

Handreiking voor het opstellen van een conceptueel model

2 april 2010

Handreiking voor het opstellen van een conceptueel model

Visualiseer de verontreiniging (SKB-project PT8444)

Verantwoording

Titel	Handreiking voor het opstellen van een conceptueel model. Visualiseer de verontreiniging (PT8444)
Opdrachtgever	Stichting Kennisontwikkeling Kennisoverdracht Bodem (SKB)
Projectleider	Chris Schuren
Auteur(s)	Thomas Keijzer, Charles Pijls en Niels Hartog (Deltares)
Projectnummer	4573077
Aantal pagina's	98 (exclusief bijlagen)
Datum	2 april 2010
Handtekening	

Colofon

Tauw bv
afdeling Bedrijven Bodem
Handelskade 11
Postbus 133
7400 AC Deventer
Telefoon (0570) 69 99 11
Fax (0570) 69 96 66

Dit document is eigendom van de opdrachtgever en mag door hem worden gebruikt voor het doel waarvoor het is vervaardigd met inachtneming van de rechten die voortvloeien uit de wetgeving op het gebied van het intellectuele eigendom. De auteursrechten van dit document blijven berusten bij Tauw. Kwaliteit en verbetering van product en proces hebben bij Tauw hoge prioriteit. Tauw hanteert daartoe een managementsysteem dat is gecertificeerd dan wel geaccrediteerd volgens:

- NEN-EN-ISO 9001.

Inhoud

Verantwoording en colofon	5
Informatieblad bij het project	9
1 Inleiding.....	13
1.1 Doelstelling van de handreiking	14
1.2 Wat is een conceptueel model?	15
1.3 Voor wie is de handreiking bedoeld?	16
1.4 Samenstelling consortium en terugkoppeling.....	16
1.5 Leeswijzer	17
2 Wanneer een conceptueel model?	21
2.1 Waar in de bodemketen beginnen met een conceptueel model?	22
2.2 Overwegingen voor het opstellen van een conceptueel model	22
2.3 Conceptueel model en een realistische terugsaneerwaarde	25
3 Bouwstenen van een conceptueel model	29
3.1 Historische informatie	29
3.2 Bodemopbouw, geologie en topografie	30
3.3 Hydrologie	33
3.4 Geochemie	34
3.5 Generiek gedrag in bodem en grondwater van de verontreiniging	36
3.6 Identificatie receptoren, bedreigde objecten en (verspreidings)risico's.....	37
3.7 Ruimtelijke ontwikkelingen	38
3.8 Vraagtekens en onzekerheden (<i>data gaps</i>)	39
4 Evolutie van een conceptueel model	43
5 Checklist en vastlegging van een conceptueel model	51
5.1 Checklist voor een conceptueel model.....	51
5.2 Vraag het je collega's	55
5.3 Rapportage van een conceptueel model.....	56
6 Voorbeelden van conceptuele modellen.....	61
6.1 Voorbeeld 1 – Ondergrondse brandstoftank	62
6.2 Voorbeeld 2 – Bestemmingswijziging van enkele landbouwpercelen	63

6.3	Voorbeeld 3 – Braakliggend terrein met arseenverontreiniging	64
6.4	Voorbeeld 4 – Verfspuiterij van leerproducten	66
6.5	Voorbeeld 5 – Metalenverontreiniging bij een verzinkerij	70
6.6	Voorbeeld 6 – Minerale olieverontreiniging met drijfslag	75
6.7	Voorbeeld 7 – Sanering met chemische oxidatie bij woonhuizen	79
7	Visualisatie mogelijkheden	85
7.1	Uit de hand	85
7.2	Tweedimensionale tekenprogramma's	85
7.3	Driedimensionale tekenprogramma's	86
7.4	Visualisatie met gespecialiseerde software	90
8	Literatuur, links en andere informatie	95

Bijlage(n)

1. Voorbeeld evolutie conceptueel model

Informatieblad bij het project

Project

Item	Omschrijving
SKB-projectnummer	PI8036/PT8444
Datum voorstel	1 juni 2008
Titel	Visualiseer de verontreiniging. Richtlijnen, handreikingen en tips voor het opzetten van een goed conceptueel model
Verkorte titel	Visualiseer de verontreiniging
Tenderronde	2 juni 2008
Projectkosten	EUR 41.183,00
Startdatum project	1 oktober 2008
Einddatum project	31 december 2009

Samenstelling consortium

Organisatie	Contactpersoon	Telefoonnummer	E-mailadres
<i>Penvoerder</i>			
Tauw bv	C.H.J.E. Schuren	(0570) 69 95 91	chris.schuren@tauw.nl
<i>Leden</i>			
Deltares TNO	N. Hartog	(030) 256 47 46	niels.hartog@deltares.nl
Provincie Gelderland	M. Bult	(026) 359 83 10	m.bult@prv.gelderland.nl
Provincie Flevoland	A. Bouman	(0320) 26 56 01	alex.bouman@flevoland.nl
Provincie Overijssel	E. Godeke	(038) 499 78 08	f.godeke@overijssel.nl
Gemeente Zwolle	A.W.J. Brand	(038) 498 23 13	a.w.j.brand@zwolle.nl
BioSoil	J.A. Dijk	(078) 682 01 49	j.dijk@biosoil.com

Samenvatting van het project

Het project heeft bestaan uit het opstellen van een handreiking op basis waarvan partijen in de bodemketen voor een gegeven verontreiniging een conceptueel model kunnen opstellen. Een conceptueel model is een denkmodel waarin een beschrijving wordt gegeven van de verontreiniging, het bodemsysteem waarin deze zich bevindt, de risico's die er aan zijn verbonden en de kennislacunes met betrekking tot de verontreiniging. Het is een visualisatie van de verontreiniging, de processen in het bodemsysteem die van invloed zijn op de verontreiniging

en de risico's die van de verontreiniging uitgaan. Een conceptueel model kan helpen bij het identificeren van kennishiaten en kan daarmee een rol spelen bij bodemonderzoeken, saneringsplannen en de uitvoering van saneringsprojecten. Daarnaast is het een ideaal communicatiemiddel om er voor te zorgen dat de verschillende partijen over dezelfde zaken praten, en er hetzelfde beeld bij hebben.

Naast het opstellen van deze handreiking is binnen het project een voorzet gegeven voor een cursus om het gebruik van een conceptueel model breed ingang te laten vinden bij de verschillende betrokken partijen in de bodemketen. Tijdens de loop van het project is afstemming gezocht met de ontwikkelingen rond de NTA 5755 nader onderzoek omdat binnen deze technische afspraak een centrale rol is weggelegd voor een conceptueel model.

Trefwoorden

Gecontroleerde trefwoorden	Vrije trefwoorden
Bodemverontreiniging	Conceptueel model
Modellen	Denkmodel
Onderzoek	Visualisatie
Sanering	Communicatiemiddel

1

Inleiding

1 Inleiding

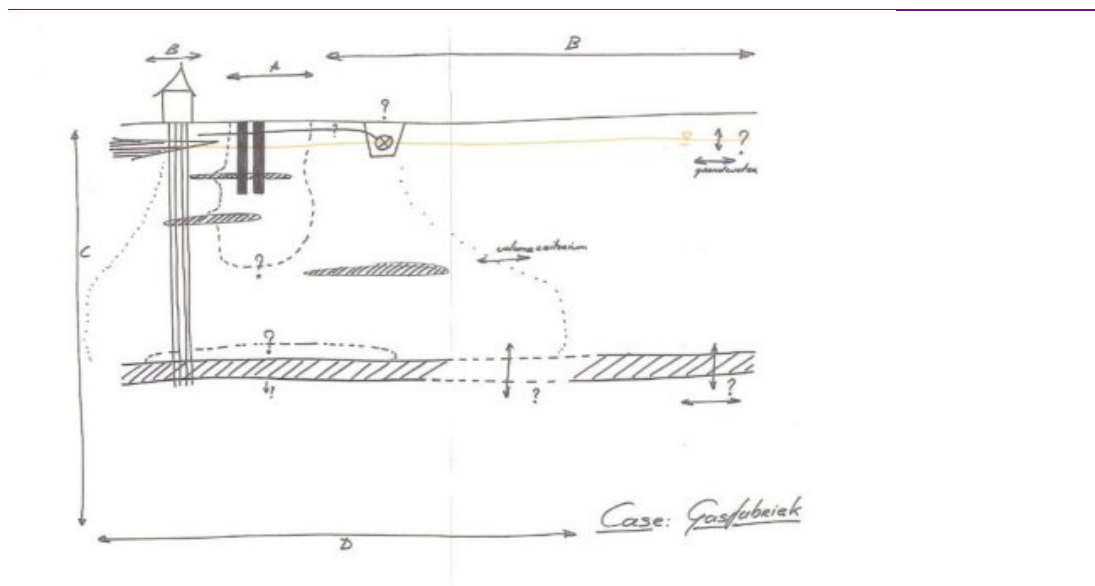
Het inzichtelijk maken van de situering en gevolgen van bodemverontreinigingen is een essentieel element bij de presentatie en communicatie rondom bodemverontreiniging. In de bodemwereld wordt echter algemeen onderkend dat er te weinig gebruik gemaakt wordt van een conceptueel model (ook wel *conceptual site model* of CSM) die de verontreinigingssituatie visualiseert en de gevolgen daarvan inzichtelijk maakt. Een conceptueel model kan helpen bij het identificeren van kennishiaten en kan daarmee een belangrijke rol spelen bij het ondersteunen van bodemonderzoeken en saneringsoplossingen. In dit hoofdstuk volgt een korte inleiding op het project en wordt de doelgroep en de functie van de handreiking beschreven.

Naar aanleiding van de discussies tijdens de KIS Efficiënt onderzoeken (kennis integratie sessie 18 en 19 september 2007 te Papendal), en op basis van ervaringen in allerlei projecten, is het initiatief genomen om de schematisaties of conceptuele modellen (zie figuur 1.1) die menig bodemadviseur maakt om een probleem te visualiseren, een meer centrale rol te geven in het werkveld. Tijdens de KIS is onderkend dat wisselingen van bij een project betrokken personen bij de uitvoerende adviesbureaus evenals van verantwoordelijke managers bij probleemhebbers en overheden in het algemeen, binnen een project leiden tot een verlies aan informatie met betrekking tot het inzicht in de verontreinigingssituatie. Een goed opgesteld conceptueel model kan helpen om het informatieverlies bij de kennisoverdracht tussen bureaus en verantwoordelijke managers of tijdens de verschillende fasen van een project te minimaliseren.

De uitkomst van de KIS is, als voorstel voor het opstellen van een **handreiking** waarin staat beschreven hoe men een conceptueel model kan opstellen, ingebracht in de tenderronde van 1 februari 2008 en door SKB gehonoreerd (PI8036). Het idee is vervolgens aangepast op basis van de commentaren en als projectvoorstel ingediend en gehonoreerd (PT8444).

Handreiking in relatie tot de NTA 5755

Gedurende de loop van het project is naar voren gekomen dat een conceptueel model binnen het werkveld over het algemeen gezien wordt als een essentieel middel bij het opzetten en interpreteren van met name de nader bodemonderzoeken. Er is dan ook afstemming gezocht met het projectteam Nederlandse Technische Afspraak nader bodemonderzoek (NTA 5755). Binnen de NTA 5755, die in 2009 of 2010 het protocol voor het nader onderzoek gaat vervangen, is een centrale rol weggelegd voor het conceptuele model. Deels als visualisatiemiddel van de verontreinigingssituatie, deels als middel om te komen tot hypothesevorming en formulering van de (bodem)onderzoeksvragen.



Figuur 1.1 Conceptueel model naar aanleiding van een case besproken tijdens de KIS Efficiënt onderzoeken. Th.M. Prins © Oranjewoud, 2007

Ontwikkelingen in het buitenland

In een aantal landen zoals de Verenigde Staten van Amerika is het denken en werken in conceptuele modellen in een verder stadium dan in Nederland. Ondanks de centrale rol van het conceptueel model in de NTA 5755 wordt in Nederland het opstellen van een conceptueel model overgelaten aan de opsteller: de adviseur, aannemer of ambtenaar van het bevoegde gezag. Dit geldt ook voor landen als Frankrijk en België waar alleen een document dat moet helpen bij het opstellen van een conceptueel model beschikbaar is. In beide landen wordt meer dan in deze handreiking de relatie gelegd met een risicobeoordeling. In Groot-Britannië is formalisatie verder middels de *British Standard BS10175:2001* waarin criteria voor een conceptueel model zijn vastgelegd. Dit geldt eveneens voor de Verenigde Staten van Amerika waar vanuit de US-EPA het ASTM1689-95(2008) protocol wordt opgelegd. In dit protocol staat uitgebreid beschreven waaraan een conceptueel model moet voldoen. Verwijzingen naar de genoemde documenten zijn terug te vinden in hoofdstuk 8.

1.1 Doelstelling van de handreiking

De **doelstelling van de handreiking is om gebruikers te ondersteunen bij het opzetten en beoordelen van conceptuele modellen van verontreinigingsituaties**. Uiteindelijk moet dit leiden tot een breder gebruik van conceptuele modellen bij de verschillende betrokken partijen in de bodemketen om daarmee de kwaliteit van en de communicatie omtrent bodemonderzoeken en saneringen te verbeteren.

De gebruikers zijn adviesbureaus, bevoegd gezag en uitvoerders van saneringen. Een goed conceptueel model in een bodemonderzoek of saneringsplan geeft het adviesbureau en het bevoegde gezag helder inzicht in de verontreinigingssituatie en daarmee geassocieerde risico's. Het conceptuele model heeft daarnaast ook waarde voor de uitvoerders van een eventuele sanering. Omdat binnen de saneringswereld projecten steeds vaker als prestatiebestek in de markt worden gezet, en aan de aannemer gevraagd wordt uitvoeringsrisico's op zich te nemen, zal ook hier een conceptueel model helpen. In een conceptueel model worden niet alleen de zekerheden inzichtelijk gemaakt, maar juist ook de onzekerheden, en daarmee kunnen mogelijke risico's eveneens inzichtelijk worden gemaakt. Binnen de handreiking zal dan ook aandacht worden besteed aan de evolutie van een conceptueel model in het traject van bodemonderzoek tot en met de uitvoering van de sanering.

1.2 Wat is een conceptueel model?

Een conceptueel model is een denkmodel waarin een beschrijving en/of visualisatie wordt gegeven van de bronnen, verspreidingsroutes en potentiële risico's en receptoren van een bodemverontreiniging in relatie tot het bodemsysteem waarin deze zich bevindt. Het conceptuele model kan dienen als raamwerk voor het opzetten van onderzoeksactiviteiten en het identificeren van kennisleemtes.

Een conceptueel model is een beschrijving van de verontreinigingssituatie aangevuld met een beschrijving van het systeem (bodemopbouw en grondwater) waarin de verontreiniging zich bevindt en welke processen (verspreiding door grondwaterstroming, biologische afbraak, vastlegging) van invloed zijn op de verontreiniging en de receptoren van die verontreiniging (gebruik locatie, bedreigde objecten bijvoorbeeld een grondwaterwinning of oppervlaktewater et cetera). Een conceptueel model is dus een geschematiseerde beschrijving van alles wat er van de verontreiniging bekend is en het generieke gedrag van die stof in bodem en grondwater. Het moet een verklaring bieden voor wat er in het veld wordt waargenomen zonder dat het op peilbuis niveau exacte concentraties moet kunnen berekenen.

Een conceptueel model kan in zijn simpelste vorm een schetsje zijn met een visualisatie van een verontreiniging met een opsomming van de onzekerheden. Vaker is er sprake van een visualisatie op basis van een dwarsdoorsnede met daarin opgenomen bijvoorbeeld de bron van de verontreiniging met de grondwaterpluim, de bodemopbouw en schematisch de processen waaraan de verontreiniging onderhevig is. Maar in andere gevallen kan een bovenaanzicht evenzo verhelderend werken. In de meeste gevallen zullen de conceptuele modellen zowel dwarsdoorsnede(n) als bovenaanzicht(en) bevatten afhankelijk van de complexiteit van de verontreinigingssituatie of locatie. Van de verschillende manieren waarop een conceptueel model kan worden gevisualiseerd zijn in deze handreiking voldoende voorbeelden opgenomen zodat de lezer zich daar een voorstelling van kan maken en kan gebruiken als inspiratiebron.

Ondanks dat het een model is, valt aan een conceptueel model niets te modelleren of te berekenen. Laat staan dat er voor een bepaald type verontreiniging, bijvoorbeeld één met vluchtige gechloreerde koolwaterstoffen, een standaard conceptueel model bestaat. In de ideale situatie is een conceptueel model een denkmodel specifiek voor een bepaalde locatie, dat ook nog evolueert tijdens een project. Op basis van vergaarde informatie tijdens de loop van het project kan een steeds completer beeld gegeven worden van de verontreiniging en de invloeden daarop. Dat maakt dat een conceptueel model ook kan dienen als communicatiemiddel en er voor kan zorgen dat de verschillende partijen in de bodemketen die betrokken zijn bij het project over dezelfde zaken praten, en er hetzelfde beeld bij hebben.

1.3 Voor wie is de handreiking bedoeld?

De handreiking is bestemd voor iedereen die bezig is binnen de bodemketen met bodemonderzoek naar verontreinigingen en de sanering daarvan. Door het opstellen van een conceptueel model kan de bodemonderzoeker de hiaten in zijn of haar bodemonderzoek, of eerder uitgevoerde bodemonderzoeken identificeren en de noodzakelijke onderzoeksvragen formuleren. De adviseur die het saneringsplan schrijft kan met behulp van het conceptuele model de risico's en effecten van de saneringswerkzaamheden visualiseren. Deze visualisatie kan het bevoegd gezag helpen bij het opstellen van haar beschikking. De aannemer en uitvoerder van de eventuele sanering kan vervolgens het conceptuele model gebruiken om na te gaan waar de belangrijkste onzekerheden zich bevinden en daarop het ontwerp en de prijs van zijn aanbidding inrichten. Een toezichthouder kan op basis van een goed conceptueel model tijdens de uitvoering tijdig bijsturen en inzichtelijk maken waarom er bijvoorbeeld wordt afgeweken van een ontgravingsdiepte of filterstelling.

Om een goed conceptueel model op te stellen zal het nodige onderzoek moeten worden gedaan en is het belangrijk de opdrachtgever van het nut en de noodzaak van de hiervoor benodigde kosten te overtuigen. Het is normaliter beter tijd en geld in de verschillende onderzoeksfases te investeren dan indien dit nagelaten wordt bij de sanering er achter te moeten komen dat de verontreinigingssituatie helemaal anders is. Dit heeft tot gevolg dat de saneringskosten snel uit de hand kunnen lopen. Een vrachtwagen vol verontreinigde grond kost alles inclusief al snel EUR 2.000,- een bedrag waarvoor heel wat boringen en analyses kunnen worden gedaan. Uiteindelijk ligt de beslissing om de handreiking te gebruiken bij de bodemonderzoeker, adviseur of uitvoerder. Het gebruik van de handreiking zal worden aangemoedigd door deze digitaal beschikbaar te stellen, middels het aanbieden van een cursus binnen bestaande cursusprogramma's, maar ook via de NTA 5755.

1.4 Samenstelling consortium en terugkoppeling

Het consortium dat betrokken is geweest bij het opstellen van de handreiking is gegeven in tabel 1.1.

Tabel 1.1 Samenstelling consortium

Organisatie	Rol in de bodemketen	Contactpersoon
<i>Penvoerder</i>		
Tauw	Adviesbureau	De heer C.H.J.E. Schuren
<i>Leden</i>		
Deltares/TNO	Kennisinstituut	De heer N. Hartog
Provincie Gelderland	Bevoegd gezag	De heer M. Bult
Provincie Flevoland	Bevoegd gezag	De heer A. Bouman
Provincie Overijssel	Bevoegd gezag	De heer E. Godeke
Gemeente Zwolle	Bevoegd gezag	De heer A.W.J. Brand
BioSoil R&D	Aannemer	De heer J.A. Dijk

Een conceptversie van de handreiking is op 9 september 2009 tijdens een workshop in Deventer voorgelegd aan het consortium en een selectie aan adviseurs, aannemers en bevoegd gezag buiten het consortium. Het verslag van de workshop inclusief de volledige lijst van deelnemers is vastgelegd in deelresultaat 2 (Tauw-notitie *Verslaglegging workshop Visualiseer de verontreiniging*, N002-4573077TOK-nij-V01-NL d.d. 18 september 2009). Dit deelresultaat is terug te vinden op de website van SKB; www.skbodem.nl.

1.5 Leeswijzer

Hoofdstuk 2 gaat in op wanneer en waarom een conceptueel model kan worden opgesteld. In hoofdstuk 3 zijn de verschillende bouwstenen van een conceptueel model gegeven; wat moet er zeker in, waar moet men aan denken en welke informatie is facultatief. Vaak begint een conceptueel model met een schets en wordt het gedurende een project kwantitatiever; in hoofdstuk 4 wordt deze evolutie en de toetsing van een conceptueel model beschreven. In hoofdstuk 5 is een checklist gegeven om na te gaan of alles wat in een conceptueel model hoort te zitten, er ook in zit. Hoofdstuk 6 bevat meerdere voorbeelden van conceptuele modellen, zowel eenvoudige als complexere conceptuele modellen. Omdat het maken van een conceptueel model voor een deel een creatief proces is, en handig als communicatiemiddel wordt in hoofdstuk 7 een aantal mogelijkheden gegeven hoe men het conceptuele model kan visualiseren. In hoofdstuk 8 is een overzicht gegeven naar de geraadpleegde literatuur, protocollen en websites.

2

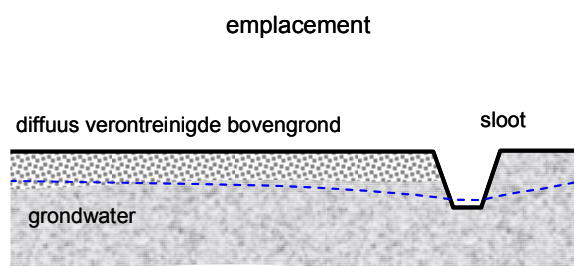
Wanneer een conceptueel model?

2 Wanneer een conceptueel model?

In principe kan voor elke locatie en voor elke verontreinigingssituatie een conceptueel model worden gemaakt. Echter, gezien de hoeveelheid informatie die vaak nodig is voor een goed beschreven conceptueel model is het niet in alle situaties kosteneffectief om een gedetailleerd conceptueel model op te stellen. Daarbij komt dat de toegevoegde waarde van een conceptueel model voor sommige locaties en verontreinigingssituaties beperkt is. In dit hoofdstuk wordt een aantal overwegingen gegeven waarmee de bodemonderzoeker, adviseur of uitvoerder kan nagaan of een conceptueel model een toegevoegde waarde heeft in zijn of haar project.

Voor een aantal verontreinigingssituaties is het duidelijk dat er geen (complex) conceptueel model hoeft te worden opgesteld. Dit zijn bijvoorbeeld locaties met een immobiele verontreiniging zonder uitloogrisico's die diffuus op een locatie voorkomt, bijvoorbeeld zware metalen op een spoorwegemplacement. Aan de andere kant zijn er locaties waar het overduidelijk zin heeft om een gedetailleerd conceptueel model op te stellen bijvoorbeeld een voormalig gasfabrieksterrein waar een mix van mobiele en immobiele verontreinigingen voorkomt. Tussen die twee uitersten is een groot 'grijs' gebied waar de bodemonderzoeker, adviseur of aannemer moet afwegen welke mate van detaillering in het conceptueel model toegevoegde waarde heeft.

De opstellers van de handreiking zijn van mening dat er altijd een conceptueel model moet worden opgesteld. De beschrijving die in de vorige alinea is gegeven van een immobiele verontreiniging is in principe al een conceptueel model en is in figuur 2.1 gevisualiseerd. Op basis van een dergelijk simpel conceptueel model, ontstaan op basis van de historische gegevens en een verkennend bodemonderzoek, kunnen de onderzoeksvragen worden geformuleerd voor een eventueel vervolg of nader bodemonderzoek.



Figuur 2.1 Eenvoudig conceptueel model van een diffuus voorkomende immobiele verontreiniging met zware metalen op een spoorwegemplacement. © Tauw bv, 2010

2.1 Waar in de bodemketen beginnen met een conceptueel model?

De meningen over wanneer een conceptueel model zou moeten worden opgesteld variëren. De meest voor de hand liggende plek in de bodemketen is na het afronden van het verkennende bodemonderzoek, maar voorafgaand aan het eventueel daaropvolgende nader bodemonderzoek. In het vooronderzoek (NEN 5725) en verkennend bodemonderzoek (NEN 5740) voorzien de bijbehorende protocollen in de formulering van een hypothese. Deze hypothese vervult de rol die een conceptueel model ook heeft; het is leidend in hoe het onderzoek wordt aangepakt om antwoorden te krijgen op de vragen die zijn geformuleerd. Binnen de NTA 5755 vervult het conceptuele model een centrale rol om tot de formulering van de onderzoeksvragen te komen. De complexiteit en het detailniveau van het op te stellen conceptuele model worden grotendeels bepaald door de complexiteit van de situatie, de doelstelling van het bodemonderzoek en de invulling die de maker geeft aan de verschillende bouwstenen waaruit een conceptueel model bestaat. Een beschrijving van de verschillende bouwstenen van een conceptueel model wordt gegeven in hoofdstuk 3.

In de volgende paragrafen worden een aantal overwegingen gegeven die kunnen helpen te bepalen of een conceptueel model toegevoegde waarde heeft. Sommige bevoegde gezagen zoals de provincie Gelderland in haar Beleidsnota Bodem 2008¹, vragen aan de opsteller van een nader bodemonderzoek een zogenaamd hypothese model wanneer deze wil afwijken van het huidige (verplichte) protocol voor nader bodemonderzoek. In het hypothese model (lees conceptueel model) moeten vervolgens aan de hand van bestaande kennislacunes of vraagtekens onderzoeksvragen worden geformuleerd die in het nader bodemonderzoek moeten worden beantwoord. Het is de verwachting dat wanneer de NTA 5755 nader bodemonderzoek van kracht wordt meer bevoegd gezag zal eisen dat er vanaf het nader bodemonderzoek een conceptueel model in de onderzoeksrapporten is opgenomen. De vrije keuze om wel of niet een conceptueel model op te stellen komt dan te vervallen en men zal moeten beargumenteren waarom er géén conceptueel model is gemaakt.

2.2 Overwegingen voor het opstellen van een conceptueel model

De aanleiding en doelstelling van het onderzoek

Het belangrijkste criterium of een conceptueel model al dan niet moet worden opgesteld is de vraag aan het begin van het project: 'Wat is de vraag- en doelstelling van het (bodem)onderzoek dat moet worden uitgevoerd'. Bij nul- of eindsituatieonderzoeken of een verkennend bodemonderzoek op een van bodemverontreiniging onverdachte locatie zal het opstellen van een conceptueel model niet direct nodig zijn. Indien bekend is, of het vermoeden bestaat dat er mobiele verontreinigingen kan voorkomen op de onderzoekslocatie is het in de eerste, verkennende fase van een bodemonderzoek al zinvol om een conceptueel model op te stellen.

¹ Zie www.gelderland.nl/bodem

Dit conceptuele model zal dan een schetsmatige opzet hebben omdat slechts een beperkte hoeveelheid informatie voor handen is. Gaat het om een nader bodemonderzoek waarbij uit eerdere bodemonderzoeken al naar voren is gekomen dat er een bodemverontreiniging aanwezig is dan moet een conceptueel model opgesteld worden. Ook als het gaat om immobiele verontreinigingen.

Wanneer er nog voor de uitvoering van het bodemonderzoek een conceptueel model opgesteld is, al is het maar een schets, kan dit helpen een overzicht te krijgen waar de lacunes in de kennis die met het nader bodemonderzoek moeten worden gedicht. Ook kan men op basis van het opgestelde conceptuele model bepalen hoe men het onderzoek kan opzetten; wat gaat men meten, waar gaat men meten. In kader 2.1 is een voorbeeld gegeven hoe een dergelijk schetsmatig conceptueel model kan helpen het bodemonderzoek op te zetten. Als al het bodemonderzoek al is afgerond kan men er voor kiezen het conceptueel model bij te werken bijvoorbeeld wanneer een saneringsonderzoek of saneringsplan wordt opgesteld. In deze fase is een conceptueel model onontbeerlijk omdat het kan helpen bij de discussie over de sanering en de afweging van de verschillende varianten. Alle betrokken partijen kunnen aan de hand van een conceptueel model zich een beeld vormen van het probleem en hoe dat moet worden opgelost. Ook kan het in dit stadium helpen bij de aanbesteding en het in kaart brengen van de onzekerheden en daarmee potentiële kostenposten tijdens de daadwerkelijke sanering.

Kader 2.1 Voorbeeld hoe een conceptueel model kan helpen het bodemonderzoek op te zetten

Eind jaren tachtig wilde een oliemaatschappij de risico's van bodemverontreiniging op 300 tankstations in beeld brengen. Het budget dat ter beschikking stond was circa EUR 500.000,- en was niet toereikend om bij elk individueel tankstation een uitgebreid bodemonderzoek uit te voeren. Men besloot om een (generiek) conceptueel model op te stellen van een typisch tankstation, om daarmee de belangrijkste verspreidingsroutes en bedreigde objecten in beeld te brengen. Op basis van deze analyse besloot men vervolgens om op alle locaties alléén binnenlucht- en bodemluchtmetingen uit te voeren, om daarmee de meest relevant geachte actuele blootstellingrisico's vast te stellen.

Eigenschappen van de verontreiniging

De eigenschappen van de verontreinigende stof bepalen voor een locatie sterk in welke mate een conceptueel model toegevoegde waarde heeft. Als er sprake is van een mobiele verontreiniging is het altijd zinvol om een conceptueel model op te stellen. Mobiele verontreinigingen zijn stoffen die van nature bij de in de bodem heersende omstandigheden als vloeistof voorkomen en/of kunnen oplossen in het grondwater. Voor mobiele verontreinigingen zoals vluchtige gechloreerde koolwaterstoffen met complex gedrag in de bodem is het altijd aan te bevelen een conceptueel

model te maken. Voor een (voormalige) chemische wasserij is het altijd zinvol een conceptueel model op te stellen vanwege het gedrag van perchloor- en trichlooretheen in de bodem. Dit betekent niet dat het voor een immobiele verontreiniging vanzelfsprekend niet nodig is een conceptueel model te maken. Daarnaast moet men zich realiseren dat onder bepaalde redoxomstandigheden immobiele verontreinigingen zoals zware metalen toch gemobiliseerd kunnen worden waardoor ze zich alsnog via het grondwater kunnen verspreiden.

Complexiteit van de bodemopbouw

Een belangrijk criterium om een conceptueel model te maken is de bodemopbouw. Hoe complexer de bodemopbouw hoe meer inzicht een conceptueel model kan verschaffen in de verspreidingsroutes van een verontreiniging in de bodem en het grondwater. Onder een complexe bodemopbouw wordt niet alleen een grote afwisseling van bodemlagen met verschillende textuur zoals zand, grind, klei en veen bedoeld maar ook de geohydrologische situatie. Als er sprake is van meerdere grondwaterpakketten of als er oppervlaktewater in de omgeving is, is het zinvol om dit in een conceptueel model te visualiseren. Zelden is er in Nederland sprake van een homogene bodemopbouw, ook niet in de meer zandigere delen van midden, zuid en oost Nederland. En als er in deze gebieden dan geen sprake is van een complexe bodemopbouw, maken de vaak goede doorlatendheid van de bodem en daarmee de hogere mobiliteit van een verontreiniging het opstellen van een conceptueel model een zinvolle bezigheid.

