

SKB

De Stichting Kennisontwikkeling Kennisoverdracht Bodem draagt zorg voor kennisontwikkeling en kennisoverdracht die eigenaren en beheerders van percelen en terreinen nodig hebben om de kwaliteit van de bodem op een effectieve wijze in overeenstemming te brengen of te houden met het beoogde gebruik. SKB ondersteunt de ontwikkeling en demonstratie van nieuwe vormen van samenwerking, nieuwe aanpakken en technieken voor het verbeteren van de afstemming tussen bodemgebruik en bodemkwaliteit en bevordert een brede acceptatie hiervan in de maatschappij.

SKB Cahiers

SKB Cahiers zijn cahiers waarin op een beknopte en bondige wijze belangrijke onderwerpen over de bodem aan de orde komen. De SKB Cahiers zijn gericht op een breed publiek en leesbaar en toegankelijk geschreven. Op basis van toepassingsgerichte praktijkvoorbeelden moeten de lezers met het onderwerp in hun eigen beroepspraktijk aan de slag kunnen.

De titels die in deze reeks zijn verschenen, kunt u vinden op www.skbodem.nl. Hier kunt u deze ook bestellen.



**Stichting
Kennisontwikkeling
Kennisoverdracht
Bodem**

Postbus 420
2800 AK Gouda
Tel. (0182) 54 06 90
Fax (0182) 54 06 91
programmabureau@skbodem.nl
www.skbodem.nl

SKB Cahier

Olie in de bodem

Olie in de bodem



Tabel Technieken

Sanerings-methode	Individuele saneringstechnieken		Geschikt voor verwijdering hoge of lage concentraties/vrachten?	Geschikt voor bron- of pluimaanpak	Geschikt voor drijfslaag-verwijdering?	Verzadigde, smeerzone of on-verzadigde zone?	Geschikt voor typen olien?	Ervaringsniveau in Nederland?	Tijdsduur sanering?	Ruimtebeslag?	Intensiteit/kosten van de techniek per m³ behandeld bodem?	Impact op omgeving en/of bedrijfs-proces?	Typen bodem?	Veiligheidsaspecten?
Ontgraven			Bulkverwijdering, hoge concentraties	Brongebied	Ja	Alle drie de zones	Alle typen	Hoog, meer dan 25 locaties, meer dan 3 aannemers	Kort, enkele maanden	Klein, geen of slechts beperkte installaties nodig	Beperkt	Hoog	Geen beperking	Dampvorming naar omgeving monitoren
Extractieve saneringen	Bodemluchtafzuiging		Bulkverwijdering, hoge concentraties	Bronaanpak	Nee	Onverzadigde zone	BTEX en lichte olie-fracties tot C ₁₂ -C ₁₄	Hoog, meer dan 25 locaties, meer dan 3 aannemers	Lang, enkele maanden tot jaren	Semi permanent boven-gronds systeem nodig, incl. luchtzuivering	Laag	Initieel matig, inpasbaar	Vooral goed doorlatende bodems	-
	Persluchtinjectie		Bulkverwijdering, hoge concentraties	Bronaanpak	Nee	Verzadigde & smeerzone	BTEX en lichte olie-fracties tot C ₁₂ -C ₁₄	Hoog, meer dan 25 locaties, meer dan 3 aannemers	Lang, enkele maanden tot jaren	Semi permanent boven-gronds systeem nodig, incl. luchtzuivering	Laag	Initieel matig, inpasbaar	Vooral goed doorlatende bodems	Uitdamping naar maaiveld beheersen
	Grondwater onttrekking en/of infiltratie		Verwijdering opgeloste, lagere concentraties	Pluimaanpak	Nee	Verzadigde zone, voor-al diepere grondwater	Alle typen	Hoog, meer dan 25 locaties, meer dan 3 aannemers	Lang, enkele maanden tot jaren	Semi permanent boven-gronds systeem nodig, incl. luchtzuivering	Laag	Initieel matig, inpasbaar	Vooral goed doorlatende bodems	Mogelijk GWZI nodig
	Meer Fasen Extractie		Bulkverwijdering, hoge concentraties	Bronaanpak	Ja	Alle drie de zones, voor-al ondiepe grondwater	Alle typen	Hoog, meer dan 25 locaties, meer dan 3 aannemers	Lang, enkele maanden tot jaren	Semi permanent boven-gronds systeem nodig, incl. luchtzuivering	Hoog	Initieel matig, inpasbaar	Vooral goed doorlatende bodems	Extractie kan Ex zone genereren, mogelijk LZI nodig
	Electroreclamatie		Bulkverwijdering, hoge concentraties	Bronaanpak	Nee	Verzadigde zone, voor-al ondiepere grondwater	BTEX, lichtere en zwaardere oliefracties	Matig, meer dan 25 locaties, minder dan 3 aannemers	Lang, enkele maanden tot jaren	Semi permanent boven-gronds systeem nodig, incl. luchtzuivering	Hoog	Initieel matig, inpasbaar	Vooral goed doorlatende bodems	Extractie kan Ex zone genereren, mogelijk LZI nodig
	Stoom Gestimuleerde Extractie		Bulkverwijdering, hoge concentraties	Bronaanpak	Ja	Alle drie de zones	BTEX, lichtere en zwaardere oliefracties	Laag, minder dan 5 locaties, minder dan 3 aannemers	Kort, enkele maanden	Semi permanent boven-gronds systeem nodig, incl. luchtzuivering	Hoog	Initieel matig, inpasbaar	Vooral goed doorlatende bodems	Extractie kan Ex zone genereren, mogelijk LZI nodig
	Six Phase Heating		Bulkverwijdering, hoge concentraties	Bronaanpak	Nee	Onverzadigde zone	BTEX, lichtere en zwaar-dere oliefracties	Laag, minder dan 5 locaties, minder dan 3 aannemers	Kort, enkele maanden	Semi permanent boven-gronds systeem nodig, incl. luchtzuivering	Hoog	Initieel matig, inpasbaar	Ook geschikt voor minder goed doorlatende bodems (kleiig & lemig)	Extractie kan Ex zone genereren, mogelijk LZI nodig
Biologische saneringen	Aërobe afbraak	Bioventing	Verwijdering opgeloste, lagere concentraties	Bron & pluim-gebied	Nee	Onverzadigde zone	BTEX en oliefracties tot C ₁₆	Hoog, meer dan 25 locaties, meer dan 3 aannemers	Lang, enkele maanden tot jaren	Semi permanent boven-gronds systeem nodig, incl. luchtzuivering	Laag	Initieel matig, inpasbaar	Vooral goed doorlatende zandbodems	Mogelijk LZI nodig
		Persluchtinjectie of air sparging	Verwijdering opgeloste, lagere concentraties	Bron & pluim-gebied	Nee	Verzadigde zone	BTEX en oliefracties tot C ₁₆	Hoog, meer dan 25 locaties, meer dan 3 aannemers	Lang, enkele maanden tot jaren	Semi permanent boven-gronds systeem nodig, incl. luchtzuivering	Laag	Initieel matig, inpasbaar	Vooral goed doorlatende zandbodems	Uitdamping naar maaiveld beheersen
		Injectie van zuivere zuur-stof, bijv. ISOC®	Verwijdering opgeloste, lagere concentraties	Bron & pluim-gebied	Nee		BTEX en oliefracties tot C ₁₆	Hoog, meer dan 25 locaties, meer dan 3 aannemers	Lang, enkele maanden tot jaren	Semi permanent boven-gronds systeem nodig, incl. luchtzuivering	Laag	Beperkt	Vooral goed doorlatende zandbodems	-
		Meer Fasen Extractie of bioslurping	Verwijdering opgeloste, lagere concentraties	Bron & pluim-gebied	Nee		BTEX en oliefracties tot C ₁₆	Hoog, meer dan 25 locaties, meer dan 3 aannemers	Lang, enkele maanden tot jaren	Semi permanent boven-gronds systeem nodig, incl. luchtzuivering	Laag	Initieel matig, inpasbaar	Vooral goed doorlatende zandbodems	Extractie kan Ex zone genereren, mogelijk LZI nodig
		Grondwateronttrekking en infiltratie van nutriënten	Verwijdering opgeloste, lagere concentraties	Bron & pluim-gebied			BTEX en oliefracties tot C ₁₆	Hoog, meer dan 25 locaties, meer dan 3 aannemers	Lang, enkele maanden tot jaren	Semi permanent boven-gronds systeem nodig, incl. luchtzuivering	Laag	Initieel matig, inpasbaar	Vooral goed doorlatende zandbodems	Mogelijk GWZI nodig
		Periodieke injectie (shock load) van ORC®, zuurstof-afgevende zoutgen en/of van nutriënten	Verwijdering opgeloste, lagere concentraties	Bron & pluim-gebied	Nee		BTEX en oliefracties tot C ₁₆	Hoog, meer dan 25 locaties, meer dan 3 aannemers	Lang, enkele maanden tot jaren	Eenmalige injectie; slechts zeer tijdelijk injectie apparatuur op locatie	Laag	Beperkt	Ook geschikt voor minder goed doorlatende bodems (kleiig & lemig)	-
	Anaërobe afbraak	Periodieke (shock load) of continue injectie van nitraat, sulfaat en/of nutriënten	Verwijdering opgeloste, lagere concentraties	Bron & pluim-gebied	Nee		BTEX	Middel, 5 - 25 locaties	Lang, enkele maan-den tot jaren	Eenmalige injectie; slechts zeer tijdelijk injectie apparatuur op locatie	Laag	Beperkt	Ook geschikt voor minder goed doorlatende bodems (kleiig & lemig)	Hoge restconcentraties nitraat/sulfaat in grondwater
Chemische saneringen	Oxidatief	Nat chemische oxidatie m.b.v. Fenton's Reagens	Bulkverwijdering, hoge concentraties	Brongebied	Nee	Verzadigde zone	BTEX en oliefracties tot C ₁₆	Hoog, meer dan 25 locaties, meer dan 3 aannemers	Kort, 3 - 6 maanden	Periodieke injectie; slechts af/toe tijdelijk injectie apparatuur op locatie	Hoog	Initieel matig, inpasbaar	Vooral geschikt voor beter/matig doorlatende zandbo-dems. Niet geschikt bij Veen	Extractie kan Ex zone genere-ren, mogelijk LZI nodig. Tempe-ratuur & controle waterstanden
		Continue injectie van ozon evt. in combinatie met waterstofperoxide	Verwijdering opgeloste, lagere concentraties	Pluimgebied	Nee	Verzadigde zone Ozon: evt. onverzadigde zone	BTEX en oliefracties tot C ₁₆	Hoog, meer dan 25 locaties, meer dan 3 aannemers	Lang, enkele maan-den tot jaren	Semi permanent boven-gronds systeem nodig, incl. luchtzuivering	Matig	Initieel matig, inpasbaar	Vooral geschikt voor beter/matig doorlatende zandbo-dems. Niet geschikt bij Veen	Extractie kan Ex zone genereren, mogelijk LZI nodig
		Injectie van natrium- of kalium permanganaat	Verwijdering opgeloste, lagere concentraties	Pluimgebied	Nee	Verzadigde zone	BTEX en oliefracties tot C ₁₆	Middel, 5 - 25 locaties	Kort, 3 - 6 maanden	Periodieke injectie; slechts af/toe tijdelijk injectie apparatuur op locatie	Matig	Beperkt	Vooral geschikt voor beter/matig doorlatende zandbo-dems. Niet geschikt bij Veen	-

Doen en laten in de bodem

Olie in de bodem



Stichting
Kennisontwikkeling
Kennisoverdracht
Bodem

Inhoud

Introductie en leeswijzer	7	4. Onderzoeksstrategieën	37
1. Wat is olie?	9	4.1 Inleiding	37
1.1 Inleiding	9	4.2 Onderzoeksdoelen	38
1.2 Ruwe olie	10	4.3 Conventionele onderzoeksmethoden	39
1.3 Raffinage	10	4.3.1 Historisch onderzoek	39
1.4 Samenstelling	11	4.3.2 Conventioneel onderzoek	40
2. Gedrag en verspreiding	15	4.4 Vervolgonderzoek naar bronzone en pluim	46
2.1 Inleiding	15	4.4.1 Conventionele technieken	46
2.2 Gedrag van olie in de bodem	15	4.4.2 Nieuwe technieken	48
2.3 Drijflogen	17	4.5 Ouderdom en herkomst van olieverontreinigingen	49
2.4 De bron	18		
2.5 De pluim	19	Intermezzo: Locatie Konijnenberg 45 te Breda	52
2.6 Opgelost product	20		
Intermezzo: Zorg om gezondheid	21	5. Saneringstechnieken	57
3. Risico's	25	5.1 Inleiding	57
3.1 Inleiding	25	5.2 Reële saneringsdoelen	59
3.2 Blootstellingsrisico's	25	5.3 Algemene saneringsdoelen	61
3.2.1 Beoordeling blootstellingsrisico's	25	5.3.1 Ontgraving	61
3.2.2 Risicobeoordeling van risico's voor de mens met de fractiebenadering	26	5.3.2 Fysische, extractieve saneringen	62
3.2.3 Geuroverlast	28	5.3.3 Biologische saneringen	63
3.2.4 Consequenties	28	5.3.4 Chemische saneringen	64
3.2.5 Risico's voor het ecosysteem	29	5.4 Individuele saneringstechnieken	64
3.2.6 Samenvatting	29	5.4.1 Klassieke grondwateronttrekking en/of infiltratie	65
3.3 Aantasting	29	5.4.2 Bodemluchtafzuiging	67
3.4 Brand- en explosiegevaar	30	5.4.3 Meer Fasen Extractie (MFE)	68
		5.4.4 Persluchtinjectie (in-situ strippen)	70
		5.4.5 Stimulatie aërobe afbraak: periodieke of shock load injecties	71
		5.4.6 Hulptechniek: warmte (elektro-reclamatie)	73
		5.4.7 Hulptechniek: surfactants	73
Intermezzo: De zaterdagmiddagsanering	32		

5.4.8 Stoom gestimuleerde extractie	73
5.4.9 Six Phase heating	74
5.4.10 Chemische oxidatie met Fenton's reagens	74
5.4.11 Chemische oxidatie met ozon en perozone	75
5.4.12 chemische oxidatie met permanganaat	75
5.5 Belangrijke technische aandachtspunten	76
5.6 Saneringsduur	77
<i>Intermezzo: Risico's tussen Afrika en Assen</i>	78
6. Financiën	83
6.1 Inleiding	83
6.2 Bronsanering	83
6.3 Pluim- of restsanering	83
6.4 Sterk kostenbepalende onderdelen	83
6.5 Faalrisico's	85
7. Samenvatting en conclusies	86
8. Bijlagen	88

Introductie en leeswijzer

'Olie in de bodem' roept twee associaties op:

- **de natuurlijke hulpbron die grootschalig gewonnen wordt voor de toepassing als brandstof;**
- **de ongewenste verontreiniging die een risico betekent voor de volksgezondheid en gesaneerd moet worden.**

In dit cahier staat de tweede betekenis centraal.

Hoewel bij olie in de bodem iedereen denkt te weten waar het over gaat is een definiëring van het begrip olie en een verklaring van gedrag en verspreiding geen overbodige luxe. In hoofdstuk 1 en 2 komen deze onderwerpen aan de orde. Olie in de bodem levert risico's op, voor mensen, maar ook voor het milieu van plant en dier. Hoofdstuk 3 gaat in op de achtergronden en soorten risico's. Voordat we vervolgens concrete actie kunnen ondernemen in de vorm van bodemsanering is eerst onderzoek nodig. Onderzoek naar aard, omvang en eigenschappen van de verontreiniging. In hoofdstuk 4 komen de noodzakelijke onderzoeksvragen en mogelijke onderzoeksmethoden aan bod. Op basis van die informatie kan de meest efficiënte en meest effectieve sanerings-techniek ingezet worden. Hoofdstuk 5 bevat een overzicht van de diverse saneringsmogelijkheden aan de hand van de techniekenwaaier van SKB. Saneren kost geld. Eenheidsprijzen voor saneringstechnieken zijn moeilijk te geven. Desalniettemin bevat hoofdstuk 6 enkele vuistregels.

Tussen de hoofdttekst door zijn 'intermezzo's' opgenomen. Deze intermezzo's bestaan uit interviews met mensen en gebeurtenissen uit de praktijk. De interviews vormen een dwarsdoorsnede van die gevarieerde en veelzijdige praktijk. De rode draad wordt gevormd door de risicoperceptie en de risicobeleving. Zowel de kleine als grote spelers op de markt komen aan het woord; van de gezondheidsdeskundige, de garagehouder en de 'hobby-saneerder' tot en met de multinational.

Voor de leesbaarheid en duidelijkheid is in de bijlagen een overzicht van de aanwezige figuren en tabellen, een verklarende woordenlijst en literatuur- en websiteverwijzingen opgenomen.

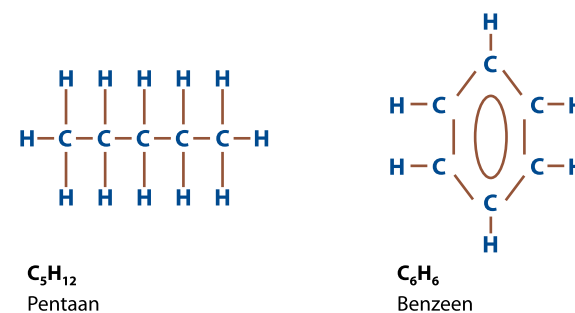
1

Wat is olie?

1.1. Inleiding

Neem het woord olie in de mond en iedereen weet waar je het over hebt. Elk individu heeft een beeld van wat olie is. Als het gaat om een exacte definiëring blijkt het begrip heel wat moeilijker. Nog afgezien van het definiëringsprobleem blijkt dat ook het complexe gedrag van olie zelf wordt onderschat. Hetzelfde geldt voor bodemverontreinigingen met olie. Ook die gedragen zich complexer dan vaak wordt verondersteld. Olie is in tegenstelling tot veel andere verontreinigingen een mengsel van meer dan 1.000 verschillende stoffen. Die stoffen bestaan vooral uit zogenaamde koolwaterstofverbindingen. Koolwaterstoffen zijn chemische stoffen die uitsluitend bestaan uit koolstof (C) en waterstofatomen (H). De koolwaterstofverbindingen kunnen ketens en ringverbindingen zijn (zie figuur 1).

Ondanks deze complexiteit wordt olie in het beleid toch vaak gewoon als een enkelvoudige stof met eenduidige eigenschappen behandeld en uitgedrukt in de parameter minerale olie (m.o.; $C_{10} - C_{40}$). Minerale olie is volgens NEN 5733 (1997): verbindingen die onder de omstandigheden van deze norm met aceton/petroleumether isoleerbaar zijn en die zijn te chromatograferen met retentietijden die liggen tussen de retentietijden van n-decaan ($C_{10}H_{22}$) en n-tetracontaan ($C_{40}H_{82}$).



Figuur 1: Koolwaterstofverbindingen zoals die voorkomen in olie.

De parameter minerale olie (m.o.; $C_{10} - C_{40}$) geeft alleen de hoeveelheid olie aan. En is zelfs daarin niet volledig. Verontreinigingen die grotendeels bestaan uit componenten $<C_{10}$ (zoals een benzine- en petroleumverontreiniging) worden met de minerale olie analyse slechts voor zo'n 10-20% van het werkelijke gehalte gedekt. Van een benzine wordt dus 80 tot 90% niet waargenomen bij een minerale olie analyse. Dit kan grote gevolgen hebben. Bij het bepalen van de risico's worden de meest vluchtige en daarmee de stoffen met het grootste blootstellingsrisico (zie ook hoofdstuk 3) vergeten. Tijdens de sanering kan bijvoorbeeld een actief koolfilter veel sneller vollopen dan van te voren is ingeschat.

Olie is geen stof, zoals bij voorbeeld lood, maar een complex mengsel. Dit heeft grote gevolgen voor het hele bodemsaneringsproces van het allereerste vooronderzoek, het vaststellen van risico's en de saneringsdoelstelling tot en met de wijze van sanering.

1.2 Ruwe olie

Op de wereld komen meer dan driehonderd verschillende soorten aardolie voor. Aardolie of 'ruwe olie' bestaat uit koolwaterstoffen met ketens en ringverbindingen variërend van 5 tot meer dan 50 koolstofatomen. Daarnaast komen stoffen voor als zware metalen en zwavelverbindingen in voor.

1.3 Raffinage

In Nederland wordt dagelijks circa 150 miljoen liter aardolie ingevoerd. Die olie wordt tot bruikbare olieproducten verwerkt in de raffinaderijen. Raffinage is een methode om ruwe olie te scheiden in verschillende olieproducten. Het raffinageproces levert op basis van de verschillende typen aardolie een hele range aan producten op. Het belangrijkste proces daarbij is destillatie. Dit is de scheiding van stoffen op basis van het verschil in kookpunt. De ruwe aardolie wordt gescheiden in bruikbare producten als LPG, benzine, kerosine en diesel.

