90 m diep lijkt op oxidatie in situ te wijzen. Het daarboven volgende veenpakket bevat tot een diepte van 0,65 m beneden maaiveld een traject waarin naast riet- en houtresten ook wollegras voorkomt. Het bovenste deel van het profiel bestaat uit veenmosveen.
De vorming van het veen begint ongeveer 4500 jaar geleden in de periode dat de West-Nederlandse kust gesloten wordt. Daardoor kan het zeewater geen sediment meer aanvoeren en verzoet het milieu. De hoeveelheid voedingsstoffen die beschikbaar is voor de plantengroei neemt in de loop van de tijd af. Het verschijnen van wollegras en later zelfs van veenmossen zijn hier duidelijke tekenen van. Het oligotrofe milieu zal in dit gebied omstreeks 3500 jaar geleden uitgebreid aanwezig zijn geweest. In de Middeleeuwen is na de ontginning van het gebied, op het veen een dun pakket klei afgezet. Aan de basis van deze kleilaag is mogelijk een pakket veen verdwenen door oxidatie.
Een gedetailleerde lithologische beschrijving is opgenomen in bijlage A.8.

4.5.2.9 Langweer 2 (LW-2)

De boring Langweer 2 ligt op de noordflank van de keileemrug die van het Gaasterland in noordoostelijke richting naar St. Nicolaasga loopt. In de boring wordt aan de basis van het pakket een gyttja gevonden. Dit is een sterk humeuze meerbodem afzetting, die onder voedselrijke omstandigheden is afgezet. Daarboven volgt een laag rietveen van 0,5 tot ruim 1,0 m dik. Het bovenste deel van het veenpakket bestaat uit een ongeveer 0,75 m dikke laag mosveen, waarin regelmatig de overblijfselen van wollegras worden aangetroffen. Aan maaiveld ligt een enkele decimeters dunne kleilaag.
De oudste in het Holoceen gevormde grondlaag is de gyttja. Het in een lokale depressie gevormde materiaal is ongeveer 4000 jaar geleden gevormd. Enkele honderden jaren later kon voedselrijk brak water het gebied bereiken, waarin veen vooral door rietresten werd opgebouwd. Bij Langweer werd ongeveer 2000 jaar geleden de invloed van het zeewater geringer. Doordat alleen neerslag het gebied kon bereiken werd het milieu voedselarm. In het veen zijn de resten van heide, mossen en wollegras terug te vinden. Ook kwam aan de veenvorming 1000 jaar geleden een einde door overstroming vanuit zee. De aan maaiveld liggende kleilaag is hiervan het resultaat.
Een gedetailleerde lithologische beschrijving is opgenomen in bijlage A.9.

4.5.2.10 Polder Molenaarsgraaf 1 (PM-1)

Deze locatie ligt in het hart van de Alblasserwaard dichtbij de Achterdijkse Wetering, ruim 2 km ten zuiden van Molenaarsgraaf. Onder een dunne laag klei komt hier bosveen voor afgewisseld met lagen rivierklei.
In het gebied van de grote rivieren hangt de veenvorming sterk samen met de aanwezigheid van actieve rivierbeddingen in de omgeving. Vanuit deze beddingen worden sedimenten aangevoerd die de vorming van veen verhinderen. Indirect is de stand van het rivierwater in dit gebied gekoppeld aan de zeespiegelstand; alleen onder invloed van de holocene zeespiegelstijging konden hier in de afgelopen 8000 jaar dikke pakketten zand, klei en veen worden gevormd. Niet ver van deze monsterlocatie zijn de absolute ouderdommen van enkele monsters uit een boring met behulp van de ^{14}C-methode gedateerd. De onderkant van de onderste veenlaag (2,88-3,90 m) is 4600 jaar oud, de bovenkant is 4200 jaar geleden gevormd. De onderkant van de bovenste veenlaag (0,44-2,07 m) bleek ongeveer 3500 jaar oud te zijn. Op de huidige monsterlocatie zullen de ouderdommen van deze veenlagen niet meer dan enkele honderden jaren verschillen.
Een gedetailleerde lithologische beschrijving is opgenomen in bijlage A.10.

4.5.2.11 Rottige Meenthe 1 (RM-1)

Deze locatie ligt in het natuurgebied de Rottige Meenthe bij Nijetrijne, 6 km ten zuidwesten van Wolvega. Het is een laagveengebied in de randzone van de voormalige Zuiderzee.
Zowel direct op het pleistocene zand als aan maaiveld komt eutroof rietveen voor, waarin een enkele decimeters dikke laag oligotroof wollegrasveen aanwezig is. De onderzoeksboring is uitgevoerd op de oostelijke flank van de pleistocene rug.
De veenvorming op deze locatie is duidelijk beïnvloed door de holocene zeespiegelstijging. Door deze stijging komt de kwelzone, gevoed met zoet water vanuit de hogere pleistocene zandgronden en liggend in de zone net boven gemiddeld hoog water, steeds hoger te liggen. Men neemt aan dat de kwelzone hier tussen 3500 en 4500 jaar geleden arriveerde; dit luidde het begin van de veengroei in het gebied in. Omdat het veen hier aan de oppervlakte ligt, heeft aan de bovenkant van het veenpakket na de ontginning oxidatie plaats gevonden. De dikte van het veenpakket dat door erosie verdwenen is, is moeilijk te schatten. Daardoor wordt het schatten van de ouderdom ook moeilijk; de aanname van een ouderdom van het top van het veen tussen 1000 en 2000 jaar lijkt niet onredelijk. Van belang is ook dat op een diepte van ca 80 cm relatief onverweerde rietresten in veraard veen zijn aangetroffen. Dit doet vermoeden dat op deze plaats een belangrijke omwerking van grond heeft plaatsgevonden en dat diepere monsters recentelijk een ingewikkelde geschiedenis hebben doorgemaakt.
Een gedetailleerde lithologische beschrijving is opgenomen in bijlage A.11.

4.5.2.12 Uitdam 1 (UD-1)

In grote lijnen komt de opbouw van boring Uitdam 1 goed overeen met die van boring Knollendam 1; op de dieper gelegen kleilaag ligt een pakket veen dat aan de basis uit rietveen en aan de top uit veenmosveen bestaat. In de onderste kleilaag is in Uitdam 1 nog een dunne laag rietveen ingeschakeld. Daarnaast is het pakket rietveen hier dikker:

ongeveer 1,80 m. In het pakket veenmosveen zijn hier ook heidetakjes herkend. De kleilaag aan het maaiveld is 0,7 m dik.
Een paar honderd meter ten zuiden van de boorlocatie Uitdam 1 ligt een boring waarvan de ouderdom gemeten is met behulp van de ^{14}C-methode. Hieruit bleek dat de dunne rietlaag op ruim 4 meter beneden maaiveld ongeveer 5400 jaar geleden werd gevormd. De onderkant van de dikke veenlaag werd gedateerd op 4600 jaar oud. De overgang naar het oligotrofe veenpakket werd hier niet gedateerd maar zal op ongeveer 4000 jaar voor heden moeten worden gesteld.
Een gedetailleerde lithologische beschrijving is opgenomen in bijlage A.12.

4.5.2.13 Warder 1 (WD-1)

De boring Warder ligt buitendijks in het IJsselmeergebied. In de periode dat de Zuiderzee nog open was vond hier een ongestoorde sedimentatie plaats. De bovenste kleilaag is dan ook meer dan een meter dik. Ook in deze boring ligt een veenlaag ingeklemd tussen twee kleilagen. Het veenpakket is hier slechts 1,7 m dik. Het onderste rietveen is slechts 0,4 m dik, het bovenliggende veenmosveen 1,3 m.
De relatief hoge ligging van de klei geeft mogelijk aan dat de afzetting relatief jong is en ongeveer 4200 jaar geleden is afgezet. Het veen is hier slechts een korte periode voedselrijk geweest. Omstreeks 3800 jaar geleden draagt dit gebied waarschijnlijk al een voedselarme vegetatie.
Een gedetailleerde lithologische beschrijving is opgenomen in bijlage A.13.

4.5.2.14 Wartena 2 (WT-2)

De monsterlocatie ligt ten zuiden van Wartena, ongeveer 8 km ten zuidoosten van Leeuwarden. Dit gebied is de uitloper van het Drents-Friese keileemplateau, een uitgestrekt gebied waar de pleistocene zanden aan de oppervlakte liggen.
De holocene afzettingen zijn hier twee tot drie meter dik. Zij bestaan uit mosveen en wollegrasveen. Rietveen is in twee lagen aangetroffen aan de bovenkant van het pakket. Er komen twee kleilagen voor, een meestal enkele centimeters dunne kleilaag in het veen en een enkele decimeters dikke kleilaag aan het maaiveld.
Zoals overal in de Nederlandse kustvlakte is ook hier de veenvorming op gang gekomen onder invloed van de holocene zeespiegelstijging. De vernatting van het landschap zal hier ruim 4000 jaar geleden zijn opgetreden. Opvallend is echter dat het veen hier direct al in een voedselarm milieu gevormd is. Dit geeft aan dat hier weinig kwelwater beschikbaar was bij het begin van de veengroei: de vegetatie werd alleen door neerslag gevoed. In dit oligotrofe milieu werd ruim een meter dik pakket veen gevormd. Vanaf 1 meter beneden maaiveld is het veen opgebouwd uit rietresten. Dit geeft aan dat vanaf ongeveer 2500 jaar geleden de waterkwaliteit sterk veranderde, waarschijnlijk via een smal waterstroompje vanuit de kustvlakte. Voedselrijk, mogelijk zwak brak water kan het gebied dan bereiken. Tenslotte komt de veenvorming ten einde doordat ongeveer 1000 jaar geleden vanuit zee een drie decimeter dikke kleilaag wordt afgezet. Ook de dunne kleilaag op 70 centimeter beneden maaiveld is in deze periode afgezet. Deze zogenaamde oplichtingslaag is gevormd doordat het veen op die diepte langs een horizontaal vlak los kwam van het onderliggende veenpakket. Met kleideeltjes beladen zeewater kon onder deze kaag komen hier voor de sedimentatie van de klei zorgen.

Een gedetailleerde lithologische beschrijving is opgenomen in bijlage A.14.

4.6 Vocht- en organisch stofgehalte van de monsters

4.6.1 Vochtgehalte

Het droge stof gehalte van de veldvochtige monsters is gemeten volgens NEN 6620 (1986). In Bijlage B1 zijn de vochtgehalten als gewichtsprocenten van alle monsters opgenomen. De gemiddelde vochtgehalten voor de hoofdlithologieën zijn samengevat in tabel 4.2.

Tabel 4.2: Gemiddelde vochtgehalte per lithologische categorie (in gewichts %).

lithologie	vocht (%)	SE	min (%)	max (%)	n
zand	25,4	13,7	13,5	45,5	7
toplaag	39,0	5,2	33,2	51,3	12
leem	41,7	14,8	25,5	54,5	3
klei	55,6	14,6	11,8	79,5	42
veen	80,7	11,7	31,9	96,0	93

De toplaag is meestal waterarmer dan de onderliggende veenlagen of kleilagen. Uiteraard kan de toplaag uit verschillende lithologieën bestaan. Het vochtgehalte van de veenafzettingen is zeer hoog.

In de afzonderlijke lithologieën treden ook grote verschillen op in het vochtgehalte. In tabel 4.3 zijn voor elke lithologieën achtereenvolgens het gemiddelde watergehalte, de standaardafwijking van het gemiddelde (SE), minimum, maximum en aantal monsters opgenomen.

Van de veensoorten is wollegrasveen het sterkst waterhoudend, amorf veen het minst. Van de kleien en kleiige afzettingen is gyttja het meest waterhoudend en (ongedifferentieerde) klei het minst. Er bestaat een duidelijk verband tussen de (zichbare) aanwezigheid van organisch materiaal en vochtgehalte. Leem is relatief waterarm, evenals zand.
Het vochtgehalte in de bovengenoemde afzettingen is van grote invloed op de berekende PAK concentraties op basis van droog gewicht.

Tabel 4.3: Gemiddelde vochtgehalte per lithologie (in gewichts %).

Lithologie	vocht (%)	SE	min (%)	max (%)	n
Wollegrasveen	88,3	0,4	86,8	89,7	10
Rietveen	85,7	1,1	72,3	91,1	23
bosveen met riet	83,7	1,2	82,6	84,9	2
veraard veen	81,1	3,5	64,8	91,8	7
mosveen	78,4	2,4	31,9	96,0	37
bosveen	77,1	4,0	58,5	86,8	6
amorf veen	73,1	6,9	66,3	80,0	2
gyttja	66,7	10,7	45,8	81,3	3
klei, humeus	65,1	2,8	36,0	79,5	16
klei & gyttja	63,6	3,3	60,3	66,9	2
klei met riet	62,2	4,3	53,9	68,1	3
rivierklei	53,1	2,7	2,0	79,5	62
klei	44,7	3,5	11,8	60,5	16
leem	41,7	8,5	25,5	54,5	3
toplaag	39,0	1,5	33,2	51,3	12
zand	25,4	5,2	13,5	45,5	7

4.6.2 Organische koolstofgehalte

Totaal Organisch Koolstof (TOC) bepalingen werden uitgevoerd met behulp van een LECO-CHN-1000 systeem. Systeemcalibratie geschiedde met behulp van een LECO-standaard (EDTA, 40,99% C). Calibratiecurven werden opgesteld met polynome curve-fitting in het bereik van 0 tot 0,3 g, terwijl het inweeggewicht van de gedroogde monsters ca. 0,2 g bedroeg. Metingen werden uitgevoerd in duplo. Bij een standaardafwijking van > 1% werd de analyse herhaald. De hoeveelheid TOC werd teruggerekend naar droge organische stof volgens de formule:

$$\text{Droge Organisch Stof (DOS)} = \text{TOC} / 0{,}58$$

Uitgebreide statistische gegevens met betrekking tot het organisch gehalte zijn opgenomen in Bijlage B.2. De gemiddelde hoeveelheid TOC en de equivalent berekende hoeveelheden Droge Organische Stof (DOS) is voor de lithologische hoofdcategorieën weergegeven in Tabel 4.4.

Tabel 4.4: Overzicht TOC en DOS gehaltes per lithologische categorie op basis van droog gewicht (in gewichts %).

lithologie	TOC (%)	DOS (%)	n
zand	2,2	3,8	7
klei	9,2	15,8	42
leem	9,5	16,4	3
toplaag	11,7	20,1	12
veen	43,2	74,5	92

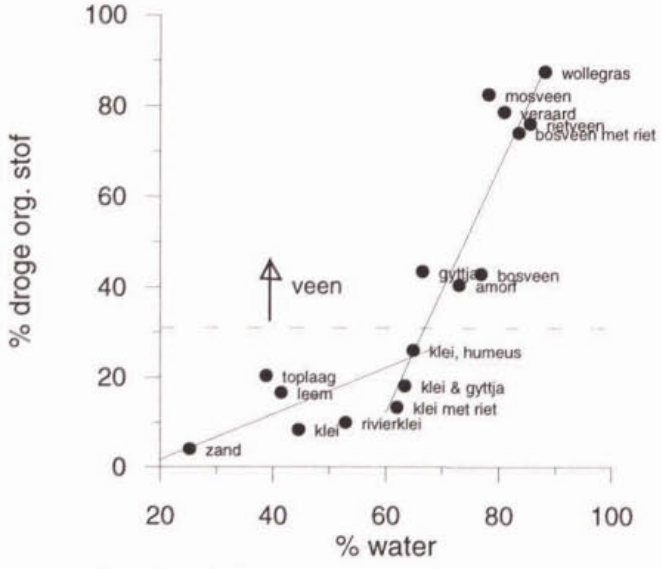
De waarden lopen sterk uiteen voor de verschillende lithologieën. De spreiding voor DOS is hieronder weergegeven in tabel 4.5.

Tabel 4.5: Gemiddelde gehalte DOS per lithologie op basis van droog gewicht (in gewichts %).

lithologie	DOS	SE	min	max	n
wollegrasveen	87,3	1,8	75,3	98,3	10
mosveen	82,3	1,5	49,4	98,2	36
veraard veen	78,4	5,8	61,7	98,5	7
rietveen	75,8	3,2	47,6	97,2	23
bosveen met riet	73,8	0,5	73,3	74,3	2
gyttja	43,2	19,5	13,7	80,0	3
bosveen	42,6	4,8	30,5	60,1	6
amorf veen	40,2	15,5	24,8	55,7	2
klei, humeus	25,6	2,6	6,9	41,6	16
toplaag	20,1	2,1	13,1	38,1	12
klei & gyttja	17,8	0,3	17,6	18,1	2
leem	16,4	7,0	3,7	27,9	3
klei met riet	13,1	4,2	6,6	20,9	3
rivierklei	9,7	1,3	0,4	41,6	62
klei	8,1	1,0	1,9	13,8	16
zand	3,8	2,0	0,0	13,3	7

Wollegrasveen heeft het hoogste gehalte aan organische stof en bosveen en amorf veen het laagste. Klei bevat tussen de 8 en 12 gewichts % organische stof en zand gemiddeld slechts 3,8%.

In figuur 4.4 zijn de gemiddelde organisch stof gehalten en watergehalten van de onderscheiden lithologieën tegen elkaar uitgezet. De correlatie tussen het organisch stof en het watergehalte is verschillend voor de venen en de organisch stof arme sedimenten. De kleien met bijmenging van organische componenten vormen een overgangsgebied tussen beide groepen.



Figuur 4.3: Correlatie tussen watergehalte en droge organische stof.

5 Analysemethoden en validatie

Dit hoofdstuk geeft een beschrijving van de methode die gebruikt is voor de PAK analyse. In de tweede paragraaf is de validatie van de analysemethode beschreven en volgt een discussie van de resultaten.

5.1 Methode

De totale PAK analyse is opgebouwd uit twee stappen:
1. Ontsluiten monsters
2. Analyse en detectie

Voor alle vier de stappen is in voorgaande fases van dit onderzoek geëxperimenteerd met verschillende methodes. Hieronder volgt een beschrijving van de analysemethode.

5.1.1 Ontsluiten monsters

De extractie van de PAK uit de sediment monsters is in dit onderzoek uitgevoerd volgens de standaard NEN-5771. De NEN-norm voor extractie van PAK is een relatief milde extractie methode die het gebruik van aceton en petroleum-ether als oplosmiddel voorschrijft en waarbij de oplossing bij kamertemperatuur gedurende 20 minuten wordt geschud.

Het extract is gezuiverd over een aluminiumoxide kolom en ingedampt onder stikstof tot <1 ml. Hieraan werd ca. 0,5 ml acetonitril toegevoegd en de petroleum afgedampt onder stikstof. Vervolgens werd acetonitril aangevuld tot 1,00 ml. Hieraan werd 750 µl water toegevoegd in een 50:50 verhouding. 10 µl 6-methylchryseen werd als interne standaard toegevoegd met een concentratie van 4,53 µl/10 ml.

Noordkamp *et al.* (1997) heeft een studie verricht naar de efficiëntie van extractie methoden voor bepaling van PAK gehaltes in vervuilde grond, sediment en zuiveringsslib. De methode volgens de NEN-norm is vergeleken met een aantal andere organische oplosmiddelen die gebruikt worden voor extractie van PAK zoals methanol, dichloromethaan, benzeen, tolueen en hexaan. Er is niet alleen gekeken naar de effectiviteit van het oplosmiddel maar ook naar de manier van extraheren. De meest gebruikte extractiemethoden voor PAK zijn roeren of schudden bij kamertemperatuur, ultrasone behandeling en Soxhlet extractie. Ook extractie in een magnetronoven wordt toegepast.
De belangrijkste resultaten van de studie van Noordkamp zijn samengevat in tabel 5.1. Uit de resultaten blijkt dat extractie met N-methyl-2-pyrrolidinon (NMP) in een magnetron oven gedurende bij 130°C voor één uur significant de meest effectieve methode is voor extractie van PAK uit sediment en zuiverings slib. Voor grond is het verschil tussen de extractiemethoden minder groot. Uit de tabel blijkt duidelijk dat de NEN-norm een relatief milde extractie methode is. Gebruik van deze extractiemethode zal dus een onderschatting van het totale PAK gehalte van sediment of grond opleveren.

Tabel 5.1: Vergelijking van verschillende PAK extractiemethode (uit Noordkamp et al., 1997).

Extractiemethode				PAK gehalte mg/kg droge stof		
Oplosmiddel	methode	temp. (°C)	tijd (min)	industriële grond	haven sediment	zuiverings slib
aceton en petroleum ether	NEN horz.schudden	23	20	78±2	557±38	489±57
aceton/water 4:1	roeren	20	60	104±16	590±104	961±57
aceton/water 4:1	magnetron	100	60	110±10	606±18	1039±3
methanol/tolueen 3:1	magnetron	100	60	88±23	472±9	1042±18
NMP	magnetron	100	60	91±20	647±22	1121±10

Noordkamp heeft eveneens gekeken naar de opbrengst van de afzonderlijke PAK met verschillende extractiemethoden als percentage van het totale PAK gehalte. Hieruit is gebleken dat de gebruikte extractiemethode geen invloed heeft op de onderlinge verhoudingen van de individuele PAK. De PAK samenstelling blijft dus -onafhankelijk van de extractie methode- een reflectie van de oorsprong en geschiedenis van de monsters.

Een groot verschil tussen de studie van Noordkamp en dit project is dat door Noordkamp gewerkt is met zwaar vervuilde monsters terwijl de monsters in dit project een relatief laag gehalte aan PAK bevatten. Het is niet bekend of de resultaten zoals weergegeven in tabel 5.1 zondermeer kunnen worden geëxtrapoleerd naar sediment met een som-PAK waarde van minder dan 10 ppm. Dit neemt echter niet weg dat het gebruik van een ander extractiemiddel in dit onderzoek zeer waarschijnlijk hogere PAK waardes op zal leveren.

5.1.2 Analyse en detectie

5.1.2.1 HPLC-analyse

De HPLC-apparatuur was een Phoenix-30 systeem (Carlo Erba), uitgevoerd met een master- en slave-pomp. Injectie geschiedde met een AS550 autosampler (Carlo Erba) verbonden aan een tien-poorts valve uitgerust met een 10 µl monsterlus.
De HPLC- analyses werden uitgevoerd met behulp van een narrow-bore HPLC-kolom, bestaande uit een 25 cm 'Baker Bond PAH 16+' - kolom met en inwendige diameter van 3 mm (korrelgrootte 5 um).
Het HPLC-programma bestond uit meerdere fasen: initieel 5 minuten acetonitril-water 50:50, vervolgens een gradiënt van + 1 % / minuut naar 99% acetonitril. De flow werd constant gehouden op 350 µl/min. Als standaard is gebruikt de JTB-0005 PAK standaard.

5.1.2.2 Detectie

UVIS Detectie van de PAK gebeurde met behulp van een in serie geschakelde micro-UVIS 20 detector (Carlo Erba) uitgerust met een 1,2 µl 3 mm cel, bij een geselecteerde golflengte van 299 nm. Bij deze golflengte geeft antraceen geen respons. Voor de fluorescentiespectra zijn excitatie- en emissiespectra gehanteerd zoals gespecificeerd in tabel 5.2.

Tabel 5.2: Ingestelde excitatie- / emissie- golflengte bij fluorescentie.

nr.	component	afkorting	golflengte	
			excitatie (nm)	emissie (nm)
1	naftaleen	NAF	274	318
2	acenaftyleen	ACY	-	
3	acenafteen	ACN	274	318
4	fluoreen	FLR	274	318
5	fenantreen	FEN	250	390
6	antraceen	ANT	250	390
7	fluorantheen	FLT	260	420
8	pyreen	PYR	260	420
9	benzo(a)antraceen	BAA	280	380
10	chryseen	CHR	280	380
11	benzo(b)fluoranteen	BBF	290	430
12	benzo(k)fluoranteen	BKF	290	430
13	benzo(a)pyreen	BAP	290	410
14	dibenzo(a,h)antraceen	DBA	290	410
15	benzo(ghi)peryleen	BPE	290	410
16	indeno (1,2,3-cd)pyreen	INP	300	490

5.1.2.3 GC/MS

Kwalitatieve GC/MS-analyses zijn uitgevoerd met een HP6890 gaschromatograaf, gekoppeld aan een HP 5973 MSD massaspectrometer. Geëxtraheerde, in acetonitril opgeloste PAK werden geschud met dichloormethaan en vervolgens werd de laatste fractie op de GC-kolom gebracht. Als externe standaard werd een JT-Baker EPA-PAK standaard gebruikt. Als interne standaard werd 6-methylchryseen toegevoegd.
GC-condities waren als volgt: capillaire kolom HP5-MS, 30 m lang en inwendige diameter 0,25 mm, 0,025 mm 5% phenylmethylsiloxaan-coating. Injectie splitless, GC-analyse onder He-flow. Het temperatuurprogramma start met 5 min isotherm, vervolgens 10 °C/min. tot 300 °C en tenslotte nogmaals 15 min isotherm. Kwalitatieve MS-scans werden uitgevoerd in Full Scan Mode met een mass range 50-300 en een sampling frequentie van 3/s.

5.2 Validatie en screening van de methode

Bij zeer lage PAK concentraties kunnen de verschillen tussen manuele en automatische integratie van de HPLC pieken zeer groot zijn. Bovendien kunnen zeer gemakkelijk interpretatiefouten optreden omdat bijvoorbeeld onder invloed van temperatuurwisselingen de retentietijden fluctueren. Daarom zijn alle analyses handmatig geïntegreerd. Concentraties zijn berekend aan de hand van calibratie curven voor piekhoogten van elke PAK component, waarbij de calibratie curven niet door de oorsprong gaat. Berekende negatieve concentraties zijn daarbij op nul gesteld. In principe is het fluorescentiesignaal gebruikt voor berekening van de PAK concentraties omdat UV-detectie minder selectief is voor PAK dan fluorescentie. Met name in een complexe matrix als veenmonsters bestaat de kans dat er andere organische componenten aanwezig

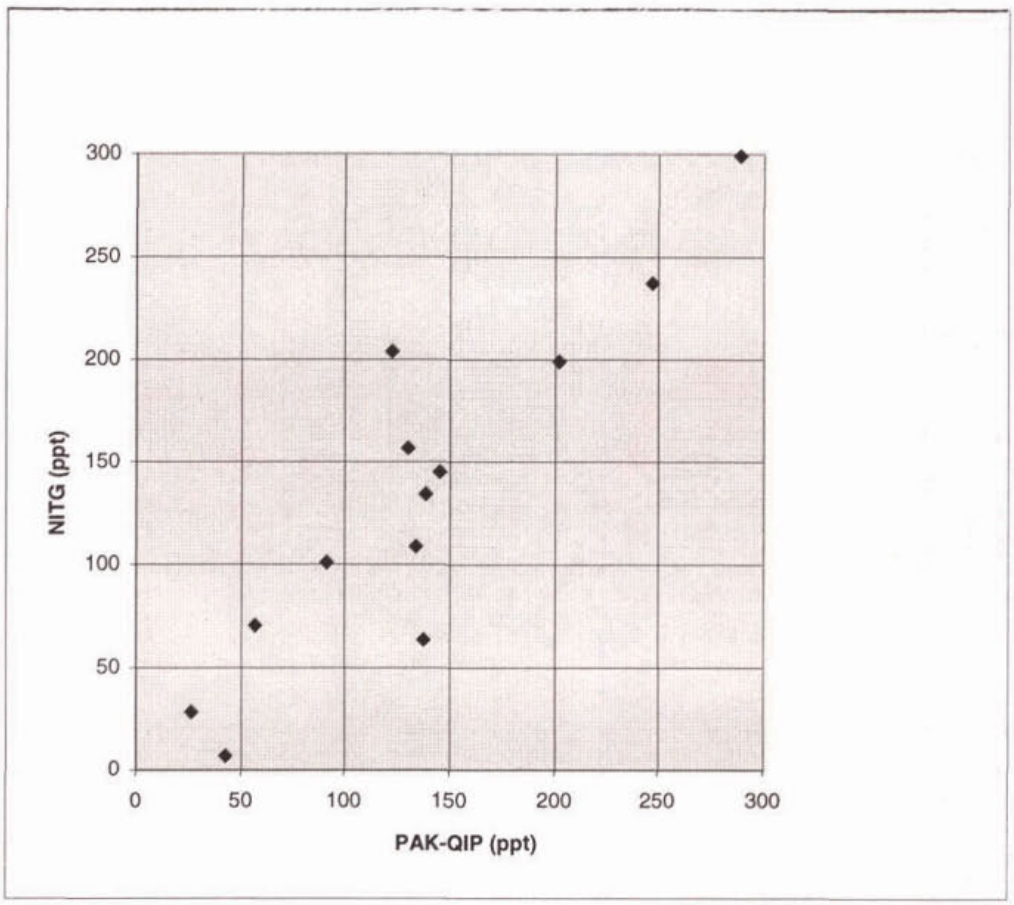
zijn die toch een UV-signaal geven. Alle analyses werden gemeten met in serie geschakelde UV en fluorescentie-detector. In enkele gevallen werd geen INP gedetecteerd vanwege instrumental drift. ACY geeft geen fluorescentiepiek. Voor de berekeningen van de ACY concentraties is daarom altijd gebruik gemaakt van het UVIS signaal.

5.2.1 Vergelijking referentiemateriaal

Van het RIZA is Referentiemateriaal A ontvangen. Dit diende als vergelijkingsmateriaal in het PAK-QIP programma (Freriks et al, 1995). De specificaties volgens PAK-QIP zijn in tabel 5.3 vergeleken met de NITG analyses. Uit de vergelijking blijkt dat de NITG resultaten voor alle variabelen goed, en de som-PAK zeer goed overeenstemmen met de PAK-QIP data. Een referentieplot van gemiddelde NITG data tegen de PAK-QIP is opgenomen in figuur 5.1.
De grootste afwijkingen zijn gevonden voor ANT, BPE en BAP. De eerste component speelt in het onderhavige onderzoek geen rol van betekenis, de tweede component was in het onderzoek een voortdurende bron van problemen. Dit laatste wordt in de tekst uitvoeriger besproken. Het verschil in BAP is significant. Hiervoor is geen verklaring gevonden.

Tabel 5.3: Vergelijking referentiemateriaal A en NITG-analyse (ppt.)

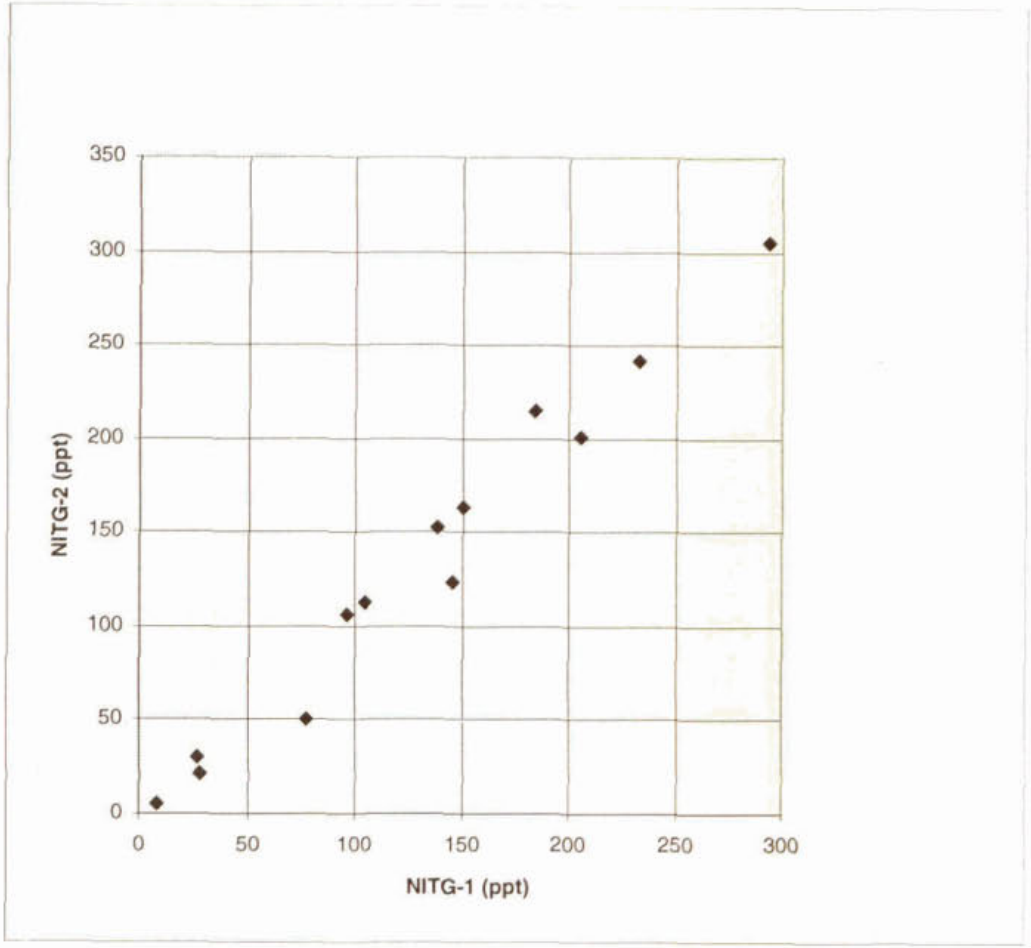
	Component	NITG-1	NITG-2	GEM	PAK-QIP
1	NAF	71		71	57
2	ACY	386	328	357,0	-
3	CAN			-	-
4	FLO	28	22	25,0	-
5	FEN	146	123	134,5	139
6	ANT	8	5	6,5	43
7	FLT	293	305	299,0	289
8	PYR	233	242	237,5	247
9	BAA	105	113	109,0	134
10	CHR	150	163	156,5	130
11	BBF	184	215	199,5	202
12	BKF	96	106	101,0	91
13	BAP	78	50	64,0	138
14	DBA	27	30	28,5	27
15	BPE	206	201	203,5	122
16	INP	138	152	145,0	145
	Som	2.149	2.057	2.103,0	1.707



Figuur 5.1: Vergelijking tussen NITG en PAK-QIP (referentiemateriaal A)

In figuur 5.2 zijn de resultaten van NITG-1 vergeleken met de resultaten van NITG-2. Uit deze vergelijking blijkt dat de herhaalbaarheid goed is.

Tijdens het onderzoek bleek dat er subtiele verschillen optraden in de fluorescentie-retentietijden, ten opzichte van de standaards. Nadere analyse met behulp van GC/MS leerde dat pieksignalen, die met behulp van UVIS of FL als PAK geïnterpreteerd waren, geen EPA-PAK bleken te zijn. Dit verschijnsel deed zich het duidelijkst voor bij BPE. Aangezien het onmogelijk bleek om binnen dit onderzoek de wel aanwezige stoffen met BPE-retentietijd te kwantificeren ten opzichte van de aanwezige, onbekende componenten, houdt dit in dat de interpretaties met betrekking tot BPE gezien moeten worden tegen de achtergrond van deze onzekerheid.



Figuur 5.2: Herhaalbaarheid NITG-1 en NITG-2 (referentiemateriaal A).

5.3 Discussie

Zoals in de inleiding reeds is beschreven is er voorafgaand aan het hoofdonderzoek vooronderzoek uitgevoerd dat de doelstelling had om diverse methoden voor PAK analyse te testen en te vergelijken. De resultaten van dit vooronderzoek zijn seperaat gerapporteerd, maar worden in dit eindrapport meegenomen. De voornaamste conclusies zijn:

1 Met name in veenmonsters treden nogal wat storende effecten op. Gedeeltelijk is dit terug te voeren op het aselectieve karakter van de gebruikte UVIS detectie. Het gebruik van fluorescentiedetectie leidde tot verbetering.
2 Er blijft onzekerheid bestaan over de identificatie van pieken. Daarom is GC/MS onderzoek noodzakelijk voor de identificatie van onbekende componenten. Het bleek dat soms pieken als VROM-PAK worden geïdentificeerd maar die het niet bleken te zijn. Dit leidt tot overschatting van de hoeveelheid aangetroffen PAK. Uiteindelijk zijn daar waar onzekerheid bestond over de kwaliteit van de analyses in het vooronderzoek, deze herhaald en meegenomen in het hoofdonderzoek. In deze fase zijn alle gegevens geintergreerd met geologische data en geëvalueerd.

3 In het vooronderzoek is gebruik gemaakt van Solid Phase Extractie. Deze methode bleek nog niet geoptimaliseerd en, mede in verband met de vergelijkbaarheid met bestaande normen, is overgegaan op extractie volgens NEN-5771.

Om eventuele achtergrondwaarden van PAK in de onderzochte sedimenten te kunnen vergelijken met bestaande data is op verzoek van de begeleidingscommissie een meetmethodologie gevolgd, die vergelijking met andere onderzoekingen en classificatie van in Nederland vigerende normstelsels mogelijk maakt. Het voordeel is vanzelfsprekend. Deze keuze heeft ook keerzijden. Ten eerste wordt gebruik gemaakt van milde extractietechnieken volgens NEN-5771. Dit houdt in dat, zeker in die gevallen waarbij sprake is van retentie van PAK aan de organische matrix, achtergronden alleen boven de absorptiedrempel worden bepaald. Ten tweede bestaat onzekerheid over de selectiviteit van de detectietechnieken. Dit is overigens gaandeweg verbeterd door te werken met een meervoudig detectiesysteem: met behulp van UV en fluorescentie. Tijdens het onderzoek bleek ook dat zelfs met het gebruik van detectiesystemen, misinterpretaties optreden omtrent de aard van de aanwezige koolwaterstoffen. Daarom werd in een groot aantal monsters een kwalitatieve GC/MS-screening toegepast.

6 Resultaten

Dit hoofdstuk beschrijft de resultaten van de inventarisatie van natuurlijke PAK voorkomens in veenprofielen. In totaal zijn er 138 monsters afkomstig uit 14 boringen geanalyseerd. Een overzicht van de analyse resultaten per boring staat in bijlage B.2. De PAK concentraties op basis van droge stof en watergehaltes zijn als volgt berekend:

$$C_{(PAK,ds)} = 100.C_{(gem)}/(100-G_w)$$

waarbij:

$C_{(PAK,ds)}$ = gecorrigeerde PAK gehalte op basis van droge stof
$C_{9gmc)}$ = gemeten PAK gehalte
G_w = gewichtsverlies tijdens indampen (water)

De som EPA-PAK en de som VROM-PAK zijn tevens opgenomen in de tabellen. In de eerste paragraaf van dit hoofdstuk zijn de resultaten van de analyses op basis van droge stofgehalte per boring beschreven worden. De twee paragraaf is een statistische interpretatie van de dataset. Er volgt een univariante en multivariante statistische analyse van de meetgegevens. De tweede paragraaf beschrijft de resultaten van de GC-MS screening. In de derde paragraaf wordt er bekeken of er een correlatie bestaat tussen het gehalte PAK en de lithologie, diepte, geologische ouderdom van het veen en de geografische ligging van de boring.

6.1 PAK-analyseresultaten per boring

6.1.1 Bodegraven 1 (BG-1)

Alle monsters bevatten concentraties beneden 1 ppm. Op basis van droge stof is het topmonster 970201 niet extreem rijk aan PAK. In de monsters komen ook geen duidelijke piekconcentraties voor van individuele PAK. De venen van 970213 en 970232 zijn relatief rijker aan PAK dan de klei en zandmonsters.

6.1.2 De Meije 1 (DM-1)

Geen van de monsters bereikt waarden boven 1 ppm op basis van droge stof. Relatief frequent is BBF. Daarnaast komen vaak lichtere koolwaterstoffen voor met name beneden 270 cm in het diepteprofiel. Het PAK gehalte vertoont geen duidelijke trend met de diepte. De venen hebben hogere maximum waarden dan de klei monsters.. Monster 970170 op een diepte van 685-725 cm is met name rijk aan NAF. Deze aanrijking werd geconstateerd boven het interval waarin tevens fossiel houtskool is aangetroffen. De ouderdom van het basisveen waarin houtskool werd aangetroffen is naar schatting ca. 6500 jaar.
Monster 97169 is afkomstig uit een traject van 678-685 cm uit een matig humeuze lichtgrijze fijne zand, waaroverheen rietveen ligt. Dit monster is relatief rijk aan BBF.

6.1.3 Grote Peel-1 (GP-1)

In het oppervlaktemonster van Grote Peel -1 is de PAK-concentratie ca 0,5 ppm. Naar beneden nemen de concentraties sterk toe, met name in de monsters 970116 en 970117, hetgeen voornamelijk veroorzaakt wordt door BPE. In het monster 970116 is het gehalte aan BPE ruim 35 ppm. Daarnaast zijn andere, meest zwaardere PAK frequent aanwezig.

6.1.4 Grote Peel-3 (GP-3)

Op basis van drogestofgehalte liggen enkele monsters, 970131 en 970132 boven 2 ppm PAK. Het gaat hier om monsters in het middendeel van het mosveen tussen 50 en 80 cm. Deze monsters zijn rijker aan PAK dan de topmonsters. De topmonsters 970128 (0-10 cm) en 970129 (10-20 cm) bestaande uit veraard veen met houtskoolresten, zijn verontreinigd met PAK-concentraties van meer dan 1 ppm. Deze monsters hebben een breed spectrum aan PAK, maar bezitten toch overwegend zware PAK, waaronder CHR, BBF, en BKF. In het hele traject is BPE dominant.

6.1.5 Grote Peel-4 (GP-4)

Het totale PAK gehalte in de venen van Grote Peel 4 ligt op basis van droge stof tussen ca 0,5 en 2,5 ppm. Er bestaat geen duidelijke relatie met de diepte. De samenstelling van de PAK is gevarieerd, maar lichte PAK komen niet of nauwelijks voor. Opvallend is de hoge CHR waarde in het leemmonster 970148 op 130-150 cm.
In de directe nabijheid van Grote Peel-4 werden nog enkele topmonsters meegenomen uit veraard veen en mosveen. De concentraties zijn eveneens weergegeven in de tabel. De gemiddelde PAK concentratie wisselt sterk. In monster 970127 (0-20 cm) komen iets lichter PAK voor dan in het erboven liggende monster 970151 (0-5 cm).

6.1.6 Hommerts 2 (HM-2)

Het topmonster is relatief arm aan PAK. In het daaronder liggende veenpakket liggen alle waarden boven 1 ppm. Met bijna 2 ppm PAK is monster 970061 (131-165) het rijkst. Het meest frequent is BPE, met name in de monsters 970056 (24-78 cm), 970060 (112-131 cm) en 970061 (131-165 cm).

6.1.7 Kloosterveen 1 (KV-1)

In de boring Kloosterveen zijn twee monsters rijk aan PAK, met name het monster 950434 (76-100 cm). Dit monster bevat vrijwel uitsluitend BPE, ruim 5 ppm. In de monsters 950429 en 950484, respectievelijk afkomstig uit een mosveen op 43-59 cm, en een zand op 176-200 cm, konden geen PAK aangetoond worden.

6.1.8 Knollendam 1 (KD-1)

Het topmonster 960164 (0-28 cm) bestaat uit een donkerbruine matig siltige klei met 38% lutum en is verrijkt met PAK tot 1,5 ppm met een gevarieerde samenstelling van o.a. NAF, FLR, FEN, FLT, PYR, CHR, BBF, BKF, BAP en BPE. Het veenpakket tussen 70 en 200 cm vertoont een duidelijke verrijking met PAK. Het PAK rijkste monster 960168 (149-163 cm) bevat ruim 1 ppm, met relatief veel lichte PAK.

6.1.9 Langweer 2 (LW-2)

De concentraties op basis van droge stof vertonen een sterke toename tot meer dan 2 ppm in het veenpakket tussen 40 en 200 cm, met name in de monsters 970036, 970037 en 970038. De samenstelling is sterk wisselend. In het bovenste monster is BPE dominant door de afwezigheid van overige PAK, daaronder komen relatief lichte PAK-componenten voor. Ook BBF is relatief frequent aanwezig.

6.1.10 Polder Molenaarsgraaf 1 (PM-1)

Het voor droge stof gecorrigeerde PAK gehalte is zeer laag in het hele profiel. Het topmonster bevat zeer geringe concentraties, voornamelijk BPE. Daarnaast komt in het hele traject BBF voor. Som-PAK is echter minder dan 0,3 ppm. Deze boring heeft gemiddeld het laagste PAK gehalte van alle onderzochte boringen.

6.1.11 Rottige Meenthe 1 (RM-1)

Drie veenmonsters in deze boring bevatten meer dan 3 ppm PAK. Het rietveen in het bovenste deel van Rottige Meenthe (monster 950278) op 68- 97 cm is rijk aan diverse PAK, met name BAA, BAP, BBF, BKF, CHR, FEN, FLR, INP en PYR. De lithologie bestaat hier uit veraard veen. Echter, de aanwezigheid van weinig gedegradeerde rietresten in dit monster doen vermoeden dat het bodemprofiel recent is omgewerkt. Het daarboven gelegen kleiige veenmonster 950253 (46-68 cm) is eveneens rijk aan PAK, met een duidelijke dominantie van BPE. Het rijkste monster dat werd aangetroffen is monster 950371 uit rietveen op een diepte van 200-252 cm. Dit monster bevat ook voornamelijk BPE.

6.1.12 Uitdam 1 (UD-1)

De top van boring Uitdam bestaat uit opgebrachte grond die relatief zwaar vervuild is. De PAK concentratie in het bovenste monster bedraagt 4,2 ppm. De topmonsters 960185 en 960186 uit de opgebrachte grond met een diepte van respectievelijk 0-5 en 5-18 cm vertonen hoge concentraties van ACN, ANT, BAA, BAP, BBF, BKF, BPE, FLT, FEN en PYR. NAF komt niet voor in het topmonster, maar wel in het daaronder gelegen monster. Monster 960187 is afkomstig uit de direct daaronder gelegen bruine humeuze klei op een diepte van 18-29 cm en is ook rijk aan ACN.
Opvallend is dat vlak onder deze zwaar vervuilde grond de concentraties van som-PAK vrijwel gelijk zijn, maar de individuele PAK samenstelling geheel veranderd. In de monsters 960190 en 960191 is BPE dominant met concentraties tot meer dan 90%, terwijl naar grotere diepte tussen 261 en 600 cm de hoeveelheden van met name lichte PAK, zoals NAF, ACN en FLT significant toenemen.

6.1.13 Warder 1 (WD-1)

Het topmonster 960201 van de boring Warder-1 (0-5 cm), is afkomstig uit matig siltige grijze klei met 40% lutum. De som-PAK bedraagt 1,5 ppm en bestaat uit een breed spectrum van PAK, waarvan BAA, BAP, BBF, BKF, BPE, FLR, ANT en PYR relatief hoog is vergeleken met andere monsters. Ook lichte PAK is aanwezig. Beneden de 130 cm ligt een pakket veen tot 300 cm. In dit veenpakket is de PAK-concentratie eveneens relatief hoog boven 3 ppm. Dominant zijn de lichte componenten als NAF en ACN.

Daarnaast wordt ook BPE aangetroffen, zowel in het kleipakket boven het veen als in de venen zelf.

6.1.14 Wartena-2 (WT-2)

Op basis van droge stof bevatten 4 monsters meer dan 1 ppm PAK. Deze zijn alle vier afkomstig uit veen behalve het monster 970004, dat uit de kleiige tussenlaag op ca. 70 cm afkomstig is. De twee rijkste monsters vertonen een dominantie aan BPE. Uitschieter is monster 970002 uit bruinzwart veen op 29-68 cm diepte dat bestaat voor 90% uit BPE. NAF werd in de meeste monsters aangetroffen.

6.1.15 Resumé

De onderzochte monster hebben een grote variatie voor wat betreft totaal PAK gehalte als voorkomen van de individuele PAK. Er lijkt een relatie te zijn tussen het totaal PAK gehalte en het organisch materiaal gehalte van het sediment.

6.2 Statistische analyse van de dataset

6.2.1 Univariate analyse

Tabel 6.1 geeft een overzicht van het gemiddelde en de standaarddeviatie van de VROM en EPA-PAK gehaltes van alle monsters, met uitzondering van monster 970116 uit de Grote Peel, dat een zeer hoog BPE gehalte heeft. De gemiddelde som EPA-PAK bedraagt 1,38 ppm en de som VROM-PAK 1,11 ppm op basis van droge stof. De VROM/EPA ratio bedraagt 0,80. De lagere score van VROM-PAK komt voornamelijk op het conto van BBF en ACN.

Tabel 6.1: Overzicht gemiddelde totaalscores en standaarddeviatie VROM en EPA-PAK van alle monster op basis van droge stof gehalte (in ppm).

	NAF	ACN	FLR	FEN	ANT	FLT	PYR	BAA	CHR	BBF	BKF	BAP	DBA	BPE	INP	EPA	VROM
EPA	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X		
VROM	X			X	X	X		X	X		X	X		X	X		
gem.	0.13	0.09	0.03	0.05	0.00	0.04	0.04	0.03	0.09	0.10	0.03	0.03	0.02	0.71	0.01	1.38	1.07
sd	0.29	0.19	0.05	0.06	0.01	0.15	0.13	0.09	0.12	0.12	0.05	0.07	0.05	3.17	0.04	3.39	3.30

Uit tabel 6.1 blijkt dat BPE gemiddeld in hoogste gehaltes voorkomt, maar dat ook de spreiding hierin in vergelijking met de overige PAK zeer groot is. De gemiddelde NAF, ACN, CHR en BBF gehaltes zijn na BPE het hoogst. ANT en INP komen het minst voor in de veenprofielen.

In de histogrammen van de figuren in bijlage B.5 zijn alle scores per PAK-component opgenomen. Voor alle individuele PAK componenten geldt hetzelfde beeld. De histogrammen zijn allemaal scheef naar rechts. Dit betekent dat er van een groot aantal monster enkele een PAK gehalte hebben dat velen malen hoger is dan het gemiddelde van

de groep. Dit patroon is normaal voor zowel natuurlijke als antropogene microcomponenten in de ondergrond. De extreme waarden wegen relatief zwaar in het populatiegemiddelde. Ditzelfde beeld geldt voor de verdeling van de som-PAK.

6.2.2 Multivariate analyse

De PAK dataset is met behulp van een aantal multivariate statistische analyse methoden nader gekarakteriseerd. De doelstelling van deze statistische technieken is te onderzoeken of er typische, onderscheidbare PAK samenstellingen bestaan en of het mogelijk is om processen aan te wijzen die het voorkomen van deze bepaalde PAK samenstelling kunnen verklaren.

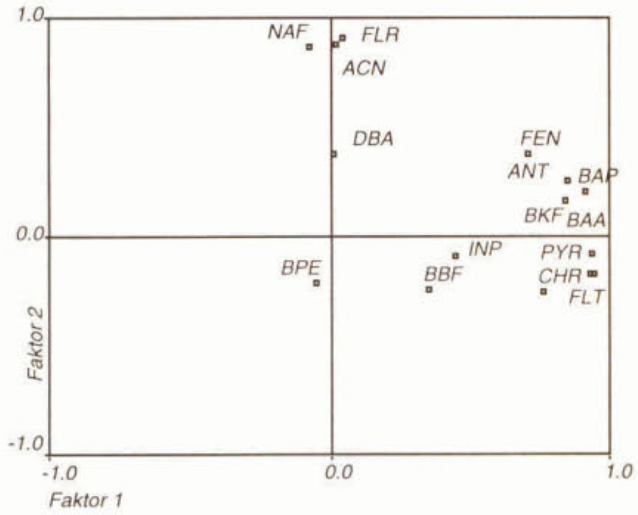
De dataset is geanalyseerd met factoranalyse en met clusteranalyse. De resultaten van beide technieken zijn uitgebreid beschreven in bijlage B.6 van dit rapport. Hieronder volgt een korte samenvatting van de resultaten.

6.2.2.1 Factoranalyse

Factoranalyse is een wiskundige methode waarbij door het groeperen van aan elkaar gecorreleerde parameters natuurlijke verbanden tussen clusters van parameters kunnen worden herkend. De doelstelling van een factoranalyse is het opsporen van processen die de onderlinge relatie tussen variabelen kan verklaren. Er zijn vier factoranalyses met elkaar vergeleken:

- met alle data
- met uitsluiting van extreem hoge waarde voor de som-PAK
- met uitsluiting van waarde voor de som-PAK < 0,5 ppm
- met uitsluiting van extreem hoge waarde en waarde van de som-PAK < 0,5 ppm

Figuur 6.1 geeft de factorplot van de analyse met uitsluiting van de extreem hoge waarde en som-PAK < 0,5. Uit de factoranalyses met de andere datasets is gebleken dat er geringe verschillen zijn in de lading van de diverse variabelen op de factoren maar dat er wel een consistent naar voren komt. Dit betekent dat het beeld zoals weergegeven in figuur 6.1 representatief is voor de dataset en dat deze gebruikt kan worden om processen uit af te leiden.



Figuur 6.1: Factorplot voor de factor analyse zonder extremen en som-PAK < 0,05, zie tekst voor verklaring.

Er is een groep van aan elkaar gerelateerde variabelen, FLT, PYR, BAA, BAP, ANT, BKF, en CHR die voornamelijk op de eerste factor laadt. Deze groep heeft overwegend 4 of 5 aromatische ringen. Deze groep is weer onder te verdelen in twee subgroepen. ANT, BAP, BKF en BAA laden positief op de tweede as en PYR, CHR en FLT laden negatief op de tweede as. FEN laadt gedeeltelijk op de tweede as en heeft 3 aromatische ringen. Mogelijk wordt de eerste factor gedomineerd door antropogene PAK, die voornamelijk aangetroffen worden in de oppervlaktemonsters van de boringen. Dit stemt ook overeen met de heterogene samenstelling van de PAK in de oppervlaktemonsters.
Een tweede groep, die geheel op de tweede factor laadt, bestaat uit NAF, ACN en FLR. Deze behoren tot de lichtste EPA-PAK, met twee aromatische ringen. Dit duidt er op dat de tweede factor direct gerelateerd is aan molecuulgrootte van de PAK, en de daarvan afgeleide potentiële mobiliteit en aërobe afbreekbaarheid van de PAK.
De derde factor wordt geheel geladen door BPE. Deze factor is geheel onafhankelijk van de eerste as en van de mobiliteitsas. Het ligt dus voor de hand om te veronderstellen dat deze factor de in situ PAK voorstelt, zwaar geladen door BPE. Een alternatief is echter van meer technische aard. Zowel bij de UV-detectie, als bij de fluorescentiedetectie bleek dat er vaak een sterk signaal optrad bij de retentietijd van BPE. In eerste instantie werden op grond hiervan hoge concentraties BPE berekend. Later bleek echter met behulp van GC/MS-onderzoek, dat monsters die een veronderstelde BPE-piek hadden, geen of vrijwel geen BPE bevatten. Dit is ook door het NIOZ onderzoek bevestigd. Dit zou kunnen betekenen dat het BPE-signaal, alhoewel een in situ component, geen PAK, althans zeker geen EPA-PAK is. Het vaststellen van de identiteit en het kwantificeren van de werkelijke component of componenten van het geanalyseerde pseudo BPE is maar ten dele gelukt.

6.2.2.2 Clusteranalyse

Clusteranalyse wordt toegepast om een datamatrix, die gebaseerd is op meerdere variabelen, te ordenen in min of meer homogene subgroepen die onderling te onderscheiden zijn op basis van grootste overeenkomst. Op de dataset is een clusteranalyse uitgevoerd waarbij monster met hoge uitschieters in PAK samenstelling als apart cluster zijn beschouwd. In totaal zijn er in de dataset 11 clusters te onderscheiden, waarvan 4 clusters, met totaal 8 monsters, voorafgaand aan de berekening apart waren gedefinieerd op basis van hun unieke samenstelling. De overige 130 monsters zijn onder te verdelen in 7 clusters met een min of meer unieke samenstelling. In tabel 6.2 is de gemiddelde PAK samenstelling per cluster opgenomen. Een uitgebreide beschrijving van de PAK samenstelling van de clusters is te vinden in bijlage B.6. Hieronder worden de belangrijkste resultaten van de clusteranalyse kort samengevat.

Tabel 6.2: Gemiddelde PAK samenstelling per cluster.

cluster	aantal	NAF	ACN	FLR	FEN	ANT	FLT	PYR	BAA	CHR	BBF	BKF	BAP	DBA	BPE	IPY	EPA	VROM
1	72	0.01	0.02	0.01	0.02	0.00	0.01	0.01	0.01	0.01	0.08	0.01	0.01	0.01	0.04	0.00	0.24	0.11
2	20	0.29	0.22	0.07	0.07	0.00	0.04	0.04	0.03	0.03	0.07	0.03	0.03	0.02	0.06	0.00	0.99	0.58
3	3	-	0.16	0.03	0.16	0.03	0.39	0.30	0.26	0.53	0.22	0.16	0.17	0.02	0.01	-	2.43	1.70
4	6	1.25	0.76	0.16	0.13	0.01	-	-	0.01	0.01	0.13	0.07	0.10	0.14	0.34	0.06	3.16	1.98
5	7	0.12	-	0.02	0.10	0.00	-	-	0.01	0.01	0.09	0.02	0.02	0.02	1.86	-	2.27	2.14
6	4	-	-	-	0.08	0.00	0.26	0.23	0.05	0.17	0.28	0.09	0.05	0.01	1.26	0.06	2.55	2.03
7	18	0.14	0.07	0.01	0.05	0.00	0.04	0.03	0.03	0.06	0.14	0.04	0.02	0.02	0.79	0.02	1.45	1.19
8	5	0.09	-	0.02	0.06	0.00	-	-	-	0.01	0.05	0.01	0.04	-	4.32	-	4.59	4.52
9	1	-	-	-	0.33	0.06	1.42	1.28	0.67	0.84	0.55	0.29	0.55	0.08	0.81	0.31	7.18	5.28
10	1	-	-	-	-	-	-	-	-	6.14	-	-	-	-	1.65	-	7.79	7.79
11	1	-	-	-	0.20	-	-	-	0.55	0.32	0.15	0.01	0.12	-	36.06	-	37.42	38.02

Meer dan de helft van de monsters valt in cluster 1 met gemiddeld zeer lage PAK waardes zonder een relatie met diepte, distributie of lithologie. Deze groep mag gezien worden als een minimale achtergrond waardes van PAK. 20 monsters vormen cluster 2 waarbij duidelijk sprake is van dominantie van lichte -relatief mobiele- PAK met twee of drie aromatische ringen. Groep 3 bestaat uit slechts drie monsters met een breed spectrum aan zware PAK waarin BPE afwezig is. Cluster 4 bestaat geheel uit monsters afkomstig uit de boring Warder-1. Deze groep bevat voornamelijk lichte PAK. Cluster 7 is een groep van 18 monsters die op twee na allemaal afkomstig zijn uit veen met een uiteenlopend diepte interval. Deze groep heeft echter geen duidelijk onderscheidbare PAK samenstelling. Tenslotte zijn er de clusters 5 en 6 met respectievelijk 7 en 4 monsters waarbij oxidatie verschijnselen tengevolge van droogvallen van veen en veenbranden zijn aangetroffen. In beide clusters is er sprake van dominantie van BPE.

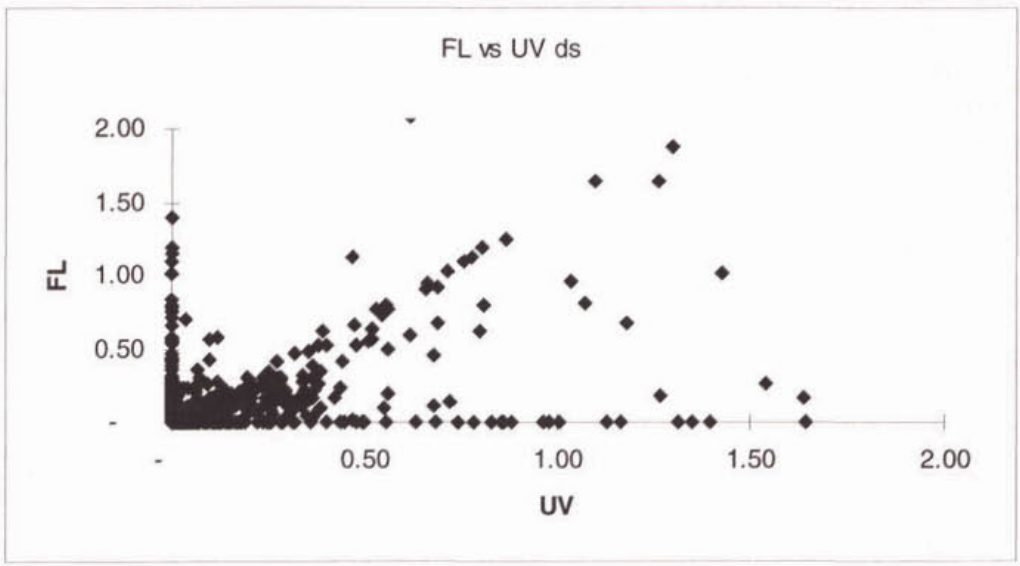
Uit tabel 6.2 blijkt dat er bij 5 van de 11 clusters sprake is van dominantie van BPE, hetgeen ook weer een aanwijzing is dat de als BPE geanalyseerde component in werkelijkheid geen EPA-PAK is.

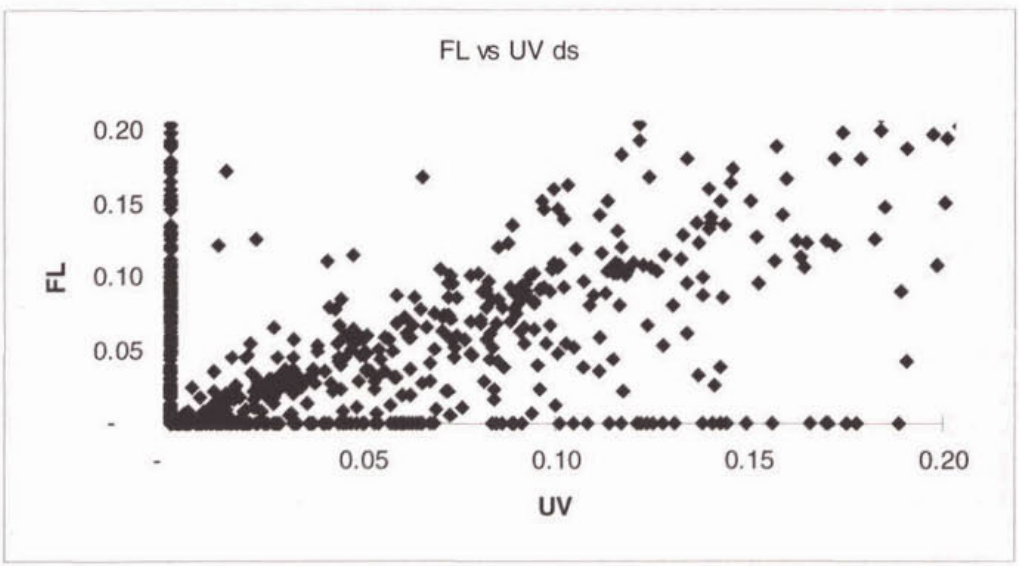
6.3 Evaluatie betrouwbaarheid HPLC methode

De soms vreemde resultaten van de PAK analyses gaven aanleiding om de HPLC analyse methode nog een nader te beschouwen.

6.3.1 Experimentele UV versus fluorescentie data

In figuur 6.2a en b zijn alle UV en fluorescentie-meetresultaten voor alle variabelen geplot in ppm op basis van droge stofgehalte (138 *15 datapunten). In figuur 6.2a zijn de metingen opgenomen tot 2 ppm, in figuur 6.2b zijn de metingen aangeven tot 0,2 ppm. Metingen boven de 2 ppm vertonen geen enkel probleem en zijn in het algemeen zeer goed met elkaar gecorreleerd. Deze zijn hier buiten beschouwing gelaten. Op de X-as staan de resultaten geplot van de UV metingen waarvan de fluorescentie-data ontbreken, of nul zijn. Op de Y-as staan de fluorescentie-metingen, waarvan de UV metingen ontbreken of nul zijn. Deze figuren adstrueren de noodzaak om met twee onafhankelijke detectoren te meten. Voor Acenaftyleen bestaat geen fluorescentiesignaal bij de door ons gebruikte golflengte. Ook kan het fluorescentie-signaal ontbreken als gevolg van drift van het HPLC-systeem. UV-signalen ontbreken voor ANT. Uit de figuren kan men afleiden dat er in het algemeen een zeer goede correlatie bestaat tussen de twee meetmethoden, voor zover het concentraties betreft boven de 0,2 ppm per variabele. Beneden de 0,2 ppm neemt de discrepantie tussen de twee variabelen toe en beneden de 0,05 ppm is er een onaanvaardbare scatter ontstaan in de plots. Dit betekent dat voor een aantal componenten de gevonden waarden op grond van achtergrondruis of experimentele instabiliteit geen betekenis hebben. Dit geldt bijvoorbeeld voor FLR, DBA en FEN op diepten groter dan 500 cm, of antraceen in vrijwel alle monsters.

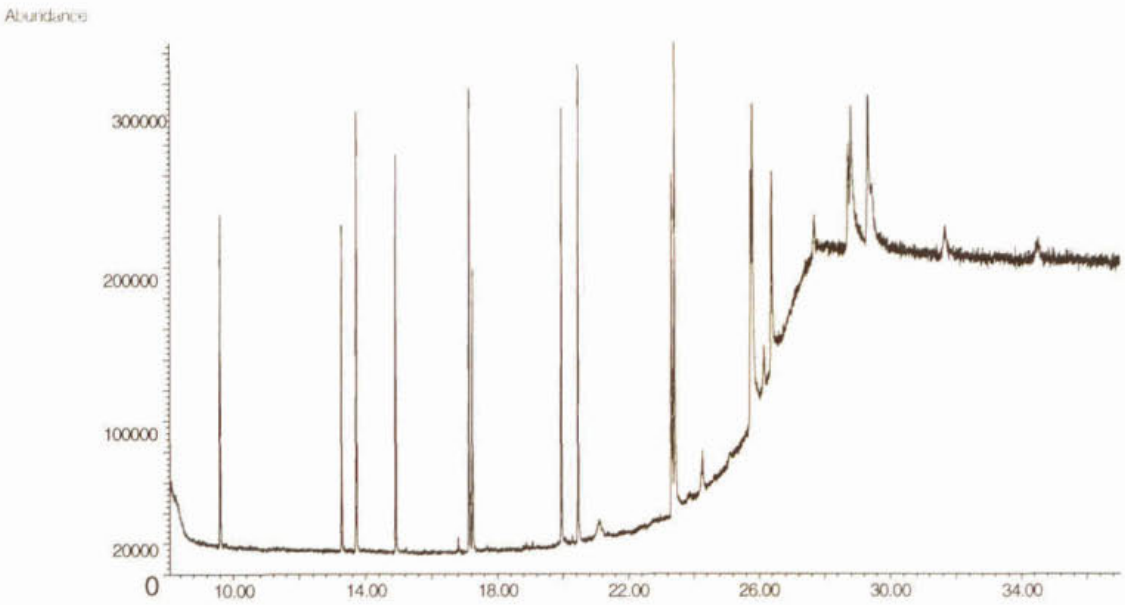




Figuur 6.2$_{a,b}$: Plot van UVIS tegen FL data voor analyses op basis van droge stof a= tot 2 ppm, b= tot 0,2 ppm.

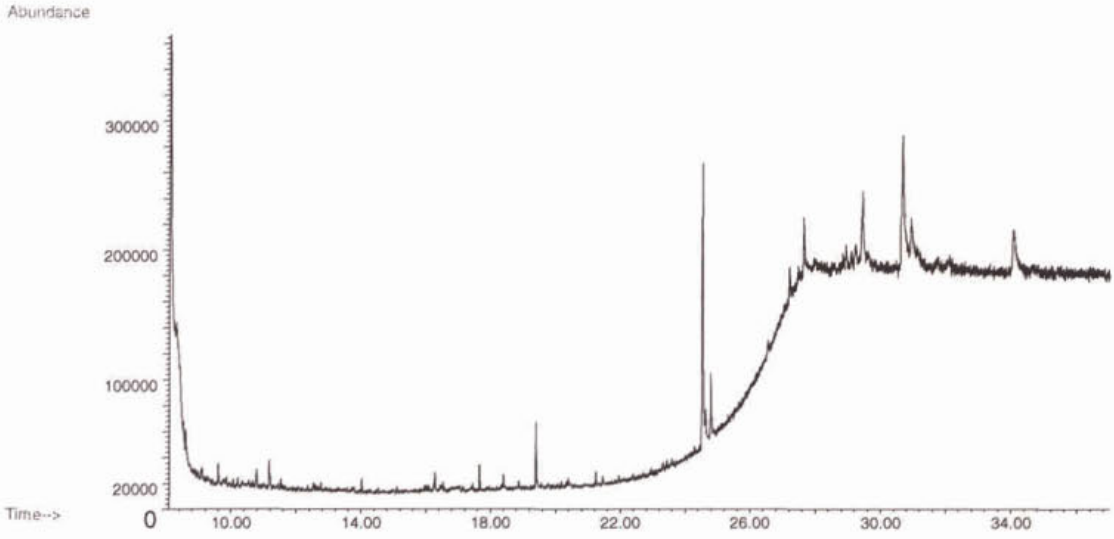
6.3.2 GC/MS screening

De soms vreemde verdelingen van de PAK in de monsters gaven aanleiding tot een uitgebreide kwalitatieve screening van de PAK met GC/MS.
In figuur 6.3 is een afbeelding opgenomen van de PAK standaard, genormaliseerd op 6-methylchryseen.



Figuur 6.3: GC/MS opname van PAK standaard.

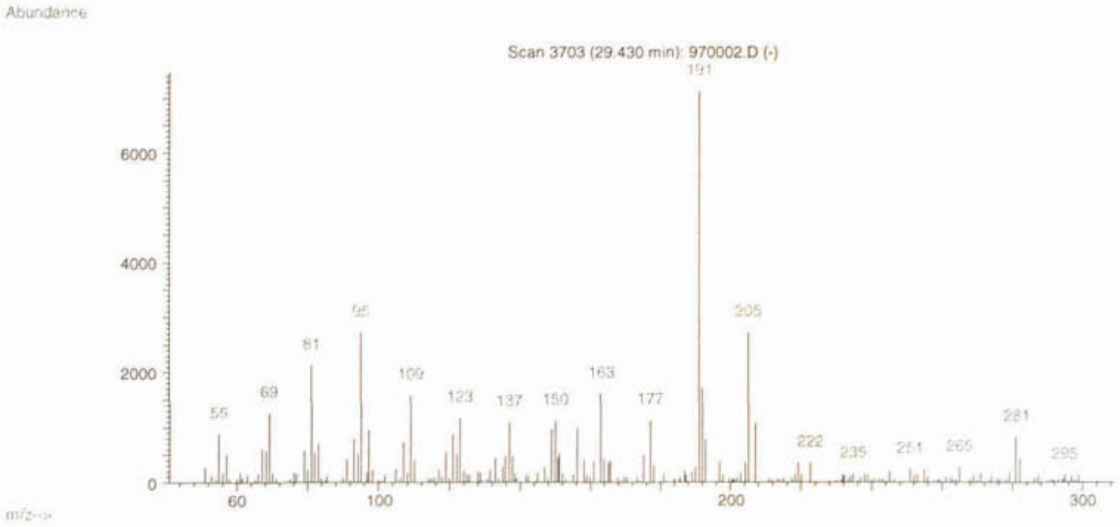
29 monsters werden nader onderzocht met behulp van GC/MS. De resultaten van de kwalitatieve GC/MS screening zijn samengevat in de bijlagen, tabel B.8. Uit deze screening blijkt dat de meeste componenten overeenstemmen met de HPLC analyses. Er zijn echter een paar belangrijke uitzonderingen waarbij interpretaties op grond van HPLC-FL en HPLC-UV niet bevestigd worden door GC/MS.
De op grond van HPLC analyses zeer frequent aanwezige BPE kon niet altijd met behulp van GC/MS bevestigd worden. In figuur 6.4 is een voorbeeld gegeven van een monster (970002).



