

NOBIS 97-1-02  
BESLISSINGSONDERSTEUNEND MODEL NA-  
TUURLIJKE AFBRAAK

Fase 1: Deelresultaat 1: Ontwikkeling van een beslissingsondersteunend model ten behoeve van de acceptatie van natuurlijke afbraak als saneringsvariant

dr.ir. A.J.C. Sinke (TNO-MEP)  
dr.ir. T.J. Heimovaara (IWACO B.V.)  
ir. H. Tonnaer (TAUW Milieu)  
ing. H.J. van Veen (TNO-MEP)

november 1998

Gouda, CUR/NOBIS

### **Auteursrechten**

Alle rechten voorbehouden. Niets uit deze opgave mag worden verveelvoudigd, opgeslagen in een geautomatiseerd gegevensbestand of openbaar gemaakt, in enige vorm of op enige wijze, hetzij elektronisch, mechanisch, door fotokopieën, opnamen of op enige andere manier, zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van CUR/NOBIS.

Het is toegestaan overeenkomstig artikel 15a Auteurswet 1912 gegevens uit deze uitgave te citeren in artikelen, scripties en boeken mits de bron op duidelijke wijze wordt vermeld, alsmede de aanduiding van de maker, indien deze in de bron voorkomt, "©"Beslissingsondersteunend model Natuurlijke Afbraak - Fase 1: Deelresultaat 1: Ontwikkeling van een beslissingsondersteunend model ten behoeve van de acceptatie van natuurlijke afbraak als saneringsvariant", november 1998, CUR/NOBIS, Gouda."

### **Aansprakelijkheid**

CUR/NOBIS en degenen die aan deze publicatie hebben meegewerkt, hebben een zo groot mogelijke zorgvuldigheid betracht bij het samenstellen van deze uitgave. Nochtans moet de mogelijkheid niet worden uitgesloten dat er toch fouten en onvolledigheden in deze uitgave voorkomen. Ieder gebruik van deze uitgave en gegevens daaruit is geheel voor eigen risico van de gebruiker en CUR/NOBIS sluit, mede ten behoeve van al degenen die aan deze uitgave hebben meegewerkt, iedere aansprakelijkheid uit voor schade die mocht voortvloeien uit het gebruik van deze uitgave en de daarin opgenomen gegevens, tenzij de schade mocht voortvloeien uit opzet of grove schuld zijdens CUR/NOBIS en/of degenen die aan deze uitgave hebben meegewerkt.

### **Copyrights**

All rights reserved. No part of this publication may be reproduced, stored in a retrieval system, or transmitted, in any form or by any means, electronic, mechanical, photocopying, recording and/or otherwise, without the prior written permission of CUR/NOBIS.

It is allowed, in accordance with article 15a Netherlands Copyright Act 1912, to quote data from this publication in order to be used in articles, essays and books, unless the source of the quotation, and, insofar as this has been published, the name of the author, are clearly mentioned, "©"Decision support model Natural Attenuation - Phase 1: Part 1: Development of a decision support system on the acceptance of natural attenuation as remediation strategy", November 1998, CUR/NOBIS, Gouda, The Netherlands."

### **Liability**

CUR/NOBIS and all contributors to this publication have taken every possible care by the preparation of this publication. However, it can not be guaranteed that this publication is complete and/or free of faults. The use of this publication and data from this publication is entirely for the user's own risk and CUR/NOBIS hereby excludes any and all liability for any and all damage which may result from the use of this publication or data from this publication, except insofar as this damage is a result of intentional fault or gross negligence of CUR/NOBIS and/or the contributors.

**Titel rapport**

Beslissingsondersteunend model Natuurlijke Afbraak  
Fase 1: Deelresultaat 1: Ontwikkeling van een beslissingsondersteunend model ten behoeve van de acceptatie van natuurlijke afbraak als saneringsvariant

**CUR/NOBIS rapportnummer**

97-1-02

**Project rapportnummer**

97-1-02 fase 1, deel 1

---

**Auteur(s)**

dr.ir. A.J.C. Sinke  
dr.ir. T.J. Heimovaara  
ir. H. Tonnaer  
ing. H.J. van Veen

**Aantal bladzijden**

**Rapport:** 38  
**Bijlagen:** 4

---

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

TNO Milieu, Energie en Procesinnovatie (dr.ir. A.J.C. Sinke, 055-5493116)  
IWACO B.V. (dr.ir. T.J. Heimovaara, 010-2865580)  
TAUW Milieu (ir. H. Tonnaer, 0570-699430)  
MTI Milieutechnologisch Instituut C.V. (dr.ir. F. Volkering, 024-3601212)  
Provincie Utrecht (ir. P.W.M. van Mullekom, 030-2583115)  
SBNS (ir. G.N.M. Stokman, 030-2988310)  
Provincie Gelderland (D. Coppel, 026-3598838)  
Gemeente Arnhem (drs. M.E. Visser, 026-3774361)  
Gemeentelijk Havenbedrijf Amsterdam (R. Barkhuis, 020-5238704)  
Texaco (M. Carpels, 32-14375445)  
Provincie Noord-Holland (R. Zonneveld, 023-5143219)  
Du Pont de Nemours (J.H. Langedam, 078-6301133)  
Dow Benelux (P.J. van Beusekom, 010-2958502)  
Shell SIOP (C.D. Parkinson, 070-3771793)  
Havenbedrijf Rotterdam (ing. W.A. van Hattem, 010-4894173)  
AKZO Nobel Engineering (ir. A.A.G. Verhulst)

---

**Uitgever**

CUR/NOBIS, Gouda

---

**Samenvatting**

Dit rapport beschrijft een eerste versie van een beslissingsondersteunend model waarin richtlijnen worden gegeven voor het beoordelen van het optreden van natuurlijke afbraak (NA) op een verontreinigde locatie. Het beslissingsondersteunend model is geformuleerd in de vorm van een 'natuurlijke afbraakroute' met vier verkeerslichten. Bij elk verkeerslicht wordt beoordeeld of NA op de gegeven locatie een kansrijke optie is (groen verkeerslicht), een kansarme optie is (rood verkeerslicht) of dat nadere informatie nodig is (oranje verkeerslicht). Het doel van de aanpak is om kosten-effectief in een vroeg stadium in te schatten of natuurlijke afbraak een geschikte aanpak is om locatie-specifieke saneringsdoelstellingen te verwezenlijken.

---

**Trefwoorden****Gecontroleerde termen:**

aromatische koolwaterstoffen, biologische afbraak, bodemverontreiniging, chloorkoolwaterstoffen

**Vrije trefwoorden:**

beslismodel

---

**Titel project**

Beslissingsondersteunend model Natuurlijke Afbraak

**Projectleiding**

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

---

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

**Report title**

Decision support model Natural Attenuation  
Phase 1: Part 1: Development of a decision  
support system on the acceptance of natural  
attenuation as remediation strategy

**CUR/NOBIS report number**

97-1-02

**Project report number**

97-1-02 phase 1, part 1

**Author(s)**

dr.ir. A.J.C. Sinke  
dr.ir. T.J. Heimovaara  
ir. H. Tonnaer  
ing. H.J. van Veen

**Number of pages**

**Report:** 38

**Appendices:** 4

**Executive organisation(s) (Consortium)**

TNO Milieu, Energie en Procesinnovatie (dr.ir. A.J.C. Sinke, 055-5493116)  
IWACO B.V. (dr.ir. T.J. Heimovaara, 010-2865580)  
TAUW Milieu (H. Tonnaer, 0570-699430)  
MTI Milieutechnologisch Instituut C.V. (dr.ir. F. Volkering, 024-3601212)  
Provincie Utrecht (ir. P.W.M. van Mullekom, 030-2583115)  
SBNS (ir. G.N.M. Stokman, 030-2988310)  
Provincie Gelderland (D. Coppel, 026-3598838)  
Gemeente Arnhem (drs. M.E. Visser, 026-3774361)  
Gemeentelijk Havenbedrijf Amsterdam (R. Barkhuis, 020-5238704)  
Texaco (M. Carpels, 32-14375445)  
Provincie Noord-Holland (R. Zonneveld, 023-5143219)  
Du Pont de Nemours (J.H. Langedam, 078-6301133)  
Dow Benelux (P.J. van Beusekom, 010-2958502)  
Shell SIOP (C.D. Parkinson, 070-3771793)  
Havenbedrijf Rotterdam (ing. W.A. van Hattem, 010-4894173)  
AKZO Nobel Engineering (ir. A.A.G. Verhulst)

**Publisher**

CUR/NOBIS, Gouda

**Abstract**

In the report a draft version of a decision support model is presented to judge the potential for natural attenuation (NA) as remedial strategy at a specific site. The decision support model is depicted as a 'natural attenuation route' with four 'traffic lights'. In each phase at the sequential traffic lights, the chances on natural attenuation as a remediation option are determined as good (green light), fair change (orange light) or no chance (red light). In case the traffic light remains orange, additional information has to be collected. Goal of the approach is to make as early as possible with as little as possible expenses, a good estimation on the probability that monitored natural attenuation is an appropriate strategy to achieve site specific remediation objectives within a reasonable time frame.

**Keywords****Controlled terms:**

aromatic hydrocarbons, chlorinated solvents,  
degradation, natural attenuation, soil pollution

**Uncontrolled terms:**

decision support system

**Project title**

Decision support model Natural Attenuation

**Projectmanagement**

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

This report can be obtained by: CUR/NOBIS, PO Box 420, 2800 AK Gouda, The Netherlands  
Dutch Research Programme In-Situ Bioremediation (NOBIS)

## VOORWOORD

Dit rapport is een eerste aangepaste versie van een beslissingsondersteunend model waarin richtlijnen worden gegeven voor het beoordelen van het optreden van natuurlijke afbraak (NA) op een verontreinigde locatie. De uitkomsten van het model kunnen worden gebruikt voor het beoordelen van de 'technische' haalbaarheid van natuurlijke afbraak als sanerings- of beheersalternatief.

Het beslissingsondersteunend model is geformuleerd op basis van de huidige stand van kennis, waarmee direct is aangegeven dat het model regelmatig moet worden aangepast. Het model is voornamelijk beperkt tot de in Nederland meest voorkomende mobiele verontreinigingen: gechloreerde koolwaterstoffen en BTEX.

