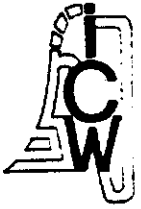


NN31545.1865

BIBLIOTHEEK
STATUS 1988

ICW nota 1865
mei 1988

I



nota

MILIEURISICO'S VAN EEN ASFALTBITUMENVERONTREI-
NING OP DE LOKATIE HARINGKAVEL TE BOSKOOP

drs. J. Harmsen en
J. Pankow

instituut voor cultuurtechniek en waterhuishouding, wageningen



ISBN 2917354 3 mei 1988

I N H O U D

	blz.
1. INLEIDING	1
2. BESCHRIJVING VAN DE VERONTREINIGING	2
3. HYDROLOGISCHE SITUATIE EN BODEMOPBOUW	5
3.1. Hydrologische situatie	5
3.2. Verdamping en neerslag	5
3.3. De aanvoer van grondwater naar de wortelzone in het afdekkende pakket	6
3.4. Berging wortelzone	8
3.5. De ondergrond	8
4. STOFEIGENSCHAPPEN EN MOGELIJKHEDEN TOT TRANSPORT	10
4.1. Oplosbaarheid	10
4.2. Vluchtigheid	13
4.3. Adsorptie aan de bodem	15
4.4. Transport in de waterfase in bovenwaartse richting	17
4.5. Transport in de waterfase in neerwaartse richting	18
5. CONCLUSIE EN ADVIES	19
LITERATUUR	21

1. INLEIDING

Bij het oriënterend en nader onderzoek van de lokatie Haringkavel aan de Zuidkade te Boskoop is door de Milieudienst Midden-Holland een verontreiniging met olie en asfaltbitumen waargenomen. De asfaltbitumen geven aanleiding tot een te hoog gehalte aan polycyclische aromatische koolwaterstoffen (PAK's).

De meeste verontreinigde grond kan worden afgegraven, op een strook na met asfaltbitumen gelegen direkt langs de Gouwe. Hiervoor zouden grote technische ingrepen nodig zijn om te voorkomen dat de Gouwe zou leegstromen in de achtergelegen polder. Het waterniveau van de Gouwe ligt meer dan twee meter hoger dan het grondniveau in de polder.

De grond direkt naast de Gouwe vormt een dijklichaam en is van de Gouwe gescheiden door middel van een betonnen beschoeiing.

Aan het ICW is gevraagd om na te gaan wat de milieurisico's zijn van het laten liggen van de asfaltbitumen en hoe eventuele risico's kunnen worden verkleind.

2. BESCHRIJVING VAN DE VERONTREINIGING

Voor de beschrijving van de verontreiniging is uitgegaan van het rapport "Inzake het nader onderzoek op de lokatie Haringkavel aan de Zuidkade te Boskoop" van de Milieudienst Midden-Holland en van rapport nummer 80314 van Wiha Grondmechanica. Tevens is op 22 maart 1988 de lokatie bezocht.

De onderzoekslokatie is gelegen aan de Zuidkade in de gemeente Boskoop en wordt aan de oostzijde begrensd door de Gouwe. Het terrein heeft een oppervlakte van ca. 3700 m². Het terrein is onder te verdelen in ± 1900 m² laag gedeelte, langs de Zuidkade en ± 1800 m² hoog gedeelte langs de Gouwe. Sinds begin 1900 heeft het terrein een industriële bestemming gehad. Aanvankelijk als scheepswerf en later als constructie-werkplaats.

De bedrijfsactiviteiten van de constructiebouw omvatten o.a. het vervaardigen van stalen constructies als hooimijten, druktanks en opslagtanks voor aardolieprodukten.

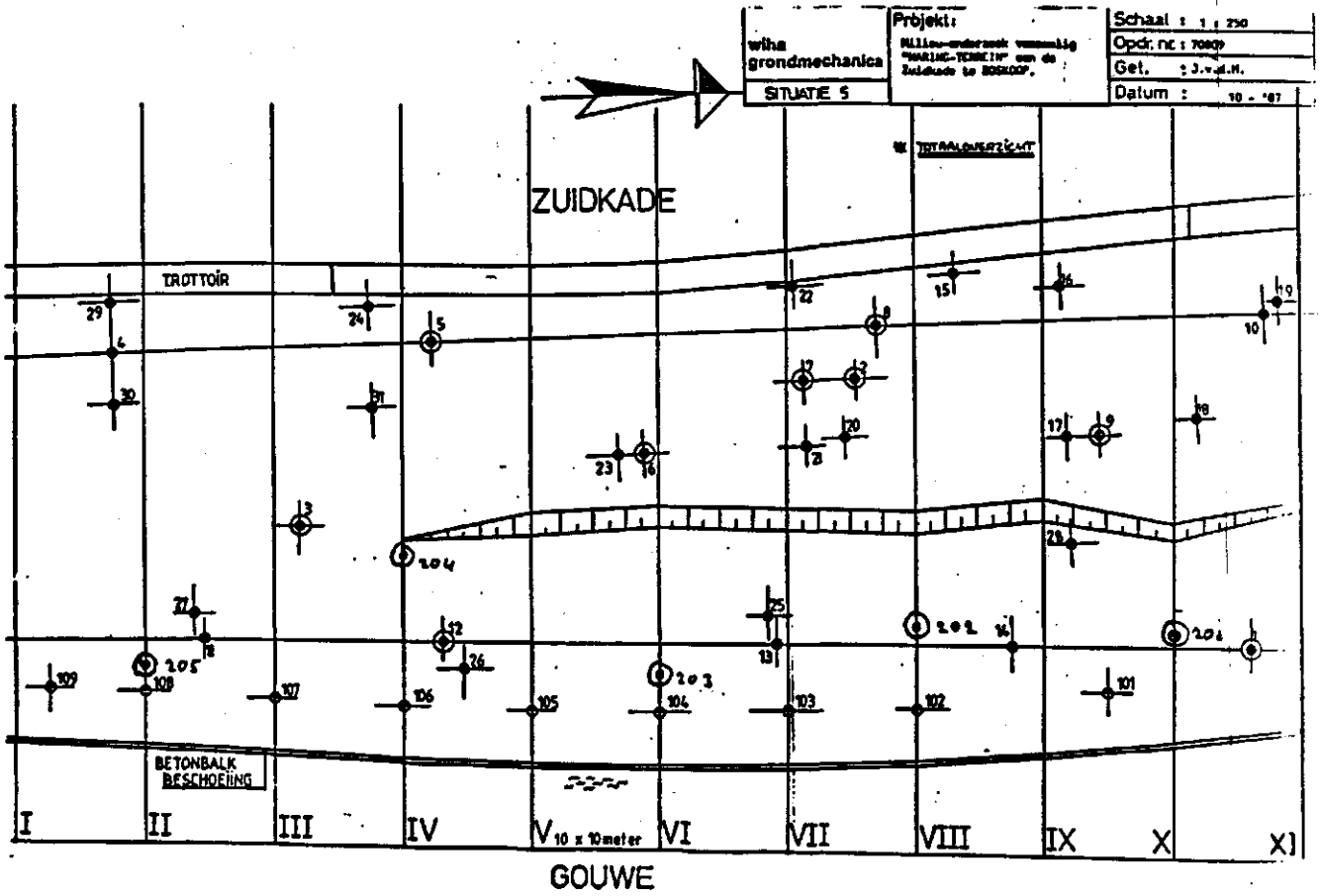
Voor de bedrijfsactiviteiten is in 1931 een hinderwetvergunning verleend voor ondergrondse opslag voor benzine, tekening niet aanwezig, en in 1973 een hinderwetvergunning in verband met een uitbreiding voor de constructiewerkplaats.