De verhouding van de producten na destillatie komt niet overeen met de huidige marktvraag. Zo blijft er bijvoorbeeld na destillatie meer stookolie over dan op de markt kan worden verkocht. Stookolie wordt

daarom door middel van conversie en/of kraken omgezet in stoffen waar meer vraag naar is.

Het proces (raffinage en kraken) levert zo diverse bruikbare producten op. Naast de brandstoffen worden ook grondstoffen gemaakt voor de productie van kunststoffen, verven, oplosmiddelen, smeerolie en andere chemische stoffen zoals fenolen. Een ander bijproduct van de raffinage is teer.

1.4 Samenstelling

Bodemverontreiniging met olie wordt meestal bepaald als het totaalgehalte aan minerale olie ($C_{10} - C_{40}$), eventueel aangevuld met het gehalte BTEX en PAK. Om enig idee te krijgen van de samenstelling wordt de somparameter minerale olie ($C_{10} - C_{40}$) verder onderverdeeld in zogenaamde koolstoffracties zoals bijvoorbeeld de fractie $C_{10} - C_{12}$. Daarnaast wordt er ook steeds meer gebruik gemaakt van de zogenaamde fractiebenadering van TPHCWG en het RIVM. De olie wordt dan in alifatische en aromatische fracties onderverdeeld. De indeling naar alifatische en aromatische fracties sluit aan bij de voorgestelde herziene interventiewaarden (RIVM, 2001). Deze indeling is een verbetering ten opzichte van één interventiewaarde voor minerale olie. Tevens houdt deze indeling er rekening mee dat er ook olie en oliesoorten zijn die gedeeltelijk bestaan uit fracties $<C_{10}$. Bij deze indeling zijn de PAK en BTEX onderdeel van de aromatische fractie.

De samenstelling van de producten verschilt zowel onderling als per product.

In tabel 1 is de globale samenstelling van enkele bekende olieproducten weergegeven.

Tabel 1

Samenstelling enkele olieproducten naar koolstof fracties (CONCAWE/TPH)

Product	Kookpunttraject	Range	<C ₁₀	C ₁₀ -C ₄₀
Wasbenzine	24 - 140	C ₅ - C ₁₅	99%	1%
Benzine	38 - 205	C ₄ - C ₁₂	80%	20%
Petroleum	150 - 300	C ₉ - C ₁₇	15%	85%
Kerosine (Jet A)	150 - 290	C ₉ - C ₁₆	15%	85%
Gasolie * Diesel	125 - 390	C ₈ - C ₂₄	6%	94%
Huisbrandolie	160 - 400	C ₉ - C ₂₅	5%	95%
Scheepsdiesel	170 - 420	C ₁₀ - C ₃₀	0%	100%
Motorolie	316 - 470	C ₁₈ - C ₃₄	0%	100%

Voor de meeste producten geldt dat de samenstelling en de range sterk afhankelijk is van de manier waarop ze worden gemaakt. Zo zal de samenstelling van benzine en diesel sterk afhankelijk zijn van de productiemethode. Alleen raffinage levert een andere diesel op dan bijvoorbeeld raffinage en kraken. Ter illustratie wordt in tabel 2 de samenstelling van diesel als gevolg van verschillende productieprocessen weergegeven.

Tabel 2

Samenstelling van diesel als gevolg van verschillende productieprocessen (API, 1997)

Proces	Kookpunt-traject	Aandeel (massapercentage)			
		Paraffinen	Naftenen	Olefinen	Aromaten
Ontzwaveld Middel destillaat 1	261 - 301	46	26,5	2,5	25,0
Ontzwaveld Middel destillaat 2	172 - 344	48,9	20,2	<0,1	30,9
Normaal middel destillaat	185 - 391	54,1	25,6	<0,1	30,9
Licht gekraakt 1	240 - 372	13,7	10,3	3,7	72,4
Licht gekraakt 2	185 - 351	23,2	8,2	7,8	60,8

Paraffinen: Verzadigde koolwaterstoffen.

Naftenen: Verzadigde cyclische koolwaterstoffen.

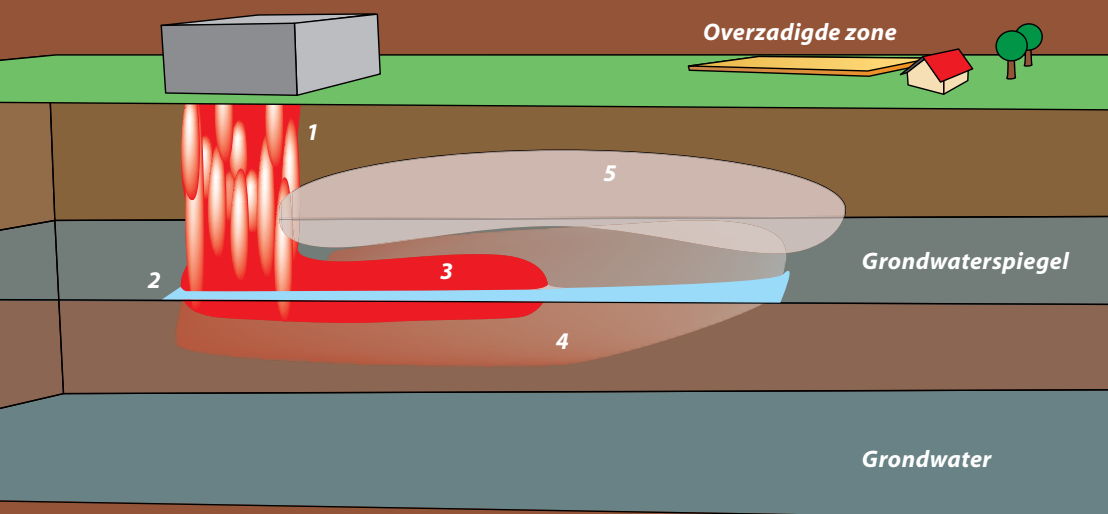
Olefinen: Niet cyclische of cyclische koolwaterstoffen met minimaal een dubbele binding.

Naast de hierboven genoemde indeling in fracties (koolstof, aromatisch, alifatisch) en stoffen (BTEX, PAK) worden aan olieproducten stoffen toegevoegd om de eigenschappen van de brandstof te verbeteren. Een van de bekendste stoffen is de MTBE (methyl tertiary-butyl ether) in benzine. Dit soort stoffen worden bij de analyses ten behoeve van de bovengenoemde indelingen slechts gedeeltelijk meegenomen. Indien nodig kunnen daarvoor wel specifieke analyses worden uitgevoerd.



Drijfslagmeter

2



Figuur 2: Ligging van de verschillende zones

1. Retentiezone: een 'lekzone' in de onverzadigde zone waarin de olie zich als aaneengesloten fase heeft verplaatst naar de grondwaterspiegel. In de poriën bevindt zich vrijwel zeker nog puur product;
2. Retentiezone: een drijf laag (aaneengesloten zone met mobiel puur product) op de grondwaterspiegel;
3. Retentiezone: een smeerlaag onder de grondwaterspiegel waar olie als puur product door fluctuerende grondwaterstanden is ingesloten in grotere poriën;
4. Een retardatiezone onder de grondwaterspiegel waar oplosbare oliecomponenten (opgelost in water) door grondwatertransport zijn terechtgekomen, beter bekend als de pluim;
5. Een retardatiezone boven de grondwaterspiegel waar vluchtige en oplosbare componenten (opgelost in de bodemlucht) door luchtstroming en watertransport zijn terechtgekomen.

Gedrag en verspreiding

2.1 Inleiding

Inzicht in het gedrag en de verspreiding van olie is essentieel voor de wijze van onderzoek tot en met sanering. Dit hoofdstuk gaat in op de manier waarop olie zich gedraagt. Dit gebeurt aan de hand van een conceptueel model. Dit conceptueel model is de basis van het bodemsaneringsproces. Daarbij komen vragen aan de orde als hoe olie in de bodem zit; als 'puur product', drijf laag, bron of pluim. Het gedrag van olie in de bron is anders dan in de pluim en dat is van wezenlijke betekenis voor de wijze van sanering. Hetzelfde geldt voor het gegeven dat olie een mengsel is. Ook daar gedraagt het zich naar. De gevolgen van het mengselgedrag en de voor bodemsanering relevante eigenschappen van olie komen aan de orde.

Probleemstelling

Vaak wordt bij een olieverontreiniging in de bodem gedacht dat het verwijderen van de drijf laag voldoende is om het probleem op te lossen. Vervolgens enkele malen spoelen en ook een eventuele grondwaterverontreiniging is verwijderd. Deze mythe belemmert een goede aanpak van olieverontreiniging. In de praktijk is een dergelijke aanpak van olieverontreiniging in de bodem niet succesvol, de verontreiniging blijft 'eeuwig' naleveren.

2.2 Gedrag van olie in de bodem

Olie die in of op de bodem terecht komt, verplaatst zich onder invloed van de zwaartekracht door de onverzadigde zone. De olie vult daarbij een deel van de poriën in de onverzadigde zone. Als er genoeg olie aanwezig is, zal deze uiteindelijk de grondwaterspiegel bereiken. Daar zal de olie een drijf laag op het grondwater gaan vormen (figuur 2).

Als gevolg van seizoensinvloeden kan de grondwaterspiegel variëren. Wanneer deze daalt, gaat de olie in de drijf laag gedeeltelijk mee. Een deel van de olie blijft echter in de poriën achter. Wanneer de grondwaterspiegel weer stijgt, stijgt de drijf laag mee. Een deel van de olie zal dan opgesloten raken onder de grondwaterspiegel. Dat komt omdat de

kracht van het grondwater niet groot genoeg is om deze olie uit de poriën weg te drukken. Dit proces wordt beschreven met de theorie van imbibitie (het verdringen door een bevochtigende vloeistof van een niet-bevochtende vloeistof, bijvoorbeeld verdringen van olie door water) en drainage (het verdringen door een niet-bevochtende vloeistof van een bevochtigende vloeistof, bijvoorbeeld verdringen van water door lucht) (NOBIS rapport 95-2-02). In de bodem komt de pure olie in contact met water en lucht. Een deel van de olie zal daarin oplossen. Hierdoor ontstaat grondwater- en bodemluchtverontreiniging.

Samenvattend kan een bodemverontreiniging met olie worden beschreven aan de hand van zones waarin het gedrag van olie door verschillende processen wordt bepaald. De ligging van de verschillende zones is schematisch weergegeven in figuur 2. Hierbij gaat het om drie zones waarin olie als afzonderlijke fase aanwezig is (retentiezones) en twee zones waarin olie niet als afzonderlijke fase voorkomt (retardatiezones):

1. Retentiezone: een 'lekzone' in de onverzadigde zone waarin de olie zich als aaneengesloten fase heeft verplaatst naar de grondwaterspiegel. In de poriën bevindt zich vrijwel zeker nog puur product;
2. Retentiezone: een drijfslag (aaneengesloten zone met mobiel puur product) op de grondwaterspiegel;
3. Retentiezone: een smeerlaag onder de grondwaterspiegel waar olie als puur product door fluctuerende grondwaterstanden is ingesloten in grotere poriën;
4. Een retardatiezone onder de grondwaterspiegel waar oplosbare oliecomponenten (opgelost in water) door grondwatertransport zijn terechtgekomen, beter bekend als de pluim;
5. Een retardatiezone boven de grondwaterspiegel waar vluchtige en oplosbare componenten (opgelost in de bodemlucht) door luchtstroming en watertransport zijn terechtgekomen.

De zones één tot en met drie vormen zogenaamde 'bron' van de verontreiniging. Zone vier is de grondwaterverontreiniging, in bodemonderzoek doorgaans de pluim genaamd. Zone vijf is de onverzadigde zone waarin in lucht opgeloste olie zich bevindt en is vooral belang bij het bepalen van de uitdampingsrisico's voor de mens.

2.3 Drijfslagen

De definitie van drijfslagen (zie www.bodemrichtlijn.nl) en daarmee samenhangend het al dan niet aanwezig zijn van drijfslagen vormt vaak een punt van discussie. In deze rapportage wordt het volgende uitgangspunt gehanteerd:

Er is sprake van een drijfslag indien de olie zich als aparte, aaneengesloten fase door de bodem kan bewegen.

Drijfslagen ontstaan als er zodanig veel olie in de bodem aanwezig is dat de retentiecapaciteit van de bodem wordt overschreden. De retentiecapaciteit is gedefinieerd als het volume olie per volume grond dat door de bodem kan worden vastgehouden. De retentiecapaciteit is afhankelijk van het bodemtype en het olietype. Een indicatie van de retentiecapaciteit voor enkele bodemtypes is weergegeven in tabel 3. Feitelijk komt het er op neer dat hoe grover het bodemtype hoe lager de retentiecapaciteit.

Tabel 3

Retentiecapaciteit van diverse bodemtypes voor benzine, diesel en stookolie (API, 1993)

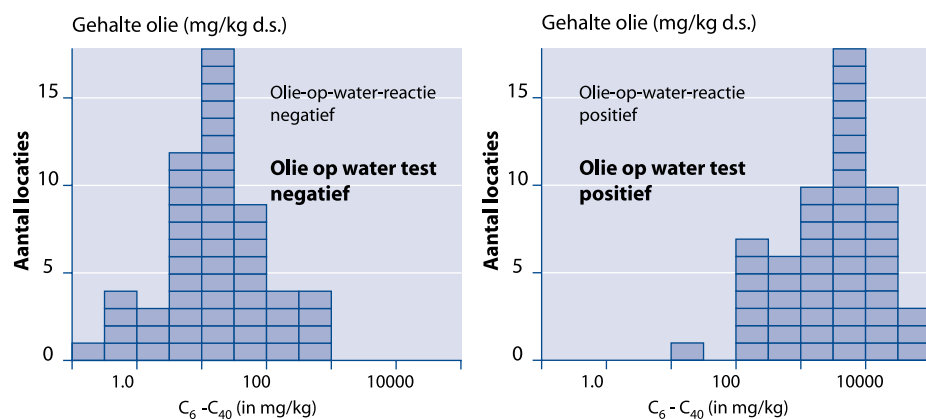
Bodemtype	Retentiecapaciteit (liter/m ³)			Retentiecapaciteit (mg/kg d.s.)		
	Benzine	Diesel	Stookolie	Benzine	Diesel	Stookolie
Stenen, grof grind	2,5	5,0	10,0	1.300	2.900	6.400
Grind, grof zand	4,0	8,0	16,0	2.000	4.600	10.300
Grof /middel- grof zand	7,5	15,0	30,0	3.800	8.600	19.300
Middelfijn/ fijn zand	12,5	25,0	50,0	6.300	14.300	32.100
Fijn zand	20,0	40,0	80,0	10.000	22.900	51.400

De retentiecapaciteit is tevens een maat voor de mate van (rest)verontreiniging, nadat de drijfslag is verwijderd door deze als vrije fase af te

pompen. Duidelijk mag zijn dat er ná een dergelijke sanering in de meeste gevallen nog sprake is van behoorlijke gehalten aan verontreinigingen met minerale olie in de bodem.

2.4 De bron

Van de bron, een bron is sprake als olie als aparte fase (puur product) in de bodem voorkomt. De meest eenvoudige manier om dat aan te tonen is de olie-op-water test. Is deze positief dan is er sprake van puur product. Uit onderzoek is gebleken dat de olie-op-water test al positief is vanaf 100-300 mg/kg d.s. olie en er dan dus sprake is van puur product (NOBIS rapport 95-2-02). Ook heel kleine, in poriën opgesloten druppeltjes zijn puur product. De aanwezigheid van puur product wil dus niet zeggen dat er sprake is van een drijfslaag. Het omgekeerde geldt uiteraard wel. In figuur 3 is geïllustreerd op basis van onderzoek op meer dan 50 locaties het gehalte bepaald waarbij er sprake is van puur product. De olie-op-water test is bij de meeste locaties negatief (bovenste grafiek) indien het gehalte kleiner is dan 100-300 mg/kg d.s. In deze figuur is tevens te zien dat op de meeste locaties de olie-op-water test positief is indien het gehalte olie groter is dan 100-300 mg/kg d.s.



Figuur 3: Resultaten olie-op-water test versus de chemische analyse op olie.

2.5 De pluim

Olie die in contact komt met water zal daarin oplossen en veroorzaakt zo de pluim. De hoeveelheid olie die in water oplost is afhankelijk van de samenstelling van de olie en de oplosbaarheid van de individuele stoffen die in de olie voorkomen (het zogenaamde mengselgedrag). De concentratie in grondwater en bodemlucht kan berekend worden met behulp van de Wet van Raoult. Volgens deze wet is de evenwichtsconcentratie van een oliecomponent in (grond)water afhankelijk van het aandeel van die component in de pure olie en van de wateroplosbaarheid van de pure component (zie kader). Op basis van de Wet van Raoult kan de concentratie in grondwater (zie tabel 4) en bodemlucht bepaald worden.

Minerale olie is een complex mengsel van verschillende stoffen. Het gedrag van olie in het milieu wordt bepaald door mengselgedrag. Dit wordt beschreven door de Wet van Raoult:

$$M \cdot S_w = C_w$$

M = Massafractie van een component in het oliemengsel
S_w = Wateroplosbaarheid van de betreffende component in pure vorm
C_w = Concentratie van de component in water bij evenwicht met het oliemengsel

Tabel 4

Rekenvoorbeeld Wet van Raoult voor twee mengsels

Stof	Mengsel 1			Mengsel 2	
	Oplosbaarheid $\mu\text{g/l}$	Massafractie	Concentratie $\mu\text{g/l}$	Massafractie	Concentratie $\mu\text{g/l}$
Tolueen	526.000	0,20	105.200	0,10	52.600
Xyleen	161.000	0,50	80.500	0,45	72.450
Hexaan	9.500	0,30	2.850	0,45	4.275
Totaal		1,00	188.550	1,00	129.325

Stofspecifieke eigenschappen per olieproduct zoals oplosbaarheid, dichtheid en kookpunt zijn er dan ook niet. Dat heeft tot gevolg dat iedere olie zich anders gedraagt in de bodem. Bovendien zal het 'overall' gedrag als gevolg van verandering in samenstelling van de olie in de bodem door de jaren heen veranderen (o.a. verwerking).

In de zone met puur product zijn de volgende processen van belang:

- Verspreiding van de olie als fase;
- Oplossen in lucht;
- Oplossen in water;
- Sorptie aan de bodem (via water en/of lucht);
- Afbraak (in water of lucht).

Verspreiding van olie als fase (afhankelijk van retentiecapaciteit, zie paragraaf 2.3)

2.6 Opgelost product

In de zones met puur product kan olie oplossen in water en lucht. Eenmaal opgelost in water en lucht gedraagt de olie zich niet meer als een mengsel. Buiten de zone met puur product kunnen zowel in water als in de lucht de volgende processen optreden:

- Sorptie aan de bodem;
- Dispersie;
- Vervluchtigen (vanuit het water);
- Oplossen in water (vanuit de lucht);
- Afbraak.

Als gevolg van deze processen verandert de concentratie en de samenstelling van de olie in water en lucht. Deze processen spelen een rol bij het vaststellen van de:

- Risico's voor de mens;
- Risico van verspreiding;
- Risico's voor de ecologie;
- Saneringsmogelijkheden pluim;
- Stabiele eindsituatie.

Intermezzo: Zorg om gezondheid

In de zeventiger jaren van de vorige eeuw leidde de gifaffaire van Lekkerkerk tot maatschappelijk tumult. Veel bewoners maakten zich zorgen over de effecten van vervuilde grond op de gezondheid. De mogelijke gezondheidsrisico's vormden de aanleiding voor duizend-en-een vragen. Bijvoorbeeld of het nog verantwoord was om groenten uit het eigen volkstuintje te eten of om de kinderen nog ongestoord buiten in de zandbak te laten spelen. Een van de wetenschappelijke disciplines die uitsluitsel kan bieden, is de medische milieukunde en sindsdien vaak een van de speerpunten in het grootstedelijk gezondheidsbeleid. Zo ook bij de GGD Rotterdam - Rijnmond. Carola Hegger is arts en als senior medisch milieukundig adviseur verbonden aan deze GGD. In die hoedanigheid is zij bij uitstek in staat in te gaan op de gezondheidsrisico's van bodemverontreiniging.