Het model is getoetst op een aantal goed beschreven locaties in Nederland. Op locaties die verontreinigd zijn met gechloreerde koolwaterstoffen geven de uitkomsten voldoende vertrouwen in de bruikbaarheid van de voorgestelde aanpak om in een vervolgfase het model in het veld te testen. Wel blijkt een aantal berekeningen in het model nog te grof (bijvoorbeeld de 'redoxscore') en het is voorzien om deze aspecten in een vervolgfase beter uit te diepen. Op locaties die verontreinigd zijn met BTEX blijkt het lastig om een uitspraak te doen over de kans dat natuurlijke afbraak op de locatie optreedt. Dit is toe te schrijven aan het feit dat het in de mix van verontreinigingen van benzeen, toluen, ethylbenzeen en xylenen problematisch is onderscheid te maken tussen de afbraakprocessen van de verschillende stoffen. Dit is nodig om vast te stellen of benzeen wordt afgebroken. Ook aan dit aspect wordt in een vervolgfase nadere aandacht besteed.

Het kernteam heeft hoge verwachtingen van de mogelijkheden om natuurlijke afbraak in te zetten als saneringsvariant of beheersvariant, echter het geheel staat nog in de kinderschoenen. Ook de versterking van het draagvlak bij zowel bevoegd gezag als locatie-eigenaren verdient aandacht. Naarmate er in de komende tijd meer informatie beschikbaar komt over de effectiviteit van NA en over de bruikbaarheid van het model in de praktijk, kan het model worden aangescherpt. Wij hopen dan ook van u allen terugmeldingen, commentaar en suggesties voor verbeteringen te krijgen. Hiertoe is achterin het rapport een formulier ingevoegd.

Het kernteam

november 1998

## INHOUD

		SAMENVATTING	v
		SUMMARY	vi
Hoofdstuk	1	INLEIDING	1
Hoofdstuk	2	ACHTERGRONDEN VAN HET BESLISSINGSONDER- STEUNEND MODEL	3
Hoofdstuk	3	BELEIDSMATIGE EN PRAKTISCHE AANDACHTSPUNTEN	5
	3.1	Checklist	5
	3.1.1	Beperkingen in de tijd	5
	3.1.2	Beperkingen aan de ruimte	6
	3.1.3	Overige beperkingen en aandachtspunten	6
Hoofdstuk	4	OPZET VAN HET BESLISSINGSONDERSTEUNEND MODEL	9
	4.1	Technische invulling	9
	4.2	Metten aan NA: hoe worden de basisgegevens gemeten?	10
	4.3	Eerste verkeerslicht: analyse van de huidige situatie	11
	4.3.1	CKW-verontreinigingen	11
	4.3.2	BTEX-verontreinigingen	19
	4.4	Tweede verkeerslicht: verwachting voor de toekomst	22
	4.4.1	Opzet van de modellering	22
	4.4.2	Resultaten van de modellering	25
	4.5	Derde verkeerslicht: overleg tussen partners en beslissing	27
	4.6	Vierde verkeerslicht: implementatie en monitoring	28
Hoofdstuk	5	TOEPASSING VAN HET MODEL	31
Hoofdstuk	6	ONDERSTEUNENDE SANERINGSSTRATEGIEËN	33
Hoofdstuk	7	AANBEVELINGEN VOOR ONDERZOEK OP NIEUWE LOCATIES	35
		LITERATUUR	37
Bijlage	A	TRANSPORTPARAMETERS, MEETMETHODEN, WATER- STROMING EN STOFTRANSPORT	
Bijlage	B	VERSLAG VAN DE WORKSHOP	

## SAMENVATTING

### **Beslissingsondersteunend model Natuurlijke Afbraak**

Dit rapport beschrijft een eerste versie van een beslissingsondersteunend model waarin richtlijnen worden gegeven voor het beoordelen van het optreden van natuurlijke afbraak (NA) op een verontreinigde locatie. Het beslissingsondersteunend model is geformuleerd in de vorm van een 'natuurlijke afbraakroute' met vier verkeerslichten. Bij elk verkeerslicht wordt beoordeeld of NA op de gegeven locatie een kansrijke optie is (groen verkeerslicht), een kansarme optie is (rood verkeerslicht) of dat nadere informatie nodig is (oranje verkeerslicht).

De eerste twee verkeerslichten zijn van technisch-wetenschappelijke aard en bepalen de kans dat NA op de locatie voldoende optreedt om als saneringsaanpak in aanmerking te komen.

De uiteindelijke beslissing over het daadwerkelijk toepassen van NA op de locatie wordt bij het derde verkeerslicht genomen en hangt af van het resultaat van het overleg tussen probleembezitter en het bevoegd gezag, die zich daarbij baseren op de resultaten van de eerste twee verkeerslichten en op beleidsmatige en praktische aandachtspunten. Voor de identificatie van de beleidsmatige en praktische aandachtspunten is een checklist opgenomen die bij alle stoplichten wordt geraadpleegd.

Bij het vierde verkeerslicht wordt overgegaan tot de implementatie van NA. Hierbij worden handvatten gegeven hoe het gedrag van de verontreiniging kan worden gemonitord om zowel het verloop van de NA te verifiëren als om de bescherming van eventuele bedreigde objecten te garanderen. Afhankelijk van de resultaten kan uiteindelijk het monitoringsprogramma worden gereduceerd.

Het beslissingsondersteunend model is geformuleerd op basis van de huidige stand van kennis en bij een verdere kennisontwikkeling is te verwachten dat het model zal worden bijgesteld. Het model is vooralsnog beperkt tot de in Nederland meest voorkomende mobiele verontreinigingen: gechloreerde koolwaterstoffen en BTEX.

## SUMMARY

### **Decision support model Natural Attenuation**

In the report a draft version of a decision support model is presented to judge the potential for natural attenuation (NA) as remedial strategy at a specific site. The decision support model is depicted as a 'natural attenuation route' with four 'traffic lights'. In each phase at the sequential traffic lights, the chances on natural attenuation as a remediation option are determined as good (green light), fair change (orange light) or no chance (red light). In case the traffic light remains orange, additional information has to be collected.

The first two traffic lights are based on technical and scientific information and can be used to evaluate existing data on whether natural attenuation is occurring, to identify and collect additional data and to prognosticate the long-term behaviour of the plume.

Goal of the approach is to make as early as possible with as little as possible expenses, a good estimation on the probability that monitored natural attenuation is an appropriate strategy to achieve site specific remediation objectives within a reasonable time frame.

The decision on whether NA will be applied at the given location depends on the discussion between problem owner and authorities taking into account the results of the first traffic lights. Besides, political and practical aspects may play a role in the final decision and those aspects are listed to be consulted at each traffic light. A checklist with those aspects for the Netherlands conditions is added.

At the fourth traffic light NA is implemented. The model gives suggestions for a monitoring strategy that is focused on verification of the taken assumptions of future behaviour and on protection of targets. Finally the monitoring of the location may be stopped.

As the model is based on the current technical and scientific state of the art, it is expected that it will be subject to continuous adaptations. The model is formulated for the two most common mobile pollutants in the Netherlands: chlorinated solvents and BTEX.



## HOOFDSTUK 1

### INLEIDING

In het NOBIS-project '*Ontwikkeling van een beslismodel ten behoeve van de acceptatie van natuurlijke afbraak (NA) als saneringsvariant*' is een beslissingsondersteunend model ontwikkeld. Het doel van dit beslissingsondersteunend model is het geven van richtlijnen voor het beoordelen de 'technische' haalbaarheid van NA als sanerings- of beheersaanpak.

Het model is gebaseerd op de huidige stand van kennis die aanwezig is binnen de universiteiten, het NOBIS-programma, bij de grote technische instituten (GTI's) en de grote ingenieurbureaus. In het model is die kennis gebundeld om tot een instrument te komen waarmee het optreden van natuurlijke afbraak en de efficiëntie ervan kan worden aangetoond (zie fig. 1).

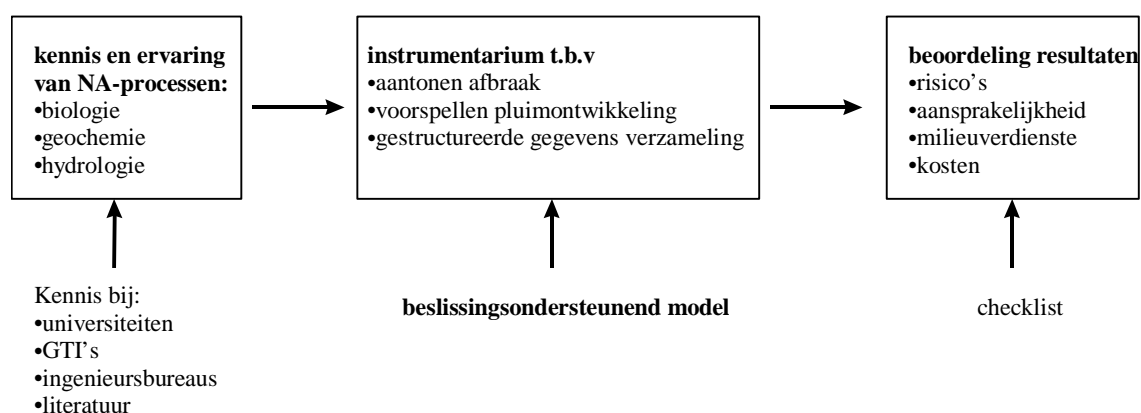


Fig. 1. Schematische weergave van de positie van het beslissingsondersteunend model tussen 'wetenschap' en 'beleid'.

In het beslissingsondersteunend model worden de technische criteria geformuleerd die nodig zijn om de effectiviteit van NA te beoordelen. De belangrijkste vragen die daarbij moeten worden beantwoord, zijn:

1. treedt natuurlijke afbraak van de verontreiniging op?
2. verloopt de afbraak snel genoeg ten opzichte van de getolereerde verspreiding?
3. verloopt het proces volledig of is er sprake van stagnatie op termijn?

Naast bovenstaande zaken zal het beslissingsondersteunend model bijdragen aan het gestructureerd verzamelen en rangschikken van onderzoeksgegevens, die kunnen worden gebruikt voor het verder optimaliseren van de beoordeling van NA.

Door het kernteam zijn de volgende eisen, waaraan het model moet voldoen, geformuleerd:

- eenvoudig toepasbaar en begrijpelijk voor alle belanghebbenden (bevoegd gezag, probleemhebbers, adviesbureaus);
- een hulpmiddel om de financiële middelen zo efficiënt mogelijk te benutten (voorkomen van onnodig onderzoek, minimaliseren saneringskosten e.d.);
- een leidraad om een uitspraak te doen over de effectiviteit van NA voor de meest voorkomende mobiele verontreinigingen in Nederland.

Op basis van de genoemde eisen zijn de volgende conclusies getrokken omtrent de opbouw en invulling van het beslissingsondersteunend model:

- Het beslissingsondersteunend model dient modulair te worden opgebouwd. Dit houdt in dat met minimale middelen en inspanning in een zo vroeg mogelijk stadium besloten kan worden of het zinvol is verder te gaan met het onderzoeken van de mogelijkheden van NA als sanerings/beheersvariant.
- De aanpak dient doelgericht te zijn, bijvoorbeeld op het vaststellen van de maximale omvang van de verontreiniging, of op het vaststellen of een verontreiniging een (bedreigd) object zal bereiken, of op de tijdsspanne die nodig is voordat streefwaarden worden bereikt.
- De technische uitwerking van het beslissingsondersteunend model zal in eerste instantie gericht zijn op CKW's (chloorethenen) en BTEX.