Karakteristieken van een locatie

De complexiteit van een gegeven locatie is een belangrijk criterium voor het opstellen van een conceptueel model. Als de locatie recentelijk in gebruik is genomen en daar waar met chemicaliën is gewerkt wordt voldaan aan de criteria uit de Nederlandse Richtlijn Bodembescherming (NRB) zoals vloeistofdichte of -kerende vloeren, is het opstellen van een gedetailleerd conceptueel model waarschijnlijk overbodig. Een simpel conceptueel model, bijvoorbeeld de beschrijving dat de locatie een vloeistofdichte vloer heeft waardoor er naar verwachting geen verontreinigingen aanwezig zullen zijn in grond en grondwater, kan de onderzoeksopzet sterk verhelderen. Betreft het een bestaande industriële locatie met een langere bedrijfsvoering, groot of klein, is het zinvol een conceptueel model op te stellen. Ook bij de kleinere locaties in binnenstedelijk gebied waar achtereenvolgens veel industriële activiteit heeft plaatsgevonden, kan een conceptueel model helpen de verontreinigingssituatie met verschillende verbindingen te ordenen en te verklaren.

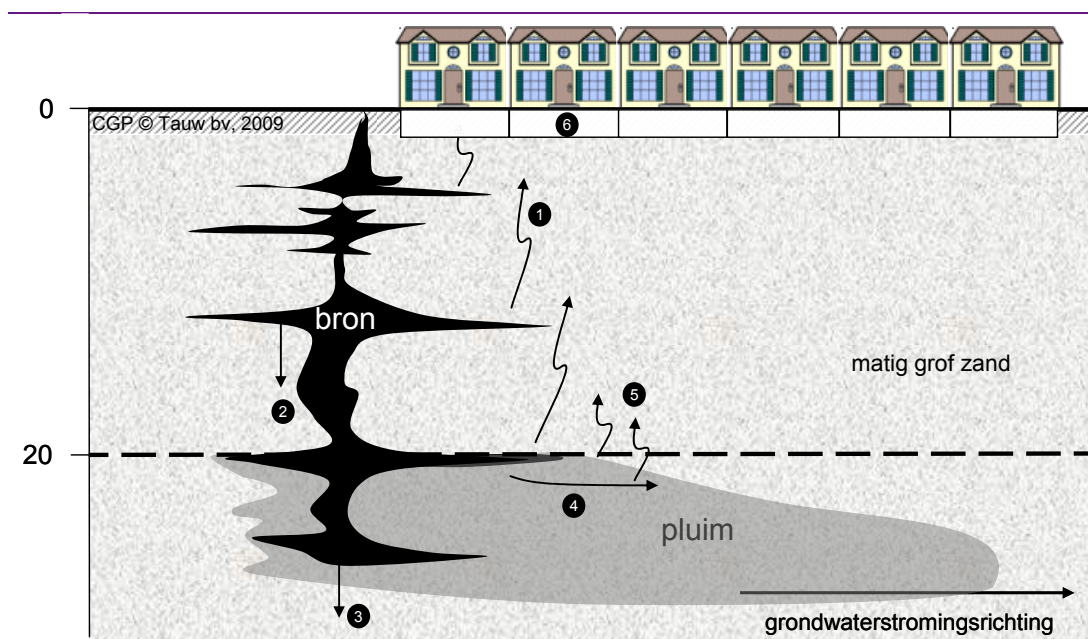
Risico's

Een conceptueel model is essentieel om risico's (verspreidingsrisico's, ecologische en humane blootstellingsrisico's) inzichtelijk te maken. Ook kan het model gebruikt worden om aan te geven hoe met bepaalde maatregelen deze risico's worden weggenomen. Wanneer het vermoeden bestaat, bijvoorbeeld op basis van al aanwezige bodemonderzoeksgegevens, de locatie of het generieke gedrag van de verontreiniging in bodem en grondwater, dat er potentiële risico's zijn, is

het zinvol een gedetailleerd conceptueel model op te stellen. Een voorbeeld van een conceptueel model waarin de risico's zijn geïnventariseerd en gevisualiseerd is gegeven in figuur 2.2.

2.3 Conceptueel model en een realistische terugsaneerwaarde

Het opstellen van een niet realistische terugsaneerwaarde door adviseurs, aannemers of bevoegd gezag is nog steeds het belangrijkste aspect waarom saneringen en dan met name in situ saneringen mislukken. Nog al te vaak wordt voor een in situ chemische oxidatie sanering, bedoeld als snelle vrachtverwijderingstechniek in de bron van een verontreiniging, een lage terugsaneerwaarde afgesproken. Met als gevolg dat de terugsaneerwaarde niet kan worden gehaald en de sanering als mislukt wordt aangemerkt. Een conceptueel model moet/kan een belangrijke rol spelen in het bepalen van een realistische terugsaneerwaarde. Met een conceptueel model kan men laten zien welke processen er in de ondergrond tijdens de sanering optreden en wat hiervan de invloed is op het saneringsresultaat.



Figuur 2.2 Conceptueel model van een met choorhoudende oplosmiddelen verontreinigde bodem waarin de verschillende verspreidingsroutes en mogelijke blootstellingsrisico's zijn aangegeven, te weten:
1 verdamping, **2** uitloging, **3** transport van puur product onder invloed van de zwaartekracht, **4** transport via grondwater, **5** uitdamping naar onverzadigde zone, en **6** blootstelling in de souterrains van de woningen. Om de waargenomen hoge gehalten in de souterrains van de woningen tegen te gaan is een bodemluchtonttrekking aangelegd onder de woningen om verspreidingsroute **1** en **5** af te snijden.

© Tauw bv, 2010

Ook kan gevisualiseerd worden of en waar eventuele restverontreinigingen achter kunnen blijven. In het geval van de in situ chemische oxidatie is er bijvoorbeeld een zaklaag op een kleilaag aanwezig. De sanering zal wel de zaklaag grotendeels kunnen verwijderen maar er zullen hoge restconcentraties in de kleilaag achterblijven omdat met het oxidant niet de kleilaag kan worden gesaneerd. Een dergelijke restverontreiniging zal grote invloed hebben op de terugsaneerwaarde maar ook op de inzet van de saneringstechnieken. De rol die een conceptueel model kan spelen in het bepalen welke techniek(en) kunnen worden ingezet om een verontreiniging te saneren komt aan de orde in hoofdstuk 4.

3

Bouwstenen van een conceptueel model

3 Bouwstenen van een conceptueel model

Een conceptueel model van een verontreinigingssituatie bestaat uit een aantal bouwstenen. Aan het begin van een project zal een conceptueel model vaak een wat schetsmatige opbouw hebben met relatief veel vraagtekens. Aan het eind van de onderzoeksfase, richting het saneringsplan of de feitelijke sanering zal het aantal vraagtekens veel kleiner (moeten) zijn. Het conceptueel model zal dan een kwantitatiever karakter hebben. De evolutie van een conceptueel model komt aan de orde in hoofdstuk 4, in dit hoofdstuk worden de verschillende bouwstenen waaruit een conceptueel model kan bestaan beschreven.

De meest voor de hand liggende onderdelen of bouwstenen van een conceptueel model komen in dit hoofdstuk aan de orde:

- Historische informatie
- Bodemopbouw, geologie en topografie
- Infrastructuur
- Hydrologie
- Geochemie
- Gedrag en verdeling van de verontreinigingen in de bodem
- Identificatie van receptoren, bedreigde objecten
- Ruimtelijke ontwikkelingen

Deze lijst bevat de meest voor de hand liggende onderdelen waaruit geput kan worden voor het opstellen van een conceptueel model en kan afhankelijk van het project naar eigen inzicht worden uitgebreid. Afhankelijk van de locatie is het niet nodig alle onderdelen terug te laten komen, maar het weglaten van één van de onderdelen zal wel overwogen moeten gebeuren omdat de genoemde bouwstenen wel worden gezien als de basis voor een goed conceptueel model. Hieronder worden voor deze bouwstenen voorbeelden genoemd waar aandacht aan kan worden besteed bij het opstellen van een conceptueel model.

3.1 Historische informatie

Eén van de eerste en meest belangrijke bouwstenen van een conceptueel model is de **identificatie van verontreinigingsbronnen** aan de hand van historische informatie. Historisch onderzoek vormt de basis voor het begrip waar en waarom verontreinigingen zich juist daar op de locatie bevinden, of waar ze zich zouden kunnen bevinden. Het historisch onderzoek moet uitsluitsel bieden welke **chemicaliën** er op de locatie gebruikt zijn, waar dat gebruik was en gedurende welke periode. Inzicht in hoe de chemicaliën werden gebruikt en in welke hoeveelheid –was er alleen sprake van op- en overslag of werden de chemicaliën gebruikt in een chemisch

proces— geeft vervolgens een indruk op de kans dat er een verontreiniging is ontstaan door het gebruik. Als het om een oude industriële locatie gaat is het belangrijk te weten welke bouwfases er zijn geweest en of bepaalde chemische bedrijfsprocessen zijn verplaatst als gevolg van de bouwactiviteiten. Ook de situering van de riolering is op een dergelijke locatie met verschillende ouderdommen een potentiële bron of verspreidingsroute voor een verontreiniging, en kent vaak net als de rest van de locatie verschillende uitbreidingsfasen. Rioolcunetten en tracés van kabels en leidingen vormen vaak preferente verspreidingsroutes.

Het gebruik van chemicaliën resulteert altijd in een **afvalstroom**. De locaties van de opslag van het afval kunnen potentiële verontreinigde locaties helpen te identificeren. Op oude industriële locaties is het afval vaak gestort op, of in de directe omgeving van de locatie in zogenaamde stortgaten of in menig greppel of sloot. Deze gedempte greppels en sloten zijn eveneens potentieel verontreinigde locaties. Als de locatie een eigen afvalwaterzuiveringsinstallatie bezat is het nuttig te weten waar het effluent werd geloosd (riool, oppervlaktewater, infiltratie velden of vijvers et cetera). En als laatste en niet als minst belangrijke: zijn er **calamiteiten en incidenten** bekend.

Op een locatie kunnen **ondergrondse activiteiten** hebben plaatsgevonden die de verspreiding van verontreiniging kunnen beïnvloeden. In het westen van Nederland (industriële terreinen en havengebieden) zijn op veel locaties zandpalen toegepast voor een versneld ontwateren en consolideren van de bodem voordat deze zijn ingericht als industriële locatie. Deze zandpalen vormen voorkeurstromen voor infiltrerend grondwater en dus ook voor verontreinigingen. In beperkte mate kunnen ook heipalen lokaal voorkeursroutes voor waterstroming vormen.

In een conceptueel model kan de historische informatie als een aparte kaart worden gevisualiseerd. Historische informatie geeft aan waar onderzoek primair moet plaatsvinden, identificeert plaatsen waar dat nog niet is gebeurd en geeft inzicht in de routes, waaronder riolen, waarlangs de verontreiniging zich heeft kunnen verspreiden.

3.2 Bodemopbouw, geologie en topografie

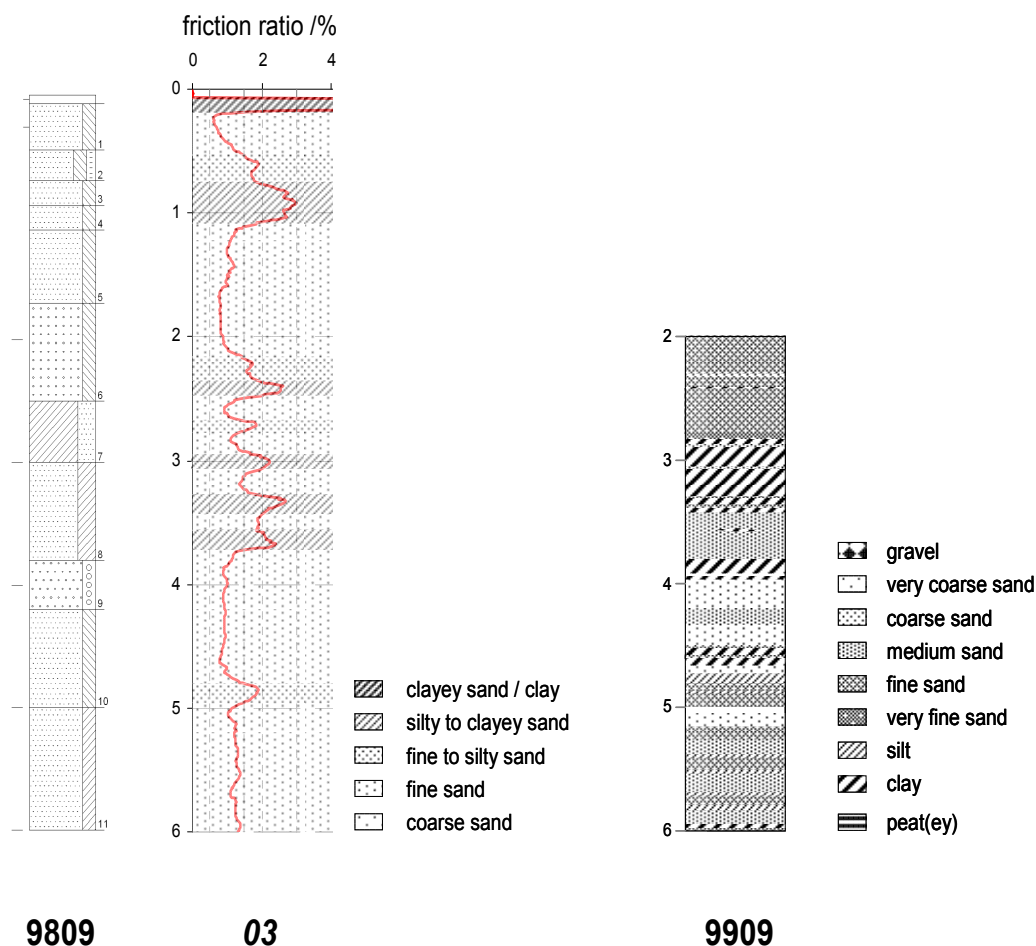
Kennis met betrekking tot de bodemopbouw en geologie moet op twee verschillende schalen worden verzameld: een regionale schaal en een lokale, locatie gebonden schaal.

Een algemene **regionale beschrijving** van de geologie en de ontstaansgeschiedenis van het gebied waarin de locatie zich bevindt, helpt te begrijpen welke variaties in bodemopbouw en heterogeniteit er verwacht kunnen worden. Hierbij moet worden gedacht aan de afzettingssmilieus waarin de verschillende bodemlagen zijn ontstaan: is er sprake van rivier-, wind of ijsafzettingen of een combinatie hiervan. Inzicht in de regionale schaal is geschikt als uitgangspunt wanneer er geen verder informatie voorhanden is. Men moet zich wel realiseren dat de informatie slechts beperkt bruikbaar is op lokaal niveau. Op **lokaal niveau** is informatie noodzakelijk wil men iets zinnigs kunnen zeggen over het gedrag van de verontreiniging en de daarmee samenhangende risico's of te nemen maatregelen. Op lokaal niveau moet gekeken worden of de regionale afzettingen wel

aanwezig en identificeerbaar zijn. Sprekende voorbeelden hiervan zijn bijvoorbeeld slecht doorlatende klei- of veenlagen die regionaal worden aangetroffen maar lokaal of minder dik zijn, of niet (meer) aanwezig zijn. Lokaal moet ook gekeken worden of beter doorlatende zandpakketten aanwezig zijn. Binnen die afzettingen kan vervolgens gekeken worden of er binnen deze schijnbaar homogene zanden geen leemlaagjes, grovere zanden of zelfs grindlaagjes aanwezig zijn die het gedrag van de verontreiniging en de verspreiding kunnen beïnvloeden. Vanuit een saneringsoogpunt is het ook wenselijk te weten wat de doorlatendheid en het organisch stof gehalte is, en de variaties daarin van de afzettingen.

Vaak heeft men op zowel grote als kleine industriële locaties het originele maaiveld gevormd naar de eigen wensen. Dan is het belangrijk om te weten hoe dik de ophooglaag is, in hoeverre deze over de hele locatie voorkomt en met welke dikte en met welke materialen het terrein is opgehoogd. Bij de vaststelling van de regionale en locale bodemopbouw kan gebruik worden gemaakt van alle mogelijke informatiebronnen. Voor de regionale schaal is kennis over de geologische ontstaansgeschiedenis onontbeerlijk en kan aanvullend informatie worden verkregen uit TNO-boringen via het DINO-loket waarin ook de informatie van het REgionaal Geohydrologisch InformatieSysteem (REGIS II) is op te vragen. Op locatieschaal komt de meeste informatie uit de geplaatste boringen uit eventuele uitgevoerde eerdere bodemonderzoeken. Hierbij moet men bedenken dat de Nederlandse werkwijze bij ondiep bodemonderzoek (tot 7 á 8 m -mv) met de edelmanboor géén goed inzicht geeft in de heterogeniteit van de bodem. Dit inzicht is vaak wel nodig wil men een goede afweging maken van de mogelijke (in situ) saneringstechnieken. Men doet er daarom goed aan een aantal sonderingen te plaatsen of gebruik te maken van oudere civieltechnische sonderingen die mogelijk geplaatst zijn tijdens de bouw. Afhankelijk van de grootte van de locatie kunnen een aantal complete boorkernen worden genomen met bijvoorbeeld een Begeman, GeoProbe® of via *sonic drilling* om het inzicht in de bodemopbouw verbeteren. Idealiter beschrijft de adviseur die het bodemonderzoek en het project begeleidt deze kernen zodat hij/zij een goed beeld krijgt van de bodemopbouw en de invloed daarvan op de verspreiding van de verontreiniging. Dergelijke complete boorkernen met bijbehorende boorbeschrijvingen hebben grote toegevoegde waarde wanneer keuzes gemaakt moeten worden over mogelijke saneringstechnieken voor de verontreiniging. In figuur 3.1 (pagina 34) is voor een locatie in Noord-Brabant het bodemprofiel gegeven zoals afgeleid met verschillende bodemonderzoekstechnieken uitgevoerd op nagenoeg (binnen 1 m²) dezelfde boorlocatie.

Topografie lijkt in Nederland bijna geen belangrijke factor, Nederland lijkt vaak platter dan het in werkelijkheid is. Op alle locaties moet men echter stilstaan of er sprake is (geweest) van hoogteverschillen en in hoeverre deze van invloed zijn (geweest) op het gedrag en de verspreiding van de verontreiniging. Oude topografische kaarten, maar ook luchtfoto interpretaties zijn behulpzaam bij het vaststellen of er sprake is geweest van (kleine) hoogte verschillen, dijken, oude sloten, greppels et cetera die een verklaring kunnen bieden voor het waargenomen verontreinigingsbeeld.



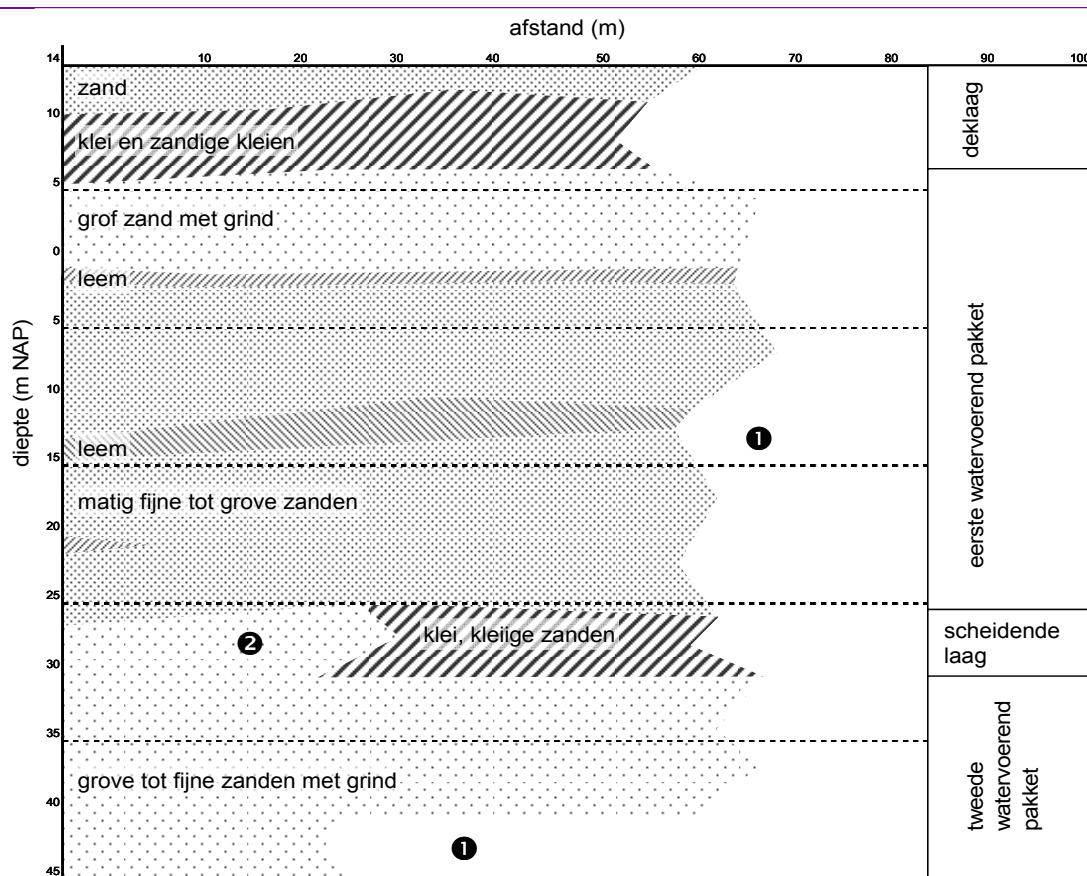
Figuur 3.1 Drie bodemprofielen op dezelfde boorlocatie op basis van drie verschillende bodemonderzoeksmethoden; 9809, edelmanboring met textuurbeschrijving conform NEN 5104; 03, bodemprofiel op basis van een sondering waarbij het wrijvingsgetal (*friction ratio*) vertaald is naar de bodemtextuur; 9909, beschrijving van een intacte boorkern. De bodemprofielen liggen binnen een straal van een meter van elkaar en beschrijven hetzelfde dieptetraject. © Tauw bv, 2010

In een conceptueel model wordt de bodemopbouw, geologie en topografie vaak als achtergrond van een dwarsdoorsnede (zie bijvoorbeeld de voorbeelden in hoofdstuk 6) met daarin de verontreiniging weergegeven. Dat maakt het noodzakelijk dat, nadat men op centimeter schaal naar de bodem is gaan kijken om de verspreiding van de verontreiniging te begrijpen, men vervolgens de bodemopbouw weer moet veralgemeniseren en schematiseren. Om te voorkomen dat de verkregen informatie en het inzicht vervolgens weer verloren gaan, kan men als onderdeel

van het conceptuele model een korte beschrijving geven van de regionale en lokale geologie en bodemopbouw, de indeling in geohydrologische pakketten, aangevuld met sonderingen, boorbeschrijvingen en/of korrelgrootte verdelingen en waar mogelijk foto's.

3.3 Hydrologie

Een belangrijke bouwsteen van een conceptueel model is de hydrologie van zowel de onverzadigde als verzadigde zone. De laatste zal in Nederland een grotere rol spelen dan de onverzadigde zone. In Limburg kunnen schijngrondwaterspiegels een onderdeel zijn van een conceptueel model.



Figuur 3.2 Voorbeeld van een dwarsdoorsnede met daarin alleen de bodemopbouw. Een dergelijke dwarsdoorsnede kan dienen als achtergrond voor een conceptueel model van bijvoorbeeld een grondwaterverontreiniging. Daar waar de geologische bodemopbouw niet bekend is, is deze ook niet ingetekend bijvoorbeeld aan de rechterzijde van de figuur (zie ❶) of op enkele plaatsen in het tweede watervoerend pakket. Ter hoogte van ❷ is bekend dat de scheiderende laag afwezig is. In de doorsnede is eveneens de geohydrologische indeling weergegeven. © Tauw bv, 2010

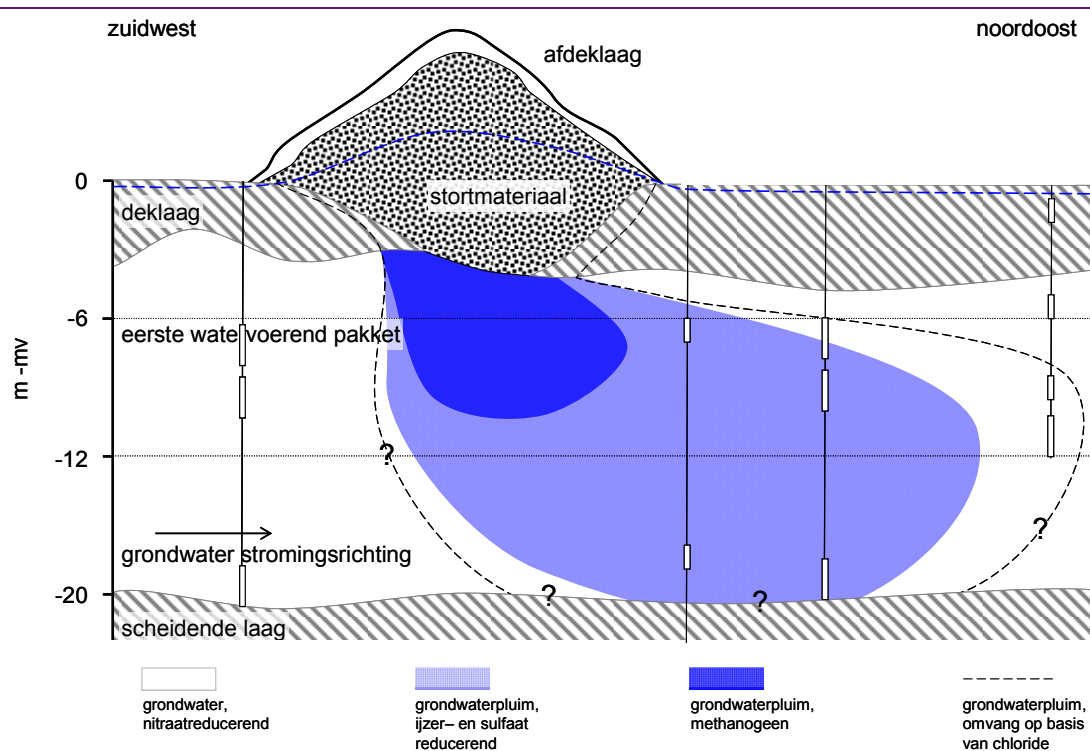
Belangrijk in een conceptueel model is de **grondwaterstand** en de **stromingsrichting** van het grondwater, en of er sprake is van verschillende aquifers al dan niet gescheiden door minder doorlatende bodemlagen (zie bijvoorbeeld figuur 3.2). Is er sprake van een freatisch grondwater pakket of een gespannen aquifer, wat zijn de eigenschappen –verhang, doorlatendheid, bergend vermogen– van de aquifer? Bevindt de locatie zich op een plaats waar infiltratie plaatsvindt, of treedt er juist kwel op? In welke mate wordt de grondwaterstroming beïnvloed door nabijgelegen oppervlaktewater? Ook de invloed van de seizoenen op het oppervlaktewater en grondwater kan van belang zijn om de verontreinigingsituatie te kunnen begrijpen.

Een groot deel van deze informatie is op een regionale schaal te verkrijgen uit het DINO-loket en de (verouderde) grondwaterkaarten van TNO-DGV. Op een lokale schaal kan een grondwaterpassing, stijghoogten en mogelijk een grondwatermodel fungeren als belangrijke informatiebron. Een grondwatermodel en een eventueel daaraan gekoppeld stoftransportmodel kan helpen inzicht te krijgen in welke mate en richting er verspreiding van de verontreiniging optreedt. De belangrijkste inzichten kunnen worden overgenomen in de visualisatie van het conceptuele model. Belangrijk is wel dat ook de uitgangspunten van het numerieke model worden vastgelegd zodat, als er nieuwe onderzoeksgegevens beschikbaar komen, ook de validiteit van deze gegevens kunnen worden geverifieerd.

3.4 Geochemie

Als een conceptueel model wordt opgesteld voor projecten waar natuurlijke afbraakprocessen van de verontreiniging een rol kunnen spelen, of in het geval van een mobiele zware metaal verontreiniging, is het nodig om stil te staan bij de geochemie. De **redoxomstandigheden** en **pH** van de bodem en het grondwatersysteem waarin de verontreiniging zich bevindt, zijn de belangrijkste geochemische parameters die het gedrag van stoffen in de bodem kunnen beïnvloeden.

In het geval van **natuurlijke afbraak** van een organische verontreiniging is het belangrijk te weten onder welke redoxomstandigheden deze afbraak optreedt. De redoxomstandigheden van het grondwater kunnen worden bepaald aan de hand van redoxmetingen of aan de hand van chemische analyses van de verschillende redoxkoppels. Hierbij moet rekening worden gehouden met het gegeven dat de redoxomstandigheden in het grondwater niet overal hetzelfde hoeven te zijn. In Nederland geldt wel vaak dat met toenemende diepte, of met toenemende afstand tot de plaats waar het water infiltreert, het grondwater anoxischer wordt. Daarnaast moet men zich realiseren dat ook de verontreiniging zelf de redoxomstandigheden van het grondwatersysteem kan beïnvloeden. Dit treedt op bij verontreinigingen die het gehalte opgelost gereduceerd organisch materiaal in de bodem verhogen, zoals bij minerale olie verontreinigingen of onder stortplaatsen.



Figuur 3.3 Een conceptueel model op basis van een dwarsdoorsnede van een verontreinigingspluim onder een stortplaats waarin de redoxzonering in de pluim is weergegeven. © Tauw bv, 2010

Bij **zware metalen** is, naast de redoxpotential (Eh), de pH een belangrijke parameter. De vorm waarin een zwaar metaal voorkomt in de bodem en het grondwater wordt in grote lijnen bepaald door de redox; de pH is in grote mate bepalend voor de mobiliteit van die vorm. Omdat het samenspel tussen redox en pH voor elk metaal anders is, is het belangrijk te weten bij het opstellen van een conceptueel model voor een zware metaal verontreiniging, hoe deze twee zich verhouden. Hiertoe kan men te rade gaan bij het Eh-pH diagram van het metaal.

Naast de redoxpotential en de pH van de bodem en het grondwater zijn er in het grondwater nog een aantal andere factoren van belang. Voor de natuurlijke afbraak is de aanwezigheid van een substraat van belang. Dit is in grondwater vaak van nature sedimentair en opgelost organisch materiaal (*dissolved organic matter* of *dissolved organic carbon*, DOM of DOC). Meer kennis over de samenstelling van de vaste fase van de bodem helpt om een indruk te kunnen krijgen van de mobiliteit van een verontreiniging. Belangrijk zijn dan de variaties in sedimentair organisch materiaal maar ook de variaties in andere bindingsplaatsen zoals de lutum fractie (< 2 µm), het gehalte ijzer- en aluminiumoxiden en de aanwezigheid van kalk. Al deze gegevens vinden hun

weg in het conceptuele model bijvoorbeeld door de redoxzonering aan te geven (zie figuur 3.3, pagina 35).

3.5 Generiek gedrag in bodem en grondwater van de verontreiniging

Het **gedrag van een verontreiniging** in bodem en grondwater is in belangrijke mate afhankelijk van de eigenschappen van de chemische verbinding, ongeacht of het nu om een organische of anorganische verbinding gaat. Kennis met betrekking tot het stofs specifieke gedrag van een verontreiniging vormt één van de belangrijkste bouwstenen van een conceptueel model. Een conceptueel model valt of staat met de kennis van de adviseur over het generieke gedrag van de verontreiniging in bodem en grondwater. Onder dit generieke gedrag valt voor veel organische verontreinigingen de omstandigheden waaronder de verontreiniging van nature wordt afgebroken en welke tussenproducten er worden gevormd. Maar ook of de stof als aparte, pure fase in de bodem kan voorkomen, of die pure verontreiniging lichter of zwaarder is dan water, hoe de bodemopbouw het gedrag van de pure verontreiniging beïnvloedt, processen met betrekking tot nalevering et cetera.