“Als medisch milieukundige geef ik onafhankelijk advies op vragen van overheidsdiensten of burgers over milieu en gezondheid. Hierbij kun je denken aan gezondheidsrisico's van bodemverontreiniging, mogelijke gezondheidseffecten van elektromagnetische velden bij zendmasten, of de risico's bij de sanering van asbest. Over bodemverontreiniging krijgen we jaarlijks zo tussen de 5 à 10 vragen van bewoners binnen. De meeste vragen komen van collega's van de verschillende diensten van de gemeente Rotterdam. Daarbij kan het gaan over bodemsaneringsprojecten maar ook over verbouwactiviteiten of de inrichting van nieuwbouwlocaties. Ons advieswerk gaat onder meer over de inschatting van de risico's van bijvoorbeeld water met een oliedrijflaag in de kruipruimte, of de uitdamping van stoffen. Maar ook over wat complexere vraagstukken als de beoordeling van monsterresultaten, of over de gehanteerde normen en modellen in vuistdikke bodemrapporten. Soms resulteert dat in adviezen voor bijvoorbeeld aanvullende modelstudies, binnenluchtmetingen of de wijze van monitoring.”

Het domein van de emotie

“Naast ons advieswerk worden we ingezet om aanwezig te zijn bij bewonersavonden. Vaak worden burgers tijdens dat soort bijeenkomsten overspoeld met harde feiten. Belangrijke en noodzakelijke informatie natuurlijk, maar de ervaring leert dat burgers ook met emoties zitten. Zodra de gezondheid in het geding is, raak je mensen in hun persoonlijke levenssfeer, het domein van de emotie, het gevoel en de beleving. Het tonen van begrip en empathie draagt bij tot het wegnemen van onrust en bezorgdheid. Vanuit mijn ‘mensgerichte’ achtergrond als arts en op basis van mijn ervaringen onderken ik nadrukkelijk het belang van hoe mensen dingen beleven. Bij de aanpak en opzet van bewonersavonden of bewonersbrieven is het verstandig om daar expliciet rekening mee te houden. Dan komen wij vaak om de hoek kijken. In de praktijk blijkt dit te werken. Natuurlijk is het belangrijk om elke keer maatwerk te leveren afgestemd op aard en karakter van het betreffende probleem, geen standaardverhaal.”

Gezondheidsrisico's

“Het is niet per definitie zo dat een bodemverontreiniging gepaard gaat met gezondheidsrisico's. Vaak is dat zelfs niet het geval. De mogelijke gezondheidsrisico's hangen vooral af van de aard en mate van de verontreiniging - de ene stof is gevaarlijker dan de andere - en de contactmogelijkheden. Bij de contactmogelijkheden gaat het om de blootstelling aan de stof. Je kunt dan bijvoorbeeld denken aan het inademen van een stof na uitdamping in de woning, of aan het drinken van verontreinigd water. Ook hier geldt in zijn algemeenheid: wil een stof een gezondheidseffect veroorzaken, dan moet er eerst contact zijn met deze stof.”

Niet zomaar olie

“Mogelijke verontreinigingen met minerale olie komen relatief vaak voor. Het bekendste voorbeeld is dat van de sanering van een tankstation in een woonwijk. Dat neemt niet weg dat deze vorm van verontreiniging erg lastig te beoordelen is. Dat heeft alles te maken met samenstelling van de olie. Minerale olie kan uit heel veel verschillende fracties bestaan. Zaken als de zwaarte en vluchtigheid van de fracties, de hoeveelheid en de diepte van de verontreiniging en de mate van

uitdamping zijn van groot belang bij de beoordeling van de eventuele gezondheidsrisico's. In de praktijk is de beoordeling van een 'gewone' stof als olie dus erg lastig. Om tot een optimale beoordeling van de gezondheidsrisico's te komen is een instituut als het RIVM drukdoende met de ontwikkeling van standaardmodellen. De ontwikkeling daarvan verloopt gestaag maar de aansluiting met de praktijk van alle dag is vooralsnog onvoldoende. De uitdaging voor de komende tijd is dus het gat tussen model en praktijk zo klein mogelijk te maken. Er blijft werk aan de winkel.”



3

Risico's

3.1 Inleiding

In dit hoofdstuk komen de risico's van olieverontreinigingen aan de orde. Bij het bepalen van risico's van olieverontreinigingen wordt een onderscheid gemaakt in blootstellingsrisico's, risico's door aantasting, brand en explosierisico's. Blootstellingsrisico's hebben met name betrekking op de mens en het ecosysteem. Risico's door aantasting hebben betrekking op materialen.

3.2 Blootstellingsrisico's

3.2.1 Beoordeling blootstellingsrisico's

Minerale olie is een van de meest voorkomende stoffen die lokale verontreinigingen van grond en grondwater veroorzaken. Toch zijn in het verleden de potentiële risico's van deze verontreinigingen voor de mens vaak niet beoordeeld. Dit heeft te maken met het feit dat de beoordeling van de risico's van minerale olie met behulp van de gangbare risicobeoordelingsmodellen niet mogelijk was.

Dit komt omdat de blootstellingsmodellen de blootstelling van de mens per afzonderlijke stof berekenen. Deze berekeningen worden uitgevoerd op basis van stofgegevens zoals de wateroplosbaarheid, vluchtigheid, verdelingscoëfficiënt en toxicologische grenswaarde per stof. Omdat minerale olie een complex mengsel van verschillende stoffen is, is het niet mogelijk een vaste waarde aan te geven voor fysisch-chemische parameters voor minerale olie algemeen. Dit heeft tot gevolg gehad dat de humane risico's in het verleden vaak niet beoordeeld werden of dat de risico's beoordeeld werden aan de hand van componenten die in minerale olie voorkomen zoals BTEX of PAK.

In het verleden zijn er derhalve verschillende methodieken ontwikkeld om de risico's van minerale olie alsnog te kunnen beoordelen. Een van deze methodieken is de zogenaamde fractiebenadering. De volgende paragraaf gaat nader in op de fractiebenadering als methode om risico's van verontreinigingen van minerale olie te beoordelen.

3.2.2 Beoordeling van risico's voor de mens met de fractiebenadering

Een aantal eigenschappen van de verontreiniging is van invloed op de risico's. Op basis van deze risicobepalende eigenschappen van minerale olie wordt geschat hoe de onderzoeksstrategie en de analyse-methode eruit zou moeten zien. Dit om de risico's van verontreinigingen met minerale olie goed te kunnen beoordelen.

Met de invoering van het Saneringscriterium heeft de risicobeoordeling een centrale rol gekregen bij het beantwoorden van de vraag of het noodzakelijk is sanerings- of beveiligingsmaatregelen te nemen. Risico's van bodemverontreinigingen moeten tot een acceptabel niveau teruggebracht worden om verontreinigde locaties geschikt te maken voor de beoogde functie. De hamvraag is dan ook hoe goed kan worden beoordeeld of een verontreiniging met minerale olie al dan niet leidt tot onacceptabele risico's. Bij het beantwoorden van die vraag speelt de fractiebenadering een doorslaggevende rol.

Het principe van de fractiebenadering berust op de indeling van het complexe stoffenmengsel in een aantal verschillende fracties naar type component (alifaten of aromaten) en molecuulgrootte (indeling op basis van ketenlengte of kookpunt). Vervolgens wordt elk van deze fracties beoordeeld op basis van haar kenmerkende fysisch-chemische en toxische eigenschappen. De kenmerkende fysisch-chemische eigenschappen van de fracties zijn afgeleid op basis van de evaluatie van meer dan 200 bestanddelen. Minerale olie kan > 1000 verschillende verschillende bestanddelen bevatten. Toxicologische gegevens zijn er maar voor een klein gedeelte van de bestanddelen. De deels kanker-verwekkende bestanddelen van minerale olie zoals benzeen en (de meeste) PAK's worden apart beoordeeld.

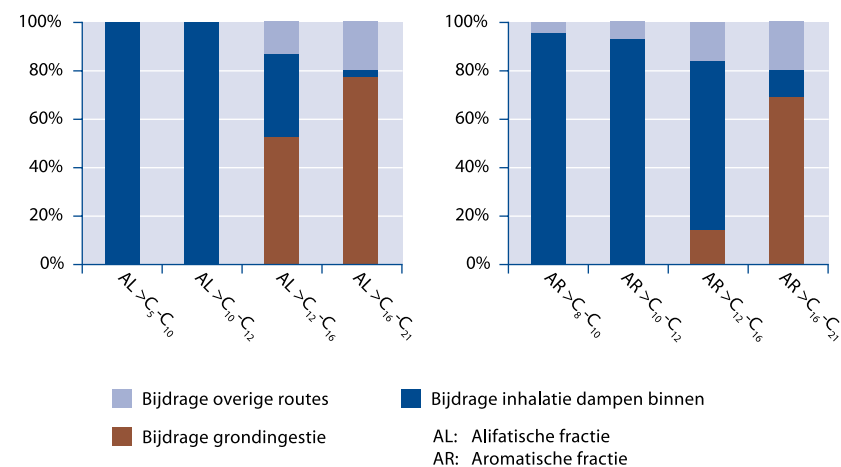
Om de fractiebenadering te kunnen toepassen voor de beoordeling van risico's van minerale olie, moeten analysegegevens per fractie beschikbaar zijn. Het RIVM heeft een fractiebenadering voorgesteld, waarbij de risico's van minerale olie aan de hand van 6 alifatische en 5 aromatische fracties beoordeeld kunnen worden.



Persoonlijke bescherming tegen blootstelling door uitdamping tijdens ontgraving.

Fysisch-chemische eigenschappen zoals vluchtigheid, wateroplosbaarheid en de verdelingscoëfficiënt van de fractie bepalen hoe de fractie zich gedraagt en welke blootstellingroutes het meest belangrijk zijn. Blootstelling is bijvoorbeeld mogelijk via ingestie van verontreinigde gronddeeltjes of inademing van dampen van verontreinigende stoffen. De gebruiksvorm van de locatie bepaalt welke blootstellingsroutes belangrijk zijn.

Uitgaande van het scenario 'wonen met tuin' kunnen de relatieve bijdragen per blootstellingsroute aan de totale blootstelling voor de verschillende minerale olie fracties met een model worden berekend. Op basis van de modelberekeningen is te verwachten dat de blootstelling aan de vluchtigere minerale componenten vooral bepaald wordt door uitdamping naar de binnenlucht. Hoe lager de vluchtigheid van een component, hoe groter de bijdrage van ingestie van gronddeeltjes en andere blootstellingsroutes. Deze samenhang wordt geïllustreerd in onderstaande figuur 4.



Figuur 4: Relatieve bijdrage verschillende blootstellingsroutes aan de totale blootstelling op een locatie berekend voor het scenario 'wonen met tuin'. De getallen bij de fracties geven een indicatie voor de ketenlengte.

3.2.3 Geuroverlast

Bodemverontreinigingen met minerale olie kunnen zorgen voor geuroverlast voor bewoners. Sommige bestanddelen van minerale olie producten, zoals bepaalde organische zwavelverbindingen, zijn al bij zeer lage concentraties in de lucht waarneembaar.

De gevoeligheid van de geurwaarneming van mensen verschilt heel sterk. In naslagwerken wordt daarom vaak een onder- en bovengrens aangegeven voor geurdrempels en niet één vaste waarde. De Gezondheidsraad beschouwt geur als een aspect dat de gezondheid negatief kan beïnvloeden. Als een verontreiniging bij bewoners voor geuroverlast zorgt is dit een reden om saneringsmaatregelen te nemen, ongeacht de risico's van de verontreiniging voor de gezondheid.

3.2.4 Consequenties

In het algemeen zijn het de vluchtige fracties die de blootstellingsrisico's van minerale olie verontreinigingen bepalen (zie hoofdstuk 1). Daarom moeten onderzoeks- en analysegegevens vooral drie vragen beantwoorden:

- Is de verontreiniging mogelijk aanwezig onder gebouwen?
- Kunnen verontreinigingen uitdampen naar de binnenlucht?
- Bevat het aanwezige minerale olie product vluchtige componenten?

Inmiddels zijn goed omschreven analysemethoden beschikbaar om uitsluitel te geven over de aanwezigheid van vluchtige minerale olie componenten in grond en grondwater. Het verkrijgen van een goed beeld van een verontreinigingssituatie onder gebouwen is in de praktijk vaak lastig. Als wordt verwacht dat minerale olie verontreinigingen (deels) aanwezig zijn onder gebouwen en deze verontreinigingen vluchtige componenten bevatten, moet de uitdamping naar de lucht door metingen geverifieerd worden. Dit kan door middel van metingen in de kruipruimte en van de binnenlucht.

Indien saneringsmaatregelen noodzakelijk zijn zal de saneringstechniek zodanig gekozen moeten worden, dat de risico's na sanering in voldoende mate gereduceerd zijn (en dus de saneringsdoelstelling gehaald). De saneringsdoelstelling voor vluchtige verontreinigingen onder gebouwen zal lager (strenger) zijn dan de saneringsdoelstelling

voor vluchtige verontreinigingen die niet onder gebouwen zitten. Voor de analysetechniek betekent dit dat het noodzakelijk is de eigenschappen van de verontreiniging die de blootstelling bepalen goed in beeld te hebben.

3.2.5 Risico's voor het ecosysteem

Minerale oliecomponenten zijn schadelijk voor het milieu. Dit omdat minerale oliecomponenten schadelijk zijn voor een belangrijk onderdeel van de cellen van levende organismen, de celmembraan. De negatieve werking van minerale olie wordt veroorzaakt door ophoping van lichaamsvreemde organische verbindingen op de celmembranen waardoor de werking gestoord kan worden.

Een gedetailleerde beoordeling van de risico's voor het milieu is mogelijk via de fractiebenadering.

De schadelijke werking van minerale olie componenten is additief, dat wil zeggen de schadelijke effecten van de verschillende fracties moeten bij de beoordeling bij elkaar worden opgeteld. Naast schadelijke effecten zijn van olie bemestende effecten bekend.

3.2.6 Samenvatting

- In het verleden konden de risico's van verontreinigingen met minerale olie niet (goed) worden beoordeeld.
- De fractiebenadering maakt het mogelijk de risico's van het stoffenmengsel beter te beoordelen.
- De risico's van minerale olie verontreinigingen zijn sterk afhankelijk van het type verontreiniging (de fractiesamenstelling).
- Vooral vluchtige minerale olie componenten zijn van belang voor de bepaling van de blootstellingsrisico's.
- Om uitdampingrisico's goed te kunnen inschatten is het aan te bevelen locatiespecifieke metingen uit te voeren van de kwaliteit van de kruipruimte- en binnenlucht.

3.3 Aantasting

Olieverbindingen zijn in staat om bepaalde materialen op te lossen. Vooral kunststoffen zijn gevoelig voor permeatie (indringing) en aan-

tasting. Een aantal materialen die in de ondergrond wordt toegepast en waarvan de functie negatief kan worden beïnvloed, wordt hier beschreven:

- **Drinkwater- en gasleidingen**

Indien gebruik is gemaakt van kunststof, kunnen olieverbindingen door het leidingmateriaal dringen en drinkwater verontreinigen. In extreme gevallen kan het leidingmateriaal aangetast worden. Gasleidingen zijn in het verleden vaak beschermd met een bitumencoating. Indien deze coating in aanraking komt met olieproducten kan de bitumen oplossen en zijn beschermende functie verliezen.

- **Riolering**

Ook een betonleiding is niet dicht voor olieproducten. De olieproducten kunnen langs open afdichtingen of langs de met rubber of bitumen samengestelde afdichtingen in de leiding indringen. Dit kan leiden tot riool lekkage of tot het indringen van de olieproducten in het riool.

- **Kabels**

Ondergrondse kabels bevatten vaak een rubber- of kunststofcoating, die gevoelig kan zijn voor aantasting door olieproducten. Dit kan leiden tot kortsluiting in de bodem. Bij het verwijderen van de kabels moet rekening gehouden worden met het feit dat ook de kabels kunnen zijn verontreinigd met de olieproducten.

- **Peilbuizen**

Ook peilbuismaterialen kunnen worden aangetast. Tegenwoordig worden meestal HDPE peilbuizen geïnstalleerd die minder gevoelig zijn voor chemische aantasting dan PVC.

- **Ondergrondse tanks**

Oudere types ondergrondse tanks zijn meestal gemaakt van staal en gecoat met bitumen. De bitumencoating kan oplossen en zijn beschermende functie verliezen door contact met olieproducten in de bodem.

3.4 Brand- en explosiegevaar

Olieverbindingen zijn brandgevaarlijk en kunnen in geval van vluchtige olieverontreinigingen ook explosies veroorzaken. Bij het saneren van bodemverontreinigingen met minerale olie wordt daarom ook

de brand- en explosieveiligheid in beschouwing genomen. Indien door ophoping ervan de concentratie in de lucht oploopt tot boven de onderste explosiegrens (LEL) heeft men te maken met een explosief damp/luchtmengsel. Dergelijke mengsels kunnen tot ontbranding/ontploffing komen door een enkel vonkje. In hoeverre de brandbaarheid van een stof gerelateerd is aan de vluchtigheid kan worden opgemaakt uit het vlampunt. Het vlampunt is de temperatuur waarbij de stof nog juist voldoende damp ontwikkelt om het gevormde damp/luchtmengsel (onder evenwichtsomstandigheden) explosief te laten zijn. Stoffen met een vlampunt boven een temperatuur die gewoonlijk niet bereikt zal worden, zijn dus per definitie niet explosiegevaarlijk en behoeven dus in dit verband verder geen aandacht. In deze context zijn dat stoffen met een vlampunt van 55°C en hoger.

Tabel 5

Indelingscriteria F-klassen

Klasse	Vlampunten
1F	21°C < vlampunt < 55°C
2F	< 21°C

Afhankelijk van de eigenschappen van de verontreinigingen wordt een F-klasse (explosierisico vastgesteld). Daarbij wordt onderscheid gemaakt in ontvlambaar (klasse 1F) of licht, c.q. zeer licht ontvlambaar (klasse 2F). Voor de verschillende klassen worden verschillende soorten veiligheidsmaatregelen voorgeschreven.



Intermezzo: De zaterdagmiddagsanering

Een willekeurige zaterdagmiddag ergens in het centrum van een plattelandsgemeente in het Noorden des lands. Midden tussen de woonbebouwing ligt een garagebedrijf met benzinestation. Een loonwerker is druk doende om met een hijskraan een olietank uit de grond te trekken. Het zonnetje schijnt en de loonwerker en garagehouder staan er ontspannen bij ondertussen een shagie draaiend. Het toeval wil dat op dat moment de plaatselijke milieuambtenaar samen met de politie een inspectieronde uitvoert. Puur routine. Het zijn dezelfde ervaring en routine die haarfijn aanvoelen: Dit klopt niet. Lieuwe Hansma, technisch medewerker milieu van de gemeente Dantumadeel en Luut de Jong hoofd Milieu van Jansma Wegen en Milieu B.V. aan het woord over hoe het niet moet en over oplossingen volgens het boekje. Zoals het hoort.

Lieuwe Hansma:

“Met een collega van de politie deden we een surveillanceronde door onze gemeente. We doen dat met een zekere regelmaat. Actieve handhaving en controle van de wet- en regelgeving op het terrein van milieu en ruimtelijke ordening zijn wezenlijke onderdelen van onze taakopvatting. Vaak op tijdstippen dat mensen denken dat het opsporingsapparaat een ATV-dag heeft of in het weekend. Bijvoorbeeld op vrijdag of zaterdag. Dat zijn de momenten dat ‘gewone’ mensen vrij hebben en de tijd nemen om bijvoorbeeld in de tuin wat restafval of snoeihout te verbranden. De rookpluimpjes aan de horizon verraden vaak dat soort activiteiten. Toen we bij deze ‘zaterdagmiddagsanering’ de loonwerker met zijn trekker en hijskraan bij het benzinestation zagen staan, de tank reeds op het droge, wisten we meteen dat het niet in de haak was.”

Luut de Jong:

“Er opereren nogal wat ‘cowboys’ op de markt. Vroeger meer dan nu. Soms gebeuren dit soort ‘zwarte’ saneringen uit onwetendheid maar soms ook doelbewust om procedures en kosten te omzeilen. In plattelandsgemeenten wil het wel eens voorkomen dat de loonwerker op de hoek ingeschakeld wordt om effe de klus te klaren. Een trekker met een hijskraan d’r achter, de tank eruit takelen, vervolgens afvoeren en tenslotte verpatsen aan de plaatselijke oud-ijzerhandel. Klaar is Kees. Maar zo werkt het natuurlijk niet.”

Lieuwe Hansma:

“We werden niet echt met open armen ontvangen. Maar dat gebeurt wel meer in ons werk. De garagehouder en loonwerker probeerden er nog onderuit te komen. Maar de discussie was snel beslecht. Ik wist zeker dat er in géén geval een melding van de sanering mijn bureau was gepasseerd. De zaak was dus niet legaal. Mijn collega van de politie kon verder druk uitoefenen: “Als jullie het werk niet onmiddellijk staken, maak ik proces verbaal op en ben je verder van huis.” Op zulke momenten betaalt de meerwaarde van de samenwerking tussen gemeente en politie zich meteen uit.”