De opbouw van dit rapport is als volgt. In hoofdstuk 2 wordt het beslissingsondersteunend model gepresenteerd en wordt een toelichting gegeven op de opbouw van het model. In hoofdstuk 3 komen de beleidsmatige en praktische aandachtspunten aan de orde waarmee rekening moet worden gehouden bij een beslissing over NA en in hoofdstuk 4 wordt de technische invulling van het beslissingsondersteunend model besproken. In hoofdstuk 5 wordt ingegaan op de toepassing van het model. In het zesde hoofdstuk worden kort enkele varianten besproken, waarbij NA wordt gecombineerd met andere saneringsmethoden en tot slot worden in hoofdstuk 7 aanbevelingen gedaan over de te volgen bemonsteringsstrategie, toegespitst op de evaluatie van NA.

## HOOFDSTUK 2

### **ACHTERGRONDEN VAN HET BESLISSINGSONDERSTEUNEND MODEL**

Het toepassen van 'natuurlijke afbraak' als saneringsvariant wordt door de meeste mensen alleen acceptabel geacht indien werkelijk biologische afbraak van de verontreiniging optreedt. Als de concentratie van de verontreiniging in de bodem uitsluitend afneemt door verdunning of sorptie, waarbij de verontreiniging dus in principe aanwezig blijft, is het toepassen van 'natuurlijke afbraak' minder aantrekkelijk.

In het beslissingsondersteunend model wordt op wetenschappelijk-technische basis een uitspraak gedaan over de kans dat 'natuurlijke afbraak' een reële saneringsoptie is op de locatie. De uiteindelijke beslissing over de aanpak van de locatie wordt genomen door de probleembezitser in overleg met het bevoegd gezag. Het is niet wenselijk om algemene richtlijnen te geven voor het nemen van deze beslissing aangezien naast de technisch-wetenschappelijke haalbaarheid ook beleidsmatige en praktische afwegingen een rol spelen die zeer locatie-specifiek zijn. In het model wordt volstaan met het geven van een checklist met de beleidsmatige en praktische aandachtspunten die mede bepalend kunnen zijn bij de keuze over de gewenste aanpak van de locatie.



## HOOFDSTUK 3

### BELEIDSMATIGE EN PRAKTISCHE AANDACHTSPUNTEN

Voordat er wordt gekeken naar de technische haalbaarheid van NA als saneringsstrategie moet eerst aandacht worden besteed aan de beleidsmatige en praktische aspecten die een rol spelen op de betreffende locatie. Deze bepalen in sterke mate of het toepassen van NA aanvaardbaar is als sanerings- of beheersvariant. Omdat het belang van de verschillende aspecten per locatie verschilt en de afweging en besluitvorming tot stand komen in goed overleg tussen probleembezitter en bevoegd gezag, wordt hier volstaan met een checklist.

Deze checklist kan van te voren worden doorlopen om te beoordelen of NA überhaupt een zinvolle variant is. Naarmate er gedurende het doorlopen van het beslissingsondersteunend model meer gegevens boven water komen, is het aan te bevelen om de checklist ook tussentijds nog eens te doorlopen. Het doel van de checklist is om de beleidsmatige of praktische aspecten die op de betreffende locatie beperkend zouden kunnen zijn voor de uitvoering van NA al in een vroeg stadium te signaleren. Op basis hiervan kan in het beslissingsondersteunend model gericht informatie worden verzameld en kan een onnodige (financiële) inspanning worden vermeden. Daarnaast kunnen de antwoorden, die tijdens het doorlopen van de checklist worden gegeven, in een latere fase worden gebruikt bij het opstellen van een monitoringsstrategie (zie 4.4).

#### 3.1 Checklist

De twee belangrijkste aspecten die een rol spelen bij het inzetten van NA als extensieve saneringsaanpak zijn de beschikbare hoeveelheid tijd (zie 3.1.1) en de beschikbare hoeveelheid ruimte (zie 3.1.2). Daarnaast spelen nog een aantal andere praktische en maatschappelijke aspecten een rol (zie 3.1.3). Het verdient aanbeveling om de vragen zo concreet mogelijk te beantwoorden. Hiervoor zijn twee redenen aan te voeren: ten eerste door het scherp formuleren van de eisen aan de 'sanering' kan reeds in een vroeg stadium worden bepaald of NA vanuit maatschappelijk standpunt 'acceptabel' is en ten tweede kan de beantwoording van de vragen worden gebruikt om een monitoringsprogramma op te stellen wat rekening houdt met maatschappelijke eisen. Het beslissingsondersteunend model zelf doet uitsluitend uitspraken over de 'technisch-wetenschappelijke' haalbaarheid van NA als saneringsvariant.

##### 3.1.1 *Beperkingen in de tijd* *Hoeveel tijd is beschikbaar?*

In de meeste gevallen blijft men bij het toepassen van NA langer met verontreinigde bodem zitten dan wanneer wordt gekozen voor intensievere concepten. Afhankelijk van het type verontreiniging, de hoeveelheden en de omstandigheden in de bodem varieert de saneringsduur van enkele tientallen tot honderden jaren. Naarmate het beslissingsondersteunend model verder wordt doorlopen, kan een redelijke schatting van het benodigde tijdsbestek worden gedaan.

Bij het beantwoorden van deze vraag kunnen verschillende aspecten spelen, zoals:

- juridische aspecten: de grond moet opnieuw worden uitgegeven;
- planologische aspecten: het terrein is bijvoorbeeld aangewezen als bouwterrein.

*Bij het beantwoorden van deze vraag (zo concreet mogelijk!!) kan worden gedacht aan een uitspraak als 5 jaar, 10 jaar, 25 jaar, nog langer.*

### 3.1.2 *Beperkingen aan de ruimte*

#### *Hoeveel ruimte is beschikbaar?*

Bij het toepassen van NA als saneringsvariant kan het gebeuren dat, in vergelijking met intensievere concepten, een groter gebied verontreinigd zal raken. De reden hiervoor is dat wordt toegelaten dat de verontreiniging zich tijdelijk uitbreidt. Na verloop van tijd wordt verdere uitbreiding van de pluim voorkomen, doordat deze wordt gecompenseerd door de microbiologische afbraak. Uiteindelijk zorgt NA voor een nagenoeg volledige verwijdering van de verontreiniging. Hoe ver de verontreiniging zich uitbreidt voordat de pluim stabiel wordt en zelfs weer gaat krimpen, hangt af van het type verontreiniging ('mobiliteit'), de grondwaterstroming en de samenstelling van de bodem. Naarmate het beslissingsondersteunend model verder wordt doorlopen, kan een redelijke schatting van de benodigde ruimte worden gedaan.

Bij het beantwoorden van deze vraag hoeveel ruimte beschikbaar is kunnen verschillende subvragen spelen, zoals:

- wat is de positie van het meest nabije bedreigd object?
- is men bereid om een deel van de bodem - ook al is het tijdelijk - te laten verontreinigen?
- hoe zit het met de aansprakelijkheid als de pluim eigendomsgrenzen overschrijdt?
- kunnen beperkingen worden opgelegd aan het toekomstig gebruik (geen grondwateronttrekingsputten, geen woningbouw)?

*Bij het beantwoorden van de vraag (zo concreet mogelijk!!) kan worden gedacht aan een uitspraak die:*

- *eendimensionaal is; bijvoorbeeld x meter tot het meest nabije bedreigd object;*
- *tweedimensionaal is; bijvoorbeeld maximale pluim met een oppervlak van  $x \text{ m}^2$ ;*
- *driedimensionaal is; bijvoorbeeld maximaal  $x \text{ m}^3$  verontreinigde bodem of  $x \text{ m}^3$  verontreinigd grondwater.*

### 3.1.3 *Overige beperkingen en aandachtspunten*

#### *Wat zijn de risico's tijdens het saneren?*

Het wegnemen van humane en ecologische risico's is één van de randvoorwaarden van saneren. Bij een verontreiniging met gechlorideerde verbindingen is de kans groot dat tijdens het NA-proces tussenproducten worden gevormd, waardoor het berekende humaan en ecologisch risico tijdelijk toeneemt. Met name wordt hier het ontstaan van vinylchloride als tussenproduct vermeld. Naarmate het beslissingsondersteunend model verder wordt doorlopen, kan een redelijke schatting van de mogelijke toename in humane en ecologische risico's worden gedaan.

#### *Wat zijn de risico's als NA achterblijft bij de verwachting?*

Deze vraag zou bij alle saneringsvarianten moeten worden gesteld. Bij veel saneringen blijft men na verloop van tijd met een stagnerende sanering zitten. Door veel mensen wordt gewezen op de noodzaak van een goed vangnet. In principe moet het verloop van de sanering - onafhankelijk van de gekozen saneringsvariant - goed worden gemonitord. De betrouwbaarheid van de schatting over het gedrag van de pluim kan worden vergroot door de meet- en modelleerinspanning op te voeren.

#### *Zijn er maatschappelijke tegenstromingen te verwachten ('publieke opinie')?*

Als de publieke opinie sterk is gemobiliseerd, kan het toepassen van NA worden bemoeilijkt omdat het lijkt of 'men niets doet'. Als de toepassing van NA met goede technische-wetenschappelijke gegevens kan worden onderbouwd en daarbij ook een duidelijke risico-communicatie plaatsvindt, is dit probleem wellicht deels te ondervangen.

*Is een ander type sanering überhaupt mogelijk (praktisch en economisch)?*

In bepaalde gevallen kan het vanuit economisch of praktisch oogpunt onmogelijk zijn om de verontreiniging aan te pakken met intensieve saneringsvarianten. Als voorbeelden kunnen worden genoemd:

- de verontreiniging is op grote diepte gelegen;
- de verontreiniging is onder bebouwd terrein gelegen;
- een intensieve saneringsaanpak van de verontreiniging geeft als consequentie dat een industrieel proces moet worden stilgelegd.





## OPZET VAN HET BESLISSINGSONDERSTEUNEND MODEL

### 4.1 Technische invulling

Het beslissingsondersteunend model bestaat uit vier onderdelen en is geformuleerd in de vorm van een route met 'verkeerslichten'. Bij elk 'verkeerslicht' wordt beoordeeld of het toepassen van NA op technisch-wetenschappelijke gronden kansrijk is (groen), of er meer gegevens nodig zijn (oranje) of dat NA kansarm is (rood) (zie fig. 2). De kleur van het verkeerslicht geeft dus aan wat er verder moet gebeuren:

- rood: stoppen, verlaat de NA-route, want NA is onder de aanwezige randvoorwaarden geen optie;
- oranje: pas op de plaats, additionele informatie is noodzakelijk;
- groen: ga door, NA heeft een goede kans als saneringsvariant op de locatie.