Op de bij deze vergunning behorende tekeningen zijn onder meer een asfaltsmeltinrichting, een bovengrondse opslag voor huisbrandolie en een verfopslag aangegeven.

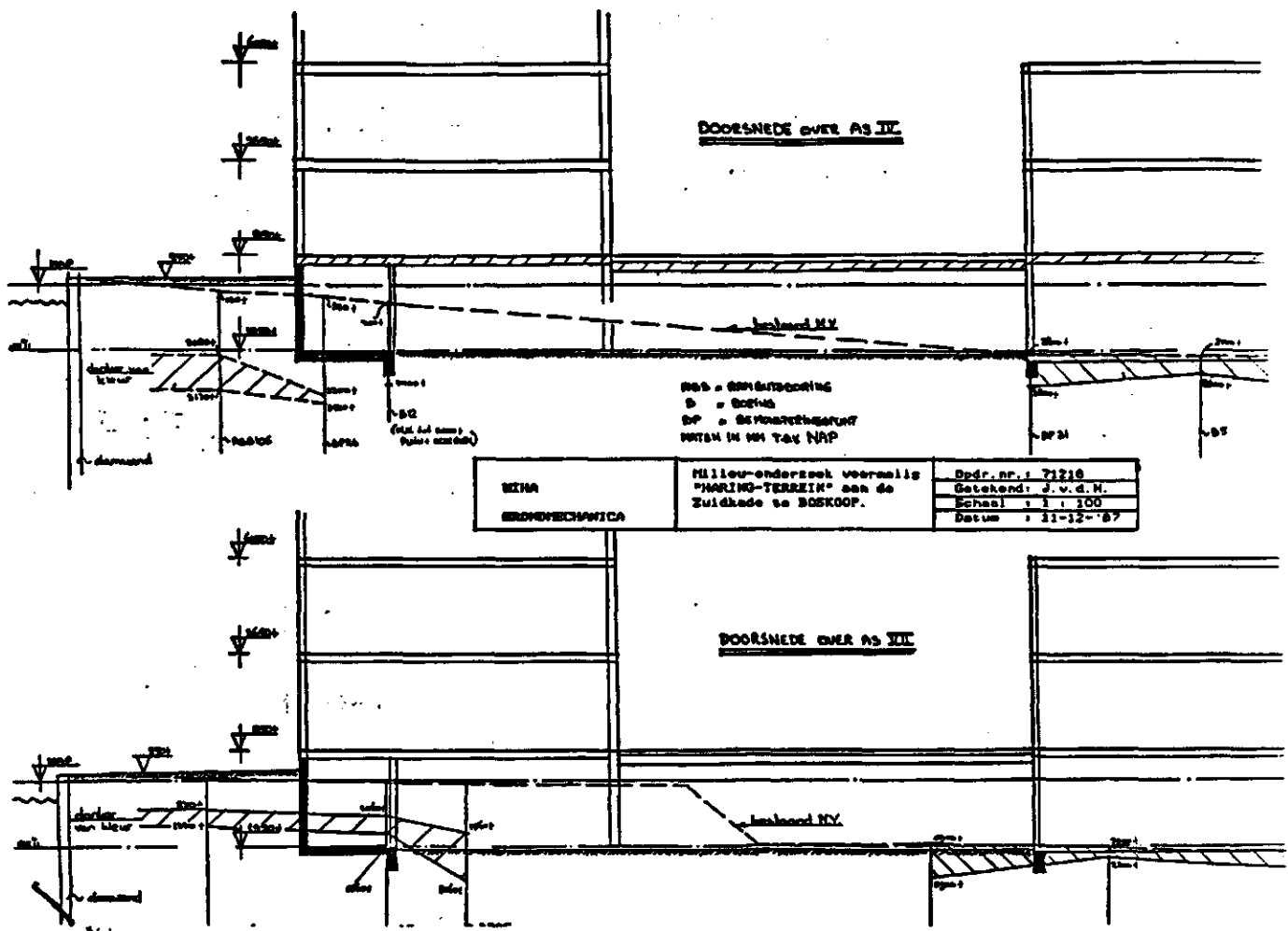
Nadat de bedrijfsactiviteiten in 1980 werden beëindigd, zijn in 1981 de opstallen en de grond door de gemeente Boskoop aangekocht.

In verband met de geplande gesubsidieerde woningbouw ter plaatse zijn de opstallen in 1982 en 1987 gesloopt. De sloopmaterialen, inclusief een ondergrondse opslagtank voor dieselolie, zijn afgevoerd.

Figuur 1 geeft een totaal overzicht van de lokatie met daarin de uitgevoerde boringen. Doorsneden over de assen IV en VII uit figuur 1 zijn gegeven in figuur 2. In deze figuur staat tevens de toekomstige situatie weergegeven. Het voor dit onderzoek van belang zijnde deel is ingeklemd tussen de beschoeiing van de Gouwe en de geprojecteerde huizen.



Figuur 1. Totaal overzicht van de lokatie met de uitgevoerde boringen.