Luut de Jong:

“Voorafgaand aan de uitvoering van een bodemsanering moet een bodemonderzoek uitgevoerd worden. Moderne technieken als bodemanalyses geven een inzicht in aard en omvang van de vervuiling. Er bestaat een meldingsplicht; dat betekent dat de initiatiefnemer de voorgenomen sanering moet aanmelden bij de gemeente. Die aanmelding gaat vergezeld van de resultaten van het bodemonderzoek, de wijze waarop de sanering wordt uitgevoerd en wie het gaat doen. En uiteraard moet dat een gespecialiseerd bedrijf zijn, in het bezit van de nodige kwaliteitscertificaten. Als de bodem- of tanksanering wordt uitgevoerd door een bedrijf dat hiervoor niet gecertificeerd is en zonder meldingen aan het bevoegd gezag dan is er sprake van een illegale sanering. De eigenaar krijgt geen tanksaneringscertificaat en geen schone grondverklaring. Dat levert hem bij een eventuele verkoop talloze problemen op. Elke potentiële koper zal vooraf vragen om zo’n verklaring. Ofwel wordt dan alsnog een sanering uitgevoerd volgens

de regels ofwel worden de saneringskosten in mindering gebracht op de verkoopprijs. Er zijn ook talloze gevallen bekend waarbij de koper afhaakt. De eigenaar blijft achter met zijn eigen gebakken peren: een vervuild en dus moeilijk verkoopbaar terrein.”

Lieuwe Hansma:

“Ons eerste zorg was om de aanwezige risico’s uit te sluiten en te minimaliseren. Je moet bedenken dat we hier te maken hadden met een benzinetank die al uit de bodem getakeld was. Het stonk naar benzine en als je beseft hoe explosief benzinedampen kunnen zijn, weet je hoe laat het is. Directe actie was hard nodig om gevaar voor omwonenden te voorkomen. We hebben de werkzaamheden meteen stil gelegd, alle leidingen afgesloten en de locatie omheind en afgezet. De locatie lag immers in een woongebied en bovendien staan er altijd wel wat ‘hangouderen’ met de neus bovenop het werk. Je moet er toch niet aan denken dat zo’n tank uit elkaar was geklapt.”

Luut de Jong:

“Bodemsanering doet zich voor in alle soorten en maten. Soms gaat het om alleen de sanering van de tank zonder dat er sprake is van bodem-verontreiniging; soms gaat het om complexe situaties met én een tanksanering én een forse bodemverontreiniging. Lastiger wordt het als er kabels, leidingen of waterputten in het geding zijn of als de tanks en verontreinigde grond zich bevinden onder gebouwen of onder hoogspanningsleidingen. Bij de uitvoering zijn talloze varianten mogelijk van ter plekke schoonmaken tot en met afgraven en afvoeren.”

Lieuwe Hansma:

“Vaak hoor je ‘getroffen’ ondernemers klagen dat de saneringskosten zo hoog zijn, dat ze maar een klein bedrijfje hebben en dat het hun de kop kost. In de praktijk blijkt dat heel erg mee te vallen. Een bodemsanering uitgevoerd conform de regels heeft zonder meer zijn meerwaarde. De verkregen ‘schone grondverklaring’ is een absolute must voor bouwactiviteiten of bij de aan- of verkoop van grond. Je kunt niet zonder. Het aardige is dat je aan het einde van de rit meestal toch tevreden gezichten ziet. Soms bespeur ik zelfs iets van trots, in

de trant van ‘de klus is geklaard, helemaal volgens de regels en het ‘diploma’ behaald’. De pijn van de aanvankelijke discussie over zin, noodzaak en kosten is definitief verleden tijd.”

Luut de Jong:

“Mijn dringende advies is: handel altijd conform de procedures en regels en ga in elk geval altijd in zee met gecertificeerde bedrijven. De stelling ‘goedkoop = duurkoop’ gaat ook of misschien wel vooral op bij bodemsanering. Bewandel keurig de verschillende stappen in het traject. Een open houding en transparante communicatie willen het contact tussen de verschillende betrokkenen versterken. Een goede relatie waarin je weet wat je aan elkaar hebt, is prettig werken voor initiatiefnemer, aannemer en overheid. Met als eindresultaat: schone grond!”

Noot:

De Zaterdagmiddagsanering is waar gebeurd; zonder de werkelijkheid geweld aan te doen zijn tijd, plaats en enkele details gefingeerd.



4

Onderzoeksstrategieën

4.1 Inleiding

Inmiddels weten we wat olie is en hebben we het gedrag in kaart gebracht. Ook de blootstellingsrisico's voor mens en ecosystemen en de mogelijke schade aan materialen zijn inmiddels duidelijk. Deze kennis betekent niet dat we zonder meer kunnen overstappen naar de feitelijke sanering van olie in de bodem. Daaraan voorafgaand is een exact inzicht nodig in zaken als aard, omvang en karakterisatie van de verontreiniging. Dit met het oog op een mogelijke sanering. De noodzakelijke onderzoeksvragen en mogelijke onderzoeksmethoden die in dit kader nog beantwoord moeten worden komen in dit hoofdstuk aan de orde.

In tabel 6 staat een overzicht van de technieken die in dit hoofdstuk besproken worden.

Tabel 6

Overzicht besproken onderzoekstechnieken

Techniek	Type	Kenmerken	Paragraaf
Historisch onderzoek	Bureaustudie		4.3.1
Terreininspectie	On-Site		4.3.2
Conventioneel	Laboratorium	Nemen grond en watermonsters met boringen en peilbuizen, analyse op laboratorium	4.3.2
PID	On-Site	Metten vluchtige verbindingen in het veld	4.4.1
ROST/MIP	On-Site	Directe meting in sondeerconus	4.4.1
Diffusie/Sorbisampler	Laboratorium	Alternatieve grondwater-bemonsteringstechniek	4.4.2
Geofysisch	On-Site	Grondradar, seismische metingen	4.4.2
Herkomst			4.5

4.2 Onderzoeksdoelen

Er zijn twee hoofddoelen te onderscheiden van onderzoek naar de aanwezigheid van minerale olie in de bodem:

- het primaire doel van een bodemonderzoek is het vaststellen of verontreiniging aanwezig is en het in kaart brengen van de aard en omvang daarvan. Aan de hand hiervan kunnen de risico's van de verontreiniging worden bepaald en kan de noodzaak van een bodemsanering worden vastgesteld;
- het secundaire doel is het karakteriseren van de verontreiniging met het oog op de eventuele sanering (zie hoofdstuk 5) ervan. Door in een vroegtijdig stadium aandacht te besteden aan de karakterisering wordt, tegen relatief geringe meerkosten, informatie verkregen die van belang is voor afweging en ontwerp van saneringsmaatregelen. Het komt er in feite op neer dat de onderzoeker zo vroeg mogelijk in het onderzoekstraject al nadenkt over de uitvoering.

Om deze vroegtijdige gerichtheid op de uitvoering te realiseren moeten de volgende vragen in de onderzoeksfase worden meegenomen:

- Is de verontreiniging goed bereikbaar of is deze aanwezig in slecht doorlatende lagen?
- Is de verontreinigingskern goed in beeld gebracht?
- Welk type olie is aanwezig en wat zijn de eigenschappen van deze olie?
- Is er een drijfslaag aanwezig en waar kunnen we die verwachten?
- Zijn de milieucondities gunstig voor biologische afbraak of kunnen deze gunstige milieucondities worden gecreëerd?
- Kunnen we een inschatting maken van de vracht die zich in kern en pluim bevindt? Deze is van belang in verband met saneringsduur en de kosten voor behandeling van bij de sanering vrijkomend water en lucht.

Inzicht in het gedrag van de olie en de mogelijke verspreidingsroutes in de bodem zoals beschreven in hoofdstuk 2 is essentieel voor het opzetten van de strategie van het bodemonderzoek.

4.3 Conventionele onderzoeksmethoden

4.3.1 Historisch onderzoek

Dossieronderzoek naar historische informatie is van groot belang. Met informatie over het oorspronkelijke uitgangspunt, de aard van eventuele incidenten en de wijze van gebruik/toepassing wordt de trefkans in het veld vergroot. Naast dossieronderzoek kunnen ook werknemers nuttige praktische informatie verschaffen over hoe en waar olieachtige producten gebruikt werden en worden. Het onderzoek zou inzicht moeten geven in de volgende onderwerpen:

- Welk activiteiten kunnen een olieverontreiniging hebben veroorzaakt?
- Waar liggen mogelijke oorzaken van verontreiniging? Loop daarbij het volledige bedrijfsproces langs: waar en waarin werd de grondstof opgeslagen, waar werd de grondstof gebruikt, welke calamiteiten konden optreden bij verwerking, waar werd overtollige vloeistoffen geloosd etc? Bij tankstations is het bijvoorbeeld van belang inzicht te krijgen in de locatie van de tanks, ontluchtingspunten en peilpunten van de tank, waar getankt werd, waar de tanks gevuld werden en waar de ondergrondse oliewaterafscijders liggen. Bij olie-opslagdepots bijvoorbeeld, zijn de brandstofoverslagpunten vaak de belangrijkste bronnen van bodemverontreiniging.
- Wanneer hebben incidenten plaatsgevonden?
- Welke typen olie werden er gebruikt

Aan de hand hiervan kan worden beoordeeld waar, of en hoeveel puur product in de bodem is terechtgekomen. Ook het tijdstip levert, in combinatie met geohydrologische informatie, een indicatie van de mogelijke pluimomvang en een indicatie van de natuurlijke afbraaksnelheid. Daarnaast is het van belang om te weten welke producten in welke periode zijn opgeslagen of gebruikt. De aanwezigheid van nevenverontreinigingen zoals lood of MTBE (Methyl Tertiair-Butyl Ether) kan een indicatie zijn voor het tijdstip waarop de morsing heeft plaatsgevonden. Al met al kan met historische informatie het veldonderzoek veel gericht worden uitgevoerd. Als deze informatie niet kan worden achterhaald, kan een terreininspectie nog enig inzicht geven over het gebruik van de locatie.

4.3.2 Conventioneel onderzoek

Onder conventioneel onderzoek verstaan we terreininspecties en regulier veldonderzoek:

- **Terreininspectie:**
Tijdens de terreininspectie vindt controle van het dossieronderzoek en de verkregen historische informatie plaats. De huidige en voormalige verdachte deellocaties worden geïnventariseerd en geprojecteerd waarna de toegankelijkheid van de locatie wordt beoordeeld voor de uitvoerbaarheid van het veldwerk.
- **Regulier veldonderzoek:**
Het reguliere veldonderzoek naar de aanwezigheid van minerale olie in de bodem omvat het uitvoeren van boringen, het plaatsen van peilbuizen, het nemen van grond- en grondwatermonsters en het uitvoeren van chemische analyses van de monsters in een laboratorium. Door het bekijken van grondmonsters in een oliepan, waarbij verontreinigde grond in een laagje water wordt gebracht, kan visueel een oliefilm worden waargenomen bij aanwezigheid van een olieverontreiniging. Met behulp van een PID meter (Photo Ionisatie Detector) kan de aanwezigheid van vluchtige verontreinigingen bepaald worden.

Bij de bemonstering van aromatische oplosmiddelen in de grond dient in het bijzonder aandacht te worden besteed aan de vluchtigheid en de goede aërobe afbreekbaarheid van de betreffende verontreiniging. Zo



Uitvoeren mechanische boring voor plaatsing peilbuizen (bron Tauw)

moet bij het nemen van grondmonsters een steekbus worden gebruikt ter voorkoming van uitdamping van de aromatische koolwaterstoffen naar de atmosfeer. Bij het nemen van grondwatermonsters wordt een beperkt debiet toegepast om het uittreden van dampbellen door onderdruk te voorkomen, en daarmee atmosferische verdwijning van de stof voorafgaand aan analyse.

Peilbuizen voor grondwateronderzoek

Voor het bepalen van de aanwezigheid van olie in het grondwater moeten filters in de bron van de verontreiniging (lees het gebied waar puur product verwacht wordt) snijdend geplaatst worden, dat wil zeggen met een deel van het filter boven de grondwaterspiegel en een deel onder de grondwaterspiegel. Olie als puur product bevindt zich meestal nabij de capillaire zone, het grensvlak tussen de verzadigde en onverzadigde zone. Als een drijf laag wordt aangetroffen in het filter is het over het algemeen niet zinvol om een grondwatermonster te analyseren, omdat de gehalten nabij de maximale oplosbaarheid van het olieproduct zullen liggen.

Om de omvang van de grondwaterverontreiniging in horizontale richting af te perken moet worden bekeken wat de afstand is van het meetpunt tot aan de bron van de verontreiniging. In of aan de rand van het brongebied kunnen filters snijdend geplaatst worden. Opgelost olieproduct kan zich echter naar de diepte verspreiden, waardoor op grotere afstand van de bron de verontreiniging dieper in de bodem aanwezig zal zijn. Verder bestaat bij lage gehalten vluchtige oliecomponenten bij het gebruik van snijdende peilbuizen het risico van intree van zuurstof, waardoor de relatief lage gehalten verontreinigingen al in de peilbuis of tijdens de bemonstering afgebroken kunnen worden. Bij het afperken van een grondwaterverontreiniging dient dus gebruik gemaakt te worden van niet snijdende peilbuizen.

Het plaatsen van peilbuizen in het brongebied van verontreinigingen met minerale olie brengt het risico met zich mee van permeatie van verontreinigingen door de kunststof leidingen van de peilbuizen en filters (zie paragraaf 3.3). Vooral de vluchtige aromatische koolwaterstoffen kunnen door kunststofleidingen dringen en het water in de

leiding verontreinigen. In extreme gevallen kan de kunststof zelfs verweken. Daardoor kan het lijken alsof het grondwater in een diepe peilbuis verontreinigd is, terwijl een ondiepe verontreiniging de gemeten gehalten in het bemonsterde grondwater veroorzaakt. Dit verschijnsel wordt ook wel cross-contaminatie genoemd. Dit risico kan beperkt worden door bij de boring gebruik te maken van een (PVC of stalen) mantelbuis (casing) in het brongebied, die tot onder de kern van de verontreiniging wordt geplaatst, waarna binnen de casing dieper geboord kan worden. Deze techniek brengt wel extra kosten met zich mee. Een praktische toepassing van het permeatieverschijnsel zijn de diffusie samplers (zie paragraaf 4.4).

Het wegdrukken van mini- of midifilters met sondeerapparatuur door brongebieden vergroot eveneens de kans op cross-contaminatie. Ook hier is het gebruik van een casing een goede oplossing. Indien niet strikt noodzakelijk, wordt aanbevolen om in het geheel geen diepe boringen of sonderingen door het bekende brongebied te plaatsen maar slechts aan de rand daarvan.

Bij de keuze van het peilbuis materiaal moet dus rekening worden gehouden met het risico van permeatie of aantasting door hoge concentraties aromatische koolwaterstoffen. HDPE en in mindere mate PVC zijn gevoelig voor permeatie en PVC kan zelfs fysisch aangetast worden bij hoge gehalten verontreiniging. Verweking treedt alleen op bij aanwezigheid van puur product en zal niet optreden als alleen het grondwater verontreinigd is. Bij HDPE wordt dan ook aanbevolen om, indien permeatie wordt verwacht, voorafgaand aan bemonstering de buis goed door te spoelen zonder het waterniveau in de peilbuis al te zeer te verlagen om versmering te voorkomen. Roestvrij staal is ongevoelig voor permeatie, maar een duur alternatief.

Afsluitende lagen moeten na afloop van de boring afgedicht worden met zwelklei om te voorkomen dat een voorkeurskanaal achterblijft in de bodem. Vooral in de onverzadigde zone kan dit leiden tot een ongewenste verspreiding van puur product dieper in de bodem.

Bij het reguliere veldonderzoek wordt grond en grondwater, afhankelijk van de samenstelling van het puur product, geanalyseerd op mine-

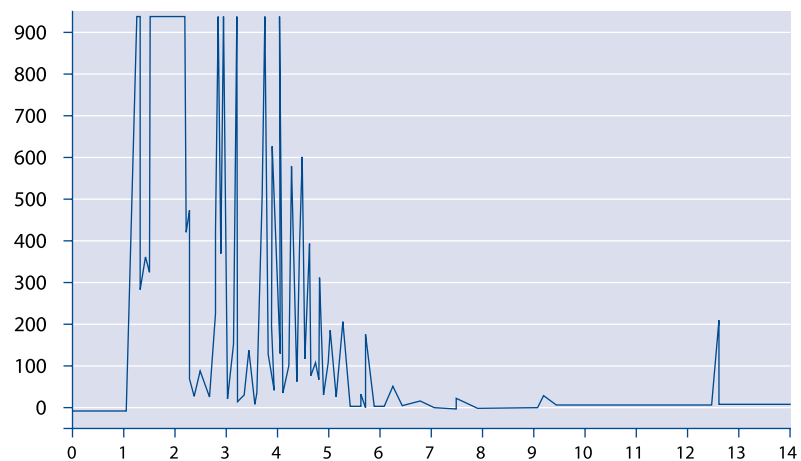
rale olie (vluchtige koolwaterstoffen $C_6 - C_{10}$ en niet-vluchtige koolwaterstoffen $C_{10} - C_{40}$), vluchtige aromatische koolwaterstoffen (BTEXN) of polycyclische aromatische koolwaterstoffen (PAK). Met behulp van het olie GC chromatogram en de koolwaterstoffractieverdeling kan een eerste productherkenning plaatsvinden. Ten behoeve van een risico-analyse dient een uitsplitsing in aromatische en alifatische fracties plaats te vinden. Deze methodiek is in eerste instantie door de Amerikaanse Total Petroleum Hydrocarbons Criteria Work Group (TPHCWG) ontwikkeld en wordt nu in Europa langzaam maar zeker overgenomen. Door RIVM is eveneens een methode ontwikkeld die overeenkomt met de TPHCWG methodiek (zie paragraaf 3.2.2). Deze methode is nog niet in het beleid opgenomen en wordt in Nederland vrijwel niet in de praktijk toegepast. Voor het bepalen van sanerings(on)mogelijkheden van onbekende olieproducten kan een oliekarakterisering toegepast worden (zie kader).

Oliekarakterisering

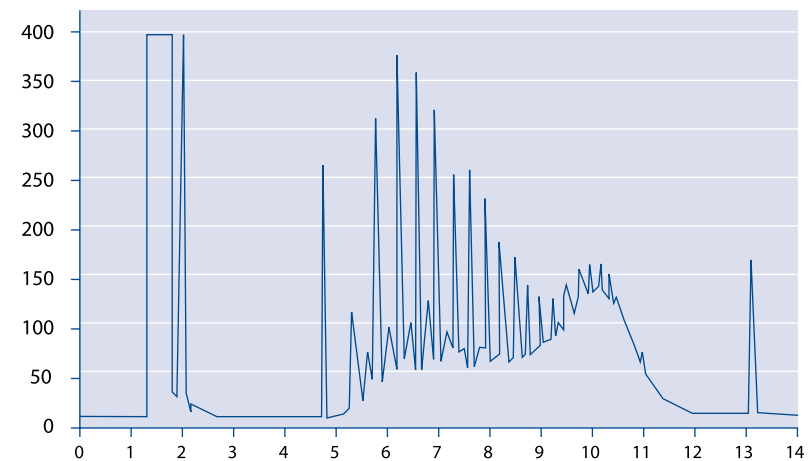
De Oliekarakterisering is gebaseerd op het meten van de wateroplosbaarheid van alle stoffen in de olie/teer. Van alle stoffen wordt het kookpunt vastgesteld op basis van de retentietijd bij in het gaschromatogram (een gaschromatograaf scheidt de stoffen op basis van verschil in kookpunt). De combinatie van wateroplosbaarheid en kookpunt leidt tot een identificatie van de verbindingen op stofgroepniveau. Deze indeling wordt vaak gebruikt voor de identificatie van de olie (bijvoorbeeld welk type kerosine). Daarnaast wordt een indeling gegeven in alifatische en aromatische fracties. Deze indeling kan gebruikt worden voor de risicobepaling van een olie.

De stoffen in de olie kunnen met de oliekarakterisering ook worden ingedeeld naar oplosbaarheid in lucht en water. De bruikbaarheid van deze indeling ligt in de voorspellende en evaluerende waarde voor het maximaal bereikbare rendement van saneringstechnieken die op vervluchtiging (strippen) of uitspoeling (pump-and-treat) gebaseerd zijn. Daarnaast wordt een uitspraak gedaan over de biologische en chemische afbreekbaarheid van de olie. Met behulp van de oliekarakterisering en locatiespecifieke gegevens kan zo een goed onderbouwd saneringsdoel worden afgeleid.