Als een oranje stoplicht wordt gesignaleerd, moeten aanvullende gegevens worden verzameld. Bij een rood stoplicht wordt de route via 'rechtsaf door het rood' verlaten.

Het model is modulair opgebouwd en bestaat uit de volgende vier onderdelen (zie fig. 2):

- I analyse van de huidige situatie;  
*bepaal kans*
- II verwachting voor de toekomst;  
*modelleer pluimontwikkeling*
- III overleg tussen partners;  
*bepaal acceptatie*
- IV implementatie en monitoring.  
*monitor NA*

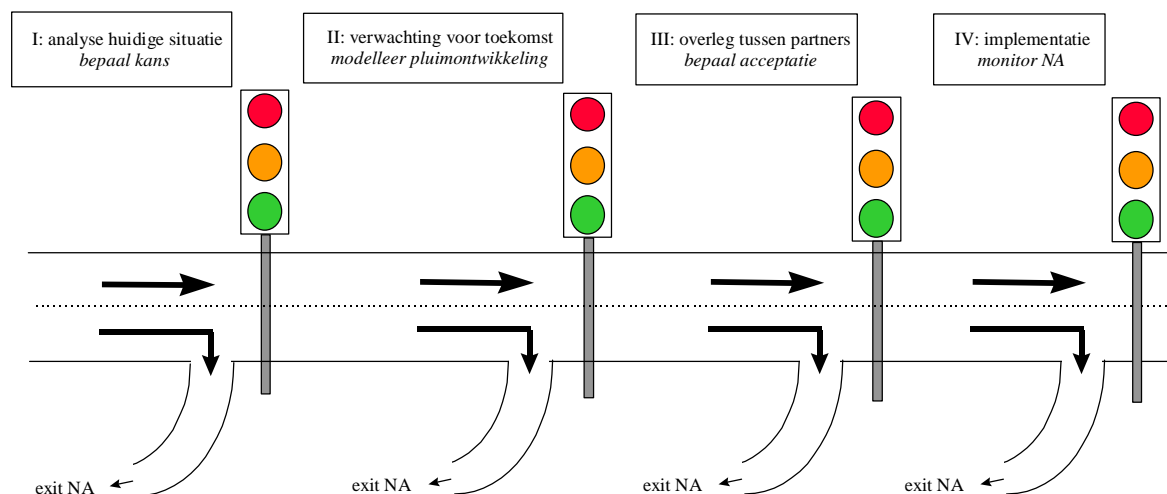


Fig. 2. Schematische weergave van de vier onderdelen waaruit het beslissingsondersteunend model is opgebouwd. Elk onderdeel wordt in de bijbehorende paragraaf (zie 4.3, 4.4, 4.5 en 4.6) uitgewerkt.

In het eerste onderdeel (zie 4.3) wordt de huidige situatie geanalyseerd. In principe kunnen hiervoor bij bestaande locaties de gegevens uit het bestaande onderzoek worden gebruikt. Bij 'nieuwe' locaties verdient het aanbeveling om een onderzoeksopzet te kiezen die het mogelijk maakt om het optreden van NA goed in te schatten. In hoofdstuk 7 worden hiervoor aanbevelingen gedaan.

In het tweede onderdeel (zie 4.4) wordt een verwachting uitgesproken over de ontwikkeling van de vracht en de omvang van de pluim in de toekomst. In dit onderdeel speelt de interpretatie van de gegevens met behulp van modelmatige concepten een belangrijke rol. Hierbij wordt ook een verwachting uitgesproken over de 'duurzaamheid' van NA. Het is van groot belang om te weten of de bodem ook in de toekomst voldoende capaciteit heeft om de verontreiniging af te breken. Dit is afhankelijk van het type verontreiniging en de bodemeigenschappen.

In het derde onderdeel (zie 4.5) worden de 'technisch-wetenschappelijke' resultaten aan het bevoegd gezag voorgelegd. In het beslissingsondersteunend model zijn hiervoor geen criteria opgenomen. De uiteindelijke beslissing hangt af van het overleg tussen probleembezitter en het bevoegd gezag die zich daarbij kunnen baseren op de eerste twee onderdelen van het beslissingsondersteunend model en op de beleidsmatige en praktische aandachtspunten. Als checklist hiervoor kan hoofdstuk 3 dienen.

In het vierde onderdeel (zie 4.6) wordt overgegaan tot de 'implementatie' van NA. Hierbij worden handvatten gegeven hoe de verontreiniging kan worden gemonitord.

Afhankelijk van de resultaten kan uiteindelijk het monitoringsprogramma worden gereduceerd.

De eerste twee onderdelen kunnen worden doorlopen op basis van technische gegevens. Echter in het derde onderdeel dienen de resultaten te worden getoetst aan de criteria die door het bevoegd gezag worden gesteld. De beslissing over de aanpak van de locatie en de te volgen sanerings- en monitoringsstrategie dient in overleg met dit bevoegd gezag te worden genomen.

#### **4.2 Meten aan NA: hoe worden de de basisgegevens gemeten?**

In het deelproject Meten 1 is geïnventariseerd wat er aan meetmethoden beschikbaar is om het optreden van NA te kunnen beoordelen. Dit heeft geleid tot een 'state of the art' rapportage met een groot aantal bijlagen, waarin de diverse methoden zijn beschreven [Heimovaara et al., 1998]. In bijlage A is een overzicht gegeven van relevante parameters die een rol spelen bij het schatten van de snelheid van NA en de verspreiding van de verontreiniging. Elke parameter is voorzien van een verwijzing naar de bijbehorende bijlagen, zoals die in het CUR/NOBIS-rapport 97-1-10 'Beslismodel Natuurlijke Afbraak - Fase 1: 'State of the art' meetmethoden' zijn gepresenteerd.

Tijdens het opstellen van het beslissingsondersteunend model is gebleken dat de manier waarop momenteel op een locatie gegevens worden verzameld, sterk is gericht op de vaststelling van de omvang van de verontreiniging. Wanneer bij het opstellen van de onderzoeksstrategie direct al rekening wordt gehouden met de mogelijkheid dat NA optreedt, kan een dataset worden verkregen die het beter mogelijk maakt NA te kwantificeren.

In hoofdstuk 7 worden aanbevelingen gedaan voor een onderzoeksaanpak in het veld die gericht is op een kwantificering van NA.

#### 4.3 Eerste verkeerslicht: analyse van de huidige situatie

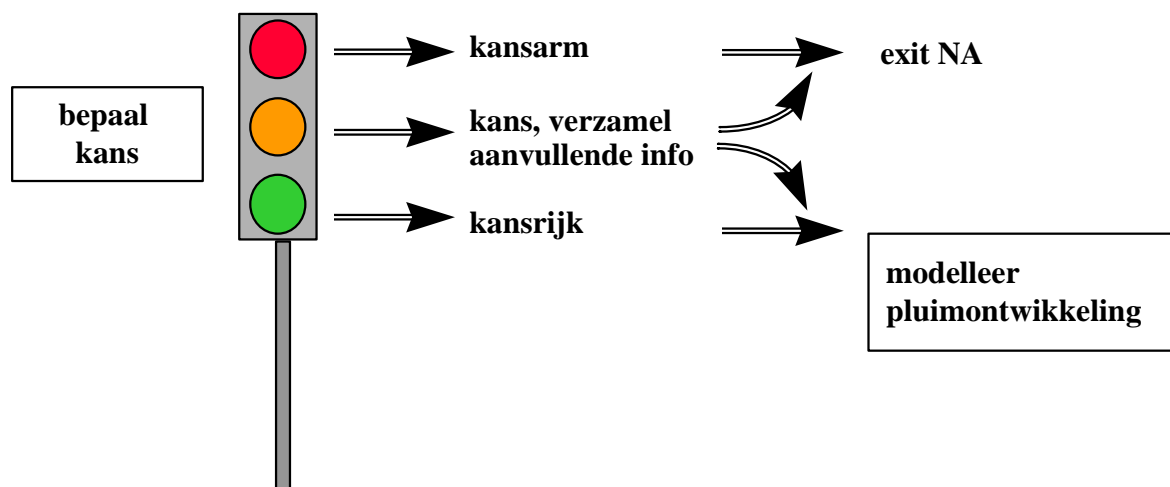


Fig. 3. Het eerste verkeerslicht waarbij de kans dat NA optreedt op de locatie wordt bepaald.

Het is niet mogelijk om direct in het veld het optreden van NA te meten. De processen die zijn betrokken bij NA verlopen zeer langzaam. Daarom is het noodzakelijk om gebruik te maken van directe en indirecte aanwijzingen in het veld die erop duiden dat NA optreedt. Bij het beoordelen van de kans op NA zijn de historische gegevens en de informatie over de ruimtelijke verspreiding van de verontreiniging en de eventuele afbraakproducten van groot belang. Op basis van bestaande gegevens, die in de loop der tijd zijn verzameld, is het vaak mogelijk om een eerste indruk te krijgen of NA is opgetreden sinds het ontstaan van de verontreiniging.

In het beslissingsondersteunend model wordt uitgegaan van de twee in Nederland meest voorkomende typen mobiele verontreinigingen:

- chloorkoolwaterstoffen (CKW's);
- benzeen, toluen, ethylbenzeen en xyleen (BTEX).

Bij de beoordeling van de huidige situatie zijn bij deze twee typen verontreinigingen verschillende aspecten van belang. Het meest in het oog springende verschil is dat bij de afbraak van CKW's tussenproducten worden gevormd die goed te meten zijn en helpen bij het beoordelen van de huidige situatie (zie 4.3.1). Bij de afbraak van BTEX is dit niet het geval en dient de huidige situatie met andere criteria te worden beoordeeld (zie 4.3.2).

##### 4.3.1 CKW-verontreinigingen

Bij een CKW-verontreiniging worden door natuurlijke afbraak van de verbindingen tussenproducten gevormd die minder chlooratomen bevatten dan het uitgangspunt en die goed te meten zijn. Op basis van de hoeveelheden tussenproduct en de geschatte ouderdom van de verontreiniging kan worden ingeschat of op de locatie NA op technische gronden een kansrijke variant is.

Op basis van expert judgement zijn criteria opgesteld waarmee de inschatting kan worden gemaakt. De criteria dienen om de afbraak te schatten en om een eventuele stagnatie van de afbraak te signaleren. Hiertoe is een chloride-index opgesteld.