De volgende eigenschappen van de organische verontreiniging zijn van belang: **dichtheid** van de verontreinigingen, **oplosbaarheid** in water, de **verdelingscoëfficiënt** tussen de vaste en de waterfase, de **vluchtigheid** uitgedrukt in de dampspanning en de **natuurlijke afbraak** en mogelijk te vormen afbraakproducten. Voor zware metalen zijn de **lading** en **redoxgevoeligheid** van belang. In het conceptuele model moeten de verschillende verschijningsvormen van de verontreiniging, met name voor de organische verontreinigingen, herkenbaar worden weergegeven:

- Bron, is er puur product aanwezig
 - Zowel in de onverzadigde en verzadigde zone van de bodem
 - Als mobiel puur product zoals een **drijf laag** (LNAPL) of **zak laag** (DNAPL)
 - Als niet mobiel puur product zoals **residuaire product** in de retentiezone
- Pluim
 - Opgeloste verontreiniging waaronder eventuele afbraakproducten
 - Verontreiniging in de dampfase

Op basis van de verontreinigingssituatie moet deze kennis van het gedrag van de verontreiniging de onderbouwing leveren waarom er bijvoorbeeld in de pluim van de verontreiniging afbraakproducten van bijvoorbeeld vluchtige gechloreerde koolwaterstoffen zoals trichlooretheen, cis-1,2-dichlooretheen (Cis) of vinylchloride (VC) worden aangetroffen. Of dat er in de bron van dezelfde verontreiniging alleen perchlooretheen (Per) wordt aangetroffen in hoge concentraties tot circa 150.000 µg/l, maar in de grondmonsters de concentraties slechts sporadisch boven de 10 mg/kg uitkomen.

Definitie en identificatie van de bron en de pluim van de verontreinigingen is van groot belang voor de latere aanpak van de verontreiniging. In veel gevallen worden bronnen van

verontreiniging actief gesaneerd terwijl de pluim in andere kaders of op ander wijze behandeld worden, denk aan de Bosatex of gebiedsgericht grondwaterbeheer. Het is belangrijk om er rekening mee te houden, dat voor de uitvoering van in situ saneringen onder UAV-GC vaak verontreinigingsbronnen geïdentificeerd moeten worden. Individuele in situ technieken hebben dan ook nog eens verschillende toepassingsgebieden en werken met andere definities van brongebieden. Zo zijn biologische technieken enerzijds gebonden aan maximale gehalten om een bepaalde saneringsduur te behalen, terwijl bepaalde fysische technieken niet doelmatig inzetbaar zijn bij lage gehalten aan verontreinigingen. Aannemers zijn vaak meer geïnteresseerd in waar de grootste vracht van de verontreiniging zit dan in een achtergrond- of interventiewaardecontour. Dat betekent dat een conceptueel model in een saneringsplan eerder aangeeft waar de bron van de verontreiniging aanwezig is gebaseerd op bijvoorbeeld concentraties op een schaal van 1, 5, 10 en 100 mg/l of mg/kg. Ook de situering en indringing van verontreinigingen in klei- of leemlagen of de aanwezigheid van puur product (al dan niet mobiel) is van grote invloed op de resultaten van bepaalde technieken en de haalbaarheid van een saneringsdoelstelling.

Alle waarnemingen over de verontreinigingssituatie moeten verklaarbaar zijn aan de hand van het generiek gedrag van de verontreiniging. Daar waar er discrepanties zijn tussen de waarnemingen gedaan tijdens het bodemonderzoek en de kennis over het gedrag van de verontreinigingen moeten deze leiden tot onderzoeksvragen die in een eventuele volgende fase van een bodemonderzoek onderzocht kunnen worden. Kiest men ervoor deze vragen open te laten, moet men dat vastleggen omdat dit in bijvoorbeeld de fase van het saneringsonderzoek of de eventuele uitvoering van een sanering kan leiden tot verhoogde onzekerheden, uitvoerings- of verspreidings- of blootstellingsrisico's en daarmee mogelijk hogere uitvoeringskosten.

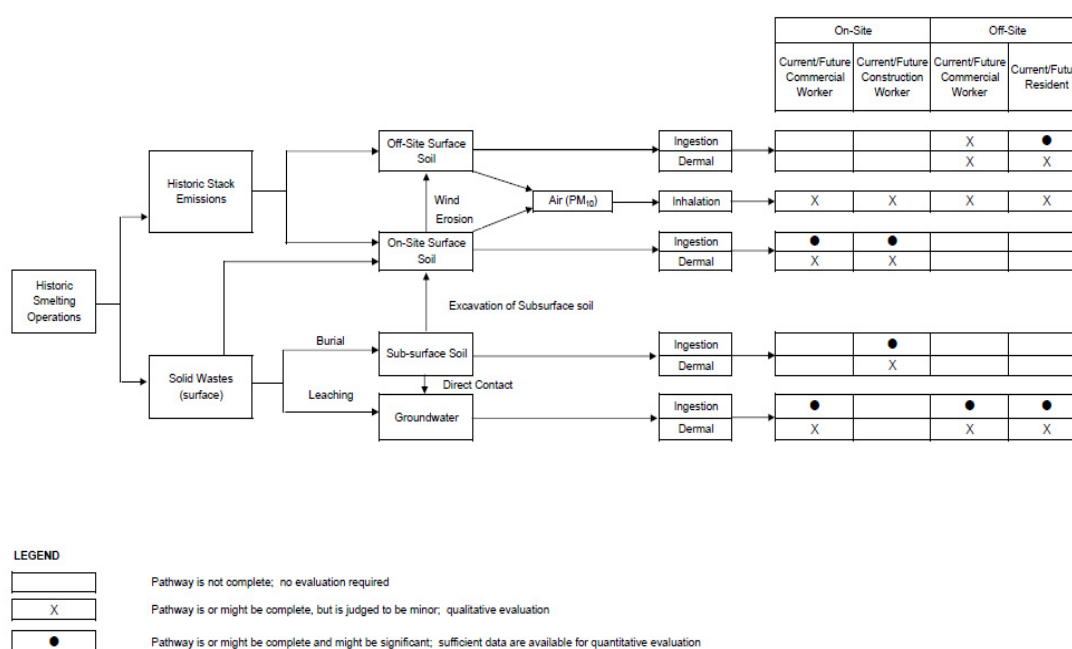
3.6 Identificatie receptoren, bedreigde objecten en (verspreidings)risico's

Belangrijk onderdeel van een conceptueel model is waar de risico's liggen die uitgaan van de gevisualiseerde verontreinigingssituatie. Een verontreiniging kan een risico inhouden voor een breed scala aan receptoren zoals werknemers van de locatie of bewoners. Het is daarom belangrijk om voor een locatie alle blootstellingroutes te identificeren en te beschrijven.

Blootstellingsroutes en **receptoren** kunnen op een schematische wijze in tabellen of stroomschema's worden gepresenteerd, hiervan is in figuur 3.4 (pagina 38) een voorbeeld gegeven. Ook een lijst van **bedreigde objecten** zoals grondwaterwinningen of ander onttrekkingen voor bijvoorbeeld privé gebruik of lopende saneringen, aanwezigheid van oppervlaktewater et cetera horen in een conceptueel model. Deze risico's worden ook in bijvoorbeeld de dwarsdoorsnede of het bovenaanzicht van de verontreinigingssituatie opgenomen. Een voorbeeld hiervan is gegeven in figuur 3.5 (pagina 39). Afhankelijk van het doel van het conceptuele model of de ligging van de locatie hoeft men zich bij de risico's en bedreigde objecten niet te beperken tot humane risico's of blootstellingroute's; ook ecologische risico's kunnen in het model worden meegenomen.

3.7 Ruimtelijke ontwikkelingen

Bij het opstellen van een conceptueel model, met name voor verontreinigingen op een grote industriële locatie, verontreinigingen in binnenstedelijk gebied of verontreinigingen die zich voorbij de grens van een locatie verspreiden, is het belangrijk te weten wat de ruimtelijke ontwikkelingen zijn. Onder ruimtelijke ontwikkelingen worden verstaan de plannen die er zijn voor de **toekomstige inrichting** van een locatie of de directe omgeving, en waar interactie kan optreden met de verontreiniging. Bij mobiele verontreinigingen moet men dan denken aan onttrekkingen om bijvoorbeeld een bouwkuip droog te houden, uitbreidingsplannen voor productielocaties of juist het afstoten van delen van productielocaties of het reduceren van een eigen grondwaterwinning door een beter gebruik van proceswater. In binnenstedelijk gebied is het ook belangrijk de ontwikkelingen rondom de locatie in de gaten te houden omdat bijvoorbeeld, stedelijke herontwikkeling of plannen voor de sanering van een nabij gelegen verontreiniging of aanleg van een warmte-koude opslag van invloed kunnen zijn op de verontreiniging.

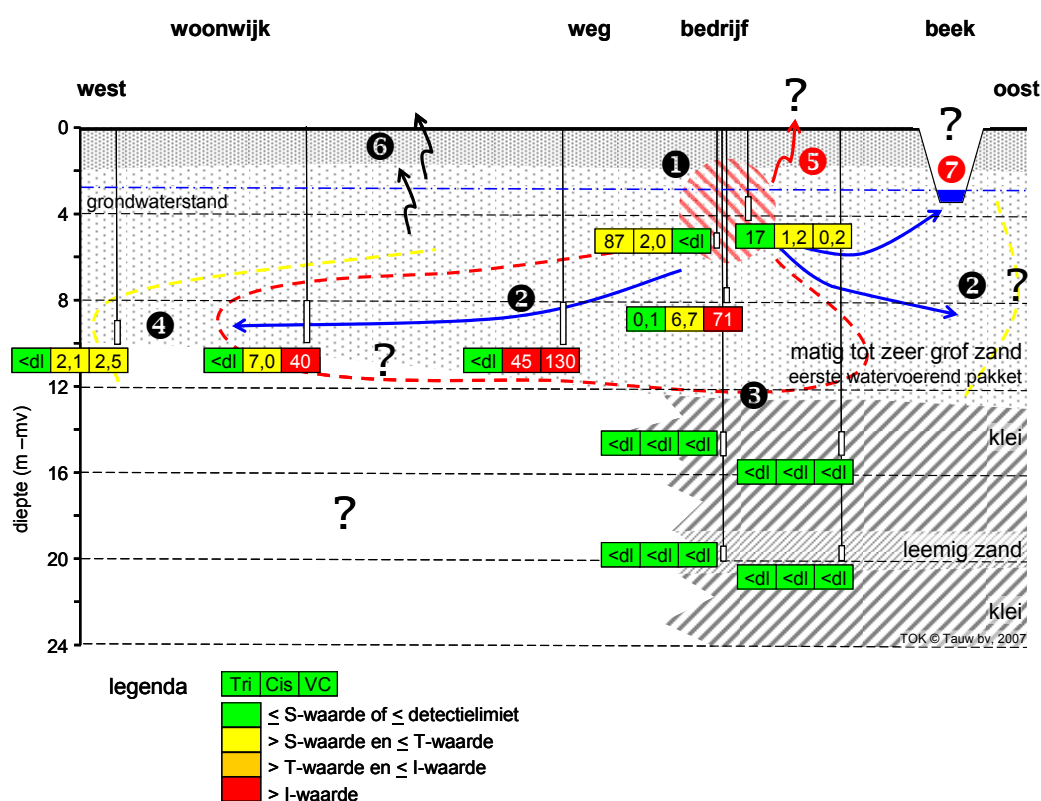


Figuur 3.4 Voorbeeld van een schematisch conceptueel model van de evaluatie van verschillende blootstellingsroutes. De mate waarin de verspreidingsroute is onderzocht, is in een tabel aangegeven.

© US-EPA, Region 8 zie www.epa.gov/region08/r8risk/pdf/hh_scm_ex1.pdf, 2010

3.8 Vraagtekens en onzekerheden (data gaps)

Vraagtekens en onzekerheden zijn belangrijke onderdelen van een conceptueel model. De bouwstenen die in de voorgaande paragrafen aan de orde zijn geweest bevatten vaak onzekerheden of onduidelijkheden en daarmee kunnen bij verschillende onderdelen van het conceptuele model vraagtekens worden geplaatst. Vraagtekens kan men plaatsen bij onderdelen die niet of nauwelijks zijn onderzocht of bij onderdelen waar (nog) geen gegevens van aanwezig zijn. Hierbij kan worden gedacht aan de continuïteit van een afsluitende kleilaag, de ligging van een riool, een verspreidingsroute van de verontreiniging et cetera. Vaak zal een conceptueel model in de beginfase van een project zoals de bodemonderzoeksfase meer vraagtekens bevatten dan wanneer het project zich richting de uitvoeringsfase bevindt.



Figuur 3.5 Conceptueel model als basis van de visualisatie van een verontreiniging met vluchtige gechloreerde koolwaterstoffen. In het voorbeeld zijn de meetgegevens op peilbuisniveau geïnterpreteerd met daarin als achtergrond de bodemopbouw. Verschillende aspecten van de verontreiniging en daarmee geassocieerde risico's zijn genummerd. Ook onzekerheden zoals de bodemopbouw onder de woonwijk, uitdamping vanuit de bron of verspreiding naar de beek, zijn aangemerkt als onderzoeksvragen.

© Tauw bv, 2010

Vraagtekens binnen het conceptuele model kunnen aanleiding zijn voor aanvullend onderzoek, of wanneer een project zich meer richting de uitvoeringsfase begeeft, kunnen vraagtekens resulteren in bijvoorbeeld aanvullende vragen van een aannemer of een hogere inschatting van het risico. Belangrijk is wel dat de data gaps worden vastgelegd, ongeacht of ze al dan niet nog worden onderzocht. En dan het liefst met een korte argumentatie waarom ze nog zouden moeten worden onderzocht, of waarom men verder onderzoek achterwege heeft gelaten. Op deze manier kan een conceptueel model een belangrijke bijdrage leveren bij het inzichtelijk maken en managen van onzekerheden.

4

Evolutie van een conceptueel model

4 Evolutie van een conceptueel model

Een conceptueel model is een denkmodel, een evoluerende schematisatie van een verontreinigingssituatie die de ontwikkeling van het inzicht weergeeft. Dit houdt in dat bij elk nieuw bodemonderzoek, of bij elke nieuwe stap, richting bijvoorbeeld de sanering, van de verontreiniging een evaluatie en toetsing moet worden uitgevoerd van het conceptuele model. In dit hoofdstuk wordt de evolutie van een conceptueel model geschetst, en hoe het model kan worden aangepast. Afhankelijk van waar het model wordt gebruikt binnen de bodemketen is het belangrijk om dit concept met enige regelmaat te toetsen. De toetsing is van belang omdat op basis van het conceptuele model mogelijk aanvullend onderzoek moet worden uitgevoerd om uiteindelijk te komen tot beantwoording van de vraagstelling van het onderzoek.

In figuur 4.1, pagina 45, is schematisch de evolutie van een conceptueel model gegeven. De verschillende fasen worden in de onderstaande paragrafen toegelicht.

Definitie projectdoel

Als eerste wordt het doel van het project gedefinieerd. Een projectdoel is een doelstelling die het doel van een bodemonderzoek overstijgt en het mogelijk maakt de achterliggende antwoorden te vinden op de vragen van een probleemhebber. Een bedrijf kan bijvoorbeeld om een nader bodemonderzoek vragen maar uiteindelijk willen weten of een eventuele sanering van een verontreiniging noodzakelijk is en zo ja hoe die eruit gaat zien. Dit heeft tot gevolg dat de informatie die verzameld moet worden in het gevraagde nader bodemonderzoek meer is dan alléén streef- en interventiewaardecontouren. Ook het conceptuele model dat gemaakt moet worden zal meer of andere informatie moeten bevatten om een afweging van saneringstechnieken te ondersteunen. Afhankelijk van het projectdoel kunnen in het gevraagde bodemonderzoek dan al zaken worden meegenomen die pas in een later stadium zoals het saneringsonderzoek of -plan van waarde zijn. Hierbij kan men denken aan een 100 x interventiewaardecontour om aan te geven waar de grootste hoeveelheid vracht van de verontreiniging zit of inzage in het al dan niet optreden van natuurlijke afbraak.

Conceptueel model van de locatie

De informatie die nodig is voor een algemeen conceptueel model zijn zaken die de hele locatie aangaan zoals: de historie van de locatie met het gebruik van chemicaliën en de op- en overslag daarvan, de stofeigenschappen van de chemicaliën, de bodemopbouw en geologie, hydrologie en informatie over de geochemie en redoxomstandigheden van bodem en grondwater. Voor locaties die een lange historie hebben is het zinvol om een conceptueel model van de locatie op te stellen. Vooral in binnenstedelijk gebied komt het nog wel eens voor dat er op één locatie

achtereenvolgens verschillende kleine industrieën hebben gezeten te denken valt aan achtereenvolgens een drukkerij, een garage en uiteindelijk woningen.

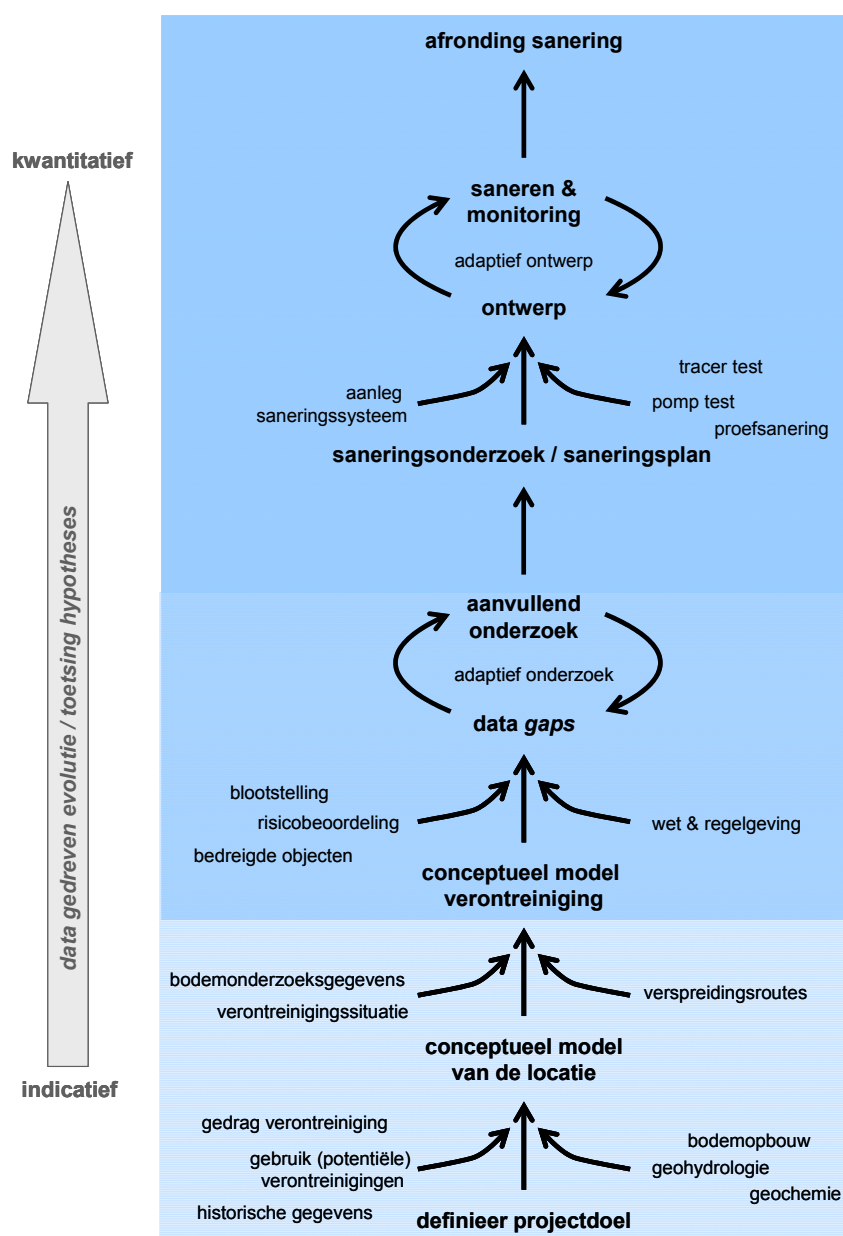
Conceptueel model van een verontreiniging of een locatie?

Het verschil tussen een conceptueel model van de verontreiniging en dat van een locatie is vaak afhankelijk van de locatie. Voor kleinere locaties zal er geen duidelijk verschil zijn tussen beide. Voor grote industriële locaties kan er wel een verschil zijn tussen beide conceptuele modellen. Bijvoorbeeld omdat de bodemopbouw op verschillende delen van de locatie in meer of mindere mate van elkaar verschilt. Ook kan een grote industriële locatie op verschillende plekken verschillende verontreinigingen bevatten. In veel gevallen zal echter het conceptuele model van de locatie gelijk zijn aan het conceptuele model van de verontreiniging zoals bijvoorbeeld in figuur 3.5, pagina 39.

Om te komen van een conceptueel model van een locatie naar een conceptueel model van een verontreiniging worden aan de schematisatie van de ondergrond de gegevens van de verontreinigingssituatie en de verspreidingsroutes van de verontreiniging toegevoegd. Afhankelijk van de verontreiniging kunnen specifieke bodemonderzoeksgegevens zoals pH en redoxomstandigheden van het grondwater worden toegevoegd. Op basis van het beeld dat dan ontstaat kunnen dan eventuele onderzoeksvragen (*data gaps*) voor aanvullend onderzoek worden geformuleerd.

Data gaps en aanvullend onderzoek

De toegevoegde waarde van een conceptueel model is dat alle relevante informatie van een verontreiniging is geschematiseerd, gevisualiseerd en eventueel in een korte samenvatting beschreven. Dat houdt in dat met die kennis en met de visualisaties zoals een dwarsdoorsnede of bovenaanzicht van de verontreiniging vrij snel een lijst kan worden gemaakt welk inzicht er ontbreekt. Door na te gaan welke risico's zoals verspreidings- maar ook blootstellingsrisico's er verbonden zijn aan de verontreiniging kan de lijst met ontbrekende inzichten gecomplementeerd worden. Bij een conceptueel model is het lijstje '*Wat weet ik van de verontreiniging en het systeem waarin deze zich bevindt?*' net zo belangrijk als het lijstje '*Wat weet ik niet?*'. En alles wat men niet weet of waar men onzeker over is kan worden aangemerkt als een *data gap*. Deze lijst met ontbrekende informatie kan vervolgens worden gebruikt ten behoeve van aanvullend onderzoek. Op basis van de resultaten van aanvullend onderzoek, worden de *data gaps* opnieuw geëvalueerd wat eventueel nog nieuwe onderzoeksvragen kan opleveren. Deze cyclische onderzoeksmethode, die wordt ondersteund door een dynamische onderzoeksopzet en de toepassing van snelle screeningsmethoden, wordt in de Verenigde Staten in toenemende mate toegepast bij het onderzoek en de sanering van grotere industriële locaties, en staat bekend als de *TRIAD approach* (zie bijvoorbeeld www.epa.gov).



Figuur 4.1 Evolutie van een conceptueel model met op de centrale as de verschillende onderdelen of fasen in een conceptueel model en aan de linker- en rechterzijde de verschillende bouwstenen of belangrijke onderdelen van bouwstenen. Naarmate een project vordert, zal het conceptuele model van een meer indicatief karakter naar een meer kwantitatiever karakter evolueren. Naar Payne e.a. (2008)

In het proces moet de afweging gemaakt worden in hoeverre de openstaande vragen beantwoord zijn. Soms is het praktisch niet mogelijk om alle *data gaps* te onderzoeken en moeten prioriteiten gesteld worden. Bijvoorbeeld informatie over het ontbreken van een bepaalde slecht doorlatende bodemlaag hoeft niet direct iets toe te voegen aan het conceptuele model als de pluim zowel horizontaal als verticaal voldoende in beeld is. Belangrijk is dan wel dat men vast legt welke *data gaps* niet verder zijn onderzocht en waarom dat niet is gebeurd.

Saneringsonderzoek en saneringsplan

Ook in de fase dat er een saneringsonderzoek wordt uitgevoerd en het saneringsplan wordt geschreven heeft het conceptueel model een toegevoegde waarde. Het conceptuele model zal niet meer bestaan uit een indicatieve schets zoals tijdens de eerste fasen maar zal een meer kwantitatief karakter hebben en mogelijk meerdere schematisaties bevatten met daarin de verontreinigingssituatie en een korte omschrijving van wat wel, en wat nog niet bekend is. Op basis van deze informatie kan tijdens het saneringsonderzoek, waarin de verschillende saneringstechnieken worden afgewogen, snel inzichtelijk worden gemaakt hoe een bepaalde techniek ingrijpt op de verontreiniging en waar risico's met betrekking tot de verontreinigingssituatie liggen. In een saneringsplan kan het conceptuele model worden opgenomen als visualisatie en schematisatie van de verontreinigingssituatie en de daarop van invloed zijnde factoren, en de saneringsmaatregelen die men wil treffen.

In zowel de saneringsonderzoeksfase als in het saneringsplan kan een conceptueel model helpen in de discussies met verschillende partijen (direct en indirect betrokkenen) zodat allen een zelfde beeld hebben bij de verontreiniging en de geplande aanpak daarvan. Dit kan de discussies stroomlijnen en er voor zorgen dat het verwachtingspatroon bij de verschillende betrokken partijen gelijk zijn. Als voor een gegeven verontreiniging een saneringsplan wordt goedgekeurd en de beschikking afgegeven, kan een conceptueel model als basis voor de ontwerp- en uitvoeringsfase worden gebruikt.

Ontwerp

Als de saneringsmaatregelen bekend zijn, kan het conceptueel model gericht op de vraagstelling van de toe te passen saneringstechniek(en) geactualiseerd worden. In aanloop naar een ontwerp wordt vaak nog informatie verzameld die een conceptueel model moet aanscherpen:

- Afhankelijk van de saneringstechniek die wordt ingezet kan het noodzakelijk zijn om de verontreinigingssituatie (bijvoorbeeld onderscheid bron-pluim, of de situering van drijf- of zaklagen) gedetailleerd vast te stellen gericht op de randvoorwaarden van de saneringstechniek
- Voorafgaand aan de eigenlijke uitvoering kunnen nog een aantal veldtesten zoals een pompproef of tracertest worden gedaan die de (geohydrologische) situatie in het conceptueel model valideren of verfijnen

- Ook kan er sprake zijn van een pilot of proefsanering met de beoogde saneringstechniek. Informatie die uit een dergelijke proefsanering wordt gehaald, kan worden gebruikt om het conceptueel model aan te scherpen

Als het conceptuele model is gemaakt voor een locatie of verontreiniging die gesaneerd wordt met een in situ techniek, moet de informatie over bodemopbouw en/of de verontreinigings situatie die tijdens de aanleg van het systeem wordt verkregen ook worden gebruikt in het conceptueel model. Als intensieve in situ systemen worden aangelegd, waarbij veel boringen plaatsvinden en waarbij opgeboord materiaal vrijkomt, is dit bij uitstek een gelegenheid om het conceptueel model sterk te verfijnen. Dit moet/kan leiden tot bijstelling en optimalisatie van het saneringssysteem. Al deze informatie kan tijdens de uiteindelijke saneringsfase helpen bij de optimalisatie van de aansturing en het interpreteren van de saneringsresultaten.

Saneren en monitoren

In de aanloop naar en tijdens de uitvoering van een sanering kan een conceptueel model verfijnd worden en ondersteunen bij hoe de beoogde saneringstechniek werkt en de interpretatie van de gegevens die vrijkomen. Verfijning van het conceptueel model kan een verklaring bieden waarom bepaalde delen van het te saneren gebied wel volgens verwachting lopen en andere delen niet. Idealiter is een sanering en de daaraan verbonden monitoring van de resultaten een iteratief proces. Hierbij wordt de informatie van de monitoring gebruikt om de sanering te sturen. Dit geldt voor een intensieve in situ saneringstechniek zoals chemische oxidatie maar ook voor de meer extensievere saneringstechnieken zoals (gestimuleerde) natuurlijke afbraak. Door op gezette tijden de monitoringsresultaten naast het conceptueel model te houden en na te gaan of de resultaten verklaarbaar zijn op basis van het conceptueel model kan men snel inzicht krijgen of de sanering loopt zoals verwacht. Of een verklaring bieden waarom sommige resultaten tegenvallen. Het continue toetsen van het conceptueel model aan de monitoringsgegevens kan helpen de sanering, op grond van een degelijke argumentatie bij te stellen. Dit kan uiteindelijk frustraties bij de opdrachtgever en het bevoegde gezag voorkomen.

Met name voor langlopende saneringen zoals bij in situ technieken op basis van (gestimuleerde) natuurlijke afbraak of sommige chemische oxidatie technieken is het conceptueel model een nuttig instrument voor interpretatie van resultaten. In deze fase waarin vaak meerdere partijen, of vanwege de lange projectduur nieuwe verantwoordelijke managers bij een project worden betrokken, kan het conceptuele model ook goed dienen als visualisatie voor kennisoverdracht.

Afronding sanering

Met het afronden van de sanering stopt ook de evolutie van het conceptueel model. In bijlage 1 wordt een uitgebreid voorbeeld gegeven van een evolutie van een conceptueel model.

5

Checklist en vastlegging van een conceptueel model

5 Checklist en vastlegging van een conceptueel model

Een conceptueel model integreert en interpreteert beschikbare informatie van een locatie en de impact van de verontreiniging op de omgeving (mens en milieu). De onderdelen die een conceptueel model moet bevatten zijn besproken in hoofdstuk 3. In hoofdstuk 4 is de ontwikkeling van een conceptueel model in de tijd besproken. Het model zal in het stadium van een verkennend bodemonderzoek nog een beperkt detailniveau hebben en slechts een geringe hoeveelheid verontreinigingsdata. In dit hoofdstuk worden handreikingen en suggesties gegeven hoe men een conceptueel model kan vastleggen. Daarnaast zal een checklist worden gegeven van wat er zeker in een goed conceptueel model moet zitten en welke vragen men zich moet hebben gesteld om van data naar interpretatie te komen. Een conceptueel model is tenslotte met name een denkmodel dat de actuele inzichten weergeeft.

5.1 Checklist voor een conceptueel model

De checklist bestaat uit een opsomming van de belangrijkste punten van de in hoofdstuk 3 opgenomen bouwstenen van een conceptueel model. De volgorde die in hoofdstuk 3 is aangehouden wordt ook hier gevolgd. De checklist pretendeert niet volledig te zijn! De opsteller of dit nu de bodemonderzoeker, adviseur, aannemer, of degene is die de lijst langs loopt om te kunnen vaststellen of het conceptueel model wel alle belangrijke onderwerpen afdekt, zullen steeds moeten blijven nagaan of voor de gegeven situatie niet nog andere zaken van belang kunnen zijn. Het maken van een conceptueel model blijft een kennisintensief maar ook inventief proces dat zich niet voor honderd procent laat afdekken met een checklist. Blijven nadenken dus!