Figuur 2. Dwarsdoorsnede lokatie over de assen IV en VII uit figuur 1.

Deze strook is in de plannen bedoeld als tuin. In deze tuinen is alleen lage begroeiing toegestaan in verband met uitzicht voor de scheepvaart op de Gouwe.

Grondmonsters genomen in de strook wijzen op verontreiniging door asfaltbitumen, welke PAK's bevatten. De gehalten aan PAK's in de grond zijn hoger dan de B of C waarden uit de toetsingstabel (tabel 1).

Tabel 1. Gehalte PAK's in grond (mg.kg^{-1}) afkomstig van bemonsteringspunten uit de te onderzoeken strook (zie ook fig. 1)

Component	Monsternummer				
	IV*	25**	26**	27**	28**
PAK Totaal	58	160	21	25	4,9
Naftaleen	<0,05	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0
Acenaftyleen		1,8	<1,0	<1,0	<1,0
Acenaftteen	1,3	2,4	<1,0	<1,0	<1,0
Fenantreen	11	10	3,5	12	<1,0
Anthraceen	5,1	3,7	<1,0	<1,0	<1,0
Fluorantheen	17,1	39	8,3	7,8	3,5
Pyreen	15,3	29	4,7	5,6	1,5
Benzo(a)pyreen	8,2	27	4,3	<1,0	<1,0

* Mengmonster bestaande uit 11 A + 11 B + 12 A + 12 B + 12 C + 13 A + 13 B. (A = 0,50 - 1,00 meter; B = 1,00 - 2,00 meter). In dit monster zijn ook nog andere PAK's geanalyseerd. Voor de vergelijkbaarheid zijn alleen die PAK's vermeld die ook in de andere monsters zijn geanalyseerd.

** Monsters genomen uit, met een hydraulische kraan getrokken sleuven. De keuze is bepaald door organoleptische waarnemingen.

Als aangenomen wordt dat de monsters representatief zijn voor de gehele strook en dat de PAK's homogeen verdeeld over de gehele strook voorkomen dan kan er een uitspraak worden gedaan over het gemiddelde gehalte. Bij het gemiddelde is boring IV drie maal meegenomen, omdat

het een mengmonster was. Het gemiddelde wordt dan 55 mg.kg^{-1} met een standaardafwijking van 51 mg.kg^{-1} ($n = 7$). Dit gemiddelde kan worden getoetst aan de toetsingswaarde met een in ontwikkeling zijnde methode die in de toekomst vermoedelijk zal leiden tot een NEN-norm. (HARMSSEN, 1987).

Hierbij worden de volgende aannamen gedaan:

- verontreiniging is diffuus;
- fout mengen en analyse \ll fout monsterneming;
- standaardafwijking = gemiddelde concentratie.

Er mag dan worden getoetst met:

Gemiddelde \times Vermenigvuldigingsfactor $<$ Toetsingswaarde.

De uitspraak heeft een betrouwbaarheid van 95%, de vermenigvuldigingsfactor is afhankelijk van het aantal monsterpunten. Voor 7 monsterpunten is de vermenigvuldigingsfactor gelijk aan 1,73. Het produkt wordt dus $1,73 \times 55 = 95 \text{ mg.kg}^{-1}$. Dit is groter dan de B waarde (20 mg.kg^{-1}) maar kleiner dan de C waarde (200 mg.kg^{-1}). Het gemiddelde is dus met een zekerheid van 95 % kleiner dan de C waarde.

Wordt getest met de meest schadelijke PAK Benzo(a)pyreen dan is het gemiddelde 8,3 en het produkt 14,4. Dit laatste ligt boven de C waarde, (10 mg.kg^{-1}) hetgeen betekent, dat het werkelijke gehalte ook (groter kan zijn dan de C waarde.

3. HYDROLOGISCHE SITUATIE EN BODEMOPBOUW

3.1. Hydrologische situatie

De te onderzoeken strook is gescheiden van de Gouwe door een betonnen beschoeiing die tot ca. 9 meter diep gaat. Het water in de Gouwe bevindt zich op 20 cm - NAP. Het maaiveld direkt naast de beschoeiing bevindt zich op 20 cm + NAP.

In maart, hetgeen het tijdstip is dat de grondwaterstanden het hoogst zijn, zijn peilingen uitgevoerd in de buizen 201 t/m 205 en tevens in een diepte boring met een filter op 9,5 m.

De buizen 201 t/m 205 gaven een grondwaterstand van gemiddeld 1,5 m - NAP. De uitersten waren 1,09 en 2,30 - NAP. Het diepe filter gaf een grondwaterstand van 4,89 m - NAP.

Dit betekent, dat de grondwaterstanden in de buizen 201 t/m 205 betrekking hebben op hangwater en dat het eigenlijke grondwater dieper zit.

Dit alles maakt de situatie minder kwetsbaar, omdat er geen direkt contact is tussen het diepe grondwater en de verontreinigde grond, waardoor een snellere verspreiding mogelijk is.

Nu hoeft alleen rekening te worden gehouden met water dat zich via capillaire opstijging naar boven beweegt en hangwater dat langzaam doorsijpelt naar het grondwater.

3.2. Verdamping en neerslag

Voor bepaling van het neerslagoverschot in de winter en het neerslagtekort in de zomer zijn gegevens gebruikt voor een normaal jaar. Tabel 2 geeft de neerslag weer van het regenstation in Gouda en de verdamping van de meteostations De Bilt en Schiphol. Tevens de gemiddelde verdamping van deze twee stations.

