

**NOBIS 97-1-02**  
ONTWIKKELING VAN EEN BESLISMODEL  
T.B.V. VAN DE ACCEPTATIE VAN  
NATUURLIJKE AFBRAAK ALS  
SANERINGSVARIANT

Fase 1:modelleren

ir. H. Tonnaer (Tauw Milieu bv)  
drs. F.A. Hanneman (Tauw Milieu bv)  
met medewerking van:

ir. L.M.M. Bakker (Tauw Milieu bv)  
ir. M. Heijnen (IWACO)  
drs. S. Huisman (IWACO)  
ir. G.J. Mulder (Grondmechanica Delft)  
ir. T.F. Praamstra (IWACO)  
dr. ir. C.B.M. te Stroet (NITG-TNO)  
ir. J. Taat (Grondmechanica Delft)  
dr.ir. P. Venema (NITG-TNO)  
ir. E.L. Wipfler (Landbouwuniversiteit Wageningen)  
dr. ir. S.T.E.A.M. van der Zee (Landbouwuniversiteit Wageningen)

september 1998

Gouda, CUR/NOBIS



**Titel rapport**CUR/NOBIS projectnummer  
Ontwikkeling van een beslismodel 97-1-02  
t.b.v. van de acceptatie van natuurlijke  
afbraak als saneringsvariant**Project rapportnummer**  
97-1-02 fase 1

---

**Auteur(s)Aantal bladzijden**

ir. H. Tonnaer (Tauw Milieu bv)**Rapport:**  
drs. F.A. Hanneman MTD (Tauw Milieu bv)**Bijlagen:**  
met medewerking van:

ir. L.M.M. Bakker (Tauw Milieu bv)  
ir. M. Heijnen (IWACO)  
drs. S. Huisman (IWACO)  
ir. G.J. Mulder (Grondmechanica Delft)  
ir. T.F. Praamstra (IWACO)  
dr. ir. C.B.M. te Stroet (NITG-TNO)  
ir. J. Taat (Grondmechanica Delft)  
dr.ir. P. Venema (NITG-TNO)  
ir. E.L. Wipfler (Landbouwuniversiteit Wageningen)  
dr. ir. S.T.E.A.M. van der Zee (Landbouwuniversiteit Wageningen)

---

**Uitvoerende organisatie(s) (Consortium)**

TNO-MEP (de heer ing. H.J. van Veen, 055-5493922)  
TNO-MEP (mevrouw dr.ir. A.J.C. Sinke, 055-5493116)  
Provincie Utrecht (de heer ir. P.W.M. van Mullekom, 030-2589111)  
Tauw Milieu bv (de heer ir. F. Spuy, 010-2620000)  
Tauw Milieu bv (de heer ir. H. Tonnaer, 0570-699430)  
IWACO (de heer dr.ir. T. Heimovaara, 010-2865580)  
MTI (de heer ir. F. Volkering, 024-3601212)  
MTI (mevrouw J. Quist, 024-3601212)

---

**Uitgever**

CUR/NOBIS, Gouda

---

**Samenvatting**

Ten behoeve van het NOBIS-project *ontwikkeling van een beslismodel ten behoeve van de acceptatie van natuurlijke afbraak als saneringsvariant*, is het deelproject *modelleren* uitgevoerd. Het hoofddoel van dit deelproject is het vaststellen van de 'state of the art' van het modelleren van verspreiding van grondwaterverontreinigingen onder invloed van natuurlijke afbraak.

Voor het vaststellen van de 'state of the art' hebben een viertal modelleringsgroepen afkomstig van verschillende instituten in Nederland de ontwikkeling van de grondwaterverontreinigingspluim onder invloed van natuurlijke afbraak gemodelleerd, van een concreet geval van bodemverontreiniging.

Op basis van de resultaten is geconcludeerd dat met behulp van modelleren de toekomstige ontwikkeling van een verontreinigingspluim op dusdanige wijze voorspeld kan worden, dat deze informatie gebruikt kan worden ter ondersteuning van het nemen van beslissingen ten aanzien van de acceptatie van natuurlijke afbraak als saneringsvariant. Belangrijke aspecten hierbij zijn de wijze waarop gegevens worden verzameld en de wijze waarop de resultaten van modelleren worden gepresenteerd.

---

**Trefwoorden**

Natuurlijke afbraak, Biologische afbraak, Bodemsanering, Bodemverontreiniging, Grondwaterverontreiniging, Verspreiding, Modellen, Chloorkoolwaterstoffen, Chloorethenen.

---

**Titel projectProjectleiding**

Ontwikkeling van een beslismodelTNO-MEP  
t.b.v. van de acceptatie van natuurlijke(de heer ing. H.J. van Veen  
afbraak als saneringsvariant055-5493922)

---

Dit rapport is verkrijgbaar bij:  
CUR/NOBIS, Postbus 420, 2800 AK Gouda

**Report title**CUR/NOBIS report number

Development of a decision model97-1-02

for the acceptance of natural

attenuation as a remediation variant**Project report number**

97-1-02, phase 1

---

**Author(s)**Number of pagesir. H. Tonnaer (Tauw Milieu Consultancy bv)**Report:**drs. F.A. Hanneman (Tauw Milieu Consultancy)**Appendices:**

in cooperation with:

ir. L.M.M. Bakker (Tauw Milieu Consultancy bv)

ir. M. Heijnen (IWACO)

drs. S. Huisman (IWACO)

ir. G.J. Mulder (Grondmechanica Delft)

ir. T.F. Praamstra (IWACO)

dr. ir. C.B.M. te Stroet (NITG-TNO)

ir. J. Taat (Grondmechanica Delft)

dr.ir. P. Venema (NITG-TNO)

ir. E.L. Wipfler (Landbouwniversiteit Wageningen)

dr. ir. S.T.E.A.M. van der Zee (Landbouwniversiteit Wageningen)

---

**Executive organisation(s)**

(Consortium)

TNO Institute of Environmental Sciences, Energy Research and Process Innovation

(Mr. ing. H.J. van Veen, 055-5493922)

TNO Institute of Environmental Sciences, Energy Research and Process Innovation

(Mrs. dr.ir. A.J.C. Sinke, 055-5493116)

Provence of Utrecht (Mr. ir. P.W.M. van Mullekom, 030-2589111)

Tauw Milieu Consultancy bv (de heer ir. F. Spuy, 010-2620000)

Tauw Milieu Consultancy bv (de heer ir. H. Tonnaer, 0570-699430)

IWACO (de heer dr.ir. T. Heimovaara, 010-2865580)

MTI (de heer ir. F. Volkering, 024-3601212)

MTI (mevrouw J. Quist, 024-3601212)

---

**Publisher**

CUR/NOBIS, Gouda

---

**Abstract**

Within the NOBIS-project entitled "Development of a Decision-Support System on the Acceptance of Natural Attenuation as a Remediation Option", there was a subproject carried out with regard to Modelling. The objective of this subproject was to identify the state of the art in modelling groundwater contaminant plume migration affected by natural attenuation processes.

To this end, four teams representing various Dutch institutes active in the field have each modelled, on the basis of an actual soil contamination case, the development of a groundwater contamination plume affected by natural attenuation processes.

It was found that modelling actually is a suitable means for predicting the future development of a contamination plume in such a way that the data generated can be used to support the decision-making, by the authorities, on whether or not to accept natural attenuation as a remediation option. The study also emphasizes the importance of gathering data systematically, and of presenting the modelling results in an adequate way.