Historische informatie

Wat aan voorinformatie moet worden verzameld is in Nederland goed vastgelegd in de NEN 5725 en ook welke bronnen men kan gebruiken om aan deze informatie te komen. Toch is het zinvol om na te gaan:

- Welke bodembedreigende activiteiten er op de locatie hebben plaatsgevonden
- Welke en hoeveel chemicaliën er op de locatie gebruikt zijn
- Waar zijn ze gebruikt en gedurende welke periode
- Waar zijn ze opgeslagen en heeft dat boven- of ondergronds plaatsgevonden
- Waar dumpte of bewaarde men het afval
- Is er sprake geweest van calamiteiten of lozingen
- Welke infrastructuur was aanwezig en waar liep deze, te denken valt aan oude sloten, krekken, drainagesystemen, riolen, rioolcunetten, tracés van kabels en leidingen, kelders of funderings- of zandpalen

Bodemopbouw, geologie en topografie

In een conceptueel model moet een interpretatie zitten van de bodemopbouw eventueel op basis van de regionale geologie of op basis van eerder uitgevoerd bodemonderzoek, verder moet er nagedacht zijn over:

- Is de regionale geologie van toepassing op de locatie. Bijvoorbeeld slecht doorlatende klei- of veenlagen die regionaal worden aangetroffen kunnen lokaal of minder dik zijn, of door de werking van rivieren (erosie) plaatselijk niet meer aanwezig zijn
- Wat is de mate van heterogeniteit van de bodem
- Zijn er aanwijzingen bijvoorbeeld op basis van de geologische ontstaansgeschiedenis of uitgevoerd bodemonderzoek zoals leem- of veenbrokjes in de boorbeschrijving die kunnen wijzen op millimeter tot centimeter dikke bodemlaagjes. Dit is met name van belang in de fase van het saneringsontwerp
- Is er sprake van een ophooglaag en een oud maaiveld
- Waar hebben oude dijken, krekens en greppels gelopen
- Topografie, is de locatie wel zo vlak als hij lijkt. In Nederland kunnen kleine hoogteverschillen in het landschap grote gevolgen hebben voor waar bijvoorbeeld het grondwater heen stroomt

Infrastructuur

In een conceptueel model is met name in de fase van een saneringsplan of richting de uitvoering kennis over de boven- en ondergrondse infrastructuur van belang. Er moet nagedacht zijn over de invloed van:

- De aanwezigheid van kabels en leidingen –electra, hoogspanningsleidingen, glasvezelkabels maar ook hoofd gasleidingen– en riolering
- Aanwezigheid van wegen sporen en dijklichamen en de (on)mogelijkheden die dat met zich meebrengt voor de werkzaamheden
- Aanwezigheid van oude funderingen en kelders
- De toegankelijkheid van de locatie en de omliggende omgeving ten behoeve van saneringen

Hydrologie

In een conceptueel model zit altijd een interpretatie van de aanwezige hydrologische informatie. Vaak zal dit hydrologische informatie zijn die vanuit algemeen beschikbare bronnen afkomstig is, soms worden de belangrijkste conclusies van de geohydrologische modellering verwerkt in het conceptuele model. In een conceptueel model moet ten minste verwerkt zijn:

- De grondwaterstand en eventueel de aanwezigheid van schijngrondwaterstanden
- De grondwaterstromingsrichting, in een zijaanzicht wordt er vaak voor gekozen de verontreinigingssituatie te visualiseren haaks kijkend op de grondwaterstromingsrichting
- Een interpretatie van waar het grondwater op een lokaalniveau heen stroomt
- Is er sprake van één aquifer of meerdere aquifers

- Wat zijn de eigenschappen van het aquifer zoals verhang, doorlatendheid, dikte, bergend vermogen, redoxomstandigheden en de eventuele aanwezigheid van een zoet/zout water grens et cetera
- In welke mate wordt de grondwaterstroming beïnvloed door nabijgelegen oppervlaktewater en de invloed van de seizoenen
- Een grondwatermodel kan gekoppeld worden aan een stoftransportmodel waarbij de belangrijkste inzichten uit het stoftransportmodel moeten worden overgenomen in het conceptuele model. Hierbij kan men denken aan optredende afbraak of eventueel vastlegging van metalen

Geochemie

Als een conceptueel model wordt opgesteld voor projecten waar natuurlijke afbraakprocessen of vastlegging van de verontreiniging een rol kunnen spelen, of in het geval van een mobiele zware metaal verontreiniging, is het nodig om in het conceptueel model rekening te houden met:

- Wat zijn de redoxomstandigheden in de verontreinigingspluim en die van het instromende water
- Wat is de pH van de bodem en het grondwatersysteem, zowel ter plaatse van de verontreiniging als in de omgeving
- Is er substraat zoals organische stof aanwezig dat het optreden van natuurlijke afbraak mogelijk maakt
- Wat zijn de concentraties aan macroparameters zoals opgelost organisch materiaal (DOC), nitraat, Fe(III)/Fe(II), sulfaat, methaan, BZV/CZV, carbonaat/bicarbonaat of andere kationen zoals Na, K, Mg of Ca
- Loopt de natuurlijke afbraak helemaal door naar de verwachte eindproducten zoals ethaan en etheen voor vluchtige gechloreerde koolwaterstoffen of stopt de afbraak bij vinylchloride
- Voor zware metalen is de vorm waarin het metaal in het grondwater kan voorkomen van belang. Dat betekent dat op basis van de analysegegevens en het pH-Eh diagram moet worden gekeken naar de meest logische voorkomingvorm van het metaal, dit moet worden meegenomen in het conceptuele model (zie bijvoorbeeld kader 5.1, pagina 57)
- Wat zijn de mogelijke neerslagvormen en bindingsplaatsen zoals lutum, het gehalte ijzer- en aluminiumoxiden en de aanwezigheid van kalk
- Zijn de omstandigheden in het instromende grondwater zodanig dat de natuurlijke afbraak of de vastlegging duurzaam is. Te denken valt aan voldoende substraat of de juiste redoxomstandigheden

Gedrag en verdeling van de verontreinigingen in de bodem

In een conceptueel model moet met betrekking tot het gedrag van de verontreiniging zijn nagedacht over:

- Klopt de verhouding op basis van evenwichtsberekeningen tussen de grond- en grondwaterverontreiniging
- Is de verontreiniging aanwezig in het onverzadigde deel van de bodem of is er sprake van uitdamping naar de onverzadigde bodem
- Is er in het geval van een verontreiniging met vluchtige stoffen ook sprake van een bodemluchtverontreiniging en zo ja in welke mate
- Kan de verontreiniging –voornamelijk bij minerale olie en gechloreerde koolwaterstoffen– als pure fase in de bodem terecht zijn gekomen en zo ja is hij dat nog steeds. Is het redelijkerwijs op basis van de onderzoeksgegevens aan te nemen dat er puur product voorkomt (zak- of drijfslag) of residuair puur product (immobiele druppeltjes puur product)
- Bij zware metalen is het belangrijk dat naast een beeld van de verontreinigingssituatie ook een beeld wordt gevormd van de redoxcondities van de bodem en het grondwater waarin verontreiniging voorkomt.

Als een conceptueel model wordt opgesteld in aanloop naar een saneringsonderzoek, -plan of uitvoering moet stil worden gestaan bij de verdeling van de verontreiniging in de bodem en het grondwater. Nagegaan moet dan worden:

- Waar de grootste vracht zit van de verontreiniging en hoeveel vracht er minimaal wordt verwacht
- Treedt er afbraak op en zijn de omstandigheden (on)gunstig voor afbraak. Dit houdt in dat naast de afbraakproducten ook gekeken moet worden naar de omstandigheden die de afbraak mogelijk maken zoals aanwezigheid van nutriënten, koolstofbron en elektronenacceptoren (nitraat, ijzer, sulfaat), methaan en redoxpotentiaal, maar ook de pH
- Voor zware metalen moet worden gekeken naar de redoxcondities die moeten worden aangelegd om het gewenste gedrag te stimuleren en de snelheid waarmee de natuurlijke condities zich na sanering weer gaan instellen, en welk effect dat heeft op de saneringsdoelstelling
- Wat zijn eventuele obstakels die sanering onmogelijk maken. Te denken valt aan de bereikbaarheid van de locatie, ligging van kabels en leidingen, kelders et cetera

Identificatie receptoren, bedreigde objecten en (verspreiding)risico's

Een conceptueel model moet op het gebied van eventuele risico's ten minste een inventarisatie bevatten van:

- De bedreigde objecten zoals bijvoorbeeld kruip- en werkruimten, woningen, (moes)tuinen, grondwaterbeschermingsgebieden of diepere grondwaterpakketten, kleine en grote

grondwaterwinningen waaronder ook al bestaande grondwatersaneringen, oppervlaktewater, ecologie

- De verspreidingsroutes; te denken valt aan uitdamping, transport met het grondwater, kwel naar oppervlaktewater, verticale verspreiding als gevolg van dichtheidsstroming
- De mogelijke receptoren van de verontreiniging volgen uit de combinatie van beide voorgaande items zoals de werknemers op locatie, omwonenden of bewoners, beschermde diersoorten of kwetsbare ecosystemen
- Bevinden de bedreigde objecten zich binnen een afstand tot de verontreiniging die deze redelijkerwijs kan afleggen? Anders gezegd is de verspreidingssnelheid, bijvoorbeeld de grondwaterstromingssnelheid en de retardatie van de verontreiniging zodanig, dat het bedreigde object ook echt bedreigd wordt door de verontreiniging

Ruimtelijke ontwikkelingen

Bij het opstellen van een conceptueel model moet indien nodig ook verder worden gekeken dan de locatiegrenzen. In het model moet worden verwerkt:

- Eventuele toekomstplannen zoals veranderend bodemgebruik van de locatie of de directe omgeving. In binnenstedelijk gebied is het ook belangrijk de ontwikkelingen rondom de locatie in de gaten te houden omdat bijvoorbeeld, stedelijke herontwikkeling of plannen voor warmte-koude opslag van invloed kunnen zijn op de verontreiniging
- Kan er interactie optreden met de verontreiniging bijvoorbeeld door nabijgelegen onttrekkingen om bijvoorbeeld een bouwkuip droog te houden, uitbreidingsplannen voor productielocaties of juist het afstoten van delen van productielocaties of het reduceren van een eigen grondwaterwinning door een beter gebruik van proceswater

5.2 Vraag het je collega's

Het checken of toetsen van een conceptueel model kan op basis van de checklist in de voorgaande paragraaf. Het is echter onmogelijk om een checklist op te stellen van de eventuele overgebleven onderzoeksvragen of *data gaps*. Deze zijn op een snelle en vaak leerzame manier eenvoudig op tafel te krijgen. Als extra bonus krijg je er een check bij van het opgestelde conceptuele model, de methode: [in discussie gaan met je collega's](#). Het helpt je ook bij de voorbereiding van de discussie met je opdrachtgever of bevoegd gezag.

Vraag een aantal collega's om een uur te praten over een conceptuele model dat je eerder in grove lijnen hebt opgezet. Vraag niet te veel collega's, misschien vier, maximaal vijf en zorg dat er collega's tussen zitten met meer ervaring en verschillende specialistische kennis –bijvoorbeeld een bodemonderzoeker, geohydroloog, specialist op gebied van natuurlijke afbraak, risicospecialist et cetera– maar vraag ook iemand met een vergelijkbaar ervaringsniveau. Neem kort de tijd om het conceptuele model toe te lichten, waarom je het model hebt opgesteld en de doelstelling van het project. Ga vervolgens een open discussie aan en probeer alle vragen zo

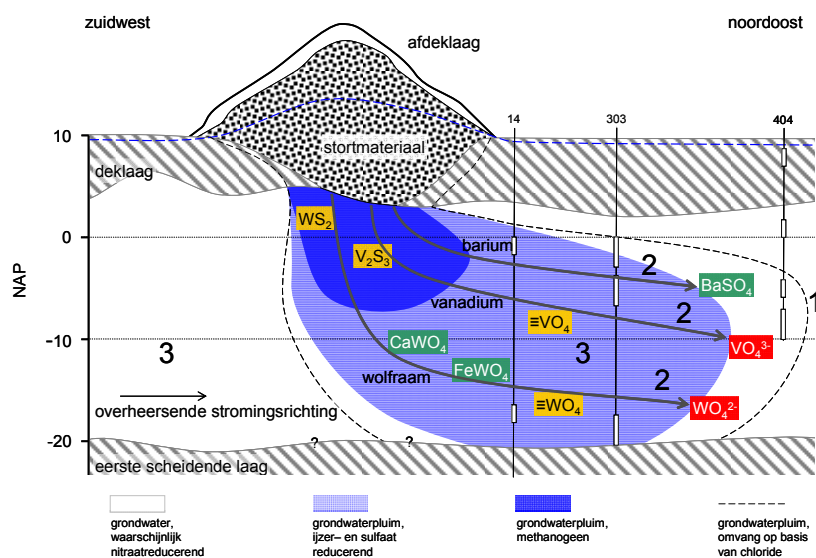
goed als je kunt te beantwoorden. Op deze manier kun je je eigen inzichten en keuzen die ten grondslag liggen aan het conceptuele model toetsen op hun validiteit. Bovendien komen er nieuwe, andere inzichten en interpretaties naar voren en het lijstje met de *data gaps* zal snel langer worden. Ervaring leert dat een sessie van een uur sneller resulteert in een goed conceptueel model, dan wanneer je alleen achter een bureau zit te broeden op een conceptueel model. Daarnaast levert het in een korte periode een lijst op met mogelijke aanvullende onderzoeksvragen. Vaak reduceert het ook nog faalkosten omdat het voorkomt dat belangrijke zaken over het hoofd worden gezien, of misinterpretaties of fouten worden gemaakt die van invloed kunnen zijn op de uitkomsten van het uit te voeren onderzoek. Omdat een conceptueel model een denkmodel is, is het net zo goed als de adviseur, aannemer of ambtenaar van het bevoegde gezag die het heeft opgesteld. Het model toetsen bij collega's en andere betrokkenen helpt fouten en kokervisie te voorkomen.

5.3 Rapportage van een conceptueel model

Het is niet de intentie van de opstellers van deze handreiking dat het conceptueel model wordt vastgelegd in een aparte rapportage. Het conceptuele model hoort thuis in het rapport van het onderzoek –dit kan een verkennend of nader bodemonderzoek maar ook een saneringsplan of evaluatierapport van een sanering zijn– dat de aanleiding is geweest om het conceptueel model op te stellen of aan te passen. Wel pleiten de opstellers er voor dat in het rapport het conceptuele model expliciet wordt opgenomen dat heeft gediend als uitgangspunt van bijvoorbeeld het onderzoek met daarbij een bronvermelding waarop dat model is gebaseerd, bijvoorbeeld een lijst met rapportages. Ook is het belangrijk te vermelden of het model één op één is overgenomen uit een eerdere rapportage of dat de opstellers een bestaand conceptueel model hebben gebruikt als uitgangspunt en dat hebben aangepast. Men moet dan ook vermelden wat en waarom men het heeft aangepast. Logischerwijs volgt dan aan het einde van de rapportage het aangepaste of bijgewerkte conceptuele model op basis van het uitgevoerde werk. Een voorbeeld van een conceptueel model dat gebruikt is bij het begin van een bodemonderzoek en het op basis van het uitgevoerde onderzoek aangepast conceptuele model is gegeven in kader 5.1, pagina 57. Hierin is ook kort de evolutie beschreven van het uitgangs conceptuele model naar het aangepaste model. Voor sommige locaties zoals grote industriële locaties in bijvoorbeeld het havengebied van Rotterdam kan het handig zijn om een apart document te hebben met daarin een beschrijving van het conceptuele model. Omdat op een dergelijke locatie meerdere verontreinigingen kunnen voorkomen, of omdat er op de locatie een variatie bestaat in bijvoorbeeld bodemopbouw kan een apart document voordelen hebben. Hierbij moet men denken aan een document op basis van een PowerPoint presentatie met daarin verschillende boven- en zijaanzichten van verschillende verontreinigingen, een samenvatting van een geohydrologisch model, een prioritering van openstaande (onderzoeks)vragen, een overzicht van relevante uitgevoerde bodemonderzoeken en saneringen. Voor de meeste locaties echter is het onnodig om een conceptueel model weer uiteen te rafelen naar de verschillende bouwstenen. Een bovenaanzicht en één of twee relevante zijaanzichten met een korte beschrijving is vaak voldoende.

Kader 5.1 Voorbeeld van de evolutie van een conceptueel als gevolg van uitgevoerd bodemonderzoek. Het kader loopt over meerder pagina's

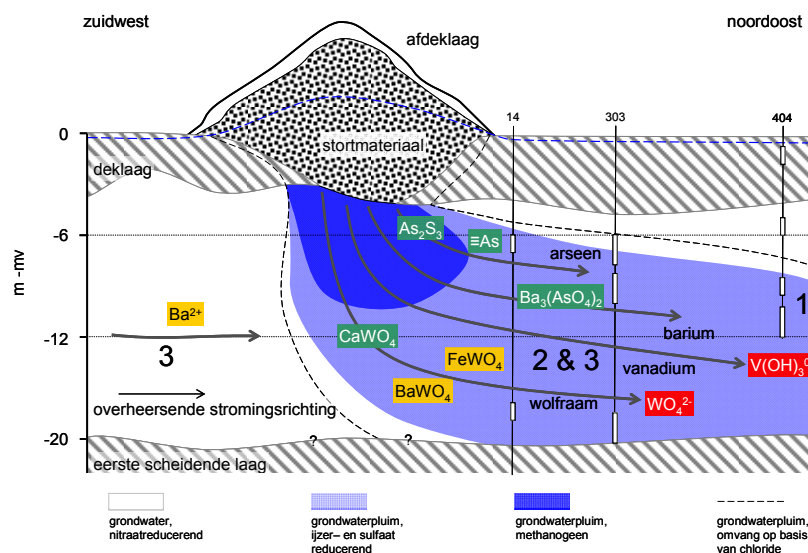
In figuur A in dit kader is een conceptueel model gegeven van een stortplaats waar in het verleden industriële afvalstoffen verontreinigd met een breed scala aan zware metalen zijn gestort. In de loop van de jaren zijn een aantal uitgelopen en met het infiltrerend regenwater als verontreinigingspluim in het grondwater terecht gekomen. Op basis van het offerteverzoek van de opdrachtgever en de meegeleverde informatie is in het offertestadium het in figuur A weergegeven conceptuele model geschetst.



Figuur A Conceptueel model dat is gebruikt als uitgangspunt van een aanvullend onderzoek naar het gedrag en transport van een aantal zware metalen in de verontreinigingspluim van een stortplaats. © Tauw bv, 2010

In het conceptuele model dat bestaat uit een geschematiseerd zijaanzicht van de stort en het eerste aquifer zijn de redoxcondities in het grondwater aangegeven. Ook is indicatief weergegeven wat de grootte van de grondwaterpluim is op basis van de chloride concentratie. Voor drie metalen, barium (Ba), vanadium (V) en wolfram (W), is langs een fictieve stroombaan het verwachte gedrag en het belangrijkste voorkomen van het metaal weergegeven. Hierbij is een kleuren codering gebruikt. Groen is gunstig, het metaal vormt een neerslag en is niet mobiel. Rood is ongunstig, het metaal komt voor in een vorm die geen affiniteit heeft met de vaste fase en daarmee mobiel is. In oranje zijn de voorkomingsvormen aangegeven waarvan op basis van de literatuur niet direct kan worden bepaald of het kan voorkomen. Ook vastlegging door adsorptie aan de vaste fase is aangegeven met een $\equiv$ -teken en is in oranje weergegeven omdat dit een reversibel proces is. De opdrachtgever vroeg om een update van de verontreinigingssituatie, een interpretatie van de eerdere monitoringsgegevens, een verklaring van het gedrag van de metalen en een mogelijke voorspelling van de omvang van de zware metalen pluim. Het conceptuele model is gebruikt om de belangrijkste onderzoeksvragen te

kunnen formuleren en na te gaan waar nog aanvullend onderzoek noodzakelijk was. Deze belangrijkste *data gaps* zijn in figuur A aangegeven, te weten: 1) omvang van de pluim. Op basis van de monitoringssgegevens en de kennis van de geohydrologie bestond het vermoeden dat de pluim een grotere omvang had. 2) Het onderzoek moest de onzekerheden met betrekking tot het gedrag, nu en in de toekomst, kunnen wegnemen. Dit is gedaan aan de hand van een geochemische modellering waarin is gekeken naar de verschijningsvorm(en) van de metalen. 3) Voor die geochemische modellering was informatie nodig over de redoxomstandigheden en een groot aantal macroparameters in het grondwater zowel ter hoogte van de pluim als van het instromende grondwater.



Figuur B Aangepast conceptueel model na uitgevoerd onderzoek naar het gedrag en transport van een aantal zware metalen in de verontreinigingspluim van een stortplaats. © Tauw bv, 2010

In figuur B is het conceptuele model aangepast aan het uitgevoerde onderzoek. De eerder geïdentificeerde *data gaps* zijn integraal verwerkt in het model: 1) de grondwaterpluim bleek inderdaad iets groter te zijn. 2) Ook de redoxzonering in de grondwaterpluim kon op basis van het onderzoek worden aangepast. De metingen met betrekking tot de redox en de macroparameters samen met de geochemische modellering bevestigden voor een aantal metalen de eerder ingeschatte verschijningsvormen, maar leverden ook nieuwe inzichten op met betrekking tot de mobiliteit van de verschillende metalen. Zo bleek Ba samen met in het grondwater aanwezig arseen (As) een stabiel neerslag te vormen. BaSO_4 daarentegen niet, en de op voorhand ingeschatte neerslagen met W als wolframaten (CaWO_4 , BaWO_4) bleken minder stabiel dan gedacht. 3) In het onderzoek naar de toekomstige ontwikkeling van de grondwaterpluim was onderzoek gedaan naar de omstandigheden in het instromende grondwater. Daaruit bleek ondermeer dat het water oxischer was dan gedacht maar ook dat het grondwater een hoge concentratie aan Ba bevatte, tot 100 à 150 $\mu\text{g/l}$.

Beide conceptuele modellen zijn in de rapportage van het desbetreffende onderzoek opgenomen.

Voorbeelden van conceptuele modellen

6

6 Voorbeelden van conceptuele modellen

Het visualiseren van bodemverontreiniging is een belangrijk onderdeel van het bewustwordingsproces van bodemverontreiniging. Bodemverontreiniging zit in drie dimensies onder onze voeten in de bodem, waarin niemand in detail kan kijken. Veel indirect maar ook direct betrokkenen hebben dan ook moeite met het visualiseren van bodemverontreinigingen. Voor een goede communicatie omtrent bodemverontreiniging is het van essentieel belang om verontreinigingssituaties te visualiseren, om van daaruit verder te kunnen werken aan oplossingen. Het maken van een visualisatie dwingt de gebruiker ook om na te denken over de interpretatie van de beschikbare gegevens en dit proces alleen al zal het inzicht in de situatie vergroten. In de handreiking zijn in de voorgaande hoofdstukken al enkele voorbeelden en beschrijvingen langs gekomen van conceptuele modellen. In dit hoofdstuk is een aantal simpele maar ook enkele complexere conceptuele modellen opgenomen.

In dit hoofdstuk zijn voorbeelden van de volgende situaties opgenomen:

1. Ondergrondse brandstoftank
2. Bestemmingswijziging van enkele landbouwpercelen
3. Braakliggend terrein met een verontreiniging aan arseen
4. Verfspuiterij van leerproducten
5. Metalenverontreiniging bij een verzinkerij
6. Minerale olieverontreiniging met drijfslag
7. Sanering met in situ chemische oxidatie bij enkele woonhuizen

In de eerste drie voorbeelden gaat het om een eenvoudig conceptueel model dat in aanloop naar een verkennend of aanvullend bodemonderzoek kan worden opgesteld. In deze voorbeelden is een korte beschrijving van de situatie gegeven waarna een visualisatie van het conceptueel model is gegeven met daarin de belangrijkste onderzoeksvragen en *data gaps*. Daarnaast zal bij elk voorbeeld een omschrijving worden gegeven van cruciale onderdelen of bepaalde keuzes die zijn gemaakt bij het opstellen van het conceptuele model. Voorbeelden 4 tot en met 7 zijn voorbeelden van een complexer conceptueel model. In deze voorbeelden is de verontreiniging verregaand in beeld en voert men een nader bodemonderzoek of saneringsgericht onderzoek uit. Deze voorbeelden bevatten een uitgebreidere beschrijving van de situatie en omschrijving van het conceptuele model en de daarin gemaakte keuzes. Het laatste voorbeeld is een voorbeeld van een conceptueel model zoals dat voor de uitvoering van een in situ sanering kan worden opgesteld om risico's van de gekozen sanering te inventariseren om daarop maatregelen te kunnen treffen.

6.1 Voorbeeld 1 – Ondergrondse brandstoftank

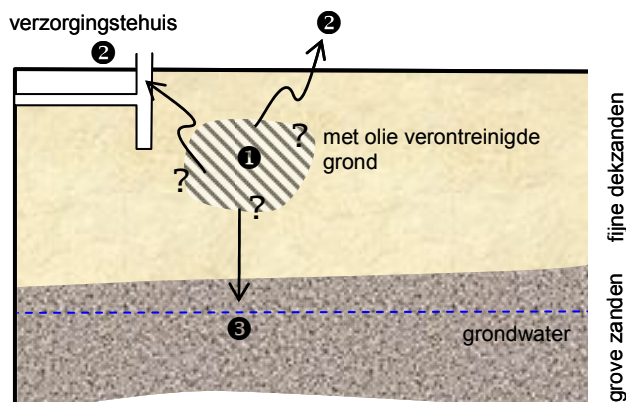
Korte beschrijving

Bij een verzorgingstehuis dat rond 1950 aan de westzijde van Apeldoorn is gesticht is begin jaren tachtig een ondergrondse tank voor huisbrandolie verwijderd. Bij de verwijdering bleek de tank olie naar de grond te hebben gelekt. Deze met minerale olie verontreinigde grond is na verwijdering van de tank, geheel in de geest van de tijd, teruggezet in het ontgravingsvak. Van de hele verwijdering van de ondergrondse tank is alleen een briefrapportage aanwezig met daarin een enkele analyse van de kwaliteit van de grond rond de tank. De grond bevatte gehalten aan minerale olie van maximaal 500 mg/kg. De bodem bestaat uit fijne dekzanden die met toenemende diepte overgaan in grovere, gestuwde zandpakketten. De grondwaterstand staat op meer dan 8 m -mv. De zorginstelling wil de locatie verkopen en heeft gevraagd om een bodemonderzoek. Ook wil men weten wat een eventuele sanering van de grond gaat kosten.

Conceptuele model

Het conceptuele model van voorbeeld 1 op basis van de bovenstaande informatie is gegeven in figuur 6.1, pagina 63. Worden de vragen van de opdrachtgever gekoppeld aan het conceptuele model dan blijven de volgende onderzoeksvragen of *data gaps* over:

1. Hoe groot is de vlek met olieverontreinigde grond en welke gehalten zijn er nog aanwezig. Omdat minerale olie onder oxidische omstandigheden redelijk afbreekt is het de verwachting dat de gehalten lager zullen zijn dan bij de ontgravingswerkzaamheden is geconstateerd. Oxidische omstandigheden in de bodem zijn te verwachten vanwege de verwachte goede doorlatendheid van de bodem en de diepe grondwaterstand, dit zal in het onderzoek geverifieerd moeten worden. Uit de historische gegevens is geen informatie beschikbaar over de aanwezigheid tijdens de ontgraving van puur product. Dit zal tijdens het bodemonderzoek eveneens geverifieerd moeten worden. Grootte en gehalten in de vlek, maar ook het voorkomen van puur product zijn van grote invloed op de saneringskosten
2. Naast het onderzoek naar de huidige omvang is het zinvol om na te gaan of er blootstellingsrisico's zijn door bijvoorbeeld uitdamping naar de buitenlucht of kruipruimten onder het verzorgingstehuis
3. Er zijn twee redenen om in het onderzoek ook het grondwater mee te nemen
 - Er is geen informatie over het al dan niet aanwezig zijn van puur product tijdens de ontgraving. Het is dus mogelijk dat er zoveel huisbrandolie is gelekt uit de tank dat deze als drijflaag aanwezig is, of is geweest, op de grondwaterspiegel. Het al dan niet aanwezig zijn van puur product is van invloed op de saneringskosten
 - Als er geen puur product aanwezig is, kan de olie en dan met name de lichtere componenten van de olie het grondwater hebben bereikt door infiltrerend regenwater. In dat geval is het zinvol om te weten of er een grondwaterpluim aanwezig is en zo ja welke verontreinigingscomponenten daarin zitten en in welke concentraties



Figuur 6.1 Conceptueel model voor voorbeeld 1; een achtergebleven verontreiniging met minerale olie na het verwijderen van een ondergrondse tank voor huisbrandolie bij een verzorgingstehuis in Apeldoorn. Onderzoeksvragen of data gaps zijn; ① hoe groot is de bodemverontreiniging en welke gehalten zijn nog aanwezig, ② zijn er blootstellingsrisico's, en ③ heeft er transport plaatsgevonden naar het grondwater. Dit kan in de opgeloste fase met infiltrerend regenwater of als puur product. En zo ja, welke concentraties worden dan aangetroffen in het grondwater. © Tauw bv, 2010

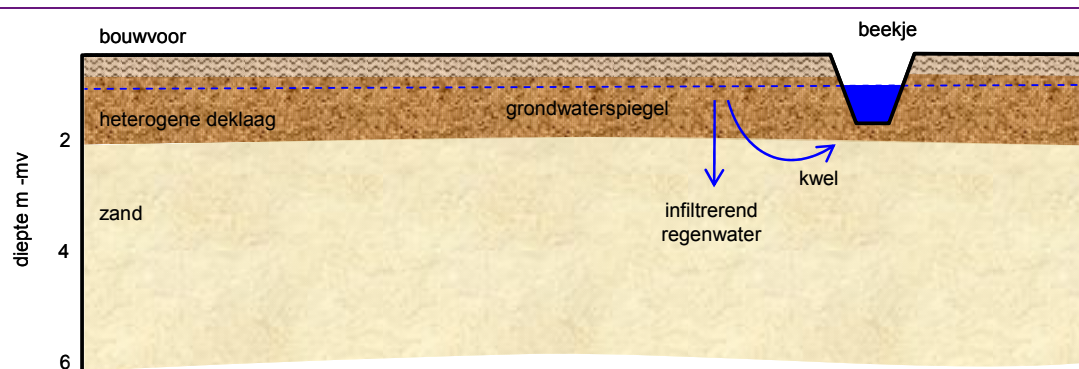
6.2 Voorbeeld 2 – Bestemmingswijziging van enkele landbouwpercelen

Korte beschrijving

Aan de rand van een provinciestadje wil de gemeente op een aantal landbouwpercelen woningbouw plegen. Op basis van het vooronderzoek is het niet te verwachten dat er in het verleden verdachte activiteiten hebben plaatsgevonden. De percelen zijn sinds mensenheugenis als grasland in gebruik. Aan de rand van één van de te onderzoeken percelen loopt een beekje. De bodemopbouw bestaat uit een sterk heterogene deklaag van zandige en kleiige bodemlaagjes van circa 2 m met daaronder een zandpakket met een geschatte totale dikte van 6 m. Het grondwater staat op minder dan een meter onder het maaiveld. De gemeente vraagt om een bodemonderzoek voor de bouwvergunning.

Conceptuele model

Het conceptuele model van voorbeeld 2 is gegeven in figuur 6.2, pagina 64. Het conceptuele model is alleen een visualisatie van de bodemopbouw zoals hij hierboven is gegeven. Er is geen indicatie dat er sprake is van een verontreiniging. Het onderzoek dat moet worden uitgevoerd kan volgens de hypothese onverdacht uit de NEN 5740 die eveneens kan dienen als conceptuele model.