Tabel 2. Neerslag en verdamping normaal jaar

	Neerslag Gouda	Normaal E_0 verdamping		
		De Bilt	Schiphol	Gemiddeld
Januari	69	10	5	7,5
Februari	52	16	17	16,5
Maart	51	36	36	36,0
April	50	54	45	49,5
Mei	48	123	131	127,0
Juni	68	153	159	156,0
Juli	83	117	122	119,5
Augustus	95	92	94	93,0
September	72	45	49	47,0
Oktober	73	31	35	33,0
November	80	13	12	12,5
December	79	7	20	13,5

	Neerslag	E_0	Grond- en gewasverdamping
Jan.+Febr.+Mrt.+Okt.+Nov.+Dec. =	404 mm	119 mm	$0,3E_0 = 36$ mm
Apr.+Mei+Juni+Juli+Aug.+Sept. =	416 mm	592 mm	$0,8E_0 = 474$ mm

Wintermaanden Neerslag - $0,3E_0 = 404 - 36 = 368$ mm neerslagoverschot

Zomermaanden Neerslag - $0,8E_0 = 416 - 474 = - 58$ mm neerslagtekort

3.3. De aanvoer van grondwater naar de wortelzone in het afdekkend pakket

De opstijging van grondwater naar de wortelzone hangt in de eerste plaats af van de samenstelling van de bodem. Het is begrijpelijk als de bodem uit een lichte humeuze fijne klei bestaat, dat de capillaire werking vanuit het grondwater optimaal is. Wanneer de bodem uit een zware komklei of grof zand bestaat dan is de opstijging minimaal. De bodem op de lokatie Haringkavel te Boskoop is als volgt opgebouwd tot 1 meter beneden maaiveld:

- lichte tot zware klei;
- fijn tot grof zand;
- fijne humusdeeltjes tot veen;
- grove stenen - metaal- en houtdelen;
- af en toe wat bitumenbrokken.

Dit geheel is zeer heterogeen door elkaar verdeeld en een indeling in grondsoort is dan ook moeilijk, om de capillaire opstijging van dit mengsel te bepalen.

Om een indruk te krijgen van de capillaire opstijging van de bodem zijn er een paar grondsoorten gekozen om bij benadering iets over dit mengsel te zeggen (tabel 3):

1. sterk lemig, zeer fijn tot matig fijn zand;
2. matig zware klei;
3. zandig veen en veen;
4. kleilig veen.

Tabel 3. Technisch gegeven bovengrond: poriënvolume uit de Staringreeks

1. Sterk lemig, zeer fijn tot matig fijn zand	poriënvolume 45%
2. Matig zware klei	poriënvolume 50%
3. Zandig veen en veen	poriënvolume 70%
4. Kleilig veen	poriënvolume 70%
Gemiddeld poriënvolume grondmengsel 58%	

Droog volume gewicht grondmengsel = W_d	1,10 gr/cm ³
Nat volume gewicht grondmengsel	1,67 gr/cm ³
Organische stof 5 - 10%	Soortelijk gewicht 2,56 = s.g.
Poriënvolume = $1 - \frac{W_d}{s.g.} \times 100\% = 57\%$	Dichtheid bovengrond 1,10 gr/cm ³
	$K = 0,0003 \text{ m dag}^{-1}$

Zoals vermeld hebben de grondwaterstanden die gemeten zijn betrekking op hangwater, en dat het eigenlijke grondwater dieper zit dan de gemeten.

Op 22 maart 1988 was de gemiddelde grondwaterstand 1,50 meter beneden maaiveld. De gemiddelde capillaire opstijging van het grondmengsel wordt berekend als $0,3 \text{ mm.dag}^{-1}$ voor dat moment.

3.4. Berging wortelzone

Van de beschreven grondsoorten 1, 2, 3 en 4 is de berging per 10 cm grondkolom te berekenen. Onder berging wordt dus verstaan het beschikbaar vocht wat voor de planten beschikbaar is tussen pF 2,0 en pF 4,2. Deze berging bedraagt voor dit grondmengsel ± 30 mm vocht per 10 cm grondkolom. Wanneer er van uitgegaan wordt dat de bewortelingsdiepte van het gewas ± 30 à 40 cm bedraagt dan heeft deze grondkolom van 30 à 40 cm een vochtvoorraad van 90 à 120 mm ter beschikking voor de verdamping van het gewas. De vochtonttrekking (zie tabel 1) komt in mei op gang daar er dan een neerslagtekort optreedt van ± 54 mm. Naarmate uit de grondkolom meer vocht onttrokken wordt, stijgt de zuigspanning van de bodem en komt de capillaire werking op gang, deze capillaire werking kan bij dit grondmengsel oplopen tot ± 1 mm per dag.

Wordt er nu grof zand als afdeklaag gebruikt dan is de berging van bodemvocht tussen pF 2,0 en pF 4,2. Ongeveer 10 mm per 10 cm grondkolom. De wortelzone van 30 à 40 cm bevat hier dus een vochtvoorraad van 30 à 40 mm. De capillaire levering vanuit de ondergrond is nihil en uitdroging zal dus het geval zijn wanneer er niet beregend wordt.

3.5. De ondergrond

De situatie op de lokatie Haringkavel in Boskoop geeft aan dat het perceel geen water toegevoerd krijgt uit het lagere achterland doch uit de Gouwe. Dit water zal als er een potentieel is met het aangrenzende achterland afstromen. De opbouw van de bodem onder 2 meter min maaiveld is kleilig veen en zand.

De doorlaatfactor (K) van kleilig veen is $K = 0$ tot $K = 10^{-4}$ m etm⁻¹, voor zand (middelfijn) is $K = 1 - 5$. De gemiddelde doorlaatfactor van genoemde ondergrond en de monsters van deze diepte waar kleilig veen overheerst kan volgens de literatuur gesteld worden op $K = 0,01$ m.etm⁻¹.

Tabel 4. Technische gegevens ondergrond

1. Kleilig veen	poriënvolume	68%	$W_d = 0,65$	s.g. = 2,01	$W_v = 1,33$	gr/cm^3
2. Zand	poriënvolume	45%	$W_d = 1,46$	s.g. = 2,66	$W_v = 1,91$	gr/cm^3
Gemiddeld gezien de monsters						
	poriënvolume	60%	$W_d = 0,80$	s.g. = 2,10	$W_v = 1,40$	gr/cm^3
Dichtheid ondergrond $0,80 \text{ gr/cm}^3$						
$K = 0,01 \text{ m.etm}^{-1}$						

4. STOFEIGENSCHAPPEN EN MOGELIJKHEDEN TOT TRANSPORT

4.1. Oplosbaarheid

De maximale hoeveelheid van een stof in het grondwater wordt bepaald door de oplosbaarheid. Dit is ook de hoeveelheid, die via het grondwater verspreid kan worden.

De oplosbaarheid kan worden beïnvloed door aanwezigheid van opgeloste organische stoffen, zoals humus- en fulvozuren (CHIOU e.a. 1986). Dit speelt met name een rol bij de slecht oplosbare componenten. Deze adsorberen als het ware aan het oppervlak van de opgeloste organische stof, waardoor de oplosbaarheid wordt verhoogd. Kwantitatieve gegevens zijn nog weinig bekend. CHIOU e.a. (1986) vinden bij verschillende typen organische stof een verschillend effect. Bij de volgende berekeningen is uitgegaan van het maximale effect, wat zij hebben waargenomen. Als organisch stofgehalte is het gemiddelde genomen van waarden, waargenomen in het freatisch grondwater (tabel 5).