---

**Keywords**

Natural Attenuation, Biological degradation, Soil remediation, Soil contamination, Groundwater contamination, Dispersion, Models, Chlorinated Hydrocarbons, chloroethylenes

---

**Project titleProjectmanagement**

Development of a decision modelTNO Institute of Environmental  
for the acceptance of naturalSciences, Energy Research and  
attenuation as a remediation variantProcess Innovation  
(mr. ing. H.J. van Veen,  
055-5493922)

---

This report can be obtained by:  
CUR/NOBIS, P.O. Box 420, 2800 AK Gouda, The Netherlands

## VOORWOORD

In opdracht van NOBIS (Nederlands Onderzoeksprogramma Biotechnologische In-situ Sanering) wordt een implementatieproject uitgevoerd inzake de ontwikkeling van een beslissingsondersteunend model voor de beoordeling en acceptatie van natuurlijke afbraak als saneringsvariant. Dit project wordt uitgevoerd door een consortium bestaande uit TNO-MEP, Tauw Milieu, IWACO, MTI en de provincie Utrecht. Het project is mede mogelijk gemaakt door inzet van: Provincie Utrecht, Du Pont de Nemours Nederland BV, Provincie Gelderland, Akzo Nobel Engineering, Gemeentelijk Havenbedrijf Rotterdam, Shell ORTEC/2, Shell Nederland Verkoop MRNB/1, Provincie Noord-Holland, Texaco Services Europe Ltd., Gemeente Arnhem, Stichting Bodemsanering NS en Dow Benelux.

Het doel van dit project is het ontwikkelen van een methodiek (het beslissingsondersteunend model), waarmee op relatief eenvoudige wijze natuurlijke afbraak als saneringsvariant beoordeeld kan worden.

Het gehele project bestaat globaal uit drie deelprojecten: *acceptatie*, *meten* en *modelleren*. De resultaten van deze deelprojecten worden gebruikt als input voor het beslissingsondersteunend model zelf.

In onderhavig rapport worden de resultaten van het deelproject modelleren gepresenteerd. Het doel van dit deelproject is het vaststellen van de 'state of the art' van het modelleren van verspreiding onder invloed van natuurlijke afbraak, waarbij de vraag centraal staat: welke bijdrage kan modelleren leveren aan de beoordeling en acceptatie van natuurlijke afbraak als saneringsvariant.





**INHOUDSOPGAVE****Pagina**

VOORWOORD .....	vi
SAMENVATTING/SUMMARY .....	x
1 INLEIDING .....	1
2 OPZET DEELPROJECT MODELLEREN .....	3
2.1Algemeen.....	3
2.2Inhoud workshops.....	3
3 AANPAK EN RESULTATEN MODELLERINGSGROEPEN.....	5
3.1Aanpak Grondmechanica Delft.....	5
3.2Aanpak TNO-NITG/Universiteit Delft .....	5
3.3Tauw/IWACO .....	6
3.4Landbouw Universiteit Wageningen .....	6
3.5Algemene conclusies en opmerkingen n.a.v. modellering case.....	6
4 GENERIEKE AANPAK MODELLERING NATUURLIJKE AFBRAAK .....	9
4.1Inleiding.....	9
4.2Stellingen .....	9
4.3Algemene richtlijnen modellering natuurlijke afbraak .....	11
5 MODELLERING IN RELATIE TOT BESLISSINGSONDERSTEUNEND MODEL.....	13
5.1Inleiding.....	13
5.2Bepalen kleur van het tweede verkeerslicht .....	13
5.3Opzet modellering.....	14
5.3.1Nulsituatie .....	15
5.3.2Geohydrologisch model .....	15
5.3.3Afbraaksnelheid .....	16
5.3.4Modelberekeningen .....	16
6 CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN.....	17

Bijlage A: Verslag van de interviews

Bijlage B: Rapportage TNO-NITG

Bijlage C: Rapportage Grondmechanica Delft

Bijlage D: Rapportage landbouwuniversiteit Wageningen

Bijlage E: Rapportage Tauw/IWACO



## **SAMENVATTING**

Ten behoeve van het NOBIS-project *ontwikkeling van een beslismodel ten behoeve van de acceptatie van natuurlijke afbraak als saneringsvariant*, is het deelproject *modelleren* uitgevoerd. Het hoofddoel van dit deelproject is het vaststellen van de 'state of the art' van het modelleren van verspreiding van grondwaterverontreinigingen onder invloed van natuurlijke afbraak.

Voor het vaststellen van de 'state of the art' hebben een viertal modelleringsgroepen afkomstig van verschillende instituten in Nederland de ontwikkeling van de grondwaterverontreinigingspluim onder invloed van natuurlijke afbraak gemodelleerd, van een concreet geval van bodemverontreiniging.

Op basis van de resultaten is geconcludeerd dat met behulp van modelleren de toekomstige ontwikkeling van een verontreinigingspluim op dusdanige wijze voorspeld kan worden, dat deze informatie gebruikt kan worden ter ondersteuning van het nemen van beslissingen ten aanzien van de acceptatie van natuurlijke afbraak als saneringsvariant. Belangrijke aspecten hierbij zijn de wijze waarop gegevens worden verzameld en de wijze waarop de resultaten van modelleren worden gepresenteerd.

## **SUMMARY**

Within the NOBIS-project entitled "Development of a Decision-Support System on the Acceptance of Natural Attenuation as a Remediation Option", there was a subproject carried out with regard to Modelling. The objective of this subproject was to identify the state of the art in modelling groundwater contaminant plume migration affected by natural attenuation processes.

To this end, four teams representing various Dutch institutes active in the field have each modelled, on the basis of an actual soil contamination case, the development of a groundwater contamination plume affected by natural attenuation processes.

It was found that modelling actually is a suitable means for predicting the future development of a contamination plume in such a way that the data generated can be used to support the decision-making, by the authorities, on whether or not to accept natural attention as a remediation option. The study also emphasizes the importance of gathering data systematically, and of presenting the modelling results in an adequate way.

## 1 INLEIDING

Eén van de deelprojecten van het NOBIS-project *Ontwikkeling van een beslismodel ten behoeve van de acceptatie van Natuurlijke Afbraak als saneringsvariant*, is *Modelleren* (activiteit 4). Dit deelproject is onderdeel van deelresultaat 2, tezamen met *Meten I* en *Evaluatie*.

Het hoofddoel van deelproject modelleren was het vaststellen van de 'state of the art' op het gebied van modelleren van natuurlijke afbraak. De reden om de 'state of the art' te willen vaststellen, was gelegen in het feit dat er geen goed beeld was van wat modelleren zou kunnen bijdragen aan het beoordelen van natuurlijke afbraak als saneringsvariant.

Om de 'state of the art' te kunnen vaststellen is een *modelleringsactiviteit* georganiseerd. In dit rapport worden de resultaten van de modelleringsactiviteit gepresenteerd en worden richtlijnen gegeven op welke wijze modelleren in het beslismodel kan worden opgenomen. De resultaten van dit deelproject zullen uiteindelijk in het definitief concept-beslismodel verwerkt worden (deelresultaat 3).



### **3 OPZET DEELPROJECT MODELLEREN**

#### **4.1 Algemeen**

Om de 'state of the art' te kunnen vaststellen is besloten tot het organiseren van een modelleringsactiviteit. Voor deze activiteit zijn vier modelleringsgroepen uitgenodigd uit zowel de advies als universitaire wereld. Deze groepen hebben de opdracht gekregen om van een bestaand geval van bodemverontreiniging de ontwikkeling van de verontreinigingspluim onder invloed van natuurlijke afbraak te modelleren.

De verschillende modelleringsgroepen zijn:

- Tauw/Iwaco;
- TNO NITG/Universiteit Delft;
- Grondmechanica Delft;
- Universiteit Wageningen.

Er is gekozen voor een case op locatie Koninginneweg te Vaassen. De locatie is verontreinigd met CKW (gechloreerde koolwaterstoffen). De redenen om voor deze case te kiezen, zijn als volgt:

- de verontreinigingssituatie is bekend op twee tijdstippen (1990 en 1997);
- er is reeds een kwalitatief onderzoek uitgevoerd naar het optreden naar natuurlijke afbraak, waaruit naar voren is gekomen dat natuurlijke afbraak op de locatie optreedt;
- de locatie is redelijk representatief voor andere CKW-verontreinigingen.