Figuur 6.2 Conceptueel model voor voorbeeld 2; een onderzoek naar de bestemmingswijziging van een aantal landbouwpercelen. In dit voorbeeld is het conceptuele model gelijk aan een visualisatie van de bodemopbouw. © Tauw bv, 2010

6.3 Voorbeeld 3 – Braakliggend terrein met arseenverontreiniging

Korte beschrijving

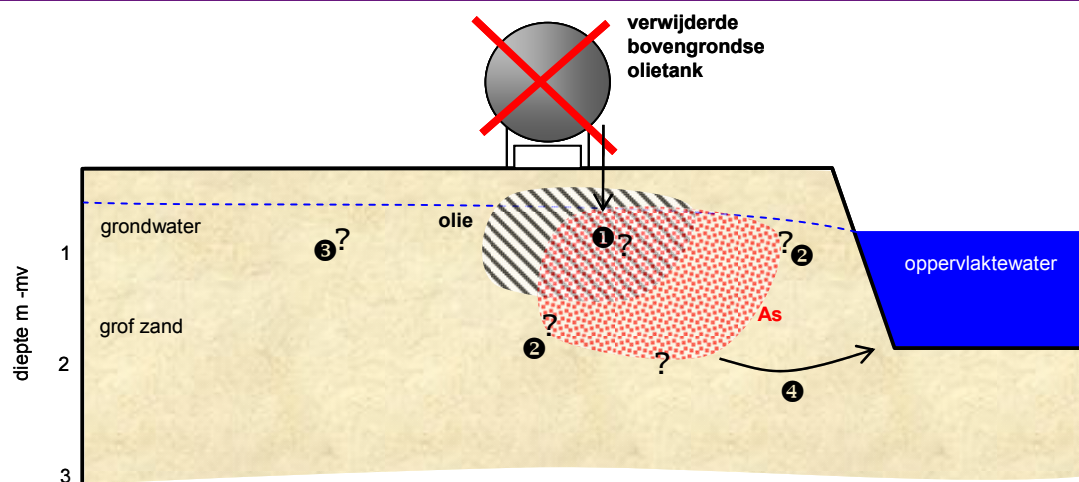
Op een braakliggend deel van een industrieterrein zijn bij een bodemonderzoek in het kader van een transactie hoge concentraties aan arseen (As) in het grondwater aangetroffen. Op basis van een snel uitgevoerde analyse van historische gegevens blijkt er op de locatie een bovengrondse olietank te hebben gelegen. Minerale olie wordt echter in de grond en het grondwater alleen in licht verhoogde concentraties tot net boven de streefwaarde aangetroffen. De bodem bestaat uit matig grove zanden, het grondwater staat op circa een halve meter diepte. Het terrein ligt pal aan oppervlaktewater. De toekomstige bestemming van het terrein blijft industrie, de nieuwe eigenaar wil een bouwvergunning aanvragen voor een kantoorpand met opslagruimte. Het bevoegde gezag wil de arseenverontreiniging in kaart hebben gebracht.

Conceptuele model

Het conceptuele model van voorbeeld 3 is gegeven in figuur 6.3, pagina 65. Worden de vragen van de opdrachtgever en de wensen van het bevoegde gezag gekoppeld aan het conceptuele model dan blijven de volgende onderzoeksvragen of *data gaps* over:

1. Is er informatie uit een vooronderzoek over een eventuele lekkage van de olietank. De lage concentraties kunnen worden verklaard door een kleine lekkage en de biologische afbraak van de gelekte olie. Ook zou een dergelijk vooronderzoek of historisch onderzoek helderheid moeten verschaffen of er in het verleden sprake is geweest van het gebruik van arseen op de locatie. De arseenverontreiniging kan echter ook ontstaan zijn door het in oplossing gaan van natuurlijk gebonden arseen aan de bodem als gevolg van de olie lekkage (zie verder punt 3 van deze opsomming)

2. Wat is de omvang van de arseenverontreiniging in grond en grondwater. Op basis van eventueel vooronderzoek –redoxomstandigheden, pH of aanwijzingen van het natuurlijk voorkomen van arseen– in welke vorm is het arseen zeer waarschijnlijk aanwezig
3. Zijn er aanwijzingen over het natuurlijke voorkomen van arseen op de locatie of in de directe omgeving. In veel Nederlandse bodems komt van nature arseen voor. Eén van de manieren waarop arseen kan voorkomen is gebonden aan de ijzer en aluminiumoxiden in de bodem. In het geval van een olie lekkage zal de bodem anoxisch zijn geworden waardoor de oxiden zijn opgelost en het arseen in het grondwater is terechtgekomen. Onderzoek naar arseen op plaatsen buiten de verontreinigingsvlek samen met informatie vanuit de gemeente of provincie over het natuurlijk voorkomen van arseen kan hierin helderheid verschaffen. Voor literatuur over het voorkomen van arseen in Nederlandse bodem zie hoofdstuk 8. Vaak hebben gemeenten of provincies zelf documentatie over het natuurlijk voorkomen van metalen zoals arseen
4. Als het arseen in het grondwater in hoge concentraties aanwezig is gaan er mogelijk verspreidingsrisico's van uit. Gezien de ligging ten opzichte van het oppervlaktewater zou dat moeten worden meegenomen in het onderzoek



Figuur 6.3 Conceptueel model voor voorbeeld 3; een arseenverontreiniging op een braakliggend deel van een industrieterrein. Onderzoeksvragen of *data gaps* zijn; ❶ is er informatie uit een vooronderzoek over een eventuele lekkage van de olietank. En is er een verband tussen de olie- en arseenverontreiniging. Is er eventueel informatie over het gebruik van arseen op dat deel van de locatie, ❷ wat is de omvang van de arseenverontreiniging in grond en grondwater, ❸ zijn er aanwijzingen over het natuurlijke voorkomen van arseen op de locatie of in de directe omgeving, en ❹ zijn er verspreidingsrisico's naar het oppervlaktewater. © Tauw bv, 2010

6.4 Voorbeeld 4 – Verfspuiterij van leerproducten

Beschrijving

Op de locatie is vanaf 1976 een chemische wasserij met verfspuiterij voor leerproducten actief geweest. Uit de historische informatie blijkt dat in 1984 een vergunning is aangevraagd voor het reinigen en verven van suède. Hierin is sprake van de opslag van onder andere perchlooretheen (Per). Ook wordt er gesproken over opslag van afvalproducten zoals een destillatie-residu en een mengsel van olie. In 1988 zijn de activiteiten gestaakt en wordt het pand overgenomen door een taxibedrijf met garage. Tijdens een inspectiecontrole midden jaren negentig wordt een lekkende motor van een hydraulische brug geconstateerd. Het pand brand in 2001 af waarna sloop plaatsvindt. Sinds 2003 ligt de locatie braak.

Het bedrijventerrein is midden jaren zeventig ontwikkeld. Voor die tijd had de grond een agrarische bestemming. In figuur 6.4 (pagina 67) zijn een aantal historische luchtfoto's opgenomen van de locatie. In figuur 6.5 (pagina 68) is een recentere, grotere luchtfoto opgenomen met daarin een overzicht van het gebruik van het huidige en toekomstige gebruik rondom de locatie. Ook zijn in de figuur enkele mogelijk bedreigde objecten weergegeven waaronder oppervlaktewater, en een tweetal onttrekkingen.

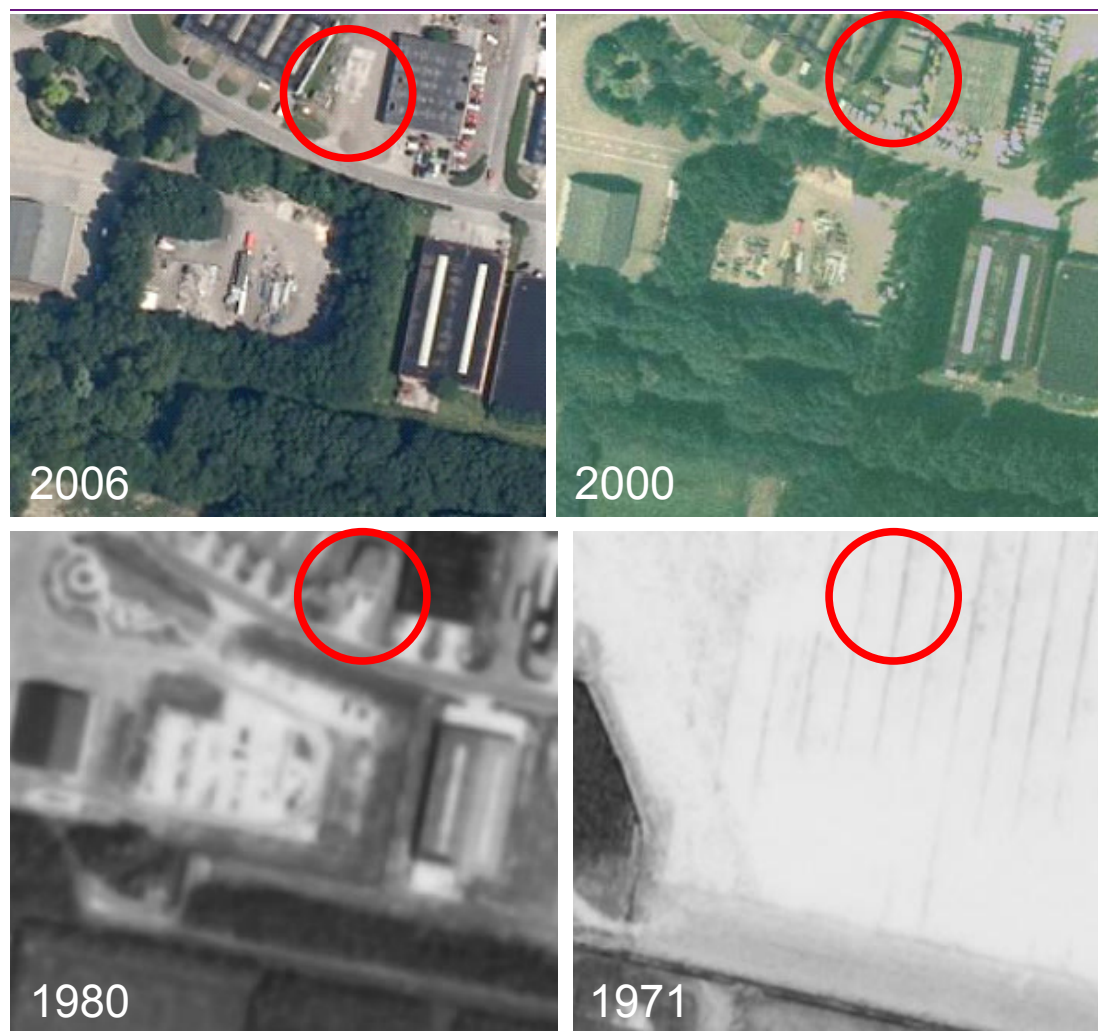
Tabel 6.1 Bodemopbouw ter hoogte van de verfspuiterij van leerproducten

Diepte (m -mv)	Omschrijving	Interpretatie
0,0 – 1,0	Zand, matig fijn tot zeer grof	Deklaag
1,0 – 3,0	Klei	Matig siltig, zeer humeus
3,0 – 7,5	Zand, matig fijn	Zwak siltig
7,5 – 18,0	Zand, matig tot grof	Matig grindig, matig siltig

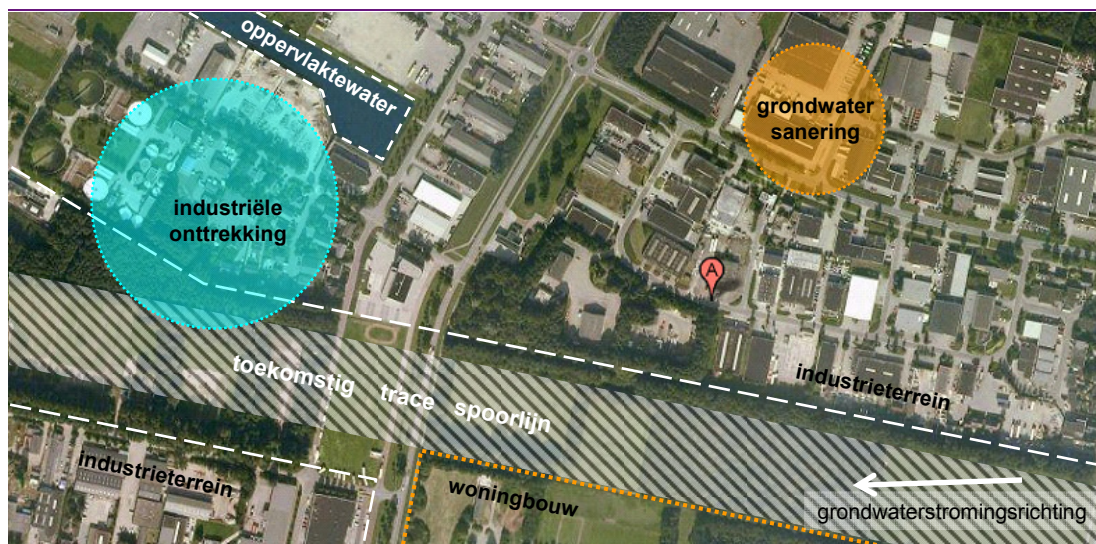
De lokale bodemopbouw is geschematiseerd in tabel 6.1. Volgens de regionale beschrijving van de bodemopbouw is op 15-17 m -mv een scheidende kleilaag, de Eemformatie, aanwezig die het eerste en het tweede watervoerende pakket scheidt. Deze laag is in twee sonderingen en een diepe boring in de uitgevoerde bodemonderzoeken echter niet gevonden. De sonderingen geven een laagje op 11 en 14 m -mv met silthoudende klei die in de boorbeschrijvingen niet worden teruggevonden.

De grondwaterstand staat op circa 2 m -mv. In 1998 is een waterpassing uitgevoerd waaruit bleek dat er een infiltratiesituatie bestaat vanuit de deklaag. Op basis van de waterpassing kon echter niet een éénduidige grondwaterstromingsrichting worden vastgesteld. De regionale grondwaterstromingsrichting in het eerste en tweede watervoerende pakket is westelijk tot zuidwestelijk gericht met snelheden met een snelheid van 15 à 20 per jaar. Er is sprake van kwel van het tweede naar het eerste watervoerende pakket.

Op basis van een grondwaterkarakterisatie is geconcludeerd in een eerder onderzoek dat in het ondiepe grondwater binnen de verontreiniging tot circa 5 m -mv geen zuurstof aanwezig is. Het grondwater bevat nog wel nitraat tot 40 mg/l en sulfaatconcentraties die variëren van 100 tot 850 mg/l. Het diepere grondwater, vanaf 5 m -mv tot 12 m -mv, bevat geen zuurstof of nitraat meer. Wel wordt er ijzer(II) aangetroffen en ook hier hoge sulfaat concentraties van gemiddeld 600 mg/l. De concentratie aan opgelost organisch materiaal ligt in zowel het ondiepe als diepe grondwater rond de 10 mg/l. De pH schommelt tussen de 6,8 en 7,3.



Figuur 6.4 Historische luchtfoto's van de locatie uit voorbeeld 4. De ligging van de locatie is aangegeven evenals het jaar dat de foto is genomen. © Tauw bv, 2010



Figuur 6.5 Overzichtsfoto van de locatie uit voorbeeld 4 met daarop aangegeven gebruik dan wel toekomstig gebruik van verschillende gebieden rondom de locatie. Mogelijk bedreigde objecten zijn eveneens aangegeven. De foto is noord georiënteerd. © Tauw bv, 2010; luchtfoto © Google, 2009

In figuur 6.6 (pagina 69) wordt de verontreinigingssituatie gegeven met Per en de afbraakproducten trichlooretheen (Tri), 1,2-cis-dichlooretheen (Cis) en vinylchloride (VC). Ondanks de hoge gehalten aan sulfaat die remmend kunnen werken op de natuurlijke biologische afbraak van vluchtige chloorkoolwaterstoffen worden afbraakproducten van Per in het grondwater aangetroffen. Wat aan de verontreinigingssituatie opvalt, is dat het verspreidingspatroon van Per een noord-zuid oriëntatie heeft. Terwijl voor Cis en VC een brede pluim wordt gevonden die, in overeenstemming met de grondwaterstromingsrichting een oost-west oriëntatie heeft. Op basis van de historische gegevens kan de noord-zuid oriëntatie van Per worden verklaard. In figuur 6.4 is op de luchtfoto uit 1971 een strepenpatroon te herkennen met eenzelfde oriëntatie. Dit is het drainagesysteem van de landbouwgronden bestaande uit ondiepe greppels met daaronder een drainagebuis. Bij het in gebruik nemen van de gronden als industrieterrein is het maaiveld waarschijnlijk geëgaliseerd en zijn de drainagebuizen en de grindkoffer waarin deze ligt niet verwijderd. Dit is tijdens één van de veldwerken ook daadwerkelijk bevestigd toen gravel en stukjes drainagebuis in opgeboorde grond werd aangetroffen. Dit oude drainagesysteem is de primaire verspreidingsroute geweest voor het Per dat bij het gebruik op de locatie in de bodem terecht is gekomen. Vanuit dit drainagesysteem is de Per dieper in de grond terechtgekomen waar met name als gevolg van de aanwezigheid van de (humeuze) kleilaag en de daarmee geassocieerde hoge DOC-concentraties natuurlijke biologische afbraak heeft opgetreden. De afbraakproducten Cis en VC hebben zich in het eerste watervoerend pakket over een afstand van circa 300 m in westelijke richting verspreid (zie figuur 6.6).



Figuur 6.6 Bovenaanzicht van de verontreiniging in het grondwater met Per, Tri Cis en VC voor voorbeeld 4. De tekeningen zijn noord georiënteerd. © Tauw bv, 2010

Met name VC in het grondwater kan een mogelijke bedreiging vormen voor de industriële grondwateronttrekking en het oppervlaktewater die zich beiden ten westen van de pluim bevinden (zie figuur 6.5). De grondwatersanering die zich ten noorden van de locatie bevindt lijkt vooralsnog geen invloed te hebben op de grondwaterpluim. Voor het verontreinigingsgeval moet een beschikking ernst en spoedeisendheid worden aangevraagd.

Conceptuele model

Het conceptuele model van voorbeeld 4 is gegeven in figuur 6.7, pagina 71. In het conceptuele model is vooral gekeken naar de risico's die uitgaan van de verontreiniging, daarnaast blijven de volgende onderzoeksvragen of *data gaps* over:

1. De omvang van de grondverontreiniging in de klei en de eventuele verspreiding van Per als puur product naar diepere bodemlagen is een van de *data gaps*. De omvang en concentraties in de grondwaterpluim in het eerste watervoerend pakket doen vermoeden dat zich mogelijk ergens in de klei zandigere delen bevinden, of dat de klei niet een horizontaal afsluitende laag vormt. Per is als puur product in het drainage systeem terecht gekomen en vandaar uit als puur product in de kleilaag. Door heterogeniteiten in de klei is het niet uit te sluiten dat Per

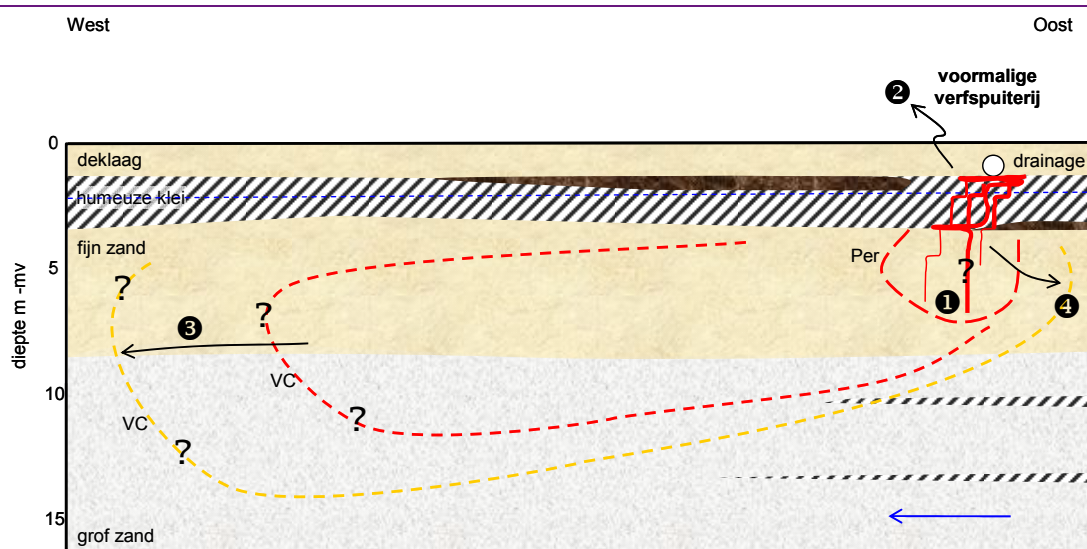
- ook als puur product in het eerste watervoerend pakket terecht is gekomen. Langs het tracé van de drainage is geen onderzoek uitgevoerd naar het mogelijk voorkomen van puur product
2. Gezien de hoge gehalten in de grond ter hoogte van het oude drainage systeem is het goed mogelijk dat de Per gehalten in de bodemlucht hoog zijn waardoor er een mogelijk risico bestaat op het uitdampen naar de buitenlucht
 3. Voor de beschikking ernst en spoedeisendheid is het nodig te weten of de verontreiniging het volumecriterium voor de jaarlijkse toename in bodemvolume overschrijdt. Gezien de omvang van de grondwaterpluim met VC is de kans reëel dat de bedreigde objecten, de grondwateronttrekking en het oppervlaktewater ook daadwerkelijk bedreigd worden. Hiervoor zal aanvullend onderzoek nodig zijn om de omvang van de pluim in de richting van de bedreigde objecten te bepalen. Mocht de verontreiniging de bedreigde objecten nog niet hebben bereikt kan een grondwatermodellering helpen in het vaststellen op welke termijn, rekening houdend met de eventuele verdergaande biologische afbraak, dat wel het geval is. Ook de verticale omvang van de grondwaterpluim is niet bekend. Wel is bekend dat er kwel optreedt vanuit het tweede naar het eerste watervoerend pakket, dit kan eventuele verspreiding naar diepere grondwaterlichamen tegenhouden
 4. Stroomopwaarts van de grondwaterpluim komen licht verhoogde concentraties aan vluchtige chloorkoolwaterstoffen voor. Dit past niet in het verspreidingsbeeld van de verontreiniging. Mogelijk zijn deze concentraties het gevolg van een tijdelijke onttrekking stroomopwaarts of is er nog een verontreinigingsbron stroomopwaarts aanwezig die instroomt

6.5 Voorbeeld 5 – Metalenverontreiniging bij een verzinkerij

Beschrijving

Op een industrieterrein is sinds 1975 een verzinkerij gevestigd waar staal wordt voorzien van een beschermend zinklaagje. Als gevolg van het productieproces waarbij gebruik wordt gemaakt van zuurbaden is de grond ter hoogte van de zuurbaden verontreinigd vanwege lekkage en morsingen van zure zinkoplossingen. De grondverontreiniging bestaat voornamelijk uit zink (Zn) en bevindt zich in de eerste vijf meter van het bodemprofiel (zie tabel 6.2 voor de bodemopbouw). De grondverontreiniging is in 1999 gesaneerd door middel van een ontgraving tot een maximum van 3 m -mv. Door de ontgravingsdiepte en de aanwezigheid van de nabijheid van funderingen is in de deklaag een restverontreiniging achtergebleven.

Als gevolg van de grondverontreiniging heeft er zich in het grondwater een pluim met opgelost Zn gevormd. Naast Zn bevat het grondwater andere zware metalen zoals lood, nikkel, koper en cadmium. Het grondwater stroomt in noordoostelijke richting met een gemiddelde snelheid van 250 meter per jaar. Het grondwater staat gemiddeld op 5 m -mv maar kan als gevolg van de seizoenen sterk fluctueren.



Figuur 6.7 Conceptueel model van voorbeeld 4. op basis van een dwarsdoorsnede door de grondwaterpluim met Per en VC. Onderzoeksvragen of *data gaps* zijn; ❶ de omvang van de grondverontreiniging in de klei en de eventuele verspreiding naar diepere bodemlagen van puur product, ❷ wat zijn de eventuele uitdampingsrisico's, ❸ wat is het verspreidingsrisico, en heeft de grondwaterpluim met VC de industriële grondwateronttrekking al bereikt, wordt het oppervlaktewater bedreigt, en ❹ stroomopwaarts worden lage concentraties aan verontreinigingen aangetroffen in het grondwater, hoe komen die daar of is er sprake van een andere bron aan vluchtige chloorkoolwaterstoffen stroomopwaarts van de locatie © Tauw bv, 2010

Tabel 6.2 Bodemopbouw ter hoogte van de verzinkerij, voorbeeld 5

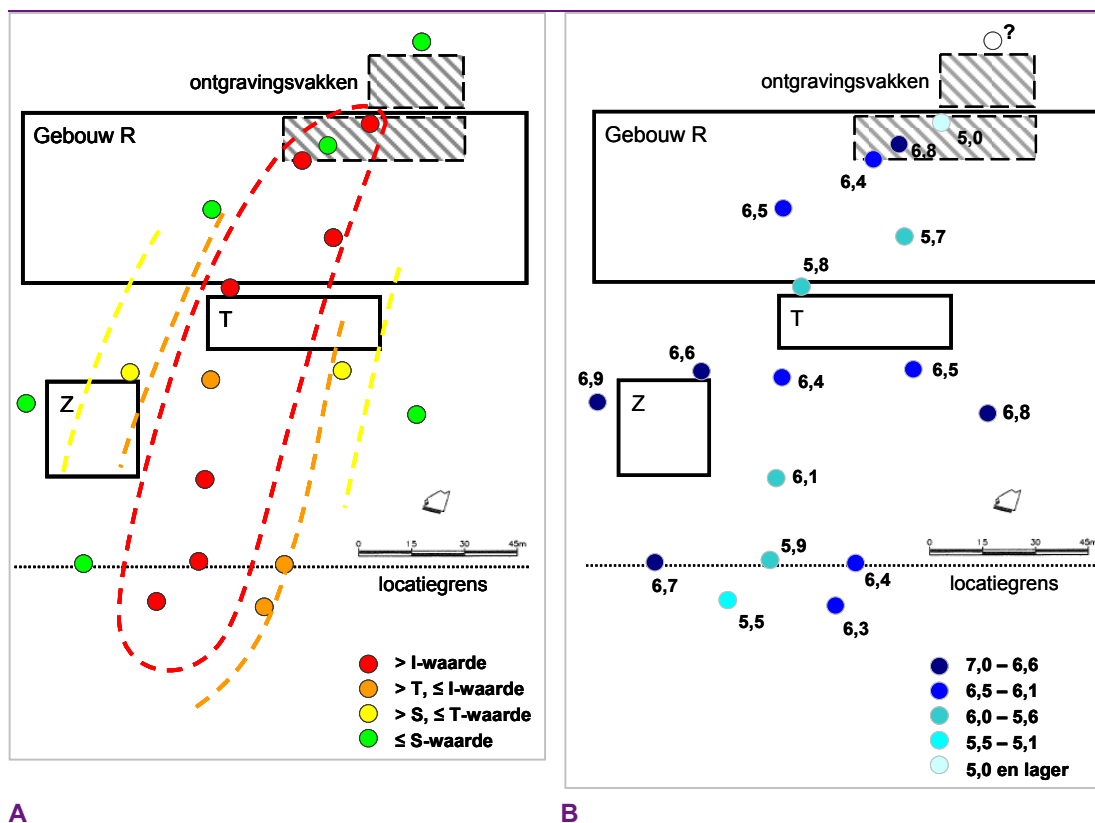
Diepte (m -mv)	Omschrijving	Interpretatie
0,0 – 5,0	Zand, fijn tot zeer fijn	Plaatselijk kleilaagjes Deklaag
5,0 – 15,0	Zand, grind	Matig grof tot grindig grindlaag van 8 – 10 m -mv Eerste watervoerend pakket
15,0 – 33,0	Zand, zeer fijn	Lemig Scheidende laag

Ondanks de grondsanering blijven de Zn-concentraties in het gesaneerde brongebied hoog en nemen de concentraties in de periode van 1999 tot 2009 in de pluim maar heel geleidelijk af. In figuur 6.8 (pagina 72) is een geschematiseerd bovenaanzicht gegeven van de grondwaterpluim in het eerste watervoerend pakket. Ook is een bovenaanzicht gegeven van de pH. Ondanks dat er geen extreem lage pH-waarden worden gevonden is er een overeenkomst tussen hoge

Zn-concentraties en lagere pH-waarden in het eerste watervoerend pakket. Op basis van de literatuur (zie onder andere Pijls et al., 2006) blijkt dat de hoeveelheid aan de bodem geadsorbeerd Zn drastisch daalt wanneer de pH daalt van 7 naar 5. In de peilbuis stroomopwaarts van de verontreiniging is geen pH-waarde bekend, echter gezien de pH in het grondwater aan de randen van de pluim wordt verondersteld dat deze net onder de 7 ligt. Het bevoegde gezag heeft het bedrijf aangeschreven dat zij voornemens is het verontreinigingsgeval opnieuw te willen beschikken omdat ze vermoed dat het volume criterium wordt overschreden. Het bedrijf wil weten welke mogelijke saneringstechnieken beschikbaar zijn voor de eventuele aanpak van de grondwaterpluim met zink.

Conceptueel model

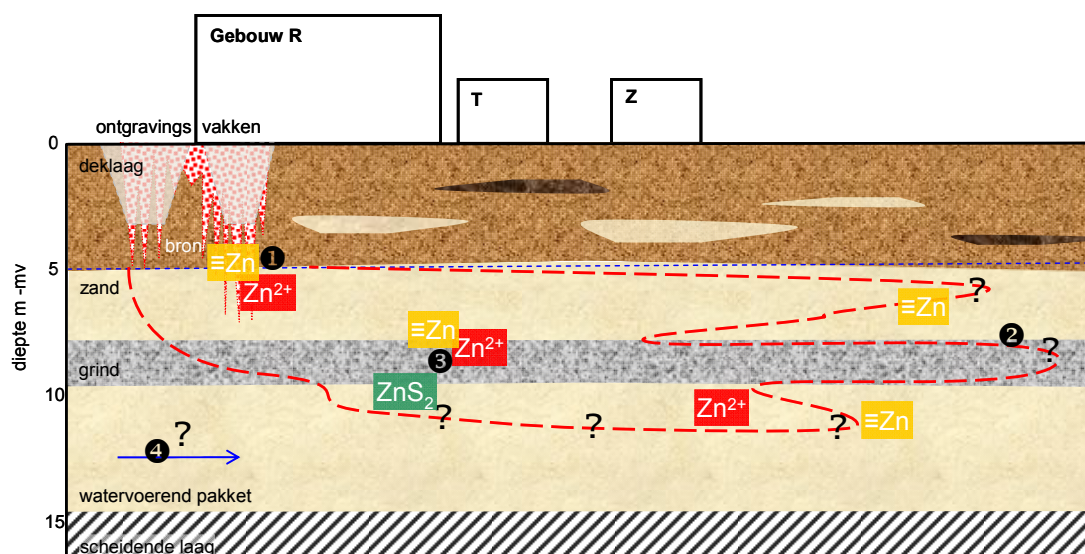
Het conceptuele model van voorbeeld 5 is gegeven in figuur 6.9, pagina 73.