Tabel 5. TOC (Totaal Organisch Koolstof) en organische stofgehalten in het freatische grondwater

Peilbuis	TOC	Organische stof (= TOC/0,58)
201	62,2 mg/l	107 mg/l
202	53,0	60
203	57,6	99
204	43,0	74
205	21,3	37
		75 mg/l (gemiddelde)

Op basis van een organisch stofgehalte van 75 mg/l en de gegevens van CHIOU e.a. (1986) is de relatie vastgesteld tussen de oplosbaarheid en hetgeen oplost bij aanwezigheid van 75 mg/l organische stof (fig. **). De punten konden worden gefit met de functie:

$$Y = 0,0561X^{**2} + 0,5073X + 1,0771 \quad (1)$$

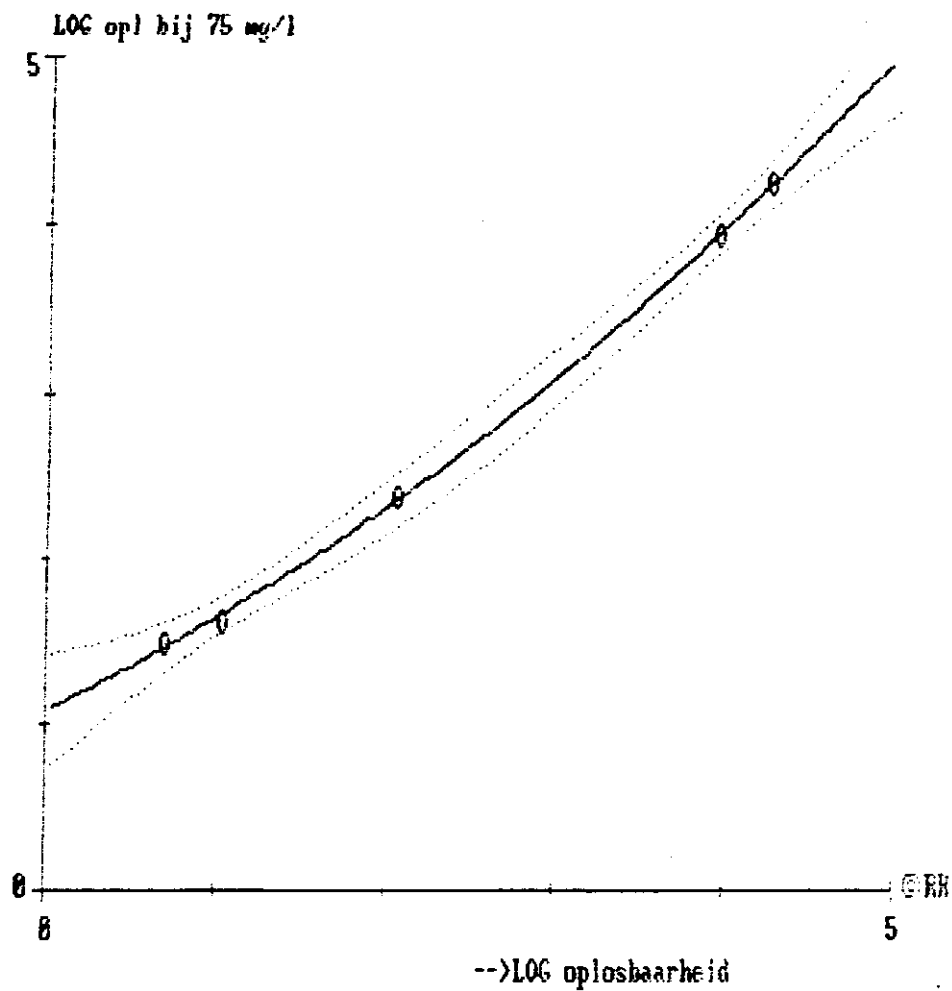
waarin Y = log (oplosbaarheid bij aanwezigheid van 75 mg/l organische stof en X = log (oplosbaarheid)).

Relatie (2) geeft de mogelijkheid de oplosbaarheden van de PAK's te berekenen onder de veldomstandigheden (tabel 6). Deze oplosbaarheden zijn verder gebruikt in de berekeningen.

Tabel 6. Oplosbaarheden PAK's zonder en met (veldomstandigheden) aanwezigheid van 75 mg/l organische stof in het water

Stof	Oplosbaarheid	Oplosbaarheid veldomstandigheden
Acenaftyleen	3,83 mg/l	4,07 mg/l
Fenantreen	1,19	1,48
Anthraceen	0,042	0,111
Fluorantheen	0,234	0,389
Pyreen	0,178	0,316
Benzo(a)pyreen	0,003	0,021

De oplosbaarheid is een basisgegeven waarmee kan worden gerekend, omdat de oplosbaarheid gecorreleerd is met andere eigenschappen. Voor de milieurisico's is het van belang wat er nu werkelijk oplost. ALBEN (1980) aangehaald door VISSCHERS en VERSCHUEREN (1988) heeft het uitlooggedrag van enkele PAK's uit coatings van wateropslag tanks bestudeerd. De coating die hij gebruikte was 5 jaar oud en zal vermoedelijk vergelijkbaar zijn met de asfaltbitumen aangetroffen in Boskoop. Het geanalyseerde water had een dag in de tank gestaan. Hij heeft tevens een testpaneel onderzocht waarop de coating vers was aangebracht en daarna 7 dagen in water was ondergedompeld. In het water zijn PAK's geanalyseerd (tabel 7).