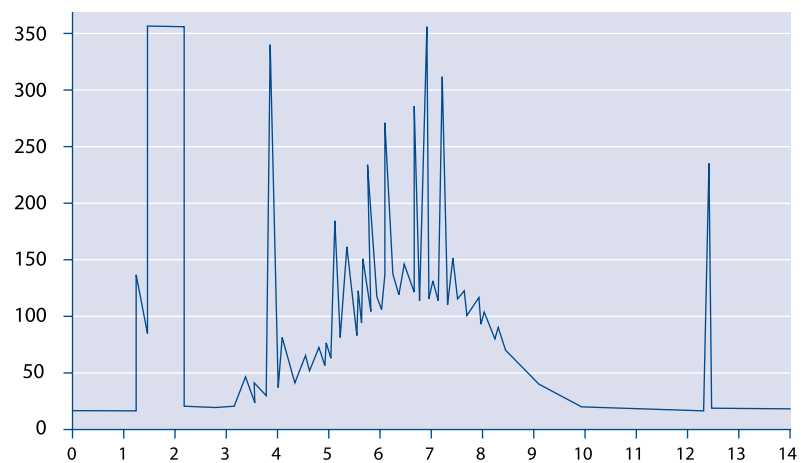
Figuur 5
Olie GC chromatogrammen van verschillende olieproducten
(bron: Laboratorium AL-West)



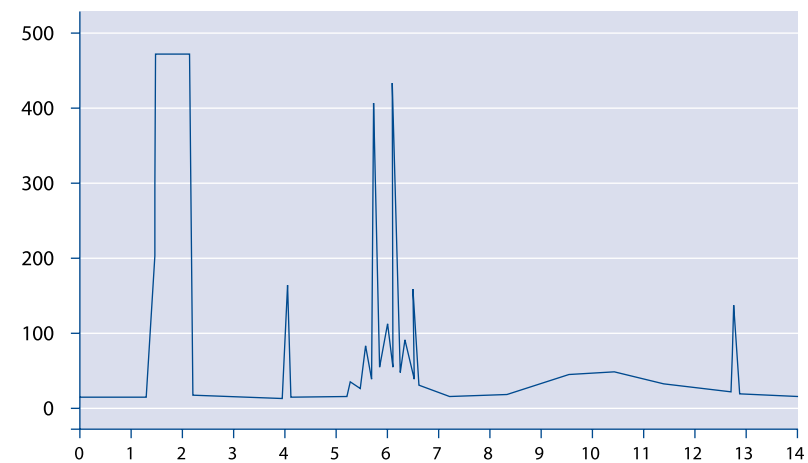
Benzine



Mengsel dieselolie en motorolie



Dieselolie, gasolie of huisbrandolie



Hydraulische olie

4.4 Vervolgonderzoek naar bronzone en pluim

4.4.1 Conventionele technieken

Over het algemeen kunnen verontreinigingen met minerale olieproducten die drijven op het grondwater in de Nederlandse situatie (ondiep grondwater) goed in beeld gebracht worden met de conventionele onderzoekstechnieken. Voor verdere afperking/karakterisering van de bronzone kunnen, afhankelijk van vorm en diepte van verontreiniging, bodemopbouw en doelstelling van het onderzoek, andere dan de reguliere onderzoekstechnieken worden ingezet.

- **Onverzadigde zone**

Voor het onderzoek naar de aanwezigheid van vluchtige koolwaterstoffen in de bodemlucht in de onverzadigde zone kan gebruik worden gemaakt van een PID meter of van een draagbare gaschromatograaf. Voordeel van deze on-site analyse is een direct inzicht in concentraties. Aan de hand hiervan kan de omvang van de ondiepe bronzone direct in het veld worden vastgesteld. Vervolgens kunnen enkele verificatiemetingen plaatsvinden door bemonstering van grond en van reguliere peilbuizen.

- **Verzadigde zone**

Indien de (verticale) bodemopbouw complex is, kan de bodemopbouw verder gekarteerd worden met sonderingen ter plaatse van of eventueel iets buiten het directe brongebied. Hiermee kunnen de verspreidingspaden van het grondwater worden geïdentificeerd. Aan de hand hiervan kan een strategie worden bepaald voor aanvullende grondwaterbemonstering en voor de sanering ervan.

Ook kan met behulp van een geïntegreerd systeem, waarbij sondering en analyse worden gecombineerd, de bronzone nader in kaart worden gebracht. Dat gebeurt met een ROST- of MIP-sondering.

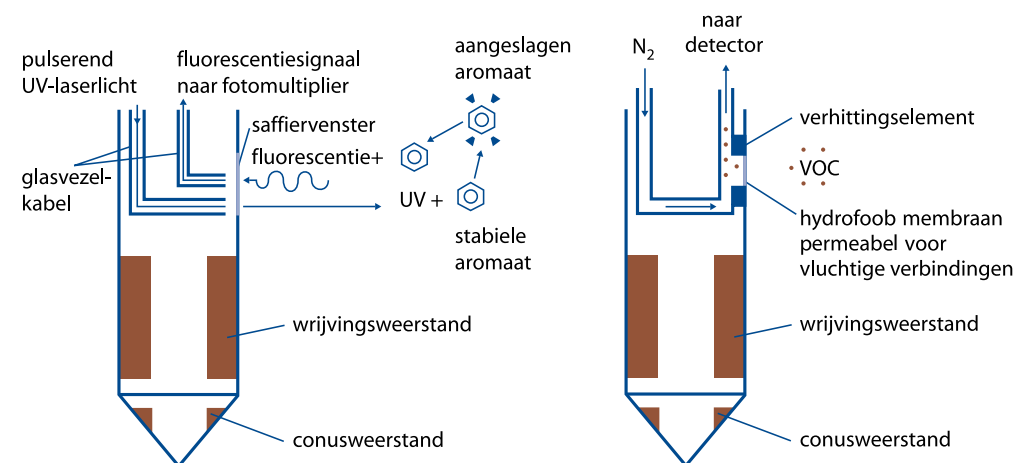


ROST en MIP sondering:
sondeerstang en detectieapparatuur (bron: Tauw)

ROST en MIP

ROST staat voor Rapid Optical Screening Tool en is een techniek waarbij gebruik wordt gemaakt van fluorescerende eigenschappen van olieproducten. De ROST detector kan worden ingebouwd in een sondeerconus. Er zijn meerdere oliedetectie meetsystemen die op basis van dit principe oliegehalten kunnen bepalen. De ROST is met name geschikt voor de detectie van lichte en zwaardere oliehoudende verbindingen in grond en grondwater.

MIP staat voor Membrane Interface Probe en is een onderzoekstechniek gebaseerd op een door warmte gestimuleerd diffuus transport van vluchtige componenten uit de bodem door een membraan. Dit membraan is in de sondeerconus ingebouwd. De door het membraan gediffundeerde componenten worden aan de achterzijde van het membraan in een stikstofgasstroom getransporteerd naar detectieapparatuur in de sondeertruck. De MIP is alleen geschikt voor het in beeld brengen van vluchtige grond- en grondwaterverontreinigingen.



Figuur 6:
Principe ROST techniek (bron: Fugro)

Figuur 7:
Principe MIP techniek (bron: Fugro)

De sondeerconus is tevens uitgerust met de traditionele instrumenten voor het meten van de conusweerstand en wrijvingsweerstand (=de reguliere geotechnische sondering) voor het bepalen van de bodemopbouw. Voordeel van deze techniek is een direct inzicht in concentraties olie en vluchtige verbindingen in relatie tot de diepte (meetwaarde per 2 cm bodemtraject) en de bodemopbouw. Met de ROST techniek kunnen grondverontreinigingen (puur product) en hoge gehalten in het grondwater aangetoond worden. Het detectieniveau van de MIP-sondering ligt doorgaans in de ordegrootte van 100 - 1.000 µg/l. Indien gewenst kunnen na de MIP-sondering enkele verificatiemetingen plaatsvinden door bemonstering van reguliere peilbuizen.

Recoverytesten

Het inschatten van de vracht van verontreiniging in de bodem kan plaatsvinden met behulp van de drijf laagdikte. De dikte van een drijf laag die wordt gemeten in een peilbuis komt echter niet overeen met de daadwerkelijke dikte van de drijf laag in de bodem. De drijf laag bevindt zich in de bodem meestal op en in de capillaire zone. In de peilbuis is geen capillaire zone en daardoor is de dikte van de drijf laag in de peilbuis in de praktijk altijd groter dan de daadwerkelijke dikte in de bodem. Het bepalen van de dikte van een drijf laag in de bodem kan plaatsvinden door een recoverytest. Daarbij wordt de drijf laag uit de peilbuis gepompt en wordt vervolgens bekeken hoe snel de drijf laag weer verschijnt in de peilbuis. Aan hand van het verloop van de afname van de toestroomsnelheid van de drijf laag kan worden bepaald wat de daadwerkelijke dikte is. In klei-bodems kan een (schijnbare) drijf laag worden gemeten, die niet in de bodem aanwezig is!

4.4.2 Nieuwe technieken

- **Diffusiesampler en Sorbisampler (www.diffusiesampler.nl)**
De diffusiesampler is een permeabel membraan in de vorm van een kunststof zak (polyetheen) die is gevuld met water. De sampler wordt opgehangen in een peilbuis ter hoogte van het filter en vervolgens na enkele weken standtijd, als het water in evenwicht is met de omgeving, weer verwijderd en geanalyseerd.

De Sorbisampler is een adsorptiemateriaal dat eveneens in een peilbuis wordt geplaatst en na verloop van tijd weer wordt verwijderd en geanalyseerd.

Beide systemen zijn alternatieven voor het arbeidsintensieve op-pompen van water uit peilbuizen ten behoeve van analyse van vluchtige bestanddelen van olieverontreinigingen. Met name bij diepe peilbuizen kunnen deze bemonsteringsprincipes tijd- en dus kostenbesparingen opleveren. De diffusiesampler is niet toepasbaar voor zwaardere olieverontreinigingen omdat die niet of te langzaam door het membraan diffunderen.

- **Geofysische technieken**

Voor het bepalen van de omvang van brongebieden met olieverontreinigingen zijn in het verleden geofysische technieken zoals de grondradar (GPR) en hoge resolutie seismische metingen getest. Hoewel deze technieken een grote hoeveelheid informatie over de samenstelling van de ondergrond opleveren, hebben de technieken zich niet bewezen voor het opsporen van olieverontreinigingen.

Kosten

De kosten van de verschillende onderzoekstechnieken lopen uiteen en zijn sterk afhankelijk van de aard van de verontreinigende activiteiten en de omvang van de locatie. Er zijn daarom geen algemene indicaties gegeven over de kosten van de inzet van de verschillende technieken.

4.5 Ouderdom en herkomst van olieverontreinigingen

Het bepalen van de ouderdom van een olieverontreiniging is al sinds het begin van de aanpak van bodemverontreiniging een belangrijk thema. Er zijn echter vrijwel geen mogelijkheden om de ouderdom exact vast te stellen. De biologische afbraak van olie varieert sterk in de diverse bodemmilieus en vormt geen betrouwbaar uitgangspunt voor het schatten van de ouderdom. Door verwerking in de bodem kan de samenstelling van het olieproduct wijzigen. Het chromatogram (figuur 5) geeft een indicatie van de samenstelling en kan aangeven in hoeverre verwerking is opgetreden. Bij dieselolie zullen bij verwerking door biologische afbraak de scherpe pieken verdwijnen, terwijl bij lichtere producten zoals benzine het aandeel vluchtige verbindingen kan afnemen en de aromaten samenstelling kan wijzigen (relatief

minder benzeen). Het is echter niet mogelijk om conclusies ten aanzien van de ouderdom te verbinden aan de chromatogrammen, omdat de samenstelling van het olieproduct op een bepaald tijdstip in de bodem sterk afhankelijk is van lokale omstandigheden. Een verontreiniging kan onder de juiste omstandigheden in de bodem (bijvoorbeeld een drijfslag in de verzadigde zone, geen infiltratie van hemelwater, geen afbraak, lage grondwaterstroming) in de bodem tientallen jaren niet van samenstelling veranderen, terwijl in een andere situatie (bijvoorbeeld een oppervlakkige olieverontreiniging in de onverzadigde zone met een open maaiveld) zeer snel van samenstelling kan veranderen.

In de praktijk wordt het onderzoek naar de ouderdom van een verontreiniging gericht op aard en gebruik van de olieproducten en op verspreiding van de verontreiniging:

- **Aard en gebruik olieproducten:**

De aard van de olieproducten kan worden afgeleid aan de hand van de samenstelling van het olieproduct. Het is zelfs mogelijk om een met een fingerprint de verdeling van de koolwaterstoffen gedetailleerd vast te stellen. Over het algemeen wordt deze methode vrijwel niet ingezet voor de standaard olieproducten, zoals benzines, dieselolie en huisbrandolie, omdat met het olie GC-chromatogram al duidelijk is welk product het betreft. Wel kan de methode in potentie gebruikt worden om verschillende olieproducten te onderscheiden.

Aan brandstoffen worden vaak toeslagstoffen toegediend om de prestaties van de brandstof te verbeteren. Bekende voorbeelden zijn loodhoudende verbindingen en MTBE (vanaf 1987). Deze stoffen zijn in specifieke periodes aan brandstoffen toegevoegd en daarmee kan ook de ouderdom van een bodemverontreiniging worden geraamd. Ook het benzeengehalte in benzines is in de loop der jaren geleidelijk afgenomen. Daarnaast worden kleurstoffen in brandstoffen gebruikt die het in bepaalde gevallen mogelijk maken onderscheid te maken tussen olieproducten van verschillende leveranciers.

Isotopen komen in verschillende verhoudingen voor in olie-

producten. De isotopensamenstelling kan een onderscheidend kenmerk zijn van olieproducten en als zodanig worden gebruikt voor het identificeren van olieproducten. In combinatie met historische informatie over het gebruik van het product kan de ouderdom van de verontreiniging worden ingeschat.

- **Verspreiding van de verontreiniging:**

Oliecomponenten kunnen oplossen in water en met de grondwaterstroming meegevoerd worden. Afhankelijk van de eigenschappen van de oliecomponenten (oplosbaarheid, afbraaksnelheid en adsorptie) en de kwaliteit van de geohydrologische gegevens kan een inschatting worden gemaakt van de ouderdom van een grondwaterverontreiniging. Daartoe wordt een geohydrologische en stoftransport modellering uitgevoerd in de retardatiezone. Meestal spitst het onderzoek zich toe op de vluchtige aromatische koolwaterstoffen of toeslagstoffen zoals MTBE, omdat de zwaardere oliecomponenten een lage mobiliteit in het grondwater hebben. De kwaliteit van de uitkomst van deze berekeningen is sterk afhankelijk van de kwaliteit van de hydrologische meetgegevens die ter beschikking staan.



Intermezzo: Locatie Konijnenberg 45 te Breda

Je neemt een garagebedrijf over en vervolgens blijkt de grond waarop het is gevestigd verontreinigd. Niet de voormalige eigenaar Auto van Tellingen B.V. noch de eigenaar van de grond en opstallen zijn verantwoordelijk. Na een juridische procedure wordt je uiteindelijk opgezaald met de kosten van de bodemsanering. Dit overkwam Mart Rüttchen van Autobedrijf Rugee B.V. Voor Emiel Oomen, destijds de eigenaar van de grond en opstallen, was het gewoon een kwestie van gezond verstand, 'bezint eer ge begint' en je eigen verantwoordelijkheid nemen.

Mart Rüttchen:

"De vervuiler betaalt niet"

"Ik ben stom geweest. Ik had Auto van Tellingen niet moeten overnemen, maar eerst failliet moeten laten gaan. Als ik het dan pas had gekocht, dan was ik van alle gedonder af geweest. Nu kwamen er lijken uit de kast en kreeg ik drie maanden na de overname een brief van de gemeente. Inhoud van die brief: de grond onder mijn bedrijf was verontreinigd en of ik maar even passende maatregelen wilde nemen. Ik was stomverbaasd. Bij de overname had Auto van Tellingen me niets van mogelijke verontreinigingen verteld. Ook Emiel Oomen de eigenaar van de grond en opstallen had met geen woord over vervuiling gerept. Ik wist van niks. In mijn beleving was hier dan ook sprake van de categorie 'verborgen gebreken' zoals je dat ook wel eens tegen komt bij de aankoop van een huis. In dat soort gevallen wordt de verkoper alsnog aansprakelijk gesteld. Terecht, denk ik. Maar in mijn geval liep alles anders.

Auto van Tellingen, de feitelijke vervuiler, had nog geld van mij te goed. Dat was ik niet van plan uit te betalen totdat hij die verontreiniging had opgelost. Maar hij pikte dat niet en ging naar de rechter. Die stelde hem in het gelijk en die zaak heb ik dus verloren. Los van de bo-

demsaneringskwestie mocht ik niet zomaar eigenhandig het geld waar hij recht op had inhouden. Het juridisch getouwtrek over de feitelijke sanering heeft jaren geduurd. De toenmalige eigenaar van de grond en opstallen, Emiel Oomen, eiste een schade vergoeding.

Uiteindelijk heb ik op eigen kosten de sanering laten uitvoeren. Via een gespecialiseerd bedrijf. De sanering op zich is buiten verwachting goed gegaan. Het contact met de gemeente verliep vlekkeloos en het bedrijf heeft zich ook keurig aan de begroting gehouden. We hebben zelfs een kleine verontreiniging onder de bebouwing laten weghalen. Anders had ik daar ook weer gedonder mee gekregen. Dat was het laatste wat ik wilde. Het had me al een hoop geld gekost. Wat ik ervan geleerd heb is dat ik bij dit soort transacties altijd vooraf een bodemonderzoek zal laten uitvoeren. Dan weet je precies waar je aan toe bent. Dat neemt overigens niet weg dat ik het raar blijf vinden dat ik voor de saneringskosten moest opdraaien. Ik had de vervuiling niet veroorzaakt. Ik nam slechts de werkmaatschappij over, géén grond noch opstallen, maar toch was ik verantwoordelijk en moest betalen. Een fraaier voorbeeld van 'de vervuiler betaalt niet' kan ik niet bedenken."

Emiel Oomen:

"Eigen verantwoordelijkheid nemen"

"Misschien heeft het te maken met mijn studie. Dat ik daardoor gewend ben in mijn werk nadruk te leggen op structuren en processen en dus op een goede organisatie van het werk. Ik heb namelijk aan de TU Delft aerodynamica gestudeerd. Na mijn afstuderen als vliegtuigingenieur kwam ik tijdelijk in de autobranche terecht. Zoals dat zo vaak gebeurt ben ik daar mijn hele leven in blijven hangen. Eerst bij een Volkswagen-dealer in Breda, later heb ik me gevestigd als zelfstandig ondernemer en heb mijn eigen autoschade- en carosseriebedrijf opgericht. Dat was aan de Konijnenberg 45. Eerst huurde ik daar. Toen de mogelijkheid zich voordeed heb ik de grond en opstallen in eigendom verworven. Een gedeelte had ik in eigen gebruik voor mijn schadebedrijf, een ander gedeelte verhuurde ik aan een garagebedrijf waarvan Mart Rüttchen later eigenaar werd.

Toen Rüttchen door de gemeente aangeschreven werd om de bodemverontreiniging te saneren, begon het gekissebis. Wie was verantwoordelijk en wie draaide dus voor de kosten op? In het begin, met die juridische procedures, waren de verhoudingen best wel grimmig, maar later toen er een uitspraak lag en het gezonde verstand ging zegevieren waren we gewoon 'on speaking terms'. Voor mij was en is het nog steeds zo simpel als wat. Ik vind het vanzelfsprekend dat je bij grondaankopen onafhankelijk van een schonegrondverklaring bodemonderzoek laat verrichten. Vergewis je vooraf van de situatie ter plekke, laat nulmetingen uitvoeren, kijk ook naar het watersysteem en grondwaterstromen.

Mijn uitgangspunt zowel in het gewone leven als in mijn dagelijkse werk is dat iedereen een belangrijke verantwoordelijkheid draagt. Voor zijn gezin, voor zijn collega's of werknemers maar ook voor zijn omgeving. Elke burger heeft een zorgplicht jegens het nageslacht en de toekomstige generaties. Het milieu verdient respect en met het oog op goed rentmeesterschap als erfstuk nagelaten te worden. Zo heb ik ook mijn schade- en carosseriebedrijf gerund en vanaf het begin veel waarde gehecht aan een goed beleid voor kwaliteit, arbeidsomstandigheden en milieu. In die filosofie is er geen ruimte voor 'ik wist het niet'. Je zult te allen tijde je eigen verantwoordelijkheid moeten nemen en je vooraf goed over de dingen moeten informeren. Binnen mijn activiteiten in de Brabantse Zeeuwse Werkgeversorganisatie heb ik die visie ook altijd uitgedragen.