Figuur 6.4: Voorbeeld van een GC/MS opname van een monster (Full Scan).

Waar de piek van BPE verwacht wordt op 29.30 min in het massaspectrogram is vaak geen piek aanwezig. Als er wel een signaal is kan dat meestal geïdentificeerd worden als BPE. Met een faseverschil van enkele seconden is er vlak naast de verwachte plaats voor BPE op 29,40 min vaak wel een andere piek waarneembaar. Deze piek werd getoetst door middel van Single Ion Extraction bij m/z =276, het specifieke ion voor BPE. Pieken met vergelijkbare GC/MS retentietijden werden in vele monsters aangetroffen waar ook BPE met behulp van fluorescentie werd gedetecteerd. Daarom werd deze piek aan nader onderzoek onderworpen.

In de figuur 6.5 is het fragmentogram van deze piek opgenomen. Dit fragmentogram is specifiek voor een vertegenwoordiger uit de polycyclische, monoaromatische C32-benzohopaan familie. Kennelijk elueert deze stof samen met PAK, dank zij het aromatische karakter van de enkele benzeenring. Het hoge molecuulgewicht veroorzaakt door de toegevoegde, gedeeltelijk gealkyleerde cyclohexaanringen zou verantwoordelijk kunnen zijn voor een HPLC retentietijd vergelijkbaar met BPE. Deze C32 benzohopaan is een in situ biogene component, waarvan de genese onafhankelijk is van de overige zware PAK. Deze interpretatie wordt ook ondersteund door de factoranalyse die liet zien dat het gedrag van BPE onafhankelijk is van de overige PAK.



Figuur 6.5: Voorbeeld van een GC/MS fragmentogram m/z.

Een ander opvallend verschijnsel betrof de unieke, hoge score van ACN in de boring Warder. Ook hier werd een aanvullend onderzoek verricht naar de identiteit van de HPLC-pieken. In diverse monsters kon aangetoond worden dat behalve ACN ook diverse andere gealkyleerde monoaromaten aanwezig zijn. In de PAK standaard ligt de ACN-piek op 13.70 min. Een frequent geobserveerde piek komt voor bij 14.00 min. Specifieke m/z ratio van deze piek is 205 die geïnterpreteerd kon worden als een gealkyleerde fenol (mogelijk 4 methyl, 2-6-bis(1,1-dimethyl)fenol). Ook hier veroorzaakt waarschijnlijk de aanwezigheid van één aromatische ring in combinatie met de alkylsubstituten een HPLC-retentietijd om en nabij die van ACN.

Verder onderzoek bracht aan het licht dat ook de op grond van HPLC berekende NAF concentraties discutabel zijn. In verschillende monsters werden met behulp van GC/MS gealkyleerde benzenen aangetoond, die hoogstwaarschijnlijk, op grond van molecuulgewicht en aromaticiteit bij HPLC-analyse samenvallen met het NAF signaal.

Samenvattend kan men stellen dat de HPLC-FL methodiek, toegepast op bodemmonsters niet geheel selectief is. Neemt men daarbij in overweging dat het geïnterpreteerde BPE een zeer frequente component is van de totale hoeveelheid PAK, dan is de conclusie gerechtvaardigd dat toepassing van deze algemeen aanvaarde techniek tot overschatting van de werkelijke PAK concentratie kan leiden.

6.4 Herkomst PAK

Een doelstelling van het project is te bepalen of het mogelijk is om onderscheid te maken tussen natuurlijke en antropogene PAK voorkomens. Om dit te onderzoeken wordt in deze paragraaf bekeken of er een relatie bestaat tussen de PAK samenstelling en de intrinsieke eigenschappen van het monster zoals lithologie, diepte en ouderdom van het materiaal. Uit de voorgaande paragraven is echter gebleken dat de betrouwbaarheid van de dataset beperkt is. Componenten die met HPLC analyse als PAK zijn geïdentificeerd bleken na GC/MS screening in werkelijkheid geen EPA-PAK te zijn. Dit veroorzaakt bij een groot aantal monsters een som-PAK samenstelling die uit vrijwel één component bestaat.
De correlatie tussen PAK samenstelling en lithologie en diepte wordt daarom zowel bepaald voor de gehele dataset en voor een dataset waarbij monsters zijn geëlimineerd, waarvan één component meer dan 50% van de som-PAK uitmaakt. Op basis van dit selectie criterium zijn 61 monsters geëlimineerd. Een overzicht van het aantal monsters die zijn verwijderd per individuele PAK is weergegeven in Tabel 6.3. De zogenaamde gecorrigeerde dataset bestaat uit 77 monsters.

Tabel 6.3: Overzicht van het aantal monotypische monsters per individuele PAK.

PAK	aantal monsters	boring (+aantal monsters)
BPE	23	GP-3 (6), GP-4 (5), GP-1 (1), KV-1 (2), RM-2 (3), UD-1 (2), WD-1 (1), WT-2 (2), HM-2 (1)
BBF	18	DM-1 (9), BG-1 (3), PM-1 (4), RM-1 (2)
NAF	8	UD-1 (4), WT-2 (1), DM-1 (1), KD-1 (1), LW-2 (1),
ACN	3	UD-1 (2), BG-1 (1)
CHR	2	GP-1 (1), GP-4 (1)
BAP	1	KD-1 (1)

Uit Tabel 6.3 blijkt dat een meerderheid van de monotypische BPE monsters afkomstig is uit de Grote Peel en dat een meerderheid van de monotypische BBF monsters afkomstig zijn uit Zuid-Holland (boring Bodegraven, De Meije en Polder Molenaarsgraaf). Monotypische BPE monsters hebben over het algemeen een hoge som-PAK waarde (> 2 ppm) en monotypische BBF monsters hebben meestal een lage som-PAK waarde (< 0,5 ppm).

6.4.1 Correlatie met lithologie

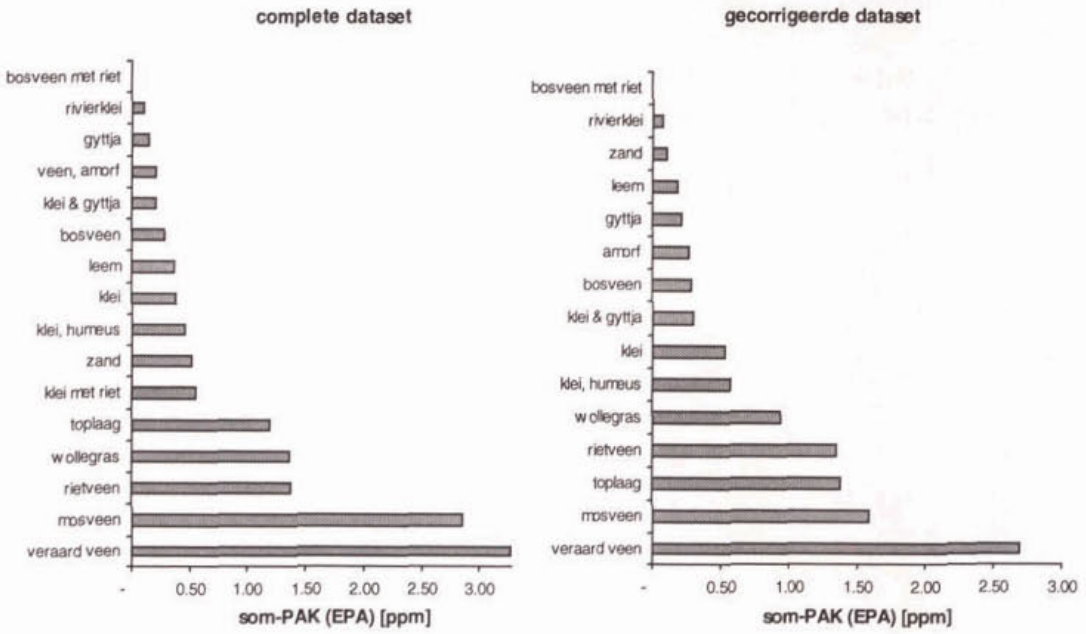
Tabel 6.4 bevat de gemiddelde gehaltes en de standaarddeviatie van de individuele PAK per lithologie van de complete en van de gecorrigeerde dataset. Figuur 6.6 geeft de gemiddelde som-PAK gehaltes in relatie tot lithologie, op basis van droge stof, van de complete dataset en van de gecorrigeerde dataset.
De gemiddelde waarden van som EPA-PAK per lithologie laat een grote spreiding zien. Het globale beeld van de gemiddelde som-PAK gehaltes van de complete en van de gecorrigeerde dataset is echter goed vergelijkbaar. De gemiddelde som-PAK gehalte van mosveen is door eliminatie van met name BPE-rijke monsters het meest afgenomen.

Tabel 6.4: Gemiddeld organisch stof en som EPA-PAK gehalte per type veen

lithologie	organisch stof (%)	complete dataset			gecorrigeerde dataset		
		aantal monsters	som PAK gemiddeld (mg/kg)	som PAK spreiding (mg/kg)	aantal monsters	som PAK gemiddeld (mg/kg)	som PAK spreiding (mg/kg)
wollegras	87,3	7	1,36	1,63	5	0,94	0,83
mosveen	82,3	32	2,85	6,49	15	1,58	1,21
veraard veen	78,4	8	3,27	2,60	5	2,70	2,94
rietveen	75,8	23	1,37	1,10	12	1,35	1,07
bosveen met riet	73,8	1	-	-	1	-	-
gyttja	43,2	3	0,14	0,18	2	0,21	0,19
bosveen	41,3	5	0,28	0,26	5	0,28	0,26
amorf veen	40,2	2	0,20	0,09	1	0,27	-
klei, humeus	25,6	13	0,45	0,47	8	0,57	0,56
toplaag	20,1	10	1,19	1,18	8	1,38	1,27
klei & gyttja	17,8	2	0,21	0,12	1	0,29	-
leem	16,4	3	0,37	0,30	1	0,19	-
klei met riet	13,1	3	0,55	0,68	0	-	-
rivierklei	9,7	4	0,10	0,03	1	0,07	-
klei	8,1	14	0,38	0,31	8	0,53	0,32
zand	3,8	7	0,51	0,89	2	0,10	0,14
totaal		137			75		

Boven de 1 ppm grens scoren achtereenvolgens de toplaag, wollegrasveen, rietveen, mosveen en veraard veen. Veraard veen heeft in beide figuren de hoogste gemiddelde som-PAK gehaltes. Veraard veen ligt meestal aan het oppervlak. De hoge PAK gehaltes zijn ontstaan door atmosferische depositie of door verbranding/oxidatie van organisch materiaal. In het eerst geval is de PAK antropogeen verrijkt en in het tweede geval heeft de PAK een natuurlijke bron. Omdat het PAK gehalte van veraard veen hoger is dan van de toplaag lijkt de tweede verklaring het meest aannemelijk. De toplaag is namelijk het meest gevoelig voor antropogene aanrijking van PAK. Het is echter ook mogelijk dat een combinatie van beide de hoge PAK gehaltes in veraard veen veroorzaken.
Het PAK gehalte van mosveen, rietveen en wollegrasveen is verhoogd ten opzichte van de overige lithologieën, terwijl bosveen en amorf veen niet onderscheidbaar zijn van klei, leem of zand. In tabel 4.5 is te zien dat bosveen en amorf veen een lager organisch stofpercentage hebben dan de overige venen. Hieruit blijkt dat het gemiddelde som-PAK gehalte een correlatie heeft met het organisch stofgehalte van de matrix. De PAK in mosveen, rietveen en wollegrasveen is dus waarschijnlijk van natuurlijke oorsprong.

Uit figuur 6.6 blijkt ook dat de toplaag geen hoger gemiddelde som-PAK gehalte heeft dan de organisch stof rijke venen. Blijkbaar zijn de gebieden waarin de boringen zijn gezet niet sterk verontreinigd, wat al een uitgangspunt was bij het onderzoek.



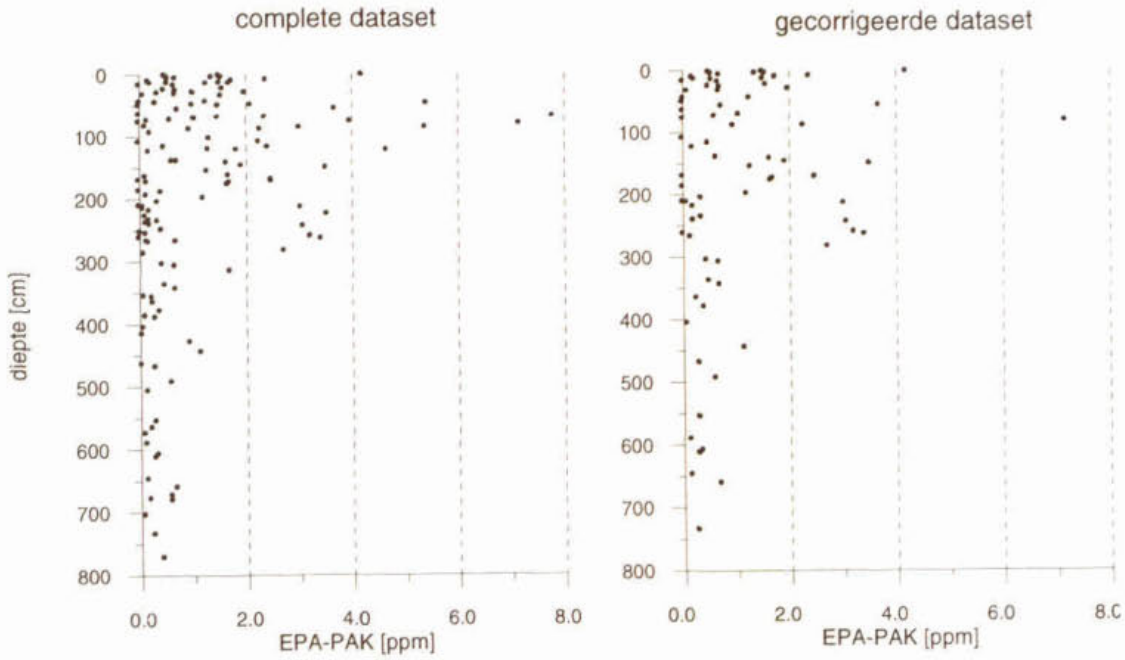
Figuur 6.6: Relatie tussen lithologie en gemiddeld som-PAK gehalte op basis van droge stof – van de originele en gecorrigeerde dataset.

6.4.2 Correlatie met diepte

6.4.2.1 Som EPA-PAK

In figuur 6.7 zijn de som EPA-PAK gehaltes op basis van droge stof van de originele en gecorrigeerde dataset geplot tegen de diepte. Als dieptevariabele is de gemiddelde diepte van het monsterinterval gebruikt. Alhoewel in deze figuur de invloeden van lithologie en PAK samenstelling niet zichtbaar zijn blijkt er wel een algemene trend uit. Zowel bij de originele als de gecorrigeerde dataset is een afname van de som EPA-PAK waarde met de diepte waarneembaar. Beneden 3 meter diepte komen vrijwel geen PAK gehaltes van meer dan 1 ppm voor. Het beeld van figuur 6.7 kan echter vertekenend zijn. Slecht 4 van de 14 boringen zijn namelijk dieper dan 4 meter. Dit zijn de boringen Bodegraven-1, De Meije-1, Polder Molenaarsgraaf-1 en Uitdam-1. De eerste drie hebben het gehele diepte interval zeer lage PAK gehaltes. Boring Uitdam-1 is de enige diepere boring met een relatief hoog som-PAK gehalte. Voor enkele diepte-intervallen zijn de ranges en gemiddelden som EPA-PAK waardes samengevat in tabel 6.5.
Voor zowel de complete dataset als de gecorrigeerde dataset ligt het maximum van het gemiddelde som-PAK gehalte in het diepte interval tussen 50 en 100 cm. Uit figuur 6.6

blijkt dat in dit interval hoogste waardes van som-PAK worden aangetroffen. Uit tabel 6.5 blijkt dat boven 200 cm de gemiddelde PAK gehaltes van de gecorrigeerde dataset lager zijn dan van de originele dataset. Beneden 200 cm is dit omgekeerd. Deze verandering wordt veroorzaakt door eliminatie van BPE gedomineerde monsters met hoge som-PAK waardes in het bovenste gedeelte van het profiel en eliminatie van BBF gedomineerde monsters met lage som-PAK waardes in het onderste gedeelte van het profiel. Opvallend is dat de gemiddelde som-PAK waardes van de toplaag (0-25 cm) monsters niet verhoogd zijn ten opzichte van de overige diepte intervallen tot 300 cm.



Figuur 6.7: Som EPA-PAK waardes van de complete dataset en de gecorrigeerde dataset geplot tegen de diepte.

Tabel 6.5: Gemiddelde som EPA-PAK gehaltes op verschillende diepten.

diepte cm	complete dataset		gecorrigeerde dataset	
	gemiddelde	n	gemiddelde	n
0-25	1,19	19	1,20	16
25-50	1,15	12	0,74	7
50-100	2,13	20	1,65	10
100-200	1,34	27	1,19	14
200-300	0,93	24	1,29	13
300-500	0,47	18	0,50	10
>500	0,30	15	0,31	7
totaal	1,38	138	1.06	77

6.4.2.2 Individuele PAK

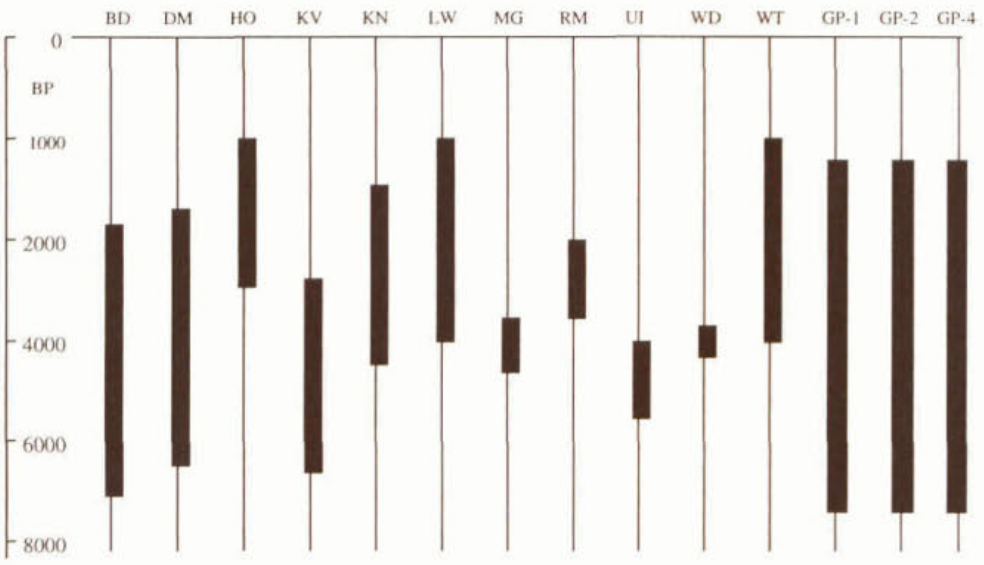
De individuele PAK vertonen verschillende beelden in relatie tot de diepte. In bijlage B.7 zijn de relaties tussen individuele PAK op basis van droge stof en diepte weergegeven voor alle monsters en de gecorrigeerde dataset. Voor de relatie van de individuele PAK met de diepte zijn er geen grote verschillen tussen de originele en gecorrigeerde dataset. Net zoals bij de som-PAK waardes is de relatie tot de diepte van de individuele PAK vertekend omdat slechts 4 van de 14 boringen dieper zijn dan 4 meter. Drie van de vier hebben over het gehele traject lage PAK gehaltes. Boring Uitdam-1 bevat in het diepe gedeelte alleen lichte PAK.
Op basis van het voorkomen van deze PAK in de diepte kunnen diverse groepen onderscheiden worden.

1 ANT
ANT komt in het hele diepte-interval zeer sporadisch voor.
2 NAF, ACN
Deze groep komt over het hele diepte-interval voor met een duidelijk maximum onder het oppervlak tussen 100 en 300 cm. NAF en ACN zijn lichte PAK en relatief goed oplosbaar in water waardoor deze, met het neerslagoverschot vanaf de oppervlakte naar grotere diepte migreren. Tevens is het bekend dat de lichte PAK aëroob (dus vooral aan het oppervlak) kan worden afgebroken. Dit is mogelijk ook een oorzaak van de piek tussen 100 en 300 cm.
3 FLR, FEN en BBF
Het beeld van deze groep is vergelijkbaar met dat van NAF en ACN, maar wel minder uitgesproken. Deze PAK worden aangetroffen in het hele bereik tot 800 cm, maar in het algemeen in geringe concentraties. Beneden de 300 cm nemen de gehaltes geleidelijk af.
4 DBA, en BKF, CHR, BAA, BAP, BPE
Deze PAK komen in het diepte interval tot ca. 300 cm gelijkmatig voor en worden beneden 300 cm nauwelijks aangetroffen.
5 IND, PYR en FLT
Deze PAK komen vrijwel uitsluitend in de bovenste meter van de boringen voor.
6 BPE
BPE wordt aangetroffen in hoge concentraties in het interval tot ca. 350 cm. Daaronder is BPE schaars. Het verschil tussen de originele dataset en de gecorrigeerde dataset is voor BPE het grootst

6.4.3 Correlatie met geologische ouderdom

De boringen, die hier onderzocht zijn, hebben als kenmerk dat de vorming van de veenafzettingen, reeds geruime tijd geleden tot stilstand kwam. Uit ouderdomsschattingen bleek dat de onderzochte veenprofielen reeds vele duizenden jaren oud zijn, en aan de oppervlakte in de meeste gevallen reeds duizend jaar of meer. In figuur 6.8 is een

overzicht gegeven van de ouderdomsschattingen van alle boringen. Hieruit blijkt dat de veenprofielen reeds zeer lange tijd geleden hun huidige vorm kregen.
De hoge PAK concentraties in de bovenste monsters van de geboorde profielen kunnen gerelateerd worden aan recente emissies die een antropogene oorsprong hebben. Door menging, opbrengen van grond, percolatie van grondwater met daarbijbehorende uitspoeling kan een gedeelte van de PAK, tot een diepte van 60 cm, en in een enkel geval tot iets grotere diepte, wel verklaard worden. Van monsters op grotere diepte echter is dit nauwelijks meer aannemelijk, althans niet voor de zwaardere PAK, die vrijwel onoplosbaar zijn in water. Op diepten beneden 1 meter kan men in de meeste gevallen aannemen dat de ouderdommen de veenpakketten gemiddeld 2000-4000 jaar bedragen. In die periode was Nederland nauwelijks bevolkt. Dit betekent dat PAK geaccumuleerd is aan het oppervlak in perioden waarin in Nederland op grote schaal fossiele energiebronnen werden geëxploiteerd, vanaf de Late Middeleeuwen. Vanaf de Late Middeleeuwen is de energieconsumptie en de daarbij behorende uitstoot van onvolledig verbrande resten, sterk toegenomen. Het is echter evident dat PAK, aangetroffen op grotere diepte, alleen door migratie daar terecht kunnen zijn komen, als ze afkomstig zouden zijn uit de meest recente emissies.



Figuur 6.8: Geschatte ouderdommen van de veenafzettingen in de boorprofielen.

6.4.4 Geografische scheiding

Een andere factor die van belang kan zijn is de geografische component. In tabel 6.5 is een overzicht gegeven van de boorlocaties en de scores per cluster (verg. tabel 6.2). Tevens is de maaiveldhoogte aangegeven.
Uit het onderzoek blijkt dat de clusters, op zijn minst gedeeltelijk, een geografische component bevatten. Het meest opvallend zijn wel de monsters uit cluster 4, met relatief

lichte PAK, die alle in de boring Warder uit Noord-Holland aangetroffen zijn. Maar ook de monsters van cluster 2 zijn niet gelijkelijk ruimtelijk verbreid. Het grootste deel van deze monsters, 16 van de 20, is afkomstig uit de boringen Warder, Uitdam en Knollendam uit Noord-Holland. Deze monsters bevatten eveneens een substantieel deel aan lichte PAK, zoals NAF, ACN, FLUO, en FEN, terwijl BPE ontbreekt. In contrast hiermee staan de Peelmonsters. In deze monsters ontbreken de lichte PAK vrijwel volledig, terwijl er hoge concentraties zware PAK werden aangetroffen (cluster 7). In het laatste geval lijkt er een duidelijk verband tussen de maaiveldhoogte boven NAP en PAK samenstelling. Door de hogere ligging van het Limburgse hoogveengebied is de kans op droogte en daarmee verband houdende veenbranden groter dan in de poldergebieden. Als gevolg van deze branden, waarvan de sporen evident zijn aangetoond is het zware PAK gehalte ook hoog.

Een ander opvallend aspect is dat vrijwel alle monsters van de boringen in Zuid-Holland in cluster 1 vallen, met zeer lage PAK gehaltes. De lithologie van deze boringen bestaat voornamelijk een afwisseling van bosveen en rietveen met kleilagen. Het bosveen is alleen in de boringen in Zuid Holland aangetroffen.

Tabel 6.5: Voorkomen van clusters (verg. tabel 6.2) in onderscheiden gebieden.

Boring	Provincie	mv	cluster									
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Wartena-2	Friesland	-70	5				1		2	1		
Hommerts 2	Friesland	-60	2	1					3			
Kloosterveen 1	Drenthe	1070	2				1			1		
Langweer 2	Friesland	-70	4	1			1		2			
Rottige-Meenthe 1	Friesland	-80	2				2	1		1	1	
Knollendam 1	Noord-Holland	-200	5	3								
Uitdam 1	Noord-Holland	-120	1	9	1				1	2		
Warder 1	Noord-Holland	-10	2	4		6			1			
Bodegraven1	Zuid-Holland	-160	10	2								
De Meije1	Zuid-Holland	-160	21									
Polder Molenaarsgraaf 1	Zuid-Holland	-60	10									
Grote Peel 1	Limburg	2800	2					1	1			1
Grote Peel 3	Limburg	2800	2				2		3			
Grote Peel 4	Limburg	2800	4		2			2	5			
totaal			72	20	3	6	7	4	18	5	1	1

7 Discussie

Methode PAK analyse

In dit onderzoek werd een standaardprocedure gevolgd, gebaseerd op NEN 5771 en na vergelijkende onderzoeken acceptabel geacht. Validatie met behulp van referentiemateriaal uit het PAK-QIP programma (Freriks et al., 1995) rechtvaardigt de conclusie dat de meetmethoden correct zijn uitgevoerd. Toch bleek, bij toetsing met behulp van GC/MS, dat er stoffen bestaan, natuurlijke aromatische polycyclische componenten, die geen EPA- of VROM-PAK zijn, maar op grond van hun gecombineerde chemische eigenschappen, met name aromaticiteit en molecuulgewicht, geïnterpreteerd kunnen worden als PAK. Deze conclusie wordt ondersteund door onafhankelijke screening van monster 950228 uit Molenaarsgraaf door NIOZ. Dit kon bewezen worden voor BPE, in meerdere monsters, maar is mogelijk ook het geval voor andere stoffen die als PAK geïnterpreteerd zijn.

Uit het GC/MS onderzoek bleek dat het zogenaamde BPE bestaat uit een complex van biomarkers, waaronder monoaromatische benzohopanen, die door een combinatie van molecuulgewicht en aromaticiteit gelijk elueren met BPE. Soms bestaat het PAK spectrum voor meer dan 90% uit deze pseudo-BPE. Het is niet mogelijk in het kader van dit onderzoek een kwantitatieve opsplitsing te geven van deze componenten en BPE. Er is voor zover nu bekend, geen industriëel proces dat leidt tot massale uitstoot van monotypische PAK. Het ligt daarom voor de hand om te veronderstellen dat monotypische PAK monsters mogelijk zijn samengesteld uit biogene componenten met een natuurlijke oorsprong.

Minder evident maar zeker ook mogelijk is dat voor andere PAK componenten dezelfde verschijnselen kunnen optreden. De GC/MS screening resulteerde in een zeer groot aantal gevallen in de constatering dat PAK bestanddelen, die vermoed werden op grond van HPLC-analyses, niet aangetoond konden worden. Dit was bijvoorbeeld het geval in monsters 970168 en 970169 uit De Meije-1 waar met behulp van HPLC hoge BBF concentraties werden aangetoond maar met GC/MS geen BBF gevonden kon worden. Ook deze monsters bestaan voor meer dan 90% uit een enkele PAK component.

De algemene conclusie die hieraan verbonden kan worden is dat monsters die een monotypische PAK compositie bezitten, in principe gescreend moeten worden met behulp van GC/MS. Een weging van de individuele PAK bijdragen in een monster is dus noodzakelijk. Om het effect van de monotypisch PAK monsters op de interpretatie van de meetgegevens te bepalen is besloten om deze uit te voeren met de gehele dataset en met een dataset waarbij monsters waarvan één component meer dan 50% van de som-PAK waarde bepaald, zijn geëlimineerd.

Voor wat betreft de correlatie met lithologie en diepte zijn er tussen de complete en gecorrigeerd dataset geen grote verschillen aangetroffen. Beide datasets kunnen op dezelfde manier worden geïnterpreteerd. Hieruit blijkt dat de monotypische PAK monsters geen grote invloed hebben op de algemene resultaten die uit de meetgegevens kunnen worden afgeleid.

Uit de vergelijking van de UV-spectra en de fluorescentiespectra bleek dat er een toenemende discrepantie optreedt tussen de beide signalen bij afnemende concentratie. Een deel van de discrepantie kan verklaard worden uit de verschillen in gevoeligheid tussen UV en fluorescentie, die bij de laatste veel hoger is. De keuze van de fluoresescentie- excitatie- en emissiegolflengte kwam overeen met die van Waterschap Friesland en ligt voor de meeste componenten nabij die welke door laboratoria in de PAK-QIP round Robin werden gebruikt (Freriks et al., 1995). Toch moet hier geconcludeerd worden dat ook fl-detectie niet specifiek is. Het ontbreken van een coherent patroon bij zeer lage concentraties wijst er dan op dat in de complexe veenmonsters een veelheid van aan PAK gerelateerde componenten in zeer lage concentraties voorkomt, die aanleiding geven hetzij tot fluorescentie, hetzij tot een UV-signaal. Dit betekent in de praktijk dat ca. 0,5 ppm som-PAK een ondergrens is waaronder de gemeten UV en of FL signalen niet of nauwelijks meer representatief zijn voor PAK.

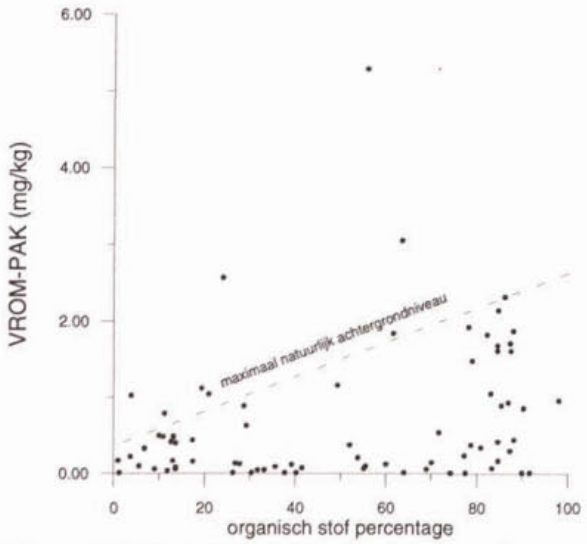
natuurlijke PAK voorkomens in veenprofielen

Het voorkomen van PAK in relatie tot de lithologie laat een vrij duidelijk beeld zien, waarbij er geen groot verschil is tussen de gehele dataset en de dataset waarbij monotypische PAK monsters zijn geëlimineerd. Veraard veen heeft gemiddeld de hoogste som-PAK waardes. De gemiddelde som EPA-PAK van veraard veen is 2,7 ppm. De meest logische verklaring hiervoor is dat de PAK is ontstaan door afbraak/oxidatie van het veen. Hierna volgen enkele veensoorten met meer dan 75% organisch stof zoals wollegrasveen, rietveen en mosveen en de toplaag. Deze hebben een som EPA-PAK gehalte van gemiddeld ongeveer 1,5 ppm. Redelijkerwijs kan worden aangenomen dat deze PAK een natuurlijke bron heeft. Deze monsters zijn namelijk niet van het oppervlak afkomstig en PAK slecht oplosbaar is in water waardoor ze een geringe mobiliteit hebben. Bovendien heeft het veen een grote ouderdom.

Opvallend is dat de toplaag, die logischerwijs het meest gevoelig is voor antropogene aanrijking van PAK, gemiddeld geen hogere PAK gehaltes bevat dan de venen met een hoog organisch stofgehalte. Hieruit kan worden geconcludeerd dat de antropogene aanrijking van PAK bij de onderzochte boringen niet groter is dan de 'natuurlijke' PAK in veen.

De overige lithologieën, waaronder bosveen en amorf veen hebben lagere som-PAK waardes. Bosveen en amorf veen hebben in vergelijking met de overige veensoorten een laag organisch stofgehalte. Algemeen kan er dus worden geconcludeerd dat het PAK gehalte een positieve correlatie heeft met het organisch materiaal gehalte van de monsters, wat al een uitgangspunt was bij de opzet van dit onderzoek. Hierdoor is het niet zinvol een uniforme waarde voor de natuurlijke achtergrond van PAK in sedimenten te geven. Het is echter wel mogelijk om op basis van de meetgegevens van dit onderzoek een schatting te maken van de natuurlijke achtergrond van PAK als functie van het organisch stof percentage van het materiaal. In figuur 7.1 is de som VROM-PAK van de monsters uit de gecorrigeerde dataset uitgezet het organisch stof percentage. Op basis van de dataset van dit onderzoek is de natuurlijke de som VROM-PAK in monster met minder dan 5% organisch materiaal kleiner is dan 0,5 mg/kg. In organisch materiaal rijke monster kan de natuurlijke som VROM-PAK oplopen tot ongeveer 2,5 mg/kg. Door de

beperkingen van de analysemethode moeten deze getallen gezien worden als niet meer dan een indicatie van het werkelijke natuurlijke achtergrondgehalte.



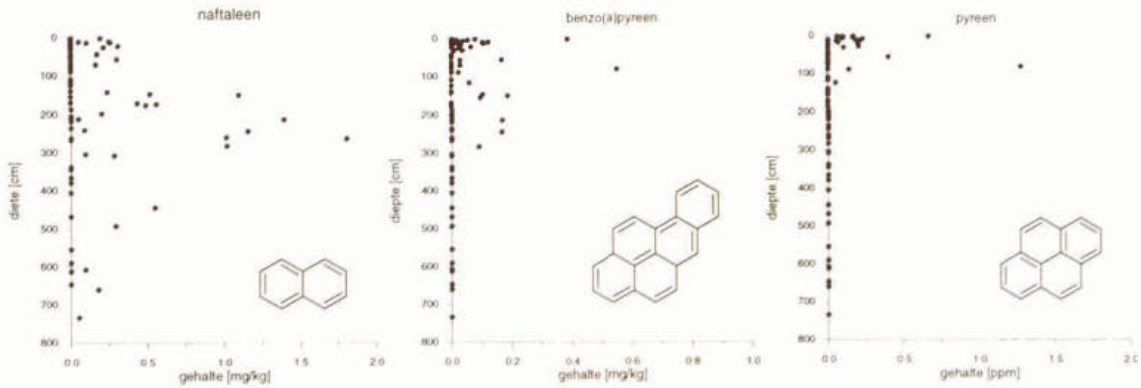
Figuur 7.1: Som EPA-PAK uitgezet tegen het organisch stof percentage van de monsters.

Het voorkomen van PAK in relatie met de diepte is in eerste instantie ook duidelijk. De algemene trend, bij zowel de complete dataset als de gecorrigeerde dataset, is een afname naar de diepte toe van gemiddeld ruim 2 ppm in de bovenste 100 cm tot minder dan 0,3 ppm beneden de 500 cm. Rond de 300 cm-mv de is grootste afname van PAK gehaltes waargenomen. Het ligt voor de hand om te veronderstellen dat dit patroon het gevolg is van depositie en migratie van PAK. Het veenoppervlak ligt er al geruime tijd en alle PAK komen via depositie via het oppervlak binnen. Aangezien het veenoppervlak reeds meer dan 1000 jaar oud is en dus van ver voor de industriële revolutie, lijkt zo'n verklaring afdoende. Dit model is echter tegenstrijdig met het voorkomen van PAK in relatie tot de lithologie. Hieruit is namelijk geconcludeerd dat de PAK in de veenafzettingen voornamelijk van natuurlijke oorsprong is. Wanneer echter de individuele PAK wordt beschouwd is de hierboven beschreven verklaring te eenvoudig en blijkt het mogelijk te zijn om de afname met de diepte op een andere manier te verklaren.

De individuele PAK vertonen echter verschillende beelden in relatie tot de diepte. Grofweg zijn de individuele PAK ten aanzien van relatie met de diepte onder te verdelen in drie groepen:

- lichte PAK waaronder NAF, ANT, ACN, FLR, FEN, BBF
- zware PAK waaronder BKF, BAA, BAP, DBA en BPE
- zware PAK waaronder PYR, CHR, FLT en IND

Er geen verschil is tussen de gehele dataset en de gecorrigeerde dataset. Figuur 7.2 geeft van de drie groepen een voorbeeld.



Figuur 7.2 Naftaleen (groep 1), benzo(a)pyreen (groep 2) en pyreen (groep 3) gehaltes uitgezet tegen de monsterdiepte

De lichte PAK met twee of drie aromatische ringen wordt over het gehele diepte interval aangetroffen met een piek tussen 1 en 3 m-mv. Dit patroon is op twee manieren te verklaren:

- De PAK heeft een antropogene bron en komt via atmosferische depositie op het oppervlak. Doordat de lichte PAK relatief mobiel is, zullen ze met het neerslagoverschot neerwaarts migreren.
- De PAK wordt in situ gevormd onafhankelijk van de diepte. Aan het oppervlak worden deze lichte PAK aëroob het snelst afgebroken waardoor er een piek tussen 1 en 3 m-mv ontstaat. De vraag is dan waarom de gehaltes afnemen beneden 3 m-mv. De verklaring hiervoor is vrij simpel. Van de veertien boringen zijn er namelijk slechts vier die dieper zijn dan 4 m-mv. Dit zijn boring Bodegraven-1, De Meije-1, Polder Molenaarsgraaf-1 en Uitdam-1. De eerst drie boringen bevatten over het gehele diepte interval zeer lage PAK gehaltes. Boring Uitdam-1 is de enige diepere boring met hogere PAK gehaltes in het diepere interval.

Uit dit onderzoek kan niet geconcludeerd worden welke van de bovenstaande twee modellen het voorkomen van de lichte PAK kan verklaren. Mogelijk is het ook een combinatie van beide.

De zwaardere PAK zijn te verdelen in twee groepen. De eerste groep die bestaat uit BKF, BAA, BAP, DBA en BPE. Deze zijn voornamelijk gevonden in het traject tot 300 cm diepte. Dit is het veen interval dat reeds enkele duizenden jaren oud kan zijn. De vraag rijst of deze PAK door migratie, dan wel door in situ depositie op dergelijke diepten terechtkomen. De concentraties van makkelijk oplosbare, lichte PAK op grotere diepte zijn alle ver beneden de 1 ppm behalve naftaleen. Maar de aangetroffen concentraties van relatief onoplosbare zware PAK zijn niet erg veel kleiner. Op grond van de oplosbaarheden van zwaardere PAK wordt mobiliteit van deze PAK niet erg waarschijnlijk geacht. Dit betekent dat tenminste een belangrijk deel van deze PAK in situ gevormd is, al lang geleden.

De vraag kan opnieuw gesteld worden waarom deze in situ gevormde PAK dan niet in de dieper gelegen trajecten voorkomen. De verklaring hiervoor is dezelfde als die gebruikt bij het voorkomen van de lichte PAK. Van de veertien boringen zijn er namelijk maar vier dieper dan 4 m-mv. Deze boringen bevatten over het gehele diepte interval vrijwel geen zware PAK. Uit bestudering van de afzonderlijke boringen waarin relatief veel zwaardere PAK zijn aangetroffen blijkt dat er geen trendmatige afname van deze PAK met de diepte is.

De tweede groep zwaardere PAK, die bestaat uit PYR, CHR, FLT en IND wordt vrijwel uitsluitend in de bovenste meter van de boringen aangetroffen. Behalve PYR komen deze PAK in zeer lage concentraties voor. Deze groep PAK kan waarschijnlijk gerekend worden tot antropogene verrijkte PAK, die via het oppervlak wordt aangevoerd.

In het hierboven beschreven model wordt het voorkomen van lichte PAK verklaard door een antropogene bron en/of een natuurlijke bron die gecorreleerd is aan het organisch stofgehalte van de matrix, beide in combinatie met de hogere mobiliteit van de lichte PAK. Een groep zware PAK kan verklaard worden als natuurlijke achtergrond, die ook weer gecorreleerd is aan organisch stof en/of oxidatie van veen en een andere groep zware PAK die waarschijnlijk als antropogeen beschouwd kan worden. Dit model wordt bevestigd door de factoranalyses die op de dataset is uitgevoerd.

Uit de factoranalyse kon geconcludeerd worden dat er drie min of meer gescheiden hoofdprocessen optreden die het voorkomen van PAK verklaren.
De eerste factor verklaart de aanwezigheid van de zwaardere PAK. Deze komen voornamelijk voor in het monstertraject tot 3 m-mv voor. Het is opvallend dat dezelfde verdeling van de zware PAK zoals beschreven bij de correlatie met de diepte in de factorplots weer teruggevonden wordt. De groep met PYR, CHR, FLT en IND, waarvan een antropogene bron werd verondersteld, laadt negatief op de tweede factor. De groep met BKF, BAA, BAP, DBA en BPE waarvan een natuurlijke bron werd verondersteld laadt positief op de tweede factor.

Ondanks de hierboven beschreven theorie is het niet mogelijk gebleken op grond van het hier onderzochte materiaal een absolute scheiding aan te brengen tussen PAK die ontstaan door "natuurlijke" oxidatie van veen en PAK die door andere bronnen zijn aangevoerd. Op zich is dat niet verwonderlijk omdat talrijke verbrandingsprocessen kwalitatief dezelfde producten uitstoten (Hase et al., 1976, Lindsay, 1960). Het feit dat er kwantitatieve verschillen bestaan tussen verbrandingsproducten, bijvoorbeeld als functie van temperatuur of zuurstof toevoer, doet hier niets aan af.
Een gedeelte van de PAK die werden aangetroffen in de diepere Peelmonsters, samen met de aanwezige houtskoolresten kan men beschouwen als voornamelijk of uitsluitend veroorzaakt door branden. Indien men veenbranden rekent tot potentiële natuurlijke processen dan kan als gevolg van zulke processen de achtergrondwaarde van PAK oplopen tot bijna 10 ppm.

De tweede factor beschrijft het gedrag van lichtere PAK. Het mechanisme dat zorgt voor de verbreiding van PAK in de ondergrond is logischerwijs gebonden aan de oplosbaarheid van de PAK. Laflamme en Hites (1978) wezen al op het wijd verbreide voorkomen van PAK en gealkyleerde homologen in de ondergrond in recente sedimenten. De resultaten die hier zijn gevonden bevestigen dit beeld voor wat betreft de lichtere componenten als naftaleen, acenaftyleen en fluoreen, maar roepen toch enige vraagtekens op. Met name in de boring Warder is een consistent patroon aangetroffen van PAK samenstelling die door de hele boring heen rijk aan lichte componenten is. Hier werd uitgesloten dat er een eenvoudige verbinding met het oppervlak kan bestaan in dit gebied, waardoor dispersie van PAK uit de directe omgeving kan optreden. Het is dus aannemelijke dat de PAK van natuurlijke oorsprong is. Hier staat tegenover dat bijvoorbeeld in de boring De Meije, zeer lage concentraties PAK werden aangetroffen. Uit bijlage B.1 blijkt de monsters van boring Warder een veel hoger organisch stofpercentage hebben dan de monsters van boring De Meije. Hierdoor kan het verschil in natuurlijk PAK gehalte verklaard worden.
GC/MS analyse wees uit dat deze lichte PAK veel complexer zijn samengesteld dan oorspronkelijk werd gedacht. Onder andere bleek een spectrum van gealkyleerde monoaromatische ringsystemen, zowel fenolen als benzeenderivaten aanwezig, die op grond van hun gecombineerde molecuulgewicht en aromaticiteit gelijktijdig met ACN elueren en daardoor meegewogen worden als PAK. Dergelijke componenten zijn normale bestanddelen van olie en condensaten. Echter, in de directe omgeving komen geen olievelden in de diepe ondergrond voor waarbij langs seepages lichtere olieproducten naar de oppervlakte kunnen migreren. Een intensieve verspreiding via grondwatercirculatie is dan ook meer voor de hand liggend.

8 Conclusies

Methode PAK analyse

Er bestaan natuurlijke aromatische polycyclische componenten, die geen EPA- of VROM-PAK zijn, maar op grond van hun gecombineerde chemische eigenschappen, met name aromaticiteit en molecuulgewicht, geïnterpreteerd kunnen worden als PAK bij gebruikmaking van HPLC-UV of HPLC-FL technieken die zijn voorgeschreven in de huidige NEN norm. Met name het gedetecteerde BPE is in dit onderzoek een grote foutenbron.

Uit het GC/MS onderzoek bleek dat dit zogenaamde BPE bestaat uit een complex van biomarkers, waaronder monoaromatische benzohopanen. Deze zogenaamde BPE komen zeer vaak voor, soms maken ze meer dan 90% van de som-PAK uit. Het is niet mogelijk in het kader van dit onderzoek een kwantitatieve opsplitsing te geven van deze componenten en BPE.

Uit de vergelijking van UV- en fluorescentie-signalen blijkt dat beneden de 0,5 ppm som-PAK geen conclusies meer verbonden kunnen worden met betrekking tot samenstelling van PAK. In complexe afzettingen moet 0,5 ppm gezien worden als een grenswaarde waar beneden de PAK samenstelling niet meer kwantitatief kan worden bepaald.

PAK voorkomens in veenprofielen

Voor de interpretatie van de meetgegevens naar correlatie met diepte en lithologie is er geen groot verschil tussen de gehele dataset en de dataset waarbij monsters met een monotypische PAK samenstelling zijn geëlimineerd. Hieruit kan geconcludeerd worden dat ondanks de beperkingen van de meetmethoden de resultaten van de PAK analyses bruikbaar zijn voor onderzoek naar de natuurlijke achtergrondgehaltes van PAK in sedimenten.

Er bestaat een relatie tussen het PAK gehalte en de lithologie. Veraard veen heeft met 2,5 ppm de hoogste gemiddelde som EPA-PAK gehaltes. Een logische verklaring hiervoor is dat bij oxidatie van veen PAK vrijkomt. Hierna volgt een groep venen met een gemiddeld organisch stofgehalte van meer dan 75% (mosveen, rietveen en wollegrasveen) en de toplaag. Deze groep heeft een PAK gehalte van ongeveer 1,5 ppm. De gemiddelde som-PAK gehaltes in venen met minder dan 75% organisch stof (bosveen en amorf veen) is kleiner dan 0,5 ppm. Deze zijn niet meer te onderscheiden van de overige lithologieën. Het PAK gehalte heeft dus een positieve correlatie met het organisch stofgehalte. Door oxidatie of verbranding van dit veen neemt het natuurlijke PAK gehalte nog verder toe.

De relatie tussen aard en gehalte aan PAK en diepte is complex. Voor de som-PAK bestaat er een algemene trend van afname van PAK naar de diepte toe van gemiddeld ruim 2 ppm in de bovenste 100 cm tot minder dan 0,3 ppm beneden de 500 cm. Wanneer echter de individuele PAK afzonderlijk worden beschouwd ontstaat een geheel ander beeld. De PAK zijn dan onder te verdelen in drie groepen (zie tabel 8.1).

- Lichte PAK (NAF, ANT, ACN, FLR, FEN, BBF) met een piek onder het oppervlak, die ontstaan zijn door migratie van antropogene PAK vanaf het maaiveld of door aërobe afbraak van in situ gevormde PAK aan het oppervlak. De laatste verklaring lijkt op basis van de resultaten het meest aannemelijk
- Een groep zware PAK (BKF, BAA, BAP, DBA en BPE) die over het gehele diepte-interval van de boringen wordt aangetroffen, zonder trendmatige verandering in de diepte. Deze PAK is waarschijnlijk van natuurlijke oorsprong en te correleren met het organisch stofgehalte van het sediment en/of oxidatie van veen.
- Een groep zware PAK (PYR, CHR, FLT en IND) die voornamelijk in de bovenste meter van het profiel wordt aangetroffen. Waarschijnlijk heeft deze PAK voornamelijk een antropogene oorsprong. De bijdrage van deze componenten aan het som EPA-PAK gehalte is over het algemeen niet hoog.

Tabel 8.1: Bronnen van PAK

PAK	NAF	ACN	FLR	FEN	ANT	FLT	PYR	BAA	CHR	BBF	BKF	BAP	DBA	BPE	INP
natuurlijk								X		x	X	X	X	X	
mogelijk natuurlijk	X	x	x	x	X										
antropogeen						x	x		x						x

De factoranalyse die op de dataset is uitgevoerd bevestigt het hierboven beschreven model waarmee het voorkomen van PAK kan worden verklaard.

DEEL 2: PAK IN WATERBODEMS

9 Vergelijking PAK voorkomens veenprofielen met waterbodems

Een aanleiding van dit project was na te gaan of de onverklaarde, hoge concentraties van PAK in oppervlaktewateren en waterbodems verklaard kunnen worden door levering van natuurlijke PAK vanuit sedimenten. Uit het eerste deel van dit rapport is gebleken dat veenafzettingen natuurlijke gehaltes PAK bevatten. Dit betekent echter niet dat deze PAK meteen een bron is van PAK in waterbodems. Om inzicht te verkrijgen in de levering van PAK uit het sediment aan de waterbodem is daarom een vergelijking gemaakt tussen de gemeten PAK gehaltes in veenprofielen en analyses van PAK in waterbodems. Omdat de PAK gehaltes in de veenprofielen op een zelfde manier zijn gemeten als de waterbodemgegevens van de waterschappen is directe vergelijking van de data mogelijk.

Door het wetterskip Fryslân en het hoogheemraadschap Uitwaterende Sluizen Hollandse Noorderkwartier zijn gegevens geleverd van PAK gehaltes in waterbodems. Uit de databestanden van de waterschappen zijn gebieden geselecteerd in de omgeving van een boringen. Voorwaarde was dat er meerdere waterbodemanalyses beschikbaar zijn. Hierdoor is een directe vergelijking van de PAK-voorkomens in waterbodems en veenprofielen mogelijk. De volgende gebieden zijn geselecteerd:

- Friesland: Rottige Meenthe
- Noord Holland: Knollendam, Uitdam en Warder

De PAK gehaltes van de waterbodem monsters zijn weergegeven in bijlage C.1.

In de volgende drie paragraven zal voor de bovenstaande gebieden de PAK samenstelling van de waterbodem en van de boorprofielen worden vergeleken.

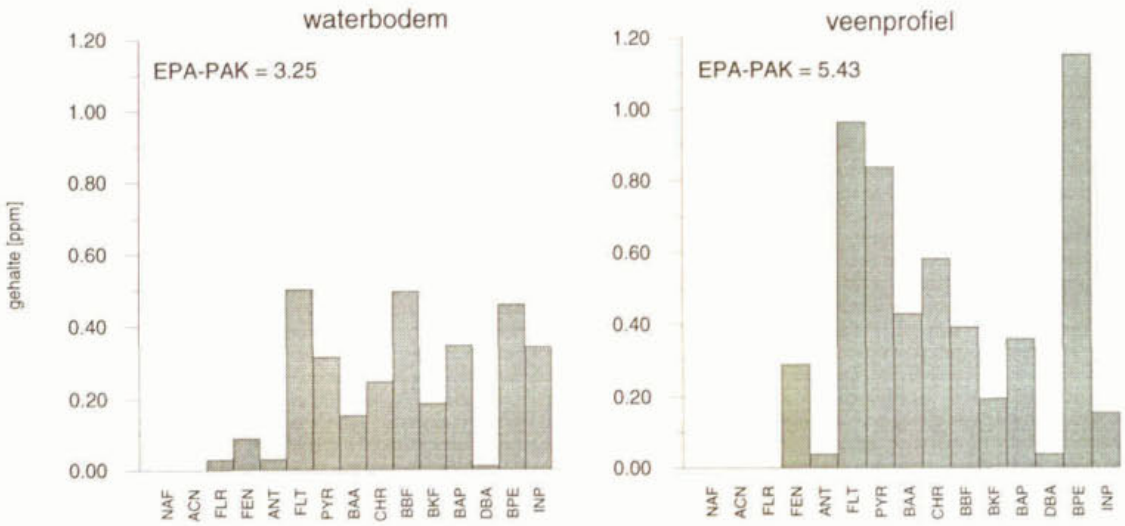
9.1 Friesland

9.1.1 Rottige Meenthe

Er zijn zes waterbodemmonsters uit het natuurreservaat de Rottige Meenthe beschikbaar die op PAK zijn geanalyseerd. Vijf van de zes monsters bevatten meer dan 2 ppm PAK. De relatieve samenstelling van de individuele PAK is vergelijkbaar. Figuur 9.1a geeft de gemiddelde PAK samenstelling van de waterbodemmonsters. De monsters bevatten een breed spectrum aan vooral zwaardere PAK. Opvallend is dat in alle monsters de lichte PAK met twee en drie aromatische ringen (NAF, ACN, FLR en ANT) afwezig zijn of in zeer lage gehaltes voorkomen. Drie monsters bevatten ongeveer 0,2 ppm FEN.

Bij drie van de zeven monsters afkomstig uit de boring Rottige Meenthe I wordt de PAK samenstelling gedomineerd door BPE. Deze monotypische PAK monsters worden in de vergelijking met de waterbodemmonsters buiten beschouwing gelaten. De overige vier monsters zijn onder te verdelen in twee groepen met ieder twee monsters. De eerst twee

zijn afkomstig uit de bovenste meter van het profiel en bevatten meer dan 3 ppm rijk verdeelde PAK (waterbodem klasse 2). De gemiddelde PAK samenstelling van deze monsters is weergegeven in figuur 9.1b. Net zoals de waterbodem bevatten deze monsters, met uitzondering op FEN, geen lichte twee- en drierings PAK. In paragraaf 6.1 is al beschreven dat er een vermoeden bestaat dat het bodemprofiel recent is opgewerkt waardoor het veen is geoxideerd of dat er een antropogene aanrijking van PAK plaats heeft kunnen vinden. De afwezigheid van de lichte PAK kan in dit kader verklaard worden door aërobe afbraak. De twee monsters uit het diepe deel van het profiel bestaan uit klei en gyttja. Deze hebben een zeer laag PAK gehalte (som EPA-PAK is 0,41 en 0,01 ppm). Alleen BFF wordt boven de detectiegrens aangetroffen.



Figuur 9.1$_{a,b}$: Gemiddelde PAK samenstelling van waterbodemmonsters uit de Rottige Meenthe en van twee ondiepe monsters (16-46 cm en 46-68 cm) uit het profiel van boring de Rottige Meenthe-1.

Op basis van de totale PAK gehaltes en het voorkomen van de individuele PAK is er op het oog geen groot onderscheid tussen de twee ondiepe monsters uit het veenprofiel en de waterbodemmonsters. De lichte twee en drierings PAK en DBA ontbreken in beide groepen monsters. Ten opzichte van de waterbodemmonsters is het veenprofiel rijk aan FLT, PYR en BPE. In het eerste deel van dit rapport is beschreven dat er een sterk vermoeden bestaat dat FLT en PYR mogelijk voor een belangrijk deel een antropogene oorsprong heeft. De nauwkeurigheid van de BPE analyse is waarschijnlijk niet erg groot. Uit figuur 9.1 blijkt dus dat er, op basis van het som EPA-PAK gehaltes en voorkomen van de individuele PAK mogelijk een relatie tussen de waterbodem en de bovenste meter van het sediment. Beide bevatten een relatief hoog gehalte aan zwaardere PAK terwijl de twee en drierings PAK vrijwel volledig afwezig zijn. De PAK in deze monsters hebben dus waarschijnlijk dezelfde oorsprong. Het is echter niet mogelijk om aan te geven of deze oorsprong antropogeen is, waardoor de waterbodem en het veenprofiel vervuild zijn, of dat de PAK is ontstaan door oxidatie van veen, dus dat de PAK 'vervuiling' van de waterbodem afkomstig is uit het veen.

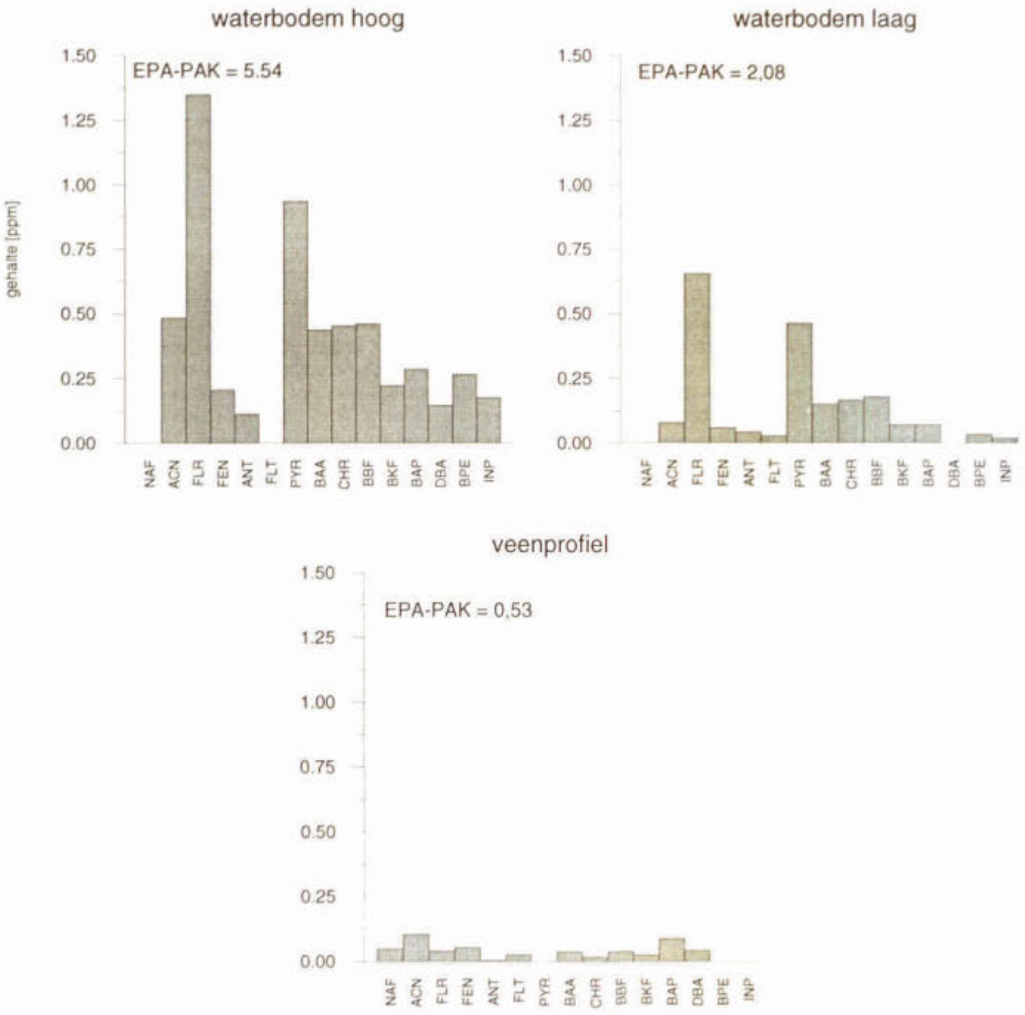
9.2 Noord Holland

9.2.1 Knollendam

Uit de directe omgeving van de boring Knollendam 1, die gelegen is in de polder Wormer, Jisp en Nek, zijn 12 waterbodemmonsters beschikbaar die geanalyseerd zijn op PAK. Alle 12 monsters vallen in waterbodemklasse 2. De monsters zijn onder te verdelen in twee groepen. Drie monsters hebben een som EPA-PAK gehalte van meer dan 5 ppm. Deze zijn dus vrijwel zeker antropogeen verrijkt. 9 monsters hebben een som-PAK gehalte tussen 1,6 en 2,5 ppm. In figuur 9.2a en b is van beide groepen de gemiddelde individuele PAK samenstelling weergegeven. Ondanks het verschil in totaal gehaltes is de samenstelling van de individuele PAK in beide groepen goed vergelijkbaar. FLR en PYR zijn de componenten die het de meest voorkomen. NAF, FEN, ANT, FLT en DBA zijn in beide groepen monsters het minst gemeten.

Uit boring Knollendam 1 zijn acht monsters geanalyseerd. Vijf van de acht monsters hebben een zogenaamde monotypische PAK samenstelling (één component bepaalt meer dan 50% van de som-PAK waarde). Opvallend is dat bij elk monster een andere PAK het monotypische patroon veroorzaakt. Figuur 9.2c geeft de gemiddelde PAK samenstelling van de veenmonsters uit de boring.
In paragraaf 6.1 is al beschreven dat het veenpakket tussen 70 en 200 cm een aanrijking vertoont van PAK. De gehaltes van de individuele PAK in boring Knollendam zijn echter erg gevarieerd.

Uit figuur 9.2 blijkt dat er voor zowel de totale PAK gehaltes als de samenstelling van de individuele PAK geen overeenkomst is tussen de waterbodemmonsters en het boorprofiel. De som EPA-PAK gehaltes van de waterbodem is 3 tot 12 keer zo hoog als van het boorprofiel. PYR is alleen in het topmonster van de boring aangetroffen terwijl het in hoge gehaltes in de waterbodem voorkomt. Hieruit kan geconcludeerd worden dat de PAK in de waterbodems in de omgeving van boring Knollendam-1 niet vanuit het veenprofiel geleverd is.

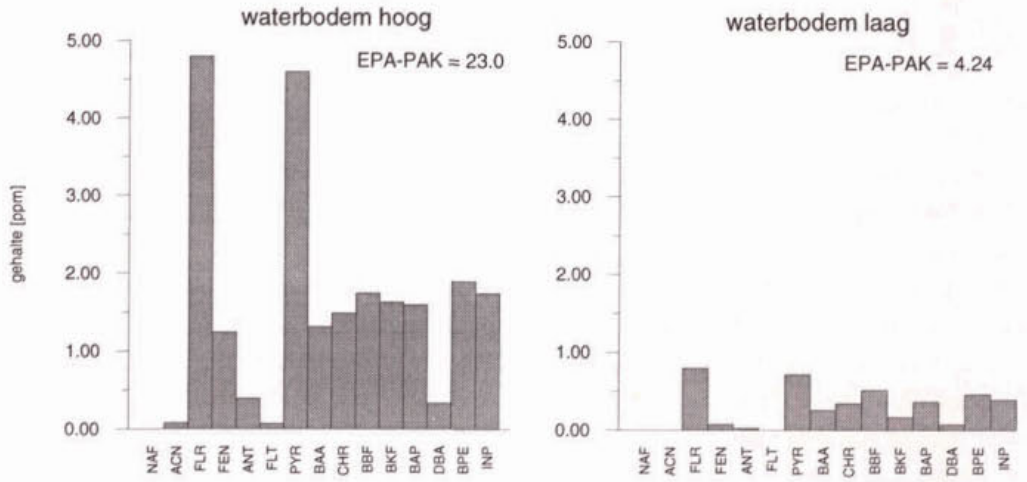


Figuur 9.2$_{a,b}$: Gemiddelde PAK samenstelling van boring Knollendam 1 en van waterbodems in de directe omgeving van de boring.

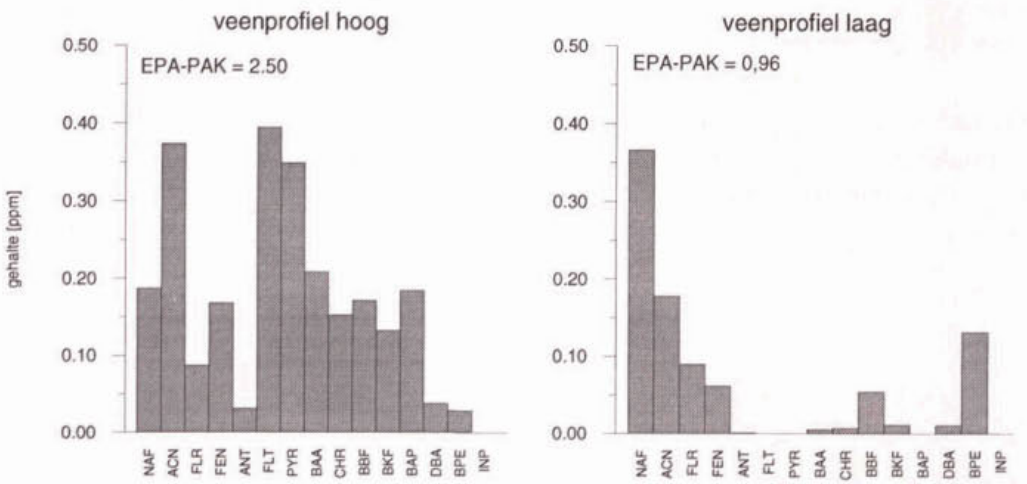
9.2.2 Uitdam

Uit de directe omgeving van de boring Uitdam 1, die gezet is op ongeveer 1 km ten noordwesten van Uitdam zijn 4 waterbodem analyses beschikbaar. Op basis van de PAK samenstelling zijn de waterbodemmonsters onder te verdelen in twee groepen van twee monsters. De eerste twee zijn afkomstig uit de Zuiderwoude Zwet en bevatten 32 en 14 ppm EPA-PAK (waterbodemklasse 3). De waterbodem van deze sloot, die langs een weg met bebouwing ligt, is duidelijk antropogeen met PAK verrijkt. De gemiddelde PAK samenstelling van deze monsters is weergegeven in figuur 9.3a. FLR en PYR komen in hoogste gehaltes voor. De overige lichte twee en drierings PAK zijn afwezig of komen in relatief lage gehaltes voor. De gehaltes van de zware PAK zijn met uitzondering op DBA onderling vergelijkbaar.
De andere twee waterbodemmonsters bevatten 5,69 en 2,79 ppm PAK. Deze monsters zijn niet afkomstig uit de directe nabijheid van een weg of bebouwing. De gemiddelde

PAK samenstelling van deze monsters is weergegeven in figuur 9.3b. De monsters zijn relatief rijk aan FLR en PYR, gevolgd door de zwaardere PAK: BAA, CHR, BAP, BPE en INP. Met uitzondering op FLR zijn de lichte twee en drierings-PAK vrijwel volledig afwezig. De samenstelling van de individuele PAK van de vier monsters is ondanks het verschil in som-PAK gehalte niet echt verschillend. Deze PAK 'fingerprint' is ook weer ongeveer hetzelfde als de waterbodems in de omgeving van boring Knollendam 1.



Figuur 9.3$_{a,b}$: Gemiddelde PAK samenstelling van twee groepen waterbodemmonsters in de omgeving van boring Uitdam 1.



Figuur 9.4$_{a,b}$: Gemiddelde PAK samenstelling van de bovenste 30 cm van boring Uitdam-1 (a) en het interval tussen 166 en 600 cm uit boring Uitdam 1(b).

De top van boring Uitdam bestaat uit opgebrachte grond die relatief zwaar vervuild is met divers verdeelde PAK. De gemiddelde samenstelling van de toplaag is weergegeven in figuur 9.4a. Daaronder zijn er twee veenmonsters waarin vrijwel uitsluitend BPE gemeten is en in de vergelijking met de waterbodems buiten beschouwing worden gelaten. Naar grotere diepte, tussen 166 en 600 cm, nemen de hoeveelheden van met name de lichte PAK significant toe. De gemiddelde PAK samenstelling van dit diepte interval is weegegeven in figuur 9.4b.

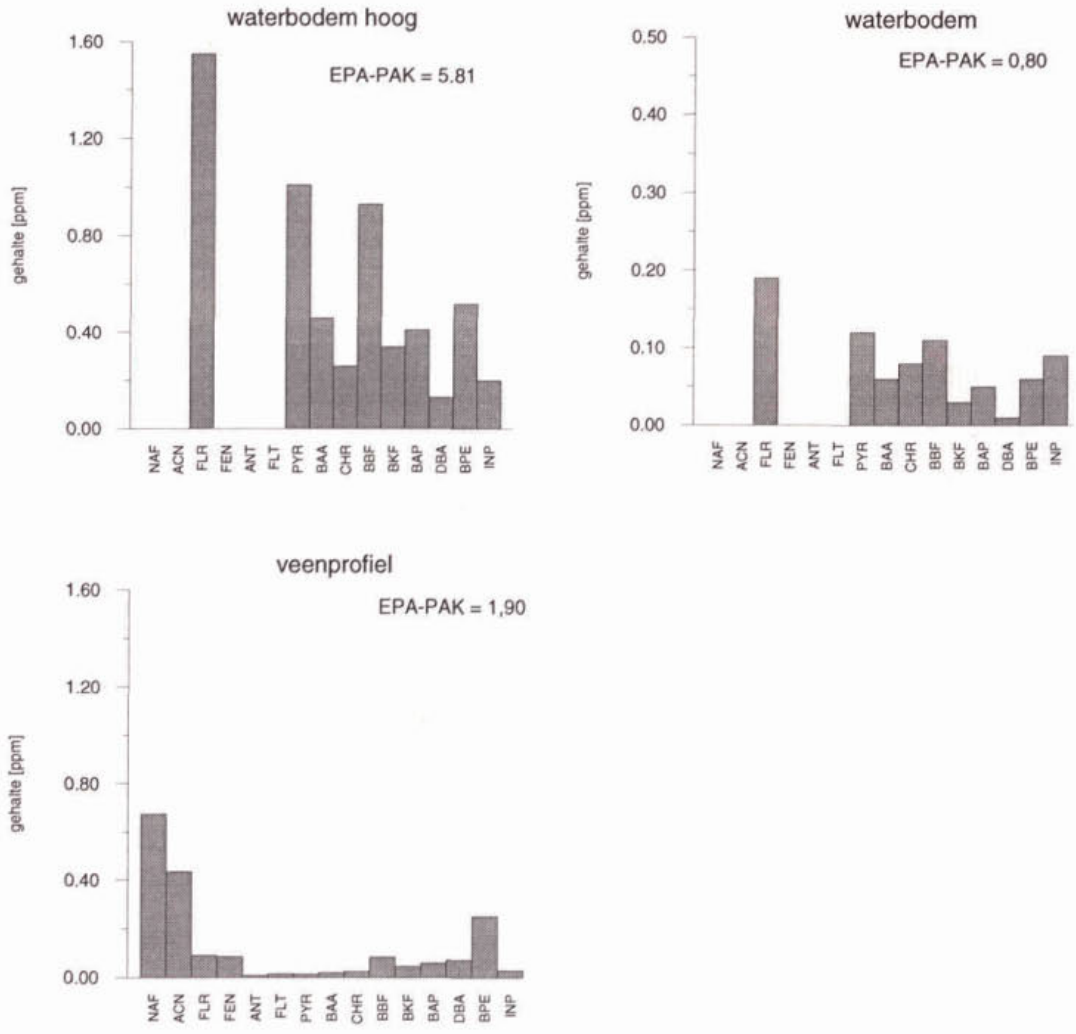
Uit de figuren 9.3 en 9.4 blijkt dat er geen overeenkomst is in de som-PAK gehaltes en de samenstelling van de individuele PAK van de waterbodems en de toplaag van boring Uitdam 1. Ditzelfde geldt voor het diepte interval van de boring. In de waterbodem zijn FLR en PYR dominant en komen de zwaardere vier en vijfrings PAK ook veelvuldig voor. In het veenprofiel zijn de lichtere tweerings PAK het meest gemeten. Hieruit kan worden geconcludeerd dat de PAK in de waterbodems in de omgeving van boring Uitdam-1 niet vanuit het veenprofiel geleverd is.