Voorafgaand aan de modelleringsactiviteit zijn met de bovengenoemde groepen interviews gehouden. Het doel van de interviews was om de status van modellering van natuurlijke afbraak binnen de betrokken instellingen vast te stellen. Daarnaast dienden de interviews ervoor om te inventariseren welke modellen er gebruikt werden en op welke wijze deze toegepast werden. Tevens werd tijdens de interviews de opzet van de modelleringsactiviteit besproken. De verslagen van de interviews zijn bijgevoegd in bijlage A.

De modelleringsactiviteit is gestart met een workshop in november 1997. Daarna zijn nog een tussen- en eindworkshop gehouden. Navolgend zal beknopt de inhoud van deze workshops worden besproken.

#### **4.3 Inhoud workshops**

##### **Workshop 1 (6 november 1997)**

In deze workshop is de case (Koninginneweg te Vaassen) gepresenteerd en is de doelstelling van de modelleringsactiviteit toegelicht.

Het doel van de modellering is in deze workshop als volgt geconcretiseerd: Modelleren van pluimontwikkeling op de Koninginneweg Vaassen in alle dimensies (ruimte en tijd).

De groepen hebben de onderzoeksgegevens van de locatie op het tijdstip 1990 meegekregen. De gegevens van 1997 zijn nog niet aan de modelleringsgroepen ter beschikking gesteld, maar zijn gebruikt om later de resultaten van de modelberekeningen te toetsen.

De groepen hebben naar aanleiding van deze workshop een vragenlijst gekregen die heeft gediend als leidraad bij het uitvoeren van de modelberekeningen. Tevens werd aangegeven vanuit welke perceptie de opdracht diende te worden uitgevoerd. Uit brief aan modelleringsgroepen d.d. 12 november 1997 citeren we:

*Voor het uitvoeren van de modellering is het goed om het een en ander te zien vanuit de perceptie van een opdrachtgever (in 1990). Deze is onder andere erg benieuwd hoe de pluim er in 1997 uitziet. Daarnaast wil hij ook graag weten of zijn buurman die op 350 meter stroomafwaarts van de voormalige wasserij woont op termijn ook te maken krijgt met de grondwaterverontreiniging. De buurman wil namelijk een traditionele handpomp gaan installeren om zijn moestuintje te kunnen besproeien en vraagt zich af of hij dan ooit CKW gaat oppompen.*

### **Workshop 2 (29 januari 1998)**

Op de tweede workshop hebben de vier groepen de modelleringsresultaten gepresenteerd welke gebaseerd waren op de onderzoeksresultaten van 1990. Na discussie over de resultaten zijn vervolgens de onderzoeksgegevens van 1997 gepresenteerd. Met deze gegevens zijn de groepen weer verder aan het rekenen gegaan.

De wijze waarop de verschillende groepen het modelleren hebben aangepakt wordt nader toegelicht in hoofdstuk 3.

### **Workshop 3 (3 maart 1998)**

Tijdens de derde en afsluitende workshop hebben de modelleringsgroepen wederom hun resultaten gepresenteerd, waarbij met name is gekeken welke invloed de nieuwe gegevens hadden op de uitkomsten van de modelberekeningen.

Na de presentaties is aan de hand van een achttal stellingen gediscussieerd over de wijze waarop de ontwikkeling van een verontreinigingspluim onder invloed van natuurlijke afbraak gemodelleerd kan worden en welke input gegevens hiervoor nodig zijn.

Op basis van deze stellingen is vervolgens in een gemeenschappelijk discussie een generieke aanpak gedestilleerd waaruit richtlijnen naar voren zijn gekomen over op welke wijze modellering ingezet kan worden bij het beoordelen van natuurlijke afbraak als saneringsvariant.

De resultaten van deze discussies worden beschreven in hoofdstuk 5.







## **5 AANPAK EN RESULTATEN MODELLERINGSGROEPEN**

In dit hoofdstuk wordt de aanpak van de verschillende modelleringsgroepen beschreven. In paragraaf 3.1 worden de verschillende aanpakken van de modelleringsgroepen besproken. Hierbij wordt een onderscheid gemaakt tussen geohydrologie en stoftransport (factoren die bij elk verspreidingsprobleem een rol spelen), biologische afbraak (cruciaal bij Natuurlijke Afbraak) en de beschrijving van de bron. Dit laatste aspect bleek tijdens de workshops aanleiding voor veel discussie. Het gedrag van bron blijkt zeer bepalend voor het uiteindelijke verspreidingsgedrag, hetgeen reden is om het hier als afzonderlijk aspect te vermelden.

Het hoofdstuk wordt afgesloten met algemene conclusies en opmerkingen naar aanleiding van de modellering case.

### **6.1 Aanpak Grondmechanica Delft**

#### **Geohydrologie en stoftransport**

Grondmechanica Delft heeft gebruik gemaakt van het computermodel VERA, waarbij gemodelleerd is over één stroombaan. Er is dus uitgegaan van een uniforme grondwater stroming. Daarnaast werd voor adsorptie een lineair verband aangenomen. De benodigde parameters hiervoor zijn gebaseerd op literatuurwaarden.

#### **Biologische afbraak**

Voor het modelleren van reductieve dechlorering van CKW is uitgegaan van sequentiële afbraak waarbij gebruik gemaakt is van eerste orde afbraak constanten uit NOBIS-rapporten.

#### **Beschrijving bron**

Op basis van de allereerste meetgegevens is zowel een continue als een uitdovende bron niet uitgesloten. De nieuwe meetgegevens van 1997 lieten zien dat de bron niet is uitgedoofd. De uiteindelijke berekeningen zijn daarom voor een continue bron uitgevoerd.

### **6.3 Aanpak TNO-NITG/Universiteit Delft**

#### **Geohydrologie en stoftransport**

TNO beschouwde een één-dimensionaal systeem, waarvoor berekeningen worden uitgevoerd in MODFLOW (stroming) en RT3D (stoftransport en afbraak). Voor bepaling van de grondwater stromingssnelheid werd gebruik gemaakt van waterbalansen. De adsorptie werd als lineair beschouwd. De hiervoor benodigde parameters zijn gebaseerd op literatuurwaarden.

#### **Biologische afbraak**

Sequentiële biologische afbraak is via een eerste orde kinetiek gemodelleerd. De parameterbandbreedte is vastgesteld op basis van literatuurgegevens en is vernaauwd op basis van de metingen.

#### **Beschrijving bron**

TNO ging uit van een continue naleverende bron.

## 6.5 Tauw/IWACO

### **Geohydrologie en stoftransport**

Tauw/IWACO ging uit van een twee-dimensionaal twee-laags systeem; in feite een quasi-drie-dimensionaal systeem. De berekeningen werden uitgevoerd in MODFLOW (stroming) en RT3D (stoftransport en afbraak). De grondwaterstromingssnelheid is gebaseerd op lokale stijghoogte metingen en geohydrologische eigenschappen op de locatie. De adsorptie werd als lineair beschouwd. De parameter werden eerst uit literatuur gehaald, maar later aangepast op basis van de meetgegevens ten aanzien van de kern van de verontreiniging.

### **Biologische afbraak**

Sequentiële biologische afbraak is via een eerste orde kinetiek gemodelleerd. De parameterbandbreedte is vastgesteld op basis van literatuurgegevens en is vernauwd op basis van de vrachtberekeningen voor de verschillende componenten.

### **Beschrijving bron**

Tauw/IWACO ging uit van een uitdovende bron (in twee jaar).