Figuur 3. De invloed van 75 mg/l organische stof op de oplosbaarheid van organische micro-verontreinigen. De stippellijnen geven het 95% betrouwbaarheidsinterval aan. De gegevens zijn afgeleid uit figuur 1 van CHIOU e.a. (1986)

Tabel 7. PAK's geanalyseerd in water in contact met asfaltcoating (Uit VISSCHERS en VERSCHUEREN 1988)

Component	Concentratie in $\mu\text{g/l}$			
	Opslagtank		Effluent	Testpanelen
	Influent	Effluent	Influent	
Naftaleen	0,004	0,025 (6%)	6	56 (17%)
2-Methylnaftaleen	-	-	-	27 (8%)
1-Methylnaftaleen	-	-	-	22 (7%)
Dimethylnaftaleen	-	-	-	13 (4%)
Fluoreen	0,001	0,021 (5%)	21	29 (9%)
Fenantreen, antraceen	0,019	0,210 (51%)	11	125 (38%)
Fluoranteen	0,003	0,081 (20%)	27	27 (8%)
Pyreen	<u>0,002</u>	<u>0,071 (17%)</u>	35	<u>29 (9%)</u>
Totaal	0,029	0,410 (100%)	14	328 (100%)

Uit tabel 7 blijkt dat de testpanelen erg veel PAK's afgeven en het water mag dan ook als verontreinigd worden aangemerkt. De uitloging van de oudere coating is klein, de verkregen gehalten liggen rond de A waarde uit de toetsingstabel.

Voor de asfaltbitumen in Boskoop is nagegaan in hoeverre de PAK's met water extraheerbaar zijn (Midden-Holland 1988). Hierbij is 25 g grond met bitumen gedurende 24 uur geschud met 250 ml water. In het water konden geen (totaal $< 10 \mu\text{g.l}^{-1}$) PAK's worden aangetoond. Omdat het mogelijk is dat de PAK's worden vrijgemaakt uit de bitumen en vervolgens weer adsorberen aan de grond is de proef herhaald met alleen bitumen. In het water konden weer geen PAK's worden aangetoond.

Uit de laatste experimenten en die beschreven door ALBEN (1980) blijkt dus dat de PAK's in oudere asfaltbitumen in de bitumen blijven zitten en in de bodem nauwelijks uitlogen.

4.2. Vluchtigheid

Vluchtige stoffen kunnen via de onverzadigde zone naar boven transporteren. De hoeveelheid, die per tijdseenheid kan transporteren, wordt bepaald door de dampspanning van de stof. Deze dampspanningen zijn voor

zuivere stoffen getabelleerd. In de bodem zijn echter geen zuivere stoffen aanwezig. Stoffen zijn aanwezig als mengsel, geadsorbeerd aan de bodem of opgelost in het grondwater. Voor de dampspanning geldt de wet van Raoult:

$$P_i = P_i^\circ * X_i * \gamma_i \quad (2)$$

P_i = dampspanning stof i

P_i° = dampspanning zuivere stof i

X_i = molfractie stof i

γ_i = activiteits coëfficiënt stof i.

P_i° is bekend en X_i kan voor elke verschijningsvorm, bitumen, grond of water worden uitgerekend. De activiteitscoëfficiënt is echter voor elk van de drie verschillend en bovendien voor bitumen en grond onbekend. Voor water is de activiteitscoëfficiënt gelijk aan de reciproke waarde van de oplosbaarheid, waarbij de oplosbaarheid gegeven moet zijn als molfractie (= mol pak/(mol pak+mol water)). Aangezien de hoeveelheid PAK's in water klein is, kan de uitdrukking van de molfractie worden vereenvoudigd tot: conc PAK(g/l)/mol massa/55.55.

In de bodem heerst een chemisch evenwicht, waardoor de dampspanning berekend vanuit het water ook geldt voor de dampspanning van een PAK in de bitumen. Uit de metingen blijkt dat in het grondwater geen (<10 µg/l) PAK's aanwezig zijn. Indien de bitumen geschud worden met water, kunnen in de waterfase ook geen PAK's worden aangetoond.

Hieruit blijkt dat de maximale concentratie in het water 10 µg/l kan zijn. Voor elk van de geanalyseerde PAK's is uitgerekend, wat de evenwichtsdampspanning is bij 10 µg/l in het grondwater, eventuele binding aan opgeloste organische is verwaarloosd. Alleen voor benzo(a)pyreen is de getabelleerde waarde van 3 µg/l gebruikt, omdat dit het maximale vrij oplosbare is. Het door de organische stof gebonden PAK draagt niet bij aan de vluchtigheid. Als basisgegevens voor de activiteitscoëfficiënt is om deze reden ook de oplosbaarheid zonder aanwezigheid van organische stof genomen (tabel 8).

Tabel 8. Dampspanning zuivere stof en de evenwichtsdampspanning bij 10 µg/l in het grondwater van enkele PAK's

Stof	Dampspanning zuivere stof 25'C*	Dampspanning bij 10 µg/l in het water 25'C
Naftaleen	1,09E-2 kPa	3,35E-6 kPa
Acenaftyleen	5,96E-4	1,86E-5
Fenantreen	2,67E-5	1,11E-6
Anthraceen	1,44E-6	3,43E-7
Fluorantheen	2,54E-4	1,09E-5
Pyreen	8,86E-7	4,98E-8
Benzo(a)pyreen	6,67E-13	6,67E-13**

* BOSMAN (1986)

** 3 µg/l in het water

De dampspanningen berekend in tabel 8 zijn erg laag. Bovendien zijn het de evenwichtsdampspanningen, die kunnen heersen ter plaatse van de vervuiling bij de aanname dat er 10 µg/l van elk van de PAK's is opgelost. Naar het oppervlak toe nemen de dampspanningen snel af.

Bovendien is de temperatuur in de bodem meestal lager dan 25'C. De waarde van 3.35E-6 kPa voor naftaleen komt overeen met een concentratie in de bodemlucht van 0,17 mg/m³. In VISSCHERS en VERSCHUEREN (1988) wordt een normering voor de luchtkwaliteit van de buitenlucht gegeven van 0,5 mg/m³. De MAC-waarde voor naftaleen is gelijk aan 50 mg/m³. In werkelijkheid zal het grondwater minder dan 10 µg/l van elke van de PAK's bevatten. De dampspanningen zijn dan evenredig lager. Er mag daarom worden geconcludeerd dat aan de oppervlakte de concentratie in de bodemlucht ver onder de norm ligt.

4.3. Adsorptie aan de bodem

Het transport van organische microverontreinigingen wordt vertraagd ten gevolge van adsorptie aan de bodem. De adsorptie van PAK's wordt volledig bepaald door de organische stof in de bodem.