9.2.3 Warder

In de omgeving van boring Warder-1 zijn slechts twee waterbodemmonsters geanalyseerd op PAK. De som EPA-PAK gehaltes van deze monsters zijn met 5,81 en 0,90 ppm niet verglijkbaar. De samenstelling van de individuele PAK is ook bij deze twee waterbodems overeenkomstig. Figuur 9.5a geeft de samenstelling van het monster met het hoge PAK gehalte. Figuur 9.5b geeft de samenstelling van het monster met het lage PAK gehalte. Net zoals bij de overige waterbodems in Noord-Holland wordt het PAK patroon overheerst door FLR en PYR en komen daarnaast BAA, BBF, BKF, BAP, BPE en INP in relatief hogere gehaltes voor.

De monsters uit boring Warder 1 bevatten een relatief hoog gehalte som-PAK met een grote diversiteit. Figuur 9.5c geeft de gemiddelde PAK samenstelling van de monsters uit boring Warder 1. NAF en ACN zijn dominant. Daarnaast wordt ook BPE aangetroffen. De som-PAK waarde in boring Warder 1 is met gemiddeld 1,9 ppm relatief hoog.

Uit figuur 9.5a,b,c blijkt dat er geen overeenkomst is tussen de som-PAK gehaltes en de samenstelling van de individuele PAK tussen de waterbodems en de boring dus de PAK in de waterbodem in de omgeving van boring Warder-1 kan niet vanuit het veen zijn geleverd.



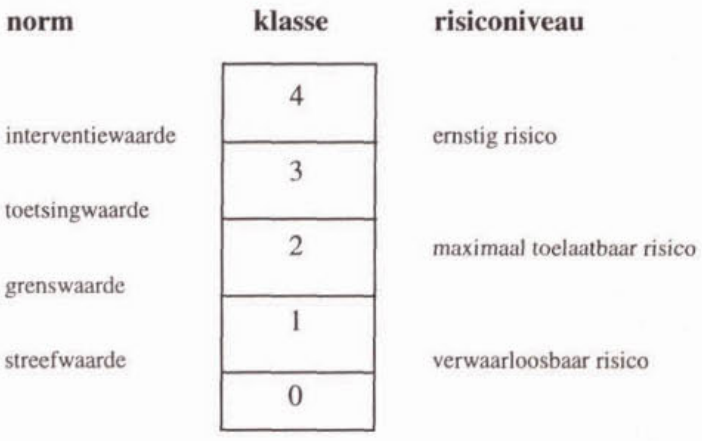
Figuur 9.5$_{a,b,c}$: PAK samenstelling van twee waterbodems in omgeving van boring Warder 1 en de gemiddelde PAK samenstelling van boring Warder 1.

10 Normstelling PAK

De derde doelstelling van het project was een evaluatie van de vigerende normstelling van PAK op basis van de nieuwe meetgegevens. In de regelgeving voor PAK is een onderscheid gemaakt tussen wettelijke normen voor omgaan met 'verontreinigd' baggerspecie en algeneme normen voor de gewenste kwaliteit van het milieu. Dit hoofdstuk is een evaluatie van de huidige normstelling voor PAK op basis van de nieuwe meetgegevens. Allereerst wordt ingegaan op de regelgeving voor waterbodemsanering en daarna volgt een beschouwing van de milieukwaliteitsnormen voor PAK.

10.1 Regelgeving voor waterbodemsanering

In de Evaluatie Nota Water (1994) zijn getalswaarden water(bodem)kwalteit geformuleerd. Voor waterbodems zijn er op basis van streef-, grens-, toetsings-, en interventiewaardes voor de som VROM-PAK vijf kwaliteitsklassen afgeleid. geformuleerd (zie figuur 10.1).



Figuur 10.1: Relatie tussen normen, klasse indeling en risiconiveau van waterbodems.

Tabel 10.1: Klasse indeling van de geanalyseerde monsters.

	som VROM-PAK (mg/kg)	aantal monsters
klasse 0	<1	95
klasse 2	1-10	42
klasse 3	10-40	1
klasse 4	>40	0

In de vierde nota waterhuishouding (1998) zijn de normen voor het omgaan met verontreinigde baggerspecie overgenomen uit hierboven beschreven klasse indeling. De streefwaarde is voor de som VROM-PAK gelijk aan de grenswaarde, beide 1 mg/kg. Hierdoor is er geen onderscheid tussen klasse 0 en 1 (zie tabel 10.1). In de praktijk komt dit erop neer dat klasse 1 niet bestaat. Het beleid voor matig verontreingd baggerspecie (klasse 2) is voorlopig doorgaan met verspreiden c.q. op de kant zetten. De streefwaarde

voor de som VROM-PAK wordt gehandhaafd op 1 mg/kg. Wanneer de meetgegevens van dit onderzoek vergeleken worden met de klasse indeling die gehanteerd wordt voor waterbodemsanering blijkt dat van de in totaal 138 monsters 95 monsters in klasse 0 vallen dus het som VROM-PAK beneden de streefwaade ligt (zie tabel 10.2). 42 monsters vallen in klasse 2 en hoeven dus ook niet gesaneerd te worden. Slechts één monster valt in klasse 3. De PAK samenstelling van dit monster wordt volledig door BPE gedomineerd dus is de analyse niet echt betrouwbaar. Hieruit kan geconcludeerd worden dat de nieuwe meetgegevens vooralsnog geen aanleiding zijn om de geldende normen voor waterbodemsaniering aan te scherpen.

10.2 Huidige milieukwaliteitsnormen voor PAK

Naast de normen voor waterbodemsanering zijn er ook normen vastgesteld die als kapstof dienen voor ontwikkeling van nieuw milieubeleid ten aanzien van gevaarlijke stoffen. Het milieubeleid in Nederland ten aanzien van PAK is, sinds begin 1998, gebaseerd op de normstelling zoals beschreven in de beleidsnotitie 'Integrale Normstelling Stoffen' (INS) (1998). Deze notitie is het vervolg op de notitie MILBOWA (milieukwaliteitsdoelstellingen Bodem en Water) (Tweede kamer, 1991-1992), waarin voor een 100 tal stoffen grens- en streefwaardes zijn gepresenteerd. In de notitie 'Integrale Normstelling Stoffen' worden algemene niet-wettelijke milieukwaliteitsnormen gepresenteerd voor de compartimenten bodem, water en lucht. Het betreft maximaal toelaatbare risiconiveaus (MTR's) en streefwaarde voor 150 stoffen, waaronder PAK, welke gebaseerd zijn op ecotoxicologisch onderzoek. De milieukwaliteitsnormen worden gebruikt als meetlat voor formulering en evaluatie van nieuw milieubeleid en als prioriteringsinstrument bij het emissiebeleid. Zoals hierboven is beschreven gelden de milieukwaliteitsnormen niet voor (water)bodemsanering. Daarvoor zijn in andere kaders aparte normen, de interventiewaarden bodemsanering geformuleerd. Ook voor specifieke doelen en functies, zoals het verwijderen van baggerspecie, productie van drinkwater en zwemwater gelden andere –wettelijk vast gestelde- normen.

Het maximaal toelaatbaar risiconiveau is de wetenschappelijke afgeleide waarde voor een stof, die aangeeft bij welke concentraties geen nadelig te waarderen effect te verwachten is of –in geval van carcinogene stoffen- waar met een kans van 10^{-6} sterfte voorspeld kan worden. Het verwaarloosbaar risiconiveau (VR) is een waarde die aangeeft bij welke concentratie er sprake is van verwaarloosbare effecten op het milieu, deze wordt in principe gesteld op 1/100 van het MTR. In de Integrale Normstelling Stoffen wordt het VR uitgedrukt in streefwaarde. Voor het MTR en streefwaarde geldt een inspanningsverplichting. In het NMP3 is als beleidsdoel geformuleerd dat voor alle stoffen op zeer korte termijn, zo mogelijk voor 2000, het MTR niet meer overschreden mag worden als gevolg van emissies, en dat op langere termijn, zo mogelijk voor 2010, de streefwaarde niet meer mag worden overschreden als gevolg van emissies.

Ten opzichte van MILBOWA zijn er een aantal veranderingen doorgevoerd in het INS-normstellingssysteem. In MILBOWA zijn voor 100 stoffen normen gepresenteerd. Voor

zware metalen, PAK, chloorfenolen en bestrijdingsmiddelen waren deze normen voor het eerst geformuleerd op basis van een risico evaluatie. Deze risico-evaluatie voor deze stoffen, en daarmee de normen, zijn in de INS herzien. Daarnaast is voor circa 120 stoffen voor het eerst een risico-evaluatie uitgevoerd. Een andere belangrijke verandering is dat de termen grens- en richtwaarde, die werden gebruikt in de MILBOWA normstelling, nu worden gereserveerd voor wettelijk vast te stellen normen. In plaats van grens- en richtwaarde spreekt men nu over maximaal toelaatbaar risiconiveau en verwaarloosbaar risiconiveau.

10.2.1 Afleiding maximaal toelaatbaar risiconiveau en streefwaardes voor PAK

De milieukwaliteitsdoelstelling voor PAK zijn gebaseerd op 10 individuele PAK, de zogenaamde VROM-10 PAK. Zoals hierboven al is beschreven zijn de MRT's afgeleid uit ecotoxicologisch (literatuur)onderzoek, dat uitgevoerd is door het RIVM. De maximaal toelaatbare risiconiveaus worden afgeleid per compartiment. Omdat er van nature uitwisseling is van stoffen tussen de verschillende compartimenten, zijn de MRT's vervolgens intercompartimentaal afgestemd. Leidraad daarbij was dat de risicogrens in het ene compartiment geen overschrijding van de risicogrens in een ander compartiment kan opleveren. Dit betekent dat het MRT voor een bepaald compartiment ook bescherming biedt aan organismen in de overige compartimenten.

Voor sediment en grond zijn in veel gevallen geen toxiciteitsgegevens beschikbaar. Daarom wordt het MRT voor sediment berekend vanuit het MRT voor oppervlaktewater door deze te vermenigvuldigen met de met de partitiecoëfficient water/vaste stof:

$$MTR_{sediment} = MTR_{water\text{-}opgelost} * K_p$$

Voor grond zijn geen MTR's vastgesteld. In het bodembeleid worden streef- en interventiewaarden gehanteerd. Vanwege de traagheid van een verandering in de kwaliteit van de bodem wordt het niet zinvol gevonden naast de streef- en interventiewaarden normen voor de korte termijn in de vorm van MTR's vast te stellen. De streefwaarden voor grond en sediment zijn gebaseerd op het meest kritische VR (grond of sediment). Dit betekent dat er geen risico's optreden bij verandering van omstandigheden (zoals opbaggeren, inpolderen of onder water zetten) en de bodem dus als niet verontreinigd wordt beschouwd. Met uitzondering van benzo[a]pyreen is de streefwaarde voor grond en sediment gesteld op 1/100 van het MTR voor sediment. Voor benzo[a]pyreen is de streefwaarde 1/1000 van de MTR waarde. Het is namelijk bekend dat benzo[a]pyreen een carcinogenen werking heeft (Van Leeuwen en Hermens, 1995). Tabel 10.1 geeft een overzicht van de streefwaarde en de MTR van de verschillende VROM-PAK in oppervlaktewater, grond/sediment en grondwater.

De Nederlandse milieukwaliteitsnormen voor PAK zijn gebaseerd op 10 individuele PAK (de zogenaamde VROM-PAK). De interventiewaarden (water)bodemsanering zijn echter gebaseerd op de som VROM-PAK. Om een goede afstemming tussen interventiewaarden en streefwaarden te bereiken zullen in het bodembeleid voor PAK niet de individuele

streefwaarden opgenomen maar is er een streefwaarde voor de som VROM-PAK opgesteld. Uit tabel 10.2 blijkt dat de vastgestelde streefwaarde voor de som VROM-PAK hoger is dan het totaal van de streefwaardes van de individuele PAK. Optellen van de streefwaardes van de individuele PAK levert een som VROM-PAK waarde van 0,303 ppm. Voor de streefwaarde van de som VROM-PAK zoals weergegeven in tabel is 1 ppm.

Tabel 10.2: Milieukwaliteitsnormen voor PAK in water, bodem en lucht zoals vastgesteld in de Integrale Normstelling Stoffen.

	oppervlaktewater			**sediment & grond**	**sediment**	**grondwater**
	MTR	streef-waarde	MTR	streef-waarde	MTR	streef-waarde
	opgelost	*totaal*	*totaal*	*droge stof*	*droge stof*	*opgelost*
PAK	µg/l	µg/l	µg/l	mg/kg s.b.	mg/kg s.b.	µg/l
NAF	1,2	0,01	1,2	0,001*	0,1	0,01
ANT	0,07	0,0008*	0,08	0,001*	0,1	0,0007*
FEN	0,3	0,003*	0,3	0,005*	0,5	0,003*
FLT	0,3	0,005	0,5	0,03	3	0,003
BAA	0,01*	0,0003*	0,03*	0,003*	0,4	0,0001*
CHR	0,3	0,009*	0,9	0,1	11	0,003*
BKF	0,04	0,002*	0,2	0,02	2	0,0004*
BAP	0,05	0,002*	0,2	0,003*	3	0,0005*
BPE	0,03	0,005	0,5	0,08	8	0,0003
INP	0,04	0,004*	0,4	0,06	6	0,0004*
VROM-PAK				1		

*: getalswaarde beneden detectielimiet / bepalingsondergrens

Uit tabel 10.2 blijkt dat voor de helft van alle VROM-PAK de streefwaarde beneden de detectielimiet/bepalingsondergrens is vastgesteld. Deze zijn gebaseerd op de detectielimieten uit het CIW/CUWVO kader en de bepalingsondergrenzen van het Nederlands Normalisatie Instituut (NNI).
In de INS is er voor gekozen om de normen die onder de detectielimiet/ bepalingsondergrens liggen, toch vast te stellen. Het argument hiervoor is dat door ontwikkeling van meetmethoden de stof binnen een paar jaar toch meetbaar kan worden op het niveau van de norm. Als analyse van een stof geen resultaat oplevert, is het onzeker of de norm al dan niet wordt overschreden. Wanneer de meting wel een kwantitatief resultaat oplevert, is er sprake van norm overschrijding.

bodemtypecorrectie
De milieukwaliteitsnormen voor organische verbindingen zijn gerelateerd aan het organisch stofgehalte van de bodem. Bij de beoordeling van de kwaliteit van een bodem worden de waarden voor een standaardbodem gedeeld door 10 en vermenigvuldigd met het gemeten organische stofgehalte. De op deze wijze omgerekende waarden kunnen vergeleken worden met de gemeten gehalten aan organische verbindingen. Het is ook mogelijk de omrekening om te draaien en het gemeten gehalte in grond/sediment om te

rekenen naar gehalten voor een standaardbodem en vervolgens te vergelijken met de norm voor een standaardbodem.

De omrekening in formule:

$$N_b = N_{st} \times \frac{\%org.stof}{10}$$

Waarin:

N_b = norm (MTR of streefwaarde) geldend voor de te beoordelen bodem (mg/kg)

N_{st} = norm (MTR of streefwaarde) standaardbodem (mg/kg)

% org.stof = gemeten percentage organisch stof in de bodem

Voor de normen voor PAK geldt dat voor bodems met een organisch stofgehalte van meer dan 30%, respectievelijk minder dan 10%, gehalten van respectievelijk 30% en 10% worden aangehouden.

10.2.2 Vergelijking huidige milieukwaliteitsnormen met meetgegevens

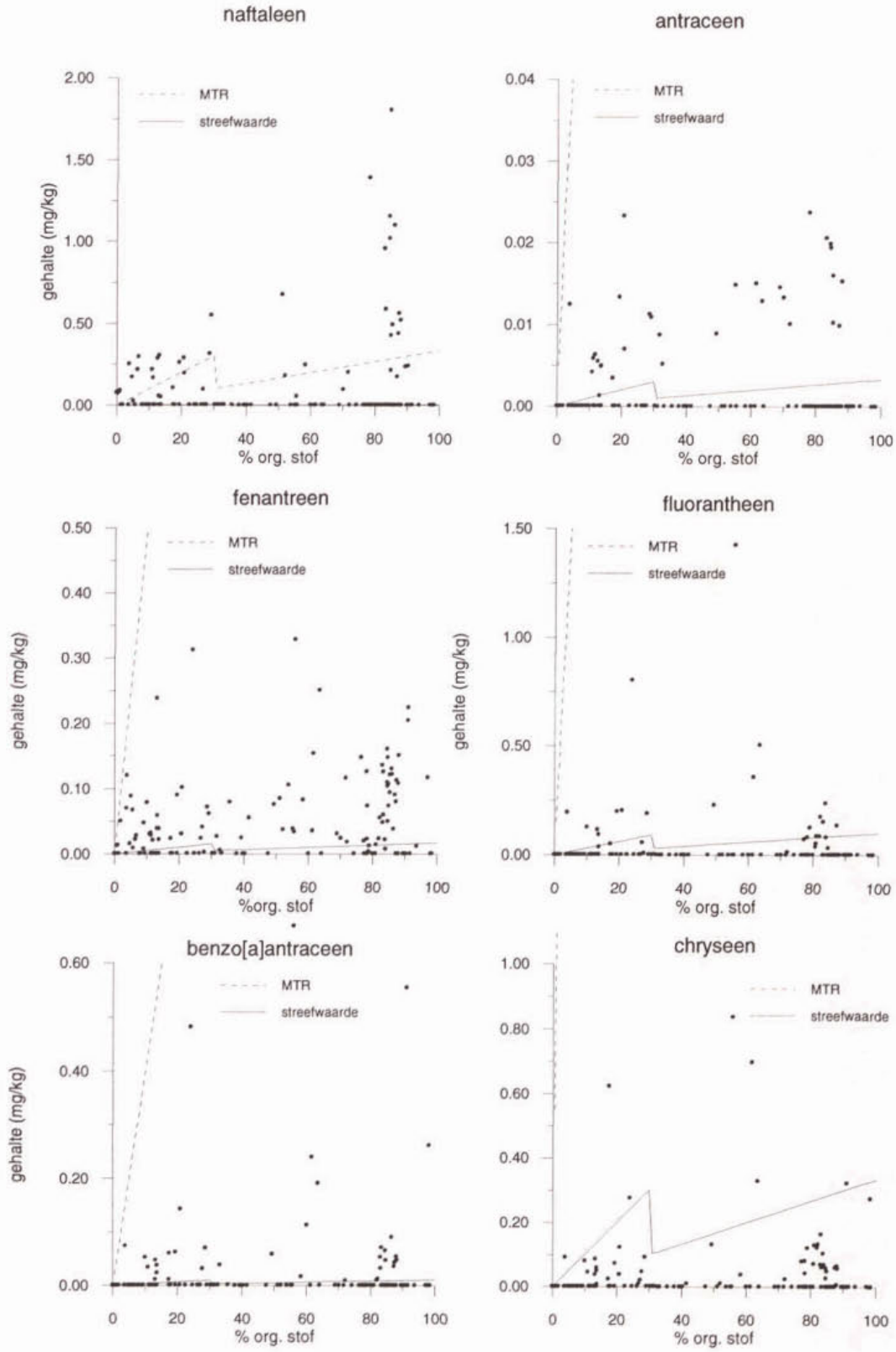
Dit project is een onderzoek naar natuurlijke voorkomens van PAK in veenprofielen. De gemeten PAK gehaltes zijn dan ook relatief laag. Daarom worden de meetgegeven alleen vergeleken met de streefwaardes en MTR's voor sediment en niet met de interventiewaardes voor bodemsanering, die veel hoger liggen.

Hierboven is al beschreven dat, bij het beoordelen van de kwaliteit van een bodem, het zowel mogelijk is om de gemeten PAK gehaltes in een monster om te rekenen naar een standaard bodem met 10% organisch stof en om de milieukwaliteitsnormen om te rekenen naar het organisch stofpercentage van de bodem. Bijlage C.2 geeft een overzicht van de PAK analyses van de individuele monsters omgerekend naar een standaard bodem met 10 of 30% organisch stof. In figuur 10.1a t/m k zijn voor de 10 individuele VROM-PAK en de som VROM-PAK de gemeten gehaltes uitgezet tegen het organisch stofgehalte van de monsters. Tevens is de streefwaarde en het MTR voor de betreffende PAK in het figuur weergegeven.
Uit figuur 10.1a t/m k blijkt hoe de bodemtypecorrectie de vastgestelde streefwaardes en MTR's bepaalt. Ook blijkt dat voor een meerderheid van de individuele PAK geldt dat het gemeten gehalte gemiddeld toeneemt met het organisch stofgehalte van het monster. Hieruit blijkt dat het inderdaad zinvol is om streefwaardes en MTR's voor PAK afhankelijk te maken van het organisch stofpercentage van het sediment.

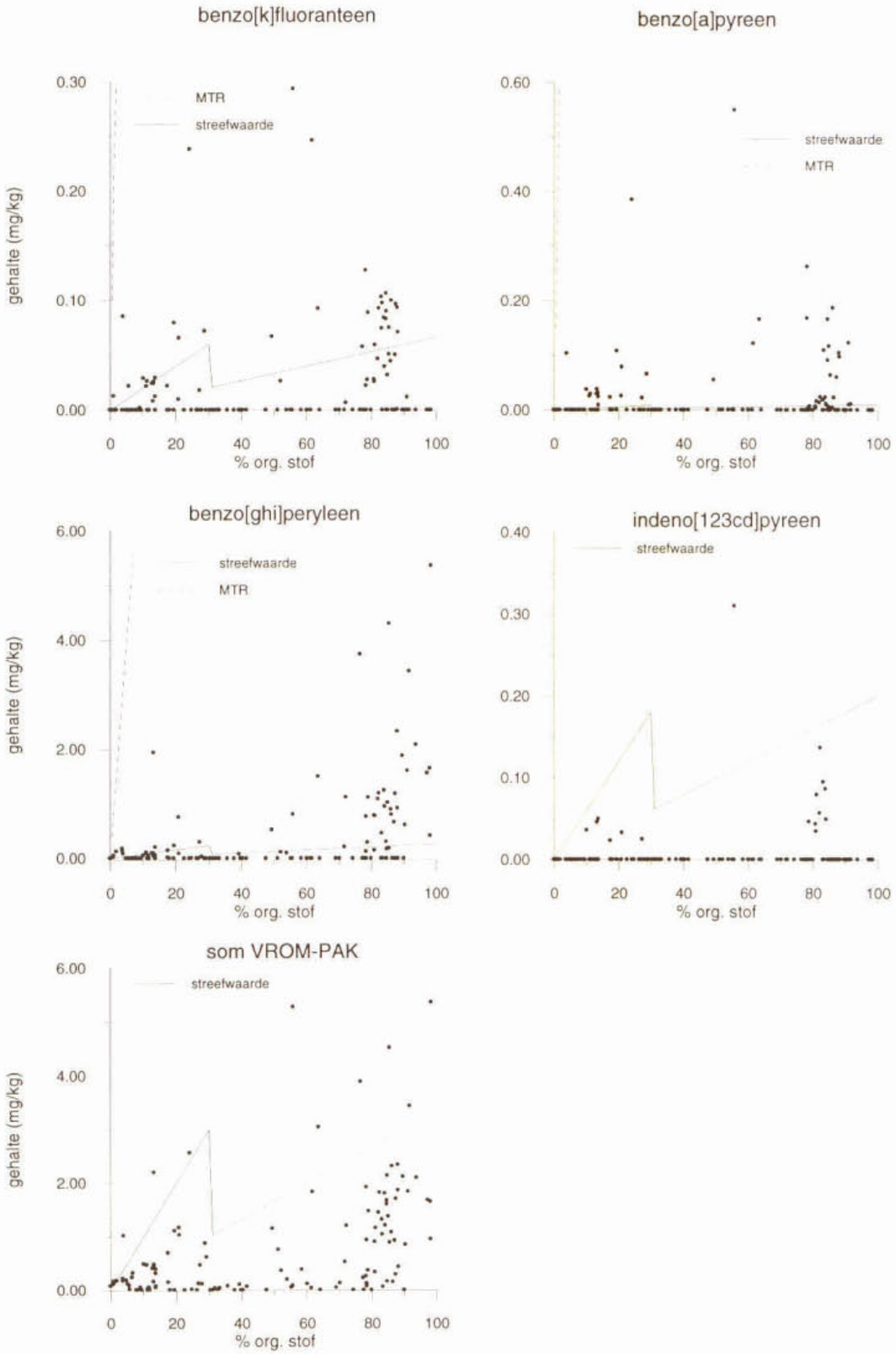
In figuur 10.1a t/m k is waarneembaar dat, met uitzondering van naftaleen, door vrijwel geen enkel monster het MTR voor PAK in sediment wordt overschreden. Eveneens wordt uit tabel 10.1 duidelijk dat het MTR van NAF in oppervlaktewater is hoger dan van de overige VROM-PAK, met andere woorden: minder toxisch is. In sediment is deze MTR samen met ANT het echter het laagst. Het $MTR_{sediment}$ is berekend uit het MTR_{water}.door

deze te vermenigvuldigen met het oplosbaarheidsproduct. Doordat de oplosbaarheid van de lichte PAK relatief groot is, wordt er een lage de $MTR_{sediment}$ berekend.

De streefwaardes van NAF, ANT, FEN, BAA, BAP liggen beneden de detectielimiet die is vastgesteld door het Nederlands Normalisatie Instituut. Uit figuur 10.1 blijkt dat de streefwaardes van deze PAK door een groot deel van de monsters wordt overschreden. De gemeten CHR, BKF en INP gehaltes liggen bij de meeste monsters onder de streefwaardes. Voor FLR en BPE is het gemiddelde gemeten gehalte min of meer gelijk aan de streefwaardes. Voor CHR, INP, FLR is in deel 1 van dit rapport beschreven dat deze waarschijnlijk voor een belangrijk deel van antropogene oorsprong zijn. Uit figuur 10.1 blijkt echter dat de streefwaardes voor deze stoffen in geringe mate worden overschreden.
De streefwaarde voor de som VROM-PAK wordt vrijwel niet overschreden. Wanneer de streefwaarde voor de som VROM-PAK wordt vastgesteld op de sommatie van de streefwaardes van de afzonderlijke PAK zou deze wel door een groot deel van de monsters worden overscheden.



Figuur 10.2$_{a\ t/m\ f}$: Gemeten gehaltes VROM-PAK geplot tegen het organisch stofgehalte van het monster en het Maximaal Toelaatbaar Risiconiveau en de Streefwaarde.



Figuur 10.2$_{g\ t/mk}$: Gemeten gehaltes VROM-PAK geplot tegen het organisch stofgehalte van het monster, het Maximaal Toelaatbaar Risiconiveau en de Streefwaarde.

11 Discussie

11.1 Vergelijking veenprofielen met waterbodems

In het natuurgebied de Rottige Meenthe lijkt het er sterk op dat er een relatie is tussen de PAK in de waterbodem en de PAK in de bovenste meter van het veenprofiel. Het is echter niet mogelijk om aan te geven of de PAK in de waterbodem geleverd wordt van uit het veen (door oxidatie van het veen) of dat er een (antropogene) bron (is geweest) die de relatief hoge PAK gehaltes in zowel de waterbodem als in het veen heeft veroorzaakt.

Voor de drie gebieden in Noord Holland is er geen relatie tussen de PAK in de waterbodem en de PAK in het veenprofiel. Er kan met grote zekerheid worden geconcludeerd dat de PAK in de waterbodem hier niet vanuit het veen is geleverd. De hoge mate van overeenkomst in de samenstelling van de individuele PAK in de Noord Hollandse waterbodems is zeer opvallend, vooral omdat de som-PAK waardes wel grote verschillen laten zien. Alle monsters hebben het volgende patroon:

- FLR en PYR zijn dominant
- NAF, ACN, FEN, ANT, FLT en DBA zijn afwezig of komen in lage gehaltes voor
- de overige zware PAK komen in vergelijkbare gehaltes voor

Dit zou een aanwijzing kunnen zijn dat de PAK in deze waterbodems dezelfde (antropogene) bron hebben. Het is echter niet bekend en ook niet waarschijnlijk dat er een antropogeen proces bestaat dat voornamelijk emissie van FLR en PYR veroorzaakt en daarnaast in mindere mate emissie van BAA, CHR, BKF, BAP, BPE en INP. Dit PAK patroon wordt niet in de waterbodemmonsters uit de Rottige Meenthe aangetroffen. Als er dus een antropogeen proces is dat de waterbodem samenstelling in Noord-Holland bepaalt, is dit specifiek aan deze regio gebonden. Dit lijkt echter niet waarschijnlijk en is een reden om de PAK analyses in Noord-Holland nog eens nader te beschouwen.

Men kan zich afvragen hoe zinvol het is om een PAK 'fingerprint' of het totale PAK gehalte van een veenmonster te vergelijken met die van een waterbodemmonsters. Er zijn namelijk enorme verschillen in de mobiliteit van de verschillende PAK componenten. De lichte twee- en drierings PAK zijn relatief goed oplosbaar in water ten opzichte van de zwaardere PAK en zullen hierdoor veel sneller getransporteerd worden. Hierdoor is het hoogst onwaarschijnlijk dat wanneer er levering plaastvind van PAK vanuit de veenafzetting naar de waterbodem de afzonderlijke componenten in gelijke hoeveelheden getransporteerd worden.
Er bestaat momenteel internationaal een grote kennisbehoefte over transportprocessen van PAK in organisch materiaal rijke afzettingen. Het is tot nog toe onbekend of PAK in veen onder bepaalde, tot nu toe onbekende omstandigheden mobiel kan worden. Wanneer hierover meer duidelijkheid is kan op een veel betere manier bepaald worden of de PAK in een waterbodem vanuit het sediment geleverd is. Wellicht kan dan ook verklaart worden worden waarom de veenmonsters in Zuid-Holland vrijwel geen PAK bevatten en in de overige provincies wel. Komt dit doordat er geen PAK is gevormd of er in het

verleden in de veenafzettingen in Zuid-Holland bepaalde omstandigheden heersten waardoor de PAK mobiel is geworden en zodoende uit het profiel verwijderd is.

11.2 Normstelling PAK

In de regelgeving voor PAK is een onderscheid gemaakt tussen wettelijke normen voor omgaan met 'verontreinigd' baggerspecie en algemene normen voor de gewenste kwaliteit van de waterbodem. Een afstemming tussen beide normstellingssytemen ontbreekt momenteel.

In de klasse indeling waterbodemsanering zijn streef-, toetsings- en interventiewaardes voor de som VROM-PAK vastgesteld. Beneden de toetsingswaarde van 10 mg/l mag de baggerspecie voorlopig nog op de kant worden gezet. Van de 138 geanalyseerde monsters heeft slechts één monster een som VROM-PAK gehalte boven de toetsingswaarde. De nieuwe meetgegevens lijken dus geen aanleiding om dit beleid te aan te scherpen.
In de voorgaande paragraaf is beschreven dat er nog geen duidelijkheid is over het transport van PAK vanuit veenafzettingen naar waterbodems. Misschien vind er ophoping plaats van natuurlijke PAK in de waterbodem. Het is daarom niet zinvol om de normen voor waterbodems te baseren op gemeten PAK gehaltes in sedimentmonsters. Ook hiervoor is dus meer inzicht nodig in het transport van PAK in de ondergrond.

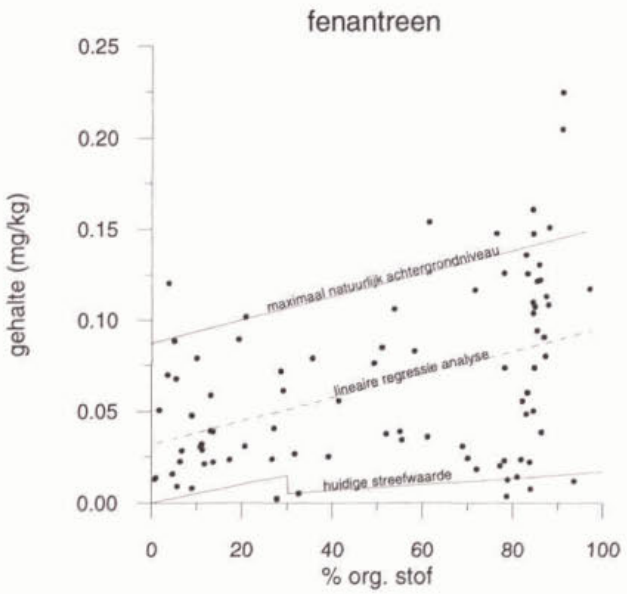
In 1998 zijn er nieuwe milieukwaliteitsnormen voor bodem, lucht en water geformuleerd. Deze milieukwalteitsnormen hebben binnen het milieubeleid als belangrijke toepassingsgebied het beoordelen van de milieukwaliteit en het toetsen van de effectiviteit van het brongerichte beleid. Voor de kwaliteitsbeoordeling van bodems en sediment zijn er maximaal toelaatbare risiconiveaus (MTR) en streefwaardes voor de 10 individuele VROM-PAK vastgesteld. Het MTR is gebaseerd op ecotoxicologisch onderzoek en is het maximale gehalte van een stof waarbij geen nadelige effecten voor het ecosysteem te verwachten zijn. De streefwaarde voor PAK is vastgesteld op 1/100 van het MTR. Bij het vaststellen van de streefwaardes voor PAK is geen rekening gehouden met een natuurlijk achtergrondgehalte. Bij de afleiding van de streefwaardes voor zware metalen is dit inmiddels wel gebeurd. Als natuurlijke achtergrond is gekozen voor de bovengrens van in relatief onbelaste gebieden aangetroffen concentraties. De streefwaarde voor zware metalen is opgebouwd uit een achtergrondgehalte plus het VR.

Een doelstelling van dit project was onderzoek te doen naar een natuurlijke PAK gehaltes in sedimenten. Een conclusie van het eerste deel van dit rapport was dat de PAK in de veenafzetting voor een groot deel in situ wordt gevormd en dat er een sterke correlatie is tussen het PAK gehalte en het organisch stof percentage van het sediment. Bij een meerderheid van het aantal individuele VROM-PAK wordt de streefwaarde door een groot aantal monster overscheden terwijl redelijkerwijs kan worden aangenomen deze PAK een natuurlijke oorsprong heeft. Het is dus zinvol om bij het vaststellen van de streefwaardes van PAK rekening te houden met een natuurlijk achtergrondniveau. Voor

waterbeheerders is dit van belang wanneer er in de toekomst een afstemming komt tussen de normen voor waterbodemsanering en de INS-normen.

In figuur 10.3 is een mogelijke benadering voor het vaststellen van de streefwaarde voor fenantreen op basis van het natuurlijk achtergrondniveau geïllustreed. Monsters waarvan kan worden aangenomen dat het FEN-gehalte antropogeen verrijkt is en monsters waarin geen FEN is aangetroffen worden uit de dataset verwijderd. Van de in totaal 138 monster blijven er dan 86 over. Door middel van lineaire regressie analyse is het verband tussen het organisch stofpercentage en het gehalte FEN bepaald. Vervolgens is er een lijn getrokken paralel aan de lineaire regressie analyse waarbij 10% van de monsters boven de lijn liggen en 90% onder deze lijn.
Het maximale natuurlijke achtergrondgehalte van FEN in sediment is op basis van deze dataset dan:

$$FEN_{netuurlijk}\ (mg/kg) = 0{,}08 + 0{,}00064 * \%\ org.stof$$



Figuur 10.3: Fenantreen gehalte van de monsters en een mogelijkheid om een maximaal natuurlijk achtergrondniveau vast te stellen waarop de streefwaarde kan worden gebasseerd.

Een andere tekortkoming van het huidige normstellingsysteem is de bodemtypecorrectie. Deze voldoen niet aan veenmonsters met een hoog organisch stof percentage. In vergelijking met de toename van het natuurlijke achtergrond gehalte met het percentage organisch stof neemt het MRT en de streefwaarde veel sterker toe. De sprong bij 30% organisch stof voldoet logischerwijs ook niet aan de natuurlijke achtergrond gehaltes van PAK.

12 Conclusies

12.1 Vergelijking PAK in waterbodems en veenprofielen

In het natuurgebied de Rottige Meenthe is er mogelijk een relatie tussen de PAK in de waterbodem en de PAK in het veenprofiel. Beide bevatten meer dan 3 ppm voornamelijk zware PAK. DBA en de lichte twee en drierings PAK zijn zowel in de waterbodem als in de bovenstel laag van het veenprofiel afwezig. Het is echter niet mogelijk om aan te geven of de PAK in de waterbodem vanuit het veen geleverd wordt of dat er een antropogene bron is die zowel de waterbodem als de toplaag van het veenprofiel verrijkt. Voor de drie boringen in Noord Holland kan met zekerheid geconcludeerd worden dat er geen relatie is tussen de PAK in de waterbodem en de PAK in het veenprofiel. Zowel de totaal gehaltes als de individuele samenstelling van de PAK komen niet overeen. Opvallend is dat het partoon van de PAK samenstelling in alle waterbodemmonsters uit Noord-Holland vrijwel exact hetzelfde is, ondanks totaal verschillende som-PAK gehaltes. Dit is alleen mogelijk als de PAK in Noord-Holland door een dezelfde bron veroorzaakt wordt. Omdat dit niet waarschijnlijk lijkt, is hier een aanleiding om de PAK analyses in Noord-Holland nog eens nader te beschouwen

Uit het vergelijkend onderzoek kan niet geconcludeerd worden of de PAK in de waterbodem nooit of soms uit het onderliggende sediment geleverd wordt. Vergelijking van PAK samenstelling van waterbodems en van veenprofielen hiervoor ook niet voldoende. Doordat de oplosbaarheid van de verschillende PAK componenten sterk varieert is het namelijk onwaarschijnlijk dat de levering vanuit het sediment voor alle componenten gelijk is. Daarnaast is het momenteel niet bekend of de PAK in veenafzettingen onder bepaalde, tot nu toe onbekende omstandigheden, mobiel kunnen worden en zich vervolgens in de waterbodem op kunnen hopen. Om meer inzicht te krijgen over de levering van natuurlijke PAK in veenafzettingen aan het PAK gehalte in waterbodems is het daarom noodzakelijk om onderzoek te doen naar het reactief transport van PAK in veenafzettingen.

12.2 Normstelling PAK

In de regelegeving voor PAK bestaat een onderscheid tussen het waterbodembeleid en het algemene milieubeleid ten aanzien van milieugevaarlijke stoffen. Een afstemming tussen beide normstellingssytemen ontbreekt momenteel. Voor het waterbodembeleid geld de klasse indeling. Van de 138 geanalyseerde monsters heeft slechts één monster een PAK gehalte boven de toestingswaarde. De nieuwe dataset is dus geen aanleiding om de normen voor waterbodemsanering aan te scherpen. Omdat en nog geen duidelijkheid is over de levering van PAK vanuit sediment naar de waterbodem is het niet zinvol om de normen voor waterbodems te baseren op PAK gehaltes in sedimenten.

Voor het algemene milieubeleid gelden de normen van het INS (Integrale Normstelling Stoffen). Deze zijn gebaseerd op ecotoxicologisch onderzoek. Voor 150 stoffen zijn er maximaal toelaatbaar risiconiveaus en streefwaardes geformuleerd. Het maximaal toelaatbaar risiconiveau geeft aan bij welk waarde geen nadelige effect te verwachten is. De streefwaardes voor PAK zijn vastgesteld op 1/100 van het maximaal toelaatbaar risiconiveau. Er is in het normstelling systeem voor PAK geen rekening gehouden met het natuurlijk achtergrondniveau. Uit dit onderzoek is gebleken dat sediment wel degelijk van nature PAK kunnen bevatten.

Met uitzondering op naftaleen zijn van alle PAK de gemeten gehaltes in de boorprofielen lager dan de maximaal toelaatbare risiconiveaus. Dit onderzoek is dus geen aanleiding om de maximaal toelaatbare risiconiveaus te wijzigen. Voor zes van de tien VROM-PAK worden de streefwaardes echter vrijwel altijd overschreden door de gemeten PAK gehaltes. Deze streefwaardes liggen zelf ver beneden de detectielimiet. Bij het vaststellen streefwaardes voor de individuele PAK zou rekening gehouden moeten worden met het natuurlijk achtergrondniveau van PAK in bodem en sediment.

13 Evaluatie voor de waterbeheerder:

NOTITIE: PAK in veenafzettingen als mogelijke bron voor 'vervuiling' van waterbodems

Hoge gehaltes Polycyclische Aromatische Koolwaterstoffen in waterbodems zijn in Nederland een probleem voor het omgaan met baggerspecie. Regionale wateren worden eens in de vijf tot twintig jaar gebaggerd om de aan- en afvoer van water te waarborgen. Afhankelijk van de vervuilingsgraad mag de baggerspecie op de kant worden gezet of moet het in een hiervoor bestemd depot worden gestort. Het beleid voor omgaan met verontreinigd baggerspecie is vastgelegd in de Vierde Nota waterhuishouding. Het ontstaan van klasse 2 baggerspecie, dat meer dan 1 mg/kg PAK bevat zal worden tegengegaan door emissiebeperkende maatregelen. Wanneer deze doelstelling wordt gehaald mag er geen klasse 2 baggerspecie meer op de kant worden gezet.
Tot nu toe is aangenomen dat de PAK alleen via antropogene depositie in een waterbodem terecht komt. Op deze aanname is de regelgeving voor PAK gebaseerd. Momenteel is het onduidelijk of de voorgenomen beleidsmaatregelen om de emissie van PAK terug te dringen worden gehaald en als deze worden gehaald, is het tevens niet zeker dat er geen klasse 2 baggerspecie meer zal ontstaan. In veel gevallen zijn de hoge PAK-gehaltes in baggerspecie namelijk niet te verklaren door uitsluitend antropogene depositie. Mogelijk is hier sprake van natuurlijke aanrijking met PAK.

Dit is aanleiding geweest om te om te onderzoeken in hoeverre organisch materiaal rijke afzettingen een bron kunnen zijn voor PAK in waterbodems. Wanneer kan worden aangetoond dat de PAK in een waterbodem uit veen wordt geleverd, zou dit consequenties voor het beleid ten aanzien van PAK en de geldende normering kunnen hebben.

In opdracht van STOWA is door het NITG-TNO onderzoek verricht naar het voorkomen van natuurlijke PAK-gehaltes in veenprofielen. In het onderzoek is geprobeerd een verband te leggen tussen type veen, geologische omstandigheden en de aard van de aangetroffen PAK met als doel een eerste aanzet voor het vaststellen van achtergrondgehaltes en een onderverdeling te maken tussen natuurlijke en niet natuurlijke PAK. Het onderzoek bestaat uit drie onderdelen:

1. Een uitgebreid analytische onderzoek waarbij een groot aantal verschillende soorten veenmonsters afkomstig uit verticale boorprofielen geanalyseerd zijn op aanwezigheid van PAK.
2. Een vergelijking tussen het voorkomen van PAK in de boorprofielen en PAK analyses van slootbodems in de directe omgeving van de boring.
3. Een evaluatie van de huidige normstelling voor PAK op basis van de nieuwe meetgegevens.

<u>PAK analyse</u>

Bij PAK analyse wordt zowel de concentratie van de individuele verbinding als de sommatie van de PAK concentraties bepaald. Omdat er zeer veel verbindingen bestaan die onder de groep PAK vallen zijn er nationaal en internationaal afspraken gemaakt over het aantal individuele PAK waarop het onderzoek en de regelgeving is gebaseerd. Voor het (internationale) onderzoek wordt gebruik gemaakt van de 16 EPA-PAK en de nationale regelgeving is gebaseerd op de 10 VROM-PAK. Door het NITG-TNO zijn de 16 EPA-PAK gemeten. De 10 VROM-PAK is een selectie van de 16 EPA-PAK, zodat eveneens de som 10 VROM-PAK kan worden bepaald.

1: Voorkomen van PAK in veenafzettingen

Het eerste deel van het onderzoek is een inventarisatie van PAK-gehaltes in onvervuilde sedimenten met een hoog organisch stof gehalte. Hiervoor zijn verspreid over Nederland 14 boringen gezet tot enkele meters diep in verschillende soorten veenafzettingen. De locaties zijn zo geselecteerd, dat de kans op aanwezigheid van PAK door menselijk handelen zo klein mogelijk is. Monsters uit deze profielen zijn onderzocht op de aanwezigheid van PAK. De analyse is uitgevoerd aan de hand van de momenteel in Nederland gangbare NEN 5771 norm, zodat een vergelijking met PAK analyses van waterbodems die waterbeheerders uitvoeren, mogelijk is. In de NEN norm is een relatief milde extractie met aceton en petroleum-ether als oplosmiddel voorgeschreven en detectie door middel van High Performance Liquid Chromatografie (HPLC).

NEN-norm

Tijdens het onderzoek bleek dat er natuurlijke polyclische aromatische componenten bestaan, die geen EPA- of VROM-PAK zijn, maar op grond van hun gecombineerde chemische samenstelling, met name aromaticiteit en molecuulgewicht, wel als PAK worden geïnterpreteerd bij gebruikmaking van HPLC. Het betreft bijvoorbeeld isomeren van PAK of nauw verwante verbindingen, die gevormd zijn tijdens de degradatie van het organisch materiaal. Dit leidde ertoe dat een groot aantal monsters een som PAK gehalte hebben die vrijwel volledig door één component wordt bepaald. Dit monotypische PAK patroon werd vooral veroorzaakt door BPE en in mindere mate door BBF, NAF, ACN, CHR en BAP. Deze uitkomst gaf aanleiding om de resultaten van de HPLC analyse met GC/MS te toetsen. Met GC/MS analyse zijn veel meer stoffen te onderscheiden dan met HPLC maar het is ook veel bewerkelijker en daardoor duurder. Uit de toetsing met GC/MS analyse bleek het zogenaamde BPE uit complexe stoffen te bestaan, waaronder monoaromatische benzohopanen. Dit zijn stoffen die ontstaan bij de afbraak van organisch materiaal.

BPE, NAF, CHR en BAP vallen onder de 10-VROM PAK. Omdat deze componenten (die een monotypisch PAK patroon kunnen veroorzaken) vaak een grote bijdrage leveren aan de som 10-VROM PAK, is het goed mogelijk dat de algemeen aanvaarde NEN norm een overschatting van werkelijke hoeveelheid PAK . Voor de waterbeheerder geldt dat hij zeer voorzichtig moet omgaan met de interpretatie van PAK analyses indien enkele componenten vrijwel de gehele som PAK bepalen.

Hier staat tegenover dat de milde extractie methode zoals in de NEN norm is voorgeschreven, uit theoretisch oogpunt niet optimaal is voor ontsluiten van monsters die rijk zijn aan organisch materiaal. Vooral de zwaardere PAK binden zich zeer sterk aan organisch materiaal zodat deze met een mild extractie middel niet vrij kunnen komen. Dit leidt dus mogelijk tot een onderschatting van het werkelijke PAK gehalte.
Beide aspecten zijn een reden om de analysemethode voor PAK in sedimentmonsters zoals is voorgeschreven in NEN 5771 eens opnieuw te beschouwen. Het is zeer zinvol om nader onderzoek te doen naar een analysemethode voor PAK die geschikt is voor organisch materiaal rijke monsters.

Relatie PAK en type veen

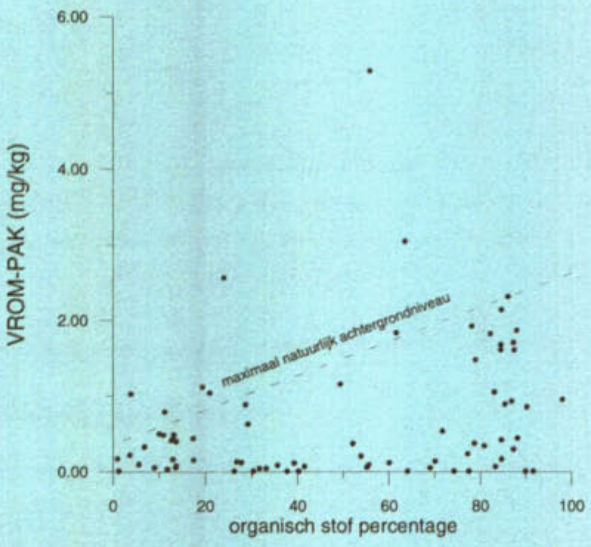
Tabel 1 geeft het gemiddelde som EPA-PAK gehalte en de spreiding hierin per lithologische categorie. In de tabel zijn zowel de resultaten van de complete dataset als van de dataset die gecorrigeerd is voor monotypische PAK monsters weergegeven. Bij de gecorrigeerde dataset zijn de monsters verwijderd waarbij één PAK meer dan de helft van de som PAK vormt. De gemiddelde waardes van de som EPA-PAK hebben bij vrijwel alle lithologieën een erg grote spreiding. Het globale beeld van de gemiddelde som EPA-PAK gehaltes van de complete en gecorrigeerde dataset is echter goed vergelijkbaar. Daarom kan ondanks de beperkingen van de meetmethode en de grote spreiding van de data bepaald worden of er een relatie bestaat tussen het PAK gehalte en het type veen.

Uit tabel 1 blijkt dat veraard veen, met ongeveer 3 mg/kg, de hoogste gemiddelde som-PAK gehaltes heeft. Wellicht is de PAK in dit type veen ontstaan door afbraak van het organisch materiaal. Hierna volgt een groep van drie veensoorten met een organisch stofgehalte van meer dan 75% (mosveen, rietveen en wollegrasveen) en de toplaag. Het gemiddelde PAK gehalte van deze lithologiën ligt ongeveer tussen de 1 en 1,5 mg/kg. Opvallend is dat de gemiddelde som-PAK gehaltes van de toplaag, waarop atmosferische depositie van antropogene PAK plaats vind, niet zijn verhoogd ten opzichte van de veensoorten met meer dan 75% organisch stof en niet aan het oppervlak liggen. Diepere lagen zijn veel minder gevoelig zijn voor antropogene aanrijking. De gemiddelde som-PAK gehaltes in venen met minder dan 75% organisch stof (bosveen en amorf veen) is kleiner dan 0,5 ppm en is niet meet te onderscheiden van de overige lithologieën.

In figuur 1 is de som VROM-PAK van de monsters uit de gecorrigeerde dataset uitgezet tegen het organisch stof percentage. De uitschieters in figuur 1 zijn hoogst waarschijnlijk antropogeen verrijkt. Het is niet mogelijk om één getal voor het maximale natuurlijk achtergrondniveau van PAK vast te stellen, deze is afhankelijk van het organisch stof gehalte. Op basis van de dataset van dit onderzoek is de natuurlijke som VROM-PAK in monsters met minder dan 5% organisch materiaal kleiner dan 0,5 mg/kg. In monsters die rijk zijn aan organisch materiaal kan de natuurlijke som VROM-PAK oplopen tot ongeveer 2,5 mg/kg. Door de beperkingen van de analysemethode moeten deze getallen gezien worden als een indicatie van het natuurlijke achtergrondgehalte.

Tabel 13.1: Gemiddeld organisch stof en som EPA-PAK gehalte per type veen

		complete dataset			gecorrigeerde dataset		
lithologie	organisch stof (%)	aantal monsters	som PAK gemiddeld (mg/kg)	som PAK spreiding (mg/kg)	aantal monsters	som PAK gemiddeld (mg/kg)	som PAK spreiding (mg/kg)
wollegras	87,3	7	1,36	1,63	5	0,94	0,83
mosveen	82,3	32	2,85	6,49	15	1,58	1,21
veraard veen	78,4	8	3,27	2,60	5	2,70	2,94
rietveen	75,8	23	1,37	1,10	12	1,35	1,07
bosveen met riet	73,8	1	-	-	1	-	-
gyttja	43,2	3	0,14	0,18	2	0,21	0,19
bosveen	41,3	5	0,28	0,26	5	0,28	0,26
amorf veen	40,2	2	0,20	0,09	1	0,27	-
klei, humeus	25,6	13	0,45	0,47	8	0,57	0,56
toplaag	20,1	10	1,19	1,18	8	1,38	1,27
klei & gyttja	17,8	2	0,21	0,12	1	0,29	-
leem	16,4	3	0,37	0,30	1	0,19	-
klei met riet	13,1	3	0,55	0,68	0	-	-
rivierklei	9,7	4	0,10	0,03	1	0,07	-
klei	8,1	14	0,38	0,31	8	0,53	0,32
zand	3,8	7	0,51	0,89	2	0,10	0,14
totaal		137			75		

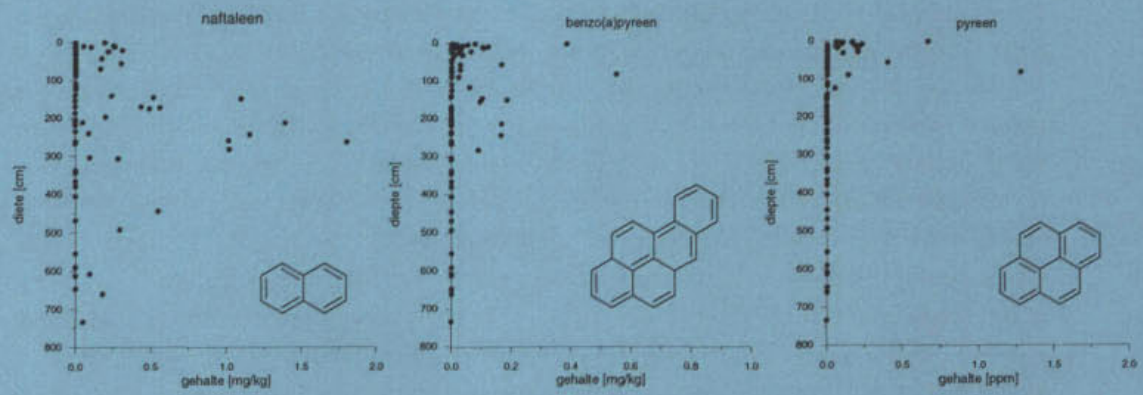


Figuur 13.1: Som EPA-PAK uitgezet tegen het organisch stof percentage van de monsters.

Antropogeen of natuurlijk?

Uit het onderzoek blijkt dat het gemiddelde PAK gehalte van de toplaag niet hoger is dan van diepere lagen. Daarom is de conclusie op zijn plaats, dat de antropogene aanrijking

van PAK bij de onderzochte boringen niet groter is dan de gemiddelde natuurlijke achtergrond. Om hierin meer inzicht te verwerven, is het nuttig om de relatie tussen de samenstelling van de individuele PAK en de diepte van de monsters nog een nader te bekijken. In figuur 2 zijn hier drie voorbeelden van gegeven: naftaleen, benzo(a)pyreen en pyreen.



Figuur 13.2: Naftaleen, benzo(a)pyreen en pyreen gehaltes uitgezet tegen de monsterdiepte

Naftaleen komt in het gehele diepte interval van de boring voor en heeft een duidelijke piek onder het oppervlak. Ditzelfde patroon is ook herkend bij de overige lichte PAK met twee of drie aromatische ringen. De lichte PAK zijn relatief mobiel en kunnen onder aërobe condities worden afgebroken. Het aangetroffen patroon van deze groep PAK kan dus ontstaan door migratie van antropogene PAK vanaf het maaiveld of door aërobe afbraak van in situ gevormde PAK aan het oppervlak. De laatste van deze twee verklaringen lijkt het meest waarschijnlijk omdat de meeste boringen in een polder zijn gezet. In deze kwelgebieden kan de PAK niet naar grote diepte getransporteerd worden. Het gaat hier dus waarschijnlijk om natuurlijke PAK.
Benzo(a)pyreen komt in het gehele diepte interval tot 3 m-mv in dezelfde gehaltes voor. In het diepere traject is geen benzo(a)pyreen aangetroffen maar dit komt doordat er slechts enkele boringen dieper zijn dan 3 m-mv. Het veen in deze diepere boringen bevat over het gehele profiel minder dan 75% organisch stof en hierdoor ook zeer lage gehaltes PAK. Omdat benzo(a)pyreen weinig mobiel is, is het waarschijnlijk dat deze stof in het veenprofiel is gevormd. Hetzelfde partoon is ook aangetroffen bij een aantal andere zware PAK met 4, 5 of 6 aromatische ringen. Deze PAK is dus waarschijnlijk van natuurlijke oorsprong.
Pyreen wordt uitsluitend in de bovenste meter van het profiel aangetroffen. Ditzelfde geldt voor chryseen en fluorantheen. Deze PAK zijn via atmosferische depositie op het maaiveld terecht gekomen. Redelijkerwijs kan dus worden aangenomen dat deze PAK een antropogene bron heeft.

2. Vergelijking tussen veenprofielen en waterbodems

De som PAK gehaltes en het voorkomen van de individuele PAK in de veenprofielen is vergeleken met PAK analyses van waterbodems in de directe omgeving van de boring. Hieruit blijkt dat er in sommige gebieden op het oog een overeenkomst is tussen de PAK samenstelling in de veenafzetting en in de waterbodems. In andere gebieden was er zeker geen relatie. Hieruit zou geconcludeerd kunnen worden dat PAK in waterbodem onder bepaalde omstandigheden mogelijk uit het onderliggend sediment geleverd wordt.
Men kan zich echter afvragen of het zinvol is om een PAK 'fingerprint' of het totale PAK gehalte van een veenmonster te vergelijken met die van een waterbodemmonster. Er zijn namelijk grote verschillen in de mobiliteit van de verschillende PAK componenten. De lichte twee- en driering PAK zijn relatief goed oplosbaar in water ten opzichte van de zwaardere PAK en zullen hierdoor veel sneller getransporteerd worden. Hierdoor is het onwaarschijnlijk dat de afzonderlijke componenten in gelijke hoeveelheden getransporteerd worden. Daarnaast is het, ook door de verschillen in oplosbaarheid, niet waarschijnlijk dat afzonderlijke PAK componenten in gelijke mate in de slootbodem accumuleren. Het kan dus zijn dat de 'fingerprint' van de waterbodem afwijkt van de veenafzetting, maar dat de PAK in de waterbodem toch uit het veen geleverd is.
Om meer inzicht te krijgen in de levering van natuurlijke PAK vanuit veenzafzettingen naar de waterbodem is het noodzakelijk om specifiek onderzoek te doen naar het transport van de PAK in organisch materiaal rijke afzettingen. In de internationale wetenschappelijke literatuur is hier tot nog toe zeer weinig over bekend.

3. Normstelling PAK

In (water)bodembeleid wordt onderscheid gemaakt tussen het saneringsbeleid en verspreidingsbeleid (beiden kennen wettelijke normen) en het algemene milieubeleid ten aanzien van milieugevaarlijke stoffen. Voor beide beleidsterreinen gelden aparte normen. Voor het sanerings- en verspreidingsbeleid geldt de klasse indeling voor baggerspecie. Voor het algemene milieubeleid ten gelden de Milieukwaliteitsnormen voor bodem, water en lucht zoals vastgelegd door de stuurgroep Integrale Normstelling Stoffen (INS). Zowel de wettelijke normen als de algemene milieukwaliteitsnormen zijn opgenomen in de Vierde Nota Waterhuishouding (NW4). Een afstemming tussen deze normstellingsystemen ontbreekt en is momenteel onderwerp van discussie.

Dit onderzoek heeft veel gegevens opgeleverd over het natuurlijke PAK gehalte in de ondergrond. Dit is aanleiding om de huidige normen voor PAK te evalueren op basis van deze bevinding.

klasse indeling
Voor het waterbodembeleid geldt vooralsnog de klasse indeling. Dit zijn wettelijke normen voor omgaan met c.q. verspreiden van baggerspecie. Hiervoor zijn de streefwaarde en de interventiewaarde van belang. Bij beoordeling is toetsing aan de 10-PAK bepalend. Er wordt niet getoetst aan individuele PAK verbindingen. Er gaan echter

steeds meer stemmen op om deze indeling te vervangen door een systeem dat meer gedifferentieerd is: nagegaan wordt welk deel verantwoord verspreid kan worden en welk deel niet. Milieurisico's en kosteneffectiviteit staan centraal. In de klasse indeling zijn voor de som VROM-PAK streef-, toetsings- en interventiewaardes vastgesteld. In de Vierde Nota waterhuishouding (1998) staat geschreven dat het niet haalbaar is om in 2000 te stoppen met het verspreiden van baggerspecie klasse 2. Daarom is besloten dat voorlopig kan worden doorgegaan met het op de kant zetten van baggerspecie met een som VROM-PAK gehalte beneden de toetsingswaarde van 10 mg/kg.

Van de 138 geanalyseerde monsters heeft slechts één monster een som VROM-PAK gehalte boven de toetsingswaarde (zie tabel 2). De PAK in dit monster bestaat vrijwel volledig uit BPE waardoor deze analyse als niet betrouwbaar kan worden aangemerkt. 14 monsters hebben een som VROM-PAK gehalte tussen 1 en 10 mg/kg en vallen in klasse 2. Door levering vanuit het sediment kan hiermee in principe klasse 2 baggerspecie ontstaan. Omdat er nog geen onderzoek is gedaan naar het reactief transport van PAK in veen is dit echter niet met volledige zekerheid te zeggen.

Tabel 13 2: Klasse indeling van de geanalyseerde monsters (omgerekend naar een standaardbodem met 10% organisch stof).

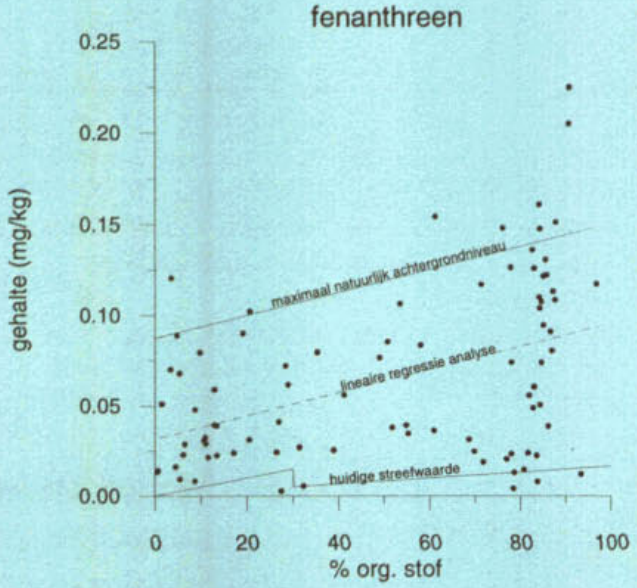
	som VROM-PAK (mg/kg)	omschrijving	aantal monsters
klasse 0	<1	< streefwaarde	123
klasse 2	1-10	≤ toetsingwaarde	14
klasse 3	10-40	≤ interventiewaarde	1
klasse 4	>40	> interventiewaarde	0

Integrale Normstelling Stoffen

In 1998 zijn er door de Interdepartementale Werkgroep Integrale Normstelling Stoffen (INS) voor 150 stoffen nieuwe milieukwaliteitsnormen voor bodem, lucht en water geformuleerd. Deze vervangen de MILBOWA normen uit 1991. De milieukwalteitsnormen hebben binnen het algemene milieubeleid als belangrijk toepassingsgebied het beoordelen van de milieukwaliteit en het toetsen van de effectiviteit van het brongerichte beleid.
Voor de kwaliteitsbeoordeling van bodems en sedimenten zijn er maximaal toelaatbare risiconiveaus (MTR) en streefwaardes voor de 10 individuele VROM-PAK vastgesteld. Het MTR is gebaseerd op ecotoxicologisch onderzoek en is de wetenschappelijk afgeleide waarde voor een stof, die aangeeft bij welke concentratie geen nadelig te waarderen effect te verwachten is of –in geval van carcinogene stoffen- waar met een kans van 10^{-6} sterfte voorspeld kan worden. De streefwaarde voor individuele PAK is vastgesteld op het verwaarloosbare risiconiveau (VR). Dit VR is 1/100 van het MTR. Naast streefwaardes voor individuele PAK is er ook een streefwaarde voor de som 10 VROM-PAK geformuleerd. PAK is de enige groep stoffen waarvoor in de INS een somparameter is geformuleerd en is hiermee dus een uitzondering. Deze somparameter is hetzelfde als de streefwaarde (klassegrens 0/1) in het verspreidingsbeleid. Bij het afleiden van deze waarde is rekening gehouden met van nature voorkomende gehalten in relatief

onbelaste gebieden. De streefwaarde van deze 10 VROM PAK is ruim drie keer zo hoog als de som van de streefwaardes van de individuele PAK.
Bij de streefwaardes voor de individuele PAK is geen rekening gehouden met een natuurlijk achtergrondgehalte, zoals bij zware metalen inmiddels wel gebeurd. Dit onderzoek heeft echter aangetoond dat PAK van nature voorkomen. Het is daarom zinvol om bij het vaststellen van de milieukwaliteitsnormen voor PAK in (water)bodems en sedimenten rekening te houden met het natuurlijk achtergrondgehalte. Voor de waterbeheerder is het van belang als er in de toekomst een afstemming komt tussen de normen voor het omgaan met verontreinigd baggerspecie en de normen volgens de INS.

In figuur 3 is een mogelijke benadering voor het vaststellen van het maximaal natuurlijk achtergrond niveau voor individuele PAK geïllustreerd. Het gemeten fenantreen gehalte is uitgezet tegen het organisch stofgehalte van de monsters. Tevens is de huidige streefwaarde voor fenantreen in grond/sediment weergegeven. Door middel van lineaire regressie analyse is het verband tussen het natuurlijke fenantreen gehalte en het organisch stofgehalte bepaald. Het maximale natuurlijke achtergrondniveau kan worden vastgesteld door parallel aan de lineaire regressie analyse een lijn te trekken waarbij 10% van de monsters boven de lijn ligt en 90% eronder. Voor fenantreen komt het maximale natuurlijke achtergrond gehalte dan op 0,08 mg/kg in sediment zonder organisch stof en 0,15 mg/kg in sediment dat volledig uit organisch stof bestaat.



Figuur 13.3: Fenantreen gehalte van de monsters, huidige streefwaarde en een mogelijkheid om een maximaal natuurlijk achtergrondniveau vast te stellen.

14 Referenties

De Bakker, H. en Locher, W.P. (1992): 'Bodemkunde van Nederland, deel 2, Bodemgeografie'- Malmberg Den Bosch.

Bieri, R.H., Cueman, M.K., Smith, C.L., & Su, C.W. (1978): Intern. J. Environ. Anal. Chem., 5: 293.

Bornef, J., & Kunte, H. (1983): 'PAH in River en Lake water', Biota en Sediments. In: Bjorseth, A. (1983): 'Handbook of PAH'. p. 629-652, Dekker, New York.

Borrego, A.G., Blanco, C.G. & Puttmann, W. (1997): 'Geochemical significance of oil-bearing inclusions and produced oil from the Toro sandstone', Papua New Guinea. Organic Geogemistry, 26, ¾, p. 219-228.

Bouloubassi, I. & Saliot, A. (1991): 'Sources and transport of hydrocarbons in the Rhone delta sediments (Northwestern Mediterranean)'- Fresenius J. Anal. Chem. 339: 765-771.

Bouloubassi, I. & Saliot, A. (1993): 'Dissolved, particulate and sedimentary naturally derived polycyclic aromatic hydrocarbons in a coastal environment: geochemical significance'- Marine Chemistry, 42: 127-143

Brown, F.S., Baedecker, J.M., Nissenbaum, A. & Kaplan, I.R. (1972): 'Early diagenesis in a reducing fjord, Saanich Inlet, British Columbia'.- Geochim. Cosmochim. Acta 36: 1185-1203.

Carruthers, W. & Watkins D.A.M., (1964): 'The constitutents of high-boiling distillates' - J. Chem. Soc. Lond. 724-729.

Cofer, W.R., Winstead, E.L., Stocks, B.J., Cahoon, D.R., Goldammer, J.G. & Levine, J.S. (1996): 'Composition of smoke from North American Boreal Forest Fires' - In Goldammer, J.G. & Furyaev, V.V. (eds.) Fire in Ecosystems of Boreal Eurasis. 465-475.

Davis, J.C. (1986): 'Statistics and data analysis in geology'. John Wiley & Sons, New York.

Douglas, A.G. & Mair, B.J. (1965): 'Sulphur: role in genesis of petroleum' - Science, 147, p. 499-501.

Dunn, B.P. (1980): ;Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in marine sediments, bivalves and seaweeds, Analysis by HPLC' - In: Bjorseth, A. & Dennis, A.J. (Eds.) 'Polynuclear Aromatic Hydrocarbons. Chemistry and Biological effects' p. 367-377. Battelle Press, Ohio.

Dunn, P.B. (1983): 'Determination of PAH in sediments and marine organisms' - In: Bjorseth, A. (1983): 'Handbook of PAH', p. 439-459. Dekker, New York.

Fazio, T., & Howard, J.W. (1983): 'Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in foods'. In: Bjorseth, A. (1983): 'Handbook of PAH', p. 461-505. Dekker, New York.

Fermont, W.J.J., David, P. & Bosch, A.. (1997): 'Polycyclische aromatische koolwaterstoffen in veenprofielen'- TNO-rapport, NITG 97-98 B.

Freriks, I.L., Wegener, J.W.M. & Cofino, W.P. (1995): 'Eindrapport van het Polycyclische Aromatische Koolwaterstoffen Quality Improvement Programme (PAK-QIP)' - IVM, Vrije Universiteit, Amsterdam.

Giger, W. & Blumer, M. (1974): Anal. Chem., 48:1663.

Giger, W. & Schaffner, C. (1978):. Anal. Chem., 50: 243.
Greiner, A.C., Spyckerelle, C. & Albrecht, P. (1976): 'Aromatic Hydrocarbons from geological sources. I. New naturally occurring phenanthrene and chrysene derivates' - Tetrahedron 32, p. 257-260.
Greiner, A.C., Spyckerelle, C., Albrecht, P. & Ourison, G. (1977): 'Aromatic Hydrocarbons from geological sources. V. Mono- and diaromatic hopane derivates'- J. Chem. Res (M), p. 3829-3871.
Interdepartementale Werkgroep Integrale Normstelling Stoffen (1997): 'Integrale Normstelling Stoffen – Milieukwaliteitsnormen bodem, water, lucht' – ministerie van VROM.
Laflamme, R.E. & Hites, R.A. (1978): 'The global distribution of polycyclic, aromatic hydrocarbons in recent sediments' - Geochim. Cosmochim. Acta, 42, p. 289-303.
Laflamme, R.E. & Hites, R.A. (1979): 'Tetra- and pentacyclic, naturally occurring, aromatic hydrocarbons in recent sediments' - Geochim. Cosmochim. Acta, 43, p. 1687-1691.
Leeuwen,van, C.J. & Hermens, J.L.M. (1995): 'Risk assessment of chemicals: an Introduction' - Kluwer Academic Publishers.
Lichtfouse et al., (1997)
Loureiro, M.R. & Cardoso, J.N. (1990): 'Aromatic hydrocarbons in the Paraiba Valley oil shale' - Organic Geochemistry, 15: p. 351-359.
Meels, J. (1996): 'Identificatie en kwantificering van polycyclische aromatische koolwaterstoffen (PAK) in veengronden' - Afstudeerrapport Hogeschool Limburg, Sittard.
Ministerie van Verkeer en Waterstaat (1998): 'Vierde Nota Waterhuishouding, Regeringsbeslissing'.
Ministerie van Volkshuisversting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer (1991): 'Milieukwaliteitsdoelstellingen bodem en water' - Kamerstukken II, 1990-1991, 21 990, nr 1.
Nederlands Normalisatie Instituut (1986): 'NEN 6620: Bepaling van de indamprest en gloeirest (gravimetrische methode)'.
Nederlands Normalisatie Instituut (1995): 'Ontwerp NEN 5571: Bepaling van gehalte aan PAK met HPLC'.
Neff, J.M. & Anderson, J.W. (1975): Bull. Environ. Contam. Toxicol. 14:122.
Noordkamp, E.R., J.T.C. Grotenhuis & W.H. Rulkens (1997): 'Selection of an effiecient extraction method for determinationof polycyclic aromatic hydrocarbons in contaminatied soil and sediment' - Chemosphere, Vol. 35, No. 9 pp.1907-1917.
Orr, W.L. & Grady, J.T. (1967): 'Perylene in basin sediments off southern California' - Geochim. Cosmochin. Acta 31: 1201-1209.
Pancirov, R.J. & Brown, R.A. (1977): Environ. Sci. Technol., 11: 989.
Peters, K.E. & Moldowan, J.M. (1993): 'The biomarker guide' - Prentice Hall New Yersey, 366 pp.
Stach, E., Mackovsky, M.Th., Teichmuller, M., Taylor, G.H., Chandra, D. & Teichmuller, R. (1982): 'Coal Petrology' - Gebr. Borntraeger, Berlin, 535 pp.