## 6.7 Landbouw Universiteit Wageningen

### **Geohydrologie en stoftransport**

LUW modelleerde in twee dimensies en maakte gebruik van METROPOL. Vanwege de grote breedte van de pluim is onderzoek gedaan naar mogelijke (geohydrologische) oorzaken hiervoor. Parameters in het model zijn gecalibreerd met behulp van een kleinste kwadraten methode.

### **Biologische afbraak**

Voor de beschrijving van sequentiële biologische afbraak is uitgegaan van een eerste orde kinetiek. De parameters zijn gebaseerd op literatuurwaarden.

### **Beschrijving bron**

LUW heeft voor de beschrijving van de bron meerdere scenario's beschouwd, waarbij de "uitdoof-tijd" varieerde van 2 tot 20 jaar. Op basis van de verschillende berekeningen kon niet met zekerheid worden bepaald welke van deze scenario's voor deze site van toepassing zijn.

## 6.9 Algemene conclusies en opmerkingen n.a.v. modellering case

In het algemeen kan geconcludeerd worden dat ondanks de beperkte hoeveelheid beschikbare onderzoeksgegevens en ondanks het feit dat deze gegevens niet verzameld zijn uit het oogpunt van modelleren, toch goede resultaten zijn geboekt.

De belangrijkste conclusies ten aanzien van de verontreinigingssituatie en de pluimontwikkeling zijn:

- het is onduidelijk of er nog een naleverende bron op de locatie aanwezig is;
- de verontreinigingspluim is nog niet volledig stagnant;
- de buurman op 350 meter afstand (stroomafwaarts) krijgt waarschijnlijk tijdelijk het front van de verontreinigingspluim, waarin zich alleen nog VC bevindt, onder zijn tuin. De concentraties zullen echter laag zijn (vermoedelijke enkele tientallen microgrammen per liter);
- de pluim zal zich binnen 10 jaar weer gaan terugtrekken.

Alle groepen hebben veel tijd besteed aan de analyse en interpretatie van meetdata. Een grondige data-analyse blijkt een essentieel onderdeel te zijn van het modelleren van de pluimontwikkeling. In het algemeen kan geconcludeerd worden dat het interpreteren van gegevens vaak meer tijd kost dan het uitvoeren van het rekenwerk. Echter, indien het bodemonderzoek meer uitgevoerd zou zijn geweest vanuit het oogpunt van modelleren had er veel tijd kunnen worden bespaard.

In het algemeen vonden de groepen de kwaliteit en de hoeveelheid geohydrologische gegevens aan de magere kant. Met name de hoeveelheid beschikbare peilgegevens en gegevens omtrent de doorlatendheid hebben geleid tot nogal uiteenlopende aannames omtrent de grondwaterstromingssnelheid. Daar er ook geen organisch stofbepalingen voorhanden waren, was het tevens moeilijk een effectieve verspreidingssnelheid in te schatten. Echter, op basis van iteratieve modellering konden onzekerheden in de effectieve verspreidingssnelheid tot een aanvaardbaar niveau worden teruggebracht. De onzekerheid in de voorspellingen zal echter groeien in de tijd hetgeen reden is tot een nieuwe meetrunde over een tiental jaren.



## 7 GENERIEKE AANPAK MODELLERING NATUURLIJKE AFBRAAK

### 8.1 Inleiding

Na het afronden van de voordrachten van de groepen in workshop 3 is gediscussieerd over het opstellen van richtlijnen waarmee een generieke aanpak van modelleren van natuurlijke afbraak kan worden beschreven. De discussie is gevoerd met behulp van een achttal stellingen. De stellingen waren geformuleerd op basis van de resultaten van het modelleren van de case. Na de discussie over de stellingen zijn gemeenschappelijk een aantal richtlijnen opgesteld die in het beslissingsondersteunend model zullen worden opgenomen teneinde richting te geven aan het voldoende modelleren van natuurlijke afbraak in de praktijk.

Navolgend worden de stellingen gegeven alsmede een samenvatting van de discussie die per stelling is gevoerd.

### 8.3 Stellingen

*1. In het algemeen zijn metingen in 6 peilbuizen voldoende (gemeten over een stroombaan: 1 voor referentie achter de bron, 2 in de bron, 2 in de pluim en 1 schoon achter de pluim)*

In het algemeen zullen 6 peilbuizen niet voldoende zijn; het is echter ook niet zo dat het aantal een orde groter moet zijn voor een goed beeld. Bij deze opzet wordt de laterale afperking van de verontreiniging niet gemeten, terwijl deze toch erg belangrijk is. Gezien de nauwkeurigheid van metingen zou het goed zijn om wat extra peilbuizen tussen de bron en de kern van de verontreiniging te plaatsen.

*2. Kennis van geohydrologie is cruciaal*

Deze stelling wordt door iedereen onderschreven. Er is een discussie over de mate van detail waarmee de geohydrologie bekend moet zijn. In het algemeen is het aan te bevelen om goede stijghoogte-metingen ten opzichte van een referentiepunt te doen. Hieruit kan de stromingsrichting en -snelheid worden afgeleid. Pas als deze gegevens bekend zijn, kan een goede meetopzet voor de verontreinigingssituatie worden opgesteld. Een aantal goede boorbeschrijvingen zijn belangrijk voor het in kaart brengen van de bodemopbouw.

Er is een verschil van mening over de bruikbaarheid van regionale grondwatermodellen en gegevens van de TNO-peilbuizen. Enerzijds zijn dit eenvoudige manieren om aan gegevens te komen; anderzijds zijn deze metingen gedaan om de grondwaterstroming op een grote (i.e. regionale) schaal in kaart te brengen en zij zijn dientengevolge veel te onnauwkeurig om toe te passen op kleine (i.e. site) schaal. In het algemeen overheerst de mening dat voor het verkrijgen van een betrouwbaar geohydrologisch beeld, de relevante geohydrologische data op locatieniveau dienen te worden verzameld en niet op regionale schaal.

### *3. Literatuurwaarden zijn voldoende voor een modelleringsstudie*

Alle groepen hebben (vnl. in het begin) gebruik gemaakt van literatuurwaarden voor adsorptie-parameters en afbraaksnelheden. De literatuur geeft echter een bepaalde range aan waarden die vaak zo ruim is dat dit een zeer ruime spreiding in de resultaten geeft. De metingen zijn vervolgens gebruikt om een keuze te maken uit de parameters uit de literatuur. De modelleringsstudie heeft zich hier echter gericht op het beschrijven van een CKW-afbraakketen. Het feit dat afbraakproducten hier gemeten werden, maakte de data bruikbaar om afbraaksnelheden en adsorptie-parameters te toetsen.

Het verdient echter de voorkeur om ook op een alternatieve wijze afbraaksnelheden te bepalen (bijvoorbeeld door middel van vrachtberekeningen). De op verschillende wijzen verkregen afbraaksnelheden kunnen dan met elkaar vergeleken worden en er vervolgens een 'best guess' van maken.

### *4. Redoxmetingen zijn overbodig*

Hoewel de redoxmetingen in de voordrachten nauwelijks zijn genoemd, is men het er over eens dat er een dergelijke meting altijd dient te worden uitgevoerd. De resultaten worden echter niet zozeer in kwantitatieve zin gebruikt, maar zij spelen vooral een rol bij de beslissing of de condities in de bodem überhaupt wel geschikt zijn voor afbraak van de verontreiniging. Dit geldt zeker voor stoffen waarvan de afbraakproducten niet meetbaar zijn.

### *5. Een modelleringsstudie kan alleen worden uitgevoerd voor stoffen met een meetbaar afbraakproduct*

Dit punt is bij de voorgaande stellingen ook al aan bod geweest. Voor het modelleren van de afbraak van een verontreiniging waarvan het afbraakproduct niet gemeten kan worden, zijn waarschijnlijk meer laboratorium- en veldgegevens nodig. Het is echter op zich goed mogelijk om een modelleringsstudie voor andere stoffen uit te voeren.