Uiteindelijk heeft Rüttchen na de juridische uitspraak de bodemsanering laten uitvoeren. Helemaal volgens de regels. Zoals het hoort. Een paar jaar na de sanering heb ik mijn bedrijf, de grond en de gebouwen van de hand gedaan. Inmiddels heb ik me op een andere tak van sport toegelegd en zit met een investeringsmaatschappij in het vastgoedbeheer. Ook in die branche is schone grond een schone zaak."



5



Saneringstechnieken

5.1 Inleiding

Olieverontreinigingen kunnen met een groot scala aan (in-situ) saneringstechnieken worden gesaneerd. In dit hoofdstuk worden de diverse saneringsmogelijkheden behandeld aan de hand van de techniekenwaaier van SKB. Globaal zijn er vier basismethoden te onderscheiden:

1. **Ontgraving:** verontreiniging afgraven en on/off site reinigen.
2. **Fysische of extractieve technieken:** verontreiniging actief uit de bodem halen.
3. **Biologische technieken:** (stimulatie van) de natuurlijke afbraak in de bodem.
4. **Chemische technieken:** verontreiniging met behulp van chemicaliën in de bodem actief omzetten naar onschuldige eindproducten.

Om deze saneringsmethoden uit te voeren kennen we een aantal individuele in-situ technieken, die voor verschillende doelen kunnen worden ingezet. Zo kan bijvoorbeeld persluchtinjectie zowel worden ingezet om verontreiniging uit de bodem te strippen (extractief) of ter stimulatie van de aërobe biologische afbraak (biologisch). Bij chemische oxidatie wordt bijvoorbeeld ook vaak de biologische afbraak gestimuleerd.

Daarnaast zijn er diverse hulptechnieken te onderscheiden, hierbij valt te denken aan het verwarmen van de bodem, het inbrengen van surfactants of heet water injectie.

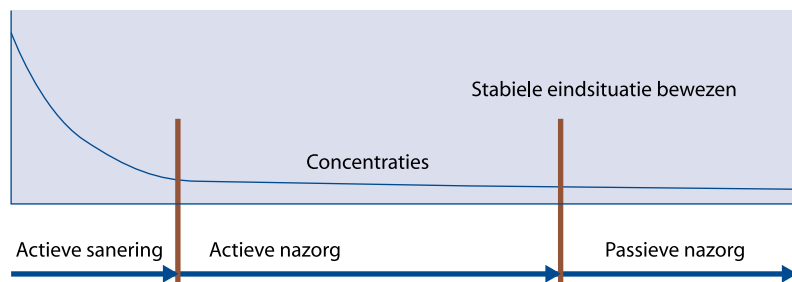
Aan de hand van de techniektafel wordt in dit hoofdstuk van iedere saneringsmethode toegelicht welke individuele in-situ technieken er zijn. In de tabel worden ook per techniek de individuele kenmerken aangeven. Te denken valt hierbij aan geschiktheid voor aanpak van kernen, drijfslagen of pluimen, is de techniek geschikt voor de onverzadigde of verzadigde zone en wat zijn de ervarings- en kostenniveaus?

Elke techniek wordt vervolgens kort beschreven. Daarnaast wordt in dit hoofdstuk aandacht besteed aan algemeen haalbare saneringsdoelen en noodzakelijke kennis om een (in-situ) oliesanering te dimensioneren.

Saneringsconcept

Een goede oliesanering vaak bestaat uit een combinatie van verschillende saneringsmethoden of -technieken. De keuze is daarbij sterk afhankelijk van de lokale situatie en bron- of pluimgebied. Ook in het brongebied worden vaak meerdere technieken toegepast: in het begin drijfllaag- of vrachtverwijdering, gevolgd door stimulatie van de natuurlijke afbraak.

Vrijwel iedere (olie)sanering kent daarnaast een aantal stadia (zie figuur 8).



Figuur 8
Globale stadia oliesanering

5.2 Reële saneringsdoelen

De praktijk heeft geleerd dat olieverontreinigingen met in-situ methoden zelden 100% verwijderd kunnen worden. Alleen door middel van ontgraving kan een verontreiniging volledig worden weggenomen. Ontgraven is door (ondergrondse) infrastructuur echter vaak niet mogelijk of zeer kostbaar. Gelukkig hoeft in het kader van de nieuwe Wet Bodembescherming de bodem ook niet meer volledig schoongemaakt te worden, functiegerichte sanering van de bovengrond en kosteneffectieve sanering van de ondergrond het belangrijkste doel geworden. Actuele humane, ecologische en verspreidingsrisico's moeten worden weggenomen of beheerst. Qua beleid is het accent dus meer verschoven van sanering naar beheersing van risico's.

De vraag is wat voor olieverontreinigingen nu (technisch) reële saneringsdoelen zijn. De in-situ saneerbaarheid van een olieverontreiniging is in ieder geval sterk afhankelijk van de gemiddelde ketenlengte van de olie. Tot C_{12} zijn oliën nog relatief vluchtig, lossen ze nog gemakkelijk op en zijn ze mobiel. Vanaf C_{12} neemt de mobiliteit van een olie sterk af en hecht de olie zich veel meer aan de bodemmatrix. Zie ook hoofdstuk 1, gedrag en verspreiding van olieproducten. In-situ saneringsprocessen vinden bijna altijd plaats in het bodemwater, via opgeloste fracties of puur product in de poriën. Dit betekent dat olieverontreinigingen tot C_{12} nog redelijk (in-situ) te saneren zijn, maar dat zwaardere typen oliën erg lastig te verwijderen zijn.

Door hun beperkte mobiliteit en lage vluchtigheid bestaan voor zwaardere oliën echter gelukkig ook nauwelijks een humaan, ecologisch of verspreidingsrisico.

Over het algemeen kan gesteld worden dat de mobiele, wel in-situ te saneren oliën weliswaar voor een groot deel weggenomen kunnen worden, maar dat hogere saneringsrendementen dan 80 tot 90% technisch vaak erg lastig te bereiken zijn.

Risico's kunnen wel weggenomen worden, maar de streef-, tussen- en zelfs interventiewaarden kunnen vaak niet bereikt worden.

Noodzakelijke informatie voor het beoordelen van de haalbaarheid

Om te bepalen of een sanering noodzakelijk is, en zo ja welke methode en technieken geschikt zijn voor een kern- en/of pluimgebied (conceptuele model), is uiteraard een minimum aan kennis van de locatie en verontreiniging nodig:

- **Bodemopbouw en geohydrologie**
Welk type grondslag is aanwezig, is de bodem zandig of juist kleiig? Is er sprake van veen en van belang is met name of er sprake is van een heterogene bodem. Daarnaast zijn grondwaterstand en grondwaterstromingsrichting en -snelheid van belang voor een goede dimensionering.
- **Bodemmilieu**
Afhankelijk van het type sanering zijn bepaalde aspecten van het bodemmilieu van belang. Voor fysische saneringen is het i.v.m. de waterzuivering belangrijk te weten of er veel ijzer of kalk aanwezig is en wat bijvoorbeeld de zuurgraad, buffercapaciteit en hardheid van het grondwater is. Voor biologische saneringen is het van belang te weten wat de afbraakcondities zijn (zuurgraad, zuurstof, nitraat, sulfaat, ijzerconcentraties, etc). Bij chemische saneringen is ook de zuurgraad, het kalk en ijzergehalte van groot belang, alsmede de aanwezigheid van organische stof of veen.
- **Infrastructuur**
Is de locatie braakliggend of is er juist sprake van een intensieve onder- en/of bovengrondse infrastructuur? Oftewel, kan de verontreiniging eenvoudig worden weg gegraven of is een in-situ aanpak nodig.
- **Type olie**
Uiteraard is het type olie van belang. Zwaardere typen oliën zijn slechts beperkt in-situ te saneren. Hoe mobieler de olie, hoe groter het risico de olie vormt, maar hoe makkelijker een in-situ sanering zal zijn.

- **Risico's**
Bestaat voor de olie überhaupt een risico: humaan, ecologisch en/of qua verspreiding? Dit kan onderzocht worden met het computermodel Sanscrit, maar ook met een oliekarakterisatie of middels controlemetingen (binnenluchtmetingen, grondwaterstroming, etc). Zie ook Hoofdstuk 4.
- **Concentraties, omvang & vracht**
Uiteraard is het van belang te weten wat de verontreinigingsconcentraties zijn, wat de omvang van de verontreiniging is (oppervlakte & diepte) en met name van belang is te weten hoeveel verontreinigingsvracht er is.
- **Geschiedenis**
De ontstaansgeschiedenis is vaak ook van belang om de verspreiding te analyseren en te begrijpen. Daarnaast geeft de ouderdom van een verontreiniging ook informatie over de verspreidingsnelheid en -risico's (§ 4.3.1; historisch onderzoek).
- **Gebruik locatie**
Uiteraard is het gebruik van de locatie van belang om een juiste inschatting te kunnen maken van risico's en spoedeisende wonen met tuin of industriegebied.

5.3 Algemene saneringsmethoden

5.3.1 Ontgraving

Olieverontreinigingen beperken zich door hun karakter vaak tot de ondiepe bodem, de smeerzone, en zijn daarmee vaak eenvoudig bereikbaar voor ontgraving. Afhankelijk van de situatie, omvang en het te behalen saneringsdoel worden verontreinigingen volledig weg gegraven of wordt alleen de kern weggenomen ten behoeve van bronverwijdering.

De ontgraven grond wordt off-site gereinigd of wordt on-site gereinigd, bijvoorbeeld door middel van biopiling (biologische grondreini-



Verwijdering ondergrondse tank
(bron Tauw)

ging). De saneringsduur varieert van dagen tot enkele weken afhankelijk van de omvang. In de Nederlandse situatie is vaak een tijdelijke bouwputbemaling nodig om 'in den droge' te kunnen ontgraven.

De na de grondsanering resterende grondwaterverontreiniging of pluim wordt óf enige jaren op stabiliteit gecontroleerd, óf actief aangepakt door middel van in-situ saneringsmethoden, vaak een pump & treat aanpak of stimulatie van de biologische afbraak.

In geval van drijfslagen is ontgraving vaak een snelle, kosteneffectieve en betrouwbare methode ten opzichte van in-situ methoden. Natuurlijk moet de drijfslaag dan wel eenvoudig bereikbaar zijn voor ontgraving.

Ontgraving heeft wel als nadeel dat dampen vrij kunnen komen, vooral bij vluchtige oliën, drijfslagen of aromatische koolwaterstoffen. Hierdoor wordt de atmosfeer belast en ontstaan blootstellingsrisico's en geuremissies, zowel voor de saneerders als eventuele omwonenden en omgeving.

5.3.2 Fysische, extractieve saneringen

Fysische saneringstechnieken kenmerken zich op mobilisatie en extractie van verontreiniging uit de bodem. Aan grond gebonden verontreinigingen of soms ook puur product zullen altijd eerst in oplossing moeten gaan of verdampen. De vrijkomende verontreinigingen - dampen, verontreinigd grondwater en/of puur product - worden boven maaiveld behandeld.

5.3.3 Biologische saneringen

Biologische saneringstechnieken kenmerken zich door het stimuleren van natuurlijke, biologische afbraakprocessen van verontreiniging. Alleen opgeloste verontreiniging kunnen door micro organismen worden aangepakt. Aan grond gebonden verontreinigingen of puur product zullen dus eerst moeten oplossen.

Aërobe afbraak

Bij toepassing van biologische in-situ technieken worden de olieverontreinigingen volledig onder de grond afgebroken tot onschuldige eindproducten. Actieve stimulatie van olieverontreinigingen vindt vaak plaats door het creëren van een aëroob bodemmilieu, in combinatie met doseren van extra nutriënten. Hierbij ontstaat biomassa, warmte en water en koolstofdioxide.

Anaërobe afbraak

De van nature optredende anaërobe afbraak gaat vaak erg traag en is vaak onvolledig. Stimulatie van anaërobe afbraak van BTEX wordt wel toegepast. In plaats van zuurstof fungeren dan sulfaat of nitraat als de electronenacceptor.

Typen oliën

Alleen de mobiele, lichtere oliefracties en aromatische componenten zijn aëroob goed biologisch afbreekbaar tot een ketenlengte C_{10} , hooguit C_{12} . Anaërobe afbraak is tot op heden alleen van aromatische verbindingen aangetoond.

Gefaseerde aanpak

Wanneer sprake is van een zeer ernstige olieverontreiniging bijvoorbeeld met puur product, dan wordt stimulatie van de natuurlijke afbraak vaak als tweede fase van een sanering ingezet. Eerst wordt dan de bulk van de verontreiniging verwijderd door middel van fysische en/of chemische saneringstechnieken. De restverontreiniging wordt dan door middel van gestimuleerde of natuurlijke afbraak biologisch verwijderd.

Bij biologische gestimuleerde saneringen is bovengronds geen lucht-en/of waterzuivering nodig. Zie de techniektafel welke individuele in-situ technieken geschikt zijn om een biologische sanering uit te voeren.

5.3.4 Chemische saneringen

Chemische saneringen kenmerken zich door het afbreken van de verontreinigingen door injectie van oxidatieve of reductieve chemicaliën. Olie- en aromatenverontreinigingen worden oxidatief gereduceerd door injectie van waterstofperoxide (Fenton's reagents), ozon of combinaties hiervan. Dit proces wordt ook wel in-situ chemische oxidatie genoemd (ISCO). Andere oxidatiemiddelen zijn natrium- of kaliumpermanganaat of (geactiveerde) persulfaat.

Met uitzondering van waterstofperoxide - dat vaak in grote hoeveelheden wordt geïnjecteerd - kunnen alleen opgeloste verontreinigingen door de chemicaliën worden aangepakt. Aan grond gebonden verontreinigingen of puur product zullen dus eerst moeten oplossen. De doorlatendheid, heterogeniteit en matrixbehoefte bepalen mede het rendement van de sanering. Andere aandachtspunten zijn mogelijke aantasting van ondergrondse infrastructuur en oxidatie van veenlagen met mogelijk zettingen als gevolg.

Typen oliën

Net als bij biologische processen zijn alleen de mobiele, lichtere oliefracties en aromatische componenten zijn aëroob goed chemisch afbreekbaar tot een ketenlengte C_{10} , hooguit C_{12} .

Bij olie- en aromatenverontreinigingen wordt meestal Fenton's reagents als oxidatiemiddel gebruikt. Meer informatie over chemische oxidatie kan gevonden worden in de paragrafen 5.4.10 t/m 5.4.12 en in het Cahier 'ISCO, In-situ chemische oxidatie'.

5.4 Individuele saneringstechnieken

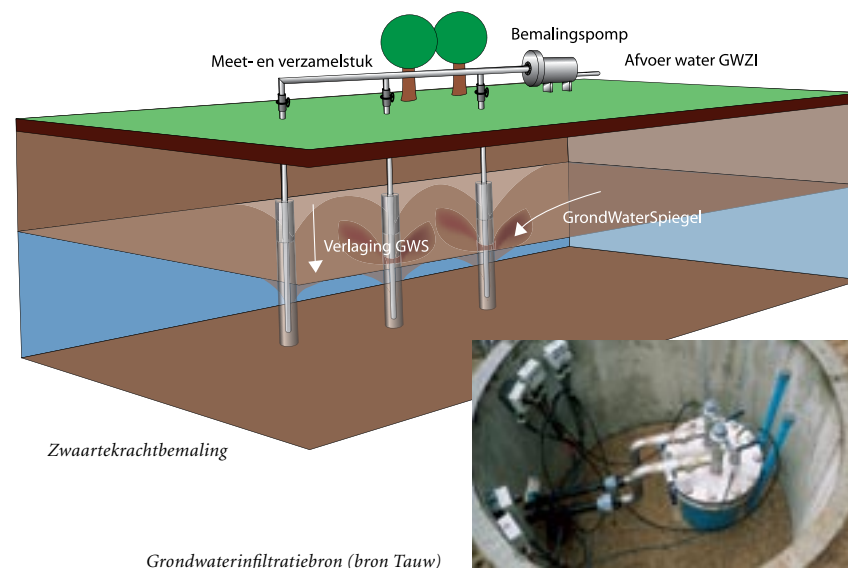
In de techniektafel zijn de individuele technieken op hoofdlijnen geordend. In deze paragraaf wordt meer inhoudelijk op enkele technieken ingegaan.

5.4.1 Klassieke grondwateronttrekking en/of infiltratie

Bij oliesaneringen wordt vaak één of andere vorm van grondwateronttrekking toegepast. Het saneringsprincipe bestaat hierbij uit het simpelweg steeds doorspoelen van de verontreinigde zone met schoon grondwater van buiten de vlek. Deze techniek wordt ook vaak 'pump & treat' genoemd.

De klassieke grondwateronttrekkingssystemen betreffen zogenaamde zwaartekrachtbemalingen, waarbij het grondwater onder invloed van stijghoogteverschil - en dus de zwaartekracht - naar een onttrekkingsfilter toestroomt. De onttrekking geschiedt met behulp van een onderwaterpomp of met behulp van een inhangers en een boven maaiveld opgestelde (centrale) plunjerpomp of -zuigerpomp. Met behulp van een zuigerpomp kan ook een vacuumbemaling plaatsvinden, waarbij de bronnen geheel onder het grondwatervniveau verfiltert zijn.

Het onttrokken grondwater wordt vaak eerst gezuiverd alvorens het kan worden geloosd op riolering of oppervlaktewater. Soms wordt het onttrokken water weer geïnfilteerd. Infiltratie vraagt echter vaak een



extra zuiveringsstap, vooral qua ijzer en/of slibdeeltjes om dichtslibbing van de infiltratiefilters te voorkomen.

Doordat het in oplossing gaan van verontreiniging langzaam gaat, is deze saneringstechniek niet geschikt voor het aanpakken van kernen. De techniek is geschikt voor sanering van pluimen, waar de verontreinigingen al in oplossing zijn (zie conceptueel model). Ook wordt met een klassieke grondwateronttrekking niet de smeerlaag doorspoeld. De smeerlaag is de zone rondom grondwaterstand waarin zich meestal de bulk van de olieverontreiniging bevindt. Ook daarom is deze techniek niet geschikt voor kerngebieden.

Drijfslaagverwijdering

Soms wordt een zwaartekrachtbemaling ook gebruikt om drijfslaag te verwijderen. Het idee is dan dat door de grondwaterdaling de drijfslaag zich in de onttrekkingsbron verzameld. Daar kan het dan centraal worden afgeroomd. De praktijk heeft echter geleerd dat drijfslagen zich in dergelijke systemen vaak maar moeizaam verzamelen. De zwaartekracht is dan de drijvende kracht, die te klein is om een drijfslaag tegen de heterogeniteit en weerstand van de bodem in beweging te brengen. Alleen bij heel mobiele typen verontreinigingen, heel goed doorlatende zand/grindbodems en heel veel verontreiniging heeft deze methode van drijfslaagsanering een kans.

Biologische stimulatie

Bij bodemsaneringen is het belangrijk om daar te saneren waar de verontreiniging zich bevindt. Om micro-organismen te stimuleren moeten additionele voedingsstoffen dus ter plaatse van de verontreiniging gebracht worden. Grondwater is hierbij vaak een transportmiddel. Het kan worden ingezet ter stimulatie van aërobe of anaërobe afbraakprocessen. Extra voedingsstoffen, zoals nutriënten (N & P-bron), opgeloste zuurstof(zouten) of - bij anaëroob gestimuleerde afbraak - nitraat of sulfaat, worden door middel van een grondwateronttrekking door het bodempakket verspreid. Injectie van de voedingsstoffen kan periodiek geschieden (shock load dosering) of continue via infiltratiemiddelen.

De onttrekking/infiltratie kan worden gestopt zodra de voedings-

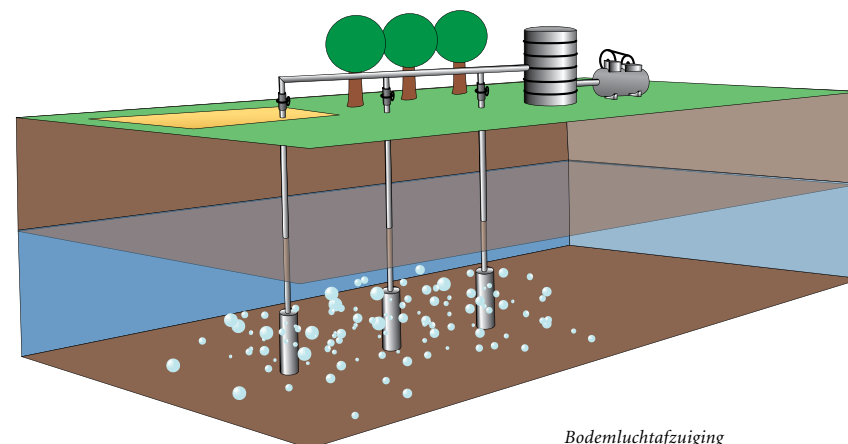
stoffen voldoende verspreid zijn. Bij continue infiltratie van opgeloste nutriënten etc. is dichtslibbing van de infiltratiefilters een belangrijk aandachtspunt voor het ontwerp.