Tan, Y.L. & Heit, M. (1981): 'Biogenic and abiogenic polynuclear aromatic hydrocarbons in sediments from two remote Adirondack lakes' - Geochim. Cosmochim. Acta, 45: 2267-2279.

Toorn, A. van den, Harmsen, J. & van Dijk-Hooyer, O.M. (1996): 'Natuurlijke afbraak van Polycyclische Aromatische Koolwaterstoffen bij het op de kant zetten van baggerspecie op Goeree-Overflakkee' - SC-DLO, rapport 447. Wageningen.

Tweede Kamer der Staten Generaal (1998): 'Nationaal Milieubeleidsplan 3'.

Tweede Kamer der Staten Generaal (1994): 'Evaluatie Nota Water' vergaderjaar 1993-1994, 21 250, nrs. 27-28.

Wakeham, S.G., Schaffner, C. & Giger, W. (1979a): 'Polycyclic aromatic hydrocarbons in recent lake sediments - II, Compounds derived from biogenic precursors during early diagenesis' - Geochim. Cosmochim. Acta, 44: 415-129.

Wakeham, S.G., Schaffner, C., Giger, W., Boon, J.J. & de Leeuw, J.W. (1979b): 'Perylene in sediments from the Namibian Shelf' - Geochim. Cosmochim. Acta, 43: 1141-1144.

Warmenhoven, J.P., Duiser, J.A., de Leu, L.Th. & Veldt, C. (1989): 'De bijdrage van atmospherische depositie aan de verontreiniging van de nederlandse bodem en het nederlandse oppervlaktewater inclusief de territoriale wateren' TNO-MT, Delft, The Netherlands, report R 89/385.

Warner, J.S. (1976): Anal. Chem. p. 48-578.

White, C.M. (1983): 'Determination of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Coal-derived materials' - In: Bjorseth, A. (1983): 'Handbook of PAH' – p. 525-616. Dekker, New York.

Zagwijn, W.H., Beets, D.J., van den Berg, M., Montfrans, H.M. van, & Rooijen, P. van (1985): 'Atlas van Nederland, 13. Geologie' – SDU.

Polycyclische aromatische koolwaterstoffen in veenprofielen

Bijlagen

Inhoud

Bijlage A:	Boorbeschrijvingen
Bijlage B1:	Droge stof- en watergehalte van de monsters
Bijlage B2:	Resultaten PAK-analyses per boring
Bijlage B3:	Correlatie met diepte - individuele PAK
Bijlage B4:	Vertikale profielen lithologie – som PAK
Bijlage B5:	Histogrammen individuele PAK
Bijlage B6:	Multivariate statistische analyse
Bijlage B7:	Correlatie met lithologie
Bijlage B8:	Screening van monsters met GC/MS
Bijlage C1:	PAK-analyses waterbodems
Bijlage C2:	PAK-analyses veenprofielen omgerekend naar standaardbodem

Bijlage A: Boorbeschrijvingen

BIJLAGE A. OVERZICHT BOORBESCHRIJVINGEN

Bijlage	Boring	Code Provincie	
A.1	Bodegraven1	BG-1	Zuid-Holland
A.2	De Meije1	DM-1	Zuid-Holland
A.3	Groote Peel	GP-1	Limburg
A.4	Groote Peel 3	GP-3	Limburg
A.5	Groote Peel 4	GP-4	Limburg
A.6	Hommerts 2	HM-2	Friesland
A.7	Knollendam 1	KD-1	Noord-Holland
A.8	Kloosterveen 1	KV-1	Friesland
A.9	Langweer 2	LW-2	Friesland
A.10	Polder Molenaarsgraaf 1	PM-1	Zuid-Holland
A.11	Rottige-Meenthe 1	RM-1	Friesland
A.12	Uitdam 1	UD-1	Noord-Holland
A.13	Warder 1	WD-1	Noord-Holland
A.14	Wartena 2	WT-2	Friesland

A.1 **Bodegraven 1** **BG-1** **Zuid-Holland**

Boornummer: 454-113-0015
X-coordinaat: 113.785
Y-coordinaat: 454.015
Maaiveldhoogte: -160 cm
Provincie: Zuid-Holland
Boortraject: 0 - 750 cm

monster	boven	onder	grond -soort	omschrijving
970201 *	10	27	klei	klei, matig siltig, bruin, kalkloos, spoor ijzeroxide, 38% lutum
970202 *	27	40	klei	klei, matig siltig, bruin, kalkloos, spoor ijzeroxide, 38% lutum
970203 *	40	50	veen	veen, bruin, spoor hout, matig amorf, tussen 40 - 43 cm vermoedelijk enkele houtskoolresten
970204	50	70	klei	klei, matig siltig, matig humeus, kalkloos, grijs-bruin, weinig plantenresten, 40 % lutum
970205 *	70	78	klei	klei, matig siltig, kalkloos, grijs, spoor bruine vlekken, weinig plantenresten, weinig hout, 40 % lutum
970206	78	107	klei	klei, matig siltig, kalkloos, grijs, spoor bruine vlekken, weinig plantenresten, weinig hout, 40 % lutum
970207	107	126	klei	klei, matig siltig, kalkloos, grijs, spoor bruine vlekken, weinig plantenresten, weinig hout, 40 % lutum
970208	126	140	klei	klei, matig siltig, kalkloos, grijs, spoor bruine vlekken, weinig plantenresten, weinig hout, 40 % lutum
970209	140	150	klei	klei, matig siltig, kalkloos, grijs, spoor bruine vlekken, weinig plantenresten, weinig hout, 40 % lutum
970210 *	150	198	klei	klei, matig siltig, kalkloos, grijs, spoor plantenresten, spoor hout, 40 % lutum
970211	198	211	klei	klei, matig siltig, kalkloos, grijs-bruin, weinig hout, 40 % lutum
970212	211	223	klei	klei, matig siltig, kalkloos, grijs-bruin, weinig hout, 40 % lutum
970213 *	223	250	veen	bosveen, bruin, zeer grove houtresten
970214 *	250	286	veen	bosveen, bruin, zeer grove houtresten
970215	286	299	klei	klei, matig siltig, kalkloos, grijs, spoor glimmer, weinig hout, veel plantenresten, planten in laagjes, 38 % lutum,
970216	299	327	klei	klei, matig siltig, kalkrijk, grijs, spoor glimmer, weinig hout, veel zwarte vlekken, 36 % lutum,
monster	boven	onder	grond	omschrijving

			-soort	
970217	327	336	klei	klei, matig siltig, kalkrijk, grijs, spoor glimmer, weinig hout, veel zwarte vlekken, 36 % lutum,
970218	336	350	klei	klei, matig siltig, kalkrijk, grijs, spoor glimmer, weinig hout, veel zwarte vlekken, 36 % lutum,
970219 *	350	362	klei	klei, matig siltig, kalkrijk, grijs, spoor glimmer, spoor zwarte vlekken, spoor plantenresten, spoor schelpen, zwak gelaagd, 36 % lutum,
970220	362	408	klei	klei, matig siltig, kalkrijk, grijs, spoor glimmer, spoor zwarte vlekken, spoor plantenresten, spoor schelpen, zwak gelaagd, 36 % lutum
970223 *	384	450	klei	klei, matig siltig, kalkrijk, grijs, spoor glimmer, spoor zwarte vlekken, spoor plantenresten, spoor schelpen, zwak gelaagd, 36 % lutum
970224	450	471	klei	klei sterk siltig, grijs, spoor glimmer, veel plantenresten, kalkrijk, 33 % lutum
970225	471	498	klei	klei sterk siltig, grijs-bruin, spoor glimmer, veel plantenresten, kalkrijk, spoor schelpen, 33 % lutum
970226	498	532	klei	klei sterk siltig, grijs, spoor glimmer, veel plantenresten, kalkrijk, spoor schelpen, 33 % lutum
970227	532	550	klei	klei, sterk siltig, donkergrijs, veel plantenresten, kalkrijk, gyttjaachtig, plaatselijk een detrituslaagje, 36 % lutum
970228	550	596	klei	klei, sterk siltig, donkergrijs, veel plantenresten, kalkrijk, gyttjaachtig, plaatselijk een detrituslaagje, 36 % lutum
970229	596	609	klei	klei, sterk siltig, donkergrijs, veel plantenresten, kalkrijk, gyttjaachtig, plaatselijk een detrituslaagje, 36 % lutum
970230 *	609	617	veen	rietveen, bruin
970231	617	650	veen	rietveen, bruin
970232 *	650	672	veen	rietveen, bruin, ingestoven zandkorrels
970233 *	672	686	veen	rietveen, bruin, ingestoven zandkorrels
970234	686	710	zand	zand, matig fijn, bruin, veel plantenresten, weinig riet, kalkloos, houtskool, sterk venig
970235	710	750	zand	zand, keiig, matig fijn, lichtgrijs, spoor riet, kalkloos

A.2 **De Meije 1** **DM-1** **Zuid-Holland**

Boornummer: 457-111-0006
X-coordinaat: 111.685
Y-coordinaat: 457.495
Maaiveldhoogte: -160 cm
Provincie: Zuid-Holland
Boortraject: 0 - 800 cm

monster	boven	onder	grond -soort	omschrijving
970152	0	15	klei	klei, matig siltig, sterk humeus, bruin, kalkloos, omgewerkt, 36 % lutum
970153	15	50	klei	klei, matig siltig, matig humeus, grijs-bruin, kalkloos, organisch materiaal: spoor doorworteld, 36 % lutum
970154	50	80	veen	bosveen, donkerbruin, veel hout
970155	80	140	klei	klei, matig siltig, sterk humeus, bruin, kalkloos, veel plantenresten, veel hout, 38 % lutum
970156	140	190	klei	klei, matig siltig, matig humeus, grijs-bruin, kalkloos, weinig hout, 38 % lutum
970157	190	200	veen	veen, sterk kleiig, bruin
970158	200	270	klei	klei, matig siltig, matig humeus, grijs, kalkloos, weinig hout, weinig riet, weinig hout, 40 % lutum
970159	270	340	klei	klei, matig siltig, matig humeus, bruin, kalkloos, weinig hout, weinig riet , 40 % lutum
970160	340	350	veen	bosveen, bruin
970161	350	366	klei	klei, matig siltig, matig humeus, bruin-grijs, kalkloos, weinig hout, 38 % lutum
970162	366	410	veen	rietveen met hout, bruin
970163	410	520	klei	klei, matig siltig, grijs, kalkloos, weinig riet, 40 % lutum
970164	520	590	veen	rietveen, bruin - donkerbruin, gedeeltelijk keiig
970175	590	592	klei	klei, matig siltig, blauw-grijs, kalkloos, erosieve top, 40 % lutum
970176	592	625	veen	rietveen, bruin
970165	625	670	klei	klei, matig siltig, grijs, kalkrijk, weinig veenbrokjes, 40 % lutum
970166	670	678	veen	rietveen, bruin, erosieve top
970167	678	685	klei	klei, matig siltig, bruin-grijs, kalkloos, veel plantenresten, erosieve top, 40 % lutum

monster	boven	onder	grond -soort	omschrijving
970168	685	725	veen	rietveen, bruin
970169	725	745	zand	zand, matig humeus, zwart-bruin, kalkloos, zeer fijn, zandmediaan: 130, weinig hout
970170	745	800	zand	zand, matig humeus, lichtgrijs, kalkloos, matig fijn, zandmediaan: 140, weinig doorworteld

A.3 **Grote Peel 1** **GP-1** **Limburg**

Boornummer: Grote Oale Baan
X-coord.: 183.420
Y-coord.: 371.325
NAP: 28,00 cm
Provincie: Limburg
Boortraject: 0 - 100 cm

monster	boven	onder	grond -soort	omschrijving
970113	0	10	veen	topmonster, veen veraard
970114	10	20	veen	veen, veraard
970115	20	40	veen	mosveen, licht bruin
970116	40	60	veen	mosveen, gedegradeerd, donker bruin
970117	60	80	veen	mosveen, gedegradeerd, donker bruin
970118	80	100	veen	mosveen met wortel, donkerbruin

opmerkingen: brand in 1995, alleen aan oppervlakte, boring naast verbrande boom

A.4 Grote Peel 3 GP-3 Limburg

Boornummer: Filose Peel
X-coord.: 185.810
Y-coord.: 373.250
NAP: 28.00 m +NAP
Provincie: Limburg
Boortraject: 0 - 100 cm

monster	boven	onder	grond -soort	omschrijving
970127 *	0	10	veen	topmonster, veen met houtskoolresten
970128 *	0	10	veen	topmonster, veen met houtskoolresten
970129 *	10	20	veen	topmonster, veen met houtskoolresten, op een diepte van 20 cm komt een laag voor met een aanrijking van kleine houtskoolresten.
970130 *	20	40	veen	mosveen, donker droog
970131 *	40	60	veen	mosveen, donker droog
970132 *	60	80	veen	mosveen, donker droog
970133 *	80	90	veen	mosveen, donker droog
970134 *	90	100	leem	leem, donker
970135	0	10	veen	lateraal van Grote Peel 3 aan wand, houtskoolfragmenten
970136	10	25	veen	lateraal van Grote Peel 3 aan wand, houtskoolfragmenten
970137 *	15	20	veen	lateraal van Grote Peel 3 aan wand, houtskoolfragmenten
970138	15	20	veen	lateraal van Grote Peel 3 aan wand, houtskoolfragmenten
970139	15	20	veen	lateraal van Grote Peel 3 aan wand, houtskoolfragmenten

opmerkingen: brand in 1991, ook in dieper gelegen lagen, steekboring langs een richel

A.5 **Grote Peel 4** **GP-4** **Limburg**

Boornummer: Astense Peel
X-coord.: 186.150
Y-coord.: 374.250
NAP: 29.00 M +NAP
Provincie: Limburg
Boortraject: 0 - 150 cm

monster	boven	onder	grond soort	omschrijving
970150	maaiveld		veen	veen, verbrand (met gras)
970151	maaiveld		veen	veen, verbrand
970140	0	10	veen	relatief los materiaal, aan wand van peil gemonsterd, veen droog met houtskoolfragmenten
970141	10	20	veen	relatief los materiaal, aan wand van peil gemonsterd, veen droog met houtskoolfragmenten
970142	20	30	veen	relatief los materiaal, aan wand van peil gemonsterd, veen droog met houtskoolfragmenten
970147	30	40	veen	steekboring, mosveen, droog
970146	40	60	veen	steekboring, mosveen, droog
970145	60	80	veen	steekboring, mosveen, droog
970144	80	100	veen	steekboring, mosveen, droog
970143	100	120	veen	steekboring, mosveen, droog
970149	120	130	leem	veen met leem, donker
970148	130	150	leem	leem, donker

opmerkingen: brand in 1993, ook in diepere veenlagen - niveau op ca. 20 cm houtskoolfragmenten

A.6 **Hommerts 2** **HM-2** **Friesland**

Boornummer: 555-174-0014
X-coordinaat: 174.008
Y-coordinaat: 555.650
Maaiveldhoogte: -60 cm
Provincie: Friesland
Boortraject: 0 - 250 cm

monster	boven	onder	grond-soort	omschrijving
970055	0	24	klei	klei, grijs-bruin, kalkloos, ijzeroxide, 35 % lutum
970056	24	78	veen	mosveen, donkerbruin
970058	78	85	veen	mosveen, bruin, weinig lagen, basis scherp
970059	85	112	veen	mosveen, donkerbruin
970060	112	131	veen	mosveen, donkerbruin, spoor wollegras
970061	131	165	veen	wollegrasveen, donkerbruin
970063	165	233	veen	rietveen, lichtbruin
970067	233	250	zand	geel-bruin, matig fijn, kalkloos

A.7 Knollendam 1 KD-1 Noord-Holland

Boornummer: 503-115-0005
X-coordinaat: 115.660
Y-coordinaat: 503.075
Maaiveldhoogte: -200 cm
Provincie: Noord-Holland
Boortraject: 0 - 300 cm

monster	boven	onder	grond -soort	omschrijving
960164	0	28	klei	donkerbruin, matig siltig, weinig doorworteld, 38 % lutum, kalkloos
960165	28	65	veen	veenmosveen, donkerbruin
960166	65	86	veen	overgangsveen, bruin
960167	86	149	veen	donkerbruin, van 86 tot 92 licht geoxideerd
960168	149	163	veen	donkerbruin, amorf
960169	163	217	veen	rietveen, donkerbruin, 163-190 lijkt geoxideerd
960170	217	240	klei	matig siltig, grijs, verticale doorgroeiing, 38 % lutum, kalkrijk
960171	240	300	klei	matig siltig, grijs, verticale doorgroeiing, 38 % lutum, kalkrijk

A.8 **Kloosterveen 1** **KV-1** **Friesland**

Boornummer 557-228-0020
X-coordinaat: 228.730
Y-coordinaat: 557.270
Maaiveldhoogte: 1070 cm
Provincie: Friesland
Boortraject: 0 - 200 cm

monster	boven	onder	grond-soort	omschrijving
	0	18	leeg	kernverlies
950427	18	43	veen	grijsbruin, sterk veraard
950429	43	59	veen	lichtbruin, veenmosveen, ondergrens loopt scheef door boring heen van 0,59m -0,62 m
950430	59	62	veen	grijsbruin, geen herkenbare plantenresten, wigvorm
950432	62	76	veen	bruin, wollegras
950434	76	100	veen	donkerbruin, veraard, met wollegras-resten van 0,80m - 0,83m, 0,87m - 0,92m en 0,94 - 1,00m
	100	107	leeg	naval
950483	107	128	veen	grijsbruin, wollegras, iets veraard
950483	128	148	veen	geelbruin, wollegras
950485	148	167	veen	lichtbruin, rietveen, met houtresten, van 1,62m - 1,66m donker gekleurd (aanrijkings-zone?)
950507	167	174	klei	lichtbruin met veel organisch materiaal
950484	167	174	klei	lichtbruin met veel organisch materiaal
950484	174	178	klei	bruingeel met organisch materiaal
950484	178	200	zand	geel, zeer fijn, zwak siltig

A.9 **Langweer 2** **LW-2** **Friesland**

Boornummer: 553-175-0010
X-coordinaat: 175.908
Y-coordinaat: 553.960
Maaiveldhoogte: -70 cm
Provincie: Friesland
Boortraject: 0 - 260 cm

monster	boven	onder	grond-soort	omschrijving
970031	0	15	klei	klei, bruin-grijs, kalkloos, 40 % lutum
970032	29	60	veen	mosveen, donkerbruin, basis geleidelijk
970034	60	103	veen	mosveen, bruin, basis geleidelijk
970036	103	134	veen	rietveen,. bruin, basis geleidelijk
970037	134	152	veen	rietveen,. bruin, weinig hout, basis geleidelijk
970038	152	203	veen	rietveen,. donkerbruin, basis geleidelijk
970039	203	208	veen	gyttja, zwartbruin, veel plantenresten, basis geleidelijk
970040	208	218	veen	gyttja, lichtbruin, spoor doorworteld
970041	218	260	zand	zand, bruin-geel, kalkloos, zandmediaan: 155

A.10 Polder Molenaarsgraaf 1 PM-1 Zuid-Holland

Boring nr. 429-115-21
X-coord.: 115.940
Y-coord.: 429.610
NAP: -60
Boring datum: 02-10-1995
Boortraject: 0 - 625 cm

monster	boven	onder	grond-soort	omschrijving
	0	20	leeg	kernverlies
950514	20	44	klei	bruingrijs, met recente doorworteling
950515	44	50	veen	donkerbruin, kleiïg, veraard
	50	75	leeg	kernverlies en naval
950537	75	81	veen	zwartbruin, veraard, iets kleiïg
950539	81	125	veen	bruin, aan de top nog iets veraard, bosveen met iets riet, boomstronk 0,86m-0,92m
	125	135	leeg	kernverlies
950576	135	207	veen	bruin, bosveen herkenbare houtresten en iets riet, aan de basis duidelijker keiiger
950578	207	225	klei	lichtgrijs, enkele plantenresten, enkele houtresten
	225	233	leeg	kernverlies
950619	233	260	klei	lichtgrijs met planten- en houtresten
950619	260	270	klei	bruingrijs, met planten- en houtresten, duidelijk humeus traject met fijne houtrestjes
950619	270	276	klei	lichtgrijs
950619	276	288	klei	bruingrijs, naar beneden toe steeds meer houtresten
950630	288	325	veen	grijsbruin, bosveen, zeer kleiïg, met hier en daar rietresten
	325	345	leeg	kernverlies en naval
950650	345	390	veen	grijsbruin, bosveen
950652	390	425	klei	lichtgrijs, horizontaal gelaagd, fijne plantenresten
	425	430	leeg	kernverlies
950679	430	448	klei	lichtgrijs, horizontaal gelaagd, fijne plantenresten
950681	448	490	klei	bruingrijs, met houtresten, met name aan de basis, Operculae van Bithynia aanwezig

monster	boven	onder	grond-soort	omschrijving
950683	490	525	klei	lichtgrijs, horizontaal gelaagd met rietresten
950711	525	625	klei	lichtbruingrijs iets horizontaal gelaagd, met plantenresten, Operculae van Bithynia, twee boomresten op 5,95m-6,05m en 6,10m - 6,20m

A.11 **Rottige-Meenthe 1** **RM-1** **Friesland**

Boornummer: 538-189-0008
X-coordinaat: 189.370
Y-coordinaat: 538.650
Maaiveldhoogte: -80 cm
Provincie: Friesland
Boortraject: 0 - 300 cm

monster	boven	onder	grond-soort	omschrijving
	0	16	leeg	kernverlies
950228	16	45	veen	donkerbruin, veraard
950253	45	67	veen	donkerbruin, veraard, kleiïg bandje op 0,45m, 0,48m, 0,55m en 0,67m
950278	67	100	veen	donkerbruin, veraard, enkele rietresten (lijkt recent!); bevat duidelijke kleipebbles tussen 0,67m en 0,78m
	100	106	veen	naval
950295	106	118	veen	grijsbruin met wollegras
950297	118	127	veen	grijsbruin, geen goed herkenbare plantenresten (mogelijk verdrinking)
950322	127	200	veen	lichtbruin, rietveen in top iets wollegras
950371	200	246	veen	bruin, rietveen
950393	246	251	veen	zwartbruin, rietveen, gyttja-achtig
950373	251	255	klei	met organisch materiaal
950375	255	265	klei	zandig, met organisch materiaal
950375	265	300	zand	iets slibhoudend, van 2,68m - 2,77m iets grofzandiger, ijzeraanrijking van 2,79m - 2,84m en 2,92m - 2,99m

A.12 **Uitdam 1** **UD-1** **Noord-Holland**

Boornummer: 492-132-0007
X-coordinaat: 132.595
Y-coordinaat: 492.960
Maaiveldhoogte: -120 cm
Provincie: Noord-Holland
Boortraject: 0 - 600 cm

monster	boven	onder	grond -soort	omschrijving
960185	0	5	grond	grijs-geel, opgebracht
960186	5	18	grond	grijs-geel, opgebracht
960187	18	29	klei	matig siltig, sterk humeus, bruin, 38 % lutum
960188	29	34	klei	matig siltig, matig humeus, grijs-geel, 38 % lutum, kalkloos
960189	34	74	klei	matig siltig, matig humeus, grijs, mogelijk omgewerkt veen, in onduidelijke patroon, met venige inschakelingen, 38 % lutum, kalkloos
960190	74	82	veen	veenmosveen, donkerbruin
960191	82	166	veen	bruin, oligotroof
960192	166	179	veen	bruin, overgangsveen
960193	179	261	veen	bruin, riet, galigaan
960194	261	277	veen	donkerbruin, lijkt op verdrinkingsfase, fijne plantenresten, mogelijk iets klastisch
960195	277	356	veen	rietveen, donkerbruin
960196	356	425	klei	matig siltig, grijs-groen, pyrietvekken aan de basis, 40 % lutum,kalkloos
960197	425	435	veen	rietveen, bruin
960198	435	456	klei	matig siltig, matig humeus, grijs, 40 % lutum, kalkloos
960199	456	531	klei	matig siltig, grijs, 36 % lutum, kalkrijk
960200	531	600	klei	matig siltig, grijs, 36 % lutum, kalkrijk

A.13 Warder 1 WD-1 Noord-Holland

Boornummer: 509-130-0009
X-coordinaat: 130.770
Y-coordinaat: 509.160
Maaiveldhoogte: -10 cm
Provincie: Noord-Holland
Boortraject: 0 - 400 cm

monster	boven	onder	grond soort	omschrijving
960201	0	5	klei	matig siltig, doorworteling, weinig lagen, grijs-bruin, 40 % lutum, kalkloos
960202	5	48	klei	matig siltig, doorworteling, weinig lagen, grijs-bruin, 40 % lutum, kalkloos
960203	48	68	klei	matig siltig, grijs, 40 % lutum, kalkloos
960204	68	75	klei	matig siltig, matig humeus, bruin-grijs, weinig plantenresten, plantenresten zijn verspoeld, 40 % lutum, kalkloos
960205	75	133	klei	matig siltig, grijs, 118-133 rietconcentratie, 118-133 gladde klei, schelp aan de basis, 38 % lutum, kalkloos
960206	133	170	veen	veenmosveen, donker-bruin
960207	170	200	veen	veenmosveen, donker-bruin
960208	200	230	veen	veenmosveen, donker-bruin
960209	230	260	veen	veenmosveen, donker-bruin
960210	260	262	veen	veenmosveen, bruin
960211	262	268	veen	rietveen, donker-bruin, aan de top overgangsveen
960212	268	300	veen	rietveen, donker-bruin, aan de top overgangsveen
960213	300	317	klei	matig siltig, grijs-groen, doorgroeid, 38 % lutum, kalkrijk
960214	317	360	klei	matig siltig, grijs-groen, doorgroeid, 38 % lutum, kalkrijk
960215	360	400	klei	matig siltig, grijs-groen, doorgroeid, 38 % lutum, kalkrijk

A.14 **Wartena 2** **WT-2** **Friesland**

Boornummer: 571-187-0014
X-coordinaat: 187.590
Y-coordinaat: 571.790
Maaiveldhoogte: -70 cm
Provincie: Friesland
Boortraject: 0 - 300 cm

monster	boven	onder	grond -soort	omschrijving
970001	0	29	klei	klei, grijs-bruin, kalkloos, weinig doorworteld, 35 % lutum
970002	29	68	veen	matig amorf veen, zwart-bruin
970004	68	75	klei	klei, grijs, kalkloos, weinig lagen, oplichtingslaag, 35 % lutum
970005	75	100	veen	rietveen, bruin
	100	125	naval	
970007	125	150	veen	wollegrasveen, donkerbruin, basis geleidelijk
970008	150	200	veen	wollegrasveen, donkerbruin
970012	200	224	veen	wollegrasveen, donkerbruin
970014	224	251	veen	mosveen, zwart
970016	251	275	zand	zand, bruin-geel, kalkloos, zandmediaan 160
970018	275	300	zand	zand, groen-geel, sterk siltig, zandmediaan 170, weinig fijn grind,

Bijlage B1: Droge stof- en watergehalte van de monsters

Bijlage B.1: organisch stof- en watergehaltes van de monsters

boring	sample	type	bijzonderheden	diepte		% water	% C	% org. stof
BG-1	970201	toplaag	toplaag	10	27	38.50	7.99	13.77
BG-1	970202	klei	klei	27	40	47.00	8.01	13.81
BG-1	970203	veen	veen met hout	40	50	65.75	21.96	37.86
BG-1	970205	klei	klei, humeus	70	78	77.50	24.15	41.64
BG-1	970210	klei	klei, humeus	150	198	63.75	6.62	11.41
BG-1	970213	veen	bosveen	223	250	86.75	34.87	60.12
BG-1	970214	veen	bosveen	250	286	82.25	19.31	33.29
BG-1	970219	klei	klei	350	362	45.25	4.73	8.15
BG-1	970223	klei	klei	384	450	46.25	4.55	7.85
BG-1	970230	veen	rietveen	609	617	80.50	40.07	69.09
BG-1	970232	veen	rietveen	650	672	79.00	30.25	52.16
BG-1	970233	veen	rietveen	672	686	67.75	19.00	32.75

boring	sample	type	bijzonderheden	diepte		% water	% C	% org. stof
DM-1	970152	toplaag	toplaag	0	15	33.25	7.73	13.32
DM-1	970153	klei	klei, humeus	15	50	36.00	5.87	10.12
DM-1	970154	veen	bosveen	50	80	58.50	17.67	30.46
DM-1	970155	klei	klei, humeus	80	140	66.97	15.30	26.38
DM-1	970156	klei	klei, humeus	140	190	64.00	13.11	22.59
DM-1	970157	veen	amorf	190	200	66.25	14.38	24.79
DM-1	970158	klei	klei, humeus	200	270	63.50	11.28	19.44
DM-1	970159	klei	klei, humeus	270	340	68.75	15.59	26.87
DM-1	970160	veen	bosveen	340	350	77.75	22.82	39.34
DM-1	970161	klei	klei, humeus	350	366	71.75	18.08	31.17
DM-1	970162	veen	rietveen	366	410	77.25	23.07	39.77
DM-1	970163	klei	klei met riet	410	520	64.50	6.91	11.91
DM-1	970164	veen	rietveen	520	590	81.50	32.06	55.28
DM-1	970165	klei	klei	590	592	60.50	6.91	11.91
DM-1	970166	veen	rietveen	592	625	82.00	40.73	70.22
DM-1	970167	klei	klei, humeus	625	670	71.50	18.45	31.81
DM-1	970168	veen	rietveen	670	678	77.50	27.61	47.60
DM-1	970169	zand	zand	678	685	45.50	5.30	9.13
DM-1	970170	zand	zand	685	725	15.50	0.00	0.00
DM-1	970177	veen	amorf	725	745	80.00	32.30	55.69
DM-1	970186	veen	mosveen	745	800	81.50	35.60	61.38

Bijlage B.1: organisch stof- en watergehaltes van de monsters

boring	sample	type	bijzonderheden	diepte		% water	% C	% org. stof
GP-1	970113	veen	mosveen	0	10	76.60	44.86	77.34
GP-1	970114	veen	veraard	10	20	85.22	49.18	84.78
GP-1	970115	veen	mosveen	20	40	88.73	45.87	79.08
GP-1	970116	veen	mosveen	40	60	95.96	52.85	91.12
GP-1	970117	veen	mosveen	60	80	89.81	56.90	98.10
GP-1	970118	veen	mosveen	80	100	87.25	56.96	98.20

boring	sample	type	bijzonderheden	diepte		% water	% C	% org. stof
GP-3	970128	veen	mosveen	0	10	31.94	28.67	49.43
GP-3	970129	veen	mosveen	10	20	44.97	41.88	72.20
GP-3	970130	veen	mosveen	20	40	72.42	45.47	78.39
GP-3	970131	veen	mosveen	40	60	84.00	54.41	93.80
GP-3	970132	veen	mosveen	60	80	76.79	51.05	88.02
GP-3	970133	veen	mosveen	80	90	75.06	45.46	78.38
GP-3	970134	leem	leem	90	100	25.50	2.16	3.73

boring	sample	type	bijzonderheden	diepte		% water	% C	% org. stof
GP-4	970141	veen	mosveen	10	20	65.00	47.61	82.08
GP-4	970142	veen	mosveen	20	30	70.00	45.73	78.84
GP-4	970147	veen	mosveen	30	40	68.00	48.80	84.14
GP-4	970146	veen	mosveen	40	60	73.00	46.90	80.86
GP-4	970145	veen	mosveen	60	80	75.25	47.09	81.19
GP-4	970144	veen	mosveen	80	100	78.25	47.76	82.34
GP-4	970143	veen	mosveen	100	120	82.75	48.70	83.97
GP-4	970149	leem	leem	120	130	54.50	16.17	27.87
GP-4	970148	leem	leem	130	150	45.00	10.17	17.54

boring	sample	type	bijzonderheden	diepte		% water	% C	% org. stof
GP-opp	970151	veen	mosveen	0	5	42.00	46.97	80.97
GP-opp	970140	veen	mosveen	0	10	61.75	48.25	83.19
GP-opp	970127	veen	veraard	0	20	64.84	35.79	61.71
GP-opp	970137	veen	mosveen	15	20	62.50	52.24	90.07

Bijlage B.1: organisch stof- en watergehaltes van de monsters

boring	sample	type	bijzonderheden	diepte		% water	% C	% org. stof
HM-2	970055	toplaag	toplaag	0	24	35.28	7.61	13.12
HM-2	970056	veen	mosveen	24	78	86.81	49.35	85.08
HM-2	970058	veen	mosveen	78	85	85.85	46.81	80.70
HM-2	970059	veen	mosveen	85	112	89.08	55.03	94.87
HM-2	970060	veen	mosveen	112	131	89.23	49.90	86.03
HM-2	970061	veen	wollegras	131	165	89.49	51.12	88.13
HM-2	970063	veen	rietveen	165	233	85.96	41.64	71.79
HM-2	970067	zand	zand	233	250	20.51	0.64	1.10

boring	sample	type	bijzonderheden	diepte		% water	% C	% org. stof
KD-1	960164	toplaag	toplaag	0	28	37.47	11.30	19.48
KD-1	960165	veen	mosveen	28	65	85.71	45.40	78.28
KD-1	960166	veen	wollegras	65	86	87.04	50.20	86.55
KD-1	960167	veen	wollegras	86	149	89.15	50.70	87.41
KD-1	960168	veen	rietveen	149	163	89.96	51.20	88.28
KD-1	960169	veen	rietveen	163	217	86.54	33.90	58.45
KD-1	960170	klei	klei	217	240	48.04	3.00	5.17
KD-1	960171	klei	klei	240	300	24.76	1.10	1.90

boring	sample	type	bijzonderheden	diepte		% water	% C	% org. stof
KV-1	950427	toplaag	toplaag	23	43	39.49	9.90	17.07
KV-1	950429	veen	mosveen	43	59	83.08	45.00	77.59
KV-1	950432	veen	wollegras	64	76	86.93	50.60	87.24
KV-1	950434	veen	veraard	76	100	87.70	57.10	98.45
KV-1	950483	veen	wollegras	107	148	87.24	57.00	98.28
KV-1	950485	veen	rietveen	148	176	80.23	48.90	84.31
KV-1	950507	klei	klei	166	175	70.16	23.40	40.34
KV-1	950484	zand	zand	176	200	44.85	7.70	13.28

boring	sample	type	bijzonderheden	diepte		% water	% C	% org. stof
LW-2	970031	toplaag	toplaag	0	15	45.82	15.83	27.29
LW-2	970032	veen	mosveen	29	60	83.71	50.50	87.06
LW-2	970034	veen	mosveen	60	103	88.36	50.91	87.77
LW-2	970036	veen	rietveen	103	134	88.68	51.96	89.59
LW-2	970037	veen	rietveen	134	152	88.34	52.43	90.39
LW-2	970038	veen	rietveen	152	203	87.19	49.61	85.53
LW-2	970039	veen	gyttja	203	208	73.13	20.73	35.74
LW-2	970040	veen	gyttja	208	218	45.77	7.96	13.72
LW-2	970041	zand	zand	218	260	18.66	0.52	0.90

Bijlage B.1: organisch stof- en watergehaltes van de monsters

boring	sample	type	bijzonderheden	diepte		% water	% C	% org. stof
PM-1	950514	toplaag	toplaag	20	26	39.72	13.00	22.41
PM-1	950515	klei	toplaag	26	36	33.18	8.00	13.79
PM-1	950537	veen	veraard	75	81	78.23	37.20	64.14
PM-1	950539	veen	bosveen met riet	81	125	82.56	42.50	73.28
PM-1	950576	veen	bosveen met riet	135	207	84.92	43.10	74.31
PM-1	950578	klei	rivierklei	207	225	54.64	3.40	5.86
PM-1	950619	klei	klei & gyttja	233	280	60.25	10.50	18.10
PM-1	950630	veen	bosveen	288	320	76.30	22.40	38.62
PM-1	950650	veen	bosveen	345	388	80.75	31.30	53.97
PM-1	950652	klei	rivierklei	388	425	49.53	5.30	9.14
PM-1	950679	klei	rivierklei	430	448	52.96	7.20	12.41
PM-1	950681	klei	klei & gyttja	448	490	66.90	10.20	17.59
PM-1	950683	klei	rivierklei	490	525	51.48	5.50	9.48
PM-1	950711	klei	rivierklei	525	625	56.70	6.60	11.38

boring	sample	type	bijzonderheden	diepte		% water	% C	% org. stof
RM-1	950228	toplaag	toplaag	16	46	51.34	22.10	38.10
RM-1	950253	veen	veen, kleiig	46	68	74.44	36.90	63.62
RM-1	950278	veen	rietveen	68	97	72.26	32.40	55.86
RM-1	950295	veen	wollegras	106	118	86.76	43.70	75.34
RM-1	950297	veen	veraard	118	127	91.83	52.90	91.21
RM-1	950322	veen	rietveen	127	200	90.77	56.40	97.24
RM-1	950371	veen	rietveen	200	252	89.60	53.20	91.72
RM-1	950393	veen	gyttja-achtig	246	255	81.30	46.40	80.00
RM-1	950373	klei	ovrige klei	252	256	48.79	6.80	11.72
RM-1	950375	klei	ovrige klei	256	300	22.64	1.60	2.76

boring	sample	type	bijzonderheden	diepte		% water	% C	% org. stof
UD-1	960185	toplaag	toplaag	0	5	39.01	14.00	24.14
UD-1	960186	toplaag	toplaag	5	18	11.83	2.30	3.97
UD-1	960187	klei	klei, humeus	18	29	51.34	16.70	28.79
UD-1	960188	klei	klei, humeus	29	34	48.60	9.30	16.03
UD-1	960189	klei	klei	34	74	70.53	18.40	31.72
UD-1	960190	veen	mosveen	74	82	89.26	44.40	76.55
UD-1	960191	veen	wollegras	82	166	88.98	49.60	85.52
UD-1	960192	veen	rietveen	166	179	91.06	50.70	87.41
UD-1	960193	veen	rietveen	179	261	90.26	48.40	83.45
UD-1	960194	veen	rietveen	261	277	89.25	45.50	78.45
UD-1	960195	veen	rietveen	277	356	90.31	48.20	83.10
UD-1	960196	klei	klei met riet	356	425	53.92	3.80	6.55
UD-1	960197	veen	rietveen	425	435	84.58	29.70	51.21
UD-1	960198	klei	klei, humeus	435	456	79.47	17.00	29.31
UD-1	960199	klei	klei, humeus	456	531	62.47	4.00	6.90
UD-1	960200	klei	klei	531	600	36.29	2.80	4.83

Bijlage B.1: organisch stof- en watergehaltes van de monsters

boring	sample	type	bijzonderheden	diepte		% water	% C	% org. stof
WD-1	960201	toplaag	toplaag	0	5	35.40	12.20	21.03
WD-1	960202	klei	klei	5	48	47.63	6.40	11.03
WD-1	960203	klei	klei	48	68	54.35	7.70	13.28
WD-1	960204	klei	klei, humeus	68	75	75.11	20.50	35.34
WD-1	960205	klei	klei met riet	75	133	68.14	12.10	20.86
WD-1	960206	veen	mosveen	133	170	89.38	50.00	86.21
WD-1	960207	veen	mosveen	170	200	89.72	48.30	83.28
WD-1	960208	veen	mosveen	200	230	90.98	45.40	78.28
WD-1	960209	veen	mosveen	230	260	88.40	49.10	84.66
WD-1	960210	veen	mosveen	260	262	89.00		
WD-1	960211	veen	rietveen	262	268	88.17	49.20	84.83
WD-1	960212	veen	rietveen	268	300	87.68	49.10	84.66
WD-1	960213	klei	klei	300	317	57.93	7.40	12.76
WD-1	960214	klei	klei	317	360	49.49	2.20	3.79
WD-1	960215	klei	klei	360	400	54.59	3.30	5.69

boring	sample	type	bijzonderheden	diepte		% water	% C	% org. stof
WT-2	970001	toplaag	toplaag	0	29	39.26	10.13	17.47
WT-2	970002	veen	veraard	29	68	85.48	49.34	85.06
WT-2	970004	klei	klei	68	75	60.53	6.58	11.34
WT-2	970005	veen	rietveen	75	100	89.90	48.40	83.45
WT-2	970007	veen	wollegras	130	150	89.24	49.15	84.74
WT-2	970008	veen	wollegras	150	200	89.66	50.81	87.60
WT-2	970012	veen	wollegras	200	224	88.64	53.21	91.73
WT-2	970014	veen	mosveen	224	251	86.73	48.55	83.70
WT-2	970016	zand	zand	251	275	19.23	0.78	1.35
WT-2	970018	zand	zand	275	300	13.46	0.28	0.48

Bijlage B2: Resultaten PAK-analyses per boring

Bijlage B.2.1: PAK-analyses boring Bodengraven 1 op basis van droge stof

boring	sample	type	bijzonderheden	diepte		NAF	ACN	FLR	FEN	ANT	FLT	PYR	BAA	CHR	BBF	BKF	BAP	DBA	BPE	INP	EPA	VROM	cluster
BG-1	970201	toplaag	toplaag	10	27	-	0.10	0.00	0.04	0.00	0.09	0.07	0.04	0.06	0.08	0.03	0.03	0.01	0.05	0.05	0.66	0.39	1
BG-1	970202	klei	klei	27	40	-	-	0.00	0.02	0.00	0.03	-	-	0.01	0.01	-	0.01	-	-	-	0.09	0.08	1
BG-1	970203	veen	veen met hout	40	50	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.01	-	-	-	-	-	0.01	-	1
BG-1	970205	klei	klei, humeus	70	78	-	0.28	0.00	0.06	-	-	-	-	0.01	0.25	-	-	-	-	-	0.60	0.06	2
BG-1	970210	klei	klei, humeus	150	198	-	-	0.00	0.03	-	-	-	-	-	0.09	-	-	0.03	-	-	0.15	0.03	1
BG-1	970213	veen	bosveen	223	250	-	-	0.01	-	-	-	-	0.11	-	0.16	-	-	0.06	-	-	0.35	0.11	1
BG-1	970214	veen	bosveen	250	286	-	-	0.00	-	-	-	-	0.04	-	0.06	-	-	0.04	-	-	0.14	0.04	1
BG-1	970219	klei	klei	350	362	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.07	-	-	0.02	-	-	0.09	-	1
BG-1	970223	klei	klei	384	450	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.05	-	-	-	-	-	0.05	-	1
BG-1	970230	veen	rietveen	609	617	-	0.15	0.03	0.03	0.01	-	-	-	-	0.07	-	-	-	-	-	0.30	0.04	1
BG-1	970232	veen	rietveen	650	672	0.18	0.27	0.01	0.04	-	-	-	-	0.01	0.05	0.03	-	-	0.11	-	0.69	0.37	2
BG-1	970233	veen	rietveen	672	686	-	0.10	0.02	0.00	0.01	-	-	-	-	0.06	-	-	-	-	-	0.19	0.01	1

Bijlage B.2.2: PAK-analyses boring De Meije I op basis van droge stof

boring	sample	type	bijzonderheden	diepte		NAF	ACN	FLR	FEN	ANT	FLT	PYR	BAA	CHR	BBF	BKF	BAP	DBA	BPE	INP	EPA	VROM	cluster
DM-1	970152	toplaag	toplaag	0	15	-	-	-	0.06	-	0.11	0.10	0.05	0.09	0.07	0.02	0.04	0.05	0.06	0.05	0.69	0.47	1
DM-1	970153	klei	klei, humeus	15	50	-	-	-	0.08	-	0.13	0.10	0.05	0.08	0.08	0.03	0.04	0.01	0.05	0.04	0.68	0.49	1
DM-1	970154	veen	bosveen	50	80	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1
DM-1	970155	klei	klei, humeus	80	140	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1
DM-1	970156	klei	klei, humeus	140	190	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.11	-	-	0.01	-	-	0.12	-	1
DM-1	970157	veen	amorf	190	200	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.13	-	-	-	0.01	-	0.14	0.01	1
DM-1	970158	klei	klei, humeus	200	270	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.17	-	-	0.02	-	-	0.19	-	1
DM-1	970159	klei	klei, humeus	270	340	0.09	0.06	0.01	0.02	-	-	-	-	0.01	0.21	-	-	0.02	-	-	0.43	0.12	1
DM-1	970160	veen	bosveen	340	350	-	0.09	0.02	0.02	-	-	-	-	-	0.31	-	-	0.15	0.08	-	0.68	0.11	1
DM-1	970161	klei	klei, humeus	350	366	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.23	-	-	0.01	-	-	0.24	-	1
DM-1	970162	veen	rietveen	366	410	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.11	-	-	-	-	-	0.11	-	1
DM-1	970163	klei	klei met riet	410	520	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.04	-	-	-	-	-	0.04	-	1
DM-1	970164	veen	rietveen	520	590	-	0.11	0.03	0.04	0.01	-	-	-	-	0.05	-	-	0.06	-	-	0.30	0.05	1
DM-1	970165	klei	klei	590	592	-	0.07	0.01	0.02	0.01	-	-	-	-	0.02	-	-	-	-	-	0.13	0.03	1
DM-1	970166	veen	rietveen	592	625	0.09	0.12	0.03	0.02	0.01	-	-	-	-	0.07	-	-	-	-	-	0.35	0.13	1
DM-1	970167	klei	klei, humeus	625	670	-	0.07	0.02	0.03	0.01	-	-	-	-	0.02	-	-	-	-	-	0.15	0.03	1
DM-1	970168	veen	rietveen	670	678	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.56	-	-	0.04	-	-	0.60	-	1
DM-1	970169	zand	zand	678	685	-	-	-	0.01	-	-	-	-	-	0.58	0.00	-	0.01	-	-	0.60	0.01	1
DM-1	970170	zand	zand	685	725	0.08	-	-	-	-	-	-	-	-	0.01	-	-	-	-	-	0.09	0.08	1
DM-1	970177	veen	amorf	725	745	0.05	0.09	0.02	0.03	-	-	-	-	-	0.03	-	-	0.04	-	-	0.27	0.09	1
DM-1	970186	veen	mosveen	745	800	-	0.13	0.03	0.04	-	-	-	-	-	0.24	-	-	-	-	-	0.43	0.04	1

Bijlage B.2.3: PAK-analyses boring Groote Peel op basis van droge stof

boring	sample	type	bijzonderheden	diepte		NAF	ACN	FLR	FEN	ANT	FLT	PYR	BAA	CHR	BBF	BKF	BAP	DBA	BPE	INP	EPA	VROM	cluster
GP-1	970113	veen	mosveen	0	10	-	-	-	0.02	-	0.07	0.10	-	0.08	0.20	0.06	-	-	-	-	0.53	0.23	1
GP-1	970114	veen	veraard	10	20	-	-	-	0.05	-	0.03	-	0.05	0.03	0.06	-	0.01	-	-	-	0.22	0.16	1
GP-1	970115	veen	mosveen	20	40	-	-	-	0.01	-	0.12	0.20	-	0.12	0.30	0.09	0.01	0.01	1.12	-	1.98	1.47	6
GP-1	970116	veen	mosveen	40	60	-	-	-	0.20	-	-	-	0.55	0.32	0.15	0.01	0.12	-	36.06	-	37.42	37.27	11
GP-1	970117	veen	mosveen	60	80	-	-	-	-	-	-	-	-	6.14	-	-	-	-	1.65	-	7.79	7.79	10
GP-1	970118	veen	mosveen	80	100	-	-	-	-	-	-	-	0.26	0.27	0.01	-	-	-	0.41	-	0.96	0.95	7

Bijlage B.2.4: PAK-analyses boring Groote Peel 3 op basis van droge stof

boring	sample	type	bijzonderheden	diepte		NAF	ACN	FLR	FEN	ANT	FLT	PYR	BAA	CHR	BBF	BKF	BAP	DBA	BPE	INP	EPA	VROM	cluster
GP-3	970128	veen	mosveen	0	10	-	0.01	-	0.08	0.01	0.23	0.16	0.06	0.13	0.20	0.07	0.05	0.02	0.52	-	1.55	1.15	7
GP-3	970129	veen	mosveen	10	20	-	-	-	0.02	0.01	0.01	-	0.01	0.02	0.06	0.01	-	-	1.12	-	1.26	1.20	7
GP-3	970130	veen	mosveen	20	40	-	-	-	0.02	-	0.08	-	-	0.04	0.08	0.02	0.00	0.00	0.77	-	1.02	0.93	7
GP-3	970131	veen	mosveen	40	60	-	-	-	0.01	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2.08	-	2.09	2.09	5
GP-3	970132	veen	mosveen	60	80	-	-	-	-	-	-	-	-	0.01	0.03	0.00	-	-	2.33	-	2.37	2.34	5
GP-3	970133	veen	mosveen	80	90	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.12	-	0.12	0.12	1
GP-3	970134	leem	leem	90	100	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.05	-	-	-	0.17	-	0.22	0.17	1

Bijlage B.2.5: PAK-analyses boring Groote Peel 4 op basis van droge stof

boring	sample	type	bijzonderheden	diepte		NAF	ACN	FLR	FEN	ANT	FLT	PYR	BAA	CHR	BBF	BKF	BAP	DBA	BPE	INP	EPA	VROM	cluster
GP-4	970141	veen	mosveen	10	20	-	-	-	0.02	-	0.09	0.09	0.01	0.12	0.15	0.05	0.01	0.01	1.09	0.06	1.69	1.45	7
GP-4	970142	veen	mosveen	20	30	-	-	-	0.00	-	-	-	-	-	0.11	0.03	-	0.00	0.29	0.05	0.48	0.37	1
GP-4	970147	veen	mosveen	30	40	-	0.10	-	0.01	-	0.08	0.10	-	0.07	0.14	0.04	0.01	0.01	0.95	0.05	1.54	1.21	7
GP-4	970146	veen	mosveen	40	60	-	-	-	-	-	0.04	-	-	-	0.10	0.03	0.01	0.00	0.79	0.04	1.01	0.90	7
GP-4	970145	veen	mosveen	60	80	-	-	-	0.01	-	0.09	0.11	-	0.13	0.19	0.06	0.02	0.02	0.78	0.08	1.48	1.16	7
GP-4	970144	veen	mosveen	80	100	-	-	-	0.05	-	0.17	0.14	0.01	0.13	0.30	0.09	0.02	0.03	1.19	0.14	2.28	1.82	6
GP-4	970143	veen	mosveen	100	120	-	-	-	0.02	-	0.24	0.18	-	0.10	0.26	0.08	0.02	0.01	1.25	0.09	2.26	1.80	6
GP-4	970149	leem	leem	120	130	-	-	-	0.00	-	0.01	0.05	0.03	0.05	0.02	-	-	-	0.03	-	0.19	0.12	1
GP-4	970148	leem	leem	130	150	-	-	-	-	-	-	-	0.06	0.62	0.01	-	-	0.01	0.02	-	0.72	0.70	3

boring	sample	type	bijzonderheden	diepte		NAF	ACN	FLR	FEN	ANT	FLT	PYR	BAA	CHR	BBF	BKF	BAP	DBA	BPE	INP	EPA	VROM	cluster
GP-opp	970151	veen	mosveen	0	5	-	-	-	-	-	0.05	0.06	-	0.07	0.09	0.03	0.00	0.00	0.15	0.03	0.49	0.33	1
GP-opp	970140	veen	mosveen	0	10	-	-	-	0.05	-	0.15	0.09	0.03	0.16	0.22	0.07	0.02	0.01	0.46	0.09	1.37	1.04	7
GP-opp	970127	veen	veraard	0	20	-	0.07	-	0.15	0.02	0.36	0.23	0.24	0.70	0.26	0.25	0.12	-	-	-	2.39	1.83	3
GP-opp	970137	veen	mosveen	15	20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.00	-	-	-	-	-	0.00	-	1

Bijlage B.2.6: PAK-analyses boring Hommerts 2 op basis van droge stof

boring	sample	type	bijzonderheden	diepte		NAF	ACN	FLR	FEN	ANT	FLT	PYR	BAA	CHR	BBF	BKF	BAP	DBA	BPE	INP	EPA	VROM	cluster
HM-2	970055	toplaag	toplaag	0	24	0.05	-	-	-	-	-	-	-	-	0.03	0.01	-	-	0.10	-	0.18	0.16	1
HM-2	970056	veen	mosveen	24	78	0.21	-	-	0.11	-	-	-	-	-	0.11	0.03	-	-	1.02	-	1.48	1.37	7
HM-2	970060	veen	mosveen	112	131	-	-	-	0.13	-	-	-	-	-	0.12	0.04	0.00	0.11	0.90	-	1.30	1.08	7
HM-2	970061	veen	wollegras	131	165	0.52	-	-	0.11	-	-	-	0.05	0.06	0.07	0.09	0.10	-	0.92	-	1.93	1.86	7
HM-2	970063	veen	rietveen	165	233	0.20	0.29	0.09	0.12	-	-	-	-	-	0.27	-	-	0.03	0.21	-	1.20	0.53	2
HM-2	970067	zand	zand	233	250	0.09	-	0.02	0.01	-	-	-	-	-	0.01	0.01	-	-	0.05	-	0.20	0.16	1

Bijlage B.2.7: PAK-analyses boring Knollendam 1 op basis van droge stof

boring	sample	type	bijzonderheden	diepte		NAF	ACN	FLR	FEN	ANT	FLT	PYR	BAA	CHR	BBF	BKF	BAP	DBA	BPE	INP	EPA	VROM	cluster
KD-1	960164	toplaag	toplaag	0	28	0.26	-	0.08	0.09	0.01	0.20	0.21	0.06	0.07	0.11	0.08	0.11	-	0.23	-	1.51	1.11	2
KD-1	960165	veen	mosveen	28	65	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.26	0.05	-	-	0.32	0.26	1
KD-1	960166	veen	wollegras	65	86	-	-	-	0.04	-	-	-	0.09	-	-	-	0.02	0.01	-	-	0.16	0.15	1
KD-1	960167	veen	wollegras	86	149	-	-	0.08	-	0.01	0.14	-	0.04	-	0.05	0.05	0.06	0.05	-	-	0.47	0.29	1
KD-1	960168	veen	rietveen	149	163	-	0.53	0.12	0.15	0.02	-	-	0.05	0.06	0.10	0.07	0.10	0.09	-	-	1.28	0.44	2
KD-1	960169	veen	rietveen	163	217	0.25	-	-	0.08	-	-	-	0.02	0.04	0.04	-	-	-	-	-	0.42	0.38	2
KD-1	960170	klei	klei	217	240	0.02	-	-	0.09	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.11	0.11	1
KD-1	960171	klei	klei	240	300	-	-	-	0.05	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.12	-	0.17	0.17	1

Bijlage B.2.8: PAK-analyses boring Kloosterveen 1 op basis van droge stof

boring	sample	type	bijzonderheden	diepte		NAF	ACN	FLR	FEN	ANT	FLT	PYR	BAA	CHR	BBF	BKF	BAP	DBA	BPE	INP	EPA	VROM	cluster
KV-1	950429	veen	mosveen	43	59	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1
KV-1	950434	veen	veraard	76	100	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.03	-	-	-	5.36	-	5.39	5.36	8
KV-1	950484	zand	zand	166	175	-	-	0.00	0.24	0.00	-	-	-	-	0.28	0.03	-	-	1.93	-	2.48	2.20	5
KV-1	950507	klei	klei, humeus	176	200	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1

Bijlage B.2.9: PAK-analyses boring Langweer 2 op basis van droge stof

boring	sample	type	bijzonderheden	diepte		NAF	ACN	FLR	FEN	ANT	FLT	PYR	BAA	CHR	BBF	BKF	BAP	DBA	BPE	INP	EPA	VROM	cluster
LW-2	970031	toplaag	toplaag	0	15	-	-	-	0.04	-	0.05	-	-	0.02	0.06	0.02	0.02	0.02	0.29	0.02	0.55	0.47	1
LW-2	970032	veen	mosveen	29	60	0.17	0.25	-	0.09	-	-	-	-	-	0.08	-	-	-	0.66	-	1.25	0.92	7
LW-2	970036	veen	rietveen	103	134	0.23	-	-	-	-	-	-	-	-	0.15	-	-	0.16	1.88	-	2.42	2.11	5
LW-2	970037	veen	rietveen	134	152	0.24	-	-	-	-	-	-	-	-	0.62	-	-	0.16	0.61	-	1.64	0.85	7
LW-2	970038	veen	rietveen	152	203	0.49	0.58	0.13	0.12	0.02	-	-	-	-	0.06	0.08	-	-	0.18	-	1.66	0.89	2
LW-2	970039	veen	gyttja	203	208	-	-	0.05	0.08	-	-	-	-	-	0.21	-	-	-	-	-	0.35	0.08	1
LW-2	970040	veen	gyttja	208	218	0.05	-	-	-	-	-	-	-	-	0.03	-	-	-	-	-	0.07	0.05	1
LW-2	970041	zand	zand	218	260	0.08	-	0.02	0.01	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.01	-	0.13	0.11	1

Bijlage B.2.10: PAK-analyses boring Polder Molenaarsgraaf 1 op basis van droge stof

boring	sample	type	bijzonderheden	diepte		NAF	ACN	FLR	FEN	ANT	FLT	PYR	BAA	CHR	BBF	BKF	BAP	DBA	BPE	INP	EPA	VROM	cluster
PM-1	950515	toplaag	toplaag	26	36	-	-	-	-	-	-	-	0.02	0.05	0.04	0.01	0.02	-	0.20	-	0.35	0.31	1
PM-1	950537	veen	veraard	75	81	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.01	-	-	-	-	-	0.01	-	1
PM-1	950576	veen	bosveen met riet	135	207	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1
PM-1	950578	klei	rivierklei	207	225	-	-	-	0.01	-	-	-	-	-	0.06	-	-	-	-	-	0.07	0.01	1
PM-1	950619	klei	klei & gyttja	233	280	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.12	-	-	-	-	-	0.12	-	1
PM-1	950650	veen	bosveen	345	388	-	-	-	0.11	-	-	-	-	-	0.06	-	-	-	0.09	-	0.25	0.20	1
PM-1	950652	klei	rivierklei	388	425	-	-	-	0.05	-	-	-	-	-	0.02	-	-	-	-	-	0.07	0.05	1
PM-1	950681	klei	klei & gyttja	448	490	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.15	-	-	-	0.15	-	0.29	0.15	1
PM-1	950683	klei	rivierklei	490	525	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.14	-	-	-	-	-	0.14	-	1
PM-1	950711	klei	rivierklei	525	625	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.10	-	-	-	-	-	0.10	-	1

Bijlage B.2.11: PAK-analyses boring Rottige Meente 1 op basis van droge stof

boring	sample	type	bijzonderheden	diepte		NAF	ACN	FLR	FEN	ANT	FLT	PYR	BAA	CHR	BBF	BKF	BAP	DBA	BPE	INP	EPA	VROM	cluster
RM-1	950253	veen	veraard	46	68	-	-	-	0.25	0.01	0.50	0.40	0.19	0.33	0.24	0.09	0.17	-	1.50	-	3.68	3.04	6
RM-1	950278	veen	veraard	68	97	-	-	-	0.33	0.06	1.42	1.28	0.67	0.84	0.55	0.29	0.55	0.08	0.81	0.31	7.18	5.28	9
RM-1	950297	veen	veraard	118	127	-	-	-	0.22	-	-	-	-	-	-	-	0.01	-	1.60	-	1.84	1.84	5
RM-1	950322	veen	rietveen	127	200	-	-	-	0.12	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.57	-	1.68	1.68	5
RM-1	950371	veen	rietveen	200	252	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.09	-	0.01	-	3.43	-	3.53	3.44	8
RM-1	950373	klei	klei	246	255	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.37	-	-	-	0.05	-	0.42	0.05	1
RM-1	950393	veen	gyttj-achtig	252	256	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.01	-	-	-	-	-	0.01	-	1

Bijlage B.2.12: PAK-analyses boring Uitdam 1 op basis van droge stof

boring	sample	type	bijzonderheden	diepte		NAF	ACN	FLR	FEN	ANT	FLT	PYR	BAA	CHR	BBF	BKF	BAP	DBA	BPE	INP	EPA	VROM	cluster
UD-1	960185	toplaag	toplaag	0	5	-	0.41	0.10	0.31	0.07	0.80	0.67	0.48	0.27	0.41	0.24	0.38	0.06	-	-	4.20	2.56	3
UD-1	960186	toplaag	toplaag	5	18	0.25	0.36	0.08	0.12	0.01	0.19	0.18	0.07	0.09	0.11	0.09	0.10	-	0.09	-	1.75	1.02	2
UD-1	960187	klei	klei, humeus	18	29	0.31	0.35	0.08	0.07	0.01	0.19	0.20	0.07	0.09	-	0.07	0.06	0.06	-	-	1.57	0.88	2
UD-1	960190	veen	mosveen	74	82	-	-	-	0.15	-	-	-	-	-	0.09	-	-	-	3.74	-	3.98	3.89	8
UD-1	960191	veen	wollegras	82	166	-	-	0.08	0.09	0.01	-	-	-	-	0.05	0.05	0.06	-	4.30	-	4.66	4.52	8
UD-1	960192	veen	rietveen	166	179	0.44	0.57	0.13	0.08	-	-	-	-	-	0.09	-	-	-	1.19	-	2.49	1.70	7
UD-1	960193	veen	rietveen	179	261	-	-	0.09	0.06	-	-	-	-	-	0.04	-	-	-	-	-	0.19	0.06	1
UD-1	960194	veen	rietveen	261	277	-	0.46	0.11	0.07	-	-	-	-	-	0.05	-	-	-	-	-	0.69	0.07	2
UD-1	960195	veen	rietveen	277	356	0.96	-	0.18	0.14	-	-	-	0.05	0.07	0.10	0.10	-	0.10	-	-	1.69	1.32	2
UD-1	960196	klei	klei met riet	356	425	0.22	-	0.04	0.02	-	-	-	-	-	0.03	-	-	-	-	-	0.30	0.24	2
UD-1	960197	veen	rietveen	425	435	0.67	-	0.11	0.08	-	-	-	-	-	0.07	-	-	-	-	-	0.94	0.76	2
UD-1	960198	klei	klei, humeus	435	456	0.55	0.39	0.08	0.06	0.01	-	-	-	-	0.06	-	-	-	-	-	1.15	0.62	2
UD-1	960199	klei	klei, humeus	456	531	0.29	0.19	0.04	0.03	-	-	-	-	-	0.04	-	-	-	-	-	0.60	0.32	2
UD-1	960200	klei	klei	531	600	0.17	-	0.03	0.02	-	-	-	-	-	0.02	-	-	-	-	-	0.23	0.19	2

Bijlage B.2.13: PAK-analyses boring Warder 1 op basis van droge stof

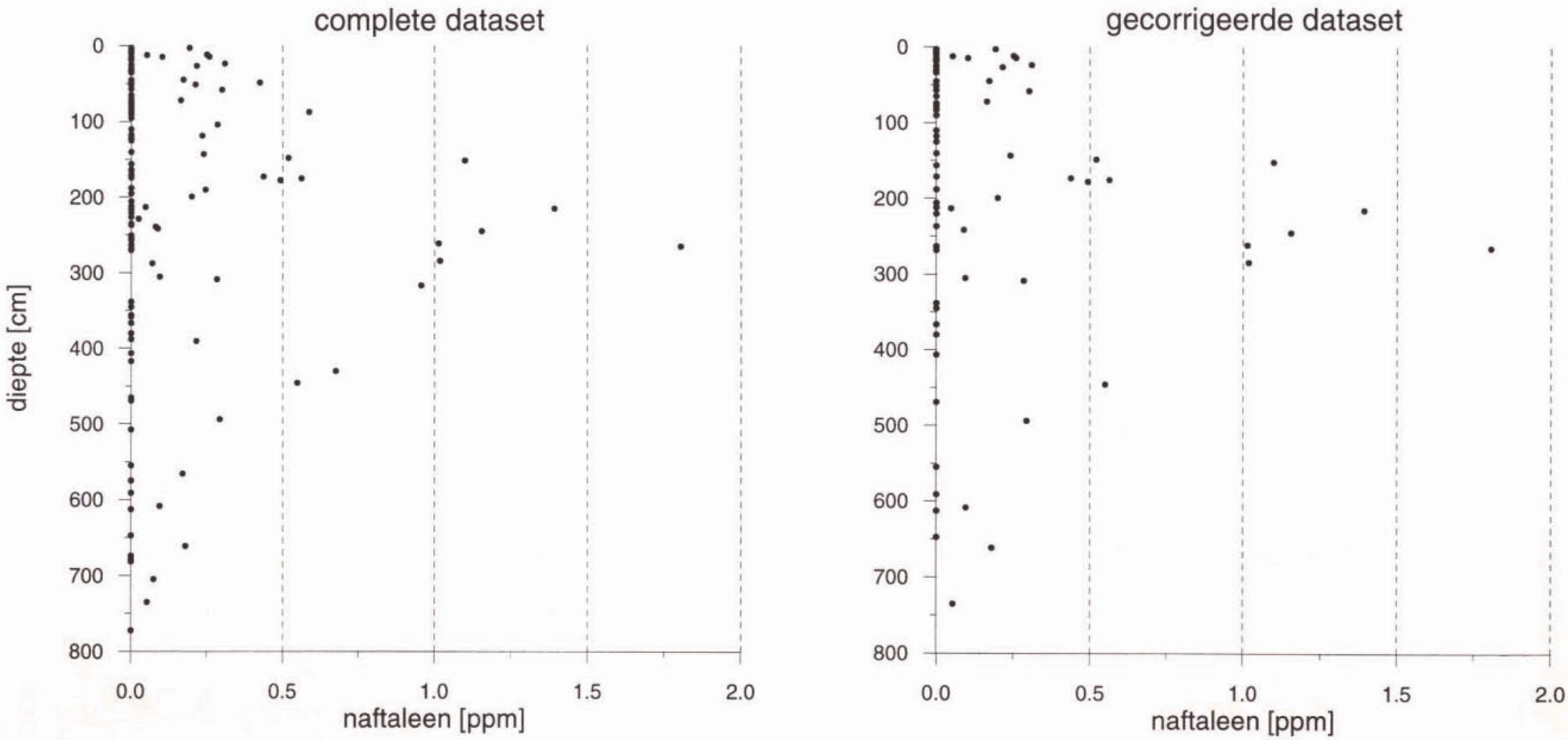
boring	sample	type	bijzonderheden	diepte		NAF	ACN	FLR	FEN	ANT	FLT	PYR	BAA	CHR	BBF	BKF	BAP	DBA	BPE	INP	EPA	VROM	cluster
WD-1	960201	toplaag	toplaag	0	5	0.19	0.15	0.03	0.10	0.01	0.20	0.17	0.14	0.12	0.07	0.07	0.08	0.05	0.09	0.03	1.50	1.03	2
WD-1	960202	klei	klei	5	48	0.22	0.15	0.03	0.03	0.00	-	-	0.03	0.04	0.02	0.02	0.03	0.02	0.10	-	0.70	0.48	2
WD-1	960203	klei	klei	48	68	0.30	0.17	0.04	0.04	-	-	-	0.01	0.04	0.03	0.02	0.03	-	0.04	-	0.73	0.48	2
WD-1	960205	klei	klei met ri	75	133	0.29	0.09	-	0.03	0.02	-	-	-	0.04	0.07	0.01	0.03	-	0.76	-	1.32	1.17	7
WD-1	960206	veen	mosveen	133	170	1.10	0.79	0.17	0.12	-	-	-	-	-	-	0.10	0.19	0.25	0.80	-	3.52	2.31	4
WD-1	960208	veen	mosveen	200	230	1.39	0.84	0.19	0.13	0.02	-	-	-	0.08	0.09	0.13	0.17	-	-	-	3.03	1.92	4
WD-1	960209	veen	mosveen	230	260	1.15	0.66	0.15	0.11	-	-	-	0.07	-	0.22	0.11	0.17	0.45	-	-	3.08	1.60	4
WD-1	960210	veen	mosveen	260	262	1.01	0.71	0.16	0.10	-	-	-	-	-	0.13	-	-	-	0.76	0.34	3.22	2.23	4
WD-1	960211	veen	rietveen	262	268	1.80	0.78	0.15	0.15	0.02	-	-	-	-	0.21	-	-	0.13	0.17	-	3.42	2.14	4
WD-1	960212	veen	rietveen	268	300	1.02	0.75	0.15	0.16	0.02	-	-	-	-	0.14	0.08	0.09	-	0.30	-	2.72	1.67	4
WD-1	960213	klei	klei	300	317	0.28	0.19	0.04	-	0.01	-	-	-	-	0.02	0.02	-	-	0.10	-	0.66	0.41	2
WD-1	960214	klei	klei	317	360	-	0.18	0.03	0.07	-	-	-	-	-	0.06	-	-	-	0.14	-	0.49	0.21	1
WD-1	960215	klei	klei	360	400	-	0.19	0.04	0.07	-	-	-	-	-	0.03	0.02	-	0.03	-	-	0.39	0.09	1