### *6. Modelleren kan nu voor 10 kf*

Niemand wil hier expliciet antwoord op geven ten overstaan van de rest. De stelling wordt wel in algemene zin beantwoord. Voor een nieuwe modelleringsstudie is zeker minder dan 50 kf nodig, wellicht zelfs minder dan de helft. Er moet echter niet uit het oog verloren worden dat een goede data-interpretatie behoorlijk wat tijd kost, maar dat zij vaak ook geld zal opleveren omdat het aantal metingen kan worden ingeperkt. Het verdient dan ook de voorkeur om de modellering/data-interpretatie parallel te laten lopen aan de veldonderzoeken zodat er vanaf het begin veel interactie is.

### *7. Meetpunten in de tijd zijn zinvoller dan meetpunten in de ruimte*

Deze stelling is niet gemakkelijk zo te beantwoorden. Er zijn wel een aantal belangrijke punten die bij deze stelling ter sprake komen. Om een modelleringsstudie uit te voeren is het belangrijk om ofwel nauwkeurige informatie over de herkomst van de verontreiniging tezamen met een dataset in de tijd te kennen ofwel twee datasets in de tijd. Vanwege heterogeniteiten in de bodemeigenschappen en in de verontreinigingssituatie is het echter ook belangrijk om voldoende metingen in de ruimte te hebben.

De nauwkeurigheid van de metingen is op zich niet zo heel erg belangrijk. Er zijn immers zoveel aspecten die de meting beïnvloeden dat het zinvoller is om veel metingen in de ruimte te hebben dan een klein aantal zeer nauwkeurige metingen.

### 8. Het is mogelijk om een generieke aanpak voor Natuurlijke Afbraak op te stellen

Het is zeker mogelijk een generieke aanpak op te stellen mits er goed wordt nagedacht bij elke stap. Wanneer slechts gewerkt zou worden met een "kookboek" dat klakkeloos gevolgd wordt, zullen de resultaten onbetrouwbaar of foutief zijn. Algemene richtlijnen zijn dus met de nodige kanttekeningen wel te geven.

Opgemerkt moet worden dat door de modelleringsgroepen modelleren, niet gezien wordt als een doel op zich. Het is belangrijk om het gebruik van modellen (conceptuele modellen en rekenmodellen) te integreren in het hele proces van bodemonderzoek, het uitwerken van saneringsstrategieën (inclusief natuurlijke afbraak) en uiteindelijk het monitoren van verontreinigingen.

Door reeds vanaf het begin gebruik te maken van modellen kan efficiënter worden onderzocht, beter saneringsmaatregelen worden uitgewerkt en effectiever worden gemonitord. Of zoals het in de modelleringsrapportage van TNO verwoord is:

Doel van het modelleren is het toevoegen van fysische informatie omtrent het transportproces aan de gemeten data. Dit moet leiden tot:

- een betere interpretatie van de gemeten aanwezige concentraties;
- een ruimtelijke invulling van de pluim gebaseerd op fysica en metingen;
- een ontwikkeling van de pluim in de tijd, en derhalve ook voorspellingen.

In wezen is het de bedoeling dat combinatie van data en fysica meer oplevert dan de som der afzonderlijke delen. Dit houdt in dat beiden op elkaar afgestemd dienen te worden: een uitgebreid model heeft geen zin als er ook niet intensief is gemeten en andersom.

### 8.5 Algemene richtlijnen modellering natuurlijke afbraak

In deze paragraaf worden een aantal belangrijke richtlijnen gegeven, welke zijn geformuleerd op basis van de discussie zoals beschreven in de vorige paragraaf. Over deze richtlijnen bestaat consensus onder alle deelnemers aan de modelleringsactiviteit. Wel dient uitdrukkelijk te worden gezegd dat deze richtlijnen ook echt richtinggevend bedoeld zijn, en niet als kookboek dienen te worden gezien.

Opgemerkt wordt dat het numerieke model dat gekozen wordt voor het modelleren van natuurlijke afbraak eigenlijk niet relevant is, maar veel meer de wijze waarop gemodelleerd wordt, inclusief data interpretatie.

#### Richtlijnen

##### Geohydrologie:

De geohydrologie en de bodemopbouw dienen in kaart te worden gebracht, waarbij zo een goed mogelijk beeld dient te worden verkregen van de:

- stromingsrichting;
- stromingssnelheid;
- bodemopbouw.



### Bodemonderzoek:

Het bodemonderzoek is erop gericht om op zo efficiënt mogelijke wijze de verontreiniging af te perken en alle gegevens te verzamelen die van belang zijn om het optreden van natuurlijke afbraak te bepalen en te kwantificeren. Hiertoe dienen tijdens het bodemonderzoek:

- tien peilbuizen gefaseerd te worden geplaatst in de stromingsrichting over de hoofdas van verontreiniging;
- goede boorbeschrijvingen te worden gemaakt;
- de fractie organisch stof (nauwkeurig) te worden bepaald in grondmonsters die genomen worden tijdens het plaatsen van de peilbuizen;
- stijghoogtemetingen te worden uitgevoerd;
- de redoxtoestand van de bodem te worden vastgesteld door meten van bijvoorbeeld de concentraties aan electronenacceptoren ( $O_2$ ,  $NO_3^-$ , Fe(II),  $SO_4^{2-}$  en methaan) of het uitvoeren van redoxmetingen;
- andere relevante geochemische parameters te worden bepaald (zoals opgelost organisch koolstof (DOC));
- concentraties aan verontreinigingen te worden bepaald (uitgangs- en afbraakproducten).

### Modellerings:

Om goede modelberekeningen te kunnen uitvoeren zijn de volgende zaken van belang:

- de vracht aan verontreinigingen in de bodem;
- het zwaartepunt van de verontreiniging;
- het is belangrijk om de verontreinigingssituatie op twee tijdstippen te kennen. Deze tijdstippen dienen minimaal 10 jaar van elkaar te verschillen. Een van de tijdstippen voor het vastleggen van de verontreinigingssituatie kan gevormd worden door het historisch onderzoek (tijdstip van ontstaan);
- op basis van modelberekeningen wordt een verwachting berekend over de ontwikkeling van de verontreinigingspluim. Hieruit volgt een monitoringschema. Monitoren en modelleren vormen samen een cyclisch proces.

### Monitoren:

- om vast te stellen of de pluim zich ontwikkelt zoals voorspeld is een relatief extensieve monitoring voldoende. Gedacht kan worden aan het bemonsteren en analyseren van de belangrijkste deel van 10 peilbuizen tussen de eens per 2 tot 5 jaar (afhankelijk van effectieve stromingssnelheid).

De belangrijkste peilbuizen zijn gesitueerd:

- vlak achter de bron;
- rond zwaartepunt(en);
- stroomafwaarts aan het front van de verontreinigingspluim.





## 9 MODELLERING IN RELATIE TOT BESLISSINGSONDERSTEUNEND MODEL

### 10.1 Inleiding

De rode draad in het beslissingsondersteunend model is een viertal verkeerslichten, waarbij steeds bij elk verkeerslicht vast moet worden gesteld of natuurlijke afbraak een kansrijke-, kans- of kansarme-optie is (respectievelijk een groen, oranje of rood licht). Het tweede verkeerslicht in dit model betreft de pluimontwikkeling (verspreiding van de verontreiniging) onder invloed van natuurlijke afbraak.

Voor het voorspellen van de pluimontwikkeling is modellering essentieel. De modellering kan in het ene geval bestaan uit eenvoudige handmatige berekeningen en in andere gevallen uit bijvoorbeeld zeer complexe geohydrologische modellering. Onafhankelijk van hoe er gemodelleerd wordt zal er voor het bepalen van de kleur van het verkeerslicht een antwoord dienen te worden gegeven op de vraag: hoe ontwikkelt de pluim zich in de toekomst?