5.4.2 Bodemluchtafzuiging

Een andere, bijna klassieke, in-situ saneringstechniek is bodemluchtafzuiging. Hierbij worden in de onverzadigde zone filters geplaatst waaruit bodemlucht wordt onttrokken. Net als bij grondwateronttrekking bestaat het saneringsprincipe uit het steeds opnieuw doorspoelen van het verontreinigde gebied met schone omgevings- of atmosferische lucht.

De onttrokken bodemluchtdampen worden vaak bovengronds gezuiverd, alvorens deze conform de Nederlandse Emissie Richtlijnen (NER) in de atmosfeer geloosd mogen worden. De methode is uiteraard alleen toepasbaar ter verwijdering van vluchtige oliecomponenten. In de praktijk betekent dit dat tot ongeveer C_{12} behandelbaar is.

Bodemluchtafzuiging kan ook effectief zijn ter stimulering van verdamping van puur product. Net als bij grondwateronttrekking moet altijd gerealiseerd worden dat de smeerzone moeilijk doorspoelbaar is; door de hogere weerstand zal hier gewoon minder lucht doorstromen dan door de hogere delen van de onverzadigde zone.



Bodemluchtafzuiging



Afhankelijk van dikte van de onverzadigde zone en de bodemgesteldheid worden bodemluchtextractiefilters in de praktijk op 4 tot max. 10 meter van elkaar geplaatst. Bij dunne onverzadigde, slecht doorlatende bodems is het invloedsgebied het kleinst.

De bodemluchtfilters worden bovengronds aangesloten op een centrale bodemlucht afzuigunit. Globaal bestaat deze uit een meet- en verzamelstuk, een vochtscheider en een ventilator.

Bioventing

Bioventing is in feite hetzelfde als bodemluchtafzuiging in de onverzadigde zone, maar dan met als doel beluchting ter stimulatie van aërobe afbraak. De onttrekkingsdebieten kunnen daarbij gering zijn, juist voldoende om voldoende zuurstof in de bodem te brengen en in ieder geval zodanig laag dat de bodem niet uitdroogt.

5.4.3 Meer Fasen Extractie (MFE)

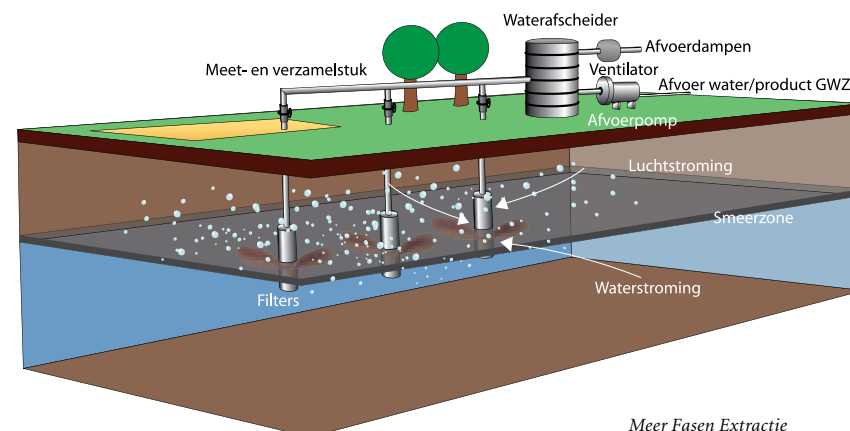
Meer Fasen Extractie wordt ook wel Twee Fasen Extractie (TFE) of Drie Fasen Extractie (DFE) genoemd. Ook termen als bioslurping worden voor deze techniek gebruikt. Bij MFE wordt op korte filters een hoog vacuüm aangebracht. De filters worden in de smeerzone geplaatst, deels in het grondwater en deels net erboven. Door het hoge vacuüm wordt een mengsel van bodemlucht en grondwater onttrokken (TFE). Dit systeem is ook uitermate efficiënt ter verwijdering van drijflagen (DFE). Ook wat minder mobiele drijflagen zoals bijvoorbeeld een diesilverontreiniging kan met deze techniek worden gesaneerd.

Door het hoge vacuüm stroomt een maximale hoeveelheid bodemlucht en grondwater toe, zoveel als de betreffende bodem kan leveren. De filters worden hierbij sneller leeggezogen dan grondwater en/of product kan toestromen, hierdoor ontstaat een erg dynamisch onttrekkingsregiem en verminderd de kans op voorkeurstromen. Doordat de filters specifiek in de smeerzone worden geplaatst wordt in tegenstelling tot een klassieke grondwater- of bodemluchtonttrekking deze zone ook veel effectiever aangepakt.

Het saneringsprincipe achter MFE is eveneens het doorspoelen van de verontreinigde zone met schone omgevingslucht of schoon omgevingswater. Daarnaast wordt een hoge onderdruk aangelegd waardoor de toestroming en verdamping maximaal is. Deze techniek is met name efficiënt door de gerichte onttrekking in de smeerzone.

Eenmaal bovengronds worden dampen en grondwater/product van elkaar gescheiden. Beide stromen worden vervolgens gezuiverd alvorens te worden geloosd. Een nadeel van MFE is de gecombineerde onttrekking van dampen, grondwater en puur product.

Doordat de filters in de smeerzone worden geplaatst, hebben ze slechts een beperkt invloedsgebied. Voor een effectieve MFE (drijfslag)



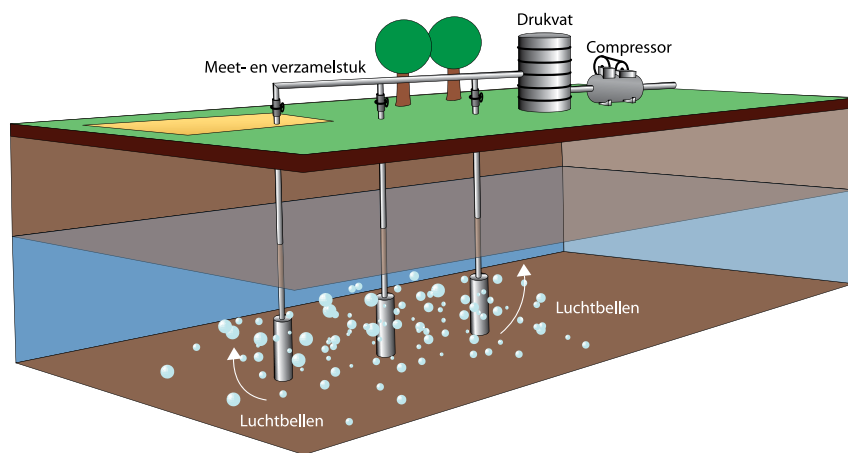
sanering dienen de filters om de 3 tot 5 à 6 meter afstand geplaatst te worden, afhankelijk van de lokale bodemopbouw. De MFE unit bestaat meestal uit een meet- en verzamelstuk, een vochtscheider met automatische afvoerpomp en een hoge onderdruk ventilator (tot bijna absoluut vacuüm).

Bioslurping

Bioslurping is een bepaald soort Meer Fasen Extractie (MFE) waarbij de smeerzone intensief wordt belucht. Deze methode is geschikt om juist deze bodemzone actief te beluchten. Door middel van MFE wordt de smeerzone intensief belucht, zodat deze methode geschikt is om juist deze bodemzone actief te beluchten. Het MFE systeem heeft dan tot doel de aërobe afbraak te stimuleren.

5.4.4 Persluchtinjectie (in-situ strippen)

Als persluchtinjectie wordt ingezet ter mobilisatie van verontreiniging dan is het saneringsprincipe het 'in-situ' strippen van de verontreinigingen. Bij het doorstromen van de bodem met lucht verdampen verontreinigingen van de water- naar de luchtfase. Om de vrijkomende dampen af te vangen wordt deze techniek daarom altijd gecombineerd met Multi Fasen Extractie of bodempluchtafzuiging.



Persluchtinjectie

Alleen mobiele, vluchtige oliecomponenten zijn middels persluchtinjectie in-situ uit de bodem te strippen. De persluchtfilters worden bovengronds aangesloten op een centrale persluchtinjectie unit. De persluchtunit bestaat uit een meet- en verzamelstuk, aangesloten op een olievrije compressor.

De benodigde filterafstanden zijn sterk afhankelijk van de lokale situatie zoals bodemopbouw, grondwaterstand en heterogeniteit. Bij de gemiddelde olieverontreiniging in Nederland met een grondwaterstand van 2-3 m beneden maaiveld worden de filters meestal geplaatst op 6 à 7 m beneden maaiveld, op ca. 4-5 meter afstand van elkaar.

Air sparging

Door injectie van perslucht worden niet alleen verontreinigingen uit de bodem gestript, maar wordt natuurlijk ook de bodem belucht zodat aërobe afbraakprocessen worden gestimuleerd. Het effect van air sparging kan worden vergroot door toepassing van micropore filters. Door de kleinere luchtbelletjes ontstaat er dan een groter uitwisselingsoppervlak en kan zuurstof beter in oplossing gaan.

5.4.5 Stimulatie aërobe afbraak: periodieke of shock load injecties

Behalve door (continue) injectie van perslucht kan in de verzadigde zone de aërobe afbraak ook door periodieke of eenmalige injectie van zuurstofbronnen worden gestimuleerd.

Oxygen Release Compound (ORC®)

ORC is een fosfaat-magnesiumperoxide verbinding die na eenmalige injectie in grondwater over een periode van ca. 12 maanden gecontroleerd zuurstof afstaat aan zijn omgeving. Voordeel van deze techniek is dat slechts een eenmalige of periodieke dosering volstaat en er geen bovengrondse installaties nodig zijn.

Zuurstofafgeevende zouten

Als alternatief voor ORC® kunnen ook zuurstofafgeevende zouten worden geïnjecteerd: calciumperoxide of natriumpercarbonaat. Deze zouten geven eveneens langzaam zuurstof af. Met injectie van deze zouten is in Nederland nog weinig praktijkervaring.

ISOC®

Bij ISOC® wordt via een microporeus filter 100% zuivere zuurstof in de bodem geïnjecteerd.

Injectie waterstofperoxide

Bij injectie van waterstofperoxide treedt niet alleen chemische afbraak op, maar zal een overgroot deel van de geïnjecteerde waterstofperoxide ontlede in zuurstof en water. De zuurstof kan hierbij een prima bron vormen voor aërobe biologische afbraak. ISCO (In Situ Chemische Oxidatie) wordt soms ook wel gecombineerd met BISCO, waarbij de 'B' staat voor de aërobe biologische afbraak van restverontreinigingen die achterblijven bij chemische oxidatie.

Zowel bij ORC®, zuurstofafgevend zouten, ISOC® als BISCO kunnen in theorie oververzadigde zuurstofconcentraties worden bereikt: >10 mg/l. De zuurstof wordt in principe via diffusie of de natuurlijke grondwaterstroming verspreid. Uiteraard kan extra verspreiding door middel van grondwateronttrekking versneld worden. Met uitzondering van BISCO zijn de hoeveelheden zuurstof die worden ingebracht vaak gering. Hoewel met continue injectie van perslucht geen oververzadigde zuurstofconcentraties kunnen worden bereikt, kan met een dergelijk systeem kosteneffectief in totaal wel veel meer zuurstof worden ingebracht. ORC®, zuurstofafgevend zouten, ISOC® zijn daarmee vooral geschikt voor locaties met lage vrachten en vooral nog opgeloste (rest)concentraties. Met persluchtinjectie en BISCO kunnen grotere vrachten biologisch verwijderd worden, doch is niet geschikt voor het verwijderen van puur product.

Anaërobe afbraak: periodieke of shock load injecties

Aromatische koolwaterstoffen zoals benzeen of toluen kunnen ook anaëroob afgebroken worden. De afbraak vindt dan plaats onder ijzer, nitraat of sulfaat reducerende omstandigheden. Door (periodieke) inbreng van nitraat of sulfaat kan dit afbraakproces gestimuleerd worden. Zowel nitraat als sulfaat kunnen in zeer hoge concentraties worden opgelost en kunnen zo makkelijk in de bodem worden geïnjecteerd. Een (tijdelijke) grondwateronttrekking kan ingezet worden om de hulpstoffen versneld te verspreiden.

Ook hier geldt dat de techniek alleen kans van slagen heeft bij lage vrachten en opgeloste concentraties.

5.4.6 Hulptechniek: warmte (elektro-reclamatie)

In de Nederlandse bodem is de grondwater en bodemtemperatuur ca. 10 °C. Biologische processen verlopen veel sneller bij 30 - 40 °C. Een biologische gestimuleerde sanering zal daarom veel beter verlopen als de bodem wordt verwarmd. Verwarming kan op meerdere manieren geschieden. Een regelmatig gebruikte methode is Elektro-reclamatie, waarbij via elektroden middels wisselstroom de bodem wordt opgewarmd. Andere methoden zijn 'Six Phase Heating' (ook elektrische verwarming - zie § 5.4.9)) of verwarming door injectie van waterstofperoxide, waarbij naast chemische oxidatie ook zuurstof, water en warmte vrij komt.

5.4.7 Hulptechniek: surfactants

Micro organismen kunnen alleen opgeloste verontreinigingen afbreken. De inbreng van surfactants kan helpen gebonden verontreinigingen beter in het grondwater op te lossen en daarmee bereikbaar te maken voor biologische afbraak. De techniek wordt in de praktijk niet veel (meer) toegepast. Surfactants worden opgelost in onttrokken en gezuiverd grondwater en vervolgens via infiltratie in de bodem gebracht.

5.4.8 Stoom gestimuleerde extractie

Bij stoom gestimuleerde extractie (SGE) wordt de bodem horizontaal met stoom doorspoeld. Er wordt gebruik gemaakt van een raster van stoominjectiepunten en centrale extractiepunten waar (heet) water, product en stoomdampen worden onttrokken. Door de opwarming wordt de verdamping van de verontreiniging versneld, de oplosbaarheid verhoogd, de desorptie versneld en de viscositeit verlaagd. Bovengronds worden puur product, water en luchtdampen van elkaar gescheiden, gecondenseerd en gereinigd. De techniek is met name geschikt bij hoge concentraties aan verontreinigingen (drijflagen). Wel dient de zuivering geschikt te zijn om in korte tijd veel verontreinigingsvracht te verwerken.

5.4.9 Six Phase heating

Bij Six Phase heating wordt de bodem opgewarmd door middel van elektrodes. Deze techniek maakt gebruik van de elektrische weerstand van de bodem. De bodem kan zover worden opgewarmd dat als het ware 'in-situ' stoom wordt gemaakt. De techniek is met name geschikt bij minder goed doorlatende bodems.

Zowel bij SGE als bij Six Phase Heating is een degelijk ontwerp van de extractiemaatregel zeer belangrijk om controle te houden over de richting van het stoomfront. Dit om onveilige situaties te voorkomen.

5.4.10 Chemische oxidatie met Fenton's reagents

Fenton's reagents wordt vooral ingezet als er sprake is van grote verontreinigingsvracht (bronverwijdering). Fenton's reagents is een combinatie van waterstofperoxide en tweewaardig ijzer. Het tweewaardig ijzer fungeert als katalysator voor de oxidatie van verschillende verbindingen met behulp van waterstofperoxide. Hierdoor ontstaan (zeer) reactieve hydroxylradicalen volgens onderstaande reactie:



Invloedsstraal in situ chemische oxidatie, zichtbaar na ontgraving (bron Tauw)

De kracht van de gevormde hydroxylradicalen schuilt in het verbreken van C=C, C-C en C-H bindingen, welke volop aanwezig zijn in organische verontreinigingen. De ringstructuur van aromatische verbindingen worden makkelijker aangepakt dan de ketens van alifatische verbindingen.

Het hydroxylradicaal is een zeer krachtige, niet selectieve oxidant. Het reageert snel en levert vaak volledige afbraak op met als eindproducten H_2O en CO_2 . Door de exotherme reacties wordt vaak ook product gemobiliseerd (dampen). Deze saneringsmethode wordt daarom vaak toegepast in combinatie met bodemluchtafzuiging.

Modified Fenton's Reagents

Bij de modified Fenton's Reagents is de waterstofperoxide in een soort gel verpakt, waardoor deze minder snel reageert, langer actief blijft en bij hogere pH actief z'n werking behoudt. De reactiekracht neemt er wel wat door af.

Bij inbreng van waterstofperoxide zal een (groot) deel van de ingebrachte oxidanten door zelfontleding vervallen naar zuurstof. Deze ingebrachte zuurstof zal tevens een positieve werking hebben op de natuurlijke afbraak. Aangetoond is dat chemische oxidatie de bodem niet steriliseert, en dus eerder een positief effect heeft op de biologische afbraakprocessen.

5.4.11 Chemische oxidatie met ozon en perozone

Ook ozon of ozon in combinatie met waterstofperoxide (Perozone) kan als oxidatiemiddel worden ingezet. In tegenstelling tot Fenton's Reagents wordt ozon als gasvorm ingebracht, eventueel dus in combinatie met een waterstofperoxide-oplossing. De productie van ozon is vaak relatief laag. De techniek is daarmee met name geschikt bij lage verontreinigingsvrachten of alleen opgeloste concentraties.

5.4.12 Chemische oxidatie met permanganaat

In theorie kunnen aromatische verontreinigingen ook met natrium- of kaliumpermanganaat worden geoxideerd. Permanganaat heeft echter een wat lagere oxidatiekracht en wordt waarschijnlijk om die

reden ook niet veel toegepast bij olie/aromaten verontreinigingen. Permanganaat heeft als voordeel dat het lang reactief is. De techniek is daarmee met name geschikt bij lage verontreinigingsvrachten of alleen opgeloste concentraties.

5.5 Belangrijke technische aandachtspunten

Voor iedere sanering kan gesteld worden dat de volgende aandachtspunten belangrijk zijn:

- **Intermitterende systemen**
Continue onttrekken of injecteren leidt tot de vorming van voorkeurstromen en slechte saneringsrendementen. Door middel van timers en/of gestuurde afsluiters worden de saneringssystemen daarom bij voorkeur discontinue geschakeld.
- **Gerichte systemen**
Het klinkt logisch, maar er moet daar gesaneerd worden waar de verontreiniging zit. Dit betekent dat saneringsfilters gericht geplaatst moeten worden, in de juiste verontreinigde bodemlaag om voedingsstoffen, oxidanten of zuurstof daar te brengen waar ze hun werk moeten doen.
- **Intensief saneringssysteem**
Saneringsfilters hebben over het algemeen maar beperkte horizontale invloed. Vaak zijn voor effectieve oliesaneringen om de paar meter saneringsfilters nodig. Uiteraard moet de verontreiniging vlakdekkend worden voorzien van de benodigde filters.
- **Continue monitoring & bijsturing**
Een goede sanering verdient continue aandacht: bemonsteringen van in/effluent, grond en grondwater. De resultaten moeten deskundig geïnterpreteerd worden en indien nodig moet de aanpak van de sanering worden bijgesteld. Dit kan variëren van het herinregelen van de bestaande saneringssystemen tot het bijplaatsen van extra filters en apparatuur of het inzetten van een alternatieve techniek. Processturing van een (in-situ) bodemsanering dient

plaats te vinden onder BRL 6001 of 6002. Een cyclische aanpak van meten & bijsturen van de sanering heeft de voorkeur.

5.6 Saneringsduur

De saneringsduur van een oliesanering hangt uiteraard *sterk* af van de lokale situatie, het saneringsdoel dat nagestreefd wordt en de ingezette techniek. Enkele globale saneringstermijnen zijn wel te noemen:

Over het algemeen kan worden gesteld dat chemisch oxidatieve saneringen (Fenton's) het snelst verlopen. Vaak zijn 2-3 oxidatieronden voldoende, die ieder ca. 1 maand in beslag nemen. De oxidatieve sanering kan daarmee vaak beperkt worden tot ca. ½ jaar. Oxidatieve saneringen worden meestal in brongebieden toegepast. Ook andere intensieve brontechnieken geven snel resultaat, zoals bijvoorbeeld Stoom Gestimuleerde Extractie of Six Phase Heating. Opgemerkt moet wel worden dat na een bronsanering vaak nog wel een rest- of pluimsanering nodig is, die extensiever wordt aangepakt, en dus ook veel langer duurt en daarmee maatgevend is voor de totale saneringsduur.