Bijlage B.2.14: PAK-analyses boring Wartena 2 op basis van droge stof

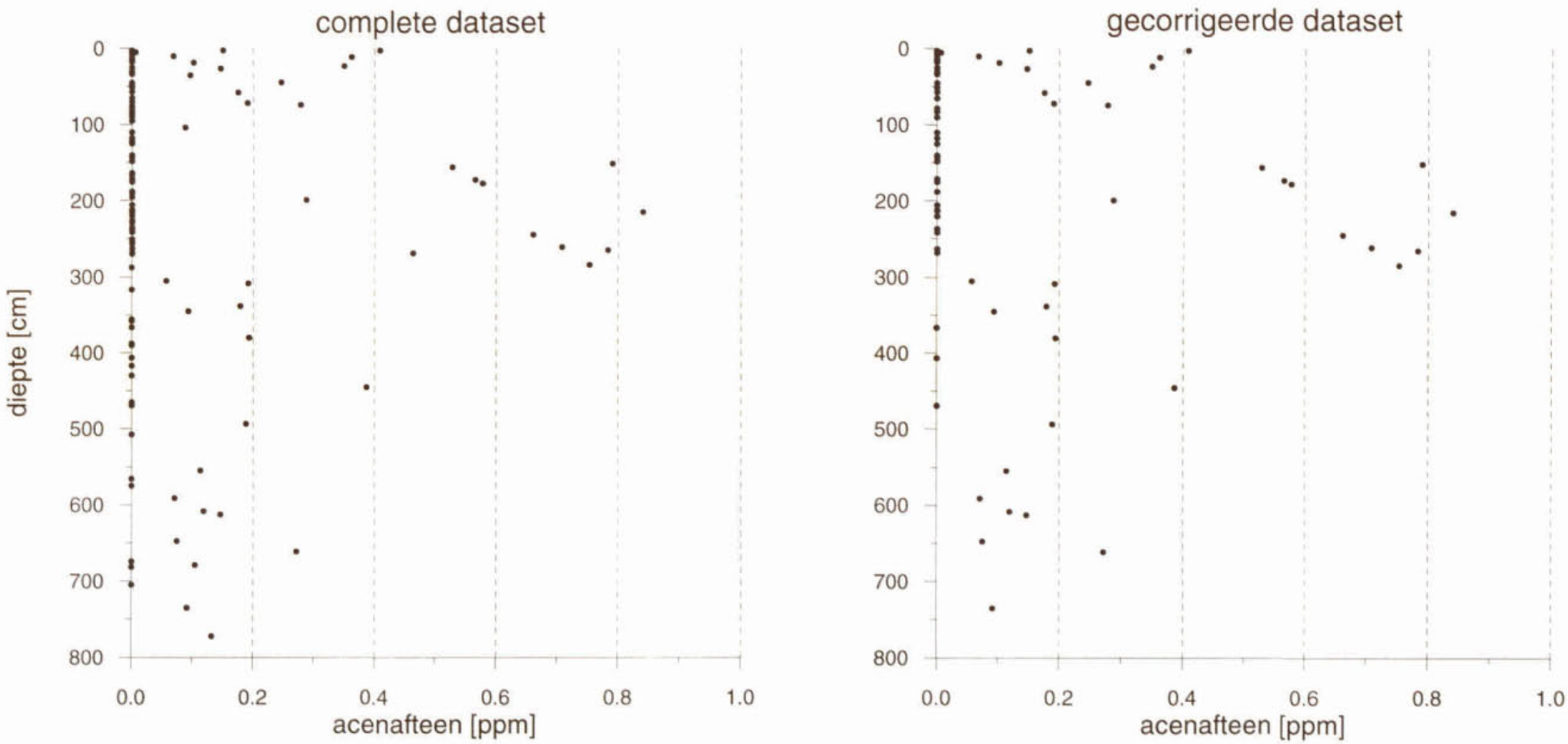
boring	sample	type	bijzonderheden	diepte		NAF	ACN	FLR	FEN	ANT	FLT	PYR	BAA	CHR	BBF	BKF	BAP	DBA	BPE	INP	EPA	VROM	cluster
WT-2	970001	toplaag	toplaag	0	29	0.10	-	-	0.02	0.00	0.05	0.06	0.01	0.02	0.04	0.02	0.02	0.02	0.15	0.02	0.54	0.43	1
WT-2	970002	veen	veraard	29	68	0.43	-	-	0.07	-	-	-	-	0.05	-	-	0.12	-	4.75	-	5.41	5.41	8
WT-2	970004	klei	klei	68	75	0.16	0.19	0.04	0.03	0.01	-	-	-	-	0.04	0.03	0.03	-	0.53	-	1.05	0.78	7
WT-2	970005	veen	rietveen	75	100	0.59	-	0.16	0.13	0.02	-	-	0.07	0.06	0.15	0.10	0.11	-	1.65	-	3.03	2.72	5
WT-2	970007	veen	wollegras	130	150	-	-	0.15	0.10	-	-	-	-	0.06	0.06	0.09	-	-	0.16	-	0.63	0.41	1
WT-2	970008	veen	wollegras	150	200	0.56	-	-	0.11	-	-	-	0.04	0.06	0.09	0.10	-	-	0.73	-	1.70	1.60	7
WT-2	970012	veen	wollegras	200	224	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1
WT-2	970016	zand	zand	251	275	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1
WT-2	970018	zand	zand	275	300	0.07	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.01	-	-	0.08	0.07	1

Bijlage B3: Correlatie met diepte – individuele PAK

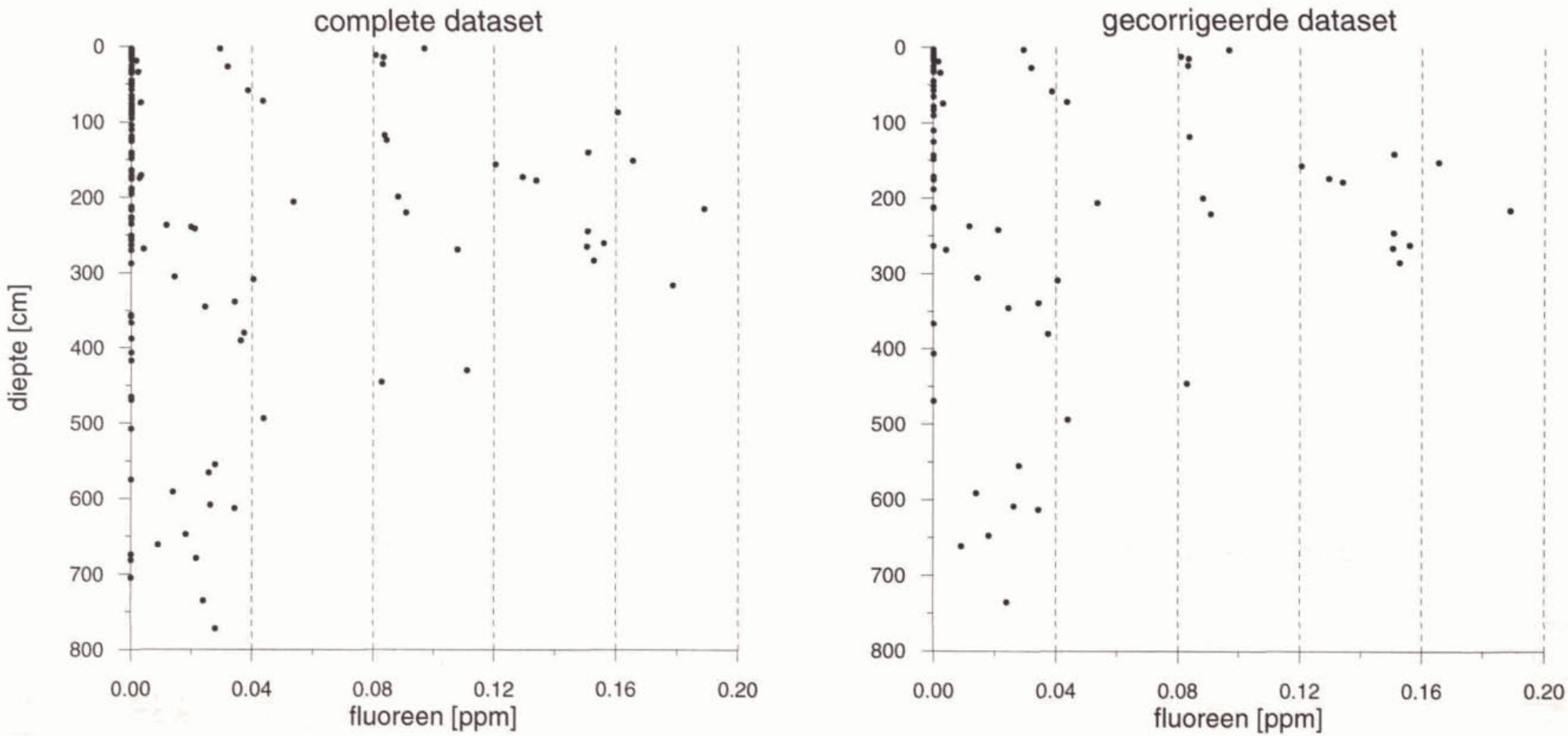
NAF


complete dataset
gecorrigeerde dataset
diepte [cm]
0
100
200
300
400
500
600
700
800
0.0
0.5
1.0
1.5
2.0
naftaleen [ppm]

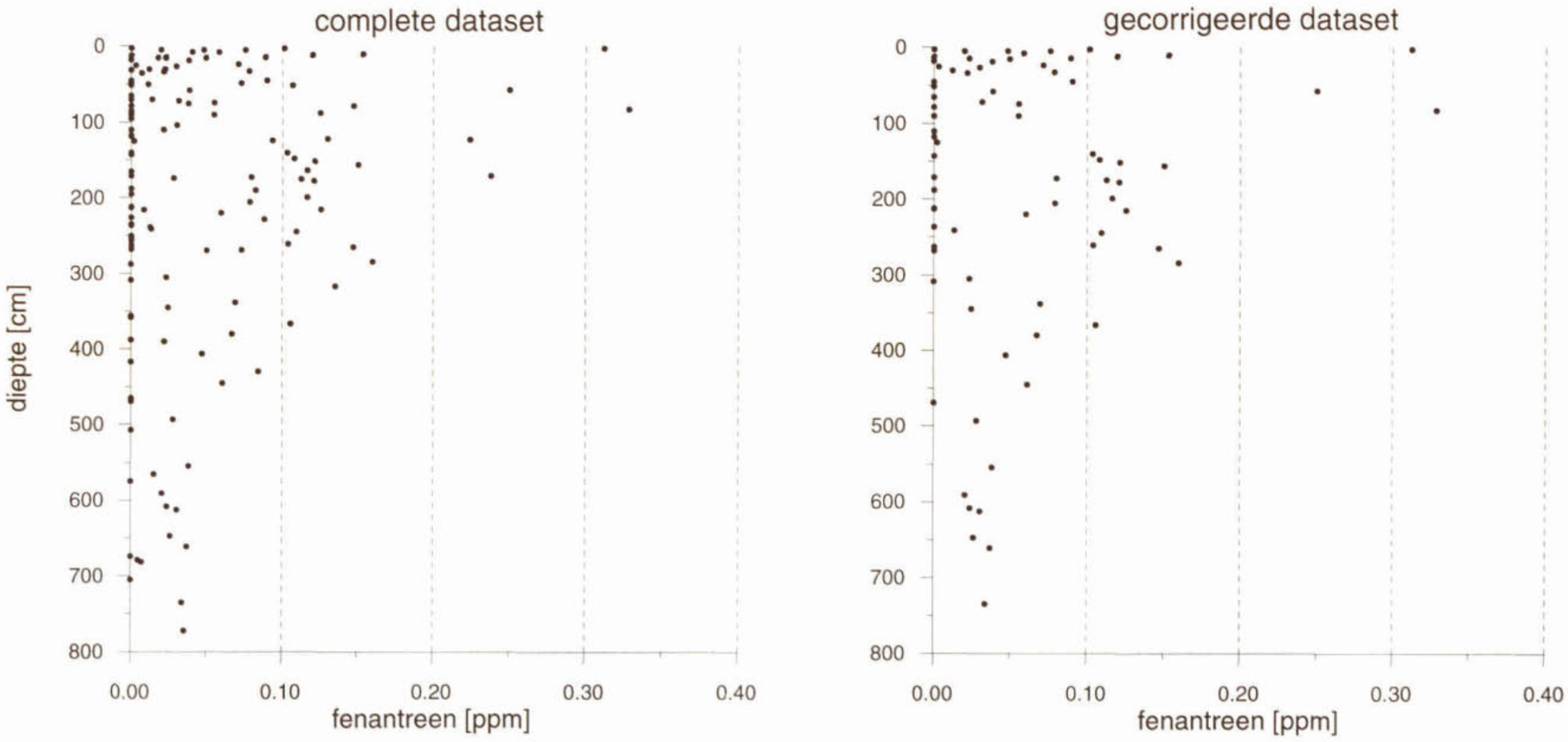
ACN


complete dataset
gecorrigeerde dataset
diepte [cm]
0
100
200
300
400
500
600
700
800
0.0
0.2
0.4
0.6
0.8
1.0
acenafteen [ppm]

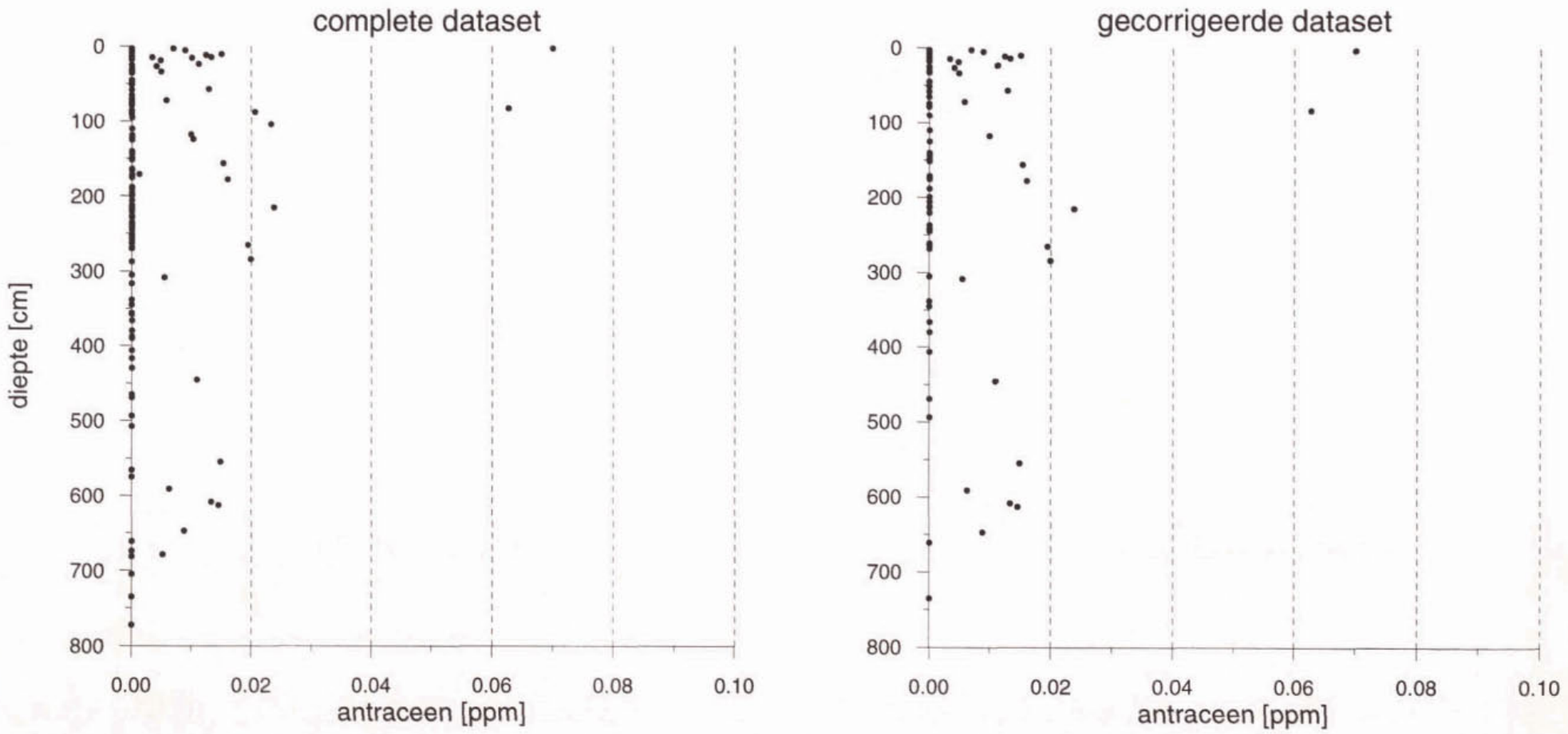
FLR


complete dataset
gecorrigeerde dataset
diepte [cm]
0
100
200
300
400
500
600
700
800
0.00
0.04
0.08
0.12
0.16
0.20
fluoreen [ppm]

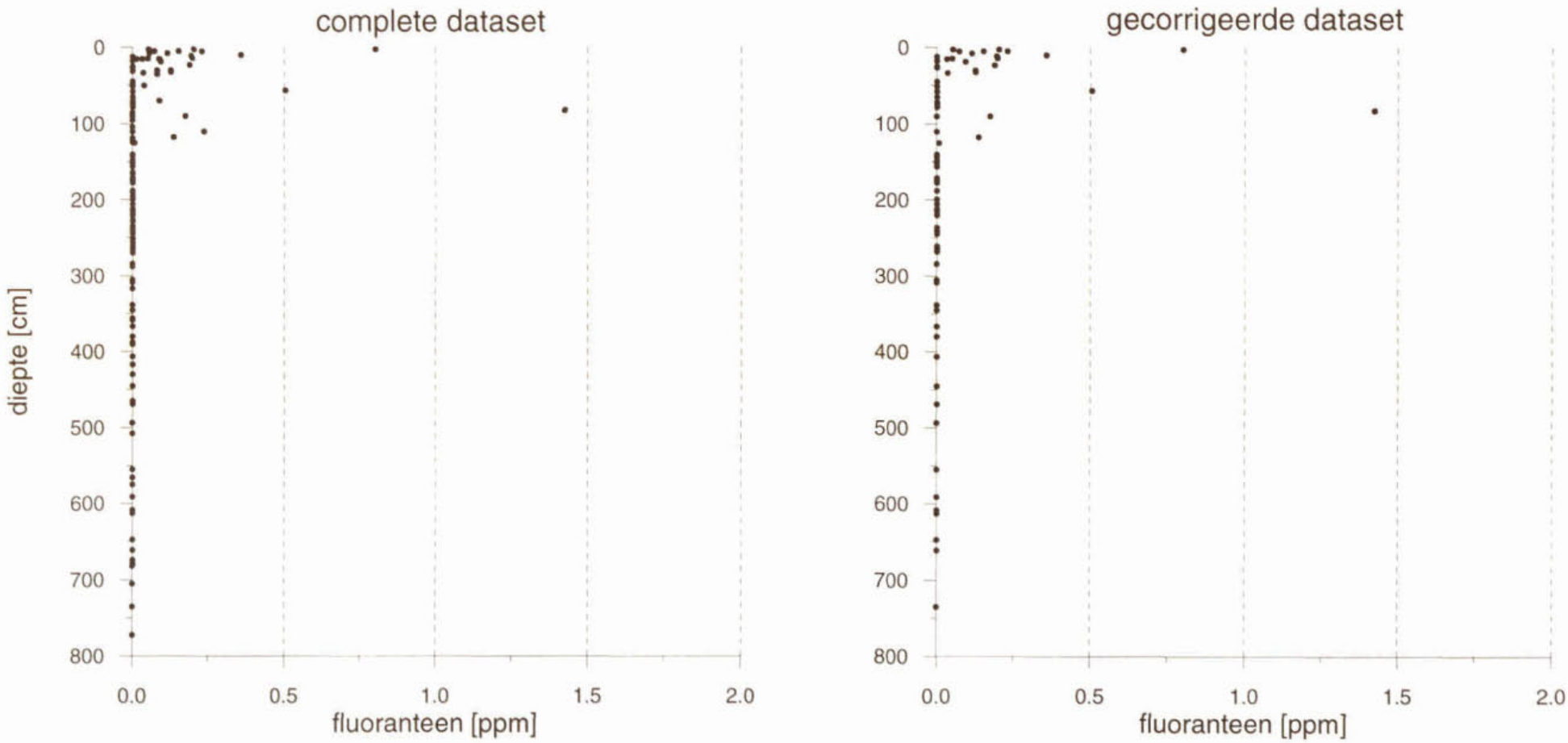
FEN


complete dataset
gecorrigeerde dataset
diepte [cm]
0
100
200
300
400
500
600
700
800
0.00
0.10
0.20
0.30
0.40
fenantreen [ppm]

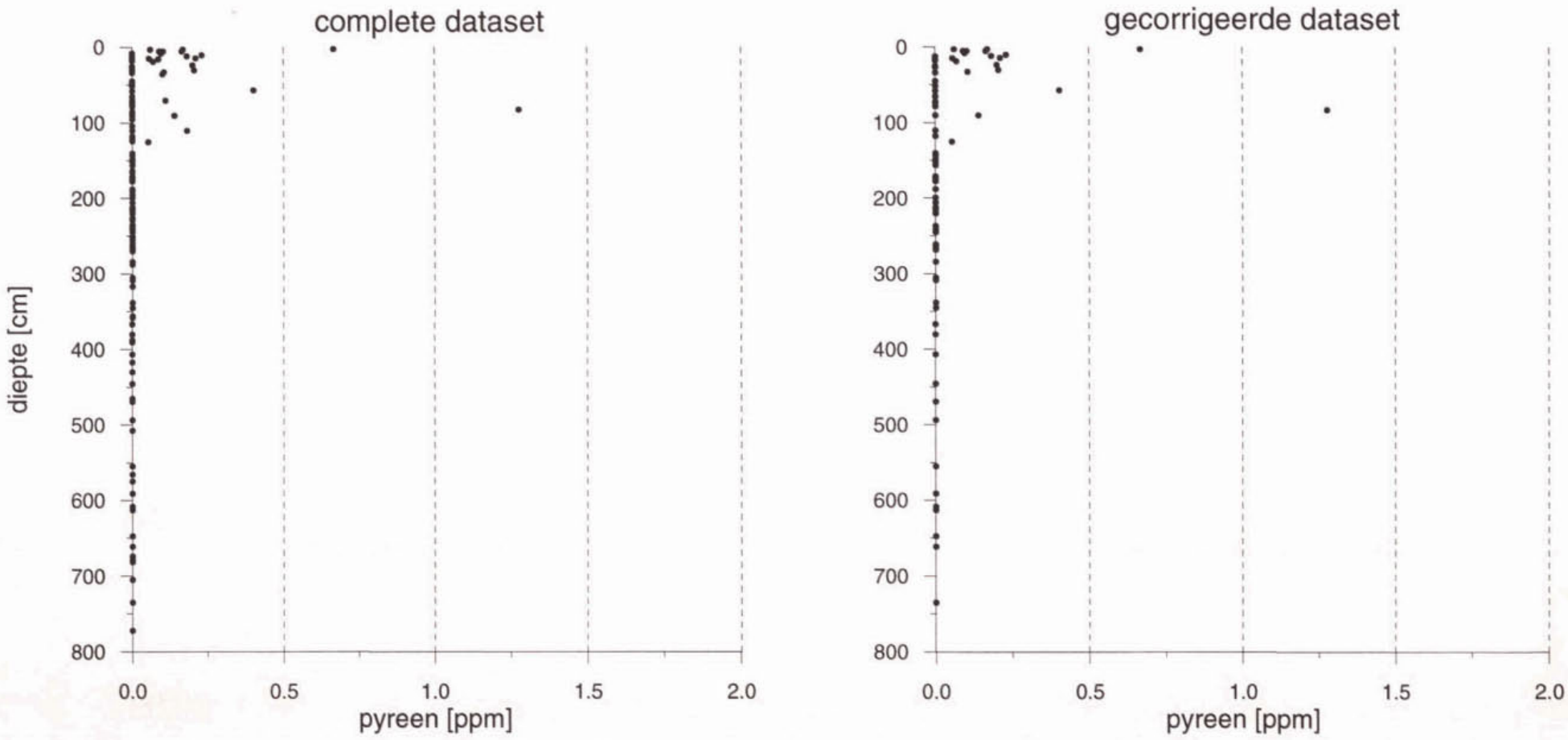
ANT


complete dataset
gecorrigeerde dataset
diepte [cm]
0
100
200
300
400
500
600
700
800
0.00
0.02
0.04
0.06
0.08
0.10
antraceen [ppm]

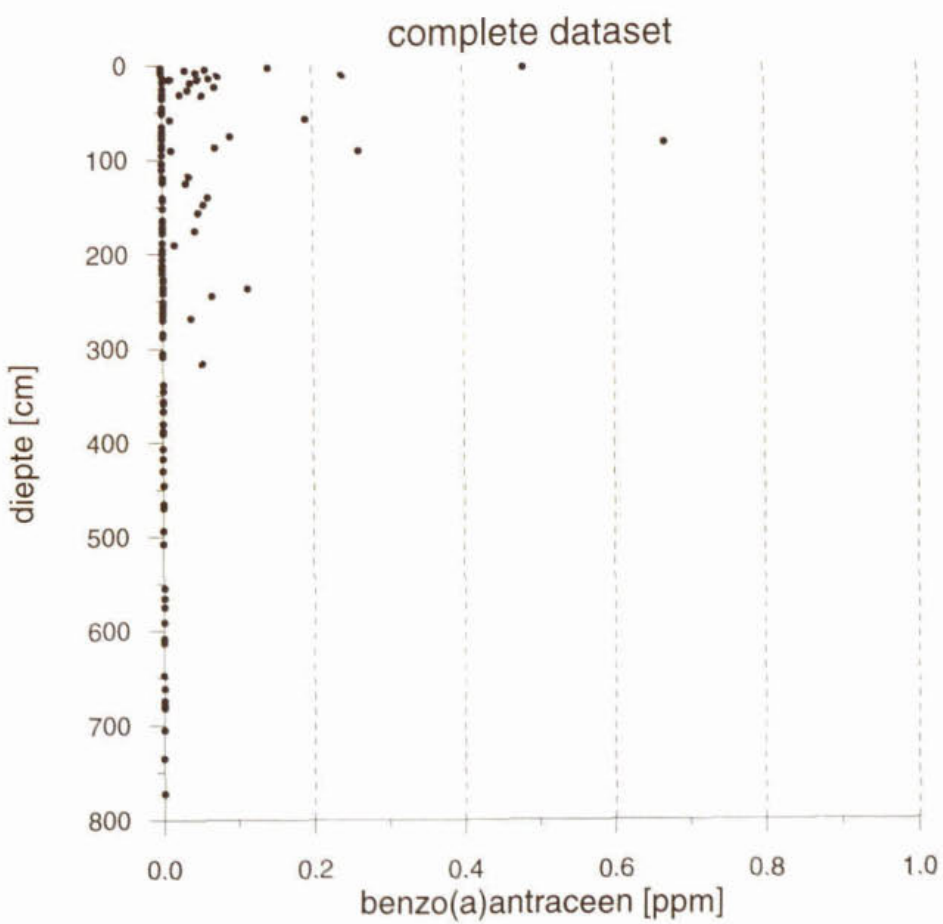
FLT

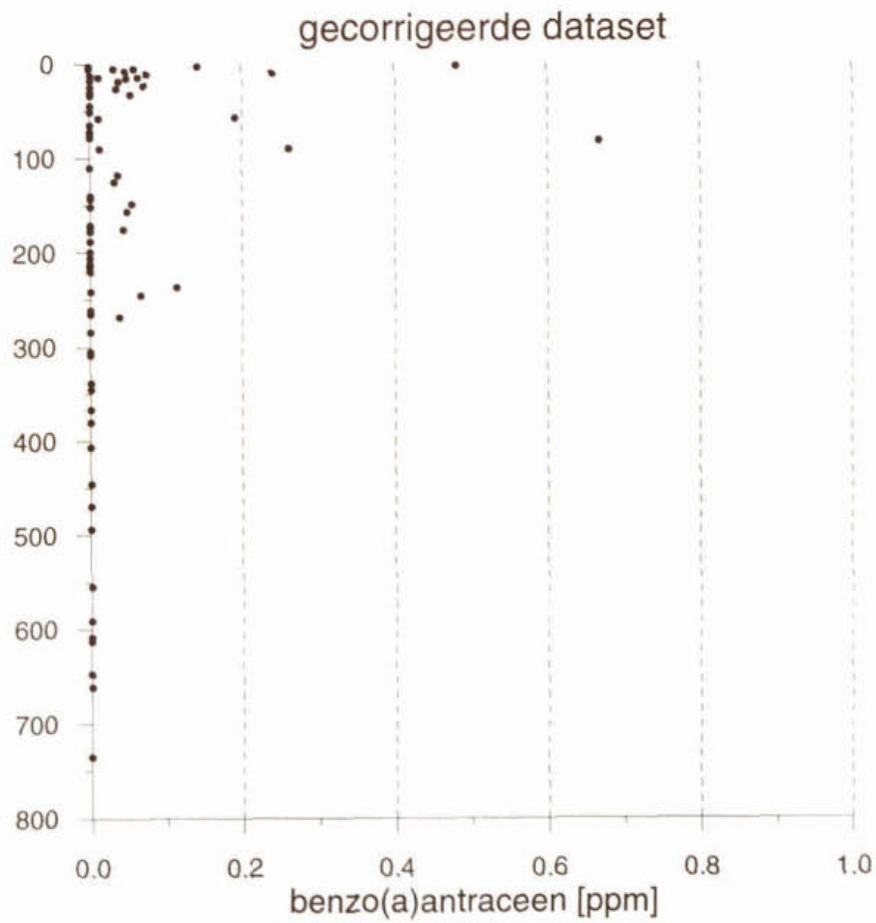

complete dataset
gecorrigeerde dataset
diepte [cm]
0
100
200
300
400
500
600
700
800
0.0
0.5
1.0
1.5
2.0
fluoranteen [ppm]

PYR

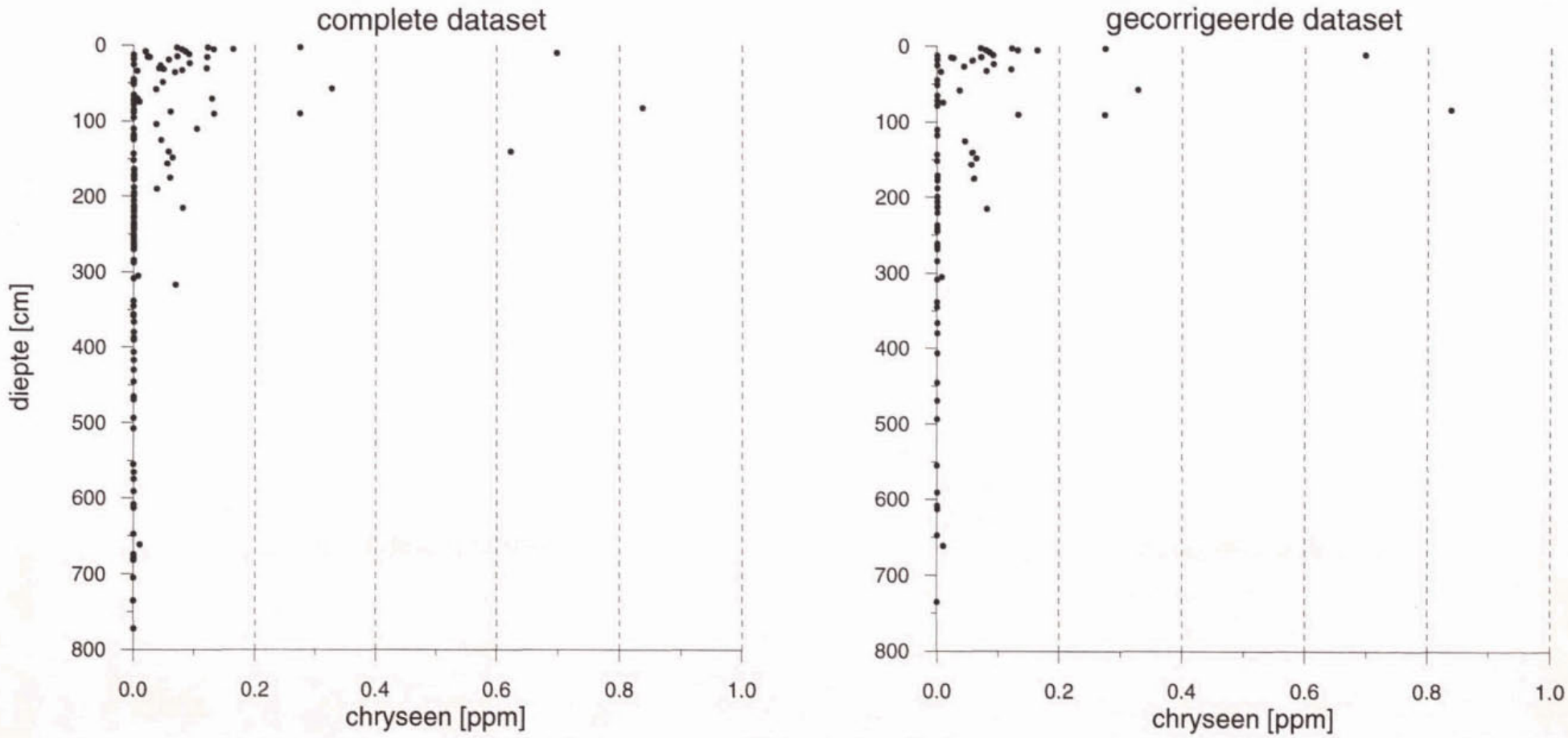

complete dataset
gecorrigeerde dataset
diepte [cm]
0
100
200
300
400
500
600
700
800
0.0
0.5
1.0
1.5
2.0
pyreen [ppm]

BAA

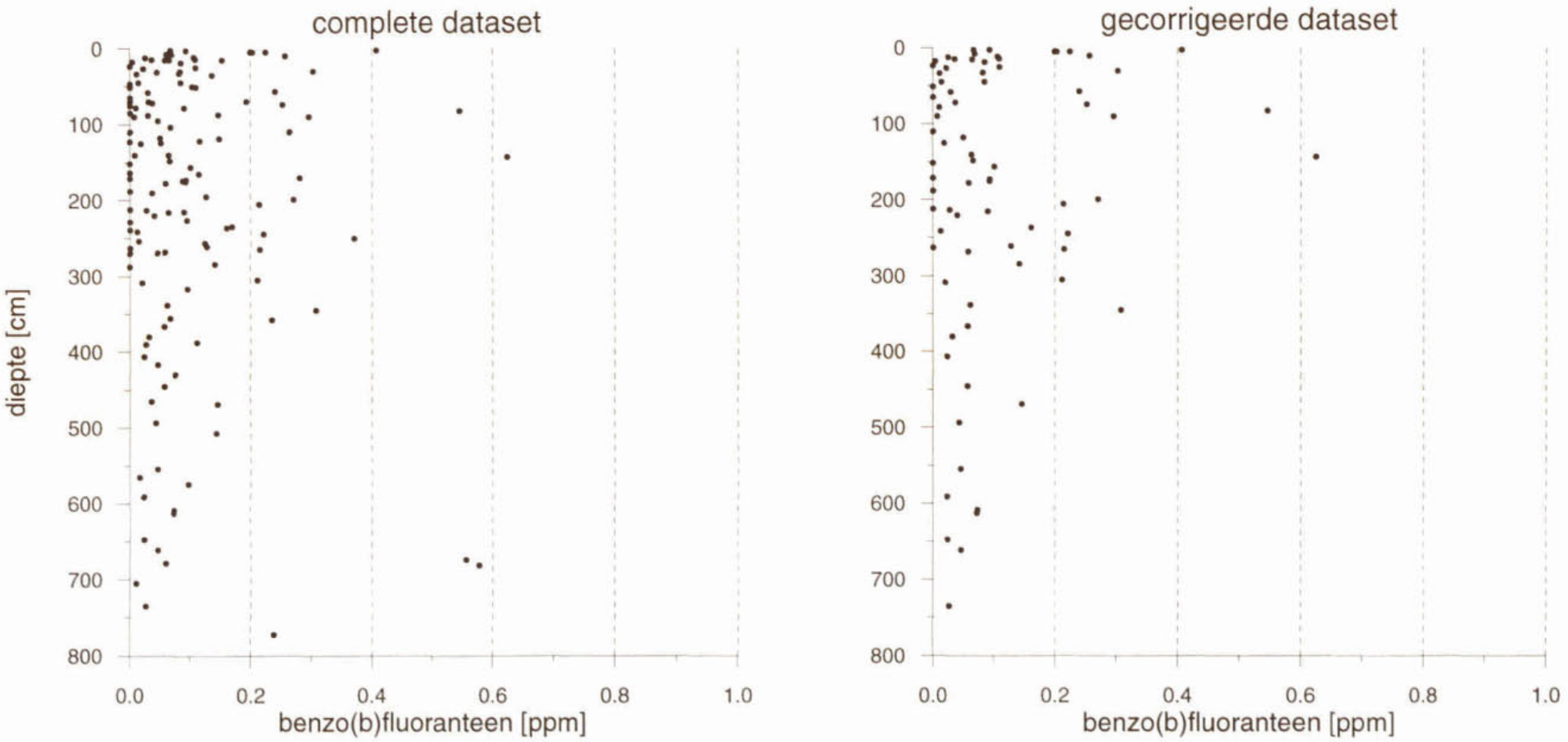

complete dataset
diepte [cm]
0
100
200
300
400
500
600
700
800
0.0
0.2
0.4
0.6
0.8
1.0
benzo(a)antraceen [ppm]


gecorrigeerde dataset
0
100
200
300
400
500
600
700
800
0.0
0.2
0.4
0.6
0.8
1.0
benzo(a)antraceen [ppm]

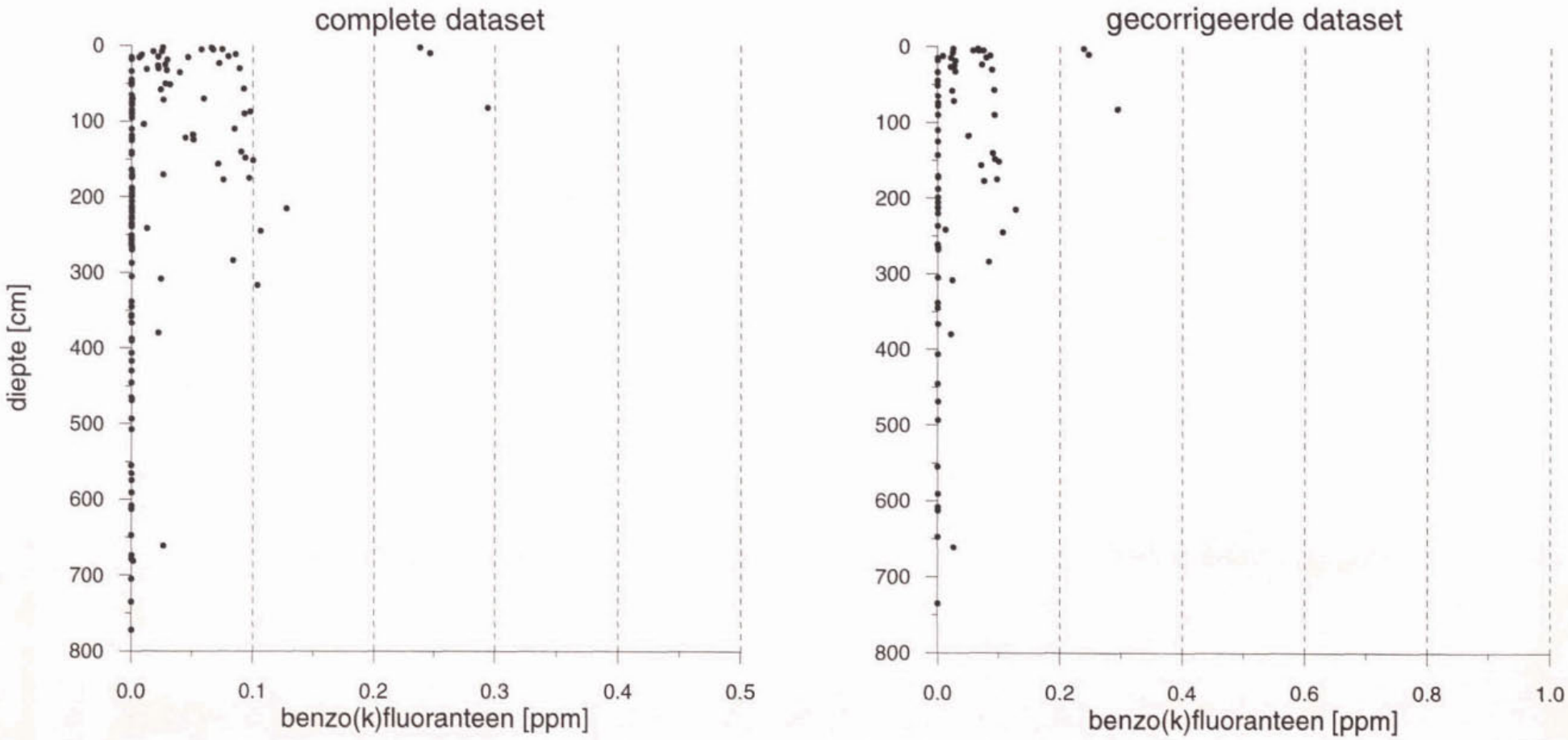
CHR


complete dataset
gecorrigeerde dataset
diepte [cm]
0
100
200
300
400
500
600
700
800
0.0
0.2
0.4
0.6
0.8
1.0
chryseen [ppm]

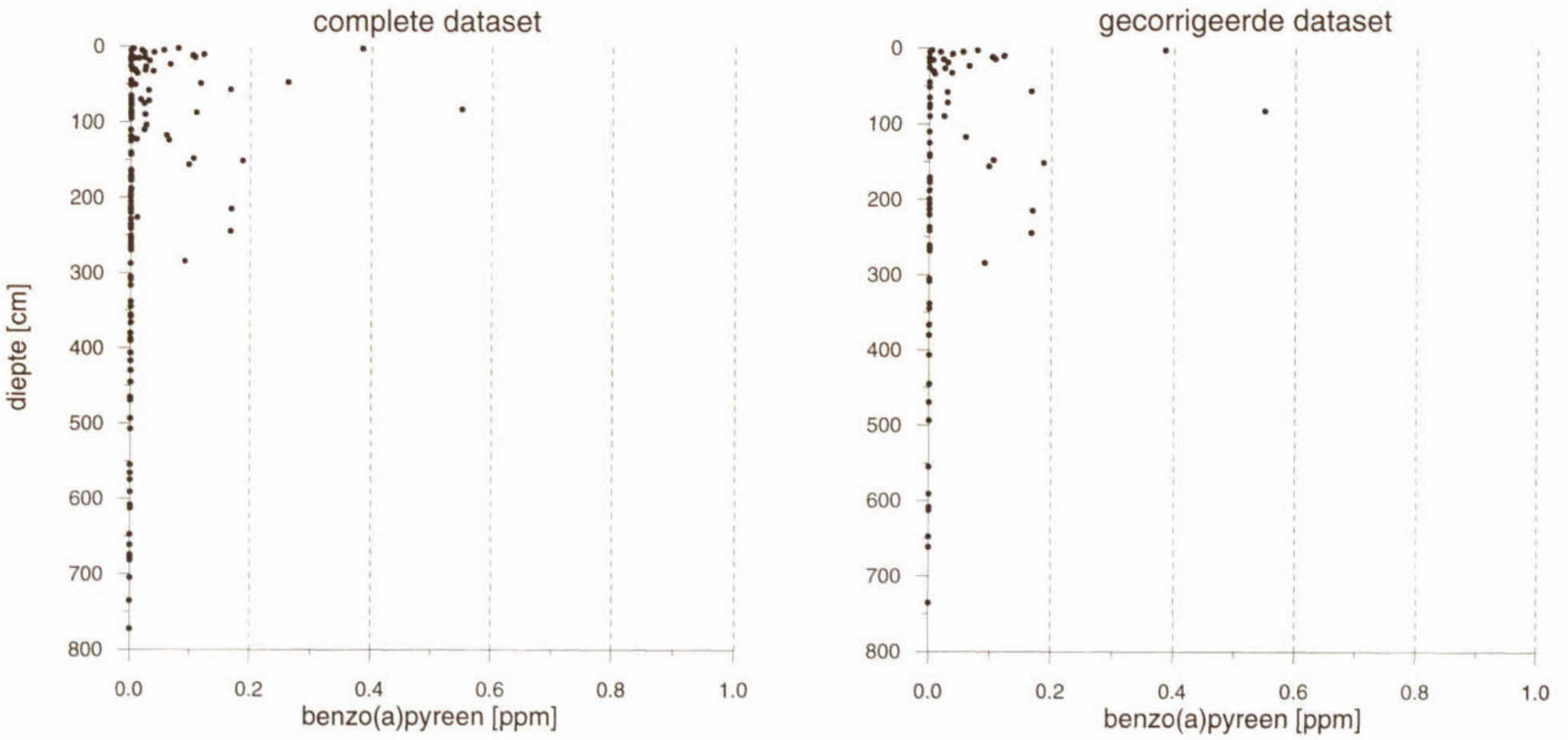
BBF


complete dataset
gecorrigeerde dataset
diepte [cm]
0
100
200
300
400
500
600
700
800
0.0
0.2
0.4
0.6
0.8
1.0
benzo(b)fluoranteen [ppm]

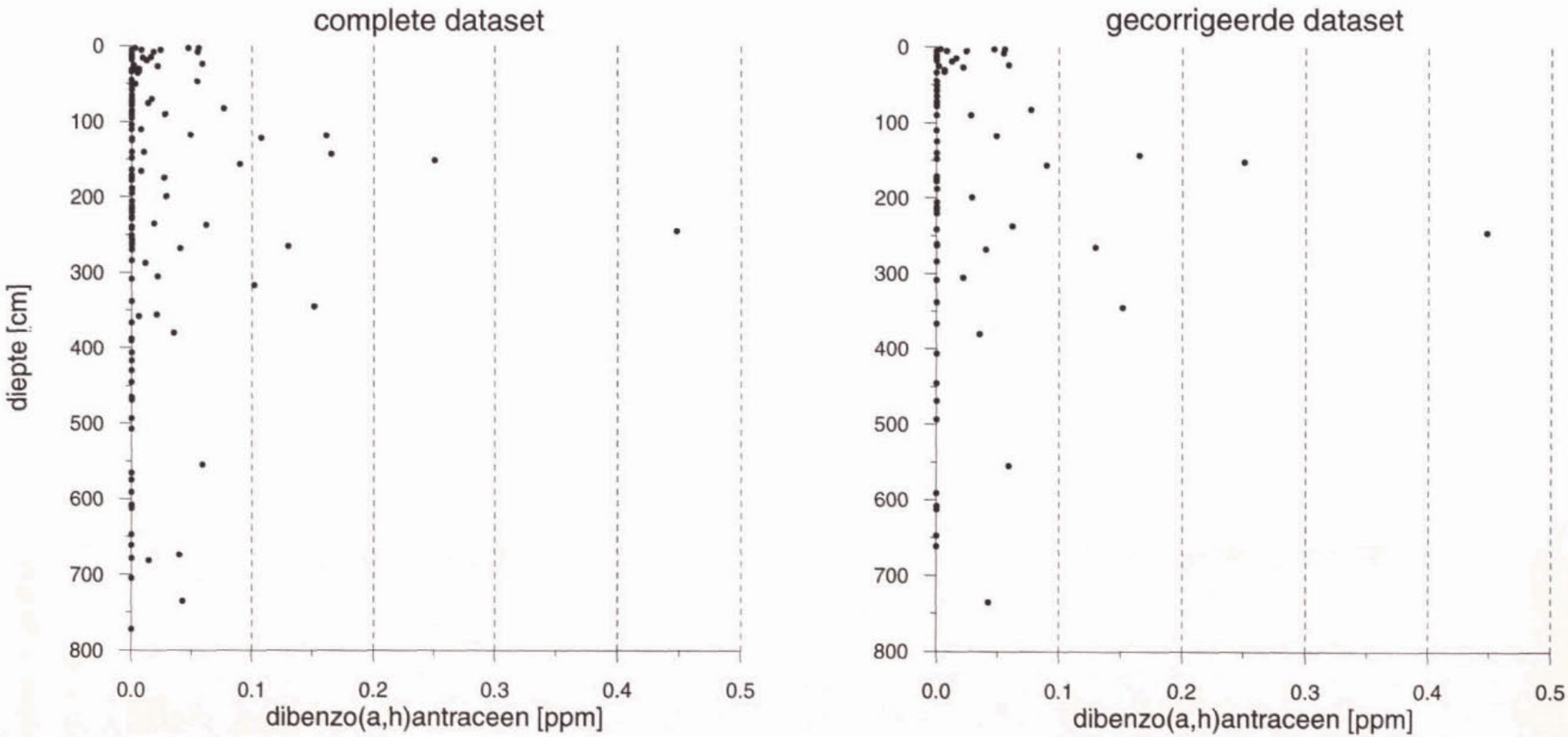
BKF


complete dataset
diepte [cm]
0
100
200
300
400
500
600
700
800
0.0
0.1
0.2
0.3
0.4
0.5
benzo(k)fluoranteen [ppm]
gecorrigeerde dataset
0
100
200
300
400
500
600
700
800
0.0
0.2
0.4
0.6
0.8
1.0
benzo(k)fluoranteen [ppm]

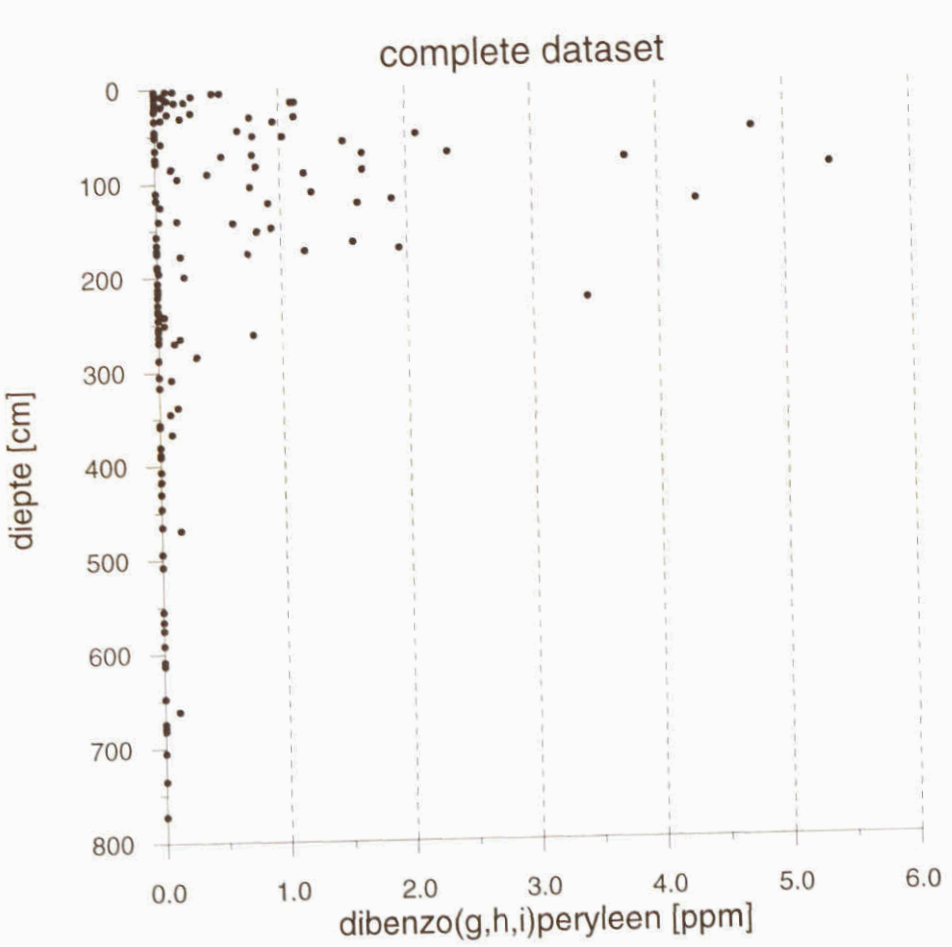
BAP

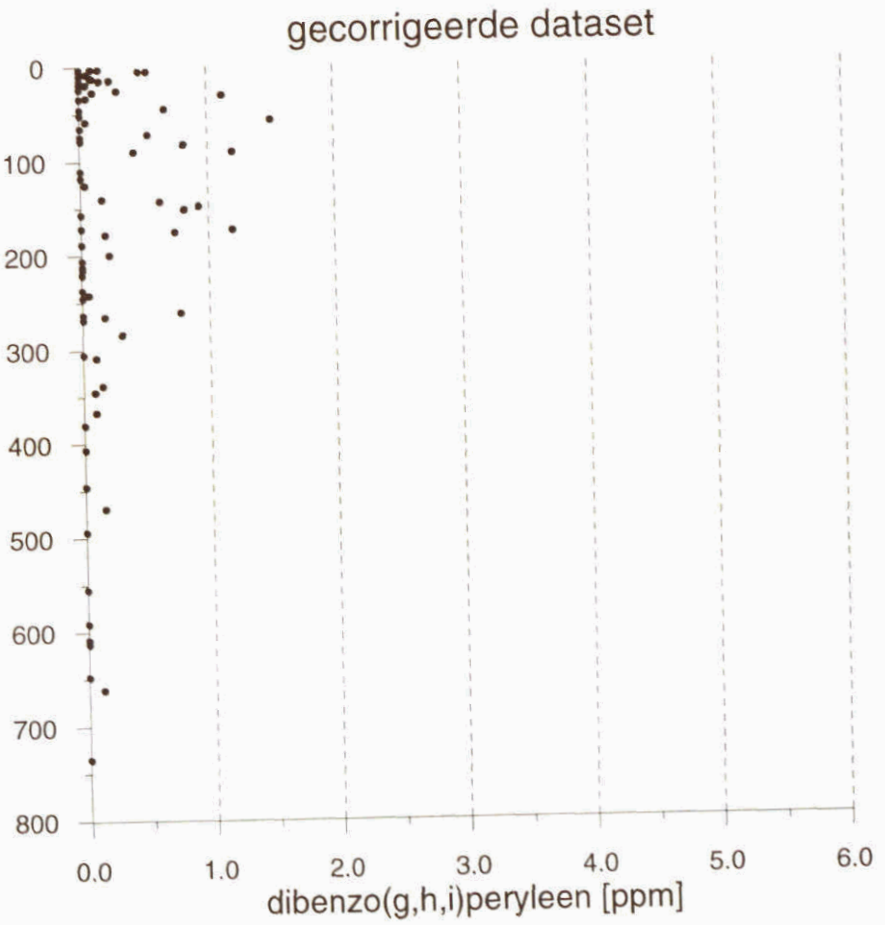

complete dataset
gecorrigeerde dataset
diepte [cm]
0
100
200
300
400
500
600
700
800
0.0
0.2
0.4
0.6
0.8
1.0
benzo(a)pyreen [ppm]

DBA

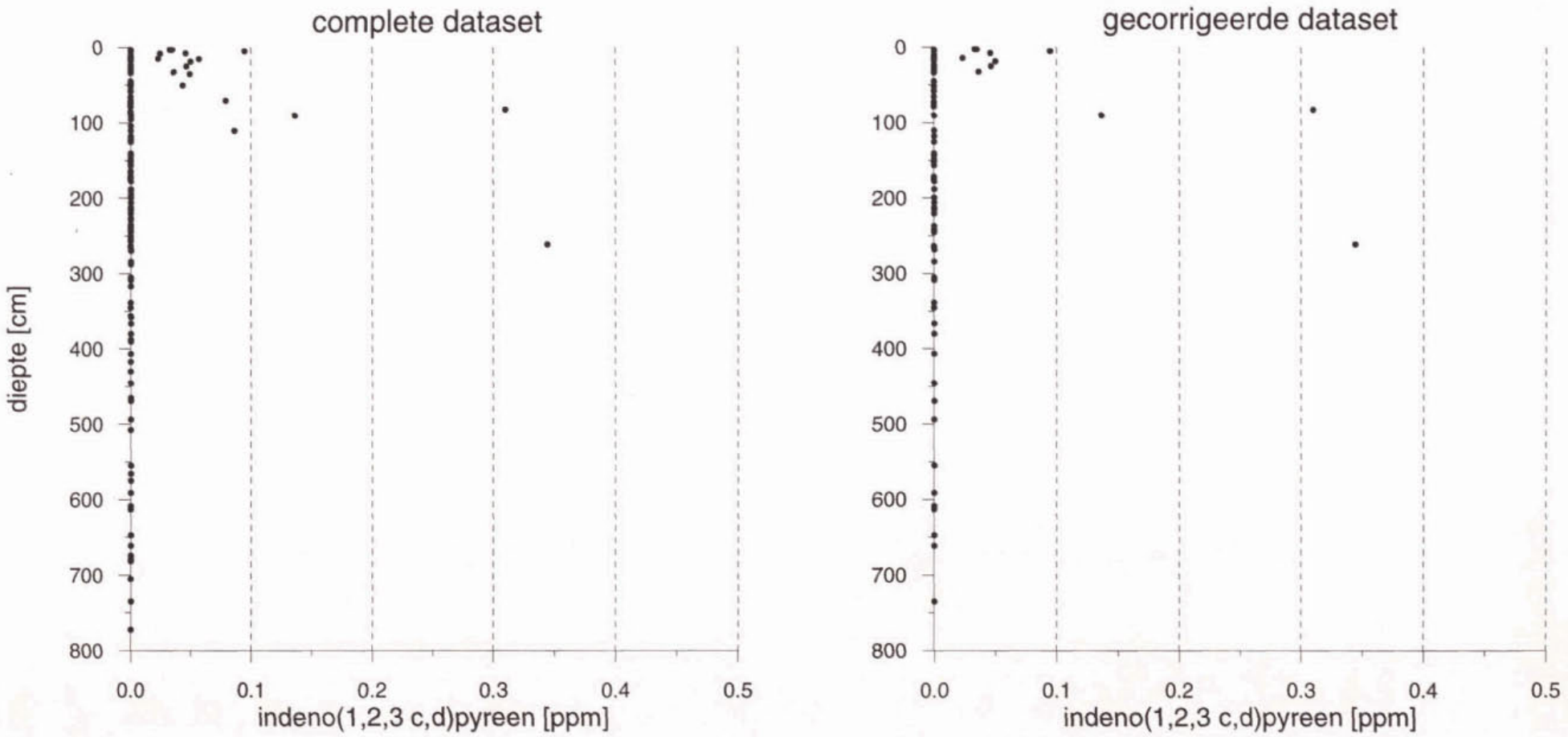

complete dataset
gecorrigeerde dataset
diepte [cm]
0
100
200
300
400
500
600
700
800
0.0
0.1
0.2
0.3
0.4
0.5
dibenzo(a,h)antraceen [ppm]

BPE

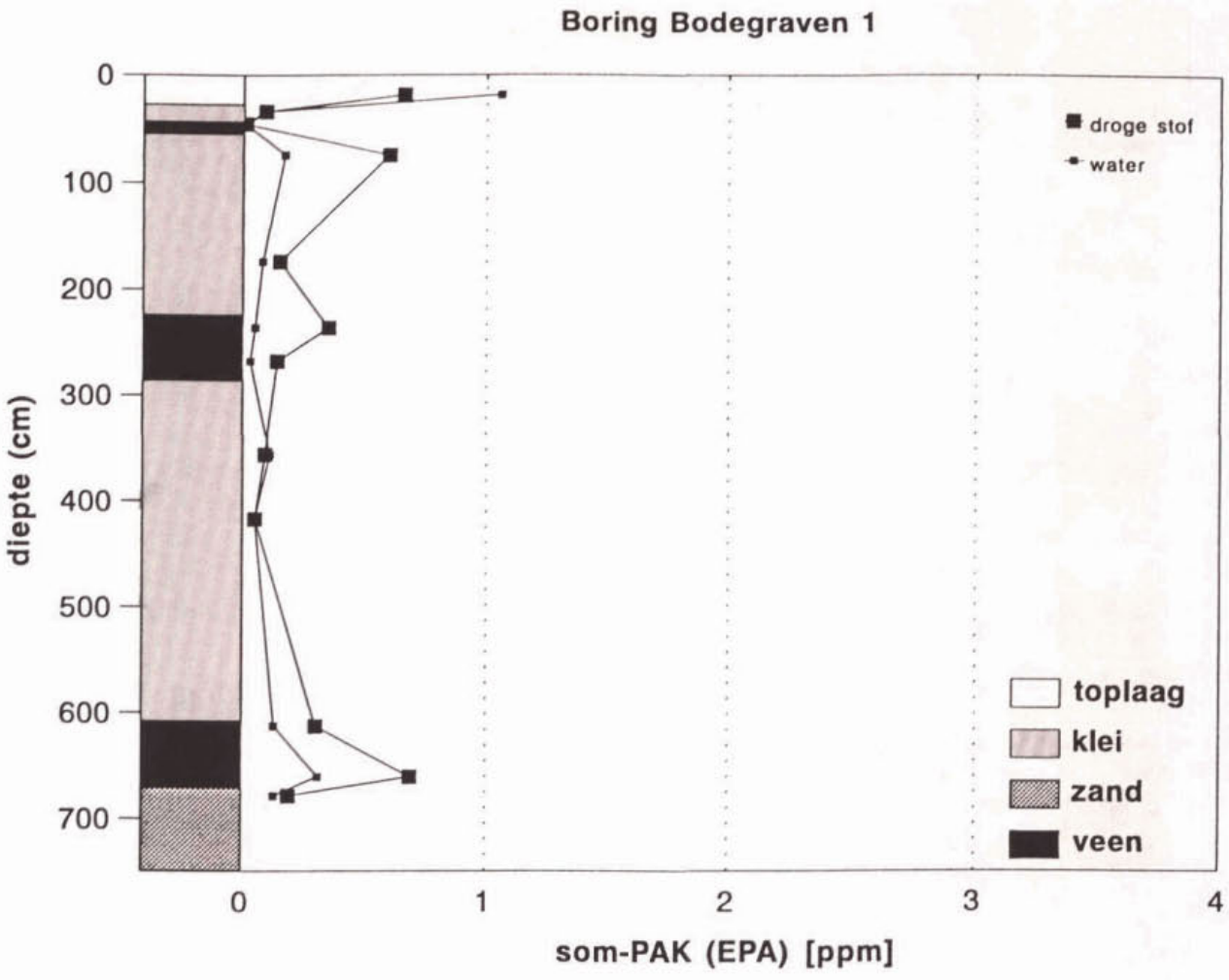

complete dataset
diepte [cm]
0
100
200
300
400
500
600
700
800
0.0
1.0
2.0
3.0
4.0
5.0
6.0
dibenzo(g,h,i)peryleen [ppm]

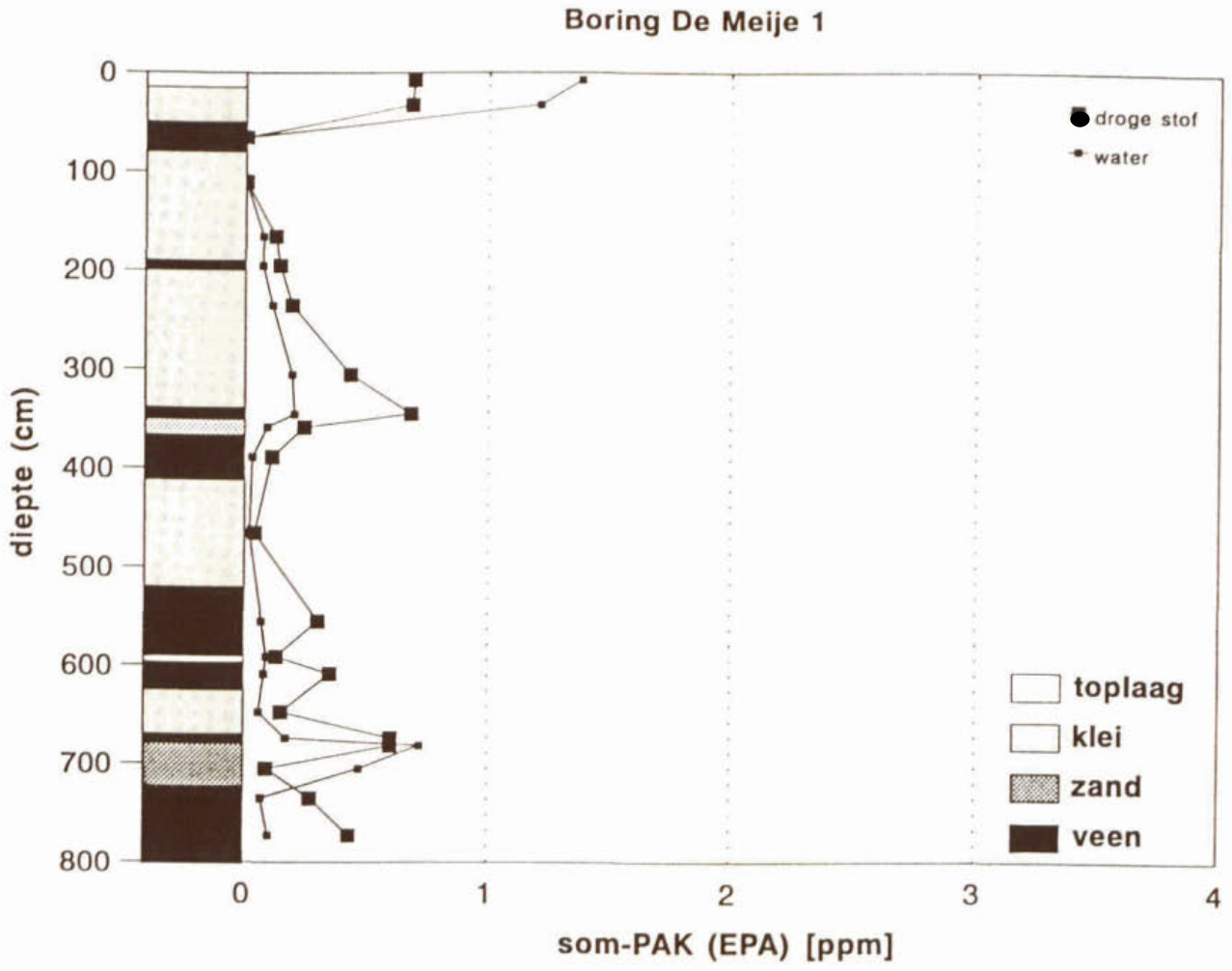

gecorrigeerde dataset
0
100
200
300
400
500
600
700
800
0.0
1.0
2.0
3.0
4.0
5.0
6.0
dibenzo(g,h,i)peryleen [ppm]

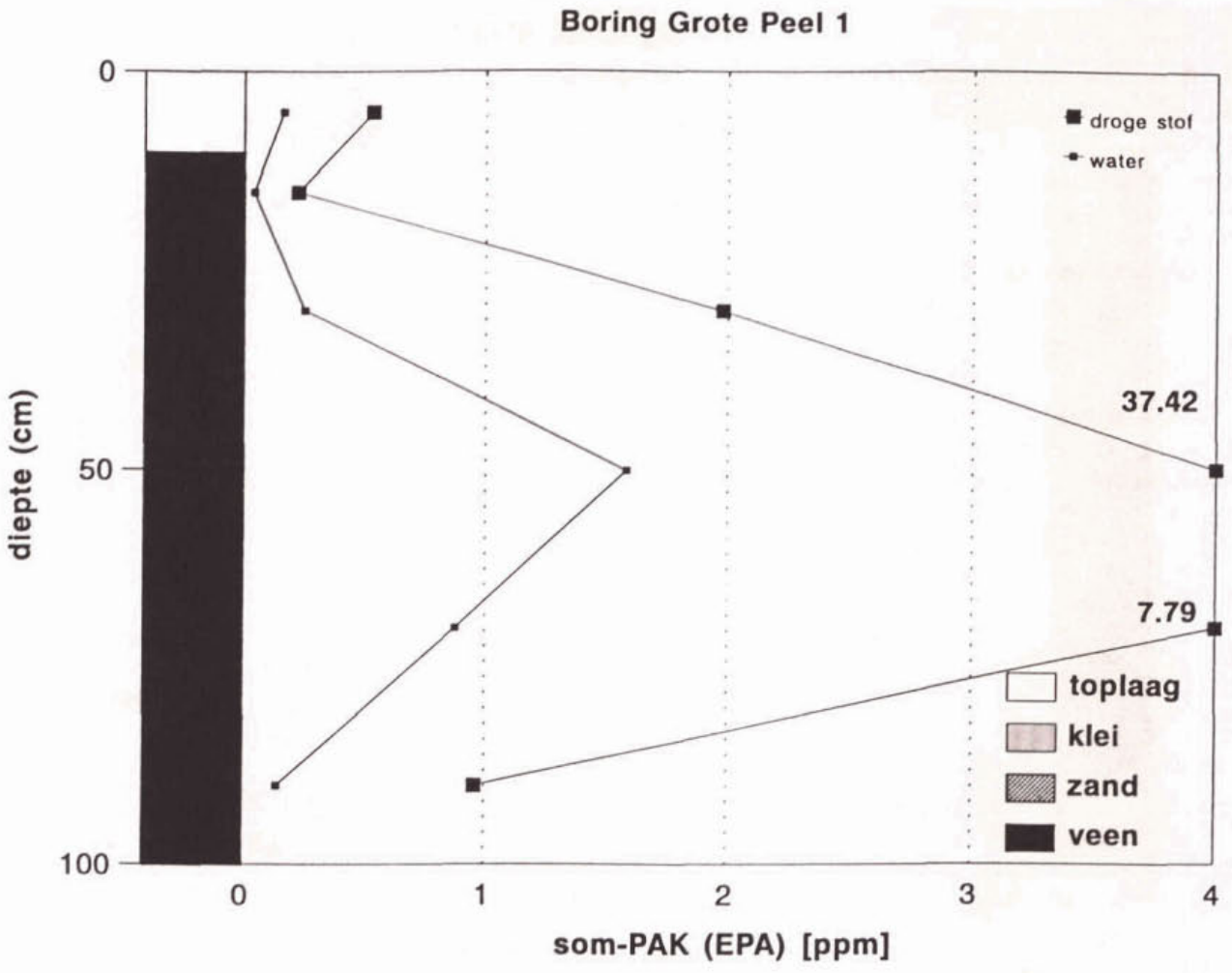
IND

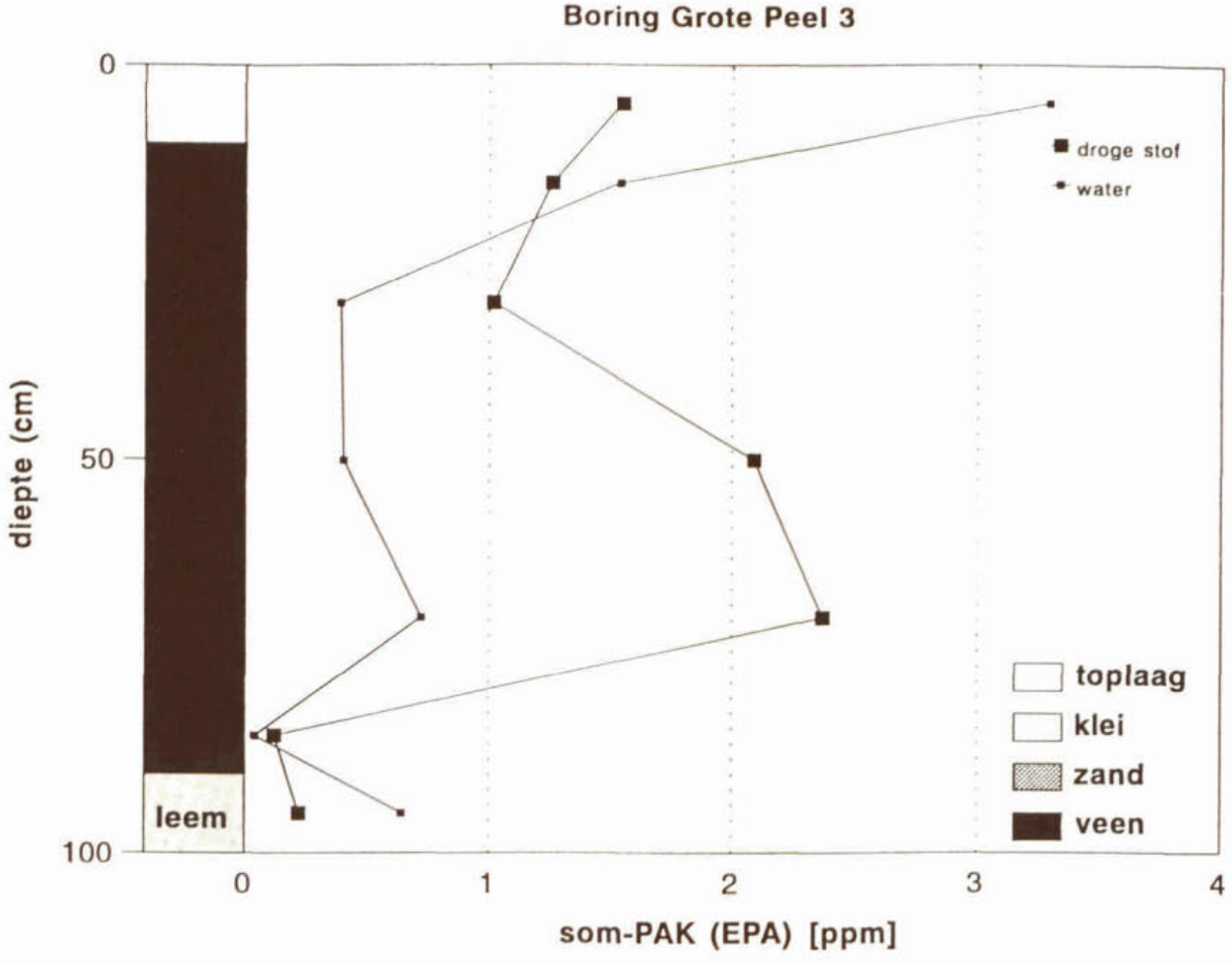

complete dataset
gecorrigeerde dataset
diepte [cm]
0
100
200
300
400
500
600
700
800
0.0
0.1
0.2
0.3
0.4
0.5
indeno(1,2,3 c,d)pyreen [ppm]
indeno(1,2,3 c,d)pyreen [ppm]