Zoals al beschreven is in voorgaande hoofdstukken is een goede dataset belangrijk, om door middel van modellering een betrouwbare uitspraak te kunnen doen over de pluimontwikkeling. Het verkrijgen van een goede dataset (oftewel de eisen die aan de input van het verspreidingsmodel worden gesteld), maken een integraal onderdeel uit van het modelleren.

In dit hoofdstuk is aangegeven op welke wijze de pluimontwikkeling onder invloed van natuurlijke afbraak gemodelleerd kan worden om uiteindelijk de kleur van het tweede verkeerslicht te kunnen bepalen. Tevens is aangegeven op welke wijze bij voorkeur veldgegevens dienen te worden verzameld, zodat er voor zorg wordt gedragen dat de input van het model zo optimaal mogelijk is.

### 10.3 Bepalen kleur van het tweede verkeerslicht

Om uiteindelijk de kleur van het tweede verkeerslicht te kunnen bepalen is het vaak niet nodig om het exacte concentratieverloop in de tijd te kunnen voorspellen. In de meeste gevallen kan de kleur van het tweede verkeerslicht bepaald worden aan de hand van de combinatie van twee grafieken. In de eerste grafiek wordt het verloop van de vracht aan verontreinigingen in de pluim weergegeven en in de tweede grafiek de verspreiding (in stromingsrichting) in de tijd. Dit is geïllustreerd in figuur 5.1. Navolgend wordt een beknopte toelichting gegeven op de grafieken.

#### **Vracht in de pluim**

Onder de *vracht in de pluim* wordt verstaan de totale hoeveelheid opgeloste en geadsorbeerde verontreinigingen. Hoewel de aanwezigheid van puur product (of beter gezegd, een naleverende bron) wel essentieel is voor het modelleren van de pluimontwikkeling behoeft de hoeveelheid die eventueel in de bodem aanwezig is voor de grafische weergave niet te worden meegenomen. Hierop wordt nader ingegaan in paragraaf 5.3.

figuur 1(A) verandering van de vracht in de pluim in de tijd;  
(B) verspreiding in de tijd

### **Verspreiding in de tijd**

In veel gevallen zal kunnen worden volstaan met het in 1-dimensie (over een stroombaan) modelleren van de pluim ontwikkeling. Een stijgende lijn in de grafiek (B1) betekent dat de pluim nog groeit. Een gelijkblijvende lijn (B2) of een dalende lijn (B3) betekent dat de pluim respectievelijk stagnant is of krimpende.

In de praktijk zullen slechts een beperkt aantal combinaties van de twee grafieken voorkomen, zoals A1-B1, A2-B2, A3-B3 en A3-B2.

Indien bijvoorbeeld de combinatie A1-B1 wordt gevonden, betekent dit dat de nalevering uit de bron groter is dan de afbraak en dat de pluim groeit. Dit zal niet vaak acceptabel zijn en derhalve het verkeerslicht op rood zetten.

Indien bijvoorbeeld de combinatie A3-B3 zich voordoet, betekent dit dat de massa die als gevolg van afbraak verdwijnt groter is dan de massa die als gevolg van nalevering in de pluim terecht komt. Daar bij bovengenoemd geval de pluim ook krimpende is, is er geen sprake meer van verspreiding en zal de pluim op termijn verdwijnen. Het verkeerslicht kan dus op groen worden gezet.

In de volgende paragraaf zal nader worden ingegaan op welke wijze tot bovenstaande grafieken kan worden gekomen.

### **10.5Opzet modellering**

Er zijn verschillende mogelijkheden om te komen tot de grafieken zoals weergegeven in figuur 1. In deze paragraaf is op hoofdlijnen aangegeven welke stappen dienen te worden doorlopen, teneinde modelmatig de pluimontwikkeling onder invloed van natuurlijke afbraak te kunnen voorspellen. De aangegeven stappen dienen er met name voor om inzicht te geven in welke inputdata essentieel zijn voor de modellering en op welke wijze ze bewerkt kunnen worden.

Op hoofdlijnen zijn de volgende vier stappen te onderscheiden:

1. leg nulsituatie vast;
2. stel een geohydrologisch model op;
3. bepaal afbraaksnelheid;
4. voer de modelberekeningen uit.

### 10.6.1 Nulsituatie

Voor het uitvoeren van (voorspellende) verspreidingsberekeningen is het van belang om in eerste instantie het ontstaan van de huidig aanwezige verontreinigingspluim zo goed mogelijk te kunnen beschrijven. De nulsituatie wordt dan gedefinieerd als het tijdstip vanaf waar de voorspellende berekeningen worden uitgevoerd.

Voor het vaststellen van de nulsituatie is het noodzakelijk om op minimaal twee tijdstippen een goed beeld te hebben van de verontreinigingssituatie. Afhankelijk van de grondwaterstromingssnelheid dienen deze tijdstippen minimaal in de orde grootte van 5 tot 10 jaar uit elkaar te liggen.

Het eerste tijdstip is in het ideale geval het moment van ontstaan van de verontreiniging. Een voorbeeld hiervan kan zijn een calamiteit met een opslagtank. Het tweede tijdstip is vervolgens de huidige verontreinigingssituatie (minimaal 5 tot 10 jaar na dato).

Indien er geen of onvoldoende betrouwbare gegevens over het ontstaan van de verontreiniging voorhanden zijn, kan de nulsituatie worden vastgesteld aan de hand van de verontreinigingssituatie zoals deze bekend is op twee latere tijdstippen (wederom minimaal 5 tot 10 jaar uit elkaar). Het is hierbij wel van belang dat de verkregen gegevens zoveel mogelijk op dezelfde plaatsen zijn gemeten.

Tot slot is het van belang om te weten of er op dit moment nog een (naleverende) bron aanwezig is.

### 10.6.3 Geohydrologisch model

In veel gevallen zal het voldoende zijn om de modellering uit te voeren over één stroombaan. De volgende gegevens zijn in ieder geval noodzakelijk voor het uitvoeren van voldoende betrouwbare berekeningen:

- grondwaterstromingsrichting;
- effectieve transportsnelheid;

#### **Stromingsrichting**

De grondwaterstromingsrichting dient bij voorkeur op de locatie bepaald te worden, bijvoorbeeld door peilingen. Belangrijk hierbij is dat zoveel mogelijk peilingen over een langere periode worden uitgevoerd.

#### **Effectieve transportsnelheid**

De effectieve transportsnelheid is de snelheid waarmee het front van de pluim zich verplaatst. Deze parameter is de meest kritische parameter in het model. De effectieve transportsnelheid is gedefinieerd als:

$$v_{eff} = \frac{v}{R} \quad (1)$$



waarin:  $v_{\text{eff}}$  = effectieve transportsnelheid (m/jaar);  
 $v$  = grondwaterstromingssnelheid (m/jaar);  
 $R$  = retardatiefactor.

Het is belangrijk om te realiseren dat de effectieve transportsnelheid niet afhankelijk is van de afbraaksnelheid!

Er zijn verschillende mogelijkheden om de effectieve transportsnelheid te bepalen, zoals:

- op basis van de grondwaterstromingssnelheid en de retardatiefactor (conform formule 1), waarbij zoveel mogelijk gebruik wordt gemaakt van in het veld bepaalde parameters;
- op basis van het tijdstip van ontstaan van de verontreiniging en lengte van de huidige pluim;
- op basis van een zwaartepunten-analyse.

Bovenbeschreven methoden staan nader toegelicht in de rapportages van de afzonderlijke modelleringsgroepen (appendix B,C,D en E).

Er is niet één beste methode hoe de effectieve transportsnelheid kan worden bepaald. De voorkeur gaat er naar uit om via meerdere wegen  $v_{\text{eff}}$  te bepalen en de uitkomsten met elkaar te vergelijken. Vervolgens dient een zo goed mogelijke keuze te worden gemaakt.