Figuur 6.8 Schematisatie van A de verontreinigingssituatie met zink in 2009 in het eerste watervoerend pakket en B de gemiddelde pH-waarde van het grondwater in het eerste watervoerend pakket over de monitoringsperiode van 1999 tot 2009. © Tauw bv, 2010

Hierbij is gebruik gemaakt van meerdere rapportages waaronder een onderzoek uitgevoerd naar het uitlooggedrag van zink uit grondmonsters uit de deklaag. Als deze informatie gekoppeld wordt met de vraag van het bedrijf en het voornemen van het bevoegde gezag komen de volgende *data gaps* of onderzoeksvragen naar voren:

1. In de deklaag bevindt zich nog een restverontreiniging met Zn. Om een uitspraak te kunnen doen over de hoeveelheid Zn die nog kan worden gemobiliseerd en kan naleveren aan de pluim is het nodig inzicht te krijgen in de verdeling van Zn tussen de grond en het grondwater. Hierbij speelt de fluctuerende grondwaterstand die bij hoge standen deels in de deklaag staat een belangrijke rol. Eigenschappen van de grond in de deklaag zoals de aanwezige adsorptieplaatsen –ijzer/aluminiumoxiden, organisch stof, lutum gehalte– en het bufferend vermogen van de grond spelen hier ook een belangrijke rol. De redoxomstandigheden in de deklaag zijn niet bekend



Figuur 6.9 Conceptueel model van voorbeeld 5 op basis van een dwarsdoorsnede door de grondwaterpluim met zink. Onderzoeksvragen of *data gaps* zijn; ❶ uitwisseling van Zn tussen de grond en het grondwater in de deklaag als gevolg van de fluctuerende grondwaterstand, ❷ wat is de omvang van de grondwaterpluim met Zn en met welk volume neemt deze jaarlijks toe, ❸ welke mechanismen spelen een rol bij de verspreiding van Zn in het eerste watervoerend pakket, en ❹ wat zijn de redoxomstandigheden van het instromend grondwater. © Tauw bv, 2010

2. De omvang van de grondwaterpluim is niet volledig in beeld. Gedurende de tien jaar dat er is gemonitord is steeds gebruik gemaakt van dezelfde set peilbuizen waarbij het grondwater ter hoogte van de meest noordoostelijke peilbuis steeds concentraties boven de

interventiewaarde heeft bevat. Een aanvulling op het monitoringsnetwerk waarbij er een afperkende peilbuis voor het front van de grondwaterpluim wordt gezet kan uitsluitel geven over de omvang van de pluim. Hierbij zal wel rekening moeten worden gehouden met de verschillen in bodemtextuur in het eerste watervoerend pakket. In het grindpakket zal de grondwaterstromingssnelheid zeer waarschijnlijk hoger zijn waardoor het Zn zich mogelijk verder heeft verspreid dan in de zandigere delen van het aquifer. Daarnaast is het bepalen van de processen die in de pluim een rol spelen bij de verspreiding van Zn (zie 3) cruciaal om vast te stellen met welk bodemvolume de grondwaterpluim jaarlijks toeneemt. Ook de verticale omvang van de pluim is niet bekend

3. Aan de processen die in de pluim spelen is in de onderzoeken geen aandacht aan besteed. Gezien de geconstateerde relatie tussen de hoge concentraties aan Zn in het grondwater en een lagere pH (zie figuur 6.8) is het logisch te veronderstellen dat adsorptie aan de vaste fase het belangrijkste proces is. Omdat de redoxcondities in de grondwaterpluim niet bekend zijn is het niet duidelijk of adsorptie het enige proces is dat een rol speelt bij de verspreiding van het Zn. Grondwaterlichamen hebben vaak een redoxzonering waarbij de diepere delen anaërober zijn dan de ondiepere delen. Onder die condities is natuurlijke vastlegging van Zn mogelijk in een sulfidische vorm die stabiel is dan alleen adsorptie. Ook over de vaste fase is te weinig bekend. Gegevens over de organisch stof en lutum zijn wel bekend maar over de buffercapaciteit, aanwezigheid van kalk of ijzer- en aluminiumoxiden zijn geen gegevens beschikbaar

Omdat de redoxcondities van het eerste watervoerend pakket niet bekend zijn is het ook niet mogelijk saneringsvarianten serieus uit te werken: als het gehele aquifer aëroob is, is het mobiliseren van het Zn mogelijk een goede saneringsaanpak. Is het aquifer juist anaëroob dan is het stimuleren van vastlegging in de vorm van sulfiden misschien mogelijk. Echter daar de informatie ontbreekt is het onmogelijk een richting te geven aan de saneringsoplossingen. Ook bij het nagaan van de antwoorden op de vragen welke processen van invloed zijn op de verspreiding van het Zn in het eerste water voerend pakket zal men rekening moeten houden met de verschillen in samenstelling tussen de grindigere en zandigere delen van het aquifer

4. Van het grondwater in het eerste watervoerend pakket is alleen bekend in welke richting en met welke snelheid het gemiddeld stroomt. Wat ook hier ontbreekt zijn de gegevens die bepalend zijn om in te schatten wat er met de metalenverontreiniging gebeurt: redoxomstandigheden, pH, concentratie DOM en eventuele andere macroparameters zoals carbonaat/bicarbonaat concentraties. Kennis met betrekking tot deze gegevens is niet alleen belangrijk om te achterhalen waarom de pluim er zo uit ziet, maar ook om in te schatten wat de lange termijn resultaten van een eventuele saneringsaanpak in de grondwaterpluim zouden zijn, bijvoorbeeld blijven gevormde neerslagen wel stabiel

6.6 Voorbeeld 6 – Minerale olieverontreiniging met drijfslag

In dit voorbeeld wordt een situatie geschetst waarbij naast de gewone grondwaterstand ook een schijngrondwaterspiegel voorkomt. Dit heeft tot gevolg dat de gegevens die uit het bodemonderzoek worden verkregen foutief worden geïnterpreteerd. Een groot aantal van de beschreven problemen in deze case had kunnen worden voorkomen als er gedurende het project een conceptueel model zou zijn opgesteld en men kritischer had gekeken naar het te verwachte gedrag van de verontreiniging.

Beschrijving

De locatie is gelegen in het oude centrum van een binnenstad (figuur 6.10). De locatie is vanaf 1926 in gebruik geweest als tankstation. Achter het pand zijn in die periode een ondergrondse benzinetank en een mengsmeringtank aanwezig. Begin jaren zeventig is het tankstation gesloten en is op de locatie een fietsenmaker gevestigd. De ondergrondse tanks zijn in gebruik gebleven. Begin jaren negentig zijn de tanks uit gebruik genomen, schoongemaakt en afgevuld met zand. Bewijsstukken hiervoor zijn echter niet bekend. In 1995 is de fietsenmaker gesloten. In het kader van het bodemprogramma van de provincie is rond 1993 begonnen met bodemonderzoek op de locatie en is er een verontreiniging aangetroffen. De bodem tot 2,5 m -mv onder de fietsenmaker en ter plaatse van de winkelstraat bleek verontreinigd te zijn met minerale olie. De omvang van de verontreiniging in de grond en het grondwater werd nagenoeg tot aan de S-waarde afgeperkt, het grondwater bleek tot circa 30 m -mv verontreinigd.

De bodemopbouw is schematisch beschreven in tabel 6.3 (pagina 76) en is afgeleid uit op de locatie uitgevoerde handboringen, machinale boringen en sonderingen.



Figuur 6.10 Overzichtsfoto van de locatie uit voorbeeld 6 met daarop aangegeven De verontreinigde locatie en de cascade waar het gedempte kanaal ligt. © Tauw bv, 2010

Tabel 6.3 Bodemopbouw ter hoogte van het voormalige tankstation/fietsenmakerij

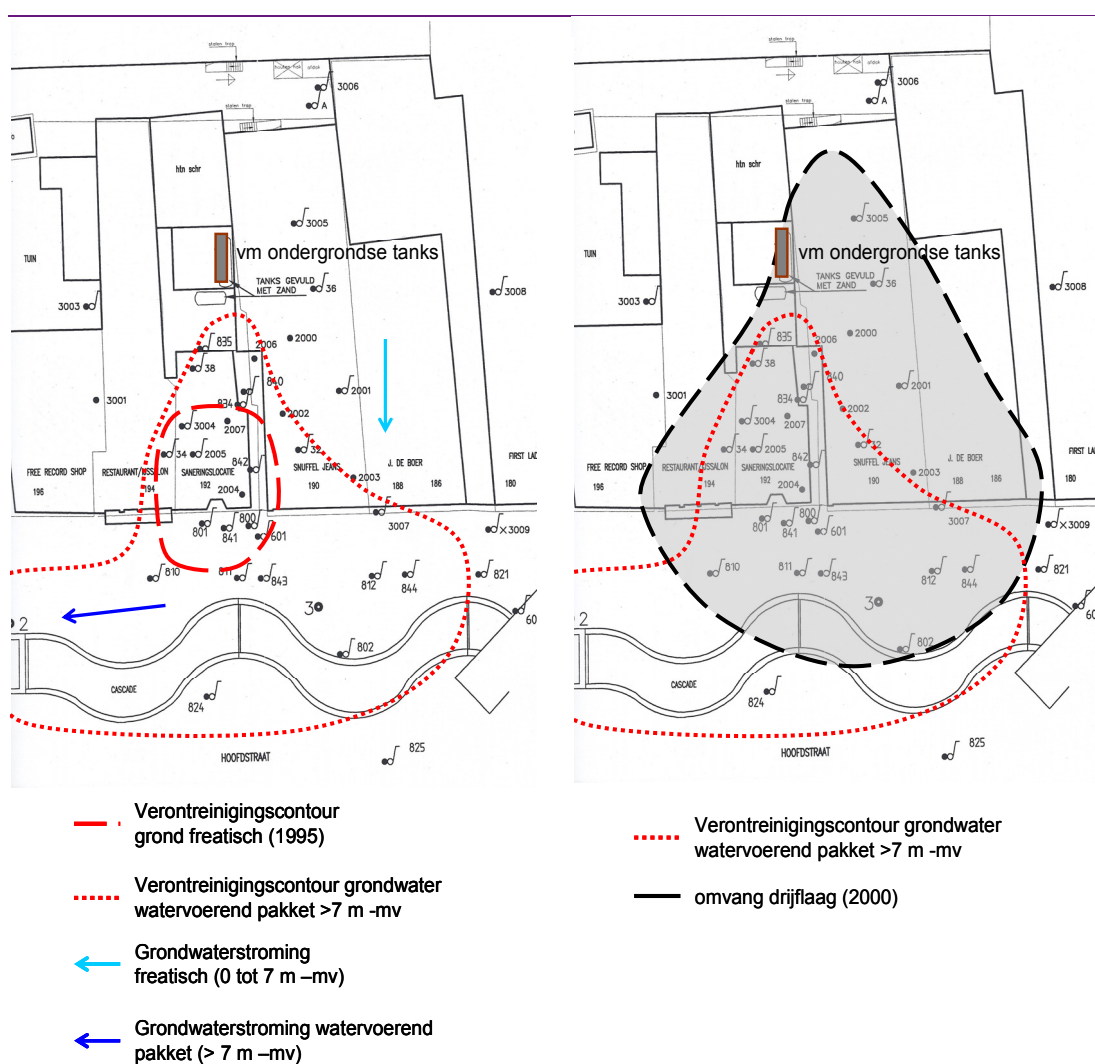
Diepte (m -mv)	Omschrijving		Interpretatie
0,0 – 1,5	Zand, fijn	Veenlaagjes	Deklaag
1,5 – 7,0	Keileem	Doorsneden met fijn zandlagen met een dikte variërend van 0,3 tot 3 meter	Deklaag
> 7	Zand, matig grof		Eerste watervoerend pakket

In de winkelstraat is tot 1948 een kanaal geweest dat gedempt is. In de bodemopbouw is dan ook duidelijk zichtbaar dat ter plaatse van het voormalige kanaal geen leemlaag aanwezig is. Het opgevulde kanaal heeft nog steeds een drainerende werking op het freatische grondwater in de deklaag. Het kanaal heeft ter hoogte van de huidige waterpartij in de winkelstraat gelegen (zie figuur 6.10). Het grondwater in de deklaag staat op circa 1,5 m -mv. Het grondwater in het eerste watervoerende pakket bevindt zich op een niveau van circa 3,3 m -mv. Uit de waterpassing bleek eveneens dat er een sterke hydraulische gradiënt aanwezig is in de deklaag en dat het bij de grondwaterstand in de deklaag om een schijngrondwaterspiegel gaat. Het freatische grondwater stroomt in de oostelijke richting naar het voormalige kanaal. De stroomsnelheid is niet bekend, maar wordt geschat op < 2 m/jaar vanwege de lage doorlatendheid van de bodemlaag. Het diepe grondwater in het eerste watervoerende pakket stroomt in zuidelijke richting met een snelheid van 15 m/jaar.

In 1996 is de bodemsanering opgestart in samenloop met de herinrichting van de winkelstraat. In het kader van de herinrichting is een slingerende watergang (cascade) aangelegd in een betonnen goot. Daarnaast is het deel van de verontreiniging ter hoogte van de winkelstraat ontgraven tot 2,5 m -mv. Onder de winkel zijn bodemluchtdrains (maximaal 1,5 m -mv) ter hoogte van de vermoedelijke smeerlaag en grondwateronttrekkingsdrains (3 m -mv) aangebracht, ten behoeve van een in situ sanering. Het grondwater in het eerste watervoerend pakket zou worden gesaneerd met deepwells met filterstellingen van 7 tot 30 m -mv. Echter tijdens de aanleg van het monitoringssysteem voor de sanering werd vastgesteld dat er een drijfslag aanwezig was op een diepte van 3 tot 4 m -mv grotendeels buiten de verontreinigingscontouren. Daarnaast bleek dat uit de drains op 3 m -mv vrijwel geen water kon worden onttrokken. Dit kon worden verklaard door de schijngrondwaterspiegel, die door de wateronttrekkingsdrains snel werd verwijderd. Ook werd er nauwelijks verontreiniging verwijderd via de bodemluchtdrains, terwijl de drains ter hoogte van de vermoedelijk smeerlaag waren geïnstalleerd.

Op basis van deze waarnemingen is opnieuw bodemonderzoek uitgevoerd naar de situering van het puur product in relatie tot de sterk heterogene bodem. Daaruit bleek dat de diepe peilbuizen en minifilters die voor afperking van het diepe grondwater waren geplaatst voor een deel door de drijfslag waren geplaatst, waardoor een verkeerd beeld was ontstaan van de diepte van de grondwaterverontreiniging. Het gebied waarin puur product werd aangetroffen is circa 600 m² en

bevindt zich op een diepte van 3 tot 4,5 m -mv. De dikte van de drijfslaag in de peilbuizen bedraagt maximaal 1,8 m. Uit recoverytesten bleek dat de daadwerkelijke dikte van de drijfslaag gemiddeld 8 cm bedraagt. Op basis van een porositeit van de bodem van 0,3 is circa 14 m³ puur product aanwezig in de bodem. Tussen 2000 en 2002 heeft vervolgens een drijfslaagverwijdering met skimmers plaatsgevonden om zo veel mogelijk puur product te verwijderen.

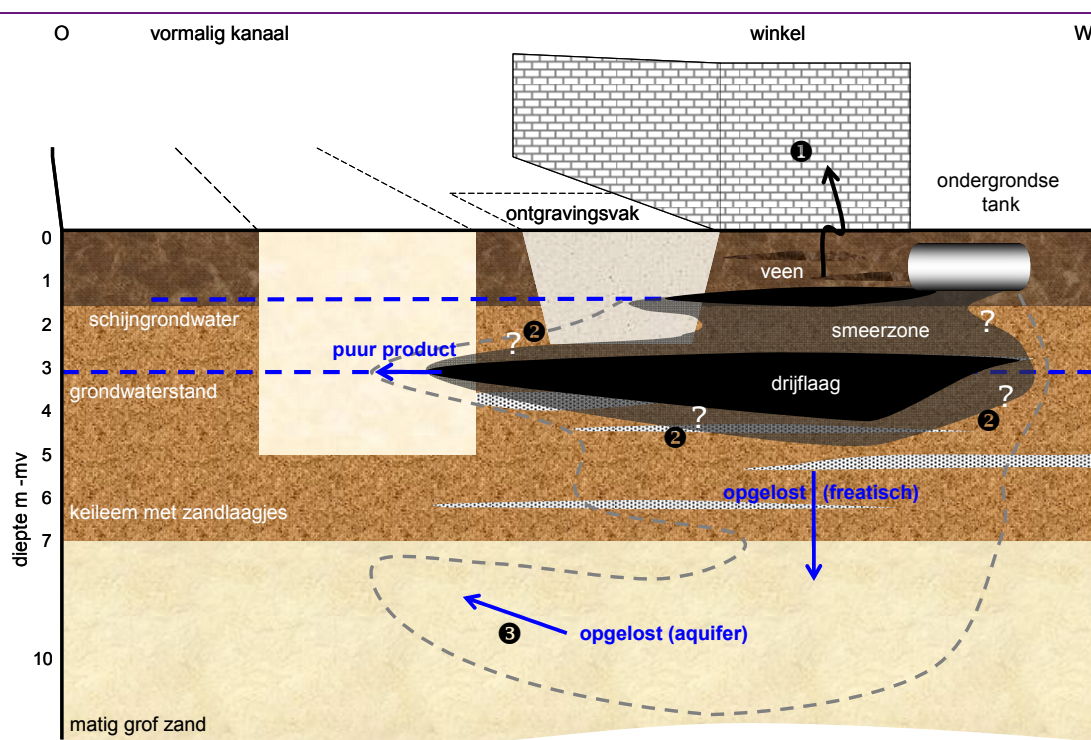


A

B

Figuur 6.11 Verontreinigingssituatie voorbeeld 6 zoals bekend; A voorafgaand aan de sanering in 1995, en B tijdens de sanering in 2000. Het noorden ligt aan de rechterzijde van de tekening. © Tauw bv, 2010

In 2007 heeft een projectontwikkelaar alleen het pand op de verontreiniging opgekocht en gesloopt en zijn de tanks door ontgraving verwijderd. Het bleek dat deze niet waren afgevuld met zand. De grond in de deklaag is nog steeds verontreinigd tot een diepte van 6 m -mv. Het grondwater op het grensvlak van de keileemlaag en het eerste watervoerend pakket bevat nog 30.000 µg/l aan aromatische koolwaterstoffen. In het diepe grondwater worden na de sanering nog gehalten van maximaal 91 µg/l aromatische koolwaterstoffen aangetroffen, voor 95 % bestaande uit benzeen. Gesteld kan worden dat de bulk van de verontreiniging nog steeds aanwezig is. De verontreinigingssituatie met de oorspronkelijk bekende omvang van de verontreiniging (1995) en de later tijdens de sanering vastgestelde omvang van de drijfslaag (2000) is gegeven in figuur 6.11.



Figuur 6.12 Conceptueel model van de verontreiniging uit voorbeeld 6 rond 2000 met daarin de belangrijkste verspreidingsroutes. Puur product stroomt via de grondwaterspiegel naar het voormalige kanaal in oostelijke richting. Opgelost product infiltreert in de bodem en wordt in het watervoerende pakket in zuidelijke richting afgevoerd. Onderzoeksvragen of data gaps zijn; ① is er sprake van uitdamping, ② ondanks al het onderzoek is de horizontale omvang van de verontreiniging in grond en grondwater in de deklaag niet volledig bekend, ③ hoe groot is de invloed van de biologische afbraak op de verspreiding in het eerste watervoerende pakket. © Tauw bv, 2010

Conceptuele model

Het conceptuele model van voorbeeld 6 is in figuur 6.12 (pagina 78) gegeven met daarin de belangrijkste verspreidingsroutes voor de verontreiniging. Dit is het conceptuele model dat is opgesteld na het falen van de initiële saneringsmaatregelen en de constatering dat in het bodemonderzoek de geohydrologie foutief is geïnterpreteerd en de drijfslag is gemist. De eventuele onderzoeksvragen of *data gaps* die er bij dit conceptuele model nog zijn:

1. Treedt er uitdamping via de onverzadigde zone op naar de binnenruimte van de woningen/winkels boven de verontreiniging waardoor er blootstellingsrisico's zijn voor de gebruikers van de panden
2. De exacte horizontale en verticale omvang van de grond- en grondwaterverontreiniging in de deklaag is niet bekend. Ook is de exacte omvang van de drijfslag niet in beeld. Wel zijn de maximale contouren bekend omdat de verontreiniging freatisch is afgeperkt maar er is geen inzicht waar de grootste hoeveelheid vracht van de verontreiniging aanwezig is. Echter deze informatie is in het stadium waarin het project zich op dit moment bevindt ook niet noodzakelijk
3. De verspreiding van de verontreiniging wordt nu ondervangen door de saneringsmaatregelen in het watervoerend pakket. Modelberekeningen uitgevoerd voor de verspreiding van benzeen, de meest mobiele en toxische component laten zien dat de verspreiding niet tot stilstand komt en de pluim dus niet stabiel wordt. Ten tijde van de modelberekeningen waren er nog geen bewezen technieken om de locatiespecifieke, anaërobe afbraak van benzeen vast te stellen. Er is daarom gerekend met een literatuurwaarde voor de afbraak van benzeen met een halfwaardetijd van 38 jaar. Verificatie van deze halfwaardetijd in het veld kan het inzicht in het verspreidingsrisico verbeteren. Ook het vaststellen van de redoxcondities kan het inzicht in de verspreiding van de verontreiniging vergroten. Redoxcondities zijn op de locatie nooit bepaald

6.7 Voorbeeld 7 – Sanering met chemische oxidatie bij woonhuizen

In situ chemische oxidatie (ISCO) middels Fenton's reagens is een in Nederland bewezen techniek binnen de bodemsanering. Toepassing van de techniek biedt de mogelijkheid om in een kort tijdsbestek een grote hoeveelheid aan verontreinigingsvracht te verwijderen. In dit voorbeeld wordt een conceptueel model gebruikt om de risico's van de saneringstechniek te benoemen om vervolgens maatregelen te treffen tegen het optreden daarvan.

Beschrijving

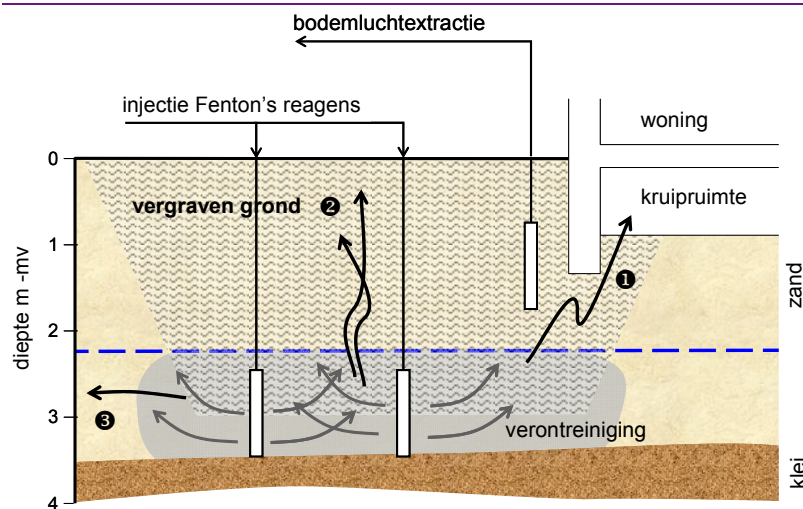
Ter hoogte van twee woningen heeft in het verleden een ondergrondse olietank gelegen. Hoewel de olietank vooraf aan de bouw van de woningen eind jaren zeventig verwijderd is, is een deel van de verontreiniging in de grond achtergebleven doordat de grond die bij het verwijderen van de tanks vrij is gekomen is teruggezet in het ontgravingvak. De verontreiniging bestond uit met minerale olie verontreinigde grond met als gevolg hoge grondwaterconcentraties aan vluchtige

aromatische koolwaterstoffen (BTEX) tot circa 26.000 µg/l. Omdat de grondwaterverontreiniging met BTEX actuele humane risico's voor de bewoners met zich meebrengt, is besloten de bodem functiegericht te saneren. Uit de afweging van de verschillende saneringsopties, waarbij door de aanwezigheid van de woningen de voorkeur uitging naar een in situ sanering, kwam een ISCO sanering met klassieke Fenton's reagens als beste naar voren. Bij de afweging speelde de korte saneringsduur en daarmee de korte periode van overlast voor de bewoners een belangrijke rol. Uit binnenluchtmetingen vlak voor de uitvoering van de sanering bleek dat de binnenlucht in de kruipruimtes geen verhoogde concentraties aan benzeen of andere koolwaterstoffen bevatte.

Conceptuele model

Een conceptueel model voor voorbeeld 7 is gegeven in figuur 6.13 (pagina 81). De risico's als gevolg van de gekozen saneringstechniek en de gekozen oplossingen tijdens de uitvoering zijn:

1. Transport via de gasfase naar het maaiveld of de kruipruimten onder de huizen is bij ISCO middels Fenton's reagens een reëel gevaar. Ten eerste wordt er tijdens het saneren met Fenton's grote hoeveelheden gas geproduceerd als gevolg van de chemische oxidatie van de verontreiniging (kooldioxide) maar ook door de zelfontleding van het geïnjecteerde peroxide (zuurstof). Ten tweede loopt de temperatuur als gevolg van de oxidatie reactie tijdens de sanering op naar 30 à 40 °C. Als gevolg daarvan kunnen de verontreinigingen verdampen en via de gasfase ontsnappen. Doordat er ook zuurstof wordt gevormd kan de verdamping ook leiden tot explosieve mengsels. De risico's die als gevolg van dit stripeffect kunnen optreden kunnen worden opgevangen door een serie bodemluchtexttractiefilters te plaatsen langs de gevels van de huizen. Zowel de gevormde gassen als de gestripte verontreiniging kunnen op deze wijze worden afgevangen
2. Omdat de ondergrondse tank is uitgegraven en de grond is teruggestort is de bodem minder goed verdicht dan wat deze van nature is. Als gevolg daarvan kan peroxide via voorkeurskanalen zich een weg zoeken naar het maaiveld. Dit is een risicovolle situatie omdat de peroxide een sterke oxidator is. Daarnaast is het ongewenste omdat alle peroxide die naar het maaiveld stroomt niet met de in de bodem aanwezige verontreiniging zal reageren. Dit risico kan worden ondervangen door met lage injectiedrukken te werken en bij het opstarten van de sanering –wanneer er nog weinig zicht is op hoe groot dit risico is en de bodem nog heftig kan reageren op de geïnjecteerde sterke oxidator– de inwoners tijdens de werkzaamheden uit huis te plaatsen
3. Bij alle saneringstechnieken die zijn gebaseerd zijn op het injecteren van vloeistoffen bestaat het risico dat het verontreinigde grondwater wordt weggedrukt. Het grondwater ter plaatse van het injectiefilter moet ten slotte plaats maken voor de hoeveelheid aan oplossingen die men wil injecteren. Het risico van weggedrukken kan worden ondervangen door een intensieve monitoring aan de randen van de grondwatervlek en een wisselende set van injectoren waarop wordt geïnjecteerd tijdens de saneringswerkzaamheden



Figuur 6.13 Conceptueel model bij voorbeeld 7. De risico's als gevolg van de toepassing van de gekozen saneringstechniek, ISCO middels Fenton's reagens, zijn: ❶ is er sprake van uitdamping tijdens de toepassing van Fenton's naar de kruipruimten van de huizen, ❷ treedt kortsluitstroming van peroxide op naar het maaiveld, ❸ wordt de grondwaterverontreiniging weggedrukt als gevolg van de injectie van de peroxide-oplossing en de bijbehorende toeslagstoffen. © Tauw bv, 2010

Visualisatie mogelijkheden

7

7 Visualisatie mogelijkheden

Er is een verschil tussen een visualisatie van een verontreiniging en een conceptueel model. Een visualisatie van een verontreiniging gebeurt in allerlei bodemonderzoeken aan de hand van vlaggen- of bolletjeskaarten. Ook een dwarsdoorsnede kan alleen maar een visualisatie van de verontreiniging zijn. Zodra er echter een interpretatie aan wordt toegevoegd met betrekking tot bijvoorbeeld gedrag en verspreiding van de verontreiniging en de risico's is er sprake van een conceptueel model. Het verschil tussen een visualisatie van een verontreinigingssituatie en een conceptueel model is soms moeilijk te duiden en vaak gaat de visualisatie naadloos over in een conceptueel model. De verschillende manieren waarop een verontreiniging kan worden gevisualiseerd of een conceptueel model kan worden gepresenteerd komen in dit hoofdstuk kort aan de orde.

7.1 Uit de hand

De eenvoudigste visualisatie van een verontreinigingssituatie of conceptueel model is een met de hand getekende **schets** op papier. Een voorbeeld van een dergelijke visualisatie is gegeven in figuur 1.1 (pagina 14). Een schets of tekening met de hand is zeker zo doelmatig als een tekening gemaakt met een geavanceerd 3D-tekenprogramma. De hand getekende vorm, hoe simpel ook, wordt helaas weinig toegepast in rapportages ondanks dat het in één oogopslag laat zien hoe de adviseur, aannemer of ambtenaar zich de verontreiniging en de daaraan gelieerde zaken voorstelt.

7.2 Tweedimensionale tekenprogramma's

Tekenprogramma's zijn er in veel variëteiten waarbij een onderscheid gemaakt kan worden tussen zogenaamde vector- en pixeltekenprogramma's.

Pixeltekenprogramma's zijn uitermate geschikt voor het bewerken van foto's en kunnen daarom goed worden gebruikt voor bovenaanzichten op basis van luchtfoto's. Een voorbeeld van een dergelijke visualisatie is gegeven in figuur 6.5 (pagina 68). Voorbeelden van veel gebruikte pixeltekenprogramma's zijn Microsoft Paint, Adobe PhotoShop of IrfanView.

Vectortekenprogramma's zijn uitermate geschikt voor het visualiseren van een situatie in een dwarsdoorsnede. Bekende vectortekenprogramma's zijn CorelDraw, Adobe Illustrator of Microsoft Visio en AutoCad. Visualisaties met dergelijke geavanceerde tekenprogramma's vergen echter een gedegen opleiding en kennis van de software. Daarnaast zijn de kosten van de programmatuur een mogelijk struikelblok. Er is echter een simpele en goedkopere oplossing. In het Microsoft Office pakket zit een tekenfaciliteit die onder Powerpoint, Excel of Word kan worden gebruikt voor het maken van (vector)tekeningen. Met dit pakket kunnen eenvoudige maar ook complexe tekeningen gemaakt worden met als voordeel de laagdrempeligheid van het pakket

en de ruime beschikbaarheid. De meeste visualisaties en conceptuele modellen in deze handreiking, zoals die in de voorafgaande paragrafen, zijn gemaakt binnen één van deze Office programma's.

Visualisatie en datapresentaties vanuit databases

Projectdata zoals chemische analyses en andere gegevens van boorpunten wordt tegenwoordig steeds meer geautomatiseerd gegenereerd en opgeslagen. Veldmedewerkers voeren velddata direct digitaal in op veldcomputers. De adviseur raadpleegt vervolgens van achter zijn bureau de database om zich een beeld te vormen van de verontreinigingssituatie. Deze geautomatiseerde en gestructureerde digitale dataopslag biedt de mogelijkheid om gegevens via GIS-software te visualiseren. Gegevens kunnen op puntniveau worden gepresenteerd in bijvoorbeeld vlaggenkaarten of bolletjeskaarten, maar de GIS-software kan ook interpolatietechnieken toepassen om verontreinigde gebieden te visualiseren en contouren te berekenen. In figuur 7.1 (pagina 87) zijn een tweetal voorbeelden gegeven van de datapresentatie vanuit een projectdatabase. Hiervoor is het door Tauw, speciaal voor verontreinigde locaties ontwikkelde GIS-programma TEGSIS gebruikt. Interpolaties moeten echter altijd met de nodige voorzichtigheid, kennis van de lokale situatie en deskundigheid van de onderliggende algoritmes worden toegepast. Interpolaties kunnen ook met geavanceerdere databewerkingssoftware zoals GoldenSoftware Surfer of Voxler worden uitgevoerd en gevisualiseerd. Voor een kwalitatief goede interpolatie is een hoge datadichtheid nodig. Een dergelijke hoge dichtheid wordt over het algemeen niet gehaald bij bodemonderzoeken naar verontreinigingen.