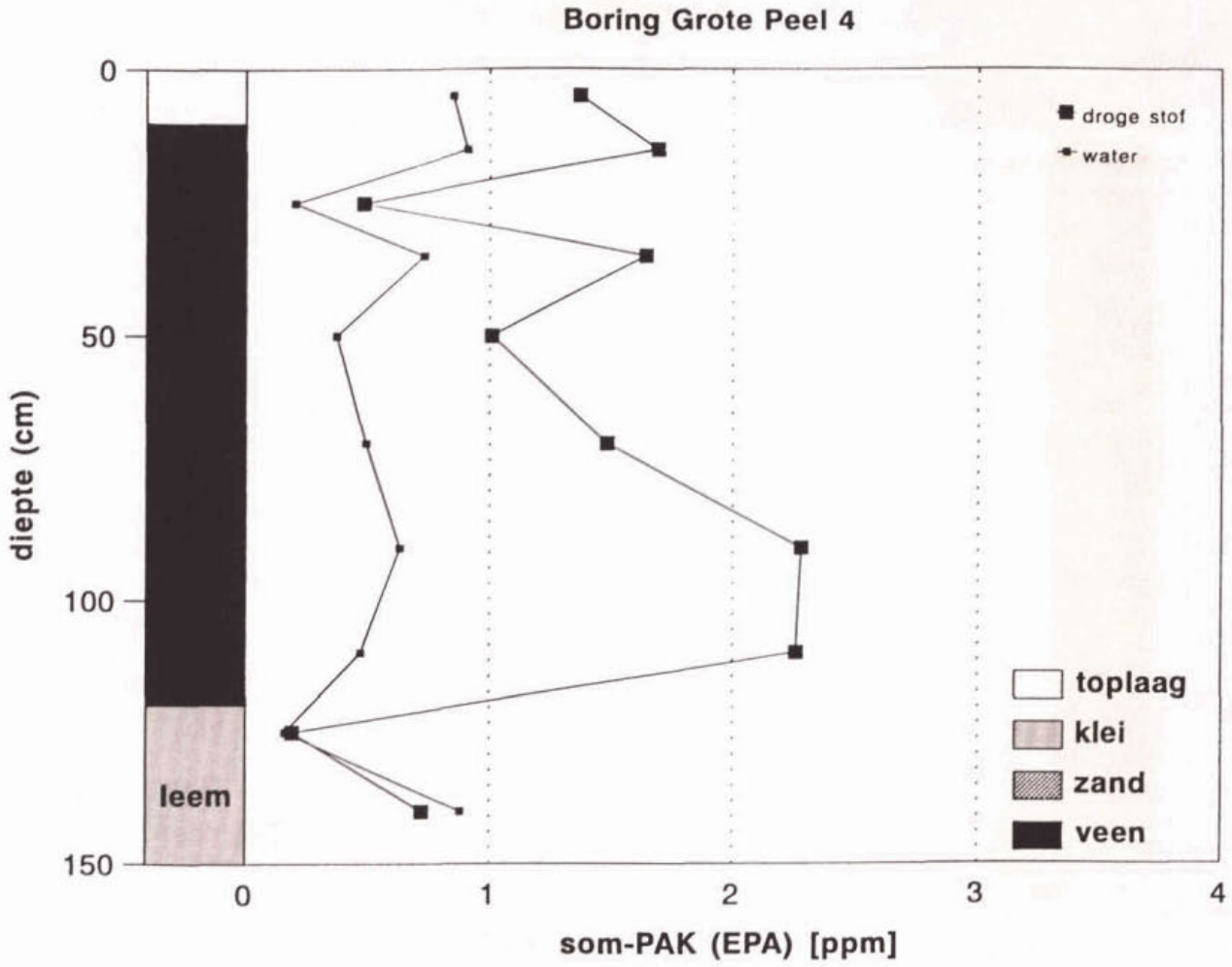
Bijlage B4: Vertikale profielen lithologie – som PAK

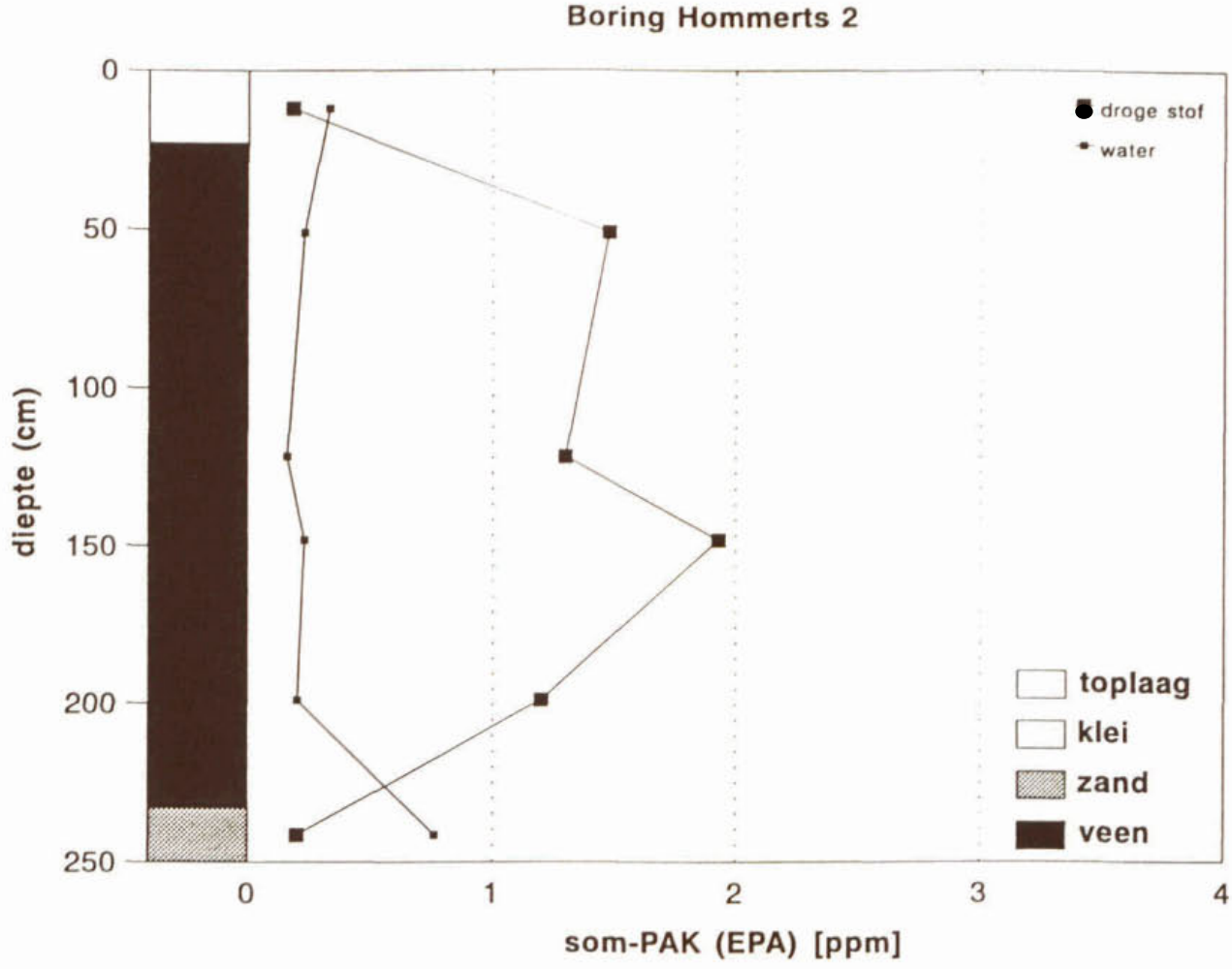

Boring Bodegraven 1
0
100
200
300
400
500
600
700
diepte (cm)
droge stof
water
toplaag
klei
zand
veen
0
1
2
3
4
som-PAK (EPA) [ppm]

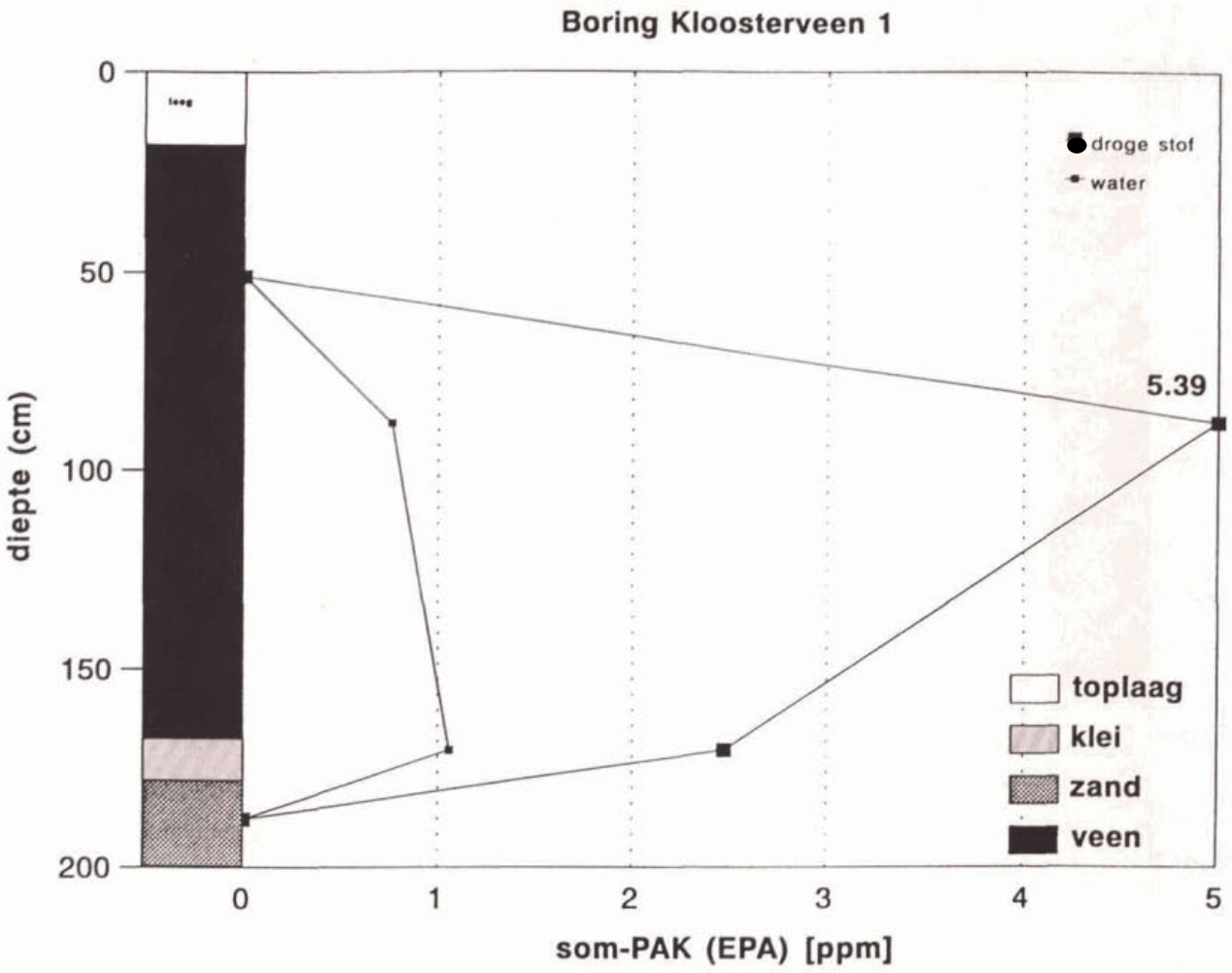

Boring De Meije 1
0
100
200
300
400
500
600
700
800
diepte (cm)
droge stof
water
toplaag
klei
zand
veen
0
1
2
3
4
som-PAK (EPA) [ppm]

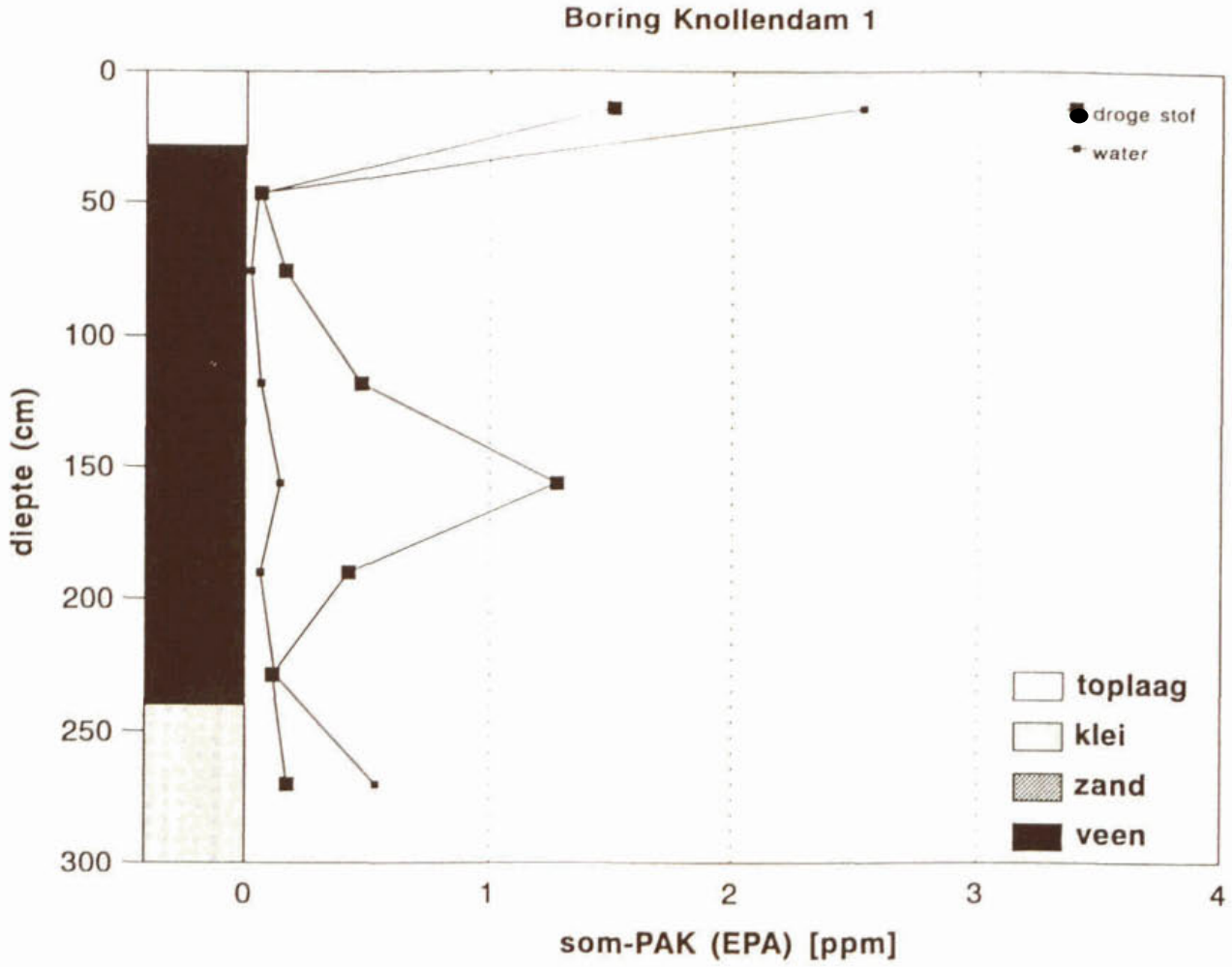

Boring Grote Peel 1
0
50
100
diepte (cm)
droge stof
water
37.42
7.79
toplaag
klei
zand
veen
0
1
2
3
4
som-PAK (EPA) [ppm]

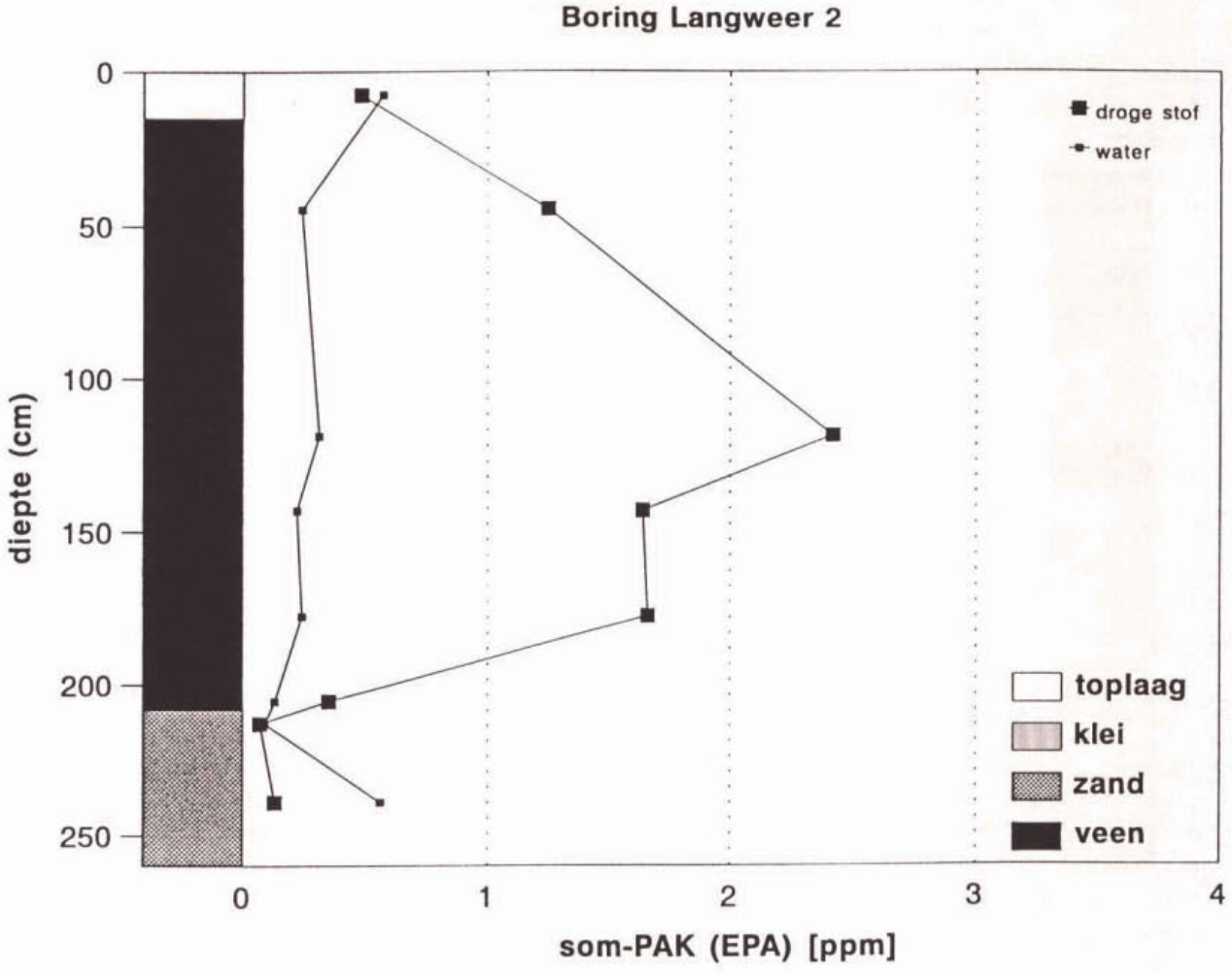

Boring Grote Peel 3
0
50
100
diepte (cm)
leem
droge stof
water
toplaag
klei
zand
veen
0
1
2
3
4
som-PAK (EPA) [ppm]

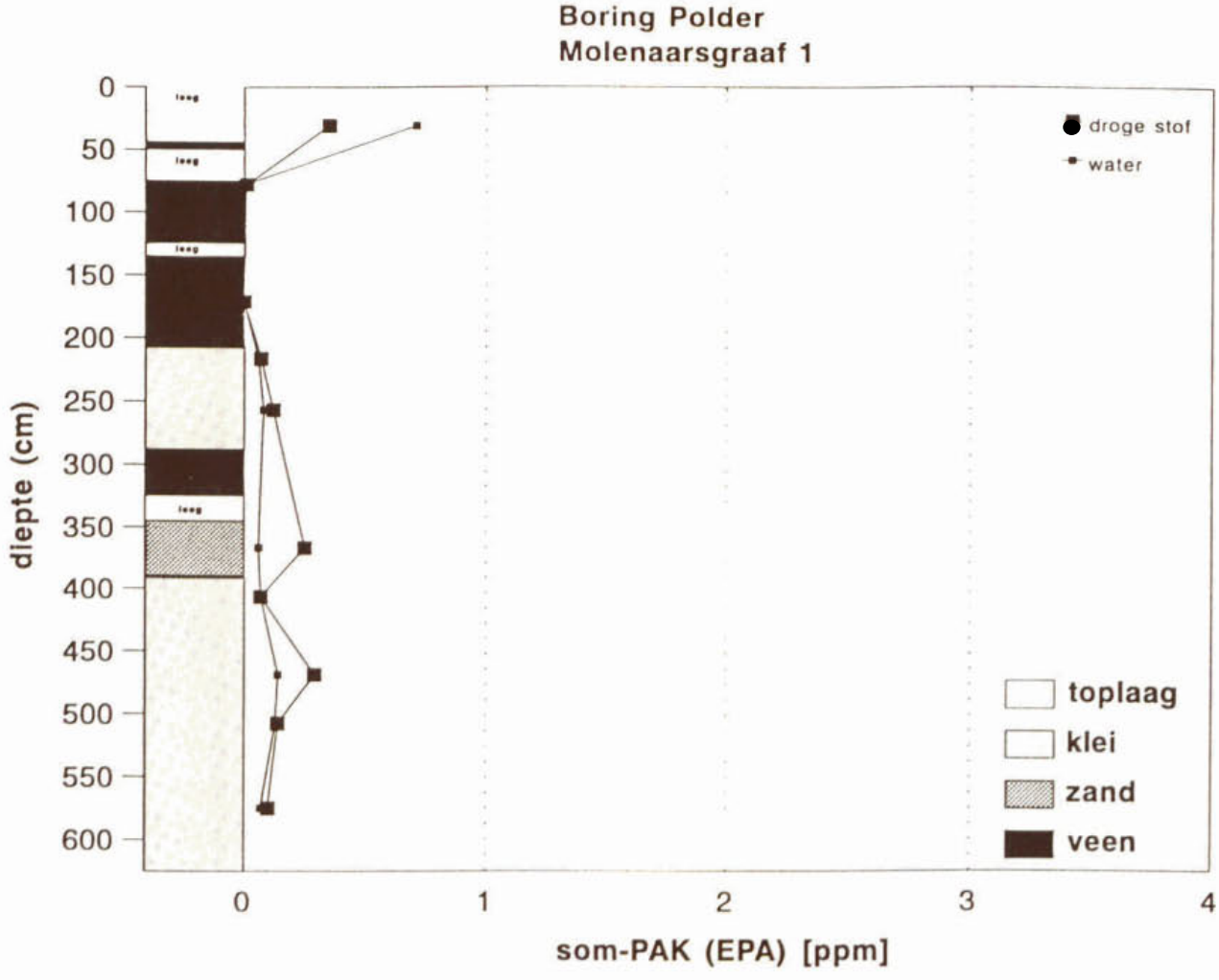

Boring Grote Peel 4
0
50
100
150
diepte (cm)
droge stof
water
toplaag
klei
zand
veen
leem
0
1
2
3
4
som-PAK (EPA) [ppm]

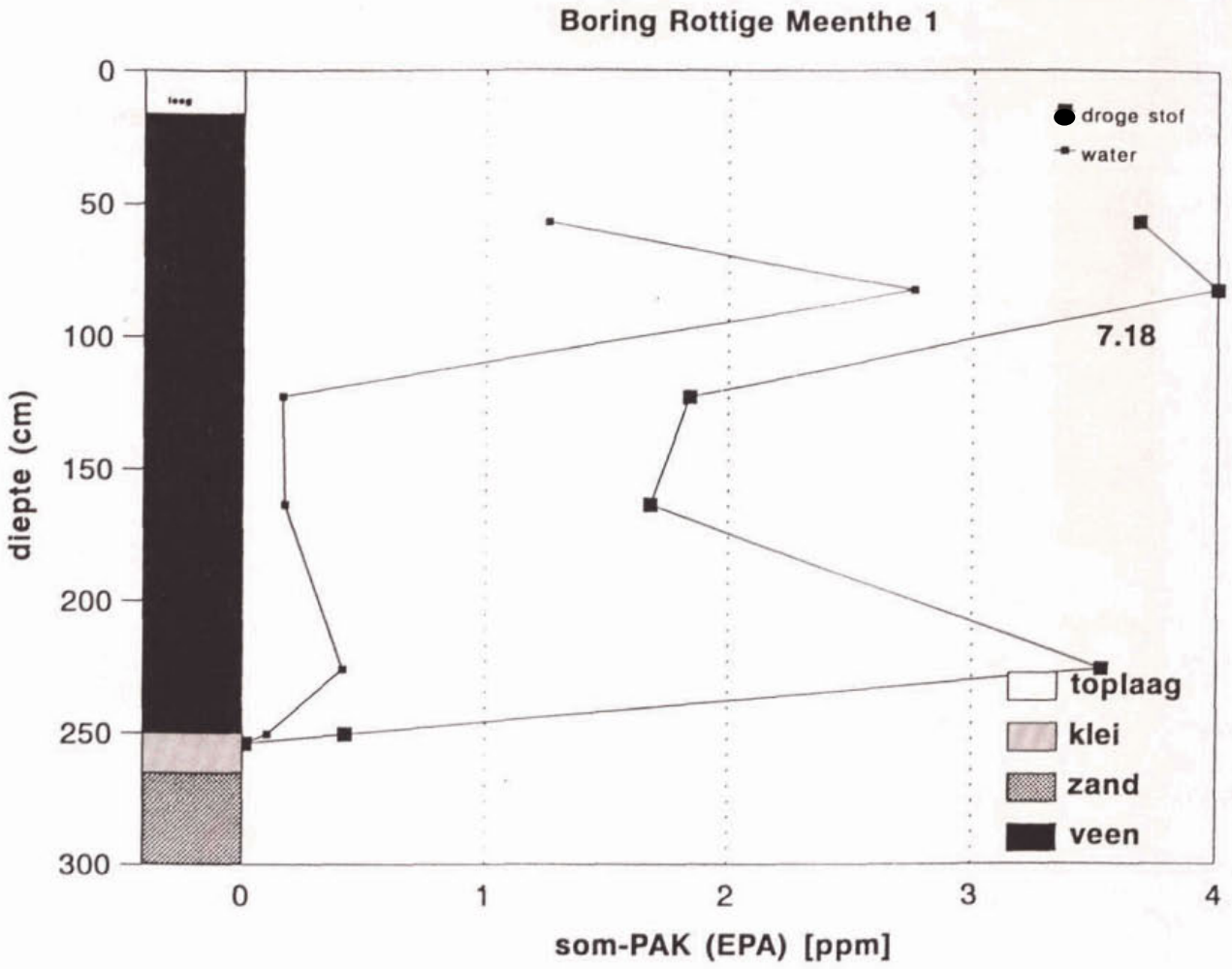

Boring Hommerts 2
0
50
100
150
200
250
diepte (cm)
droge stof
water
toplaag
klei
zand
veen
0
1
2
3
4
som-PAK (EPA) [ppm]

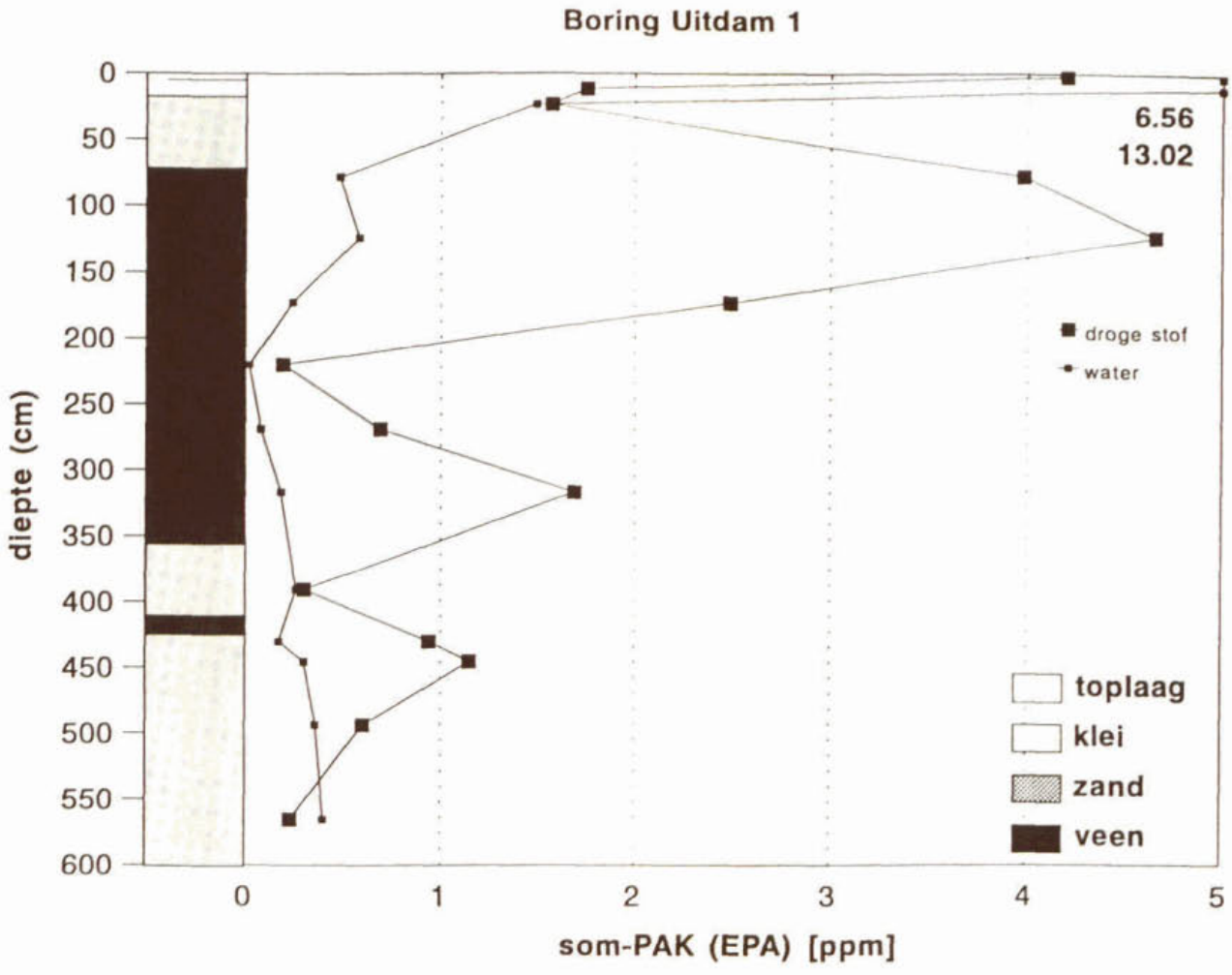

Boring Kloosterveen 1
0
50
100
150
200
diepte (cm)
droge stof
water
5.39
toplaag
klei
zand
veen
0
1
2
3
4
5
som-PAK (EPA) [ppm]

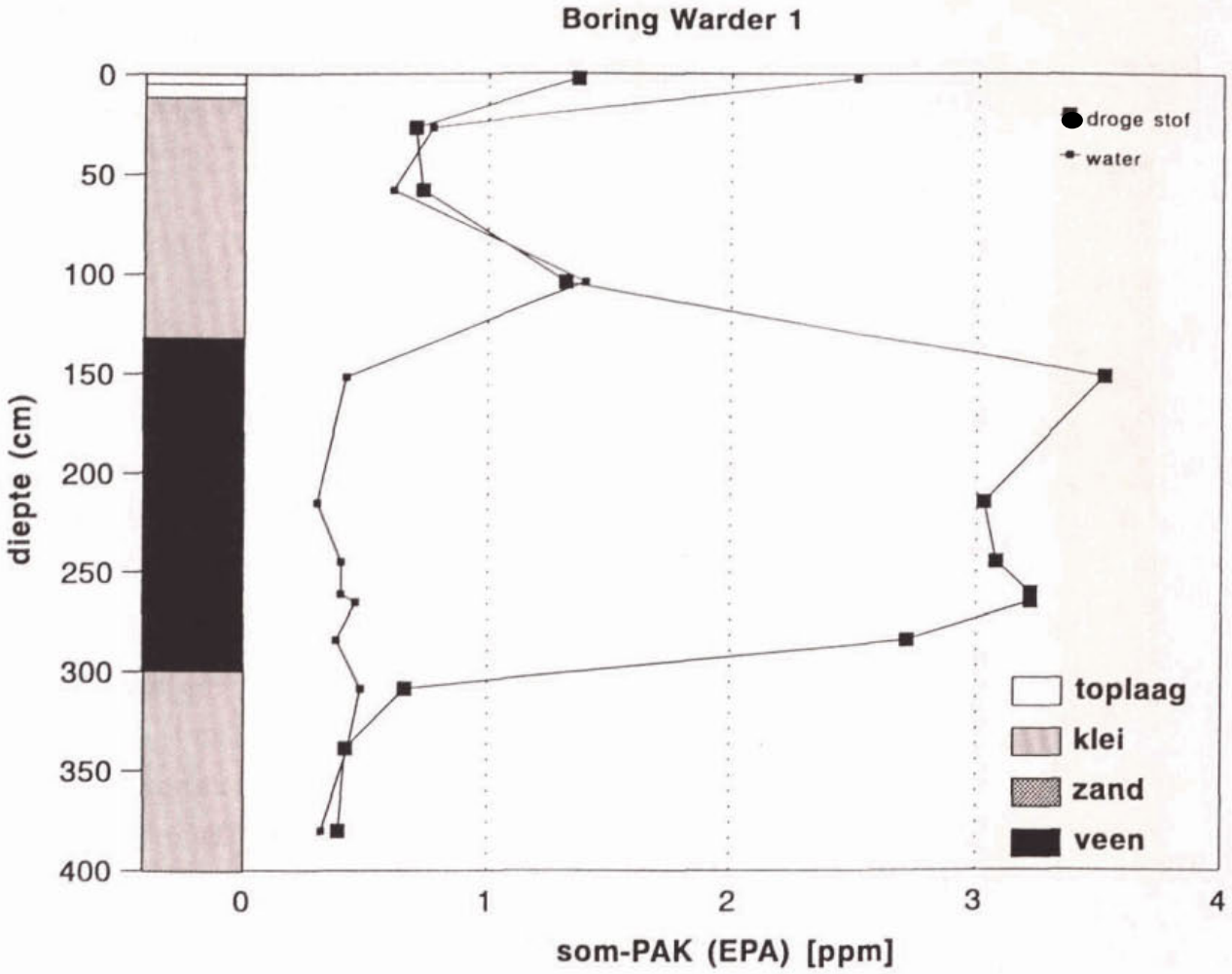

Boring Knollendam 1
0
50
100
150
200
250
300
diepte (cm)
droge stof
water
toplaag
klei
zand
veen
0
1
2
3
4
som-PAK (EPA) [ppm]

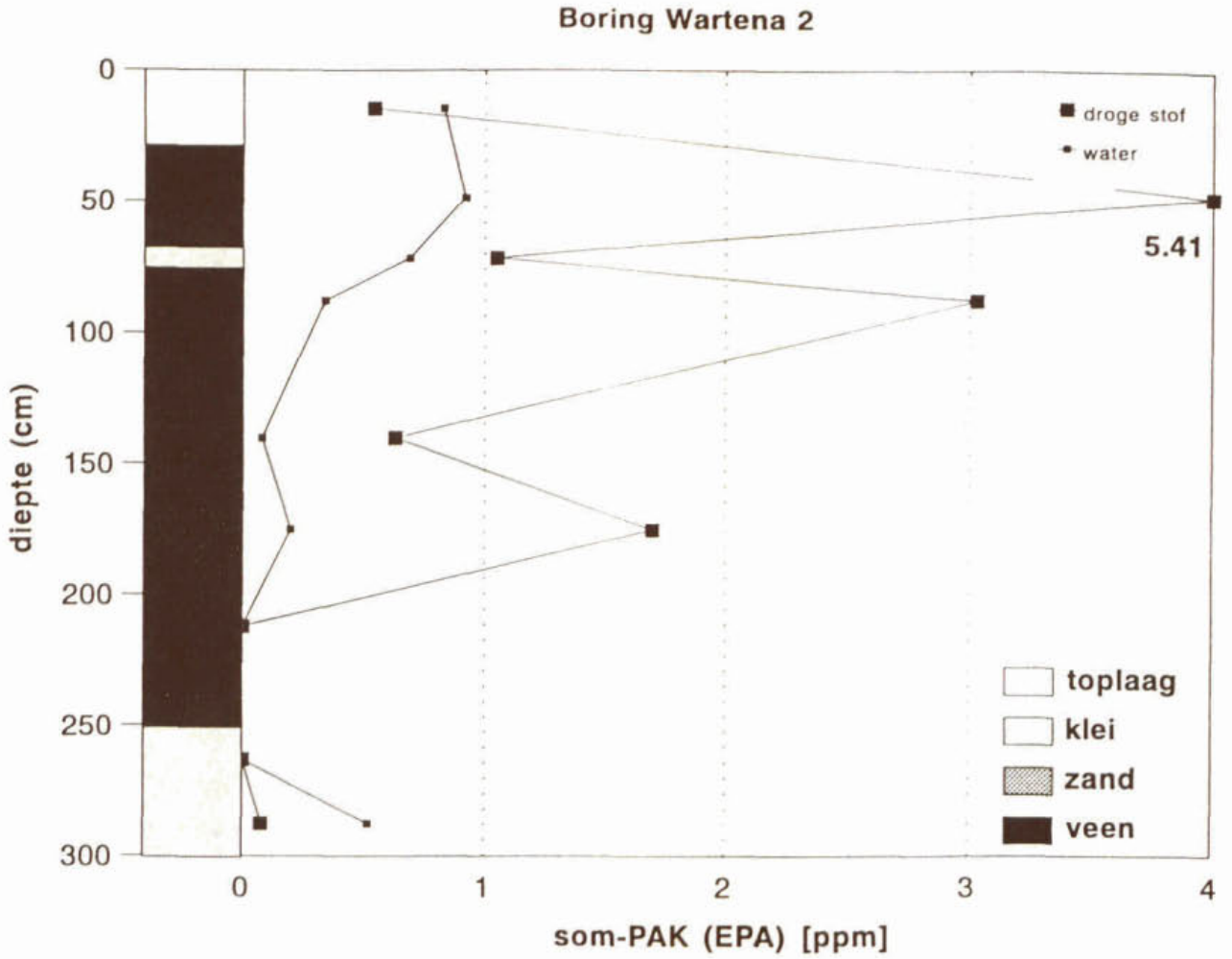

Boring Langweer 2
0
50
100
150
200
250
diepte (cm)
droge stof
water
toplaag
klei
zand
veen
0
1
2
3
4
som-PAK (EPA) [ppm]


Boring Polder
Molenaarsgraaf 1
diepte (cm)
0
50
100
150
200
250
300
350
400
450
500
550
600
leeg
leeg
leeg
leeg
droge stof
water
toplaag
klei
zand
veen
0
1
2
3
4
som-PAK (EPA) [ppm]


Boring Rottige Meenthe 1
0
50
100
150
200
250
300
diepte (cm)
0
1
2
3
4
som-PAK (EPA) [ppm]
droge stof
water
7.18
toplaag
klei
zand
veen

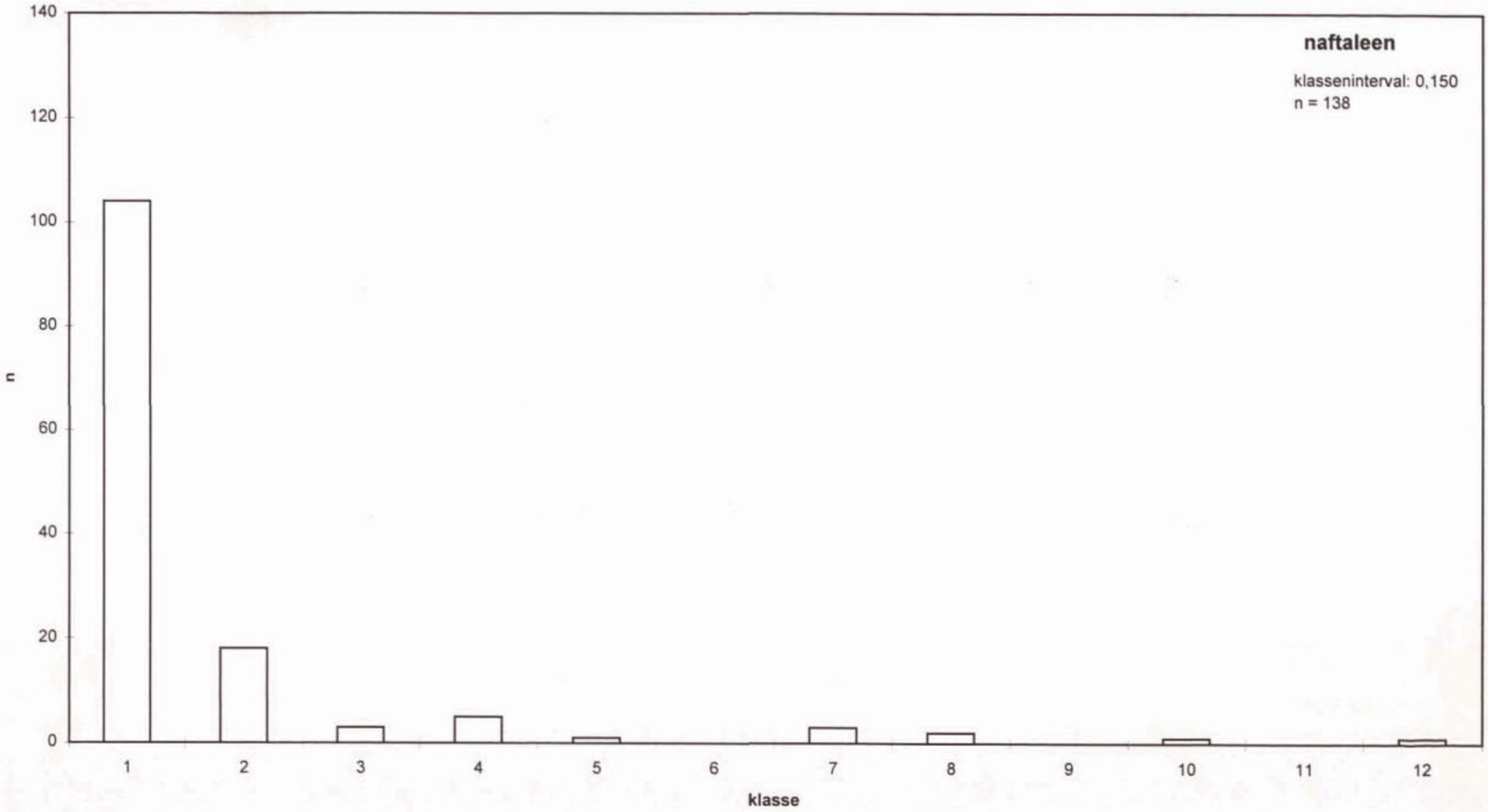

Boring Uitdam 1
0
50
100
150
200
250
300
350
400
450
500
550
600
diepte (cm)
0
1
2
3
4
5
som-PAK (EPA) [ppm]
6.56
13.02
droge stof
water
toplaag
klei
zand
veen


Boring Warder 1
0
50
100
150
200
250
300
350
400
diepte (cm)
droge stof
water
toplaag
klei
zand
veen
0
1
2
3
4
som-PAK (EPA) [ppm]

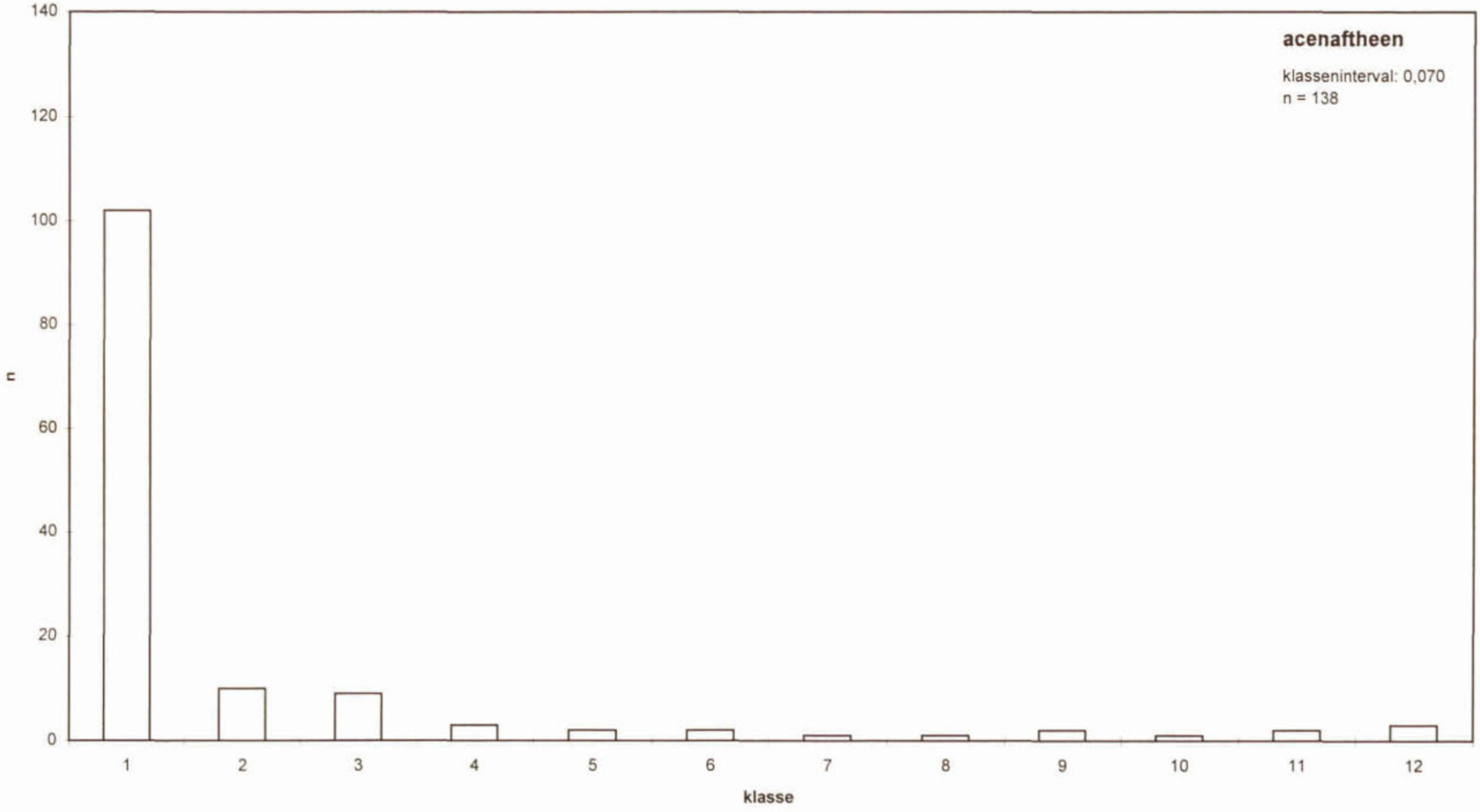

Boring Wartena 2
droge stof
water
5.41
toplaag
klei
zand
veen
diepte (cm)
0
50
100
150
200
250
300
0
1
2
3
4
som-PAK (EPA) [ppm]

Bijlage B5: Histogrammen individuele PAK

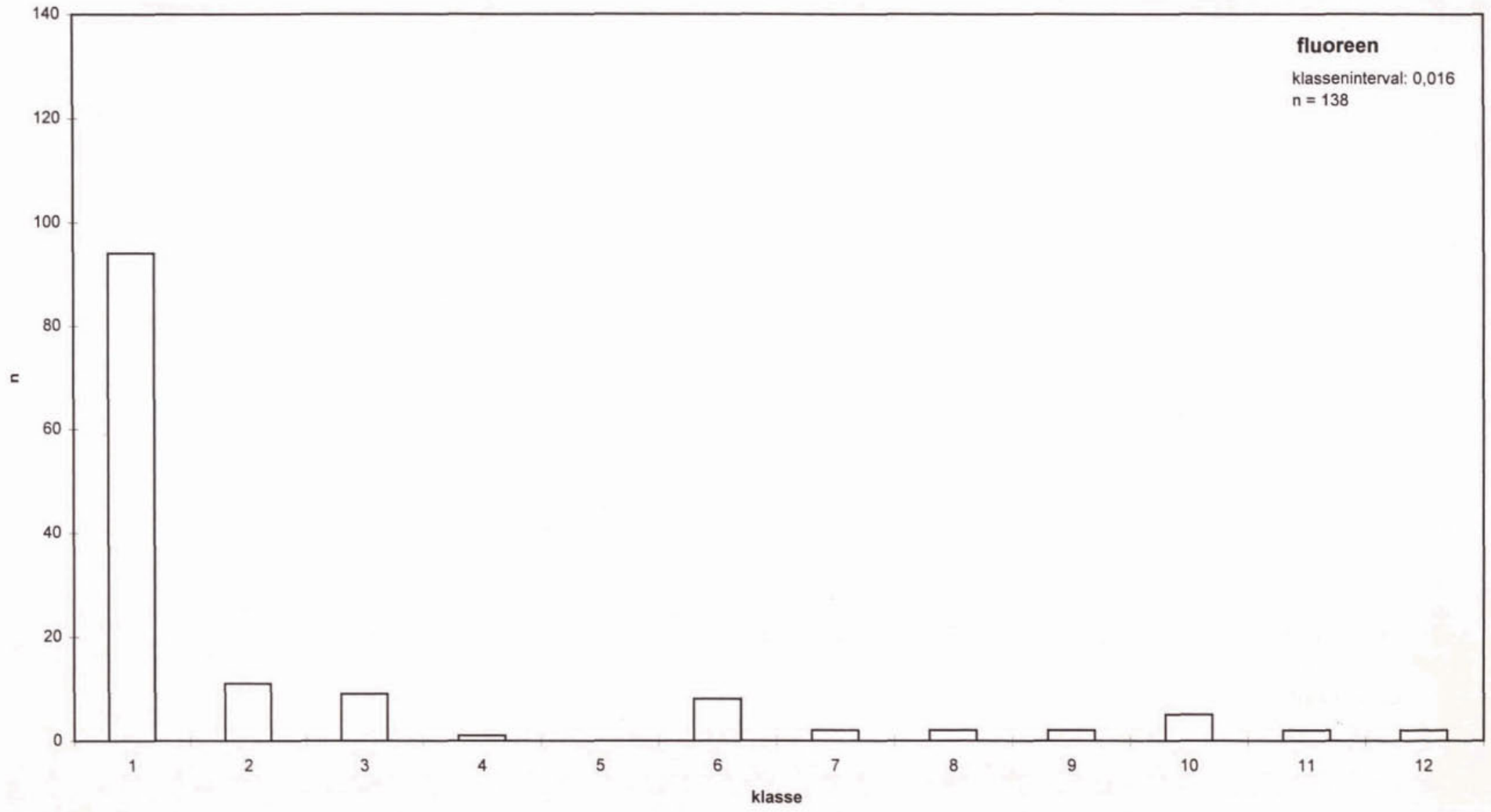
Bijlage 5.1


naftaleen
klasseninterval: 0,150
n = 138
140
120
100
80
60
40
20
0
n
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
klasse

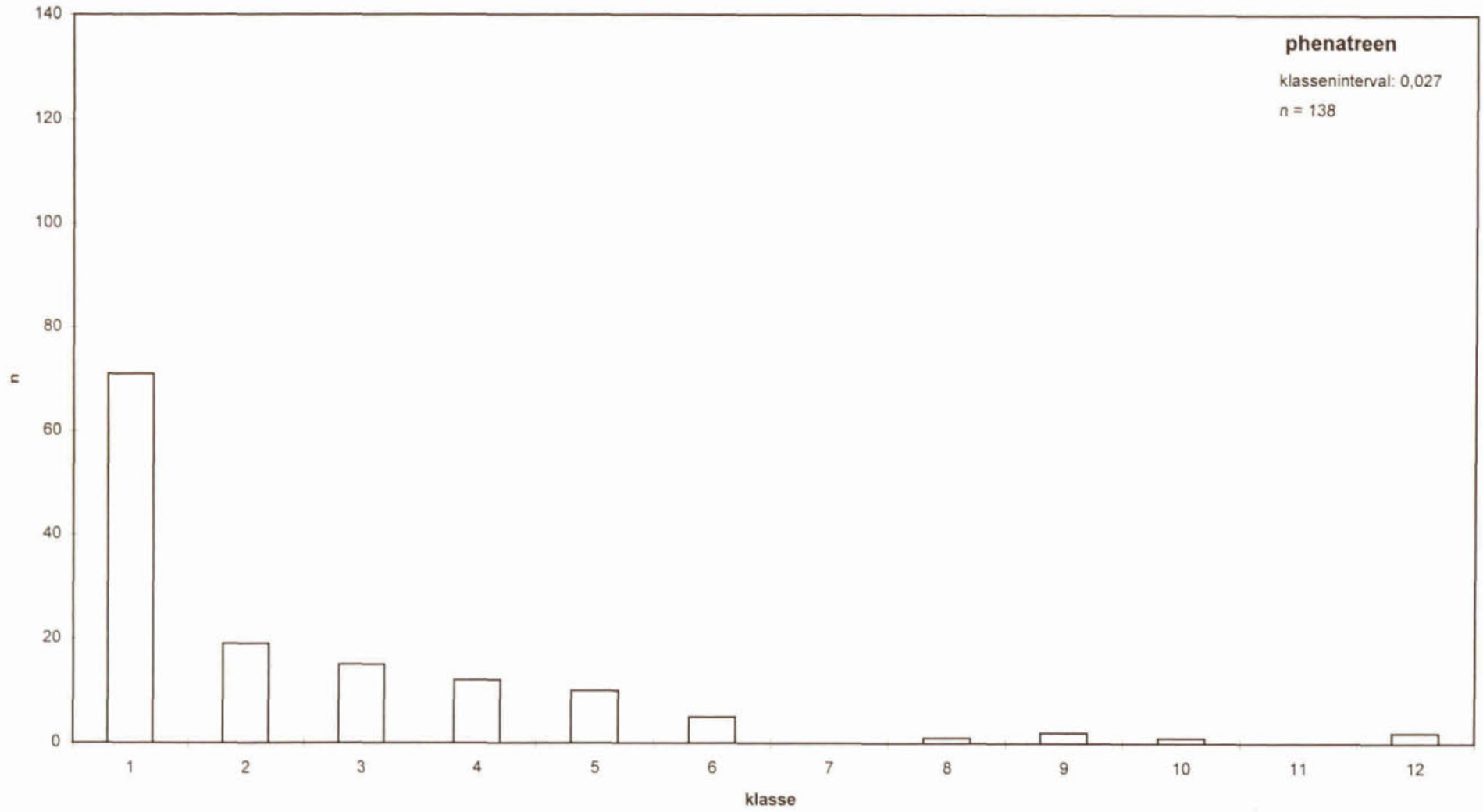
Bijlage 5.2


acenaftheen
klasseninterval: 0,070
n = 138
140
120
100
80
60
40
20
0
n
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
klasse

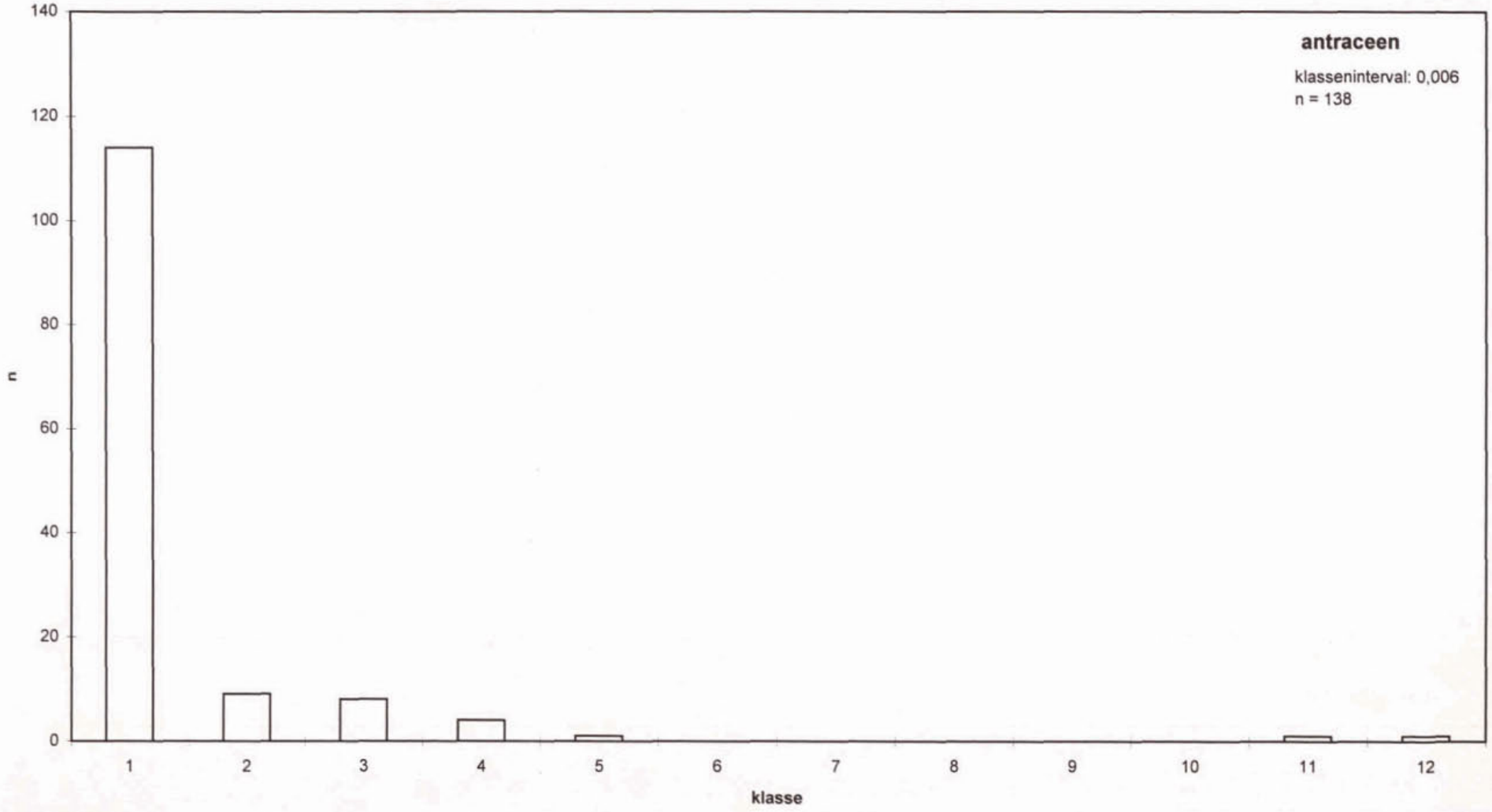
Bijlage 5.3


fluoreen
klasseninterval: 0,016
n = 138
140
120
100
80
60
40
20
0
n
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
klasse

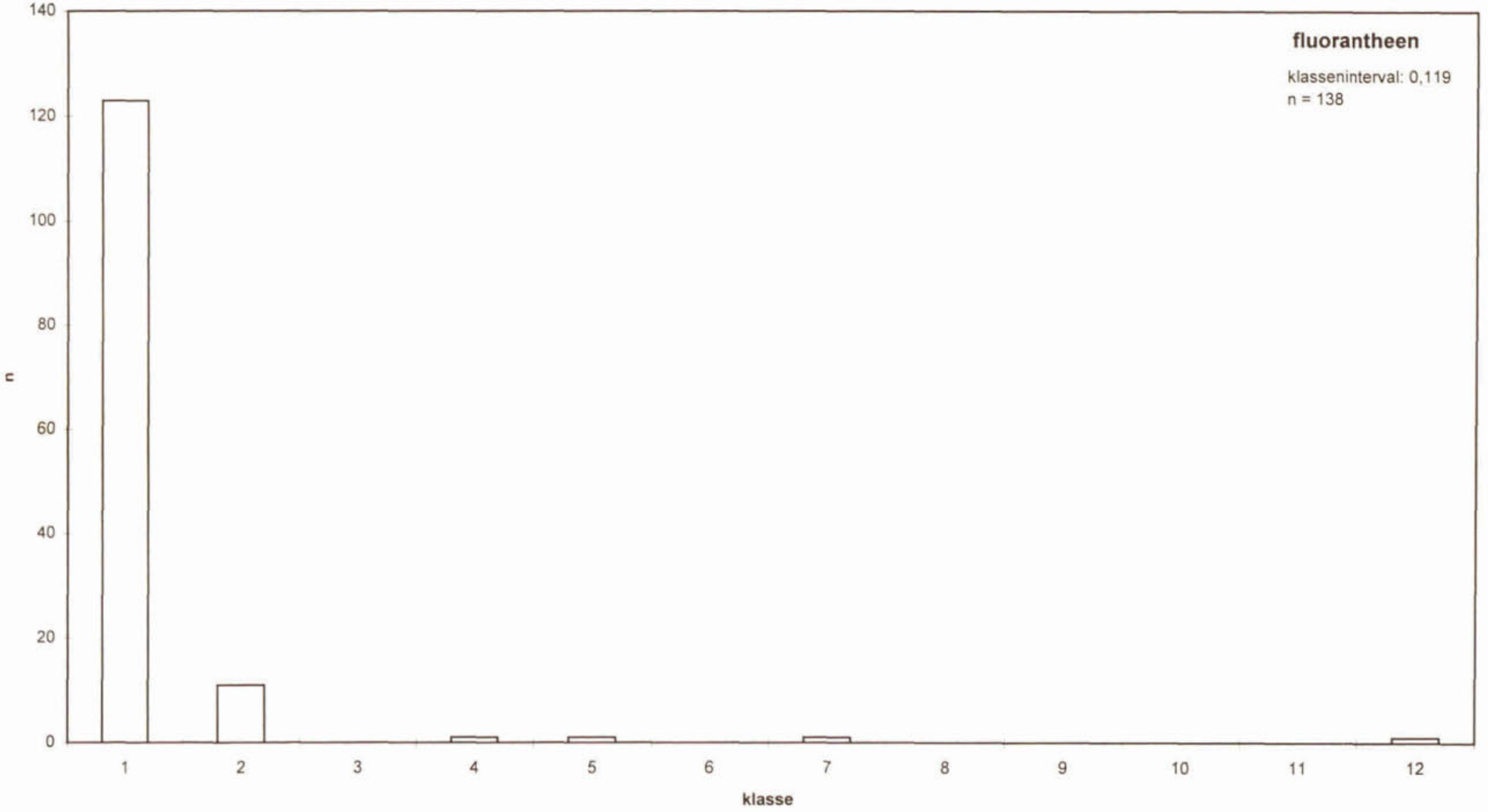
Bijlage 5.4


phenatreen
klasseninterval: 0,027
n = 138
n
140
120
100
80
60
40
20
0
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
klasse

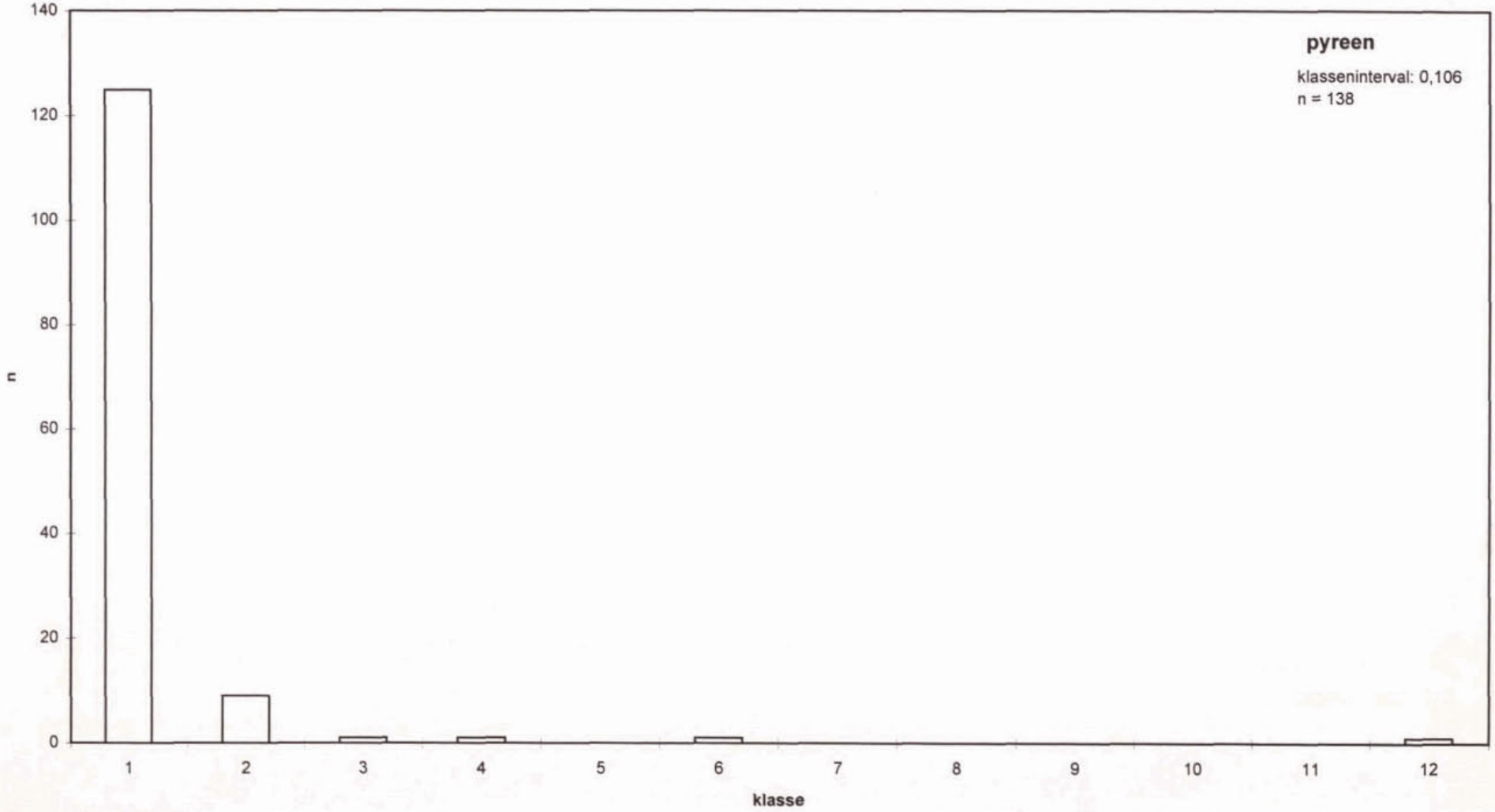
Bijlage 5.5


antraceen
klasseninterval: 0,006
n = 138
140
120
100
80
60
40
20
0
n
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
klasse

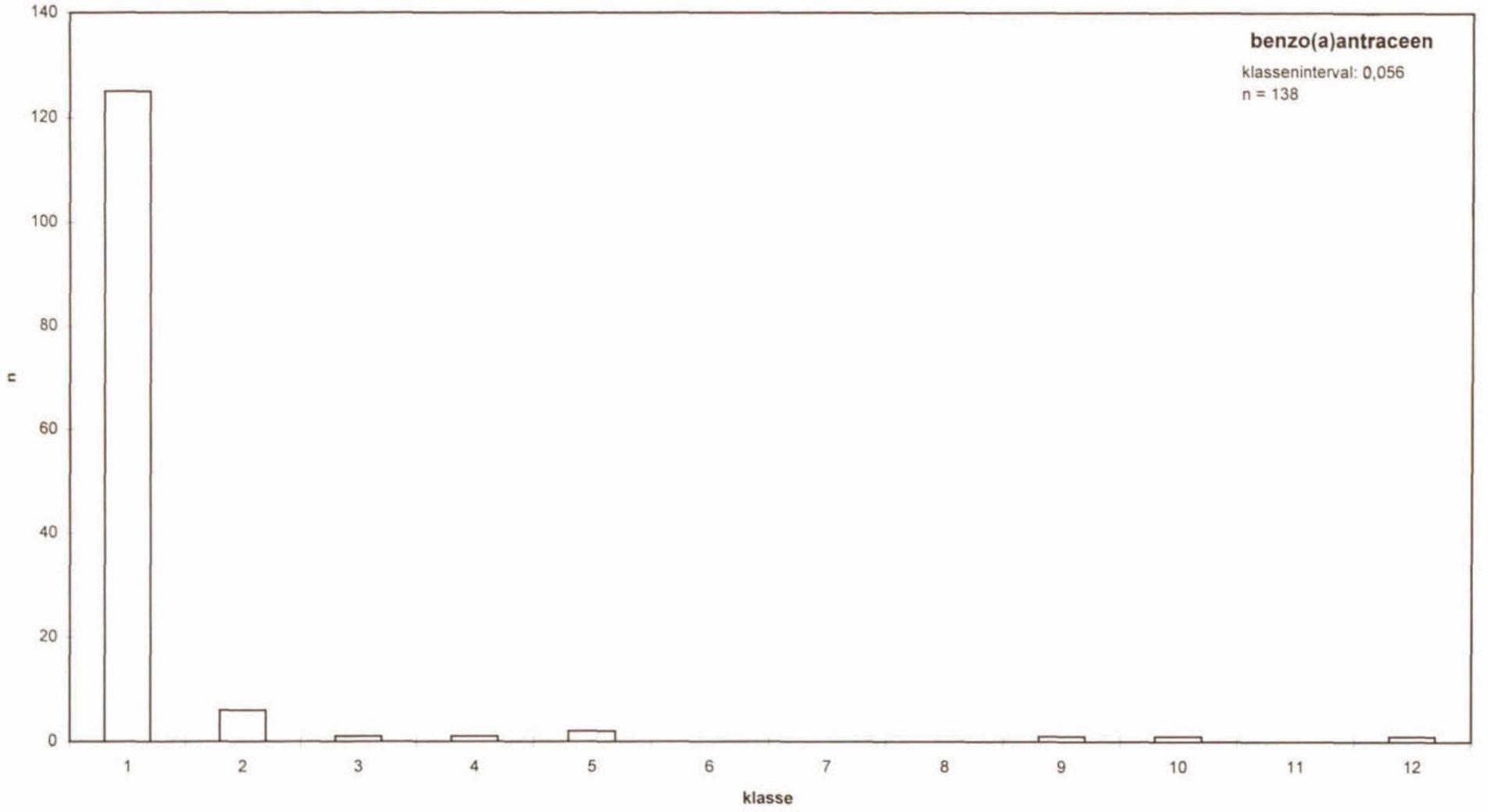
Bijlage 5.6


fluorantheen
klasseninterval: 0,119
n = 138
140
120
100
80
60
40
20
0
n
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
klasse