Tabel 1. Conditie waaronder NA een kansrijke saneringsoptie is voor CKW's. Als basisgegevens worden gebruikt: de geschatte ouderdom van de verontreiniging, de gemiddelde chloride-index en het verloop van de chloride-index in de tijd of in de ruimte.

leeftijd pluim	chloride-index	verloop chloride-index	kans op NA
ouderdom > 3 jaar	$\geq 3$	niet relevant	<b>kansarm</b>
ouderdom > 3 jaar	2 - 3	neemt niet af met de tijd of met toenemende afstand tot de bron	<b>kansarm</b>
ouderdom > 3 jaar	2 - 3	neemt af met de tijd of met toenemende afstand tot de bron	<b>kans</b> , meer gegevens nodig, zie 4.3.1.1
ouderdom > 3 jaar	$\leq 2$	niet relevant	<b>kansrijk</b>
ouderdom < 3 jaar	geen tussenproducten		<b>kansarm</b>
ouderdom < 3 jaar	tussenproduct aanwezig ( $\geq$ detectiegrens)		<b>kansrijk</b> , ga naar verkeerslicht 2

### Chloride-index

Om een snelle en ruwe inschatting te maken van het optreden van NA is een index geformuleerd: de chloride-index. De chloride-index geeft aan hoeveel chloride-atomen er gemiddeld in de verontreiniging aanwezig zijn: PER heeft een index van 4, TRI van 3, CIS van 2 en VC heeft een index van 1. De onschadelijke producten etheen en CO<sub>2</sub> hebben een index met als waarde nul. De chloride-index, die gebaseerd is op de hoeveelheden tussenproducten (in molen), geeft per peilbuis een gemiddelde waarde voor de mate waarin de afbraak van de hoger gechlorideerde verbindingen heeft plaatsgevonden. De index wordt per peilbuis berekend volgens (zie ook rekenvoorbeeld in kader A):

$$\text{chloride-index} = \frac{\sum N_{\text{Cl}} \cdot \text{tussenproduct}}{\sum \text{totaal CKW's}}$$

waarin in de teller wordt gesommeerd over het product van het aantal molen per verbinding ( $N_{\text{Cl}}$ ) en het aantal molen van die verbinding: mol PER · 4 + mol TRI · 3 + mol CIS · 2 + mol VC · 1; in de noemer wordt gedeeld door de som van het totaal aantal molen product: mol PER + mol TRI + mol CIS + mol VC + mol etheen.

Hoe lager de index is, hoe verder de afbraak is gevorderd en dus hoe groter de kans dat NA voldoende optreedt om als saneringsvariant een kans te hebben. Het achterliggende idee is dat bij een oude verontreiniging, waar NA significant optreedt, kan worden verwacht dat regelmatig beduidende hoeveelheden tussenproducten worden aangetroffen. Bij een verse verontreiniging is zelfs een eenmalige meting van een tussenproduct op detectieniveau al voldoende aanwijzing om nader te kijken (zie tabel 1).

De index is gedefinieerd voor verontreinigingen met PER of TRI. Voor verontreinigingen met tetra (Cl-index = 4), waarbij als tussenproducten chloroform (3), dichloormethaan (2), monochloormethaan (1) en koolmonoxide (0) ontstaan, kan de index ook worden gebruikt. Echter, bij deze verontreinigingen worden de tussenproducten met een lager aantal chlooratomen (1/0) vrijwel nooit gemeten en vallen de gemiddelde waarden iets hoger uit.

Indien volledige afbraak van de gechlorideerde verbindingen optreedt, zijn de eindproducten chloride en CO<sub>2</sub> ongevaarlijke stoffen. Echter, het is ook mogelijk dat de afbraak stagneert en dat een ophoping van een tussenproduct optreedt. Indien dus de index in de tijd of op toenemende afstand van de bron niet verder afneemt, is dit een indicatie dat de afbraak stagneert.

#### 4.3.1.1 Aanvullende informatie CKW's

Bij CKW-verontreinigingen is het soms niet eenduidig om op grond van de chloride-index in de verschillende buizen op de locatie vast te stellen of werkelijk afbraak plaatsvindt. Het kan zijn dat in sommige buizen een goede score wordt behaald, terwijl de score in andere buizen laag is. In deze gevallen is aanvullende informatie nodig over de redoxsituatie in het veld, zodat kan worden beoordeeld of het optreden van afbraak waarschijnlijk is (zie tabel 2 en 3).

Tabel 2. Sleuteltabel om te beoordelen of de redoxscore positief is (1) of niet (-1). Een nul betekent dat niet of onvoldoende bekend is of de verbinding kan worden afgebroken onder de heersende redoxomstandigheden. Per buis wordt de redoxsituatie vastgesteld en worden de getallen opgeteld, waarbij een score wordt berekend die dus kan variëren tussen -4 en +4.

redoxomstandigheden	PER	TRI	CIS	VC
oxisch (aëroob)	- 1	- 1	0	1
suboxisch	- 1	- 1	0	0
anaëroob, DOC* < 5 mg/l	-1	-1	-1	-1
anaëroob, 5 < DOC* < 10 mg/l	0	0	0	0
anaëroob, DOC* > 10 mg/l	1	1	1	1

\* DOC: het gaat hier om het standaard gemeten DOC; hierin wordt automatisch het 'DOC'-deel meegemeten van andere verontreinigingen, zoals BTEX, fenolen enzovoorts.

Tabel 3. Kans op natuurlijke afbraak van CKW's gebaseerd op de berekende redoxscore.

gemiddelde redoxscore in bestaande peilbuizen	verloop van score in ruimte en tijd	kans op NA
redoxscore $\leq 0$	neemt af in ruimte of tijd	<b>kansarm</b>
redoxscore $\leq 0$	neemt toe in ruimte of tijd	<b>kans</b> , ga naar tweede onderdeel*
$0 \leq \text{redoxscore} \leq 1$	neemt af in ruimte of tijd	<b>kans</b> , ga naar tweede onderdeel*
$0 \leq \text{redoxscore} \leq 1$	neemt toe in ruimte of tijd	<b>kansrijk</b> , ga naar tweede onderdeel
redoxscore > 1	-	<b>kansrijk</b> , ga naar tweede onderdeel

\* Bij de uitspraak 'kans' met een relatief lage score dient men in het vervolgtraject alert te zijn op mogelijke stagnatie van de afbraak in (delen van) de pluim.

De afbraak van de CKW's met veel chloride-atomen (PER en TRI) kan alleen plaatsvinden onder sterk gereduceerde omstandigheden (sulfaatreducerend of methanogeen), waarbij stapsgewijs steeds één chloride wordt afgesplitst. Hierbij ontstaan dus tussenproducten met minder chloor-atomen. In het geval van CKW's zijn de redoxomstandigheden en de hoeveelheid koolstof bepalend voor de afbraak. De typering van de redoxsituatie per peilbuis kan worden gedaan aan de hand van de concentraties zuurstof, nitraat, ijzer, sulfaat en methaan in het grondwater (zie fig. 4). De heersende redoxomstandigheden kunnen vervolgens worden vergeleken met de aanwezige CKW's per peilbuis, waarna een uitspraak kan worden gedaan over de mogelijkheden dat natuurlijke afbraak van de aanwezige verontreinigingen optreedt. De mogelijkheden voor afbraak van een verontreiniging kunnen goed (redoxscore 1), onbekend (redoxscore 0) of slecht (redoxscore -1) zijn (zie tabel 2). Zo worden PER en TRI onder aërobe omstandigheden niet of nauwelijks afgebroken. VC daarentegen wordt onder sterk oxidatieve omstandigheden relatief makkelijk geoxideerd. Zo kan dus voor elke specifieke redoxsituatie op theoretische (literatuur) gronden worden gezegd of een bepaalde verbinding kan worden afgebroken. De score die per peilbuis wordt behaald, geeft een indicatie over de kans op afbraak op de locatie. Met behulp van het verloop in de ruimte en tijd van de score en de gemiddelde score op de locatie kan worden bepaald wat de kans is dat NA op de locatie optreedt (zie tabel 3).

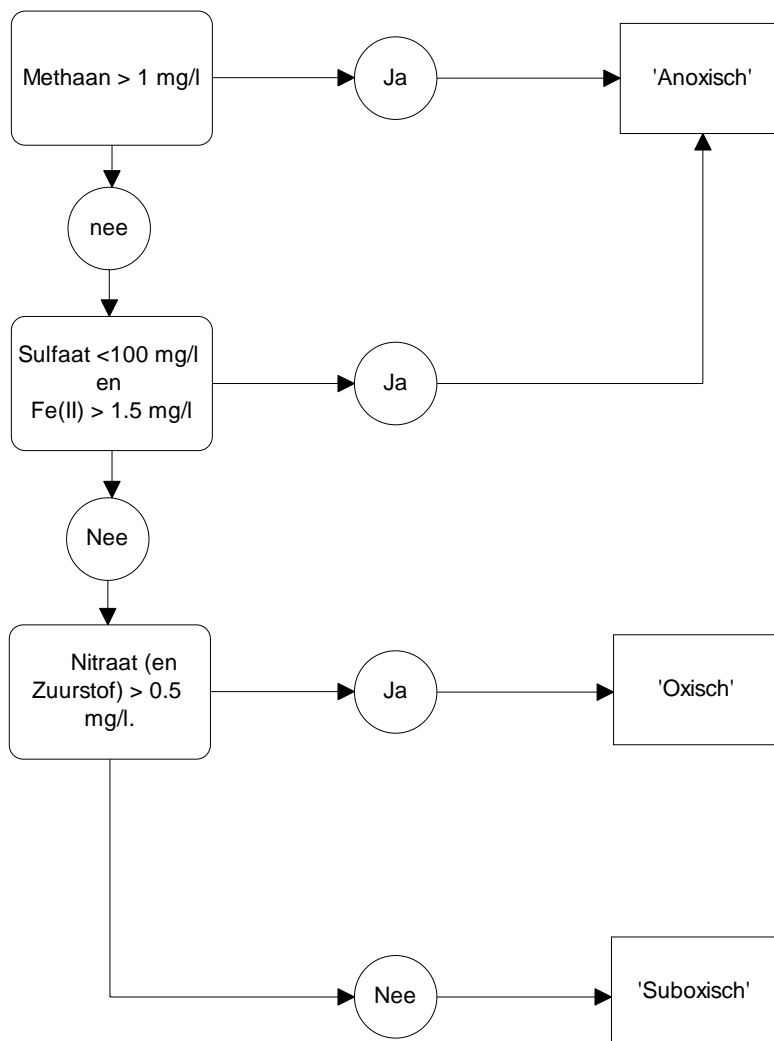


Fig. 4. Flowschema om de redoxkarakterisatie te bepalen.