In tegenstelling tot de adsorptie van zware metalen speelt lutum geen rol van betekenis. De verdeling over grond en grondwater wordt vastgelegd door de verdelingscoëfficiënt grond/water K_d (1/kg). Omdat alleen de organische stof van belang is voor de adsorptie kan ook worden gewerkt met de verdelingscoëfficiënt voor organisch koolstof/water K_{OC} , waarbij:

$$K_d = F_{OC} * K_{OC} \quad (3)$$

F_{OC} (fractie organisch koolstof (= 0,58 * fractie organische stof)). K_{OC} -waarden zijn voor veel organische verbindingen experimenteel vastgesteld. Het is ook mogelijk K_{OC} -waarden te berekenen uit de oplosbaarheid. Hiervoor worden in de literatuur verschillende relaties gegeven. Deze zijn door Van der Meyden en Driessen (1986) samengevat. Zij komen tot de keuze:

$$\log K_{OC} = -0,729 \log S + 0,231 \quad (4)$$

S = oplosbaarheid in mol/l

In de bodem wordt meestal gerekend met de distributieverhouding R_d

$$R_d = K_d * \rho / E_w \quad (5)$$

ρ = dichtheid bodem (kg/l)

E_w = fractie met water gevuld poriënvolume

De factor R_d is bepalend voor de mobiliteit (V_1) (m/jaar) in de bodem van een stof

$$V_1 = V_{H_2O} * 1 / (1 + R_d) \quad (6)$$

V_{H_2O} = effectieve snelheid van het water (m/jaar)

(3) gecombineerd met (5) en (6) levert:

$$V_1 / V_{H_2O} = E_w / (E_w + F_{OC} * K_{OC} * \rho) \quad (7)$$

met welke vergelijking de relatieve snelheid van een organische microverontreiniging in afhankelijkheid van de bodemeigenschappen kan worden berekend.

De bodemeigenschappen van de bodem in Boskoop zijn geschat (hoofdstuk 2) of gebaseerd op vijf boringen 201 t/m 205.

In monsters van de bovengrond (0 - 50 cm) werden organische koolstofgehalten gemeten van 4,03; 3,96; 0,49; 1,43 en 2,01% respectievelijk voor de boringen 201 t/m 205. Het gemiddelde hiervan is 2,38. Het organische koolstofgehalte in de ondergrond (ca. 3 m - MV) was 9,29; 12,85; 5,99 en 15,33% voor de boringen 201 t/m 204 wat een gemiddeld organisch koolstofgehalte geeft van 10,9%.

Het porievolume van de grond is gesteld op 0,57 voor de bovengrond en 0,60 voor de ondergrond. Voor de dichtheid is voor boven- en ondergrond respectievelijk 1,1 en 0,8 kg.l⁻¹ aangenomen.

Uitgaande van deze gegevens en de volgens (7) berekende K_{OC}-waarden zijn voor de PAK's de relatieve snelheden berekend (tabel 9).

Tabel 9. Berekende K_{OC}-waarden en relatieve snelheden in boven- en ondergrond van PAK's

Component	K _{OC}	V _i /V _{H₂O} bovengrond	V _i /V _{H₂O} ondergrond
Acenaftyleen	3,7 x 10 ³	5,8 x 10 ⁻³	1,8 x 10 ⁻³
Fenantreen	8,6 x 10 ³	2,5 x 10 ⁻³	8,0 x 10 ⁻⁴
Anthraceen	5,7 x 10 ⁴	3,8 x 10 ⁻⁴	1,2 x 10 ⁻⁴
Fluorantheen	2,5 x 10 ⁴	8,7 x 10 ⁻⁴	2,8 x 10 ⁻⁴
Pyreen	2,9 x 10 ⁴	7,4 x 10 ⁻⁴	2,4 x 10 ⁻⁴
Benzo(a)pyreen	2,1 x 10 ⁵	1,0 x 10 ⁻⁴	3,3 x 10 ⁻⁵

4.4. Transport in de waterfase in bovenwaartse richting

In hoofdstuk 3.2. is aangegeven dat het neerslagtekort gedurende de zomermaanden 58 mm is. In principe is het mogelijk dat dit tekort via

capillaire opstijging wordt aangevuld. In de praktijk zal dit niet volledig gebeuren ten gevolge van uitdroging of door besproeien van de tuinen. Uitgaande van de 58 mm betekent dit dat het water vanaf de verzadigde zone een afstand aflegt van:

$$\frac{58}{E_w} = \frac{58}{0,57} = 101 \text{ mm per zomer.}$$

De snelste PAK, acenaftyleen heeft in de bovengrond een relatieve snelheid van $5,8 \times 10^{-3}$ en legt dus $0,59 \text{ mm.zomer}^{-1}$ af. Ten gevolge van dispersie zal er geen steil doorbraakfront zijn, maar zal de concentratie langzamer verlopen. Het beïnvloede gebied zal echter niet meer zijn dan 1 à 2 mm per zomer. Daar capillaire opstijging homogeen is geldt dit voor het gehele gebied.

's Winters is er een neerslagoverschot van 368 mm. Dit neerslagoverschot kan via preferente banen gaan. Gemiddeld over een aantal jaren kan echter wel worden aangenomen dat van de 368 mm overal wel minstens 58 mm komt, zodat het transport in bovenwaartse richting 's winters weer wordt gecompenseerd met hetzelfde of groter transport in neerwaartse richting.

4.5 Transport in de waterfase in neerwaartse richting

Op jaarbasis is er een neerslagoverschot van 310 mm. Dit zal volledig worden afgevoerd naar het diepe grondwater. Deze 310 mm beweegt zich met een snelheid van $310 / 0,60 = 517 \text{ mm.jaar}^{-1}$ naar beneden. De snelste PAK, acenaftyleen heeft nu een relatieve snelheid van $1,8 \times 10^{-3}$ en beweegt zich dus met een snelheid van $0,93 \text{ mm.jaar}^{-1}$ naar beneden. Dit is de gemiddeld snelheid, ten gevolge van dispersie zal het doorbraakfront zich wat verbreden. Het transport gaat door zolang er aanvoer is van water.

5. CONCLUSIES EN ADVIES

De in dit onderzoek beschouwde strook grond langs de Gouwe in Boskoop is verontreinigd met asfaltbitumen waarin zich PAK's bevinden.

Uitgaande van het totaal PAK gehalte bevindt het gemiddelde gehalte voor het verontreinigde deel zich tussen de B en de C waarde uit de toetsingstabel van VROM. Voor benzo(a)pyreen bestaat er een kans dat het gemiddelde boven de C waarde ligt.