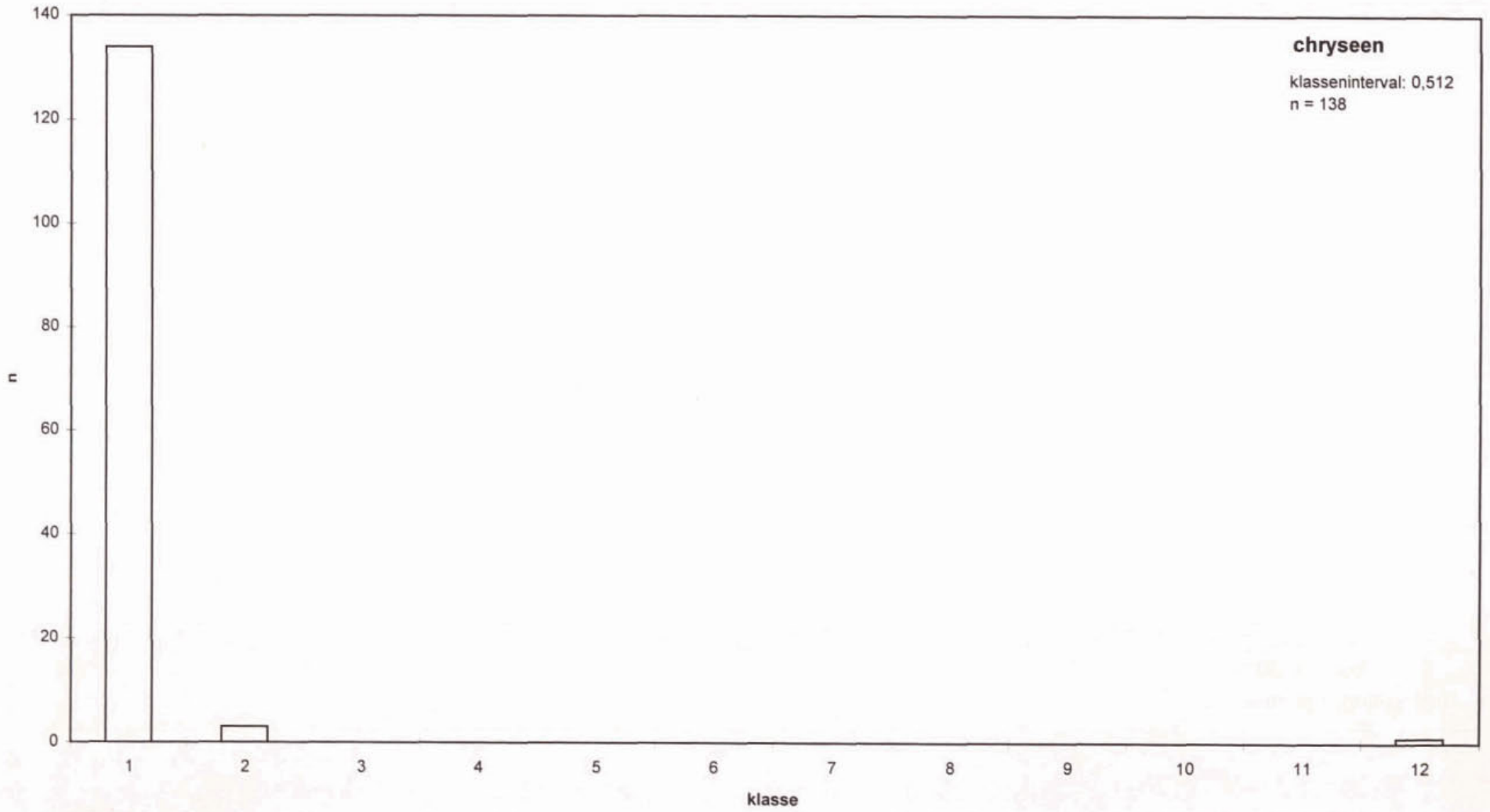
Bijlage 5.7


pyreen
klasseninterval: 0,106
n = 138
140
120
100
80
60
40
20
0
n
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
klasse

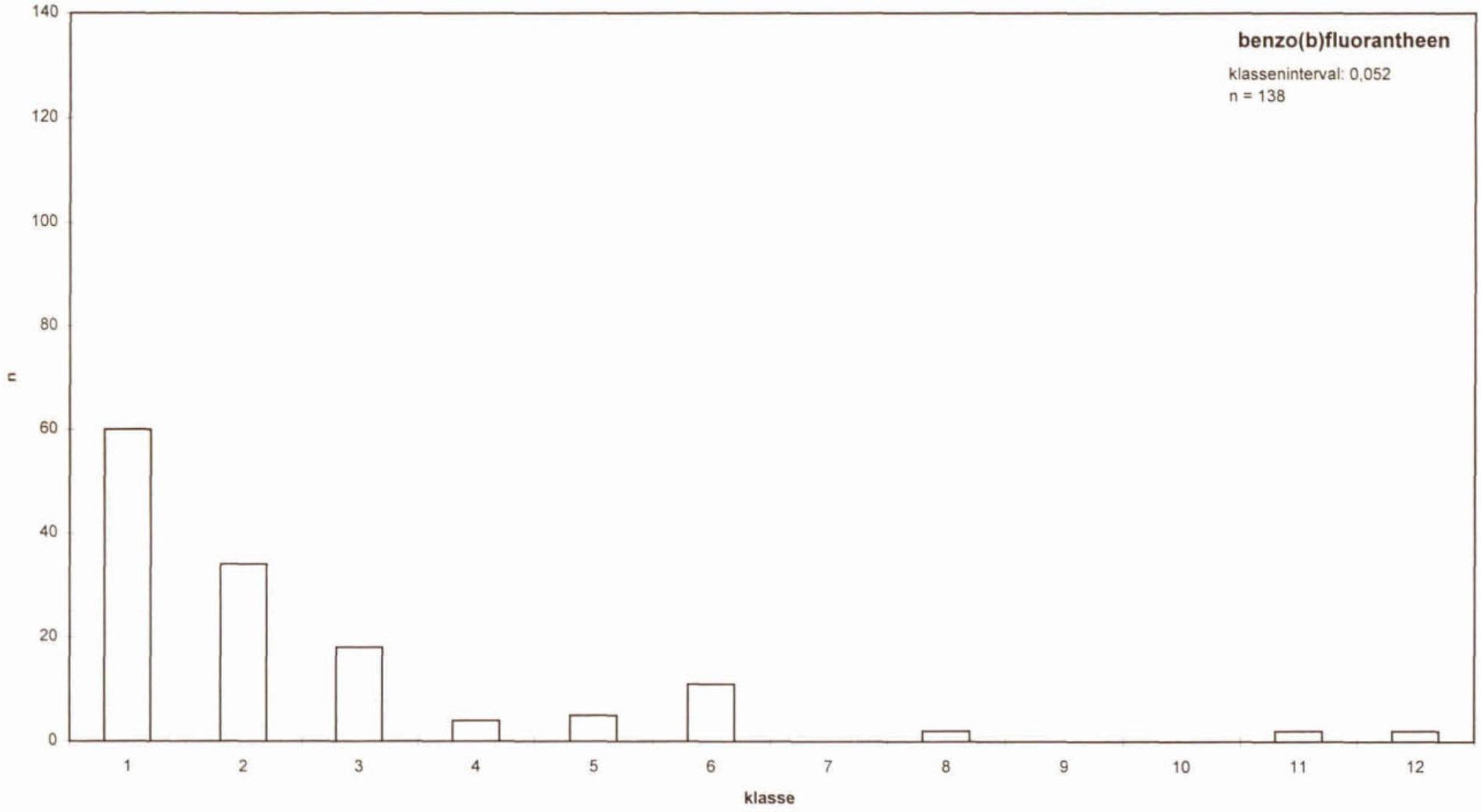
Bijlage 5.8


benzo(a)antraceen
klasseninterval: 0,056
n = 138
140
120
100
80
60
40
20
0
n
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
klasse

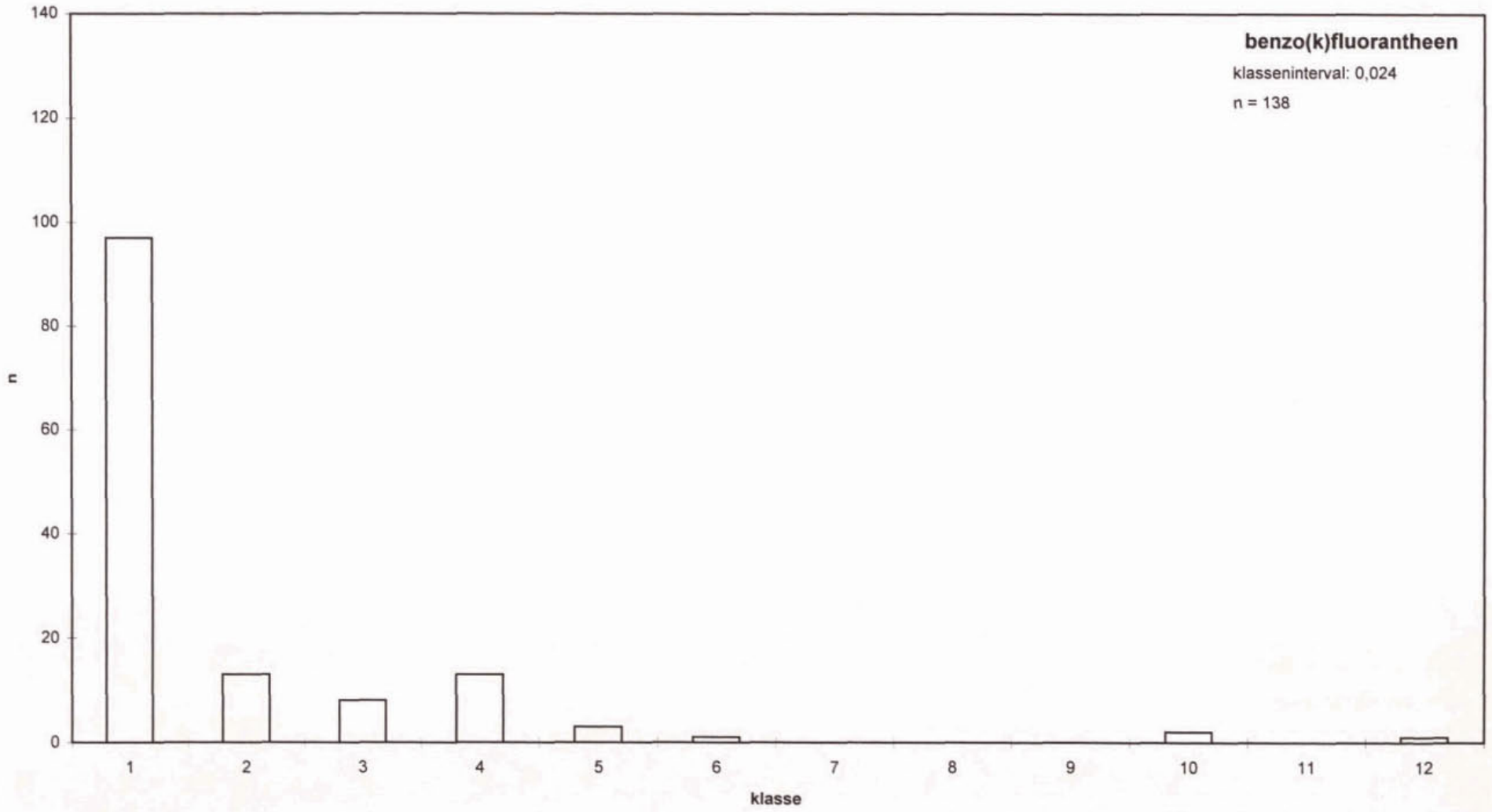
Bijlage 5.9


chryseen
klasseninterval: 0,512
n = 138
140
120
100
80
60
40
20
0
n
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
klasse

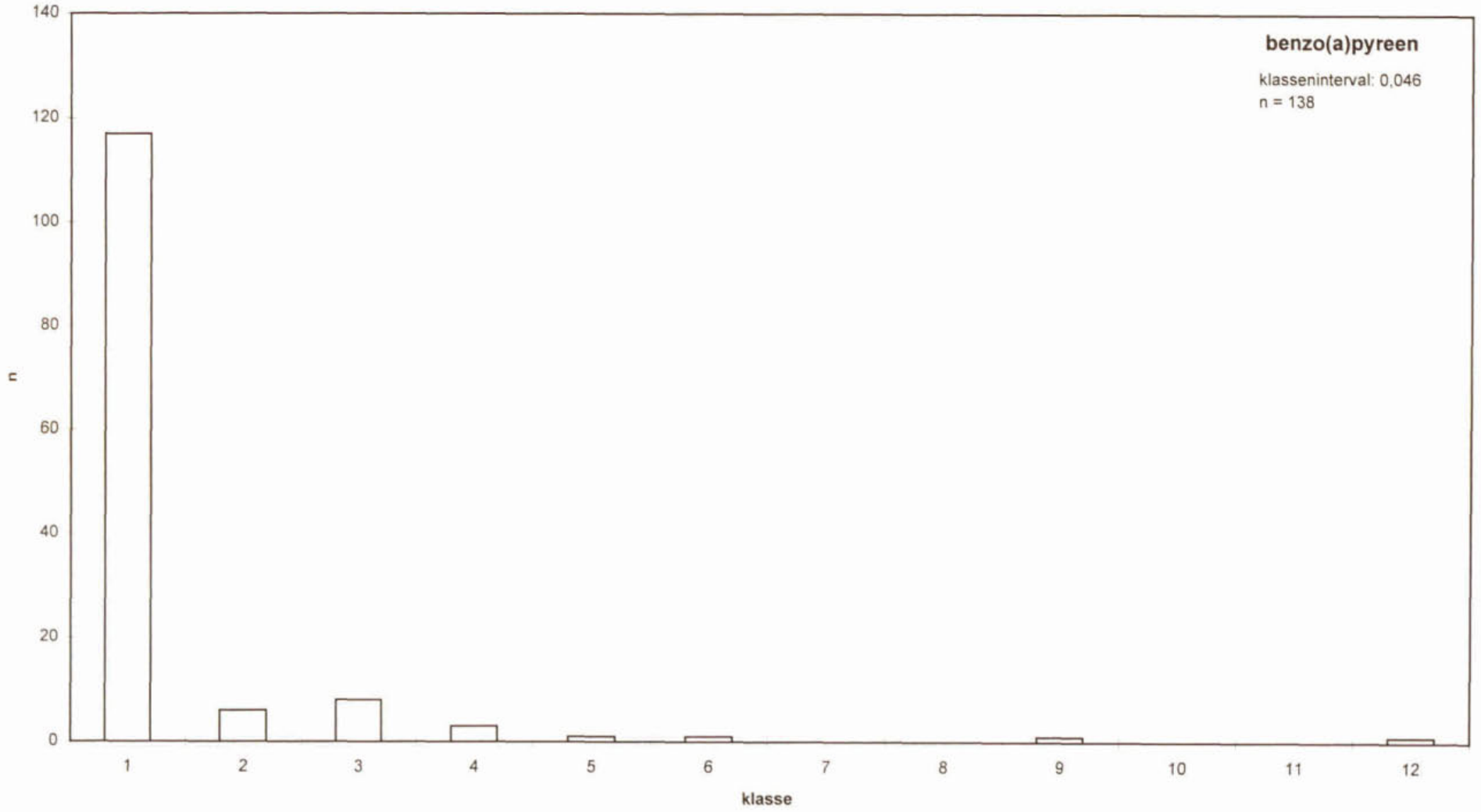
Bijlage 5.10


benzo(b)fluorantheen
klasseninterval: 0,052
n = 138
n
140
120
100
80
60
40
20
0
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
klasse

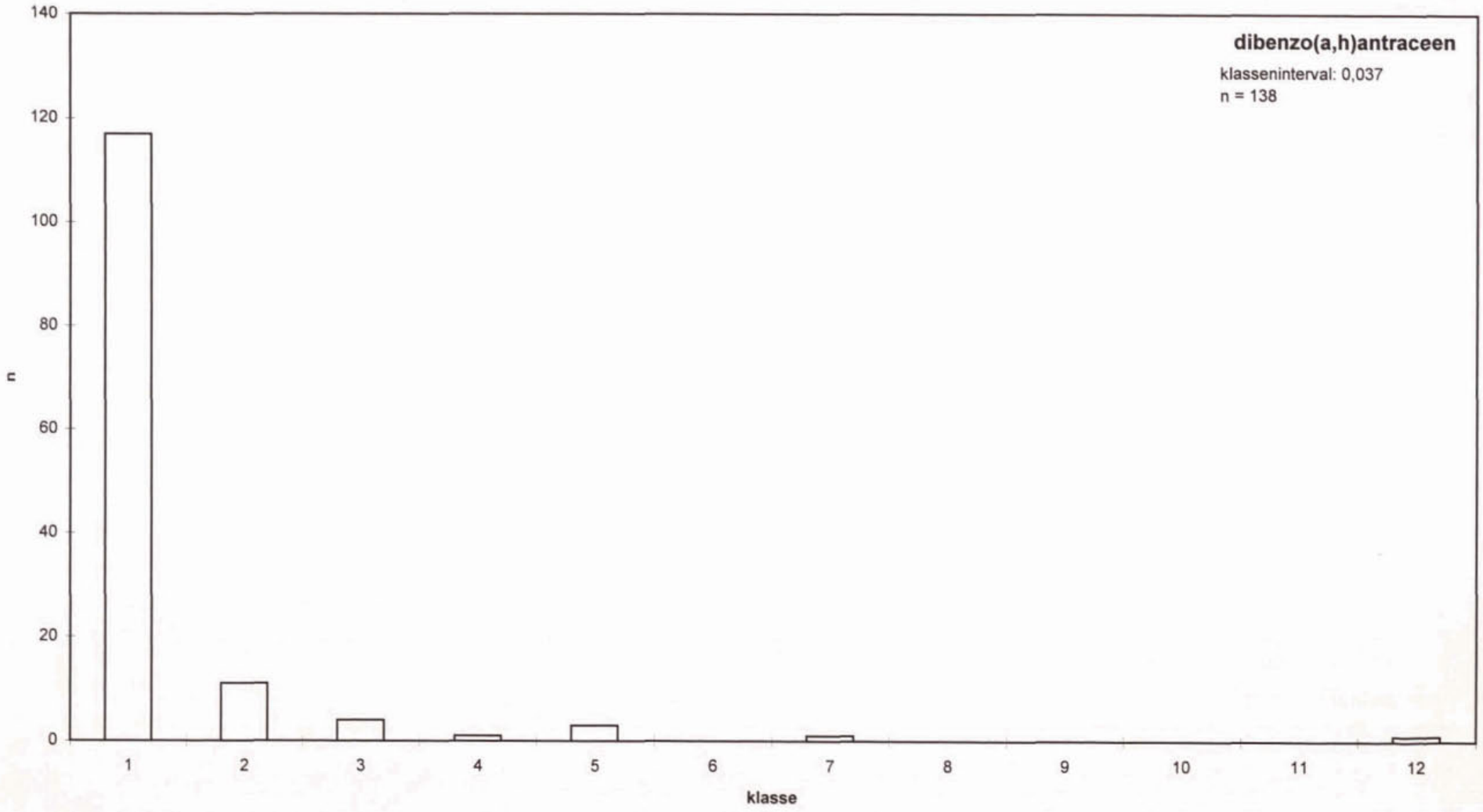
Bijlage 5.11


benzo(k)fluorantheen
klasseninterval: 0,024
n = 138
140
120
100
80
60
40
20
0
n
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
klasse

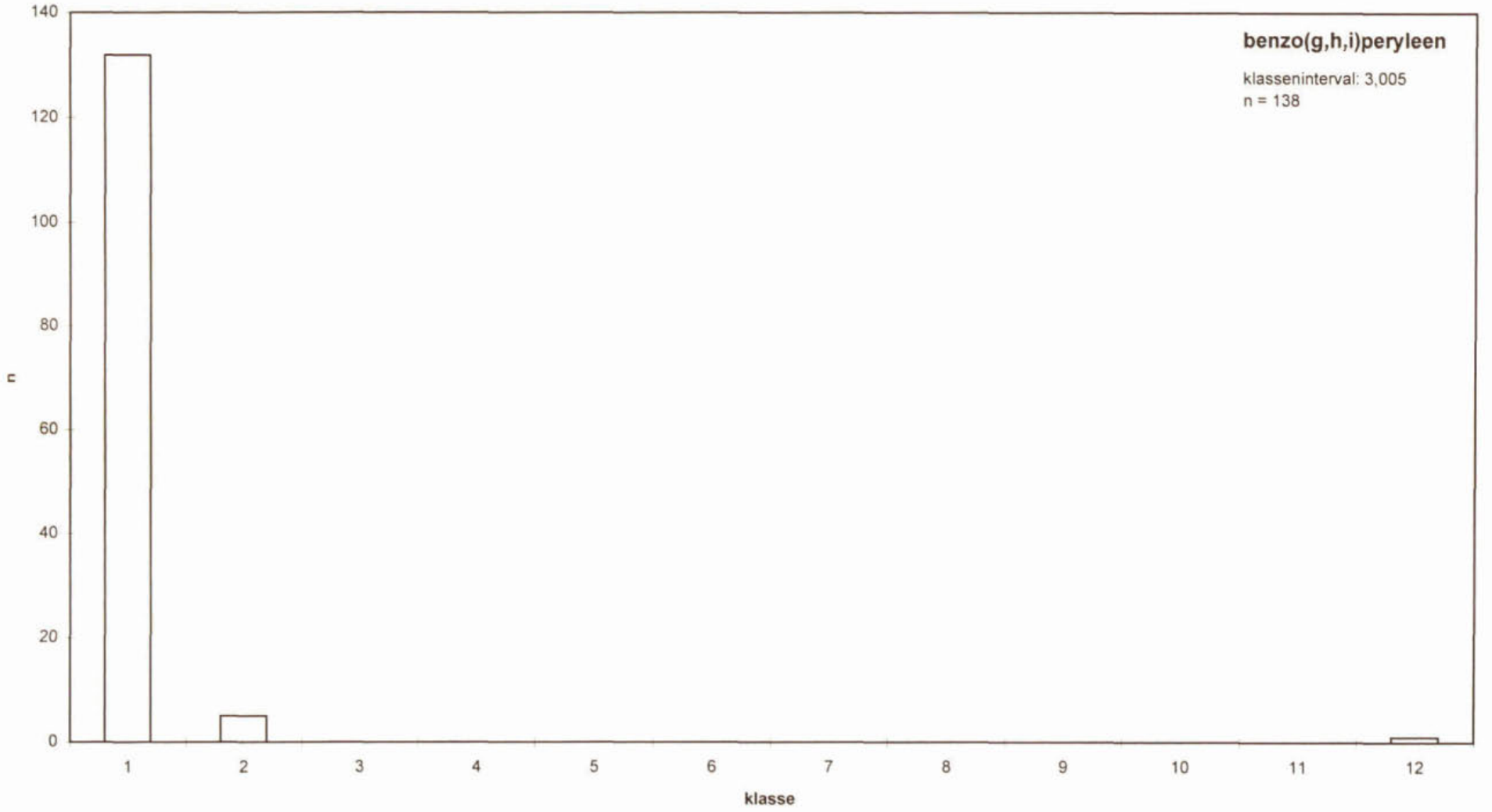
Bijlage 5.12


benzo(a)pyreen
klasseninterval: 0,046
n = 138
140
120
100
80
60
40
20
0
n
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
klasse

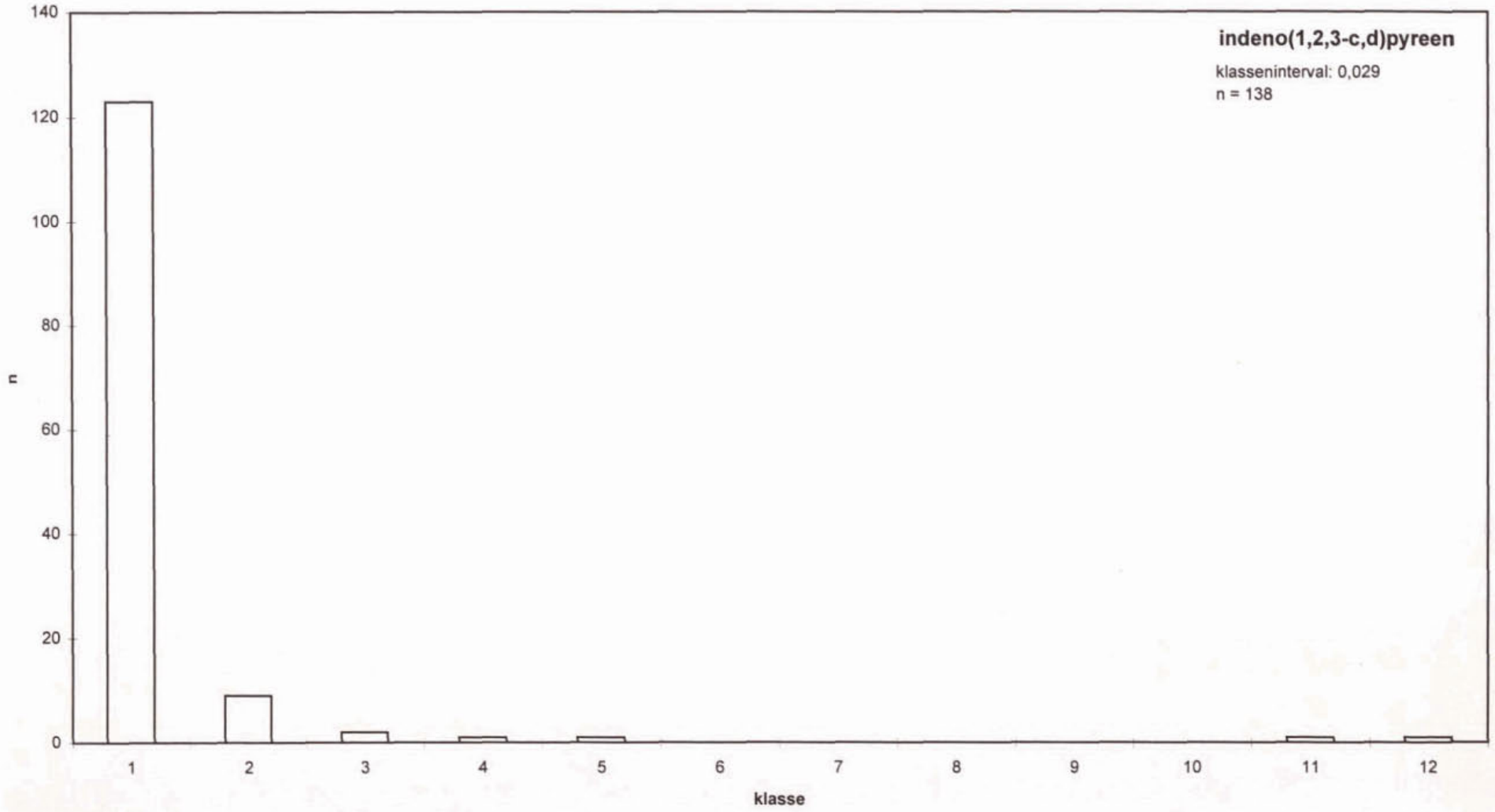
Bijlage 5.13


dibenzo(a,h)antraceen
klasseninterval: 0,037
n = 138
140
120
100
80
60
40
20
0
n
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
klasse

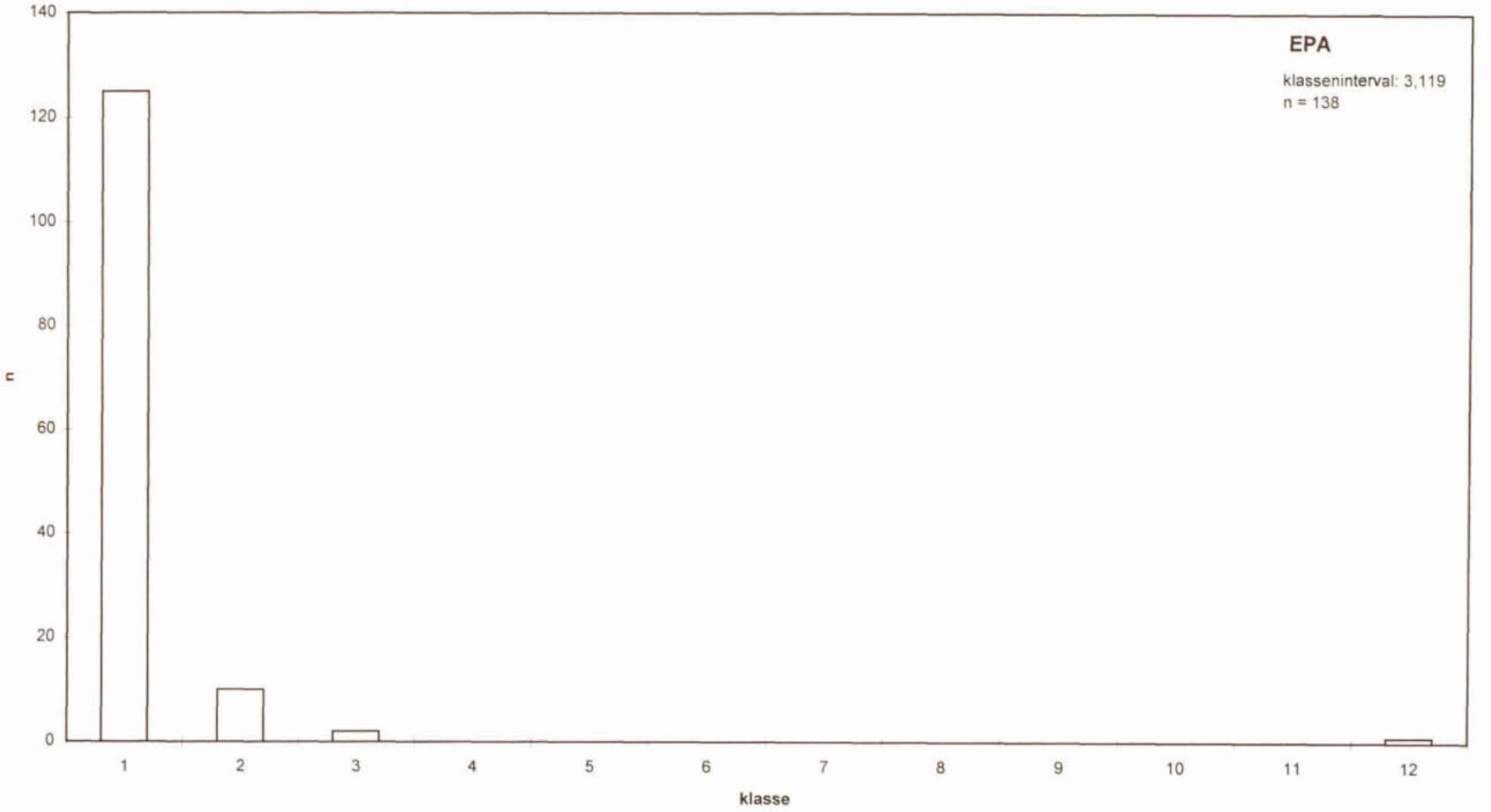
Bijlage 5.14


benzo(g,h,i)peryleen
klasseninterval: 3,005
n = 138
n
klasse
0
20
40
60
80
100
120
140
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12

Bijlage 5.15


indeno(1,2,3-c,d)pyreen
klasseninterval: 0,029
n = 138
140
120
100
80
60
40
20
0
n
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
klasse

Bijlage 5.16


EPA
klasseninterval: 3,119
n = 138
140
120
100
80
60
40
20
0
n
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
klasse

Bijlage B6: Multivariate statistische analyse

Bijlage 6: Multivariate Statistische Analyse

1 Factoranalyse

De correlatiematrix van alle variabelen voor alle monsters is opgenomen in bijlage B.6a. In bijlage B.6b zijn de significantieniveoos aangegeven. De significantie bij toetsing op p=.01 en p=0.05 (2-zijdig) is aangeven in de correlatiematrix door respectievelijk 1 of 2 sterren. Duidelijk is dat tussen sommige groepen variabelen een sterkere mate van associatie bestaat dan tussen andere.

De interpretatie van bovengenoemde correlatiematrix kan ondersteund worden met behulp van factoranalyse. Door het groeperen van aan elkaar gecorrelleerde parameters kunnen natuurlijke verbanden tussen clusters van variabelen worden herkend. Uitgangspunt is hierbij dat gecorreleerde variabelen een min of meer normale verdeling vertonen. Dit is in de onderhavige database niet het geval. De meeste variabelen laten een zeer scheve verdeling zien waarbij de gewichten van enkele monsters met extreme waarden de structuur van de correlatiematrix onevenredig sterk beinvloeden.
In deze studie blijkt dat het overgrote deel van de monsters zeer lage concentraties aan PAK bezit. Om een beeld te krijgen van de onderlinge relaties tussen de variabelen werden vier factoranalyses met elkaar vergeleken:

1. Alle data.
2 Uitsluiting enkele monsters met extreem hoge waarde voor som-PAK, 970116 en 970117
3 Uitsluiting van monsters met som PAK < 0,5 ppm
4 Uitsluiting van monsters met extreem hoge waarde van PAK en met som PAK < 0,5 ppm

De monsters 970116 en 970117 zijn zeer extreem in die zin dat het eerste extreem veel BPE bevat en het tweede met een zeer hoge concentratie CHR. Deze extremen hebben een onevenredige invloed op de datamatrix. De analyses met uitsluiting van de zeer lage PAK-concentraties werden uitgevoerd om te testen of mogelijke ruis de faktoranalyse kon verstoren.
De correlatiematrices van de complete dataset is opgenomen in het verslag.

De kwaliteit van de correlatiematrices is getest met behulp van de Kaiser Maier Olkin "test for sampling adequacy"(Norussis, 1993), waarbij de ratio tussen correlatiecoefficient en partiele correlatiecoefficient wordt vergeleken . Als deze ratio dicht bij 1 licht is de correlatiematrix van excellente kwaliteit, beneden 0.5 onacceptabel. De resultaten van de KMO-test zijn weergegeven in tabel 1. Voor alle data samen geeft de KMO-test een zeer hoge score. Als delen van de dataset verwijderd worden wordt de KMO-score lager.

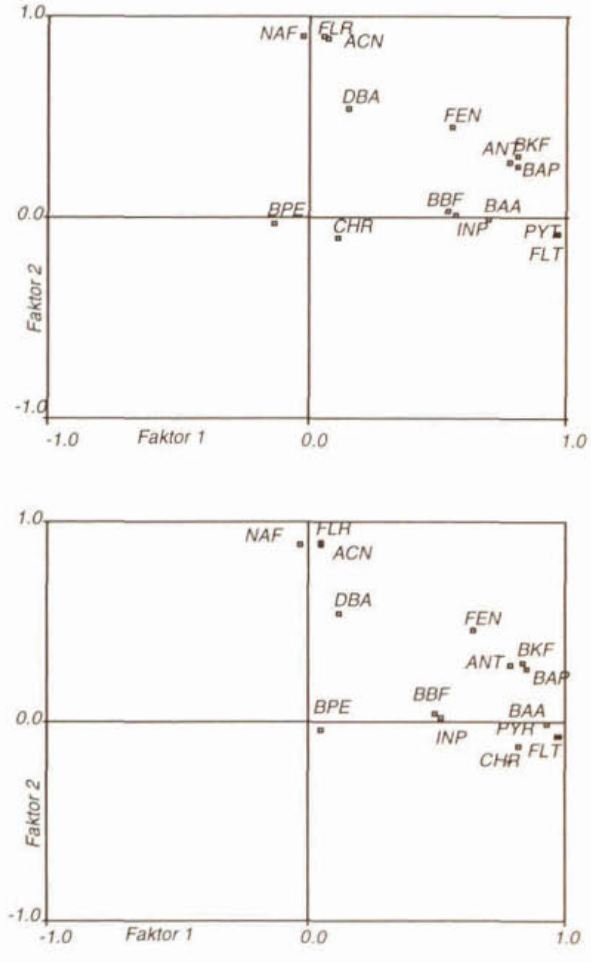
Bartlett's test for sphericity is een van de manieren om onder aanname van een multidivariate normaalverdeling de correlatiematrix als identitymatrix te toetsen. Als de significantie hoog is benadert de correlatiematrix de eenheidsmatrix, waarbij de niet-diagonale correlaties dus zeer laag zijn. De resultaten van Bartlett"s test zijn opgenomen in tabel 1. Uit de analyse blijkt dat de correlaties zeer significant zijn.

Tabel 1 Kwaliteitsanalyse correlatiematrix voor factoranalyse

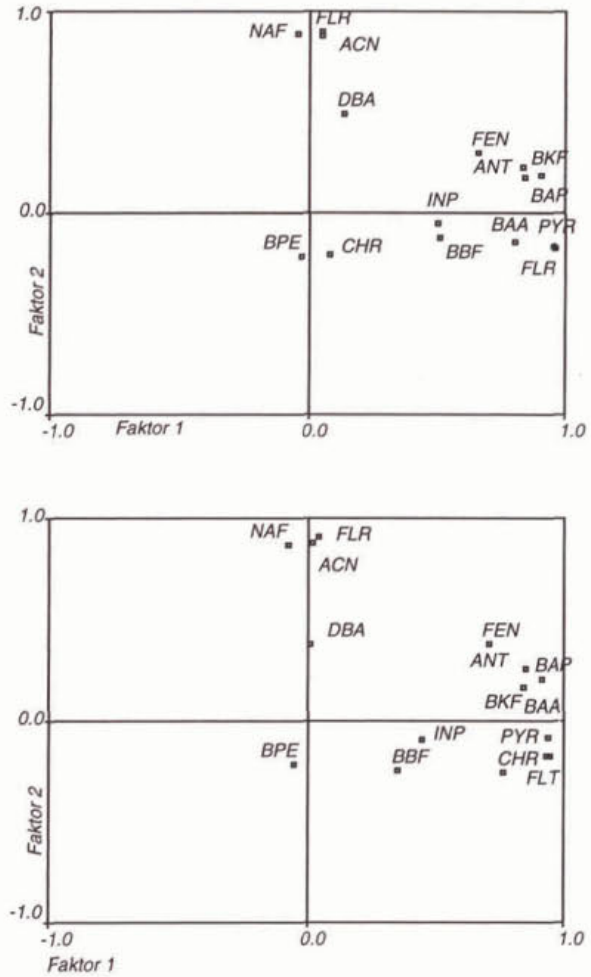
	faktoranalyse	KMO-test	significantie	Bartlett"s test chi-square	df	significantie
1	alle data	0.835	zeer goed	1871	105	0.00
2	zonder extremen	0.800	zeer goed	968	105	0.00
3	zonder som-PAK < 0,5	0.856	zeer goed	1928	105	0.00
4	zonder extremen, som-PAK> 0,5	0.829	zeer goed	1027	105	0.00

Op grond van de resultaten van zowel de KMO-test als de Bartlett test blijkt dat de structuur van de correlatiematrix een factoranalyse rechtvaardigt. Overigens dient opgemerkt te worden dat de resultaten van de tests bij de concentraties op basis van water nog beter waren.

In de figuren 1.a,b,c en d zijn de geroteerde factor plots op de eerste twee assen weergegeven. Alhoewel de ladingen van de diverse variabelen op de faktoren wisselen bij de faktoranalyses van de deelverzamelingen ten opzichte van alle data komt er wel een consistent beeld naar voren. In het onderstaande wordt alleen de faktoranalyse zonder extreme waarden en zonder monsters met een som-PAK kleiner dan 0,5 ppm besproken.



Figuur 1a, b Factor plots voor 4 factor analyses. Voor verklaring zie tekst



Figuur 1 c, d, Factor plots voor 4 factor analyses. Voor verklaring zie tekst

Er is een groep van aan elkaar gerelateerde variabelen, FLT, PYR, BAA, BAP, ANT, BKF en CHR die voornamelijk op de eerste factor laadt. Deze groep heeft overigens overwegend 3 of 4 of 5 aromatische ringen, . FEN Laadt gedeeltelijk op de tweede as en heeft 3 aromatische ringen. Een tweede groep, die geheel op de tweede factor laadt, bestaat uit NAF, ACN en FLR . Deze groep wordt gekenmerkt door twee aromatische ringen. De derde groep bestaat uit BPE dat uitsluitend op de derde as laadt. INP , BBF en DBA hebben een minder uitgesproken karakter en nemen met betrekking tot de faktoren intermediaire posities in. Als voorbeeld is in tabel 1 een Principal Component Analyse (Varimax rotatie met Kaiser Normalisatie) van de data met een som PAK> 0.5 zonder extremen opgenomen die het bovenstaande kwantificeert.
De eigenwaardenanalyse van de geroteerde matrix laat zien dat het merendeel van de totale variantie verklaard wordt de eerste factor. In tabel 2 zijn de percentages van de varianties die toegeschreven worden aan de eerste drie faktoren opgenomen.

Uit de tabel is duidelijk dat de som van de eerste drie factoren het merendeel van de variantie verklaart, waarbij de eerste factor dominant is. Het ligt voor de hand dat de eerste factor gedomineerd wordt door antropogene PAK, die aangetroffen worden in de oppervlaktemonsters van de boringen, hetgeen ook overeenstemt met de heterogene samenstelling van de PAK in de oppervlaktemonsters.

Voor de interpretatie van de tweede factor moeten meegewogen worden NAF, FLR en ACN behoren tot de lichtste EPA-PAK met 2 aromatische ringen. Dit duidt er op de tweede factor direct gerelateerd is aan molecuulgrootte van de PAK, en de daarvan afgeleide potentiele mobiliteit van de PAK. Met andere woorden, de tweede faktor beschrijft de chemische mobiliteit van PAK.
De derde factor wordt gedomineerd door BPE. Deze factor is geheel onafhankelijk van de eerste as en van de mobiliteitsas. Het licht dus voor de hand om te veronderstellen dat deze factor de in situ PAK voorstelt, zwaar geladen door BPE. Een alternatief is echter van meer technische aard. Zowel bij de UV-detectie, als bij de fluorescentiedetectie bleek dat er vaak een sterk signaal optrad bij de retentietijd van BPE. In eerste instantie werden op grond hiervan hoge concentraties BPE berekend. Later bleek echter, met behulp van GC/MS-onderzoek dat monsters die een veronderstelde BPE-piek hadden, geen of vrijwel geen BPE bevatten. Dit is ook door NIOZ bevestigd. Dit zou kunnen betekenen dat het BPE-signaal, alhoewel een in situ component, geen PAK, althans zeker geen EPA-PAK is. Het vaststellen van de identiteit en het kwantificeren van de werkelijke component of componenten is maar ten dele gelukt.

Tabel 2 *Geroteerde faktor matrix voor data zonder extremen en som-PAK > 0,5 ppm.*

	Faktor 1	Faktor 2	Faktor 3
FLT	0,952	-0,178	0,128
PYR	0,943	-0,171	0,134
BAA	0,933	-0,079	0,101
BAP	0,911	0,209	0,081
ANT	0,850	0,254	-0,018
BKF	0,841	0,161	0,142
CHR	0,766	-0,259	0,102
FEN	0,710	0,381	-0,129
INP	0,449	-0,095	0,194
FLR	0,045	0,910	0,043
ACN	0,023	0,874	0,155
NAF	-0,072	0,868	0,140
BBF	0,354	-0,242	0,677
DBA	0,013	0,377	0,625
BPE	-0,048	-0,212	-0,618

Tabel 3 *Percentages van de varianties van de eerste drie faktoren*

	faktoranalyse	%variantie factor 1	factor 2	factor 3	totaal
1	alle data	35,5	21,0	11,2	67,8
2	zonder extremen	44,3	19,5	7.2	71.0
3	somPAK > 0,5	37,9	20,0	9,3	67,3
4	zonder extremen, somPAK> 0.5	43.4	20,5	7,9	71.9

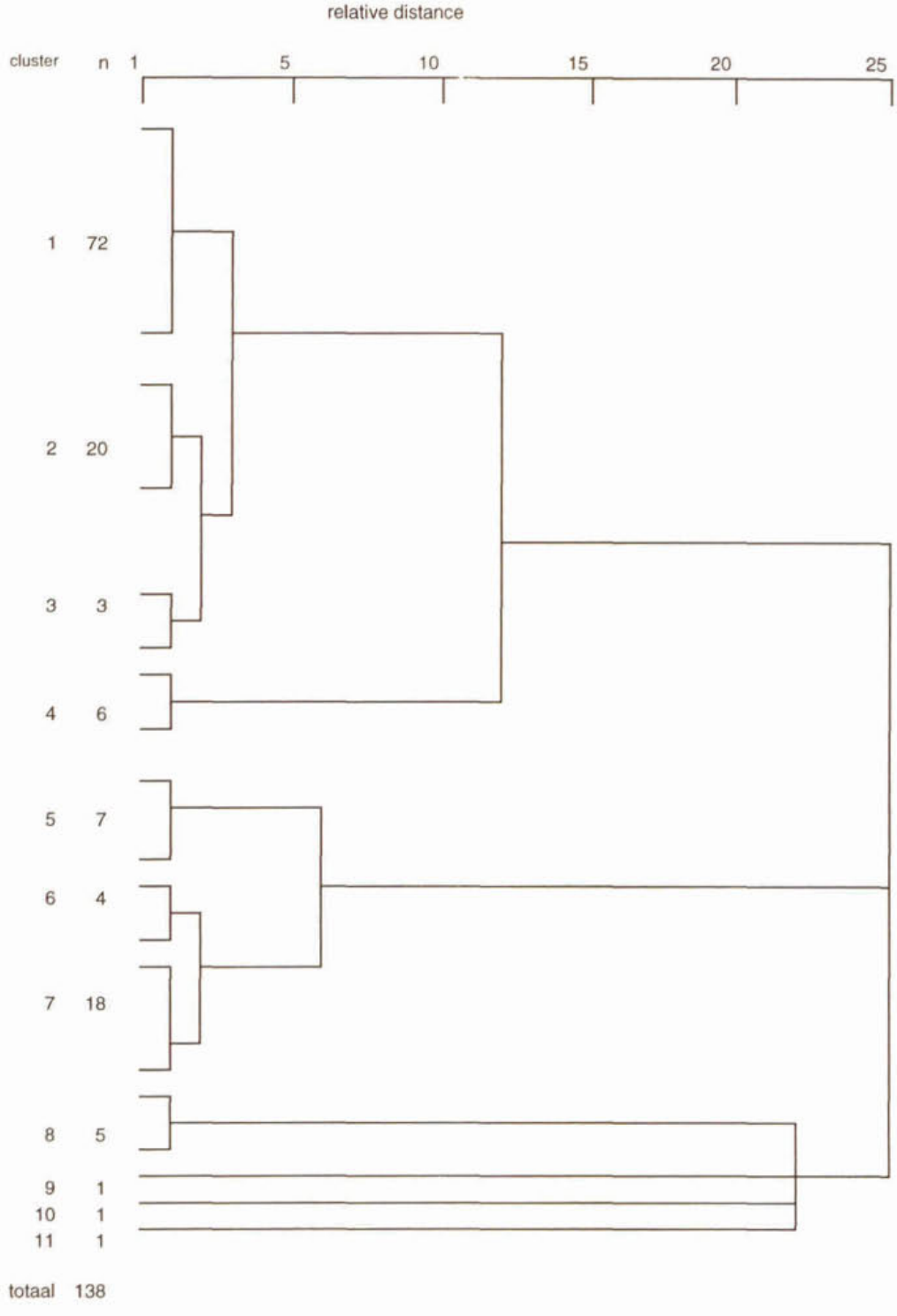
2 Clusteranalyse

Clusteranalyse wordt toegepast om een datamatrix, die gebaseerd is op meerdere variabelen, te ordenen en subgroepen te onderscheiden op basis van grootste overeenkomsten. In deze studie is Ward's methode voor hierarchische ordening op basis van euclidische afstanden gebruikt.

Bij de analyse van de PAK op basis van droge stof bleek een kleine groep monsters een squeezing effect te hebben. Daarom werd de datamatrix in opeenvolgende stappen verkleind door de extreme clusters weg te nemen. Dit waren achtereenvolgens de clusters met de monsters:

11	970116 uit Grote Peel 1
10	970117 uit Grote Peel
9	950278 uit Rottige Meenthe-1
8	950371 (Rottige Meenthe), 960190 (Uitdam-1), 970002 (Wartena-2), 960191 (Uitdam-1) en 950434 (Kloosterveen-1).

Deze worden wegens hun unieke samenstelling beschouwd als aparte clusters. In tabel 4 zijn de gemiddelde samenstellingen van de clusters opgenomen. Het dendrogram is weergegeven in figuur 2.



Figuur 2 *Vereenvoudigd dendrogram van de PAK-clusters*

Tabel 4 *Gemiddelde PAK samenstellingen per cluster*

NAF	ACN	FLR	FEN	ANT	FLT	PYR	BAA	CHR	BBF	BKF	BAP	DBA	BPE	IPY	EPA	VROM	cluster	aantal
0.01	0.02	0.01	0.02	0.00	0.01	0.01	0.01	0.01	0.08	0.01	0.01	0.01	0.04	0.00	0.24	0.11	1	72
0.29	0.22	0.07	0.07	0.00	0.04	0.04	0.03	0.03	0.07	0.03	0.03	0.02	0.06	0.00	0.99	0.58	2	20
-	0.16	0.03	0.16	0.03	0.39	0.30	0.26	0.53	0.22	0.16	0.17	0.02	0.01	-	2.43	1.70	3	3
1.25	0.76	0.16	0.13	0.01	-	-	0.01	0.01	0.13	0.07	0.10	0.14	0.34	0.06	3.16	1.98	4	6
0.12	-	0.02	0.10	0.00	-	-	0.01	0.01	0.09	0.02	0.02	0.02	1.86	-	2.27	2.14	5	7
-	-	-	0.08	0.00	0.26	0.23	0.05	0.17	0.28	0.09	0.05	0.01	1.26	0.06	2.55	2.03	6	4
0.14	0.07	0.01	0.05	0.00	0.04	0.03	0.03	0.06	0.14	0.04	0.02	0.02	0.79	0.02	1.45	1.19	7	18
0.09	-	0.02	0.06	0.00	-	-	-	0.01	0.05	0.01	0.04	-	4.32	-	4.59	4.52	8	5
-	-	-	0.33	0.06	1.42	1.28	0.67	0.84	0.55	0.29	0.55	0.08	0.81	0.31	7.18	5.28	9	1
-	-	-	-	-	-	-	-	6.14	-	-	-	-	1.65	-	19	19	10	1
-	-	-	0.20	-	-	-	0.55	0.32	0.15	0.01	0.12	-	36.06	-	37.42	38.02	11	1

cluster 1
Deze bestaat uit een zeer heterogene lithologische groep van 72 monsters. De groep wordt gekarakteriseerd door een gemiddeld zeer lage waarde voor de som-PAK van 0,24 ppm, varierend van 0.0 tot 0,7 ppm. Van de schaarse PAK is BBF het meest frequent. Er is geen systeem aanwezig in de diepte, distributie of lithologie. Deze groep mag dan ook gezien worden als een minimale achtergrond van PAK op basis van droge stof.

cluster 2
Deze groep bestaat uit een heterogene lithologische groep van 20 monsters. Ze komen voor in uiteenlopende lithologieen en op zeer uiteenlopende diepten tot 672 cm. De gemiddelde concentratie aan PAK bedraagt 1,0 ppm. De concentratie van individuele PAK is omgekeerd evenredig met het molecuulgewicht. Er is duidelijk sprake van een dominantie van NAF, ACN, FLUO en FEN.
Deze groep bestaat dus overwegend uit relatief mobiele componenten. Vertegenwoordigers van deze cluster komen vooral voor in de boringen Knollendam, Uitdam en Waarder.

cluster 3
Deze groep bestaat uit 3 monsters. Twee ervan bestaan uit een breed spectrum van zware PAK. NAF is afwezig, evenals BPE. Twee van deze monsters zijn topmonsters met een hoge mate van vervuiling, het ene uit de Grote Peel (oppervlaktemonster 970127), het andere uit Uitdam (960185). Het derde monster 970148 is ook afkomstig uit de diepere leemlaag van Grote Peel-4 en heeft een relatief hoog CHR-gehalte. Kenmerkend is tevens dat BPE vrijwel afwezig is. Deze cluster bestaat dus uit een heterogene groep van monsters, gerelateerd aan veenbrand en oppervlaktevervuiling, waarbij dus op statistische gronden geen onderscheid gemaakt wordt tussen de verschillende PAK-bronnen.

cluster 4
Cluster 4 omvat 6 monsters met in het algemeen een breed spectrum aan PAK, met zowel NAF, ACN, en FLUO als lichte componenten en BBF, BKF, BAP, DBA en BPE als zwaardere componenten . Het gemiddelde PAK-gehalte bedraagt 3,2 ppm. Opvallend is dat de monsters van deze cluster geheel afkomstig zijn uit de boring Waarder-1, waarbij de monsters genomen zijn uit

het dieptetraject van 133 - 300 cm. In dit traject komen voornamelijk mosveen en rietveen voor. GC/MS-analyse bevestigde het voorkomen van deze lichte componenten, met name NAF en FLR, maar geen ACN. Kennelijk kan hier dus sprake zijn van gedeeltelijke misinterpretatie.Gezien het feit dat de boring Waarder-1 gesitueerd is in een buitendijks profiel aan de rand van het IJsselmeer en het veentraject ca 4000 jaar oud is kan hier een menselijke invloed uitgesloten worden. Migratie van zware componenten over grote afstanden is eveneens uitgesloten, omdat het betreffende veenpakket is ingesloten in dikke kleilagen met een grote laterale continuiteit.

cluster 5
Deze cluster omvat 7 monsters, afkomstig uit verschillende boringen. Behalve het zandmonster 950484 uit Kloosterveen-1 zijn alle monsters afkomstig uit veenafzettingen van verschillende diepten. De gemiddelde PAK-concentratie bedraagt 2,3 ppm, waarbij BPE dominant is met percentages van 50 tot vrijwel 100%. De monsters zijn afkomstig uit diepten varierend van 40 tot 200 cm. Zowel in de monsters afkomstig uit de Grote Peel (970131 en 970132), als de Rottige Meenthe (950297) zijn oxidatieverschijnselen tengevolge van droogvallen van het veen aangetroffen.

cluster 6
Deze cluster bestaat uit 4 monsters die alle een breed spectrum aan zware PAK gemeenschappelijk hebben. De gemiddelde PAK-concentratie bedraagt 2,6 ppm. Deze cluster is voor drie monsters onmiskenbaar gerelateerd aan veenbranden. Drie mosveen monsters zijn afkomstig uit de Grote Peel (970115, 970143 en 970144) waar grote hoeveelheden houtskoolresten zijn aangetroffen. Opvallend is dat twee monsters uit de Grote Peel van grotere diepte komen en een van beneden de toplaag. Van het vierde monster, afkomstig uit Rottige Meenthe (950253) werd bij de beschrijving reeds geconstateerd dat droogval had plaatsgevonden en oxidatie had plaatsgevonden. Kennelijk is bij deze verbrandingen het gehalte aan PAK toegenomen.

cluster 7
Deze groep omvat 18 monsters. Op twee monsters na - kleimonsters 970004 uit Wartena-2 en 960205 uit Warder-1 - zijn alle monsters afkomstig uit veen, voornamelijk mosveen. De monsters zijn afkomstig uit uiteenlopende diepte-intervals. De cluster wordt gekarakteriseerd door een gemiddeld PAK-gehalte van 0,8 ppm. Dominant is het gehalte aan BPE van 30 tot ca 70% met een uitschieter van bijna 90% in monster 970129 uit de Grote Peel-1. Naast BPE komen regelmatig FLUO, PYR, BAA, CHR, BBF en BKF voor in de Grote Peel monsters. De lichtere componenten NAF en ACN komen soms voor in de rietveen- en de wollegrasmonsters en in de kleien.

cluster 8
Deze groep is uitsluitend aangetroffen in veenafzettingen van verschillende origine. Ze worden gekarakteriseerd door een vrijwel monotypische PAK-associatie van gemiddeld 94% BPE. De diepte waarop deze concentraties wordt aangetroffen varieert van 30 tot 250 cm. Opgemerkt dient te worden dat verificatie met behulp van GC/MS aantoont dat de identificatie op basis van Fluorescentie en of UV-detectie hoogst twijfelachtig is. In diverse monsters, die vergeleken werden met GC/MS spectra van PAK-standaards, bleek op de retentietijd van BPE in de standaard, geen BPE aanwezig te zijn. Wat echter wel werd aangetrofen waren C32 benzohopanen.

cluster 9
Cluster 9 bestaat uit 1 monster nr 950278, afkomstig uit Rottige Meenthe op 68-97 cm diepte. Het monster is ongewoon rijk aan een breed spectrum zware PAK met een totale concentratie van 7,2 ppm.
Dit monster werd aangetroffen in een gestoorde sectie met rietresten. Het vermoeden is daarom gerechtvaardigd dat op deze plaats de aangetroffen hoge PAK-concentratie samengaat met het opbrengen van een omvangrijk pakket grond.

cluster10
Cluster 10 bestaat uit 1 monster genomen uit veenmos van boring Grote Peel-1 (nr 970117), waarin hoge concentraties van PAK werden aangetroffen. De som-PAK bedraagt 7,8 ppm. Zeer opvallend is dat in dit monster slechts twee componenten werden aangetoond, CHR en BPE. Deze analyses zijn gebaseerd op bestaan uit UV-FL-detecties.

cluster11
Cluster 11 bestaat uit 1 monster genomen uit veenmos van boring Grote Peel-1 (nr 970116), een zeer hoge concentratie van BPE is aangetroffen

Bijlage B7: Correlatie met lithologie

Bijlage B.3a: PAK gehalte per lithologie, complete dataset

boring	sample	type	lithologie	% org.stof	NAF	ACN	FLR	FEN	ANT	FLT	PYR	BAA	CHR	BBF	BKF	BAP	DBA	BPE	INP	EPA	VROM
HM-2	970061	veen	wollegras	88.13	0.52	-	-	0.11	-	-	-	0.05	0.06	0.07	0.09	0.10	-	0.92	-	1.93	1.86
KD-1	960166	veen	wollegras	86.55	-	-	-	0.04	-	-	-	0.09	-	-	-	0.02	0.01	-	-	0.16	0.15
KD-1	960167	veen	wollegras	87.41	-	-	0.08	-	0.01	0.14	-	0.04	-	0.05	0.05	0.06	0.05	-	-	0.47	0.29
UD-1	960191	veen	wollegras	85.52	-	-	0.08	0.09	0.01	-	-	-	-	0.05	0.05	0.06	-	4.30	-	4.66	4.52
WT-2	970007	veen	wollegras	84.74	-	-	0.15	0.10	-	-	-	-	0.06	0.06	0.09	-	-	0.16	-	0.63	0.41
WT-2	970008	veen	wollegras	87.60	0.56	-	-	0.11	-	-	-	0.04	0.06	0.09	0.10	-	-	0.73	-	1.70	1.60
WT-2	970012	veen	wollegras	91.73	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	gemiddeld			**87.38**	**0.15**	**-**	**0.05**	**0.07**	**0.00**	**0.02**	**-**	**0.03**	**0.03**	**0.05**	**0.05**	**0.04**	**0.01**	**0.87**	**-**	**1.36**	**1.26**
	standaardeviatie			**2.26**	**0.26**	**-**	**0.06**	**0.05**	**0.00**	**0.05**	**-**	**0.03**	**0.03**	**0.03**	**0.04**	**0.04**	**0.02**	**1.56**	**-**	**1.63**	**1.61**
DM-1	970186	veen	mosveen	61.38	-	0.13	0.03	0.04	-	-	-	-	-	0.24	-	-	-	-	-	0.43	0.04
GP-1	970113	veen	mosveen	77.34	-	-	-	0.02	-	0.07	0.10	-	0.08	0.20	0.06	-	-	-	-	0.53	0.23
GP-1	970115	veen	mosveen	79.08	-	-	-	0.01	-	0.12	0.20	-	0.12	0.30	0.09	0.01	0.01	1.12	-	1.98	1.47
GP-1	970116	veen	mosveen	91.12	-	-	-	0.20	-	-	-	0.55	0.32	0.15	0.01	0.12	-	36.06	-	37.42	37.27
GP-1	970117	veen	mosveen	98.10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.65	-	7.79	1.65
GP-1	970118	veen	mosveen	98.20	-	-	-	-	-	-	-	0.26	0.27	0.01	-	-	-	0.41	-	0.96	0.95
GP-3	970128	veen	mosveen	49.43	-	0.01	-	0.08	0.01	0.23	0.16	0.06	0.13	0.20	0.07	0.05	0.02	0.52	-	1.55	1.15
GP-3	970129	veen	mosveen	72.20	-	-	-	0.02	0.01	0.01	-	0.01	0.02	0.06	0.01	-	-	1.12	-	1.26	1.20
GP-3	970130	veen	mosveen	78.39	-	-	-	0.02	-	0.08	-	-	0.04	0.08	0.02	0.00	0.00	0.77	-	1.02	0.93
GP-3	970131	veen	mosveen	93.80	-	-	-	0.01	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2.08	-	2.09	2.09
GP-3	970132	veen	mosveen	88.02	-	-	-	-	-	-	-	-	0.01	0.03	0.00	-	-	2.33	-	2.37	2.34
GP-3	970133	veen	mosveen	78.38	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.12	-	0.12	0.12
GP-4	970141	veen	mosveen	82.08	-	-	-	0.02	-	0.09	0.09	0.01	0.12	0.15	0.05	0.01	0.01	1.09	0.06	1.69	1.45
GP-4	970142	veen	mosveen	78.84	-	-	-	0.00	-	-	-	-	-	0.11	0.03	-	0.00	0.29	0.05	0.48	0.37
GP-4	970147	veen	mosveen	84.14	-	0.10	-	0.01	-	0.08	0.10	-	0.07	0.14	0.04	0.01	0.01	0.95	0.05	1.54	1.21
GP-4	970146	veen	mosveen	80.86	-	-	-	-	-	0.04	-	-	-	0.10	0.03	0.01	0.00	0.79	0.04	1.01	0.90
GP-4	970145	veen	mosveen	81.19	-	-	-	0.01	-	0.09	0.11	-	0.13	0.19	0.06	0.02	0.02	0.78	0.08	1.48	1.16
GP-4	970144	veen	mosveen	82.34	-	-	-	0.05	-	0.17	0.14	0.01	0.13	0.30	0.09	0.02	0.03	1.19	0.14	2.28	1.82
GP-4	970143	veen	mosveen	83.97	-	-	-	0.02	-	0.24	0.18	-	0.10	0.26	0.08	0.02	0.01	1.25	0.09	2.26	1.80
GP-opp	970151	veen	mosveen	80.97	-	-	-	-	-	0.05	0.06	-	0.07	0.09	0.03	0.00	0.00	0.15	0.03	0.49	0.33
GP-opp	970140	veen	mosveen	83.19	-	-	-	0.05	-	0.15	0.09	0.03	0.16	0.22	0.07	0.02	0.01	0.46	0.09	1.37	1.04
GP-opp	970137	veen	mosveen	90.07	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.00	-	-	-	-	-	0.00	-
HM-2	970056	veen	mosveen	85.08	0.21	-	-	0.11	-	-	-	-	-	0.11	0.03	-	-	1.02	-	1.48	1.37
HM-2	970060	veen	mosveen	86.03	-	-	-	0.13	-	-	-	-	-	0.12	0.04	0.00	0.11	0.90	-	1.30	1.08
KD-1	960165	veen	mosveen	78.28	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.26	0.05	-	-	0.32	0.26
KV-1	950429	veen	mosveen	77.59	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
LW-2	970032	veen	mosveen	87.06	0.17	0.25	-	0.09	-	-	-	-	-	0.08	-	-	-	0.66	-	1.25	0.92
UD-1	960190	veen	mosveen	76.55	-	-	-	0.15	-	-	-	-	-	0.09	-	-	-	3.74	-	3.98	3.89
WD-1	960206	veen	mosveen	86.21	1.10	0.79	0.17	0.12	-	-	-	-	-	-	0.10	0.19	0.25	0.80	-	3.52	2.31
WD-1	960208	veen	mosveen	78.28	1.39	0.84	0.19	0.13	0.02	-	-	-	0.08	0.09	0.13	0.17	-	-	-	3.03	1.92
WD-1	960209	veen	mosveen	84.66	1.15	0.66	0.15	0.11	-	-	-	0.07	-	0.22	0.11	0.17	0.45	-	-	3.08	1.60
WD-1	960210	veen	mosveen		1.01	0.71	0.16	0.10	-	-	-	-	-	0.13	-	-	-	0.76	0.34	3.22	2.23
	gemiddeld			**81.70**	**0.16**	**0.11**	**0.02**	**0.05**	**0.00**	**0.04**	**0.04**	**0.03**	**0.06**	**0.12**	**0.04**	**0.03**	**0.03**	**1.91**	**0.03**	**2.85**	**2.35**
	standaardeviatie			**9.41**	**0.39**	**0.25**	**0.06**	**0.06**	**0.00**	**0.07**	**0.06**	**0.11**	**0.08**	**0.09**	**0.04**	**0.07**	**0.09**	**6.28**	**0.07**	**6.49**	**6.43**

Bijlage B.3a: PAK gehalte per lithologie, complete dataset

boring	sample	type	lithologie	% org.stof	NAF	ACN	FLR	FEN	ANT	FLT	PYR	BAA	CHR	BBF	BKF	BAP	DBA	BPE	INP	EPA	VROM
GP-1	970114	veen	veraard	84.78	-	-	-	0.05	-	0.03	-	0.05	0.03	0.06	-	0.01	-	-	-	0.22	0.16
GP-opp	970127	veen	veraard	61.71	-	0.07	-	0.15	0.02	0.36	0.23	0.24	0.70	0.26	0.25	0.12	-	-	-	2.39	1.83
KV-1	950434	veen	veraard	98.45	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.03	-	-	-	5.36	-	5.39	5.36
PM-1	950537	veen	veraard	64.14	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.01	-	-	-	-	-	0.01	-
RM-1	950253	veen	veraard	63.62	-	-	-	0.25	0.01	0.50	0.40	0.19	0.33	0.24	0.09	0.17	-	1.50	-	3.68	3.04
RM-1	950278	veen	veraard	55.86	-	-	-	0.33	0.06	1.42	1.28	0.67	0.84	0.55	0.29	0.55	0.08	0.81	0.31	7.18	5.28
RM-1	950297	veen	veraard	91.21	-	-	-	0.22	-	-	-	-	-	-	-	0.01	-	1.60	-	1.84	1.84
WT-2	970002	veen	veraard	85.06	0.43	-	-	0.07	-	-	-	-	0.05	-	-	0.12	-	4.75	-	5.41	5.41
	gemiddeld			**75.60**	**0.05**	**0.01**	**-**	**0.13**	**0.01**	**0.29**	**0.24**	**0.14**	**0.24**	**0.14**	**0.08**	**0.12**	**0.01**	**1.75**	**0.04**	**3.27**	**2.87**
	standaardeviatie			**16.02**	**0.15**	**0.02**	**-**	**0.12**	**0.02**	**0.50**	**0.45**	**0.23**	**0.34**	**0.19**	**0.12**	**0.19**	**0.03**	**2.15**	**0.11**	**2.60**	**2.28**
BG-1	970230	veen	rietveen	69.09	-	0.15	0.03	0.03	0.01	-	-	-	-	0.07	-	-	-	-	-	0.30	0.04
BG-1	970232	veen	rietveen	52.16	0.18	0.27	0.01	0.04	-	-	-	-	0.01	0.05	0.03	-	-	0.11	-	0.69	0.37
BG-1	970233	veen	rietveen	32.75	-	0.10	0.02	0.00	0.01	-	-	-	-	0.06	-	-	-	-	-	0.19	0.01
DM-1	970162	veen	rietveen	39.77	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.11	-	-	-	-	-	0.11	-
DM-1	970164	veen	rietveen	55.28	-	0.11	0.03	0.04	0.01	-	-	-	-	0.05	-	-	0.06	-	-	0.30	0.05
DM-1	970166	veen	rietveen	70.22	0.09	0.12	0.03	0.02	0.01	-	-	-	-	0.07	-	-	-	-	-	0.35	0.13
DM-1	970168	veen	rietveen	47.60	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.56	-	-	0.04	-	-	0.60	-
HM-2	970063	veen	rietveen	71.79	0.20	0.29	0.09	0.12	-	-	-	-	-	0.27	-	-	0.03	0.21	-	1.20	0.53
KD-1	960168	veen	rietveen	88.28	-	0.53	0.12	0.15	0.02	-	-	0.05	0.06	0.10	0.07	0.10	0.09	-	-	1.28	0.44
KD-1	960169	veen	rietveen	58.45	0.25	-	-	0.08	-	-	-	0.02	0.04	0.04	-	-	-	-	-	0.42	0.38
LW-2	970036	veen	rietveen	89.59	0.23	-	-	-	-	-	-	-	-	0.15	-	-	0.16	1.88	-	2.42	2.11
LW-2	970037	veen	rietveen	90.39	0.24	-	-	-	-	-	-	-	-	0.62	-	-	0.16	0.61	-	1.64	0.85
LW-2	970038	veen	rietveen	85.53	0.49	0.58	0.13	0.12	0.02	-	-	-	-	0.06	0.08	-	-	0.18	-	1.66	0.89
RM-1	950322	veen	rietveen	97.24	-	-	-	0.12	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.57	-	1.68	1.68
RM-1	950371	veen	rietveen	91.72	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.09	-	0.01	-	3.43	-	3.53	3.44
UD-1	960192	veen	rietveen	87.41	0.44	0.57	0.13	0.08	-	-	-	-	-	0.09	-	-	-	1.19	-	2.49	1.70
UD-1	960193	veen	rietveen	83.45	-	-	0.09	0.06	-	-	-	-	-	0.04	-	-	-	-	-	0.19	0.06
UD-1	960194	veen	rietveen	78.45	-	0.46	0.11	0.07	-	-	-	-	-	0.05	-	-	-	-	-	0.69	0.07
UD-1	960195	veen	rietveen	83.10	0.96	-	0.18	0.14	-	-	-	0.05	0.07	0.10	0.10	-	0.10	-	-	1.69	1.32
UD-1	960197	veen	rietveen	51.21	0.67	-	0.11	0.08	-	-	-	-	-	0.07	-	-	-	-	-	0.94	0.76
WD-1	960211	veen	rietveen	84.83	1.80	0.78	0.15	0.15	0.02	-	-	-	-	0.21	-	-	0.13	0.17	-	3.42	2.14
WD-1	960212	veen	rietveen	84.66	1.02	0.75	0.15	0.16	0.02	-	-	-	-	0.14	0.08	0.09	-	0.30	-	2.72	1.67
WT-2	970005	veen	rietveen	83.45	0.59	-	0.16	0.13	0.02	-	-	0.07	0.06	0.15	0.10	0.11	-	1.65	-	3.03	2.72
	gemiddeld			**72.89**	**0.31**	**0.20**	**0.07**	**0.07**	**0.01**	**-**	**-**	**0.01**	**0.01**	**0.14**	**0.02**	**0.01**	**0.03**	**0.49**	**-**	**1.37**	**0.93**
	standaardeviatie			**18.55**	**0.45**	**0.27**	**0.06**	**0.06**	**0.01**	**-**	**-**	**0.02**	**0.02**	**0.16**	**0.04**	**0.03**	**0.06**	**0.88**	**-**	**1.10**	**0.99**
PM-1	950576	veen	bosveen m	74.31	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	gemiddeld			**-**	**-**	**-**	**-**	**-**	**-**	**-**	**-**	**-**	**-**	**-**	**-**	**-**	**-**	**-**	**-**	**-**	**-**
	standaardeviatie			**-**	**-**	**-**	**-**	**-**	**-**	**-**	**-**	**-**	**-**	**-**	**-**	**-**	**-**	**-**	**-**	**-**	**-**
LW-2	970039	veen	gyttja	35.74	-	-	0.05	0.08	-	-	-	-	-	0.21	-	-	-	-	-	0.35	0.08
LW-2	970040	veen	gyttja	13.72	0.05	-	-	-	-	-	-	-	-	0.03	-	-	-	-	-	0.07	0.05
RM-1	950393	veen	gyttj-achtig	80.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.01	-	-	-	-	-	0.01	-
	gemiddeld			**43.15**	**0.02**	**-**	**0.02**	**0.03**	**-**	**-**	**-**	**-**	**-**	**0.08**	**-**	**-**	**-**	**-**	**-**	**0.14**	**0.04**
	standaardeviatie			**33.76**	**0.03**	**-**	**0.03**	**0.05**	**-**	**-**	**-**	**-**	**-**	**0.11**	**-**	**-**	**-**	**-**	**-**	**0.18**	**0.04**