**Kader A: Aanpak om de kans op NA te berekenen voor locaties met gechlorideerde verbindingen.**

1. Stel de ouderdom van de verontreiniging vast: minder dan 3 jaar of meer dan 3 jaar oud.
2. Bepaal per peilbuis, per diepte en per monsterdatum de chloride-index.
3. Bepaal de ruimtelijke trend in de chloride-index; toenemend of afnemend met de afstand tot de bron.
4. Ga na of de chloride-index afneemt in de tijd.
5. Bepaal de gemiddelde chloride-index over de locatie.
6. Bepaal met tabel 1 de 'kans' op NA.

Op de voorbeeldlocatie is de verontreiniging vermoedelijk 10 jaar oud; de metingen zijn niet in één stroombaan gemeten en zelfs niet op één diepte.

concentraties	peilbuisnummer				
(µg/l)	1	2	3	4	5
PER	22200	2600	2800	96	200
TRI	8000	110	900	15	100
CIS	4200	30	10000	120	60
VC	220	8,5	460	0,14	15
etheen	1,5	< dl	< dl	5,6	< dl

De berekening van de concentraties in molen: tussen haakjes is het molgewicht gegeven waarvoor de concentratie in µg/l moet worden gedeeld om µmol/l te krijgen.

PER (166)	133	16	17	0,58	1,20
TRI (131)	61	0,84	6,9	0,11	0,76
CIS (97)	37	0,26	87	1,04	0,52
VC (62)	3,6	0,1	7,4	0,00	0,24
etheen (28)	0,1	0	0	0,2	0
chloride-index	3,38	3,90	2,28	2,45	3,07

**Conclusies:**

Gemiddelde index over alle buizen is: 3,10. Van de eerste buis kan worden aangenomen dat deze in de bron staat. Wanneer deze buis bij de berekening buiten beschouwing wordt gelaten, wordt een gemiddelde index van 2,92 berekend. Het is duidelijk dat er op de locatie een omzetting van het product plaatsvindt. Vooralsnog domineert de oorspronkelijke verontreiniging, PER, en is de chloride-index relatief hoog. Helaas is bij deze gegevens niet bekend hoever de afstand tot de bron is en het verloop van de chloride-index in de ruimte of tijd kan dus niet worden bepaald. De score van net 3 of net onder 3 geeft aan dat er op de locatie een **kans** is voor NA als saneringsvariant. In dit geval is het zinvol om aanvullende informatie te verzamelen.

< dl is beneden de detectiegrens.



**Kader B: Voorbeeld berekening voor de redoxscore; zie kader A voor CKW-gegevens, figuur 4 voor redoxkarakterisering en de tabellen 2 en 3.**

1. Bepaal per peilbuis, per diepte en per monsterdatum de hoeveelheden:  
- zuurstof, nitraat, totaal ijzer, sulfaat en methaan.
2. Stel aan de hand van figuur 4 vast wat de redoxkarakterisering is voor elke meting.
3. Bepaal per peilbuis, per diepte en per monsterdatum de aanwezigheid (ja/nee) van:  
- PER, TRI, CIS, VC.
4. Bepaal per peilbuis, per diepte, per monsterdatum de hoeveelheid DOC.
5. Bepaal per peilbuis, per diepte, per monsterdatum de score aan de hand van tabel 2, waarbij per meting de scores voor elke verbinding (PER, TRI, CIS en VC) worden opgeteld die bij de vastgestelde redoxcondities voor die meting horen.
6. Bepaal de gemiddelde score over de metingen.
7. Bepaal het verloop van de score in de tijd en met toenemende afstand tot de bron.
8. Bepaal de kans op NA volgens tabel 3.

O <sub>2</sub> (mg/l)	nm	0,36	nm	0,9	nm	
nitraat (mg/l)		nm	nm	nm	0,36	nm
Fe (II) (mg/l)		4,5	0,21	3,2	nm	29
sulfaat (mg/l)		190	76	110	50	0,6
methaan (mg/l)	81	nm	59	nm	8900	
redoxkarakterisering		anaëroob	suboxisch	anaëroob	oxisch	anaëroob
DOC (mg/l)		11	9,4	7,4	< 5	24

Aanwezigheid van uitgangs- en tussenproducten (zie tabel 2):

PER	ja (1)	ja (-1)	ja (0)	ja (-1)	ja (1)
TRI	ja (1)	ja (-1)	ja (0)	ja (-1)	ja (1)
CIS	ja (1)	ja (0)	ja (0)	ja (0)	ja (1)
VC	ja (1)	ja (0)	ja (0)	ja (1)	ja (1)
redoxscore op potentiële afbraak	4	-2	0	-1	4

de gemiddelde score berekend als:  $(4) + (-2) + (0) + (-1) + (4) = 5/5 = 1$

**Conclusie:**

Op basis van de gemiddelde afbraakscore van plus 1 is er een **kans** dat NA op de locatie als saneringsvariant op technische gronden toepasbaar is. Indien uit het verloop van de score zou blijken dat de score toeneemt in ruimte of tijd zou **'kansrijk'** de uitkomst zijn. Echter, in dit voorbeeld is geen informatie aanwezig over de positie van de peilbuizen.

Tabel 4. Conditie waaronder NA een kansrijke saneringsoptie is voor B(TEX). Als basisgegevens worden gebruikt: de hoeveelheid benzeen (onder of boven de interventiewaarde), het verloop van de  $NA_{\text{benzeen}}$ -score met toenemende afstand tot de bron of op verschillende tijdstippen gemeten.

<b>verloop <math>NA_{\text{benzeen}}</math>-index in ruimte en tijd</b>	<b>kans op NA</b>
neemt af met de afstand tot de bron en benzeen meer dan 10 % van mengsel	<b>kansarm</b>
neemt af in de tijd en benzeen meer dan 10 % van mengsel	<b>kansarm</b>
neemt af met de afstand tot de bron benzeen minder dan 10 % van mengsel	<b>kans</b> meer gegevens nodig, zie 4.3.2.1
neemt af in de tijd benzeen minder dan 10 % van mengsel	<b>kans</b> meer gegevens nodig, zie 4.3.2.1
blijft gelijk op toenemende afstand tot de bron % benzeen niet bepalend	<b>kansrijk,</b> ga naar tweede onderdeel
blijft gelijk in de tijd % benzeen niet bepalend	<b>kansrijk,</b> ga naar tweede onderdeel
neemt toe op toenemende afstand van de bron % benzeen niet bepalend	<b>kansrijk,</b> ga naar tweede onderdeel
neemt toe in de tijd % benzeen niet bepalend	<b>kansrijk,</b> ga naar tweede onderdeel

#### 4.3.2 BTEX-verontreinigingen

Voor BTEX geldt dat de kans op natuurlijke afbraak in de bodem afhangt van het type component. Toluëen, ethylbenzeen en xylenen zijn in principe afbreekbaar onder alle redoxomstandigheden. De afbraak van benzeen verloopt goed onder zuurstofrijke omstandigheden, maar het optreden van anaërobe afbraak is onzeker en sterk afhankelijk van de locatie. Mogelijk spelen specifieke bodemeigenschappen en de aanwezigheid van de 'goede' bacteriën in combinatie met de juiste nutriënten een rol. In sommige gevallen treedt dus de situatie op dat selectief TEX worden afgebroken, terwijl de relatieve concentratie van benzeen toeneemt. Benzeen is tevens de verbinding die sterk bijdraagt aan het humaan risico en is vaak bepalend voor de saneringsurgentie.

**Indien op een locatie TEX de hoofdverontreiniging is en de concentratie benzeen duidelijk onder de interventiewaarde ligt, is NA per definitie een kansrijke variant en kan direct worden doorgedaan naar het tweede verkeerslicht.**

Bij de afbraak van BTEX is het lastig om een onderscheid te maken tussen de afbraak van benzeen en afbraak van TEX. Bij de afbraak van BTEX worden ook tussenproducten (catechol, cresol, methylcatechol en toluicacid) gevormd, maar deze geven geen eenduidige aanwijzing voor de afbraak van benzeen. Het is derhalve lastig om de afbraak van benzeen aan te tonen. Voor een inschatting zijn al snel extra gegevens nodig (zie 4.3.2.1). Als eerste snelle screening om te beoordelen of benzeen wordt afgebroken, is de  $NA_{\text{benzeen}}$ -index geformuleerd. Met deze methode kan worden beoordeeld of NA voor benzeen op de locatie kansrijk is of dat meer gegevens moeten worden verzameld. De index geeft uitsluitend informatie over de relatieve afbraak en over het relatieve transport van benzeen ten opzichte van TEX. Er kan op grond van de index dus wel een positieve uitspraak over de kans worden gedaan, maar NA kan niet op grond van alleen de index worden afgewezen: daarvoor is meer informatie nodig. Immers, als de afbraak van TEX snel gaat en die van B ook snel, maar net iets langzamer, wordt een negatieve index berekend.

$$NA_{\text{benzeen}} = \frac{\%B_{\text{bron}} - \%B_{\text{pluim}}}{\%B_{\text{bron}}}$$

en

$$\%B = \frac{B}{BTEX} \cdot 100 \quad (B \text{ en BTEX in mg/l})$$

De  $NA_{\text{benzeen}}$ -index kijkt naar het relatieve aandeel van benzeen ten opzichte van het totaal BTEX in bron en pluim. Aan de hand van de waarde van de  $NA_{\text{benzeen}}$ -index op de toenemende afstand van de bron kan een uitspraak worden gedaan over de kans dat afbraak optreedt. De uitkomst van de berekening wordt bepaald door de verhouding tussen transport en afbraak. Benzeen is mobieler dan de andere TEX-verbindingen en de relatieve concentratie neemt toe met toenemende afstand van de bron, waardoor de  $NA_{\text{benzeen}}$  afneemt. Blijft de  $NA_{\text{benzeen}}$  ongeveer gelijk of wordt met toenemende afstand tot de bron een toename gevonden, dan is dit een sterke aanwijzing dat afbraak van benzeen optreedt. Bij een positieve waarde voor de  $NA_{\text{benzeen}}$  vindt vrijwel zeker afbraak van benzeen plaats. Indien de index sterk negatief is, vindt een relatieve aanrijking van benzeen plaats in de pluim wat erop wijst dat benzeen niet of veel langzamer dan de andere TEX-verbindingen wordt afgebroken. In dit soort situaties speelt ook de concentratie een belangrijke rol: indien de benzeenconcentratie ook op grotere afstand hoog blijft, is NA kansarm. Bij een waarde voor de  $NA_{\text{benzeen}}$  die tussen de -1 en 0 ligt vindt wel een relatieve aanrijking plaats, maar is verder onderzoek zinvol. In het geval er op verschillende tijdstippen in de peilbuizen is gemeten, is ook een toename van de  $NA_{\text{benzeen}}$  in de tijd een sterke aanwijzing voor het optreden van natuurlijke afbraak. Op grond van de  $NA_{\text{benzeen}}$ -score in de verschillende peilbuizen kan worden geschat of er een kans op NA voor benzeen is op de betreffende locatie (zie tabel 4).