#### **10.6.5 Afbraaksnelheid**

De afbraaksnelheid kan eveneens via meerdere wegen bepaald worden. Mogelijkheden zijn:

- literatuurgegevens;
- vrachtberekeningen.

Bovenbeschreven methoden staan nader toegelicht in de rapportages van de afzonderlijke modelleringsgroepen (appendix B,C,D en E).

Opgemerkt wordt dat in het laboratorium bepaalde (natuurlijke) afbraakconstanten vaak niet of zeer slecht vertaalbaar zijn naar de veldsituatie. Het gebruik van dergelijke bepaalde afbraakconstanten voor het kwantificeren van natuurlijke afbraak wordt derhalve afgeraden.

#### **10.6.7 Modelberekeningen**

Als alle in bovenstaande subparagrafen genoemde zaken zijn bepaald kunnen de eigenlijke modelberekeningen worden uitgevoerd. De eerste stap zal zijn het fitten van het model op de huidige situatie. Nadat dit uitgevoerd is kunnen de voorspellende berekeningen worden uitgevoerd.





## 11 CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN

Op basis van de resultaten van het modelleringspel kan betreffende de "state of the art" van het modelleren van natuurlijk afbraak geconcludeerd worden, dat er voldoende kennis en ervaring is op modelleringsgebied om de ontwikkeling van verontreinigingspluimen onder invloed van natuurlijke afbraak te modelleren. Het detailniveau waarop gemodelleerd kan worden is in het algemeen voldoende dat de resultaten gebruikt kunnen worden ter ondersteuning van het nemen van beslissingen ten aanzien van de acceptatie van natuurlijke afbraak als alternatieve saneringsvariant.

Uit de modelleringsactiviteit is naar voren gekomen dat er voldoende software beschikbaar is om modellering van natuurlijke afbraak uit te kunnen voeren (zoals RT3D, METROPOL, VERA, etc.). Voor het verkrijgen van voldoende betrouwbare modelberekeningen kan geconcludeerd worden dat de keuze van de software van secundair belang is.

De belangrijkste aspecten die een rol spelen voor het verkrijgen van voldoende betrouwbare modelleringsresultaten worden bepaald door:

- het 'conceptuele model' dat wordt opgesteld;
- de beschikbaarheid van geohydrologische data;
- de beschikbaarheid van verontreinigingsdata;
- de gehanteerde afbraaksnelheden.

In het algemeen blijkt de beschikbaarheid van voldoende veldgegevens de limiterende factor te zijn bij het verkrijgen van betrouwbare modelleringsresultaten. Er zal dus in de toekomst meer aandacht besteed dienen te worden aan het verkrijgen van voldoende (betrouwbare) inputdata voor de modelberekeningen.

**BIJLAGE A**  
**VERSLAG VAN DE INTERVIEWS**

**Verslag van interview met ir. Jan Taat en ir. Gert-Jan Mulder van Grondmechanica Delft gehouden door dr.ir. Timo Heimovaara en drs. Floortje Hanneman mtd op 24 september van 9.30 – 11.00**

Grondmechanica Delft kent de volgende afdelingen: grond (dijken, wegen), fow (funderingen ondergrondse werken), milieu (in feite alleen bodem, dus geen water en lucht), verkenningen (veldwerk), onderzoek (vnl. op geotechnisch gebied), software ontwikkeling (ontwikkeling van programmatuur voornamelijk op geotechnisch gebied (geohydrologisch, stabiliteitsberekeningen)) en IT-afdeling.

In de afdelingen grond en fow bevinden zich voornamelijk gebruikers van modellen. Het betreft dan de zogenaamde M-serie die door GD zelf is ontwikkeld ten behoeve van externe verkoop. Binnen verkenningen wordt weinig gebruik gemaakt van modellen. Jan en Gert-Jan zijn zelf onderdeel van de afdeling Milieu.

In 1982 is het programma VERA aangeschaft via INTERA met als doel dit model verder te ontwikkelen en aan te passen. Het is destijds toegepast bij het berekenen van verspreiding van verontreiniging van sites. Omdat het steeds meer noodzakelijk werd om ook saneringsmaatregelen te kunnen beschrijven, werd VERA iets minder geschikt. Daarom is ook andere programmatuur aangeschaft. VERA is een 3D eindige differentie stoftransportmodel dat multicomponenttransport, chemisch evenwicht en trage processen als niet-evenwichtssorptie en biologische afbraak kan beschrijven. In de toekomst zal VERA worden verwerkt in de M-serie. Het is ongeveer het enige model dat chemische evenwicht in 3D kan beschrijven. Een model dat qua mogelijkheden op VERA lijkt is HST2D dat ontwikkeld is door IFConsult in Arnhem.

Naast VERA is binnen de afdeling ook MWELL ontwikkeld, welke verlagingsberekeningen uitvoert. Er is ook beschikking over een sparging programma, wat echter nog niet gereed is voor extern gebruik.

De ontwikkeling van modellen heeft geen prioriteit en de verantwoordelijkheid van de ontwikkeling ligt bij de beheerder van het model.

Behalve de zelfontwikkelde modellen wordt de volgende software gebruikt: MICROFEM, MODFLOW, SLAEM (analytische eindige elementen), ONSAT (van het RIVM), SUTRA, SWANFLOW (voor meefase stromingsberekeningen).

GD participeert in een Europees samenwerkingsverband "chemical dynamics in the subsoil" met de nadruk op de modellering van transport van stoffen in de bodem. In dit samenwerkingsverband zitten verder nog: van Riemsdijk (LUW), IFConsult (samen met GD voor de modellering), NITG (voor veldwerk) en AB-DLO (Jan Dolfing, voor labwerk). Daarnaast zitten er per land nog 3 groepen in.

GD heeft vroeger gewerkt aan een project CHEMVAL dat betrekking had op de validatie van chemische transportmodellen. De conclusie hier was dat analytische berekeningen door chemische programmatuur prima kunnen worden nagedaan, maar dat geavanceerdere berekeningen lastig kunnen worden gevalideerd. De reden hiervoor is dat de interpretatie van het probleem een erg grote rol speelt bij het modelleren.

In Nederland wordt er door Guus Willemse gewerkt aan stroming en chemisch evenwicht. Er zijn bij GD geen groepen bekend die aan biologische modellering doen. Er wordt weliswaar door biologen al tijden gemodelleerd, maar dat gebeurt weinig in combinatie met hydrologie.

Modelleren wordt bij GD voornamelijk gebruikt als hulpmiddel in de besluitvorming en daarmee dus als middel om inzicht te verkrijgen. Bij de afdeling milieu (18 mensen in totaal) is ongeveer 1/3 gebruiker van modellen, en 1/6 ook betrokken bij ontwikkelingen. Bij heel GD ontwikkelen er ongeveer 20 mensen modellen. De koppeling tussen meten en modelleren staat centraal bij GD. Het wordt gebruikt om experimenten numeriek te ontwerpen: eerst een simpele berekeningen, dan een meting en dan weer terug naar de berekeningen.

**Verslag van interview gehouden met dr.ir. Chris te Stroet van TNO-NITG door dr.ir. Timo Heimovaara van IWACO en drs Floortje Hanneman mtd van Tauw Milieu op 24 september van 11.30-14.30.**

Binnen TNO-NITG is er een afdeling geo-infrastructuur. Binnen deze afdeling zijn er de secties: geochemische kartering, geofysische onderzoek, ondergronds bouwen en geosaneringsonderzoek. Chris te Stroet maakt onderdeel van deze laatste sectie. De sectie heeft veel contact met geofysisch onderzoek en hydrologie, een sectie binnen een andere afdeling. De sectie geosaneringsonderzoek telt ongeveer 8 mensen: Jasper Griffioen (geochemicus), Chris te Stroet (fysisch georiënteerd), Rolf Hetterschijt en Marcus van Zutphen (gericht op DNAPL onderzoek), Koos Uil (regelgeving), Johan Valsta (promovendus op het gebied van transportmodellering, ijking), Alice Buis (veldwerk). Wil Ewald is het sectiehoofd.