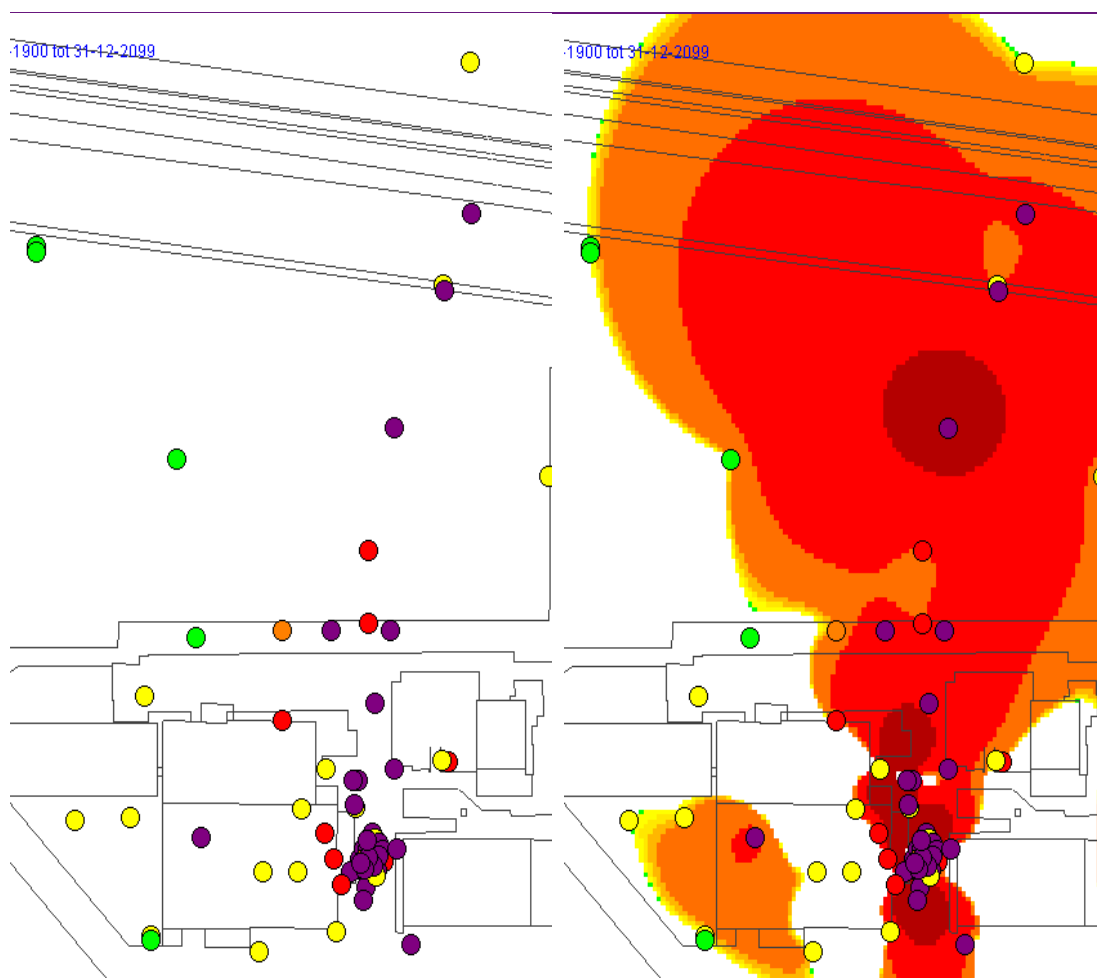
GIS-software wordt steeds meer toegankelijk en er zijn op de markt diverse software pakketten beschikbaar. Een nieuwe ontwikkeling is GIS-software waarbij data via Internet kan worden benaderd. De feitelijke data staat op een server en kan vanaf elke willekeurige locatie bekeken worden. Daarnaast bestaan er steeds meer zogenaamde *plug-ins* voor GIS-software waarmee onder andere 3D-visualisaties kunnen worden gemaakt, hierover verderop meer.

De nieuwere meettechnieken zoals *membrane interface probe* (MIP) en *rapid screening optical tool* (ROST) fluorescentie sonderingen leveren een hoge datadichtheid per meetpunt. Mits dergelijke sonderingen met een voldoende hoge intensiteit worden toegepast kan de visualisatie ondersteund worden door een interpolatie. Voor visualisatie van de bodemopbouw door interpretatie van bestaande sondeergegevens, die bijvoorbeeld ten behoeve van de bouw van een fabriek zijn gemaakt, kan digitaliseren en interpolatie een gedetailleerd beeld opleveren van een locatie zoals te zien is in figuur 7.2, pagina 88.

7.3 Driedimensionale tekenprogramma's

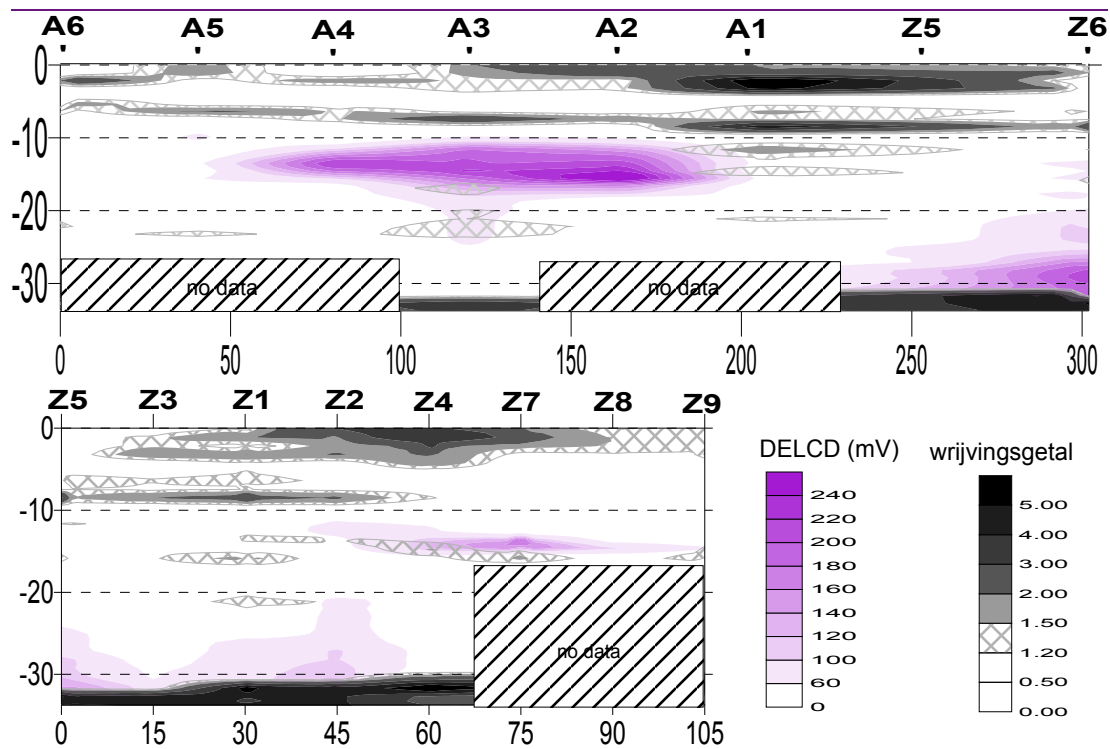
Bij het 3D visualiseren van gegevens wordt een driedimensionaal beeld van een situatie gepresenteerd. De kracht van deze wijze van presenteren van de verontreinigingsgegevens is het beeld dat in elke richting van de situatie kan worden gepresenteerd. Op deze wijze kan men het

inzicht in de verontreiniging vergroten. Ook hier geldt echter dat op het moment dat interpolaties worden uitgevoerd er voldoende data beschikbaar moeten zijn en de interpolatie met deskundigheid van de lokale situatie moet worden uitgevoerd. Bij de weergave van een 3D-visualisatie op papier, zoals die bijvoorbeeld in figuur 7.3 (pagina 88) is weergegeven moet aandacht worden besteed aan een goede selectie van aanzichten.

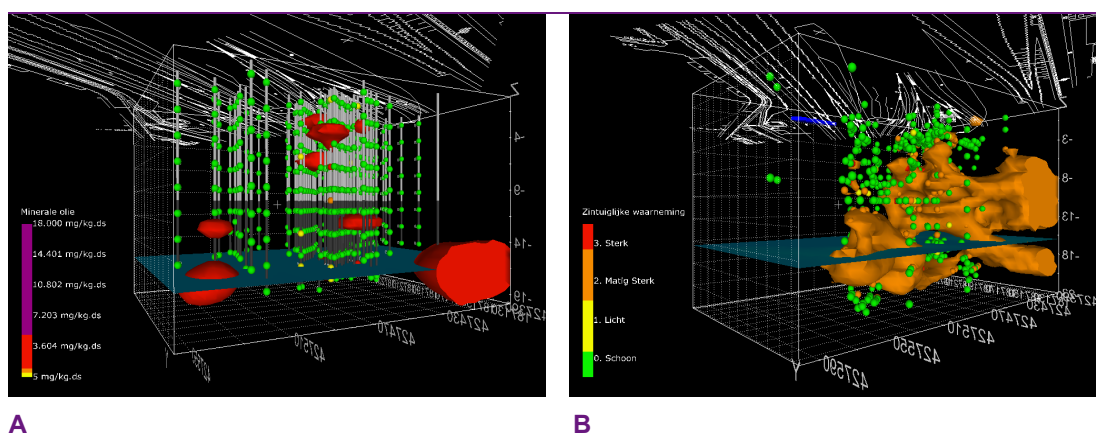


Figuur 7.1 Visualisatie van een verontreiniging met perchlooretheen in grondwater vanuit een projectdatabase met behulp van het door Tauw ontwikkelde GIS-programma TEGSIS; A weergave van de verontreinigingssituatie aan de hand van een bolletjeskaart, en B visualisatie van dezelfde data waarbij tevens een interpolatie van de data is uitgevoerd. Interpolatie is eveneens uitgevoerd met TEGSIS.

© Tauw bv, 2010



Figuur 7.2 Visualisatie en interpolatie van een verontreinigingssituatie met GoldenSoftware Surfer van gecombineerde sondeergegevens van het wrijvingsgetal en het MIP-sigitaal in mV. © Tauw bv, 2010



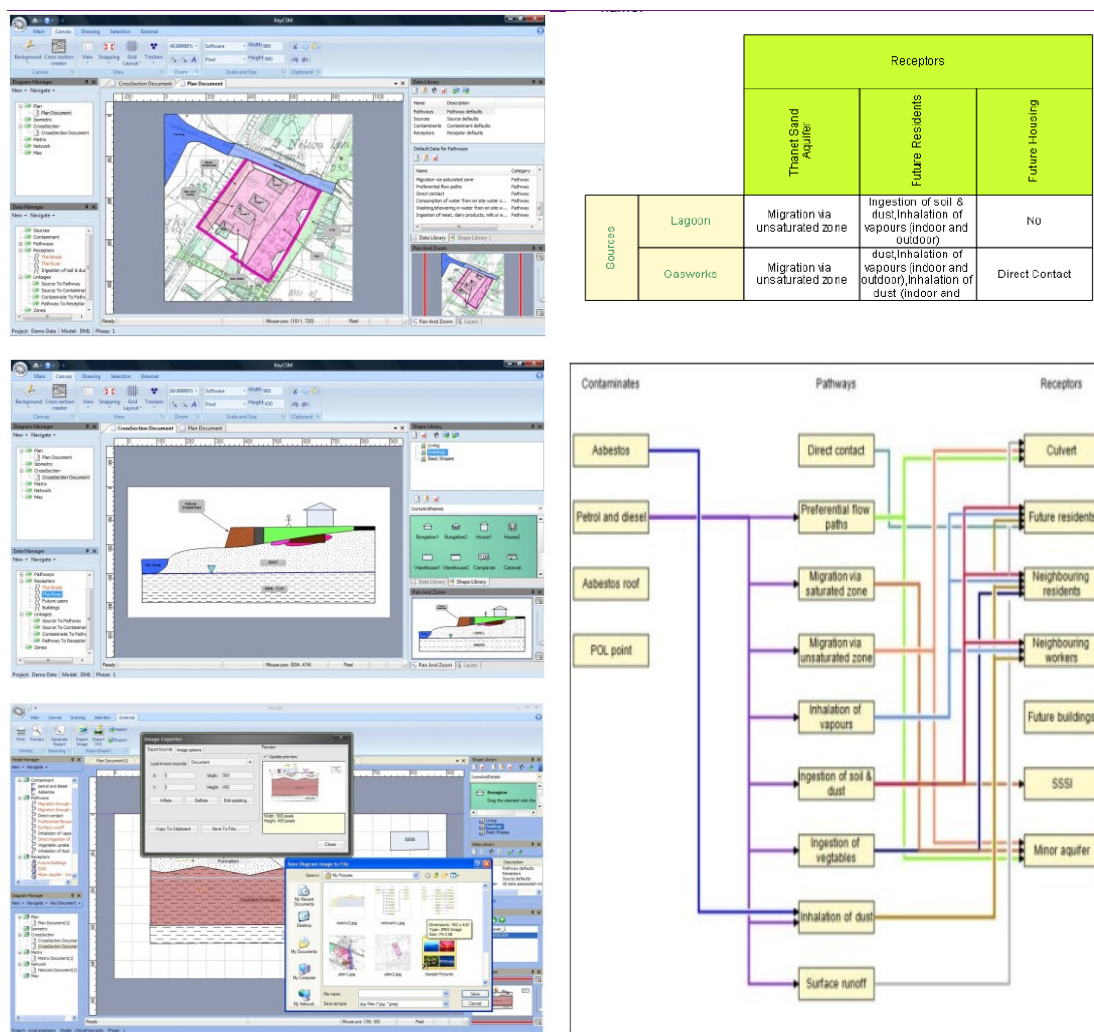
A

B

Figuur 7.3 Driedimensionale visualisatie van een verontreiniging met minerale olie met behulp van Ctech EVS; A puntgegevens van de verontreiniging, en B interpolatie van de data met zintuiglijke waarnemingen. © Tauw bv, 2010

Kenmerk R001-4573077TOK-nij-V03-NL

Er zijn meerdere programma's beschikbaar waarmee men dergelijke 3D-visualisaties kan maken zoals CTech EVS, Golden Software Voxler of GAEA StrataExplorer. In dergelijke applicaties kunnen door hoogten ten opzichte van een vast referentiepunt, bijvoorbeeld NAP op te geven zowel bovengrondse structuren –gebouwen, tankenpark– als bodemlagen worden gevisualiseerd.



Figuur 7.4 Enkele screenshots van Keynetix KeyCSM. In de linkerdeel van de figuur zijn de verschillende ruimelijke visualisatie mogelijkheden weergegeven. Het rechterdeel van de figuur geeft een indruk van het risicogedeelte van het programma met rechtsonder een overzicht van de bronlocaties, de blootstellingsroutes en de receptoren. Zie verder www.keynetix.com. © Keynetix, 2010

In de praktijk blijkt het voor het beoogd publiek moeilijk te zijn om vanaf papier of via een statische presentatie in drie dimensies een afbeelding te doorzien, omdat er in de ondergrond weinig tot geen referentiepunten zijn in tegenstelling tot boven het maaiveld. Een bewegend beeld blijkt beter inzicht te kunnen geven, maar is alleen voorbehouden aan de gebruikers van de software. Een optie is dat met de 3D-software videofilms gemaakt kunnen worden, die beter inzichtelijk maken hoe de verontreiniging in het driedimensionale vlak er uit ziet. De 3D-visualisatiesoftware is relatief duur en vergt kennis en inzicht in de werking van GIS en interpolatiesystemen. Langzaam maar zeker worden eenvoudige systemen specifiek ontwikkeld voor bodemapplicaties aangeboden.

7.4 Visualisatie met gespecialiseerde software

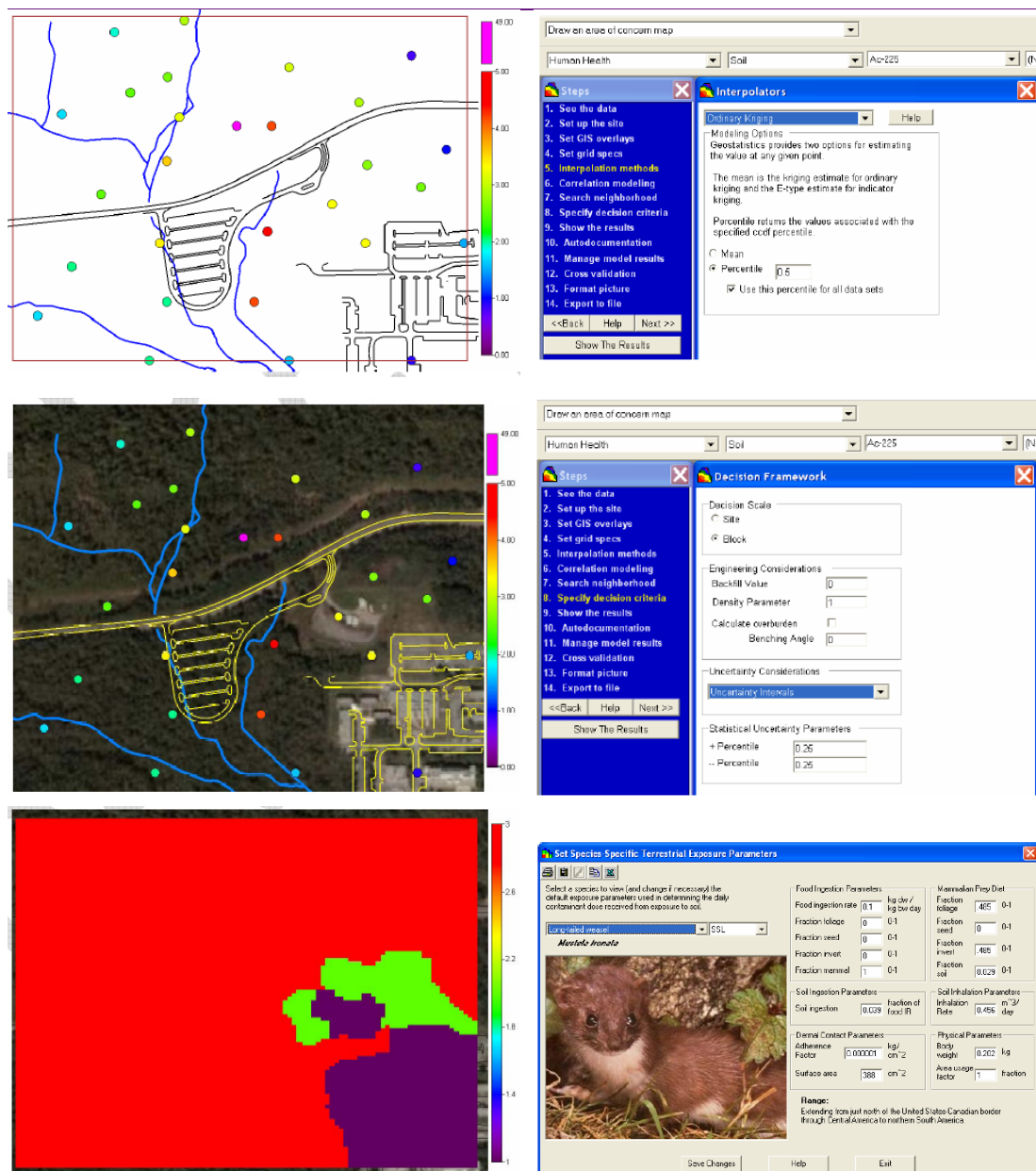
Omdat in een aantal landen zoals de Verenigde Staten van Amerika het denken en werken in conceptuele modellen verder is uitgewerkt, zijn er al enkele nationale standaarden opgesteld zoals de ASTM E1689-95(2008) waaraan een conceptueel model moet voldoen.

Het verplicht en volgens gestandaardiseerde protocollen opstellen van een conceptueel model heeft geresulteerd in het verschijnen van gespecialiseerde software pakketten. Binnen deze software pakketten worden een aantal functionaliteiten aangeboden waaronder het inzichtelijk maken van blootstellingroutes, gestandaardiseerde receptoren en het visualiseren van de verontreinigingssituatie conform de ASTM-standaard. Eén van deze software pakketten is KeyCSM van Keynetix. KeyCSM is een commercieel software pakket maar een demo is via de website van de ontwikkelaar te downloaden (zie www.keynetixit.com). Ook Schlumberger Water Services makers van onder andere (Visual) MODFLOW en AquaChem heeft in haar software pakketten functionaliteiten opgenomen om sneller visualisaties te kunnen maken als onderdeel voor een conceptueel model. Een speciaal softwarepakket voor een conceptueel model heeft deze grote ontwikkelaar van software nog niet uitgebracht.

Daarnaast is er het door de University of Tennessee ontwikkelde *Spatial Analysis Decision Assistance* of kortweg SADA. Dit is een computer programma dat de visualisatie van een verontreiniging integreert met de ruimtelijke en statistische analyse en deze koppelt aan ecologische en humane blootstellingsrisico's. SADA is in tegenstelling tot KeyCSM vrij te verkrijgen via de website van de universiteit (zie www.tiem.utk.edu/~sada/index.shtml).

In figuur 7.4 (pagina 89) zijn een aantal screenshots opgenomen van functionaliteiten van KeyCSM, in figuur 7.5 (pagina 91) is hetzelfde gedaan alleen dan voor SADA.

Kenmerk R001-4573077TOK-nij-V03-NL



Figuur 7.5 Enkele screenshots van SADA ontwikkeld door de University of Tennessee. In het linkerdeel de verschillende ruimtelijke visualisaties. Het rechterdeel geeft een indruk van de mogelijkheden van interpolatie en definiering van de blootstellingsrisico's met helemaal rechtsonder de mogelijkheid voor specifieke soorten ecologische risico's in te schatten. Zie verder www.tiem.utk.edu/~sada/index.shtml.
© University of Tennessee, 2010

8

Literatuur, links en andere informatie

8 Literatuur, links en andere informatie

In dit hoofdstuk wordt een overzicht gegeven van de geraadpleegde literatuur, websites en andere informatiebronnen gedurende de loop van het project. De lijst pretendeert niet uitputtend te zijn omdat veel informatie over conceptuele modellen in de grijze literatuur zoals rapporten is opgenomen.

Boeken en andere geschreven informatie bronnen

- Kueper B.H., Wealthall G.P., Smith, J.W.N., Leharne S.A. & Lerner D.N. (2003). **An illustrated handbook of DNAPL transport and fate in the subsurface**, Environmental Agency R&D publication 133, Bristol, UK. Samenvattend werk over het gedrag van verschillende soorten puur product (teer, PCB's en vluchtige chloorkoolwaterstoffen) met voor de UK enkele generieke conceptuele modellen. Via www.environmental-agency.gov.uk te downloaden
- Pankow J.F. & Cherry J.A. (1996). **Dense chlorinated solvents and other DNAPLs in groundwater**, Waterloo Press, Portland OR, USA. Standaard werk over het gedrag van allerlei gechloreerde koolwaterstoffen in bodem en grondwater, standaardwerk en must read voor elke adviseur die werkt aan verontreinigingen met gechloreerde koolwaterstoffen
- Payne F.C., Quinnan J.A. & Potter S.T. (2008). **Remediation hydraulics**, CRC Press, Boca Raton FL, USA. Goed boek voor iedereen die werkt op het gebied van bodemonderzoek en saneren. Hoofdstuk 8 gaat in zijn geheel over het opstellen en gebruik van conceptuele modellen
- Pijls, C.G.J.M. et al. (2007). **In situ sanering, Theorie en praktijk**. Gericht op in situ saneringen maar in de inleidende hoofdstukken wordt voor zowel organische als anorganische verontreinigingen het generieke gedrag en de invloed van de bodem en natuurlijke processen op dat gedrag beschreven
- SKB (2003). **Natuurlijke bodemverontreiniging als knelpunt voor ruimtelijke ontwikkeling**, SKB-project SV-611. Om beslissingen te ondersteunen in gebieden met van nature verhoogde arseengehalten is gekeken naar het voorkomen van arseen in de bodem en het grondwater en welke processen hierbij een rol spelen. Het project heeft onder andere geresulteerd in een handzaam boek met daarin uitleg over de verschillende verschijningsvormen van arseen. Voor meer informatie zie www.skbodernl.nl zoekterm arseen en/of SV-611

- SKB (2005). **Voorspel je verontreiniging!** SKB-project PT04-128. Bevat de beschrijving van een project waarbij vanuit een conceptueel model een numeriek grondwater model wordt gemaakt. Zie voor projectdocumenten www.skbodem.nl zoekterm PT04-128
- **SKB cahiers**. De SKB cahiers zijn geschreven voor een breed publiek, leesbaar en toegankelijk. De cahiers zijn beschikbaar voor de belangrijkste onderwerpen op het gebied van bodem en bevatten een schat aan informatie. In de reeks zijn onder andere verschenen:
 - Vluchtige chloorkoolwaterstoffen (VOC) in de bodem
 - Zware metalen
 - Olie in de bodem
 - Natuurlijke afbraak
 - In situ gestimuleerde biologische afbraak
 - In situ chemische oxidatie
 - Reactieve schermen
 - Nazorg
- Swille, F. (1988). **Dense chlorinated solvents in porous and fractured media**. Lewis Publishers, Chelsea MI, USA. Standaard werk over het gedrag van puur product in bodems en vooral héél illustratief. Aan de hand van experimenten in bakken met glasporels en puur product laat de auteur zien hoe puur product zich onder verschillende omstandigheden gedraagt. Een aanrader!

Protocollen en andere handreikingen voor conceptuele modellen

- **ASTM E1689-95(2008)** - *Standard Guide for Developing Conceptual Site Models for Contaminated Sites*, zie www.astm.org
- **BS 10175:2001** – *Investigation of potentially contaminated sites*, zie www.bsigroup.com
- **NTA 5755** – Nederlandse Technische Afspraak Landbodem – Nader onderzoek, zie www.nen-bodem.nl
- **Schéma conceptuel et modèle de fonctionnement**, uitgave over conceptuele modellen van het Franse Ministère de l'Écologie et du Développement Durable, zie www.ecologie.gouv.fr
- **Basisinformatie voor risico-evaluaties. Deel 2-H: Uitvoeren van een locatiespecifieke humane risico-evaluatie**, uitgave van de OVAM, zie www.ovam.be

Algemene informatieve websites

- www.bodemrichtlijn.nl – de digitale en volledig bijgewerkte versie van het Handboek Bodemsaneringstechnieken
- bodem.pagina.nl – de startpagina op het gebied van bodem
- www.eugris.info – startpagina van de EU op het gebied van bodem en grondwater. Heeft een startpagina over conceptuele modellen, zoekterm: *conceptual site model*

- www.epa.gov – internetsite van de Amerikaanse *Environmental Protection Agency* (EPA) met allerlei informatie over risico's, onderzoeks- en saneringstechnieken
- www.clu-in.org – website over *contaminant site clean-up information*, informatie dus over alles wat met bodemverontreinigingen te maken heeft. Heeft een overzichtspagina van programma's en handreikingen die kunnen helpen bij het opstellen van een conceptueel model, zoekterm: *site conceptual model*
- www.astm.org – internationale bureau voor standaarden, heeft ondermeer een protocol opgesteld voor het formuleren van een conceptueel model

Websites software ontwikkelaars

- www.tiem.utk.edu/~sada/index.shtml – University of Tennessee, ontwikkelaar van SADA, computer programma dat de visualisatie van een verontreiniging integreert met de ruimtelijke en statistische analyse en deze koppelt aan ecologische en humane blootstellingsrisico's
- www.keynetix.com – Keynetix producent van KeyCSM-software voor het opstellen en visualiseren van conceptuele modellen

Bijlage

1

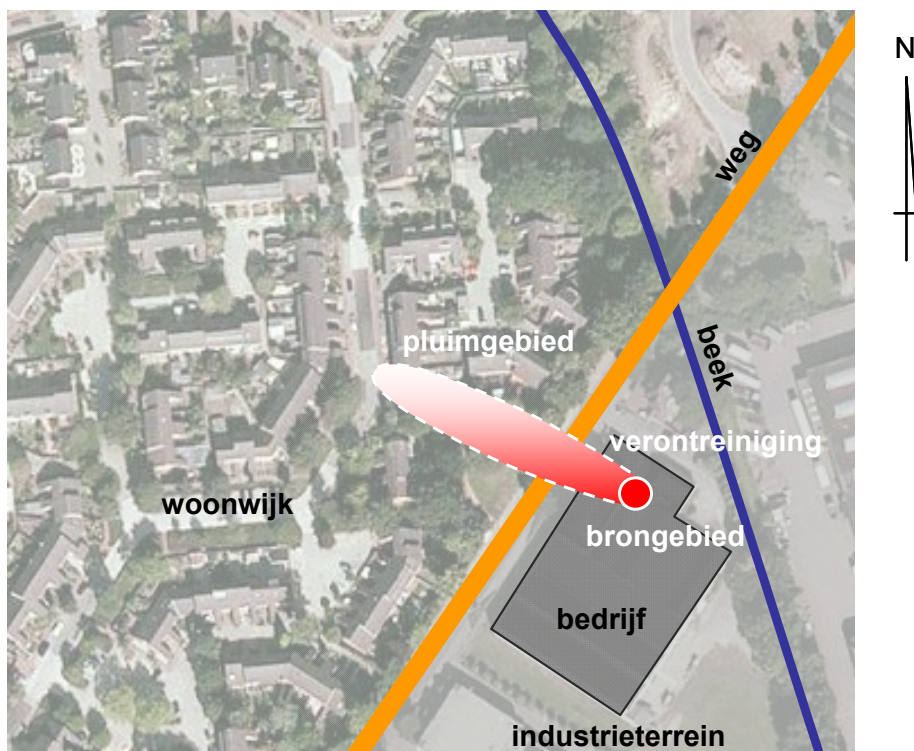
Voorbeeld evolutie conceptueel model

Inleiding

Het voorbeeld betreft een verontreiniging met vluchtige gechloreerde koolwaterstoffen bij een metaalverwerkend bedrijf op een industrieterrein. In figuur B1.1 is een geschematiseerd bovenaanzicht van de situatie gegeven. Omdat het te ver gaat om een volledige beschrijving te geven van het voorbeeld wordt er bij de verschillende fasen van het opstellen van het conceptueel model een beschrijving gegeven van de informatie die gebruikt is.

De verontreiniging bevindt zich bij een metaalverwerkend bedrijf op een industrieterrein. In figuur B1.1 is een vereenvoudigd bovenaanzicht gegeven. Hierop is te zien dat aan de oostzijde van het bedrijf een beek loopt. Aan de westzijde ligt een provinciale weg met direct daaraan grenzend een woonwijk. De verontreiniging die een duidelijk brongebied heeft op de plaats waar in het verleden een ontvettingsbad met trichlooretheen (Tri) heeft gestaan, heeft geleid tot een pluim in noordwestelijke richting. Dit is in de richting van de regionale grondwaterstromingsrichting. De precieze omvang van de grondwaterpluim is niet bekend.

Wel blijkt uit diverse bodemonderzoeken dat de beek aan de oostzijde geen invloed heeft op de verspreiding van de verontreiniging.



Figuur B1.1 Geschematiseerd bovenaanzicht van de verontreiniging met vluchtige gechloreerde koolwaterstoffen bij een metaalverwerkend bedrijf. © Tauw bv, 2010

Er zijn in het verleden meerdere bodemonderzoeken uitgevoerd zoals een historisch en verkennend bodemonderzoek waarna op basis van een vrij uitgebreid nader bodemonderzoek de verontreiniging grotendeels in beeld is gebracht. De eigenaar van het bedrijf wil, liefst op basis van de al uitgevoerde onderzoeken, weten welke mogelijkheden tot saneren er zijn en de daarbij behorende kosten. Hij staat echter open voor eventueel aanvullend onderzoek als dat de onzekerheden in de saneringskosten kan verkleinen.

Projectdoel

De eerste stap uit de evolutie van een conceptueel model is de definitie van een projectdoel.