**Kader C: Aanpak om de kans op NA te bepalen voor een locatie met BTEX met voorbeeld berekening van de  $NA_{BTEX}$ .**

1. Stel vast waar het brongebied van de verontreiniging is gelegen.  
Opmerking: Op die locaties waar het onbekend is waar precies de bron is gelegen, kan als uitgangspunt de peilbuis met de hoogste score worden genomen. De score in alle andere buizen wordt dan berekend relatief ten opzicht van dit 'virtueel' brongebied.
2. Bepaal per peilbuis, per diepte en per monsterdatum:
  - de hoeveelheid benzeen (B) in mg/l;
  - de hoeveelheid ethylbenzeen (E) in mg/l;
  - de hoeveelheid toluen (T) in mg/l;
  - de hoeveelheid xylenen (X) in mg/l.
3. Stel vast of de hoeveelheid benzeen op de locatie meer dan 10 % van het BTEX-mengsel vormt.
4. Bereken per peilbuis, per diepte en per monsterdatum: het percentage benzeen ten opzichte van het totaal aan BTEX.
5. Bereken per peilbuis, per diepte en per monsterdatum de  $NA_{benzeen}$ .
6. Bepaal het verloop van de  $NA_{benzeen}$  in de tijd en met toenemende afstand van de bron.
7. Bepaal met behulp van tabel 5 of NA een technisch kansrijke saneringsoptie is.

Op deze voorbeeldlocatie liggen de peilbuizen op toenemende afstand tot de bron, echter niet op één stroombaan. De buizen zijn alle op vergelijkbare diepte gemeten tussen de 5 en 6 m -mv.

afstand tot bron (m)	1	26	40	158	334
concentraties ( $\mu\text{g/l}$ ) 'bron'					
benzeen	12179	475	930	7.4	789
ethylbenzeen	0	183	450	190	-
tolueen	6728	88	1830	63	-
xylenen	7669	1160	5120	1784	-
totaal BTEX	26576	1906	8330	2044	5898
% benzeen	46	25	11	0.4	13,4
$NA_{benzeen}$	bron	0,46	0,76	0,99	0,71

**Conclusie:**

De  $NA_{benzeen}$  neemt toe met toenemende afstand en het percentage benzeen in de pluim neemt af. Deze locatie is (zie tabel 5) **kansrijk**. Echter, de hogere waarde voor het % benzeen op 334 m afstand en de wat lagere waarde voor de  $NA_{benzeen}$  op deze afstand duiden aan dat men op deze locatie alert moet zijn op stagnatie aan de buitenkant van de pluim. Goed in de gaten houden en eventueel extra peilbuizen plaatsen.

Op sommige locaties kunnen in de verschillende peilbuizen grote verschillen worden gevonden en is een verloop van de  $NA_{\text{benzeen}}$  in ruimte of tijd lastig vast te stellen. Ook kan het gebeuren dat meer bronnen in het gebied aanwezig zijn, waardoor het onmogelijk is om aan te geven hoe het verloop van de index in de ruimte is. In dergelijke gevallen kan aanvullende informatie worden verzameld (zie 4.3.2.1).

#### 4.3.2.1 Aanvullende informatie BTEX

Bij BTEX-verontreinigingen is het soms niet eenduidig om op grond van het verloop van de  $NA_{\text{benzeen}}$  vast te stellen of werkelijk afbraak van benzeen plaatsvindt. In deze gevallen is aanvullende informatie nodig die deels in het veld en deels in het laboratorium kan worden gegenereerd (zie tabel 5). Het verkrijgen van de informatie, die hier wordt opgesomd, is relatief kostbaar. Alleen de 'redox' kan worden vastgesteld op basis van metingen in al aanwezige peilbuizen (zie fig. 4). Het vergaren van de andere informatie is alleen dan zinvol als sprake is van een relatief groot benzeenprobleem, waarbij een investering in het kwantificeren van NA zich kan 'terugverdienen'. De extra informatie geeft aanwijzing dat afbraak van benzeen optreedt, maar is geen 'hard bewijs'.

Tabel 5. Aanwijzingen voor het optreden van afbraak van benzeen (zie toelichting). Indien één van de drie punten wordt aangetoond, is de kans op natuurlijke afbraak van benzeen op de locatie hoog.

type informatie	resultaat
a. redoxomstandigheden	zuurstof aanwezig
b. afbraak in batches of kolomexperimenten	afbraak aangetoond
c. afbraak in het veld	afbraak aangetoond

Toelichting bij tabel 5:

Indien één van de drie punten wordt aangetoond, is de kans op natuurlijke afbraak van benzeen op de locatie hoog. Indien geen van de punten kan worden aangetoond, is de kans dat op de locatie NA optreedt minimaal.

#### a. *Redoxomstandigheden*

De biologische afbraak van benzeen verloopt goed in aanwezigheid van zuurstof (oxisch) of nitraat (suboxisch) (bepaling volgens fig. 4). Indien aërobe omstandigheden aanwezig zijn op de locatie is derhalve de kans op afbraak van benzeen groot. In sommige gevallen is ook onder ijzerreducerende, sulfaatreducerende en methanogene omstandigheden afbraak van benzeen aangetoond, echter dit lijkt zeer locatie-specifiek te zijn. Vooralsnog is niet bekend wat hier de sturende variabelen zijn.

#### b. *Afbraak in batches of kolomexperimenten*

Indien in batches of in kolomexperimenten onder de redoxomstandigheden, zoals die in het veld aanwezig zijn, afbraak van benzeen kan worden aangetoond, is dit een aanwijzing dat het proces ook op de locatie kan optreden.

#### c. *Afbraak in het veld*

Indien uit veldmetingen blijkt dat benzeen wordt afgebroken, is NA als saneringsvariant kansrijk. Voor deze bepaling zijn verschillende methoden in ontwikkeling [Heimovaara et al., 1998]:

- push-pull experimenten, eventueel gekoppeld aan het inbrengen van (niet-radio-actief) gelabeld benzeen en metingen aan de isotopenratio  $^{12}\text{C}/^{13}\text{C}$ ;
- verschillende moleculaire technieken (DNA-, RNA-analyse).

#### 4.4 Tweede verkeerslicht: verwachting voor de toekomst

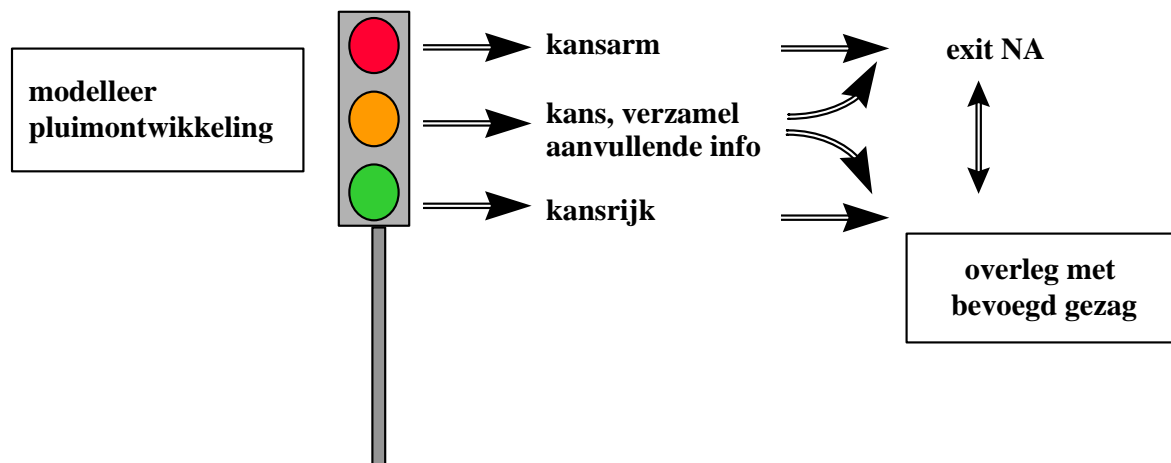


Fig. 5. Het tweede verkeerslicht waarbij de ontwikkeling van de pluim in de tijd wordt gemodelleerd.

Uit de gegevens, verkregen bij het eerste verkeerslicht, is gebleken dat de situatie kansrijk is dat NA optreedt. Om te beoordelen hoe snel de vracht vermindert door het optreden van NA en hoe ver de pluim zich in de toekomst nog zal uitbreiden, dient te worden gemodelleerd.

##### 4.4.1 Opzet van de modellering

Voor een betrouwbare modellering is een bepaalde set aan basisgegevens nodig (zie tabel 6). De betrouwbaarheid van de schatting over het gedrag van de verontreiniging in de toekomst kan worden vergroot door aanvullende informatie te verzamelen (zie tabel 6). De benodigde aanvullende informatie is afhankelijk van het type verontreiniging. Naarmate de 'zekerheid' die wordt verlangd groter is, omdat bijvoorbeeld economische of beleidsmatige belangen in het geding zijn, wordt een uitgebreidere modellering uitgevoerd waarbij meer gemeten parameters worden ingevoerd. Ook indien sprake is van een complexe verontreinigingssituatie wordt een omvangrijker modellering uitgevoerd waarbij meer parameters worden gebruikt, zoals bijvoorbeeld het aantal bodemlagen of het optreden van een gefaseerde afbraak.

Voor de modellering van een verontreinigde locatie kunnen verschillende modellen worden ingezet (zie deelrapport 'Modellering' [Tonnaer en Hanneman, 1998]). In principe kan voor de meeste gevallen worden volstaan met een eendimensionale modellering langs een stroombaan. Voor de laterale verspreiding kunnen daarbij een aantal aannamen worden gemaakt, waardoor ook tweedimensionale verspreidingsplaatjes kunnen worden gegenereerd. De tot nu toe ingezette modellen zijn in principe alle driedimensionaal en kunnen derhalve ook voor de complexe situaties worden ingezet. De combinatie van MODFLOW (stroming) met RT3D (stoftransport en afbraak) werd door het team TNO-NITG-Universiteit Delft en het team IWACO-TAUW met succes ingezet. Ook VERA, beproefd door Grondmechanica Delft, en METROPOL (Landbouw Universiteit Wageningen) bleken goed bruikbaar.

Tabel 6. De informatie die nodig is om een hydrologisch model in te zetten om een uitspraak te kunnen doen over het gedrag van de verontreiniging in de toekomst. De plusjes geven een mate van prioritering aan: hoe meer plusjes, hoe groter het belang van de parameter voor de modellering.