Bijlage B.3a: PAK gehalte per lithologie, complete dataset

boring	sample	type	lithologie	% org.stof	NAF	ACN	FLR	FEN	ANT	FLT	PYR	BAA	CHR	BBF	BKF	BAP	DBA	BPE	INP	EPA	VROM
BG-1	970213	veen	bosveen	60.12	-	-	0.01	-	-	-	-	0.11	-	0.16	-	-	0.06	-	-	0.35	0.11
BG-1	970214	veen	bosveen	33.29	-	-	0.00	-	-	-	-	0.04	-	0.06	-	-	0.04	-	-	0.14	0.04
DM-1	970154	veen	bosveen	30.46	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
DM-1	970160	veen	bosveen	39.34	-	0.09	0.02	0.02	-	-	-	-	-	0.31	-	-	0.15	0.08	-	0.68	0.11
PM-1	950650	veen	bosveen	53.97	-	-	-	0.11	-	-	-	-	-	0.06	-	-	-	0.09	-	0.25	0.20
	gemiddeld			**41.26**	**-**	**0.02**	**0.01**	**0.03**	**-**	**-**	**-**	**0.03**	**-**	**0.12**	**-**	**-**	**0.05**	**0.03**	**-**	**0.28**	**0.09**
	standaardeviatie			**13.01**	**-**	**0.04**	**0.01**	**0.05**	**-**	**-**	**-**	**0.05**	**-**	**0.12**	**-**	**-**	**0.06**	**0.05**	**-**	**0.26**	**0.08**
DM-1	970157	veen	amorf	24.79	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.13	-	-	-	0.01	-	0.14	0.01
DM-1	970177	veen	amorf	55.69	0.05	0.09	0.02	0.03	-	-	-	-	-	0.03	-	-	0.04	-	-	0.27	0.09
	gemiddeld			**40.24**	**0.03**	**0.05**	**0.01**	**0.02**	**-**	**-**	**-**	**-**	**-**	**0.08**	**-**	**-**	**0.02**	**0.00**	**-**	**0.20**	**0.05**
	standaardeviatie			**21.85**	**0.04**	**0.06**	**0.02**	**0.02**	**-**	**-**	**-**	**-**	**-**	**0.07**	**-**	**-**	**0.03**	**0.01**	**-**	**0.09**	**0.05**
BG-1	970205	klei	klei, humeu	41.64	-	0.28	0.00	0.06	-	-	-	-	0.01	0.25	-	-	-	-	-	0.60	0.06
BG-1	970210	klei	klei, humeu	11.41	-	-	0.00	0.03	-	-	-	-	-	0.09	-	-	0.03	-	-	0.15	0.03
DM-1	970153	klei	klei, humeu	10.12	-	-	-	0.08	-	0.13	0.10	0.05	0.08	0.08	0.03	0.04	0.01	0.05	0.04	0.68	0.49
DM-1	970155	klei	klei, humeu	26.38	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
DM-1	970156	klei	klei, humeu	22.59	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.11	-	-	0.01	-	-	0.12	-
DM-1	970158	klei	klei, humeu	19.44	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.17	-	-	0.02	-	-	0.19	-
DM-1	970159	klei	klei, humeu	26.87	0.09	0.06	0.01	0.02	-	-	-	-	0.01	0.21	-	-	0.02	-	-	0.43	0.12
DM-1	970161	klei	klei, humeu	31.17	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.23	-	-	0.01	-	-	0.24	-
DM-1	970167	klei	klei, humeu	31.81	-	0.07	0.02	0.03	0.01	-	-	-	-	0.02	-	-	-	-	-	0.15	0.03
KV-1	950507	klei	klei, humeu	40.34	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
UD-1	960198	klei	klei, humeu	29.31	0.55	0.39	0.08	0.06	0.01	-	-	-	-	0.06	-	-	-	-	-	1.15	0.62
UD-1	960199	klei	klei, humeu	6.90	0.29	0.19	0.04	0.03	-	-	-	-	-	0.04	-	-	-	-	-	0.60	0.32
UD-1	960187	klei	klei, humeu	28.79	0.31	0.35	0.08	0.07	0.01	0.19	0.20	0.07	0.09	-	0.07	0.06	0.06	-	-	1.57	0.88
	gemiddeld			**25.14**	**0.10**	**0.10**	**0.02**	**0.03**	**0.00**	**0.02**	**0.02**	**0.01**	**0.01**	**0.10**	**0.01**	**0.01**	**0.01**	**0.00**	**0.00**	**0.45**	**0.20**
	standaardeviatie			**10.82**	**0.18**	**0.15**	**0.03**	**0.03**	**0.00**	**0.06**	**0.06**	**0.02**	**0.03**	**0.09**	**0.02**	**0.02**	**0.02**	**0.01**	**0.01**	**0.47**	**0.29**
BG-1	970201	toplaag	toplaag	13.77	-	0.10	0.00	0.04	0.00	0.09	0.07	0.04	0.06	0.08	0.03	0.03	0.01	0.05	0.05	0.66	0.39
DM-1	970152	toplaag	toplaag	13.32	-	-	-	0.06	-	0.11	0.10	0.05	0.09	0.07	0.02	0.04	0.05	0.06	0.05	0.69	0.47
HM-2	970055	toplaag	toplaag	13.12	0.05	-	-	-	-	-	-	-	-	0.03	0.01	-	-	0.10	-	0.18	0.16
KD-1	960164	toplaag	toplaag	19.48	0.26	-	0.08	0.09	0.01	0.20	0.21	0.06	0.07	0.11	0.08	0.11	-	0.23	-	1.51	1.11
LW-2	970031	toplaag	toplaag	27.29	-	-	-	0.04	-	0.05	-	-	0.02	0.06	0.02	0.02	0.02	0.29	0.02	0.55	0.47
PM-1	950515	toplaag	toplaag	13.79	-	-	-	-	-	-	-	0.02	0.05	0.04	0.01	0.02	-	0.20	-	0.35	0.31
UD-1	960185	toplaag	toplaag	24.14	-	0.41	0.10	0.31	0.07	0.80	0.67	0.48	0.27	0.41	0.24	0.38	0.06	-	-	4.20	2.56
UD-1	960186	toplaag	toplaag	3.97	0.25	0.36	0.08	0.12	0.01	0.19	0.18	0.07	0.09	0.11	0.09	0.10	-	0.09	-	1.75	1.02
WD-1	960201	toplaag	toplaag	21.03	0.19	0.15	0.03	0.10	0.01	0.20	0.17	0.14	0.12	0.07	0.07	0.08	0.05	0.09	0.03	1.50	1.03
WT-2	970001	toplaag	toplaag	17.47	0.10	-	-	0.02	0.00	0.05	0.06	0.01	0.02	0.04	0.02	0.02	0.02	0.15	0.02	0.54	0.43
	gemiddeld			**16.74**	**0.09**	**0.10**	**0.03**	**0.08**	**0.01**	**0.17**	**0.14**	**0.09**	**0.08**	**0.10**	**0.06**	**0.08**	**0.02**	**0.13**	**0.02**	**1.19**	**0.80**
	standaardeviatie			**6.65**	**0.11**	**0.16**	**0.04**	**0.09**	**0.02**	**0.23**	**0.20**	**0.14**	**0.08**	**0.11**	**0.07**	**0.11**	**0.02**	**0.09**	**0.02**	**1.18**	**0.71**
PM-1	950619	klei	klei & gyttja	18.10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.12	-	-	-	-	-	0.12	-
PM-1	950681	klei	klei & gyttja	17.59	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.15	-	-	-	0.15	-	0.29	0.15
	gemiddeld			**17.84**	**-**	**-**	**-**	**-**	**-**	**-**	**-**	**-**	**-**	**0.13**	**-**	**-**	**-**	**0.07**	**-**	**0.21**	**0.07**
	standaardeviatie			**0.37**	**-**	**-**	**-**	**-**	**-**	**-**	**-**	**-**	**-**	**0.02**	**-**	**-**	**-**	**0.10**	**-**	**0.12**	**0.10**

Bijlage B.3a: PAK gehalte per lithologie, complete dataset

boring	sample	type	lithologie	% org.stof	NAF	ACN	FLR	FEN	ANT	FLT	PYR	BAA	CHR	BBF	BKF	BAP	DBA	BPE	INP	EPA	VROM
GP-3	970134	leem	leem	3.73	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.05	-	-	-	0.17	-	0.22	0.17
GP-4	970149	leem	leem	27.87	-	-	-	0.00	-	0.01	0.05	0.03	0.05	0.02	-	-	-	0.03	-	0.19	0.12
GP-4	970148	leem	leem	17.54	-	-	-	-	-	-	-	0.06	0.62	0.01	-	-	0.01	0.02	-	0.72	0.70
	gemiddeld			**16.38**	**-**	**-**	**-**	**0.00**	**-**	**0.00**	**0.02**	**0.03**	**0.22**	**0.02**	**-**	**-**	**0.00**	**0.07**	**-**	**0.37**	**0.33**
	standaardeviatie			**12.11**	**-**	**-**	**-**	**0.00**	**-**	**0.00**	**0.03**	**0.03**	**0.35**	**0.02**	**-**	**-**	**0.01**	**0.09**	**-**	**0.30**	**0.32**
DM-1	970163	klei	klei met rie	11.91	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.04	-	-	-	-	-	0.04	-
UD-1	960196	klei	klei met rie	6.55	0.22	-	0.04	0.02	-	-	-	-	-	0.03	-	-	-	-	-	0.30	0.24
WD-1	960205	klei	klei met ri	20.86	0.29	0.09	-	0.03	0.02	-	-	-	0.04	0.07	0.01	0.03	-	0.76	-	1.32	1.17
	gemiddeld			**13.11**	**0.17**	**0.03**	**0.01**	**0.02**	**0.01**	**-**	**-**	**-**	**0.01**	**0.04**	**0.00**	**0.01**	**-**	**0.25**	**-**	**0.55**	**0.47**
	standaardeviatie			**7.23**	**0.15**	**0.05**	**0.02**	**0.02**	**0.01**	**-**	**-**	**-**	**0.02**	**0.02**	**0.01**	**0.01**	**-**	**0.44**	**-**	**0.68**	**0.62**
PM-1	950578	klei	rivierklei	5.86	-	-	-	0.01	-	-	-	-	-	0.06	-	-	-	-	-	0.07	0.01
PM-1	950652	klei	rivierklei	9.14	-	-	-	0.05	-	-	-	-	-	0.02	-	-	-	-	-	0.07	0.05
PM-1	950683	klei	rivierklei	9.48	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.14	-	-	-	-	-	0.14	-
PM-1	950711	klei	rivierklei	11.38	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.10	-	-	-	-	-	0.10	-
	gemiddeld			**8.97**	**-**	**-**	**-**	**0.01**	**-**	**-**	**-**	**-**	**-**	**0.08**	**-**	**-**	**-**	**-**	**-**	**0.10**	**0.01**
	standaardeviatie			**2.29**	**-**	**-**	**-**	**0.02**	**-**	**-**	**-**	**-**	**-**	**0.05**	**-**	**-**	**-**	**-**	**-**	**0.03**	**0.02**
BG-1	970202	klei	klei	13.81	-	-	0.00	0.02	0.00	0.03	-	-	0.01	0.01	-	0.01	-	-	-	0.09	0.08
BG-1	970219	klei	klei	8.15	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.07	-	-	0.02	-	-	0.09	-
BG-1	970223	klei	klei	7.85	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.05	-	-	-	-	-	0.05	-
DM-1	970165	klei	klei	11.91	-	0.07	0.01	0.02	0.01	-	-	-	-	0.02	-	-	-	-	-	0.13	0.03
KD-1	960170	klei	klei	5.17	0.02	-	-	0.09	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.11	0.11
KD-1	960171	klei	klei	1.90	-	-	-	0.05	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.12	-	0.17	0.17
RM-1	950373	klei	klei	11.72	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.37	-	-	-	0.05	-	0.42	0.05
UD-1	960200	klei	klei	4.83	0.17	-	0.03	0.02	-	-	-	-	-	0.02	-	-	-	-	-	0.23	0.19
WD-1	960202	klei	klei	11.03	0.22	0.15	0.03	0.03	0.00	-	-	0.03	0.04	0.02	0.02	0.03	0.02	0.10	-	0.70	0.48
WD-1	960203	klei	klei	13.28	0.30	0.17	0.04	0.04	-	-	-	0.01	0.04	0.03	0.02	0.03	-	0.04	-	0.73	0.48
WD-1	960213	klei	klei	12.76	0.28	0.19	0.04	-	0.01	-	-	-	-	0.02	0.02	-	-	0.10	-	0.66	0.41
WD-1	960214	klei	klei	3.79	-	0.18	0.03	0.07	-	-	-	-	-	0.06	-	-	-	0.14	-	0.49	0.21
WD-1	960215	klei	klei	5.69	-	0.19	0.04	0.07	-	-	-	-	-	0.03	0.02	-	0.03	-	-	0.39	0.09
WT-2	970004	klei	klei	11.34	0.16	0.19	0.04	0.03	0.01	-	-	-	-	0.04	0.03	0.03	-	0.53	-	1.05	0.78
	gemiddeld			**8.80**	**0.08**	**0.08**	**0.02**	**0.03**	**0.00**	**0.00**	**-**	**0.00**	**0.01**	**0.05**	**0.01**	**0.01**	**0.01**	**0.08**	**-**	**0.38**	**0.22**
	standaardeviatie			**3.95**	**0.12**	**0.09**	**0.02**	**0.03**	**0.00**	**0.01**	**-**	**0.01**	**0.01**	**0.09**	**0.01**	**0.01**	**0.01**	**0.14**	**-**	**0.31**	**0.23**
DM-1	970169	zand	zand	9.13	-	-	-	0.01	-	-	-	-	-	0.58	0.00	-	0.01	-	-	0.60	0.01
DM-1	970170	zand	zand	0.00	0.08	-	-	-	-	-	-	-	-	0.01	-	-	-	-	-	0.09	0.08
KV-1	950484	zand	zand	13.28	-	-	0.00	0.24	0.00	-	-	-	-	0.28	0.03	-	-	1.93	-	2.48	2.20
LW-2	970041	zand	zand	0.90	0.08	-	0.02	0.01	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.01	-	0.13	0.11
WT-2	970016	zand	zand	1.35	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
WT-2	970018	zand	zand	0.48	0.07	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.01	-	-	0.08	0.07
HM-2	970067	zand	zand	1.10	0.09	-	0.02	0.01	-	-	-	-	-	0.01	0.01	-	-	0.05	-	0.20	0.16
	gemiddeld			**3.75**	**0.04**	**-**	**0.01**	**0.04**	**0.00**	**-**	**-**	**-**	**-**	**0.13**	**0.01**	**-**	**0.00**	**0.29**	**-**	**0.51**	**0.37**
	standaardeviatie			**5.25**	**0.04**	**-**	**0.01**	**0.09**	**0.00**	**-**	**-**	**-**	**-**	**0.22**	**0.01**	**-**	**0.01**	**0.73**	**-**	**0.89**	**0.81**

Bijlage B.7b: PAK gehalte per lithologie, gecorrigeerde dataset

boring	sample	type	lithologie	% org.stc	NAF	ACN	FLR	FEN	ANT	FLT	PYR	BAA	CHR	BBF	BKF	BAP	DBA	BPE	INP	EPA	VROM
HM-2	970061	veen	wollegras	88.13	0.52	-	-	0.11	-	-	-	0.05	0.06	0.07	0.09	0.10	-	0.92	-	1.93	1.86
KD-1	960167	veen	wollegras	87.41	-	-	0.08	-	0.01	0.14	-	0.04	-	0.05	0.05	0.06	0.05	-	-	0.47	0.29
WT-2	970007	veen	wollegras	84.74	-	-	0.15	0.10	-	-	-	-	0.06	0.06	0.09	-	-	0.16	-	0.63	0.41
WT-2	970008	veen	wollegras	87.60	0.56	-	-	0.11	-	-	-	0.04	0.06	0.09	0.10	-	-	0.73	-	1.70	1.60
WT-2	970012	veen	wollegras	91.73	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
gemiddeld				**87.92**	**0.22**	**-**	**0.05**	**0.06**	**0.00**	**0.03**	**-**	**0.03**	**0.04**	**0.05**	**0.07**	**0.03**	**0.01**	**0.36**	**-**	**0.94**	**0.83**
standaarddeviatie				**2.50**	**0.30**	**-**	**0.07**	**0.06**	**0.00**	**0.06**	**-**	**0.03**	**0.03**	**0.03**	**0.04**	**0.05**	**0.02**	**0.43**	**-**	**0.83**	**0.84**
GP-1	970113	veen	mosveen	77.34	-	-	-	0.02	-	0.07	0.10	-	0.08	0.20	0.06	-	-	-	-	0.53	0.23
GP-1	970115	veen	mosveen	79.08	-	-	-	0.01	-	0.12	0.20	-	0.12	0.30	0.09	0.01	0.01	1.12	-	1.98	1.47
GP-1	970118	veen	mosveen	98.20	-	-	-	-	-	-	-	0.26	0.27	0.01	-	-	-	0.41	-	0.96	0.95
GP-3	970128	veen	mosveen	49.43	-	0.01	-	0.08	0.01	0.23	0.16	0.06	0.13	0.20	0.07	0.05	0.02	0.52	-	1.55	1.15
GP-4	970142	veen	mosveen	78.84	-	-	-	0.00	-	-	-	-	-	0.11	0.03	-	0.00	0.29	0.05	0.48	0.37
GP-4	970144	veen	mosveen	82.34	-	-	-	0.05	-	0.17	0.14	0.01	0.13	0.30	0.09	0.02	0.03	1.19	0.14	2.28	1.82
GP-opp	970151	veen	mosveen	80.97	-	-	-	-	-	0.05	0.06	-	0.07	0.09	0.03	0.00	0.00	0.15	0.03	0.49	0.33
GP-opp	970140	veen	mosveen	83.19	-	-	-	0.05	-	0.15	0.09	0.03	0.16	0.22	0.07	0.02	0.01	0.46	0.09	1.37	1.04
GP-opp	970137	veen	mosveen	90.07	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.00	-	-	-	-	-	0.00	-
KV-1	950429	veen	mosveen	77.59	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
LW-2	970032	veen	mosveen	87.06	0.17	0.25	-	0.09	-	-	-	-	-	0.08	-	-	-	0.66	-	1.25	0.92
WD-1	960206	veen	mosveen	86.21	1.10	0.79	0.17	0.12	-	-	-	-	-	-	0.10	0.19	0.25	0.80	-	3.52	2.31
WD-1	960208	veen	mosveen	78.28	1.39	0.84	0.19	0.13	0.02	-	-	-	0.08	0.09	0.13	0.17	-	-	-	3.03	1.92
WD-1	960209	veen	mosveen	84.66	1.15	0.66	0.15	0.11	-	-	-	0.07	-	0.22	0.11	0.17	0.45	-	-	3.08	1.60
WD-1	960210	veen	mosveen		1.01	0.71	0.16	0.10	-	-	-	-	-	0.13	-	-	-	0.76	0.34	3.22	2.23
gemiddeld				**80.95**	**0.32**	**0.22**	**0.04**	**0.05**	**0.00**	**0.05**	**0.05**	**0.03**	**0.07**	**0.13**	**0.05**	**0.04**	**0.05**	**0.43**	**0.04**	**1.58**	**1.09**
standaarddeviatie				**10.74**	**0.53**	**0.34**	**0.08**	**0.05**	**0.01**	**0.08**	**0.07**	**0.07**	**0.08**	**0.11**	**0.05**	**0.07**	**0.13**	**0.41**	**0.09**	**1.21**	**0.79**
GP-1	970114	veen	veraard	84.78	-	-	-	0.05	-	0.03	-	0.05	0.03	0.06	-	0.01	-	-	-	0.22	0.16
GP-opp	970127	veen	veraard	61.71	-	0.07	-	0.15	0.02	0.36	0.23	0.24	0.70	0.26	0.25	0.12	-	-	-	2.39	1.83
PM-1	950537	veen	veraard	64.14	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.01	-	-	-	-	-	0.01	-
RM-1	950253	veen	veraard	63.62	-	-	-	0.25	0.01	0.50	0.40	0.19	0.33	0.24	0.09	0.17	-	1.50	-	3.68	3.04
RM-1	950278	veen	veraard	55.86	-	-	-	0.33	0.06	1.42	1.28	0.67	0.84	0.55	0.29	0.55	0.08	0.81	0.31	7.18	5.28
gemiddeld				**66.02**	**-**	**0.01**	**-**	**0.16**	**0.02**	**0.46**	**0.38**	**0.23**	**0.38**	**0.22**	**0.13**	**0.17**	**0.02**	**0.46**	**0.06**	**2.70**	**2.06**
standaarddeviatie				**10.99**	**-**	**0.03**	**-**	**0.14**	**0.03**	**0.58**	**0.53**	**0.26**	**0.38**	**0.21**	**0.14**	**0.22**	**0.03**	**0.68**	**0.14**	**2.94**	**2.19**

Bijlage B.7b: PAK gehalte per lithologie, gecorrigeerde dataset

boring	sample	type	lithologie	% org.stc	NAF	ACN	FLR	FEN	ANT	FLT	PYR	BAA	CHR	BBF	BKF	BAP	DBA	BPE	INP	EPA	VROM
BG-1	970230	veen	rietveen	69.09	-	0.15	0.03	0.03	0.01	-	-	-	-	0.07	-	-	-	-	-	0.30	0.04
BG-1	970232	veen	rietveen	52.16	0.18	0.27	0.01	0.04	-	-	-	-	0.01	0.05	0.03	-	-	0.11	-	0.69	0.37
DM-1	970164	veen	rietveen	55.28	-	0.11	0.03	0.04	0.01	-	-	-	-	0.05	-	-	0.06	-	-	0.30	0.05
DM-1	970166	veen	rietveen	70.22	0.09	0.12	0.03	0.02	0.01	-	-	-	-	0.07	-	-	-	-	-	0.35	0.13
HM-2	970063	veen	rietveen	71.79	0.20	0.29	0.09	0.12	-	-	-	-	-	0.27	-	-	0.03	0.21	-	1.20	0.53
KD-1	960168	veen	rietveen	88.28	-	0.53	0.12	0.15	0.02	-	-	0.05	0.06	0.10	0.07	0.10	0.09	-	-	1.28	0.44
LW-2	970037	veen	rietveen	90.39	0.24	-	-	-	-	-	-	-	-	0.62	-	-	0.16	0.61	-	1.64	0.85
LW-2	970038	veen	rietveen	85.53	0.49	0.58	0.13	0.12	0.02	-	-	-	-	0.06	0.08	-	-	0.18	-	1.66	0.89
UD-1	960192	veen	rietveen	87.41	0.44	0.57	0.13	0.08	-	-	-	-	-	0.09	-	-	-	1.19	-	2.49	1.70
UD-1	960193	veen	rietveen	83.45	-	-	0.09	0.06	-	-	-	-	-	0.04	-	-	-	-	-	0.19	0.06
WD-1	960211	veen	rietveen	84.83	1.80	0.78	0.15	0.15	0.02	-	-	-	-	0.21	-	-	0.13	0.17	-	3.42	2.14
WD-1	960212	veen	rietveen	84.66	1.02	0.75	0.15	0.16	0.02	-	-	-	-	0.14	0.08	0.09	-	0.30	-	2.72	1.67
gemiddeld				**76.92**	**0.37**	**0.35**	**0.08**	**0.08**	**0.01**	**-**	**-**	**0.00**	**0.01**	**0.15**	**0.02**	**0.02**	**0.04**	**0.23**	**-**	**1.35**	**0.74**
standaarddeviatie				**13.05**	**0.54**	**0.28**	**0.06**	**0.06**	**0.01**	**-**	**-**	**0.01**	**0.02**	**0.17**	**0.03**	**0.04**	**0.06**	**0.35**	**-**	**1.07**	**0.73**
PM-1	950576	veen	bosveen m	74.31	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
gemiddeld				**74.31**	**-**	**-**	**-**	**-**	**-**	**-**	**-**	**-**	**-**	**-**	**-**	**-**	**-**	**-**	**-**	**-**	**-**
standaarddeviatie				**-**	**-**	**-**	**-**	**-**	**-**	**-**	**-**	**-**	**-**	**-**	**-**	**-**	**-**	**-**	**-**	**-**	**-**
LW-2	970039	veen	gyttja	35.74	-	-	0.05	0.08	-	-	-	-	-	0.21	-	-	-	-	-	0.35	0.08
LW-2	970040	veen	gyttja	13.72	0.05	-	-	-	-	-	-	-	-	0.03	-	-	-	-	-	0.07	0.05
gemiddeld				**24.73**	**0.02**	**-**	**0.03**	**0.04**	**-**	**-**	**-**	**-**	**-**	**0.12**	**-**	**-**	**-**	**-**	**-**	**0.21**	**0.06**
standaarddeviatie				**15.57**	**0.03**	**-**	**0.04**	**0.06**	**-**	**-**	**-**	**-**	**-**	**0.13**	**-**	**-**	**-**	**-**	**-**	**0.19**	**0.02**
BG-1	970213	veen	bosveen	60.12	-	-	0.01	-	-	-	-	0.11	-	0.16	-	-	0.06	-	-	0.35	0.11
BG-1	970214	veen	bosveen	33.29	-	-	0.00	-	-	-	-	0.04	-	0.06	-	-	0.04	-	-	0.14	0.04
DM-1	970154	veen	bosveen	30.46	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
DM-1	970160	veen	bosveen	39.34	-	0.09	0.02	0.02	-	-	-	-	-	0.31	-	-	0.15	0.08	-	0.68	0.11
PM-1	950650	veen	bosveen	53.97	-	-	-	0.11	-	-	-	-	-	0.06	-	-	-	0.09	-	0.25	0.20
gemiddeld				**43.44**	**-**	**0.02**	**0.01**	**0.03**	**-**	**-**	**-**	**0.03**	**-**	**0.12**	**-**	**-**	**0.05**	**0.03**	**-**	**0.28**	**0.09**
standaarddeviatie				**13.01**	**-**	**0.04**	**0.01**	**0.05**	**-**	**-**	**-**	**0.05**	**-**	**0.12**	**-**	**-**	**0.06**	**0.05**	**-**	**0.26**	**0.08**
DM-1	970177	veen	amorf	55.69	0.05	0.09	0.02	0.03	-	-	-	-	-	0.03	-	-	0.04	-	-	0.27	0.09
gemiddeld				**55.69**	**0.05**	**0.09**	**0.02**	**0.03**	**-**	**-**	**-**	**-**	**-**	**0.03**	**-**	**-**	**0.04**	**-**	**-**	**0.27**	**0.09**
standaarddeviatie				**-**	**-**	**-**	**-**	**-**	**-**	**-**	**-**	**-**	**-**	**-**	**-**	**-**	**-**	**-**	**-**	**-**	**-**

Bijlage B.7b: PAK gehalte per lithologie, gecorrigeerde dataset

boring	sample	type	lithologie	% org.stc	NAF	ACN	FLR	FEN	ANT	FLT	PYR	BAA	CHR	BBF	BKF	BAP	DBA	BPE	INP	EPA	VROM
DM-1	970153	klei	klei, humeu	10.12	-	-	-	0.08	-	0.13	0.10	0.05	0.08	0.08	0.03	0.04	0.01	0.05	0.04	0.68	0.49
DM-1	970155	klei	klei, humeu	26.38	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
DM-1	970159	klei	klei, humeu	26.87	0.09	0.06	0.01	0.02	-	-	-	-	0.01	0.21	-	-	0.02	-	-	0.43	0.12
DM-1	970167	klei	klei, humeu	31.81	-	0.07	0.02	0.03	0.01	-	-	-	-	0.02	-	-	-	-	-	0.15	0.03
KV-1	950507	klei	klei, humeu	40.34	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
UD-1	960198	klei	klei, humeu	29.31	0.55	0.39	0.08	0.06	0.01	-	-	-	-	0.06	-	-	-	-	-	1.15	0.62
UD-1	960199	klei	klei, humeu	6.90	0.29	0.19	0.04	0.03	-	-	-	-	-	0.04	-	-	-	-	-	0.60	0.32
UD-1	960187	klei	klei, humeu	28.79	0.31	0.35	0.08	0.07	0.01	0.19	0.20	0.07	0.09	-	0.07	0.06	0.06	-	-	1.57	0.88
gemiddeld				**25.07**	**0.16**	**0.13**	**0.03**	**0.04**	**0.00**	**0.04**	**0.04**	**0.02**	**0.02**	**0.05**	**0.01**	**0.01**	**0.01**	**0.01**	**0.00**	**0.57**	**0.31**
standaarddeviatie				**11.14**	**0.21**	**0.16**	**0.04**	**0.03**	**0.01**	**0.07**	**0.07**	**0.03**	**0.04**	**0.07**	**0.03**	**0.02**	**0.02**	**0.02**	**0.01**	**0.56**	**0.33**
BG-1	970201	toplaaç	toplaag	13.77	-	0.10	0.00	0.04	0.00	0.09	0.07	0.04	0.06	0.08	0.03	0.03	0.01	0.05	0.05	0.66	0.39
DM-1	970152	toplaaç	toplaag	13.32	-	-	-	0.06	-	0.11	0.10	0.05	0.09	0.07	0.02	0.04	0.05	0.06	0.05	0.69	0.47
HM-2	970055	toplaaç	toplaag	13.12	0.05	-	-	-	-	-	-	-	-	0.03	0.01	-	-	0.10	-	0.18	0.16
KD-1	960164	toplaaç	toplaag	19.48	0.26	-	0.08	0.09	0.01	0.20	0.21	0.06	0.07	0.11	0.08	0.11	-	0.23	-	1.51	1.11
UD-1	960185	toplaaç	toplaag	24.14	-	0.41	0.10	0.31	0.07	0.80	0.67	0.48	0.27	0.41	0.24	0.38	0.06	-	-	4.20	2.56
UD-1	960186	toplaaç	toplaag	3.97	0.25	0.36	0.08	0.12	0.01	0.19	0.18	0.07	0.09	0.11	0.09	0.10	-	0.09	-	1.75	1.02
WD-1	960201	toplaaç	toplaag	21.03	0.19	0.15	0.03	0.10	0.01	0.20	0.17	0.14	0.12	0.07	0.07	0.08	0.05	0.09	0.03	1.50	1.03
WT-2	970001	toplaaç	toplaag	17.47	0.10	-	-	0.02	0.00	0.05	0.06	0.01	0.02	0.04	0.02	0.02	0.02	0.15	0.02	0.54	0.43
gemiddeld				**15.79**	**0.11**	**0.13**	**0.04**	**0.09**	**0.01**	**0.21**	**0.18**	**0.11**	**0.09**	**0.11**	**0.07**	**0.10**	**0.02**	**0.10**	**0.02**	**1.38**	**0.90**
standaarddeviatie				**6.22**	**0.11**	**0.17**	**0.04**	**0.10**	**0.02**	**0.25**	**0.21**	**0.16**	**0.08**	**0.12**	**0.07**	**0.12**	**0.02**	**0.07**	**0.02**	**1.27**	**0.76**

Bijlage B.7b: PAK gehalte per lithologie, gecorrigeerde dataset

boring	sample	type	lithologie	% org.stc	NAF	ACN	FLR	FEN	ANT	FLT	PYR	BAA	CHR	BBF	BKF	BAP	DBA	BPE	INP	EPA	VROM
PM-1	950681	klei	klei & gyttj	17.59	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.15	-	-	-	0.15	-	0.29	0.15
gemiddeld					-	-	-	-	-	-	-	-	-	**0.15**	-	-	-	**0.15**	-	**0.29**	**0.15**
standaarddeviatie					-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
GP-4	970149	leem	leem	27.87	-	-	-	0.00	-	0.01	0.05	0.03	0.05	0.02	-	-	-	0.03	-	0.19	0.12
gemiddeld				**27.87**	-	-	-	**0.00**	-	**0.01**	**0.05**	**0.03**	**0.05**	**0.02**	-	-	-	**0.03**	-	**0.19**	**0.12**
standaarddeviatie					-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
PM-1	950652	klei	rivierklei	9.14	-	-	-	0.05	-	-	-	-	-	0.02	-	-	-	-	-	0.07	0.05
gemiddeld				**9.14**	-	-	-	**0.05**	-	-	-	-	-	**0.02**	-	-	-	-	-	**0.07**	**0.05**
standaarddeviatie					-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
BG-1	970202	klei	klei	13.81	-	-	0.00	0.02	0.00	0.03	-	-	0.01	0.01	-	0.01	-	-	-	0.09	0.08
DM-1	970165	klei	klei	11.91	-	0.07	0.01	0.02	0.01	-	-	-	-	0.02	-	-	-	-	-	0.13	0.03
WD-1	960202	klei	klei	11.03	0.22	0.15	0.03	0.03	0.00	-	-	0.03	0.04	0.02	0.02	0.03	0.02	0.10	-	0.70	0.48
WD-1	960203	klei	klei	13.28	0.30	0.17	0.04	0.04	-	-	-	0.01	0.04	0.03	0.02	0.03	-	0.04	-	0.73	0.48
WD-1	960213	klei	klei	12.76	0.28	0.19	0.04	-	0.01	-	-	-	-	0.02	0.02	-	-	0.10	-	0.66	0.41
WD-1	960214	klei	klei	3.79	-	0.18	0.03	0.07	-	-	-	-	-	0.06	-	-	-	0.14	-	0.49	0.21
WD-1	960215	klei	klei	5.69	-	0.19	0.04	0.07	-	-	-	-	-	0.03	0.02	-	0.03	-	-	0.39	0.09
WT-2	970004	klei	klei	11.34	0.16	0.19	0.04	0.03	0.01	-	-	-	-	0.04	0.03	0.03	-	0.53	-	1.05	0.78
gemiddeld				**10.45**	**0.12**	**0.14**	**0.03**	**0.03**	**0.00**	**0.00**	**-**	**0.01**	**0.01**	**0.03**	**0.01**	**0.01**	**0.01**	**0.11**	**-**	**0.53**	**0.32**
standaarddeviatie				**3.68**	**0.14**	**0.07**	**0.01**	**0.02**	**0.00**	**0.01**	**-**	**0.01**	**0.02**	**0.02**	**0.01**	**0.01**	**0.01**	**0.18**	**-**	**0.32**	**0.26**
WT-2	970016	zand	zand	1.35	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
HM-2	970067	zand	zand	1.10	0.09	-	0.02	0.01	-	-	-	-	-	0.01	0.01	-	-	0.05	-	0.20	0.16
gemiddeld				**1.22**	**0.04**	**-**	**0.01**	**0.01**	**-**	**-**	**-**	**-**	**-**	**0.01**	**0.01**	**-**	**-**	**0.02**	**-**	**0.10**	**0.08**

Bijlage B8: Screening van monsters met GC/MS

Bijlage 8 Kwalitatieve screening GC/MS

boring	monster	NAF	ACN	FLR	FEN	ANT	FLT	PYR	BAA	CHR	BBF	BKF	BAP	DBA	BPE	INP
Bg-1	**970203**	2		2	2		2	2	2	2	1	2	2			
Bg-1	**970213**	2		1	2		2	2	1	2	3		2	1		
Bg-1	**970214**	2		1	2		2	2	1	2	3		2	1		3
Bg-1	**970232**	1	1	1	1		2	2	2	1	3	3	2			
DM-1	**970153**	2	2	2	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
DM-1	**970160**	2	1	1	1		2	2	2	2	1		2	2	3	
DM-1	**970162**	2	2	2	2		2	2	2	2	3		2			
DM-1	**970168**	2	2	2	2		2	2	2	2	3		2	3	2	2
DM-1	**970169**		2	2	1		2	2	2	2	3	3	2	3		
GP-1	**970115**	2	2	2	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
GP-3	**970129**	2	2	2	1	1	1	2	1	1	1	1	2	2	1	
GP-3	**970131**	2	2	2	1		2	2	2	2					3	
GP-opp	**970140**	2	2	2	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
GP-4	**970141**	2		2	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
GP-4	**970143**	2			1		1	1	2	1	1	1	1	1	1	1
GP-opp	**970151**	2	2	2	2		1	1	2	1	1	1	1	1	1	1
HM-2	**970060**	2		2	1		2	2		2	3	3	3	3	3	
HM-2	**970061**	2	2	2	1		2	2	3	1	3	3	3		3	
KD-1	**960164**	1		3	1	3	1	1	1	1	1	1	1	2	1	2
KD-1	**960166**	2	2	2	1		2	2	3	2			3	3		
LW-2	**970036**	1	2	2	2		2	2		2	3		2	3	3	
LW-2	**970038**	1	1	1	1	3	1	2	2	2	3	3	2		3	
LW-2	**970039**	1	2	1	1				2	2	1	2	2			
UD-1	**960185**	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	3	1	1
UD-1	**960195**	1	2	1	1		2	2	3	1	1	1	2	3		
WD-1	**960201**	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
WD-1	**960206**	1	1	1	1		2	2	2	2		3	3	3	3	
WD-1	**960208**	1	3	1	1	3	2	2	2	1	3	3	3			
WD-1	**960214**	2	1	3	1		2	2	2	2	3		2		3	
WT-2	**970002**	1			1					1	1	2	3		1	
WT-2	**970005**	1	2	1	1	3	2	2	1	1	3	3	1		3	

Legenda

1 identificatie met FL en GC/MS
2 identificatie alleen met GC/MS
3 identificatie alleen met FL

Bijlage C1: PAK-analyses waterbodems

Bijlage C1. PAK-analyses waterbodems

PAK-analyses waterbodems Rottige Meenthe

monster	NAF	ACY	ACN	FLR	FEN	ANT	FLT	PYR	BAA	CHR	BBF	BKF	BAP	DBA	BPE	INP	EPA	VROM
Rottige Meenthe 225	-	-	-	-	-	0.02	-	-	0.10	0.20	0.26	0.12	0.39	0.02	0.70	0.22	2.20	1.75
Rottige Meenthe 156	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.16	0.44	0.17	0.52	0.04	0.38	0.44	2.20	1.67
Rottige Meenthe 157	-	-	-	0.03	-	0.01	0.17	0.10	0.04	0.06	0.09	0.04	0.11	0.01	0.19	0.07	0.89	0.69
Rottige Meenthe wb4	-	-	-	0.05	0.20	0.06	1.10	0.70	0.31	0.45	0.70	0.26	0.39	-	0.45	0.40	5.10	3.62
Rottige Meenthe wb5	-	-	-	0.05	0.16	0.04	0.88	0.53	0.21	0.31	0.69	0.24	0.31	-	0.48	0.43	4.30	3.06
Rottige Meenthe wb6	-	-	-	0.06	0.17	0.06	0.86	0.56	0.26	0.30	0.80	0.29	0.36	-	0.56	0.49	4.80	3.35

PAK-analyses waterbodems omgeving boring Knollendam 1

LOKATIE	X coord	Y coord	drs.stof	org.stof	NAF	ACY	ACN	FLU	FEN	ANT	FLE	PYR	BAA	CHR	BBF	BKF	BAP	DBA	BPE	INP	EPA	VROM
WormerJN, De Poel	115.450	502.080	9.00	40.60	-	-	1.45	1.65	0.16	0.22	-	0.89	0.47	0.38	0.42	0.15	0.32	0.44	-	0.05	6.60	1.75
WormerJN, 't Zwet west	116.380	502.110	8.90	45.80	-	-	-	0.86	0.15	-	-	0.50	-	0.17	-	0.07	0.14	-	-	-	1.89	0.53
WormerJN, 't Zwet oost	117.770	502.410	8.70	53.20	-	-	-	0.91	-	0.12	-	0.48	0.23	0.22	0.27	0.07	0.14	-	-	-	2.44	0.78
WormerJN, Koksloot zuid	115.880	502.560	9.30	45.80	-	-	-	0.68	-	-	-	0.39	0.17	0.06	0.13	0.07	0.13	-	-	-	1.63	0.43
WormerJN, Markenrif	116.630	502.560	9.00	52.00	-	-	-	0.38	0.12	0.16	0.10	0.11	0.24	0.19	0.16	0.08	0.11	-	-	-	1.65	1.00
WormerJN, nabij Melkpad; gemeentegrens	117.300	502.890	10.10	50.10	-	-	0.70	0.48	-	-	-	0.42	0.15	0.13	0.14	0.05	-	-	-	-	2.07	0.33
WormerJN, De Marken noordoost	117.000	503.280	9.20	45.30	-	0.28	-	0.81	0.12	-	-	0.70	0.19	0.13	0.21	0.08	-	-	-	-	2.52	0.52
WormerJN, De Marken noordwest	116.380	503.210	10.50	45.50	-	0.34	-	0.55	-	0.10	0.15	0.52	0.16	0.11	0.16	0.06	-	-	-	-	2.15	0.58
WormerJN, nw nabij Weijde Blick	115.220	503.760	10.50	54.00	-	-	-	1.20	0.23	0.06	-	0.96	0.42	0.49	0.48	0.26	0.27	-	0.40	0.24	5.01	2.37
WormerJN, Knollendammer sluissloot mid-w	115.840	503.480	9.50	54.00	-	-	-	1.20	0.23	0.06	-	0.96	0.42	0.49	0.48	0.26	0.27	-	0.40	0.24	5.01	2.37
WormerJN, Knollendammer sluissloot mid-o	116.340	503.570	9.60	54.00	-	-	-	0.61	0.07	-	-	0.52	0.21	0.24	0.27	0.08	0.06	-	0.16	0.09	2.31	0.91
WormerJN, Knollendammer sluissloot oost	116.940	503.920	9.10	54.00	-	-	-	0.61	0.07	-	-	0.52	-	0.24	0.27	0.08	0.06	-	0.16	0.09	2.10	0.70

PAK-analyses waterbodems omgeving boring Uitdam 1

LOKATIE	X coord	Y coord	drs.stof	org.stof	NAF	ACY	ACN	FLU	FEN	ANT	FLE	PYR	BAA	CHR	BBF	BKF	BAP	DBA	BPE	INP	EPA	VROM
Zuiderwoude Zwet, dorp	131.200	493.640	12.80	0.00	-	-	-	6.60	1.70	0.68	0.05	6.50	1.90	2.00	2.20	2.60	2.20	0.49	2.80	2.30	32.02	16.23
Zuiderwoude Zwet langs Dijkeinde	132.260	493.790	10.70	0.00	-	-	0.17	3.00	0.79	0.12	0.10	2.70	0.73	0.98	1.30	0.66	1.00	0.18	1.00	1.20	13.93	6.58
Uitdam, Bregsl- Groote Meer- Alewijksloo	132.680	493.280	11.60	0.00	-	-	-	1.00	0.16	0.06	-	0.95	0.28	0.39	0.69	0.21	0.51	0.13	0.69	0.62	5.69	2.92
Holysloot, Uitdammer Die	132.400	492.100	0.00	24.70	-	-	-	0.60	-	-	-	0.49	0.24	0.31	0.35	0.13	0.23	0.03	0.24	0.17	2.79	1.32

PAK-analyses waterbodems omgeving boring Warder 1

LOKATIE	X coord	Y coord	drs.stof	org.stof	NAF	ACY	ACN	FLU	FEN	ANT	FLE	PYR	BAA	CHR	BBF	BKF	BAP	DBA	BPE	INP	EPA	VROM
Zeevang, Zesstedenvaart noord	129.400	508.230	9.500	43.600	-	-	-	1.55	-	-	-	1.01	0.46	0.26	0.93	0.34	0.41	0.13	0.52	0.20	5.81	2.19
Etersheimerbraak, wegsloot	130.300	510.340	23.500	7.900	-	-	-	0.19	-	-	-	0.12	0.06	0.08	0.11	0.03	0.05	0.01	0.06	0.09	0.80	0.37

Bijlage C2: PAK-analyses veenprofielen omgerekend naar standaardbodem

Bijlage C.2.1: PAK-analyses boring Bodengraven I omgerekend naar 10% of 30% org. stof

boring	sample	type	bijzonderheden	diepte		NAF	ACN	FLR	FEN	ANT	FLT	PYR	BAA	CHR	BBF	BKF	BAP	DBA	BPE	INP	EPA	VROM
BG-1	970201	toplaag	toplaag	10	27	-	0.07	0.00	0.03	0.00	0.07	0.05	0.03	0.04	0.06	0.02	0.02	0.01	0.04	0.04	0.48	0.28
BG-1	970202	klei	klei	27	40	-	-	0.00	0.02	0.00	0.02	-	-	0.00	0.01	-	0.01	-	-	-	0.06	0.05
BG-1	970203	veen	veen met hout	40	50	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.01	-	-	-	-	-	0.01	-
BG-1	970205	klei	klei, humeus	70	78	-	0.20	0.00	0.04	-	-	-	-	0.01	0.18	-	-	-	-	-	0.43	0.05
BG-1	970210	klei	klei, humeus	150	198	-	-	0.00	0.02	-	-	-	-	-	0.08	-	-	0.02	-	-	0.13	0.02
BG-1	970213	veen	bosveen	223	250	-	-	0.01	-	-	-	-	0.06	-	0.08	-	-	0.03	-	-	0.17	0.06
BG-1	970214	veen	bosveen	250	286	-	-	0.00	-	-	-	-	0.03	-	0.05	-	-	0.04	-	-	0.12	0.03
BG-1	970219	klei	klei	350	362	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.08	-	-	0.03	-	-	0.11	-
BG-1	970223	klei	klei	384	450	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.06	-	-	-	-	-	0.06	-
BG-1	970230	veen	rietveen	609	617	-	0.06	0.01	0.01	0.01	-	-	-	-	0.03	-	-	-	-	-	0.13	0.02
BG-1	970232	veen	rietveen	650	672	0.10	0.16	0.01	0.02	-	-	-	-	0.01	0.03	0.02	-	-	0.06	-	0.40	0.21
BG-1	970233	veen	rietveen	672	686	-	0.10	0.02	0.00	0.00	-	-	-	-	0.05	-	-	-	-	-	0.18	0.01

Bijlage C.2.2: PAK-analyses boring De Meije I omgerekend naar 10% en 30% org. stof

boring	sample	type	bijzonderheden	diepte		NAF	ACN	FLR	FEN	ANT	FLT	PYR	BAA	CHR	BBF	BKF	BAP	DBA	BPE	INP	EPA	VROM
DM-1	970152	toplaag	toplaag	0	15	-	-	-	0.04	-	0.09	0.07	0.03	0.06	0.05	0.02	0.03	0.04	0.04	0.03	0.52	0.35
DM-1	970153	klei	klei, humeus	15	50	-	-	-	0.08	-	0.12	0.10	0.05	0.08	0.08	0.03	0.04	0.01	0.05	0.04	0.67	0.48
DM-1	970154	veen	bosveen	50	80	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
DM-1	970155	klei	klei, humeus	80	140	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
DM-1	970156	klei	klei, humeus	140	190	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.05	-	-	0.00	-	-	0.05	-
DM-1	970157	veen	amorf	190	200	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.05	-	-	-	0.00	-	0.05	0.00
DM-1	970158	klei	klei, humeus	200	270	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.09	-	-	0.01	-	-	0.10	-
DM-1	970159	klei	klei, humeus	270	340	0.03	0.02	0.01	0.01	-	-	-	-	0.00	0.08	-	-	0.01	-	-	0.16	0.05
DM-1	970160	veen	bosveen	340	350	-	0.07	0.02	0.02	-	-	-	-	-	0.23	-	-	0.12	0.06	-	0.52	0.08
DM-1	970161	klei	klei, humeus	350	366	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.23	-	-	0.01	-	-	0.23	-
DM-1	970162	veen	rietveen	366	410	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.08	-	-	-	-	-	0.08	-
DM-1	970163	klei	klei met riet	410	520	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.03	-	-	-	-	-	0.03	-
DM-1	970164	veen	rietveen	520	590	-	0.06	0.02	0.02	0.01	-	-	-	-	0.02	-	-	0.03	-	-	0.16	0.03
DM-1	970165	klei	klei	590	592	-	0.06	0.01	0.02	0.01	-	-	-	-	0.02	-	-	-	-	-	0.11	0.02
DM-1	970166	veen	rietveen	592	625	0.04	0.05	0.01	0.01	0.01	-	-	-	-	0.03	-	-	-	-	-	0.15	0.06
DM-1	970167	klei	klei, humeus	625	670	-	0.07	0.02	0.02	0.01	-	-	-	-	0.02	-	-	-	-	-	0.14	0.03
DM-1	970168	veen	rietveen	670	678	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.35	-	-	0.02	-	-	0.38	-
DM-1	970169	zand	zand	678	685	-	-	-	0.01	-	-	-	-	-	0.63	0.00	-	0.02	-	-	0.66	0.01
DM-1	970170	zand	zand	685	725	788	-	-	-	-	-	-	-	-	106	-	-	-	-	-	893.8	787.7
DM-1	970177	veen	amorf	725	745	0.03	0.05	0.01	0.02	-	-	-	-	-	0.01	-	-	0.02	-	-	0.15	0.05
DM-1	970186	veen	mosveen	745	800	-	0.06	0.01	0.02	-	-	-	-	-	0.12	-	-	-	-	-	0.21	0.02

Bijlage C.2.3: PAK-analyses boring Grote Peel 1 omgerekend naar 10% en 30% org. stof

boring	sample	type	bijzonderheden	diepte		NAF	ACN	FLR	FEN	ANT	FLT	PYR	BAA	CHR	BBF	BKF	BAP	DBA	BPE	INP	EPA	VROM
GP-1	970113	veen	mosveen	0	10	-	-	-	0.01	-	0.03	0.04	-	0.03	0.08	0.02	-	-	-	-	0.21	0.09
GP-1	970114	veen	veraard	10	20	-	-	-	0.02	-	0.01	-	0.02	0.01	0.02	-	0.00	-	-	-	0.08	0.06
GP-1	970115	veen	mosveen	20	40	-	-	-	0.00	-	0.05	0.08	-	0.05	0.11	0.03	0.00	0.00	0.42	-	0.75	0.56
GP-1	970116	veen	mosveen	40	60	-	-	-	0.07	-	-	-	0.18	0.11	0.05	0.00	0.04	-	11.87	-	12.32	12.27
GP-1	970117	veen	mosveen	60	80	-	-	-	-	-	-	-	-	1.88	-	-	-	-	0.50	-	2.38	2.38
GP-1	970118	veen	mosveen	80	100	-	-	-	-	-	-	-	0.08	0.08	0.00	-	-	-	0.13	-	0.29	0.29

Bijlage C.2.4: PAK-analyses boring Groote Peel 3 omgerekend naar 10% en 30% org. stof

boring	sample	type	bijzonderheden	diepte		NAF	ACN	FLR	FEN	ANT	FLT	PYR	BAA	CHR	BBF	BKF	BAP	DBA	BPE	INP	EPA	VROM
GP-3	970128	veen	mosveen	0	10	-	0.00	-	0.05	0.01	0.14	0.10	0.04	0.08	0.12	0.04	0.03	0.01	0.32	-	0.94	0.70
GP-3	970129	veen	mosveen	10	20	-	-	-	0.01	0.00	0.01	-	0.00	0.01	0.02	0.00	-	-	0.47	-	0.52	0.50
GP-3	970130	veen	mosveen	20	40	-	-	-	0.01	-	0.03	-	-	0.02	0.03	0.01	0.00	0.00	0.29	-	0.39	0.36
GP-3	970131	veen	mosveen	40	60	-	-	-	0.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.67	-	0.67	0.67
GP-3	970132	veen	mosveen	60	80	-	-	-	-	-	-	-	-	0.00	0.01	0.00	-	-	0.79	-	0.81	0.80
GP-3	970133	veen	mosveen	80	90	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.05	-	0.05	0.05
GP-3	970134	leem	leem	90	100	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.12	-	-	-	0.46	-	0.58	0.46

Bijlage C.2.5: PAK-analyses boring Groote Peel 4 omgerekend naar 10% en 30% org. stof

\

boring	sample	type	bijzonderheden	diepte		NAF	ACN	FLR	FEN	ANT	FLT	PYR	BAA	CHR	BBF	BKF	BAP	DBA	BPE	INP	EPA	VROM
GP-4	970141	veen	mosveen	10	20	-	-	-	0.01	-	0.03	0.03	0.00	0.04	0.06	0.02	0.00	0.00	0.40	0.02	0.62	0.53
GP-4	970142	veen	mosveen	20	30	-	-	-	0.00	-	-	-	-	-	0.04	0.01	-	0.00	0.11	0.02	0.18	0.14
GP-4	970147	veen	mosveen	30	40	-	0.03	-	0.00	-	0.03	0.04	-	0.02	0.05	0.01	0.00	0.00	0.34	0.02	0.55	0.43
GP-4	970146	veen	mosveen	40	60	-	-	-	-	-	0.01	-	-	-	0.04	0.01	0.00	0.00	0.29	0.02	0.37	0.33
GP-4	970145	veen	mosveen	60	80	-	-	-	0.01	-	0.03	0.04	-	0.05	0.07	0.02	0.01	0.01	0.29	0.03	0.55	0.43
GP-4	970144	veen	mosveen	80	100	-	-	-	0.02	-	0.06	0.05	0.00	0.05	0.11	0.03	0.01	0.01	0.43	0.05	0.83	0.66
GP-4	970143	veen	mosveen	100	120	-	-	-	0.01	-	0.08	0.06	-	0.04	0.09	0.03	0.01	0.00	0.45	0.03	0.81	0.64
GP-4	970149	leem	leem	120	130	-	-	-	0.00	-	0.00	0.02	0.01	0.02	0.01	-	-	-	0.01	-	0.07	0.04
GP-4	970148	leem	leem	130	150	-	-	-	-	-	-	-	0.03	0.36	0.00	-	-	0.01	0.01	-	0.41	0.40

boring	sample	type	bijzonderheden	diepte		NAF	ACN	FLR	FEN	ANT	FLT	PYR	BAA	CHR	BBF	BKF	BAP	DBA	BPE	INP	EPA	VROM
GP-opp	970151	veen	mosveen	0	5	-	-	-	-	-	0.02	0.02	-	0.03	0.03	0.01	0.00	0.00	0.05	0.01	0.18	0.12
GP-opp	970140	veen	mosveen	0	10	-	-	-	0.02	-	0.05	0.03	0.01	0.06	0.08	0.03	0.01	0.00	0.17	0.03	0.49	0.38
GP-opp	970127	veen	veraard	0	20	-	0.03	-	0.07	0.01	0.17	0.11	0.12	0.34	0.12	0.12	0.06	-	-	-	1.16	0.89
GP-opp	970137	veen	mosveen	15	20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.00	-	-	-	-	-	0.00	-

Bijlage C.2.6: PAK-analyses boring Hommerts 1 omgerekend naar 10% en 30% org. stof

boring	sample	type	bijzonderheden	diepte		NAF	ACN	FLR	FEN	ANT	FLT	PYR	BAA	CHR	BBF	BKF	BAP	DBA	BPE	INP	EPA	VROM
HM-2	970055	toplaag	toplaag	0	24	0.04	-	-	-	-	-	-	-	-	0.02	0.01	-	-	0.07	-	0.14	0.12
HM-2	970056	veen	mosveen	24	78	0.07	-	-	0.04	-	-	-	-	-	0.04	0.01	-	-	0.36	-	0.52	0.48
HM-2	970060	veen	mosveen	112	131	-	-	-	0.05	-	-	-	-	-	0.04	0.02	0.00	0.04	0.31	-	0.45	0.38
HM-2	970061	veen	wollegras	131	165	0.18	-	-	0.04	-	-	-	0.02	0.02	0.02	0.03	0.04	-	0.31	-	0.66	0.63
HM-2	970063	veen	rietveen	165	233	0.08	0.12	0.04	0.05	-	-	-	-	-	0.11	-	-	0.01	0.09	-	0.50	0.22
HM-2	970067	zand	zand	233	250	0.81	-	0.19	0.12	-	-	-	-	-	0.11	0.11	-	-	0.45	-	1.79	1.49

Bijlage C.2.7: PAK-analyses boring Knollendam 1 omgerekend naar 10% en 30% org. stof

boring	sample	type	bijzonderheden	diepte		NAF	ACN	FLR	FEN	ANT	FLT	PYR	BAA	CHR	BBF	BKF	BAP	DBA	BPE	INP	EPA	VROM
KD-1	960164	toplaag	toplaag	0	28	0.13	-	0.04	0.05	0.01	0.10	0.11	0.03	0.04	0.06	0.04	0.06	-	0.12	-	0.78	0.57
KD-1	960165	veen	mosveen	28	65	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.10	0.02	-	-	0.12	0.10
KD-1	960166	veen	wollegras	65	86	-	-	-	0.01	-	-	-	0.03	-	-	-	0.01	0.00	-	-	0.06	0.05
KD-1	960167	veen	wollegras	86	149	-	-	0.03	-	0.00	0.05	-	0.01	-	0.02	0.02	0.02	0.02	-	-	0.16	0.10
KD-1	960168	veen	rietveen	149	163	-	0.18	0.04	0.05	0.01	-	-	0.02	0.02	0.03	0.02	0.03	0.03	-	-	0.43	0.15
KD-1	960169	veen	rietveen	163	217	0.13	-	-	0.04	-	-	-	0.01	0.02	0.02	-	-	-	-	-	0.21	0.20
KD-1	960170	klei	klei	217	240	0.05	-	-	0.17	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.22	0.22
KD-1	960171	klei	klei	240	300	-	-	-	0.26	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.65	-	0.91	0.91

Bijlage C.2.8: PAK-analyses boring Kloosterveen 1 omgerekend naar 10% en 30% org. stof

boring	sample	type	bijzonderheden	diepte		NAF	ACN	FLR	FEN	ANT	FLT	PYR	BAA	CHR	BBF	BKF	BAP	DBA	BPE	INP	EPA	VROM
KV-1	950429	veen	mosveen	43	59	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
KV-1	950434	veen	veraard	76	100	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.01	-	-	-	1.63	-	1.64	1.63
KV-1	950484	zand	zand	166	175	-	-	0.01	0.54	0.00	-	-	-	-	0.63	0.06	-	-	4.37	-	5.61	4.97
KV-1	950507	klei	klei, humeus	176	200	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Bijlage C.2.9: PAK-analyses boring Langweer 2 omgerekend naar 10% en 30% org. stof

boring	sample	type	bijzonderheden	diepte		NAF	ACN	FLR	FEN	ANT	FLT	PYR	BAA	CHR	BBF	BKF	BAP	DBA	BPE	INP	EPA	VROM
LW-2	970031	toplaag	toplaag	0	15	-	-	-	0.01	-	0.02	-	-	0.01	0.02	0.01	0.01	0.01	0.11	0.01	0.20	0.17
LW-2	970032	veen	mosveen	29	60	0.06	0.08	-	0.03	-	-	-	-	-	0.03	-	-	-	0.23	-	0.43	0.32
LW-2	970036	veen	rietveen	103	134	0.08	-	-	-	-	-	-	-	-	0.05	-	-	0.05	0.63	-	0.81	0.71
LW-2	970037	veen	rietveen	134	152	0.08	-	-	-	-	-	-	-	-	0.21	-	-	0.05	0.20	-	0.54	0.28
LW-2	970038	veen	rietveen	152	203	0.17	0.20	0.05	0.04	0.01	-	-	-	-	0.02	0.03	-	-	0.06	-	0.58	0.31
LW-2	970039	veen	gyttja	203	208	-	-	0.01	0.02	-	-	-	-	-	0.06	-	-	-	-	-	0.10	0.02
LW-2	970040	veen	gyttja	208	218	0.03	-	-	-	-	-	-	-	-	0.02	-	-	-	-	-	0.05	0.03
LW-2	970041	zand	zand	218	260	0.90	-	0.22	0.14	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.16	-	1.42	1.20

Bijlage C.2.10: PAK-analyses boring Polder Molenaarsgraaf 1 omgerekend naar 10% en 30% org. stof

boring	sample	type	bijzonderheden	diepte		NAF	ACN	FLR	FEN	ANT	FLT	PYR	BAA	CHR	BBF	BKF	BAP	DBA	BPE	INP	EPA	VROM
PM-1	950515	toplaag	toplaag	26	36	-	-	-	-	-	-	-	0.02	0.04	0.03	0.01	0.02	-	0.15	-	0.26	0.23
PM-1	950537	veen	veraard	75	81	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.00	-	-	-	-	-	0.00	-
PM-1	950576	veen	bosveen met riet	135	207	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
PM-1	950578	klei	rivierklei	207	225	-	-	-	0.01	-	-	-	-	-	0.11	-	-	-	-	-	0.12	0.01
PM-1	950619	klei	klei & gyttja	233	280	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.07	-	-	-	-	-	0.07	-
PM-1	950650	veen	bosveen	345	388	-	-	-	0.06	-	-	-	-	-	0.03	-	-	-	0.05	-	0.14	0.11
PM-1	950652	klei	rivierklei	388	425	-	-	-	0.05	-	-	-	-	-	0.03	-	-	-	-	-	0.08	0.05
PM-1	950681	klei	klei & gyttja	448	490	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.08	-	-	-	0.08	-	0.17	0.08
PM-1	950683	klei	rivierklei	490	525	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.15	-	-	-	-	-	0.15	-
PM-1	950711	klei	rivierklei	525	625	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.09	-	-	-	-	-	0.09	-

Bijlage C.2.11: PAK-analyses boring Rottige Meente 1 omgerekend naar 10% en 30% org. stof

boring	sample	type	bijzonderheden	diepte		NAF	ACN	FLR	FEN	ANT	FLT	PYR	BAA	CHR	BBF	BKF	BAP	DBA	BPE	INP	EPA	VROM
RM-1	950253	veen	veraard	46	68	-	-	-	0.12	0.01	0.24	0.19	0.09	0.15	0.11	0.04	0.08	-	0.71	-	1.74	1.44
RM-1	950278	veen	veraard	68	97	-	-	-	0.18	0.03	0.76	0.69	0.36	0.45	0.29	0.16	0.30	0.04	0.43	0.17	3.85	2.84
RM-1	950297	veen	veraard	118	127	-	-	-	0.07	-	-	-	-	-	-	-	0.00	-	0.53	-	0.60	0.60
RM-1	950322	veen	rietveen	127	200	-	-	-	0.04	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.48	-	0.52	0.52
RM-1	950371	veen	rietveen	200	252	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.03	-	0.00	-	1.12	-	1.16	1.13
RM-1	950373	klei	klei	246	255	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.32	-	-	-	0.04	-	0.36	0.04
RM-1	950393	veen	gyttj-achtig	252	256	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.00	-	-	-	-	-	0.00	-

Bijlage C.2.12: PAK-analyses boring Uitdam 1 omgerekend naar 10% en 30% org. stof

boring	sample	type	bijzonderheden	diepte		NAF	ACN	FLR	FEN	ANT	FLT	PYR	BAA	CHR	BBF	BKF	BAP	DBA	BPE	INP	EPA	VROM
UD-1	960185	toplaag	toplaag	0	5	-	0.17	0.04	0.13	0.03	0.33	0.28	0.20	0.11	0.17	0.10	0.16	0.02	-	-	1.74	1.06
UD-1	960186	toplaag	toplaag	5	18	0.63	0.91	0.20	0.30	0.03	0.49	0.46	0.19	0.23	0.27	0.22	0.26	-	0.22	-	4.41	2.56
UD-1	960187	klei	klei, humeus	18	29	0.11	0.12	0.03	0.02	0.00	0.07	0.07	0.02	0.03	-	0.02	0.02	0.02	-	-	0.54	0.30
UD-1	960190	veen	mosveen	74	82	-	-	-	0.06	-	-	-	-	-	0.04	-	-	-	1.47	-	1.56	1.52
UD-1	960191	veen	wollegras	82	166	-	-	0.03	0.03	0.00	-	-	-	-	0.02	0.02	0.02	-	1.51	-	1.63	1.59
UD-1	960192	veen	rietveen	166	179	0.15	0.19	0.04	0.03	-	-	-	-	-	0.03	-	-	-	0.41	-	0.85	0.58
UD-1	960193	veen	rietveen	179	261	-	-	0.03	0.02	-	-	-	-	-	0.01	-	-	-	-	-	0.07	0.02
UD-1	960194	veen	rietveen	261	277	-	0.18	0.04	0.03	-	-	-	-	-	0.02	-	-	-	-	-	0.26	0.03
UD-1	960195	veen	rietveen	277	356	0.35	-	0.06	0.05	-	-	-	0.02	0.02	0.03	0.04	-	0.04	-	-	0.61	0.48
UD-1	960196	klei	klei met riet	356	425	0.33	-	0.06	0.03	-	-	-	-	-	0.04	-	-	-	-	-	0.46	0.36
UD-1	960197	veen	rietveen	425	435	0.40	-	0.06	0.05	-	-	-	-	-	0.04	-	-	-	-	-	0.55	0.44
UD-1	960198	klei	klei, humeus	435	456	0.19	0.13	0.03	0.02	0.00	-	-	-	-	0.02	-	-	-	-	-	0.39	0.21
UD-1	960199	klei	klei, humeus	456	531	0.42	0.27	0.06	0.04	-	-	-	-	-	0.06	-	-	-	-	-	0.86	0.46
UD-1	960200	klei	klei	531	600	0.35	-	0.05	0.03	-	-	-	-	-	0.03	-	-	-	-	-	0.47	0.38

Bijlage C.2.13: PAK-analyses boring Warder 1 omgerekend naar 10% en 30% org. stof

boring	sample	type	bijzonderheden	diepte		NAF	ACN	FLR	FEN	ANT	FLT	PYR	BAA	CHR	BBF	BKF	BAP	DBA	BPE	INP	EPA	VROM
WD-1	960201	toplaag	toplaag	0	5	0.09	0.07	0.01	0.05	0.00	0.10	0.08	0.07	0.06	0.03	0.03	0.04	0.02	0.04	0.02	0.71	0.49
WD-1	960202	klei	klei	5	48	0.20	0.13	0.03	0.03	0.00	-	-	0.03	0.04	0.02	0.02	0.02	0.02	0.09	-	0.63	0.43
WD-1	960203	klei	klei	48	68	0.23	0.13	0.03	0.03	-	-	-	0.01	0.03	0.02	0.02	0.02	-	0.03	-	0.55	0.36
WD-1	960205	klei	klei met ri	75	133	0.14	0.04	-	0.01	0.01	-	-	-	0.02	0.03	0.00	0.01	-	0.36	-	0.63	0.56
WD-1	960206	veen	mosveen	133	170	0.38	0.27	0.06	0.04	-	-	-	-	-	-	0.03	0.06	0.09	0.28	-	1.22	0.80
WD-1	960208	veen	mosveen	200	230	0.53	0.32	0.07	0.05	0.01	-	-	-	0.03	0.03	0.05	0.06	-	-	-	1.16	0.73
WD-1	960209	veen	mosveen	230	260	0.41	0.23	0.05	0.04	-	-	-	0.02	-	0.08	0.04	0.06	0.16	-	-	1.09	0.57
WD-1	960210	veen	mosveen	260	262	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#DIV/0!	#####	#DIV/0!	#DIV/0!
WD-1	960211	veen	rietveen	262	268	0.64	0.28	0.05	0.05	0.01	-	-	-	-	0.08	-	-	0.05	0.06	-	1.21	0.76
WD-1	960212	veen	rietveen	268	300	0.36	0.27	0.05	0.06	0.01	-	-	-	-	0.05	0.03	0.03	-	0.11	-	0.96	0.59
WD-1	960213	klei	klei	300	317	0.22	0.15	0.03	-	0.00	-	-	-	-	0.02	0.02	-	-	0.08	-	0.52	0.32
WD-1	960214	klei	klei	317	360	-	0.47	0.09	0.18	-	-	-	-	-	0.16	-	-	-	0.38	-	1.28	0.56
WD-1	960215	klei	klei	360	400	-	0.34	0.07	0.12	-	-	-	-	-	0.06	0.04	-	0.06	-	-	0.68	0.16

Bijlage C.2.14: PAK-analyses boring Wartena 2 omgerekend naar 10% org. stof

boring	sample	type	bijzonderheden	diepte		NAF	ACN	FLR	FEN	ANT	FLT	PYR	BAA	CHR	BBF	BKF	BAP	DBA	BPE	INP	EPA	VROM
WT-2	970001	toplaag	toplaag	0	29	0.06	-	-	0.01	0.00	0.03	0.03	0.01	0.01	0.02	0.01	0.01	0.01	0.09	0.01	0.31	0.25
WT-2	970002	veen	veraard	29	68	0.15	-	-	0.03	-	-	-	-	0.02	-	-	0.04	-	1.67	-	1.91	1.91
WT-2	970004	klei	klei	68	75	0.14	0.17	0.04	0.03	0.01	-	-	-	-	0.03	0.02	0.03	-	0.46	-	0.93	0.69
WT-2	970005	veen	rietveen	75	100	0.21	-	0.06	0.05	0.01	-	-	0.03	0.02	0.05	0.04	0.04	-	0.59	-	1.09	0.98
WT-2	970007	veen	wollegras	130	150	-	-	0.05	0.04	-	-	-	-	0.02	0.02	0.03	-	-	0.06	-	0.22	0.15
WT-2	970008	veen	wollegras	150	200	0.19	-	-	0.04	-	-	-	0.01	0.02	0.03	0.03	-	-	0.25	-	0.58	0.55
WT-2	970012	veen	wollegras	200	224	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
WT-2	970016	zand	zand	251	275	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
WT-2	970018	zand	zand	275	300	1.45	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.23	-	-	1.68	1.45