Als er sprake is van een drijfslag, dan duurt het afhankelijk van de dikte en omvang normaliter 1-2 jaar voordat deze volledig weggenomen is (MFE). De resterende sanering die wordt uitgevoerd met bijvoorbeeld bodemluchtafzuiging, persluchtinjectie, grondwateronttrekking of aërobe biologische stimulatie duurt daarna vaak nog 2-3 jaar. Langer dan 3-4 jaar saneren of meer dan 3-5 keer doorspoelen levert vaak geen aanvullend rendement meer op, mits de sanering op juiste wijze wordt uitgevoerd en wordt bijgestuurd.

Onder de huidige Wet Bodembescherming moet worden gestreefd naar een nazorgloze, stabiele eindsituatie. Dit betekent dat de actieve sanering kan stoppen zodra verwacht wordt dat de restconcentraties stabiel zijn. Om deze stabiliteit te controleren en te bewijzen is actieve nazorg nodig: vaak bestaande uit periodieke monitoring van peilbuizen. Voor deze actieve nazorg wordt met het bevoegde gezag vaak een periode afgesproken van meerdere jaren.

Intermezzo: Risico's tussen Afrika en Assen

Er werken maar liefst 1800 mensen waarvan een groot gedeelte in het imposante hoofdkantoor aan de Schepersmaat in Assen. In 2005 heeft het bedrijf zo'n 55 bodemsaneringsprojecten uitgevoerd waarvan 14 zijn afgerond en in totaal 181.000 ton grond is afgegraven. De Nederlandse Aardolie Maatschappij neemt haar zorgplicht richting mens en milieu serieus. Hans Huissoon en Auke van der Veen beiden als senior civil and structural engineer in dienst van de NAM: "In de loop der tijd hebben we ons mede ontwikkeld tot een belangrijk expertisecentrum op het terrein van bodemsanering en bodembeheer. De risicobeleving verschilt vaak van plaats tot plaats en van land tot land. In het ene land gaan we niet ver genoeg met onze maatregelen in het andere land veel te ver naar de mening van de bewoners. Het is maar goed dat we naast wetgeving onze eigen interne milieustandaard-voorschriften hanteren."

"Onze bodemsaneringactiviteiten spelen zich af op die terreinen waar we olie en gas hebben gewonnen. Daar kan bijvoorbeeld op de een of andere manier olie in de bodem terechtgekomen zijn die daar weg moet. Ons uitgangspunt is om in overleg met de oorspronkelijke eigenaar en overheid de terreinen altijd zoveel mogelijk in aanvaardbare staat op te leveren. In onze aanpak gaan economische ontwikkeling, milieubescherming en maatschappelijke verantwoordelijkheid hand in hand. Dat zijn belangrijke pijlers van ons bedrijf. Daarbij gaat het altijd om het vinden van een subtiel evenwicht en tussen financiële inspanningen en milieurendement. Soms schiet die balans door. Bij de uitvoering van ons werk komen we regelmatig obstakels tegen die adequate oplossingen in de weg staan. In onze beleving worden de risico's van olie in de bodem door de Nederlandse wetgever soms overschat. Uiteraard zijn die risico's legio: op het terrein van volksgezondheid, milieu, natuur en ecologie. Zonder de problematiek te kort te doen

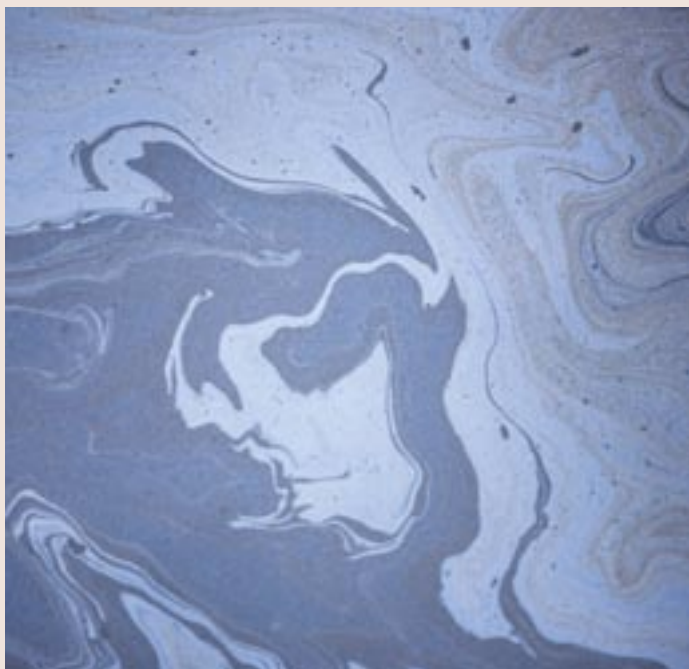
moeten we niet vergeten dat olie een natuurlijk product is dat in het algemeen, afhankelijk van de soort olie, vrij goed wordt afgebroken in de bodem. De natuur weet daar wel raad mee. In dat opzicht is de vraag legitiem of we niet overvraagd worden."

Van knellend keurslijf naar flexibel maatwerk

"Na de gifaffaire in Lekkerkerk was de eerste reactie van de overheid: 'Dat nooit meer'. Tot op de millimeter zijn toen normen en streefwaarden in de wet- en regelgeving verankerd. Dat ging heel ver. Gezien de ernst van de situatie toen was dat overigens niet onbegrijpelijk. Maar in de dagelijkse praktijk werkte die wet onvoldoende. De ene situatie is echter de andere niet; twee identieke situaties zijn we in bodemsaneringsland nog nooit tegen gekomen. Het is de bedoeling van de wetgever om met zijn wetgeving een bijdrage te leveren aan de oplossing van het probleem. Maar door het harde en dwingende karakter van de wet was er weinig ruimte voor flexibel maatwerk. Voor het realiseren van creatieve oplossingen was weinig plaats. De wetgever heeft in de loop der jaren zijn beleid wel enigszins aangepast. Het credo is nu 'standaard waar het kan en maatwerk waar het moet'. Onze voorkeur gaat echter uit naar een kaderwet die de einddoelen vastlegt en tegelijkertijd ruimte laat voor flexibiliteit in de wijze waarop je die doelstellingen haalt. Op deze manier kun je resultaat boeken en blijft de verhouding milieu-investeringen en milieurendement voortdurend in evenwicht. Een en ander neemt overigens niet weg dat we altijd per definitie binnen het kader van de wet werken."

Succes- en faalfactoren

"De ene overheid is de andere niet. De ene overheid is in de vergunningverlening en handhaving wat flexibeler dan de andere. De ene creëert ruimte, de ander doet de deur direct op slot. De broodnodige rek hebben we nodig om tot werkbare oplossingen te komen. Een positief praktijkvoorbeeld is de bodemsanering in het gebied IJsselmonde - Ridderkerk. Met de gemeente Rotterdam zijn destijds prima werkbare afspraken gemaakt over de wijze van oplevering van terreinen. Afspraak in de huurovereenkomst was dat we na afronding van ons werk het terrein zouden achterlaten zoals we het hadden aangetroffen. Complicatie was dat het gebied ooit landbouwgebied



was en zoveel jaar na dato tot een stedelijk gebied was uitgroeid. Dat is natuurlijk heel wat anders. Toch zijn we daar samen met de gemeente Rotterdam goed uitgekomen. Het succes had alles te maken met respect voor elkaars positie en belang. Dat vormt de basis voor vertrouwensrelatie en die is onontbeerlijk om samen tot oplossingen te komen. Ook een open en transparante communicatie is een belangrijke randvoorwaarde. Het tegenovergesteld is ook waar. Als je niet van elkaar weet wat je positie, belang en doel zijn, dan wordt de samenwerking een kansspel. En dat is nooit de bedoeling als je serieus samen naar een oplossing voor een complexe bodemvervuiling streeft.”

Van sanering naar bodembeheer

“We zijn nu hard bezig om de historische bodemverontreinigingslocaties aan te pakken. Daar zijn we vrij ver mee. We hebben alles in kaart

en de urgente gevallen zijn aangepakt. In ons beleid en aanpak ligt de nadruk meer en meer op voorkomen en preventie. Het gaat steeds minder om het feitelijke opruimen en saneren, maar de kunst bestaat er vooral uit om verontreinigingen zoveel mogelijk te voorkomen. Er is duidelijk een trend zichtbaar die gaat van bodemsanering naar bodembeheer. Dan moet je denken aan een pakket van beheersmaatregelen, variërend van afscherming en onderhoud tot en met bewustwording. De enorme expertise die we de afgelopen 15 à 20 jaar hier in Nederland hebben opgebouwd is niet vergeefs en gaat niet verloren. Steeds vaker worden we gevraagd om onze ervaring en ontwikkelde methoden en technieken elders in te zetten. Zo zijn we bijvoorbeeld ingezet bij de totstandkoming van bodemsanerings-programma's en preventiecampagnes in Engeland en Schotland. Hoe je het ook wendt of keert, het bodembelang zal altijd hoog op de agenda blijven staan. Maar in onze zorgplicht zie je langzaam maar zeker een verschuiving optreden van sanering naar preventie en beheer.”

Risico's tussen Afrika en Assen

“Bij de uitvoering van saneringswerkzaamheden is de wetgeving natuurlijk het harde referentiekader waarbinnen we werken. Dat neemt niet weg dat de beleving van risico's verschilt. Van locatie tot locatie of van land tot land. In vergelijking met andere landen gaat de Nederlandse wetgever daarin vrij ver. Soms te ver naar onze mening waardoor de wet een knellend keurslijf wordt. In een land als Gabon ligt dat heel anders. Een olieverontreiniging ergens in het oerwoud is volgens de daar heersende opinie vooral een probleem zolang je de olie blijft zien. Als je de olie niet meer ziet, is het goed. De risicobeleving ligt daar nogal eens op het niveau van 'wat niet ziet, wat niet deert'. De aanpak zou er dus op gericht kunnen zijn om de olie weg te halen en de locatie op te ruimen. Een vorm van visuele sanering. Daar nemen we natuurlijk geen genoegen mee. We gaan verder. De locatie wordt pas 'vrij' gegeven als aangetoond is dat geen veiligheids- noch gezondheidsrisico's in het geding zijn. In die situaties is het maar goed dat we ook onze eigen milieustandaardvoorschriften hanteren. We weten dat de ogen van bij wijze van spreken de hele wereld voortdurend op ons gericht zijn. We zullen ons altijd meer dan 100% moeten kunnen verantwoorden.”



Financiën

6.1 Inleiding

Uiteraard zijn de saneringskosten sterk afhankelijk van de lokale situatie. Voor een indicatie per techniek wordt verwezen naar de digitale richtlijn Beheer en herstel bodemkwaliteit (www.bodemrichtlijn.nl).

Eenheidsprijzen voor saneringstechnieken zijn moeilijk te genereren. Hieronder volgen een aantal vuistregels.

6.2 Bronsanering

Wanneer de verontreiniging makkelijk bereikbaar is of als er sprake is van zeer hoge concentraties of drijfslaag is ontgraven vaak financieel erg gunstig ten opzichte van een in-situ aanpak. Van de in-situ saneringstechnieken zijn per behandelde m³ bodemvolume doorgaans stoomgestimuleerde extractie, six phase heating en chemische oxidatie met Fenton reagens het duurst, gevolgd door Meer Fasen Extractie en de meer klassieke in-situ technieken als bodemluchtafzuiging, grondwater onttrekking (pump & treat) en persluchtinjectie.

Let wel, vaak geldt dat hoe intensiever de saneringstechniek, hoe sneller een resultaat behaald wordt. Dit betekent dat er altijd een omslagpunt is, en dat een minder kostbare techniek door toename van de saneringsduur uiteindelijk toch duurder kan zijn dan een korte, (kosten)intensieve aanpak.

6.3 Pluim- of restsanering

Van de pluimtechnieken is chemische oxidatie met ozon en/of peroxide waarschijnlijk het duurst, gevolgd door stimulatie van de aërobe afbraak door persluchtinjectie en/of bodemluchtafzuiging, al dan niet in combinatie met grondwateronttrekking en infiltratie. Controle van alleen natuurlijke afbraakprocessen geeft de laagste kosten.

6.4 Sterk kostenbepalende onderdelen

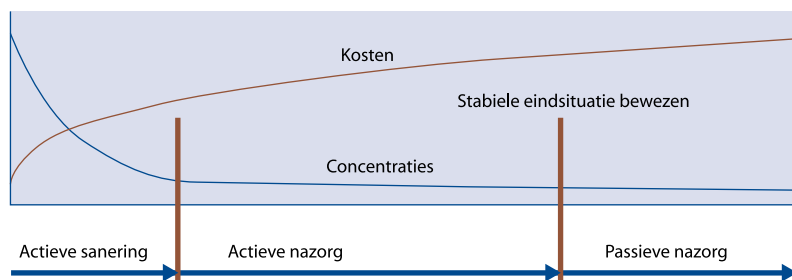
Over het algemeen vormt de bronsanering het meest kostbare

onderdeel van een oliesanering. Sterk kostenbepalende onderdelen hierin zijn onder meer:

- ondergrondse infrastructuur van filters & leidingen
- instandhouding water- en luchtzuiveringsinstallaties
- monitoring & bijregeling
- energieverbruik
- actief kool of luchtzuivering
- mate van ijzer of kalk in te zuiveren waterstromen
- tijdsduur van de sanering
- lozingskosten

Vaak vormen de initiële kosten (= aanleg- en opstartkosten aanbrengen filters, installatietechniek) een zeer substantiële kostenpost. Daarnaast is er een duidelijke relatie met het type olie: hoe vluchtiger hoe makkelijker, sneller en dus vaak goedkoper om te saneren.

Een andere duidelijke relatie zijn de kosten versus verwijderingsrendement. Zoals in hoofdstuk 5 beschreven, wordt de meeste verontreiniging vaak in het begin van het project weggenomen. Vervolgens dalen de concentraties vaak naar een asymptotisch verloop. Door het asymptotisch verloop kost het relatief veel om het laatste beetje verontreiniging er uit te krijgen (zie figuur 9).



Figuur 9: Asymptotisch verloop kosten - verwijderingsrendement

6.5 Faalrisico's

Faalrisico's zijn verschillend per techniek. In z'n algemeenheid kan worden gesteld dat het nastreven van een onrealistisch saneringsdoel, onvoldoende inzicht in de conceptuele verdeling van de verontreiniging in de ondergrond, een verkeerde techniekkeuze en een onvoldoende intensieve aanpak of monitoring een hoog faalrisico kent. Doorgaans zijn de faalrisico's het kleinst bij op het eerste oog duurdere saneringssystemen en/of praktische saneringsdoelen.

Als een sanering faalt dient teruggegrepen te worden op een terugvalscenario: mocht tijdens de actieve nazorg bijvoorbeeld blijken dat de verontreiniging alsnog niet stabiel is, dan dienen maatregelen te worden genomen om dit alsnog te realiseren.



Samenvatting en conclusies

Olie in de bodem is schijnbaar een gemakkelijk onderwerp. Iedereen, van specialisten, deskundigen tot en met dilettanten, weet waar we het over hebben. De praktijk is anders. Olie is een lastige stof die niet een-twee-drie te definiëren is. Toch is definiëring en inzicht in het gedrag en de verspreiding van olie in de bodem essentieel.

Minerale olie is een van de meest voorkomende stoffen die lokale verontreinigingen van grond en grondwater kunnen veroorzaken. De risico's van olie in de bodem zijn divers en variëren van blootstellingsrisico's (voor mens en ecosysteem), risico's voor aantasting van materialen tot en met brand- en explosiegevaar. Naast de verschillen in feitelijke risico's zijn er verschillen in de beleving van risico's. Het ene individu ervaart de risico's zus, het andere zo. Om de risico's te kunnen reduceren en de verontreinigde bodem te kunnen saneren is 'harde' informatie over de samenstelling van de olie, gedrag en verspreiding noodzakelijk.

Voor aanvang van de feitelijke sanering is diepgaand onderzoek nodig naar aard, omvang en karakterisatie van de verontreiniging. Talloze onderzoeks-strategieën zijn hiervoor inzetbaar. De onderzoeksresultaten zijn bepalend voor de keuze van de onderzoeksstrategie en voor de uiteindelijk in te zetten saneringstechniek.

De kosten van de bodemsanering zijn sterk afhankelijk van de lokale situatie. Over het algemeen is bronsanering het meest kostbare onderdeel van oliesanering. De initiële kosten, hier wordt bedoeld de

aanleg- en opstartkosten, vormen vaak een substantiële kostenpost. Daarnaast ligt er meestal een duidelijke relatie tussen kosten en verwijderingsrendement. De meeste verontreiniging wordt aan het begin van een project weggenomen en de kosten zijn relatief laag per kg verwijderde vracht aan verontreiniging. De laatste loodjes wegen het zwaarst; het saneren van de laatste restjes verontreiniging zijn vaak relatief het duurst per kg verwijderde vracht.

Al met al kan gesteld worden dat olie niet zo maar is wat het lijkt. Olie in de bodem is 'zwart' noch 'wit', maar een complex vraagstuk met oneindig veel grijstinten. Een zo nauwkeurig mogelijk inzicht in gedrag en verspreiding, aard en omvang van de olie in de bodem is essentieel om een evenwichtige afweging en bewuste keuze te maken voor de uiteindelijk in te zetten saneringstechniek. Een snelle reductie van de grootste risico's is en blijft daarbij een belangrijk motief.



Bijlagen

1. Geraadpleegde literatuur

- **Franken et al. (1999)**
Proposal for revised intervention values for petroleum hydrocarbons on base of fractions of petroleum hydrocarbons. RIVM Rapport 711701015. RIVM, Bilthoven, NL.
- **Landelijke Vereniging van GGD'en (2002)**
Richtlijn Gezondheidsrisico's bij Bodemverontreiniging.
- **Lijzen et al. (2001)**
Technical evaluation of the intervention values for soil/sediment and groundwater. RIVM rapport 711701023. RIVM, Bilthoven, NL.
- **Verbruggen (2004)**
Environmental risk limits for mineral oil (Total Petroleum Hydrocarbons). RIVM Rapport 601501021. RIVM, Bilthoven, NL.
- **VKB protocol 2001**
Plaatsen van handboringen en peilbuizen, maken van boorbeschrijvingen, nemen van grondmonsters en waterpassen, SIKB.
- **VKB protocol 2002**
Het nemen van grondwatermonsters, SIKB.
- **SKB-project PT5404**
Kennisoverdracht en implementatie Oliekarakterisatie.

- **SKB-project PT4104**
Diffusie Samplers.
- **SKB-project PT5408**
Toepassing van de Sorbisampler bij grondwatermonitoring in het kader van grondwatersanering.

2. Geraadpleegde websites

- **Overzicht meettechnieken SKB (techniekwaaier meet- en monitoringstechnieken november 2004)** www.skbodem.nl
- **Oliekarakterisatie** www.oliekarakterisatie.nl
- **ROST** www.fugro-nederland.nl
- **MIP** www.fugro-nederland.nl
- **GGD** www.ggd.nl/kennisnet



Colofon

Redactie

Laurent Bakker	<i>Tauw, Deventer</i>
Marco van den Brand	<i>Hannover Milieu- en Veiligheidstechniek, Ede</i>
Charles Pijls	<i>Tauw, Deventer</i>
Ingrid van Reijssen	<i>SKB, Gouda</i>
Gerben van der Sterren	<i>The Three Engineers, TTE, Deventer</i>

Lezersgroep

G. Boer	<i>BSB Zuid, 's Hertogenbosch</i>
L. Hansma	<i>Gemeente Dantumadeel, Damwoude</i>
L. de Jong	<i>Jansma Wegen en Milieu, Drachten</i>
R. Cornelisse	<i>Gemeente Waalwijk</i>
A. van de Vusse	<i>Vusse Milieuadvies, Amsterdam</i>
P.M. van Es - Prins	<i>Kuiper & Burger, Advies- en Ingenieursbureau</i>
J. Kuyper	<i>Provincie Noord-Holland,</i>
	<i>Directie SHV, Unit Vergunningen Bodem</i>
D. Lud	<i>Tauw</i>

<i>Eindredactie en interviews</i>	René Walenbergh Walenbergh & Van Os, Utrecht
-----------------------------------	---

<i>Vormgeving</i>	Van Lint Vormgeving, Zierikzee
-------------------	--------------------------------

<i>Druk</i>	Hoorens Printing, Kortrijk
-------------	----------------------------

<i>Beeldmateriaal</i>	Leden van de redactie Van Lint Vormgeving
-----------------------	--

September 2007