De PAK's uit de asfaltbitumen zijn uiterst immobiel. Hetgeen, wat kan oplossen ligt in de buurt van de A waarde voor water. De hoeveelheid die transportereren kan is dus klein.

De afstand waarover de PAK's getransporteerd kunnen worden is ook klein. Dit komt voornamelijk door de geïsoleerde ligging van de asfaltbitumen, er bestaat geen direct contact met het grondwater. Transport kan plaatsvinden via capillaire opstijging hetgeen in de huidige situatie mogelijk is. De capillaire opstijging kan het verdampingsstekort in de zomer verminderen. Hierdoor transportereren de opgeloste PAK's zich tot ca. 1 mm per zomer in bovenwaartse richting. De PAK's transportereren minder snel dan het water stroomt ten gevolge van adsorptie aan de bodem. Door het neerslagoverschot spoelen de opgeloste PAK's in de winter weer uit. Op jaarbasis is er dus geen transport via de waterfase in bovenwaartse richting.

Het neerslagoverschot zorgt voor een transport in neerwaartse richting. De opgeloste PAK's bewegen zich hierdoor met een maximale gemiddelde snelheid van $0,93 \text{ mm.jaar}^{-1}$ naar beneden.

In principe is het ook mogelijk dat de PAK's via de gasfase naar boven transportereren. Indien van de minst gunstige situatie wordt uitgegaan zijn de concentraties aan het oppervlak nog ruim beneden de normen voor buitenlucht.

Als de asfaltbitumen oppervlakkig voorkomen is er nog direct contact mogelijk. Over de risico's hiervan kan binnen dit onderzoek geen uitspraak worden gedaan. Er bestaan plannen om de bovenste meter af te graven. Als dit op de juiste wijze gebeurt kan dit bijdragen aan een nog verdere beperking van de verspreiding van de PAK's.

Bij de huidige situatie van de lokatie aan de Haringkade te Boskoop is de mogelijkheid van capillaire opstijging vanuit het ondiepe grond- en hangwater mogelijk, de capillaire opstijging zal in een periode met neerslag tekort schommelen tussen de 0,5 en 1,0 mm per dag.

Wanneer de bodembedekking bestaat uit gedeeltelijk bestrating en gedeeltelijk een laag gewas dan zal de verdamping voor dat oppervlak niet maximaal zijn waardoor er een regelmatige aanvulling vanuit de ondergrond zal plaatsvinden.

Gezien de metingen van de grondwaterstand op 16, 21 en 22 maart 1988 is de aanwezigheid van ingesloten percolatiewater niet ondenkbaar. Een visuele waarneming in een uitgegraven gat op 22-3-1988 bevestigt deze aanname.

Om deze situaties uit te sluiten is het wenselijk de eerste meter van het huidige maaiveld (dus na egalisatie) af te graven en daarna een drainbuis in de bodem te leggen. Het meeste rendement van de drain krijgt men door de drainreeks op een dichte afsluitende veenlaag te leggen, daarna de afgegraven eerste meter grondmengsel te vervangen door een grofzandige afdeklaag, zodat het neerslagoverschot goed afgevoerd kan worden en de capillaire opstijging nihil is. Eventueel kan de laatste 30 cm uit betere tuingrond bestaan. Voor een fijne zandgrond van 1 meter dikte en het grondwater op 1 meter beneden de wortelzone geldt een capillaire opstijging van $2,2 \text{ mm.dag}^{-1}$. Wordt het grondwater tot 2 meter beneden de wortelzone gebracht dan is er nog een opstijging van $0,5 \text{ mm.dag}^{-1}$.

Grof zand, zware klei en kleilig veen geven bij een grondwaterstand van 1 meter beneden de wortelzone een capillaire opstijging van 0 mm dag^{-1} . Transport in bovenwaartse richting is dan onmogelijk. Door de drain zal het grootste deel van het neerslagoverschot worden afgevoerd, waardoor het transport in benedenwaartse richting naar verhouding kleiner zal worden.

Het drainwater is normaal gesproken alleen in contact geweest met de schone bovengrond en kan dus direkt in het riool of het oppervlaktewater worden geloosd. Indien er toch nog contact met de asfalt-bitumen zou plaatsvinden dan zijn de concentraties van de PAK's maximaal van de orde van grootte van de A waarde en is lozing nog steeds mogelijk.

LITERATUUR

- MILIEUDIENST MIDDEN-HOLLAND (1988) Rapport inzake het nader onderzoek op de lokatie "Haringkavel" aan de Zuidkade te Boskoop (kenmerk 10-MIRHK).
- WIBA GRONDMECHANICA (1988) Rapport milieu-onderzoek ten behoeve van sanering voormalig "Haring-terrein" aan de Zuidkade te Boskoop (rapport 80314).
- HARMSSEN, J. (1987) Van voorinformatie tot normen voor monsternemingsstrategie bij bodemverontreiniging. ICW Nota 1822. AGROHYDROLOGIE. HERZIENE UITGAVE 1975. Landbouw Hogeschool, Cultuurtechniek.
- K.N.M.I. NEERSLAG- EN METEOGEGEVENS 1987
- WÖSTEN, J.H.M., M.H. BANNINK en J. BERWING (1986) Waterretentie- en doorlatendheidskarakteristieken van boven- en ondergronden in Nederland. De Staringreeks rapport 18 (nieuwe serie).
- ALBEN (1980) Coal tar coatings of storage tanks. A source of contamination of the potable watersupply. *Envir. Sci. Technol.* 14, 468-470.
- VISSCHERS EN VERSCHUEREN (1988) Teer en PAK-problematiek bij onderzoek van bodembeschermingsgevallen met teerachtige stoffen. Serie Bodembescherming 72. VROM Den Haag.
- CHIOU, C.T., R.L. MALCOLM, T.T. BRINTON en D.I. KILE (1986) Watersolubility enhancement of some organic pollutants and pesticides by dissolved humic and fulvic acids. *Envir. Sci. Technol.* 20, 502-508.
- VAN DER MEYDEN, A.M. en A.P.T. DRIESSEN (1986) Betekenis van het sorptie-evenwicht voor de verdeling van organische (micro) verontreinigingen in de bodem. Serie Bodembescherming 54. VROM, Den Haag.
- VROM Toetsingstabel voor de beoordeling van de concentratieniveaus van diverse verontreinigingen in de bodem Ministerie van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer (VROM)