Deze volgt uit de vraag van de opdrachtgever:

- Bepaal met welke saneringstechnieken de verontreiniging, zowel brongebied als pluimgebied, is te saneren en tegen welke kosten

Echter omdat uit de aanwezige bodemonderzoeken de omvang van de grondwaterpluim die richting de woonwijk stroomt niet volledig bekend is worden aan het projectdoel de volgende vragen toegevoegd:

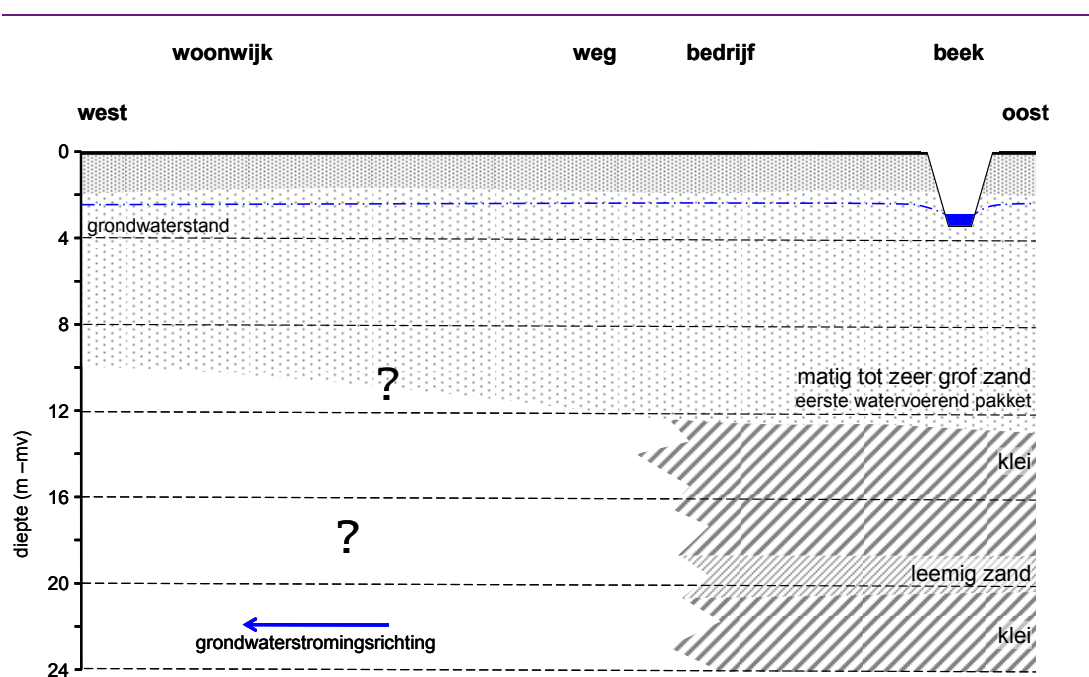
- Wat is de omvang van de grondwaterpluim die richting de woonwijk stroomt
- Welke risico's gaan er uit van de verontreiniging zowel op het bedrijfsterrein als gevolg van de daar aanwezige brongebied als daarbuiten door de grondwaterpluim

Conceptueel model van de locatie

Omdat er al een aantal onderzoeken -historisch, verkennend en nader bodemonderzoek- liggen is de eerste fase het opstellen van een conceptueel model voor de locatie snel gedaan. Op basis van de in deze onderzoeken opgenomen boorprofielen, veldwaarnemingen over bodemtextuur, eventueel sonderingen, mogelijk zelfs specifieke milieusonderingen zoals MIP-sonderingen, kan een schematisatie worden gemaakt van de bodemopbouw van de locatie. Deze schematisatie is weergegeven in figuur B1.2.

Als men een hiermee bezig is het belangrijk de gegevens die men gebruikt uit de verschillende bodemonderzoeken te toetsen. Klopt de beschreven bodemopbouw met dat wat men verwacht op basis van de geologische ontstaansgeschiedenis van de omgeving? Klopt de bodemopbouw met boorbeschrijvingen uit de DINO-database van TNO? Kloppen de boorbeschrijvingen en de waargenomen textuur in grote lijnen tussen de verschillende bodemonderzoeken? Klopt de topografie? In Nederland denken we vaak dat het maaiveld horizontaal loopt maar soms is dat niet het geval. Met name in beekdalen kan er nog sprake zijn van kleine, bijvoorbeeld 1 à 2 m hoogteverschillen, die van invloed kunnen zijn op de lokale grondwaterstromingsrichting of filterstellingen! Kloppen de gemeten grondwaterstanden onderling, klopt de grondwaterstromingsrichting die men heeft gebruikt in de bodemonderzoeken of zijn er lokale invloeden zoals een sloot, een grondwateronttrekking et cetera.

De informatie die wordt gebruikt moet boven alle twijfel verheven zijn. Is dat niet het geval maar is er geen mogelijkheid om de informatie te toetsen gebruik deze dan maar plaats een vraagteken of noteer dat men er twijfels over heeft.



Figuur B1.2 Schematisatie van de bodemopbouw getekend langs een denkbeeldige lijn door het bron- en pluimgebied parallel aan de grondwaterstromingsrichting. © Tauw bv, 2010

De schematisatie van de bodemopbouw in figuur B1.2 is getekend langs een denkbeeldige lijn door het brongebied van de verontreiniging en de grondwaterpluim parallel aan de grondwaterstromingsrichting. Dit omdat in een later stadium van het project gekeken moet worden naar saneringsoplossingen voor beide onderdelen van de verontreiniging. In figuur B1.2 zijn een aantal vraagtekens opgenomen. Deze hebben met name betrekking op de diepere bodemopbouw ten westen van de weg die het bedrijf scheidt van de woonwijk. Vanwege de aard van de verontreinigde stof, Tri, is er op het bedrijf ter hoogte van het brongebied in het nader bodemonderzoek uitgebreid bodemonderzoek uitgevoerd. Omdat Tri als puur product in de bodem kan voorkomen en indien dat het geval is zich tot op grote diepte kan verspreiden door dichtheidsstroming (zaklaag, of DNAPL) zijn er diepe peilbuizen geplaatst en door middel van MIP-sonderingen op en rond het bedrijf milieukundig onderzoek uitgevoerd. De boorbeschrijvingen van de diepe boringen en de sondeergegevens geven ter hoogte van het bedrijf goed inzicht in de bodemopbouw op grotere diepte. Bij het onderzoek naar de grondwaterpluim is het onderzoek beperkt gebleven tot het eerste watervoerend pakket echter zonder dat daarbij de klei die op circa 12 m -mv voorkomt ter hoogte van het bedrijf is aangeboord. Hierdoor is het onzeker/onbekend of de kleilaag ook ter hoogte van de woonwijk voorkomt, vandaar de vraagtekens.

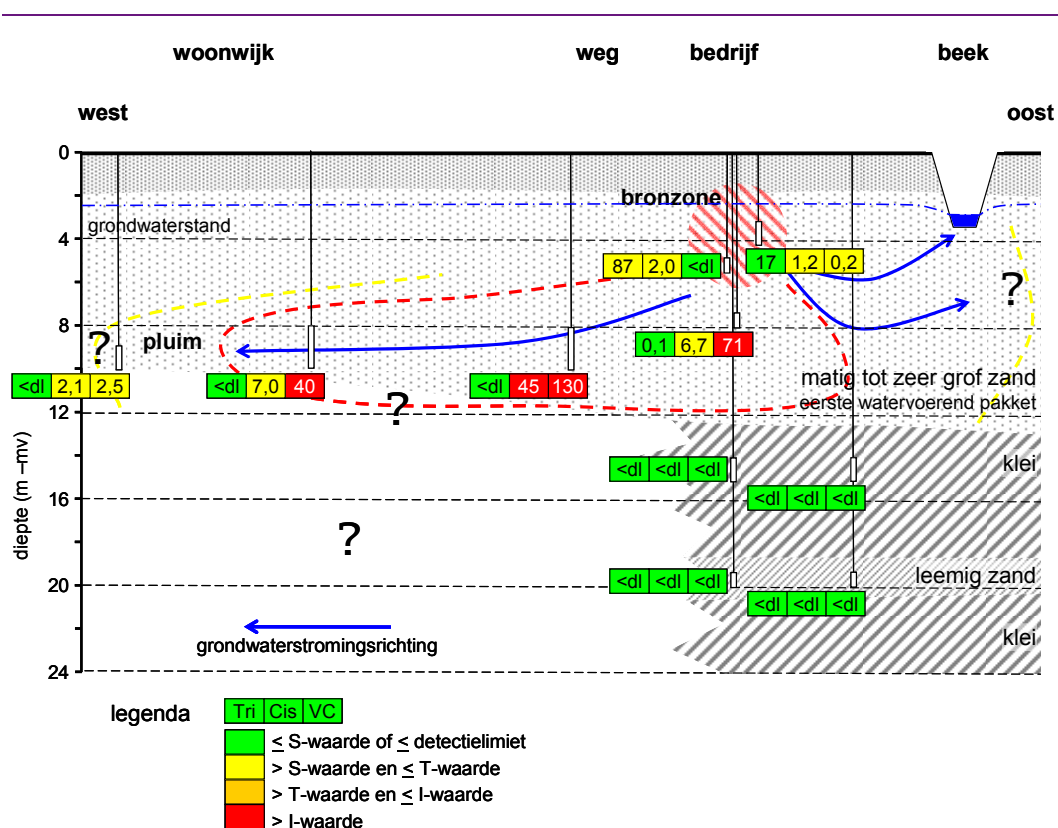
Conceptueel model van de verontreiniging

In het conceptueel model van de locatie is de verontreinigingssituatie uit het meest recente onderzoek ingetekend waardoor men een conceptueel model van de verontreiniging krijgt, zie figuur B1.3. Bij het intekenen van de verontreiniging is er voor gekozen om de concentraties in relatie tot het STI-stelsel weer te geven. Dit omdat het de bedoeling is dat het conceptueel model ook in het saneringsonderzoek en het saneringsplan gebruikt gaat worden.

In figuur B1.3 valt op dat ter hoogte van het brongebied in het bedrijf de concentraties aan Tri laag zijn. Het brongebied bevat naast Tri ook Cis en VC wat wijst op optredend natuurlijke afbraak. Ook valt op dat de verontreiniging alleen aanwezig is in het eerste watervoerend pakket. Tijdens één van de bodemonderzoeken is ter hoogte van het brongebied ook gekeken of de verontreiniging in de onderliggende kleilaag of een nog iets dieper gelegen tussenzandlaag aanwezig is. Als Tri in grotere hoeveelheden als puur product in de bodem terecht komt kan het zich door dichtheidsstroming tot grote diepte verspreiden. Echter de relatief lage concentraties in het eerste watervoerend pakket en het ontbreken van een diepere verontreiniging met Tri wijzen erop dat Tri niet als puur product voor komt.

Stroomafwaarts van het brongebied wordt in een aantal peilbuizen, ook al ter hoogte van de woonwijk, gechloreerde koolwaterstoffen met name Cis en VC in het grondwater aangetroffen. De concentraties vertonen met toenemende afstand tot het brongebied een afnemende concentratie. Dit komt overeen met het verwachtingspatroon. Dat de VC-concentraties in het brongebied lager zijn dan in de pluim kan komen doordat de condities voor natuurlijke afbraak in brongebieden vaak minder gunstig voor natuurlijke afbraak. In figuur B1.3 is dit ook te zien dat in het brongebied ondiep de concentraties aan Tri verhoudingsgewijs hoog zijn terwijl met de diepte in het brongebied de Tri verdwijnt en de afbraakproducten Cis en VC verschijnen. Dit kan worden verklaart doordat in bodems met de diepten de omstandigheden voor natuurlijke afbraak gunstiger zijn. Ook hier is het belangrijk te toetsen of de gegevens die zijn verkregen met de verschillende bodemonderzoeken logisch zijn en te verklaren aan de hand van het generieke gedrag van de verontreiniging. Uit de verontreinigingssituatie volgt dat er natuurlijke afbraak optreedt. Gezien de vraag van de opdrachtgever om te bepalen wat de saneringsmogelijkheden zijn is het zinvol om na te gaan of men tijdens de eerdere bodemonderzoeken heeft gekeken naar de redoxomstandigheden van het grondwater. Als dat het geval is hoeft dit niet verder te worden onderzocht. Is het niet gebeurt dan is het zinvol om de omstandigheden voor natuurlijke afbraak zoals de redoxomstandigheden en de hoeveelheid aanwezige substraat mee te nemen als onderzoeksvraag. Het is dan wel zinvol om dat te doen voor zowel het brongebied als de grondwaterpluim. Op basis van het conceptueel model lijkt het er namelijk sterk op dat natuurlijke afbraak voor de pluim een mogelijke saneringsoplossing zou kunnen zijn, terwijl dit in het brongebied mogelijk niet het geval is.

Kijkend naar de schematisatie van de verontreiniging in figuur B1.3 blijkt dat formeel de grondwaterpluim zowel aan de westzijde als in de verticale richting niet is afgeperkt. Dit zijn twee onderzoeksdoelen die, afhankelijk van de wensen van de opdrachtgever en het bevoegde gezag mee kunnen worden genomen naar een eventueel aanvullend onderzoek.



Figuur B1.4 Conceptueel model van de verontreiniging met daarin de mogelijke verspreiding door middel van het grondwater. Voor het gemak is indicatief de omvang van de grondwaterpluim en het brongebied aangegeven gebaseerd op basis van de verschillende bodemonderzoeken. © Tauw bv, 2010

Data gaps en aanvullend onderzoek

Op basis van het conceptueel model in figuur B1.5 en de daarin geïdentificeerde *data gaps* en risico's kan een lijst worden opgesteld voor eventuele aanvullende onderzoeksvragen.

Van de volgende risico's is men zeker of zijn voldoende in kaart gebracht:

1. De locatie en omvang van de bronzone. Op basis van de onderzoeksgegevens kan men het voorkomen van puur product uitsluiten (zie 2). In de onverzadigde en verzadigde zone ter hoogte van de bronzone komen sporadisch lage concentraties aan Tri voor in de grond. In het grondwater zijn de concentraties laag. Pas rond de 10 % van de maximale oplosbaarheid van Per of Tri is er mogelijk sprake van het voorkomen van puur product. Ook de aanwezigheid van afbraakproducten wijst in de richting van een beperkte, kleine bronzone
2. In een van de onderzoeken is uitvoerig gekeken of er daadwerkelijk geen puur product of zaklaag van Tri aanwezig was op de locatie. Diepe boringen, grondwaterbemonsteringen en ook MIP-sonderingen zijn toegepast op de locatie. Er zijn op basis van deze drie onderzoekslijnen geen indicatie van puur product

geen aanvullende kennis opleveren. Eventueel kan de omvang van de pluim worden getoetst aan een grondwatermodel waarmee de huidige pluim kan worden gemodelleerd. Dit kan ook de eventuele maximale omvang van de pluim helpen bepalen als er wel of geen actieve saneringsmaatregelen worden genomen.

De verticale afperking is formeel niet aanwezig. Dit kan wel nuttig zijn om aanvullend te onderzoeken omdat zo zekerheid kan worden verkregen dat de pluim zich daadwerkelijk beperkt tot het eerste watervoerend pakket. Ook de aanwezigheid van de kleilaag kan zo met zekerheid worden bepaald

Vraagtekens en daarmee onzekerheden met betrekking tot een aantal risico's die zeker verder onderzocht zouden moeten worden zijn:

5. De uitdamping vanuit de pluim naar de onverzadigde zone omdat dit een mogelijk blootstellingsrisico geeft door de ophoping van vluchtige gechloreerde koolwaterstoffen in de kruipruimten van woningen. Hoewel de concentraties in de pluim niet exorbitant hoog zijn is de kans klein dat dit tot daadwerkelijke blootstellingsrisico's leidt. Echter een risicobeoordeling aangevuld met een aantal metingen kan helpen bij het saneringsonderzoek om te bepalen of, en tot hoe ver de pluim gesaneerd zou moeten worden om blootstellingsrisico's weg te nemen
6. Hetzelfde geldt voor uitdamping vanuit de bronzone. Dit kan leiden tot blootstellingsrisico's van het personeel van het bedrijf. In de bodemonderzoeken worden in de onverzadigde zone met een PID wel verhoogde concentraties gemeten maar een onderzoek naar vluchtige gechloreerde koolwaterstoffen in de binnenlucht ontbreekt. Een risicobeoordeling aangevuld met metingen in de binnenlucht van de bedrijfshallen kunnen de noodzaak van een eventuele sanering van de bronzone helder krijgen
7. Een bedreigd object is de beek ten oosten van het bedrijfsterrein. Verspreiding via het grondwater gevolgd door kwel naar het oppervlaktewater van de beek kan leiden tot een ecologisch risico. In de verschillende bodemonderzoeken is niet gekeken naar de lokale geohydrologie zoals een waterpassing waaruit afgeleid zou kunnen worden dat kwel, en daarmee het risico, niet optreedt. Een waterpassing of anders een toetsing via een grondwatermodel zou bij een aanvullend onderzoek zeker moeten worden meegenomen. Voor de zekerheid zou een enkele analyse van het oppervlaktewater moeten worden meegenomen
8. Als laatste is de waarneming dat aan de andere zijde van de beek eveneens vluchtige gechloreerde koolwaterstoffen, zij het in lage concentraties, in het grondwater voorkomen. Aanvullend onderzoek is hier zeker op zijn plaats omdat de kennis over de geohydrologie beperkt is om het uit te sluiten dat er een relatie bestaat tussen de verontreiniging op het bedrijfsterrein en die aan de andere zijde van de beek. Een waterpassing of een grondwatermodel ontbreekt waarmee zou kunnen worden aangetoond of worden ontkracht dat het gaat om één en dezelfde verontreiniging

Het is zinvol om op basis van het conceptueel model van de verontreiniging een lijst te maken van de verschillende ontbrekende gegevens en onderzoeksvragen. Als er eenmaal zo'n lijst is kan, eventueel samen met de opdrachtgever, een prioritering worden aangebracht in eventueel aanvullend onderzoek. Welke *data gaps* en onzekerheden moeten zeker worden weggenomen om het projectdoel en de vraagstellingen daaronder te kunnen beantwoorden, en wat is minder noodzakelijk of gewoon luxe.

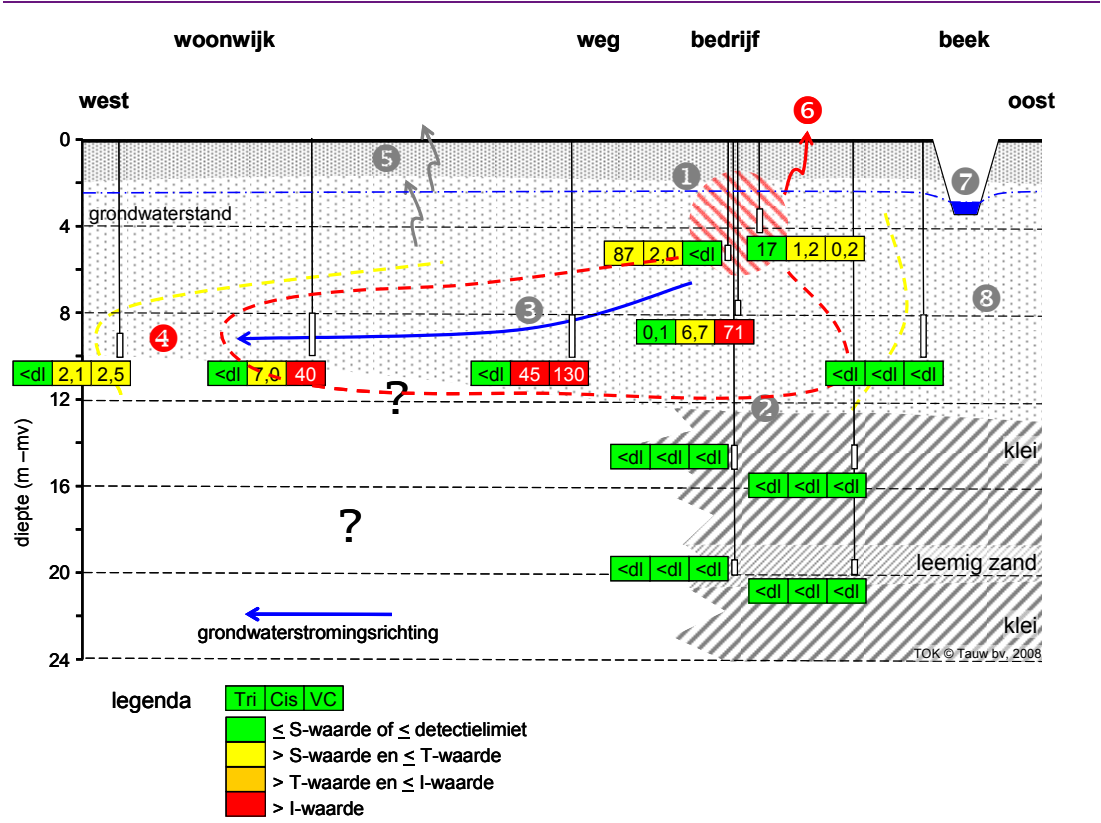
In dit voorbeeld zijn de onderzoeksvragen geformuleerd onder nummer 5 en 6 het meest urgent, mede omdat op basis hiervan de saneringsnoodzaak van de bron en de grondwaterpluim kan worden beargumenteerd. Daarna komt de beantwoording van de vragen gerelateerd aan nummer 7 omdat eventuele saneringsmaatregelen rekening moeten houden met de beek als bedreigd object. Daarna volgt nummer 8; als kan worden uitgesloten dat de verontreiniging aan de overzijde van de beek afkomstig is van het bedrijfsterrein scheelt dat aanmerkelijk in het gebied dat moet worden gesaneerd. De vragen onder 4 hebben de laagste prioriteit omdat de antwoorden op de exacte horizontale en verticale omvang van de pluim waarschijnlijk geen invloed hebben op de omvang van de saneringsmaatregelen.

Saneringsonderzoek en -plan

Op basis van conceptueel model zoals dat in de voorgaande paragraaf is beschreven (zie figuur B1.5) en de prioriteitenlijst voor het aanvullend onderzoek om de *data gaps* en onzekerheden te verkleinen is aanvullend onderzoek uitgevoerd. Op basis van het aanvullend onderzoek is een aantal onzekerheden ondervangen wat geresulteerd heeft in een aangepast conceptueel model gegeven in figuur B1.6.

Uit het aanvullend onderzoek is gebleken dat uitdamping vanuit de grondwaterpluim naar de onverzadigde zone, en eventuele kruipruimtes van woningen in de woonwijk (nummer 5), niet optreedt. Daarnaast blijkt uit een uitgevoerde waterpassing en aanvullend grondwateronderzoek dat kwel naar de beek, nummer 7, niet optreedt. Ook is er geen relatie tussen de verontreiniging op het bedrijfsterrein en die aangetroffen aan de andere zijde van de beek (nummer 8). Navraag bij het bevoegd gezag, en aanvullend grondwateronderzoek, hebben een andere bron van verontreiniging aan de oost zijde van de beek geïdentificeerd bij een voormalige autospuiterij. Uit het aanvullend onderzoek is echter wel gebleken dat er uitdamping vanuit het brongebied optreedt en er in de binnenruimte van de bedrijfshallen worden op een enkele plek verhoogde concentraties aan vluchtige gechloreerde koolwaterstoffen gemeten. Deze concentraties maken een sanering van het brongebied noodzakelijk. Hoewel op basis van de concentraties uit de eerdere bodemonderzoeken deze overschrijding modelmatig niet waren voorspelt in de risicobeoordeling bevat mogelijk een deel van het brongebied hogere gehalten dan tot nu toe aangetoond.

De grondwaterpluim, nummer 4, is in het aanvullend onderzoek niet verder onderzocht. Aanvullend onderzoek zou geen nieuwe inzichten opleveren. Deels door de waterpassing uitgevoerd om de vragen bij 7 en 8 te beantwoorden aangevuld met een grondwatermodellering kan de omvang van de pluim goed worden verklaard.



Figuur B1.6 Aangepast conceptueel model van de verontreiniging zoals gebruikt in het saneringsplan. De in eerdere conceptueel modellen gebruikte nummering is aangepast. De grijs gearceerde nummers zijn niet langer een *data gap* of een openstaande vraag. De hiermee geïdentificeerde risico's blijken niet aanwezig te zijn. Met rood zijn de risico's aangegeven die wel van de verontreiniging uitgaan en die met behulp van het saneringsplan moeten worden weggenomen. © Tauw bv, 2010

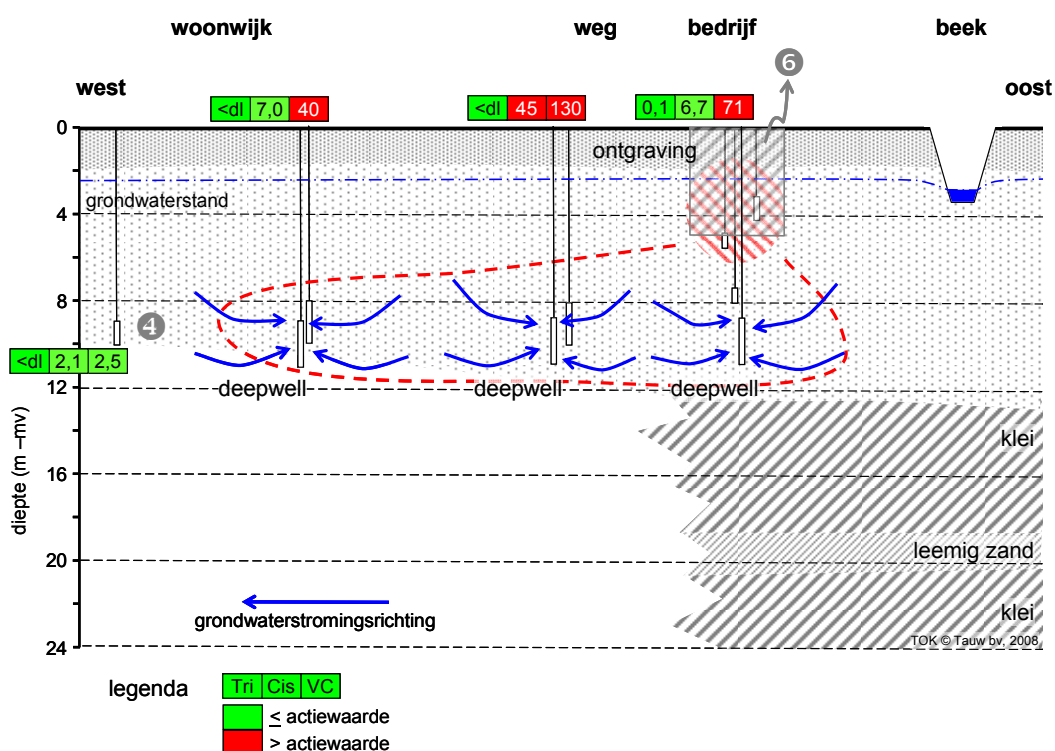
De modellering laat zien dat vooral VC zal ophopen en zich verder verspreiden. De grondwatermodellering heeft geen uitsluitsel kunnen geven over de verticale omvang van de pluim of bodemopbouw waardoor de vraagtekens met betrekking tot die aspecten in het conceptueel model blijven staan.

Ontwerp

In figuur B1.7 is het conceptueel model aangepast en zijn schematisch de saneringsmaatregelen ingetekend. In een saneringsplan kan een dergelijke aanpassing van het conceptueel model naast die uit figuur B1.6 ter illustratie worden opgenomen.

In figuur B1.7 is de verontreinigingssituatie niet meer geïnterpreteerd in relatie tot het STI-systeem maar in relatie tot de in het saneringsplan opgenomen actiewaarden.

De risico's die uitgaan, uitdamping van vluchtige gechloreerde koolwaterstoffen (nummer 6), van het brongebied worden weggenomen door deze te ontgraven.

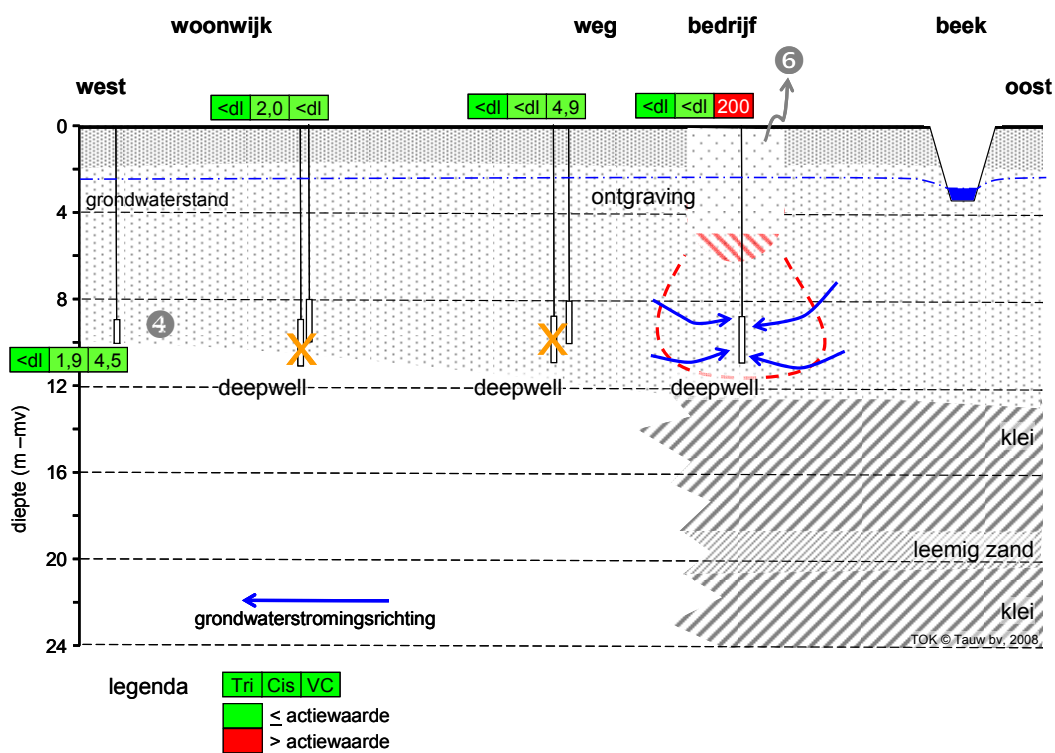


Figuur B1.7 Conceptueel model van de verontreiniging zoals gebruikt in het saneringsplan om schematisch de saneringsmaatregelen weer te geven. De verontreinigingssituatie is nu weergegeven in relatie tot de actiewaarde uit het saneringsplan. De schematisatie van de bodemopbouw en de saneringsmaatregelen is getekend langs een denkbeeldige lijn door het bron- en pluimgebied parallel aan de grondwaterstromingsrichting. © Tauw bv, 2010

De hoge grondwaterconcentraties in de grondwaterpluim worden gesaneerd door in de lengte van de pluim een aantal deepwells te plaatsen. Gezien het stofgedrag van VC en de bodemeigenschappen, het eerste watervoerend pakket bevat amper organisch materiaal waardoor de retardatiefactor van VC erg laag is, is de verwachting dat de pluim met VC in omvang zal toenemen. Door het lage organisch stofgehalte van het eerste watervoerend pakket zal de grootste vracht aan verontreinigingen in het grondwater aanwezig zijn. Door deze te onttrekken zal zowel het risico op verspreiding worden weggenomen en de grootste vracht van de verontreiniging worden gesaneerd. Doordat het brongebied eveneens gesaneerd is zal ook de nalevering naar de pluim worden weggenomen.

Saneren en monitoren

Tijdens de uitvoering van de sanering kan het conceptueel model gebruik worden om de gegevens van de monitoring schematisch weer te geven, zie figuur B1.8. Ook hier is de verontreinigingssituatie weer weergegeven in relatie tot de actiewaarde uit het saneringsplan. In het conceptueel model is aangegeven dat twee van de drie deepwells zijn uitgezet omdat de concentraties van de verontreinigingen onder de actiewaarde uit het saneringsplan zijn gezakt. Alleen de deepwell ter hoogte van het ontgraven brongebied onttrekt nog VC in concentraties boven de actiewaarde. Dit is zeer waarschijnlijk het gevolg van het achterblijven van een klein deel van het brongebied.



Figuur B1.8 Conceptueel model van de verontreiniging zoals gebruikt in de monitoringsrapportages van de sanering. De verontreinigingssituatie is weergegeven in relatie tot de actiewaarde uit het saneringsplan. Twee deepwells in de pluim zijn uitgezet omdat de concentraties onder de actiewaarde zijn gezakt. De schematisatie van de bodemopbouw en de saneringsmaatregelen is getekend langs een denkbeeldige lijn door het bron- en pluimgebied parallel aan de grondwaterstromingsrichting. © Tauw bv, 2010