Doelstelling van modellering bij TNO is kennisverwerving, hoewel TNO tegenwoordig sterk marktgericht opereert. Bij de modellering wordt veel gebruik gemaakt van de kennis die er bij TNO-breed aanwezig is. Het beschrijven van processen staat centraal bij modellering.

Chris zelf houdt zich voornamelijk bezig met data-assimilatie, met de combinatie van metingen en modellen. Zijn doel is om met een minimum aan metingen en modelleren een antwoord te kunnen geven op de gestelde vraag. Complexiteit van model, meting en praktijk moeten goed op elkaar worden afgestemd. Voor praktijkcases worden relatief simpele modellen gebruikt, terwijl complexe modellen vooral dienen voor het vergroten van het begrip van het probleem. Voor het goed werken van modellen dient als eerste het convectieve gedeelte duidelijk te zijn, ten tweede het fysisch-chemische gedeelte en als derde het dispersieve karakter. Daarna komen alle andere zaken.

TNO werkt samen met het KIWA aan een groot project ten behoeve van de drinkwaterbedrijven. Het onderwerp heeft duidelijke analogieën met saneringsproblemen. Het KIWA zou een interessante partij zijn voor een interview.

Op saneringsgebied wordt er weinig gemodelleerd omdat het vooroordeel heerst dat modelleren niet nuttig is en bovendien veel te duur.

Bij TNO worden stroming, sorptie en afbraak gemodelleerd. Uitgangspunt hierbij is het pakket MODFLOW in combinatie met MT3D. Wanneer het nodig blijkt te zijn wordt deze programmatuur aangepast aan ontstane wensen. Op het moment experimenteert Chris met het zojuist verschenen RT3D.

Chris heeft een aantal bedenkingen bij de opzet van het modelleringsvoorstel. Ten eerste kan het competitie-element worden vermeden door discussies binnenskamers te houden en in de rapportage geen organisaties te noemen. Daarnaast vraag Chris zich af of het eindresultaat wel te toetsen is, wanneer niet duidelijk is wat er in werkelijkheid gebeurt. Het lijkt Chris een aardig idee om met de hele groep samen te werken in plaats van de groepen individueel te houden. Deze ideeën zullen door Floortje en Timo worden verwerkt.

**Verslag van interview met dr. ir. Sjoerd van der Zee van de vakgroep Bodemkunde en Plantenvoeding van de Landbouw Universiteit Wageningen door dr. ir. Timo Heimovaara en drs Floortje Hanneman mtd op 7 oktober van 11.00 tot 12.30.**

Sjoerd heeft Louise Wipfler gevraagd of zij bereid is deel te nemen aan het modelleringsactiviteit. In principe heeft zij toegezegd, maar dit moet nog formeel worden vastgelegd.

We hebben Sjoerd uitgelegd wat de aangepaste (n.a.v. vorige interviews) opzet van het spel is. Sjoerd heeft een aantal opmerkingen:

er is geen objectieve toets waarmee het eindresultaat kan worden beoordeeld; het is niet duidelijk hoe de uiteindelijke mogelijkheden kunnen worden gecombineerd; het is onduidelijk of de resultaten vertaalbaar zullen zijn naar het veld.

Sjoerd maakt deel uit van de vakgroep Bodemkunde en Plantenvoeding. Hierin wordt door een aantal mensen gewerkt aan in-situ technieken. Meindert Keizer en Sjoerd zelf zijn de vaste medewerkers die op dit gebied werken. Meindert houdt zich bezig met massa-overdracht, chemie, en biologie, dit alles voornamelijk in het kader van ECOSAT. ECOSAT is een door de LUW ontwikkeld model dat 1D stroming combineert met geavanceerde chemische processen. Sjoerd houdt zich bezig met vloeistofstroming, zoals bijvoorbeeld van belang is bij drijfslagen en persluchtinjectie. Volgend jaar zal hij deelnemen in een EG project dat zich richt op vloeistofstroming in combinatie met biologie en chemie. Aan dit project zal ook een AiO gaan werken. Henriëtte Keyzer is AiO bij de vakgroep en werkt aan biodegradatie in grondwater. Rink van Dijke is gepromoveerd bij de vakgroep en houdt zich bezig met meerfasestroming in het algemeen en MUFIS in het bijzonder. Buiten de vakgroep is er contact met Gosse Schaa, Rulkens en Grotenhuis.

In de vakgroep wordt veel gemodelleerd. De gebruikte modellen worden eigenlijk nooit zelf ontwikkeld. Als basis wordt er een model met source code aangeschaft. Dit model wordt vervolgens aangepast voor specifieke problemen. Het programma MT3D wordt – in aangepaste vorm – veel gebruikt. De reden dat programmatuur altijd wordt aangepast, is dat commerciële modellen vaak geen actuele zaken kunnen meenemen; ze lopen altijd achter op de state-of-the-art. De functie van modelleren ligt vooral in het combineren van inzichten. Modellen worden gebruikt om meetgegevens na te rekenen of om conceptuele modellen te bestuderen, om bijvoorbeeld een balans te kunnen opstellen van de verschillende processen en om de invloed van verschillende parameters te kunnen inschatten. Validatie van de modellen geschiedt via test cases en analytische oplossingen.

Er zijn weinig groepen die zich bezig houden met biologische modellering in combinatie met hydrologie. Er wordt wel vrij veel gedaan aan populatiebiologie, hetgeen zeer wiskundig van aard is (zie hiervoor het tijdschrift mathematical biology). Sjoerd werkt samen in EG-verband op het gebied van drijfslagen. Hierin wordt stroming, transport en het effect van beluchting bestudeerd. In dit kader wordt samengewerkt met Munchen, Noorwegen en Italië. Er zijn ook contacten met de universiteit van Oslo en de landbouwuniversiteit van Aas met betrekking tot het transport van tracers in de onverzadigde zone en het transport van anti-vriesmiddelen. Daarnaast wordt er informeel samengewerkt met Majid Hassanizadeh en Hans Bruining van de Technische Universiteit Delft en met Hans van Duijn van het Centrum voor Wiskunde en Informatica. Majid en Hans houden zich bezig met de bestuderen van Dense NonAqueous Phase Liquids (DNAPLs), terwijl Sjoerd meer naar de LNAPLs kijkt. Sjoerd heeft veel (informele) contacten, maar op het moment weinig projecten waarin daadwerkelijk wordt samengewerkt.

**BIJLAGE B**

**RAPPORTAGE TNO-NITG**

**Door:**  
**dr. ir. C.B.M. te Stroet**  
**dr. ir. P. Venema**

**BIJLAGE C**

**RAPPORTAGE GRONDMECHANICA DELFT**

**Door:**

**ir. G.J. Mulder en ir. J. Taat  
Grondmechanica Delft**



**BIJLAGE D**

**RAPPORTAGE LANDBOUWUNIVERSITEIT WAGENINGEN**

**Door:**

**dr.ir. S.T.E.A.M. van der Zee en**

**ir. E.L. Wipfler**

**Bodemhygiëne en Bodemverontreiniging  
Landbouwuniversiteit Wageningen**

**BIJLAGE E**

**RAPPORTAGE TAUW/IWACO**

**Door:**

**ir. L. Bakker**

**drs. F.A. Hanneman MTD (Tauw Milieu) en**

**ir. T.F. Praamstra**

**drs. S. Huisman**

**ir. M. Heijnen (IWACO)**