<b>Wat is de ruimtelijke verspreiding?</b>	CKW	BTEX
a. karakterisering van de bodemopbouw	+++	+++
b. grondwaterstroming (richting, snelheid)	+++	+++
c. hoeveelheden uitgangspunt in de pluim	+++	+++
<b>Wat is de duur(zzaamheid) van het proces?</b>		
d. hoeveelheden afbraakproducten in de pluim	+++	
e. afbraaksnelheid	++	++
f. karakterisering van de vaste fase	+	+
g. karakterisering van de beschikbare 'brandstof'	++	
h. karakterisering van de redoxomstandigheden	++	++
i. karakterisering van de bron	+	+
j. gedetailleerdere monstername	+	+

Toelichting bij tabel 6:

a. *Karakterisering van de bodemopbouw*

Bij het beoordelen van de verspreiding van een verontreiniging is het van belang om de bodemopbouw te kennen. Afhankelijk van het type bodem kan het grondwater snel stromen in goed doorlatende zandpakketten of juist langzaam in bijvoorbeeld kleilagen. De ruimtelijke ligging van goed doorlatende en ondoorlatende lagen bepaalt daarmee voor een groot deel de verspreidingsroutes van de verontreiniging.

De bodemopbouw geeft niet alleen informatie over de mogelijke verspreiding in het grondwater maar ook over de te verwachten microbiologische processen. Bij CKW-verontreinigingen is gebleken dat de aanwezigheid van veen en lutum in een zanderige bodem een positief effect heeft op de afbraak (zie ook punt g).

Informatie over de bodemopbouw kan worden verkregen uit geologische kaarten voor een eerste grove inschatting, maar ook door gedetailleerde geofysische metingen op locatie, afhankelijk van de gewenste nauwkeurigheid en beschikbare budgetten. In de bijlagen van het deelrapport Meten 1 [Heimovaara et al., 1998] staan een aantal methoden beschreven waarmee een goed beeld van de ondergrond kan worden verkregen.

b. *Karakterisering van de grondwaterstroming*

Omdat de verspreiding van de verontreiniging vooral plaatsvindt door transport van het grondwater is het van belang om de richting en de grootte van de grondwaterstroming te kennen. Ook voor de grondwaterstroming kan de informatie met verschillende detail worden verkregen. Een ruwe schatting kan worden verkregen met behulp van de grondwaterkaarten van TNO. Het meest nauwkeurig detail kan worden verkregen door middel van zogenoemde tracerexperimenten op locatie. In hoofdstuk 2 van het deelrapport Meten 1 [Heimovaara et al., 1998] wordt in meer detail ingegaan op de transportprocessen en wat er aan gegevens nodig zijn om deze te kwantificeren.

c. *Hoeveelheid verontreiniging in de pluim*

Door een integratie van volume en concentraties verontreiniging kan de hoeveelheid verontreiniging in de pluim worden geschat. Deze gegevens worden gebruikt om de werkelijke verspreiding van de verontreiniging te bepalen. In het geval van een CKW-verontreiniging is

het mogelijk dat door NA het uitgangspunt wordt omgezet in tussenproducten die ook toxisch zijn. Het totaal (uitgangspunt + tussenproducten) bepaalt in dit geval de grootte van de pluim (zie ook punt d).

d. *Hoeveelheid afbraakproduct in de pluim*

De verhouding tussen de oorspronkelijke verontreiniging en de afbraakproducten kan worden gebruikt om afbraaksnelheden te schatten. Afhankelijk van de microbiologie, de bodemgesteldheid en macrochemische parameters kan de afbraak van CKW's volledig tot kooldioxide en chloride gaan of (tijdelijk) blijven steken op CIS of vinylchloride (VC). Bij het beoordelen van de toekomstige humane en ecologische risico's is het van groot belang om te weten of VC zich tijdelijk ophoopt en wat dan de te verwachten concentraties zijn.

e. *Afbraaksnelheid*

Voor een goede modellering is het van belang om te weten wat de afbraaksnelheid is van de verontreiniging. Als uitgangspunt kunnen de in de literatuur vermelde waarden worden gebruikt. Echter, de range hiervan is zeer groot. In sommige gevallen kan de afbraaksnelheid worden geschat uit de gemeten veldgegevens. Indien bijvoorbeeld metingen beschikbaar zijn over een lange tijdsperiode, of indien een duidelijke gradiënt in de pluim aanwezig is, kan de afbraaksnelheid vrij betrouwbaar worden geschat.

Als er een continue bron aanwezig is én er is afbraak, dan zal na verloop van tijd (enkele tientallen tot mogelijk zelfs honderden jaren, afhankelijk van de afbraaksnelheid) een stationaire situatie ontstaan, waarbij de concentraties in ruimte niet meer zullen veranderen. Het aannemen van een stationaire situatie is een vrij eenvoudige manier om afbraaksnelheden te schatten. Nieuwe metingen kunnen dan worden gericht op het aantonen c.q. bevestigen van deze aanname.

f. *Karakterisering van de vaste fase*

Voor het beoordelen van de bronzone, de afbraak en het transport is het van belang om bepaalde eigenschappen van de vaste fase te kennen. Het belangrijkste is de hoeveelheid organische stof, omdat deze in grote mate de adsorptie van verontreiniging aan de vaste fase bepaalt. Daarnaast blijkt dat de vaste fase in staat is om de redoxeigenschappen van de bodem te bufferen. De oxidatiecapaciteit, die wordt bepaald aan de vaste fase, is hiervoor een maat.

g. *Karakterisering van de beschikbare brandstof (alleen voor CKW's)*

Het is belangrijk voor de eerste stappen van de afbraak - de dechlorering onder sterk reducerende omstandigheden - dat er voldoende 'brandstof' in de vorm van organische verbindingen aanwezig is. Deze brandstof kan als DOC, TOC of co-contaminant (BTEX) aanwezig zijn. Ook voor het in gang blijven van de reductieve dechlorering op langere termijn is het nodig dat er in verhouding tot de hoeveelheid gechloreerde verbindingen voldoende organische koolstof aanwezig is.

h. *Karakterisering van de redoxomstandigheden*

De afbraak van verontreinigingen in de bodem is het gevolg van het metabolisme van micro-organismen in de bodem. Bij deze metabolische reacties worden elektronen van de ene stof naar de andere stof overgedragen waarbij energie vrijkomt. Deze reacties heten reductie-oxidatiereacties (redox). Afhankelijk van de redoxomstandigheden kunnen bepaalde verontreinigingen moeilijk of zelfs in het geheel niet worden afgebroken. Zo is bijvoorbeeld bekend dat de afbraak van PER alleen maar kan plaatsvinden onder anaërobe condities. Indien er een verontreiniging met PER is én er is zuurstof aanwezig, dan is afbraak van PER niet mogelijk.

i. *Karakterisering van de bron*

Een bron is een gedeelte van de bodem dat verontreiniging nalevert aan de pluim. Dit kan komen doordat de verontreiniging in de bron voorkomt als bellen puur product van een slecht oplosbare stof die geleidelijk in het langsstromende grondwater oplost (b.v. PER en TRI). Een ander type is de zogeheten 'secundaire' bron die kan zijn ontstaan doordat opgeloste verontreiniging in hele kleine poriën in de bodem is gaan zitten door diffusie of aan bijvoorbeeld een



veenpakket is gesorbeerd. Ook in deze situatie kan de verontreiniging langzaam aan het grondwater worden afgegeven.

Afhankelijk van waar de restverontreiniging zit en hoe toegankelijk die is voor het langsstromende grondwater, kan gedurende een lange (veel restverontreiniging in slecht doorlatende laag en sterk gesorbeerd) of relatief korte (weinig restverontreiniging, in goed doorlatende laag) periode worden nageleverd. Bij een situatie met afbraak ontstaat in een dergelijke situatie op den duur een stationaire pluim.

Het aantonen van een bronzone en het schatten van de omvang daarvan, vereenvoudigt het modelleren aanzienlijk omdat dan kan worden uitgegaan van een continue bron. Bovendien is de duur van het proces bepaald door de hoeveelheid in de bron. Op het moment dat de bron opdroogt, zal bij afbraak de pluim snel krimpen.

j. *Gedetailleerdere monsternamen (CKW's en BTEX)*

Bij veel meetseries blijken de peilbuizen vanuit modelleringsstandpunt niet ideaal te staan. Het slaan van extra buizen op voor de modellering belangrijke posities (b.v. in een stroombaan van het grondwater) kan veel extra informatie opleveren.

#### 4.4.2 *Resultaten van de modellering*

Als uitkomst van de modellering kan de ontwikkeling van de pluim in de toekomst worden gegeven. De presentatie van de modeluitkomsten hangt naar verwachting sterk af van het gebruikte model en de 'uitvoerende' instantie. Als invoer voor het beslissingsondersteunend model dient de 'uitvoerder' van de hydrologische modellering als resultaat een uitspraak te doen over de te verwachten afname van de vracht in de pluim met de tijd (zie fig. 6a) en over de omvang van de pluim weergegeven door het zwaartepunt van de massa in de pluim (zie fig. 6b).

Afhankelijk van de in het model gebruikte additionele informatie (zie tabel 6) kan de zekerheid over de uitspraak van de modellen worden vergroot. De betrouwbaarheid van de uitkomsten hangt sterk af van de kwaliteit en kwantiteit van de gebruikte gegevens. Bij een 'goede' modellering kan ook een uitspraak worden gedaan over de bandbreedte van de berekende uitkomsten.

##### *Afname van de vracht (zie fig. 6a)*

Als mogelijke modeluitkomst over de afname van de vracht zijn in de figuur twee extremen weergegeven:

- als getrokken lijn een scenario waarin een toename van de vracht in de pluim plaatsvindt. Dit kan optreden indien nog een bron aanwezig is en de nalevering vanuit de bron naar de pluim groter is dan de afbraak in de pluim.
- als gestippelde lijn een scenario waarin een duidelijke afname van de vracht in de pluim plaatsvindt.

##### *Verplaatsing van de omvang van de verontreiniging (zie fig. 6b)*

De ontwikkeling van de omvang van de verontreiniging in de tijd geeft aan of de pluim groeit, stabiel blijft of krimpt. Als mogelijke modeluitkomst over de ontwikkeling van het zwaartepunt van de verontreiniging in de tijd zijn wederom twee extremen weergegeven:

- als getrokken lijn een scenario waarin de omvang van de verontreiniging sterk verschuift in x- en/of y-richting ten opzicht van de oorspronkelijke positie. Een verschuiving geeft aan dat een deel van de bodem, dat oorspronkelijk schoon was, verontreinigd raakt. Er is in dit geval sprake van een 'mobiele' verontreiniging.

- als gestippelde lijn een scenario waarbij de verontreiniging ongeveer op dezelfde positie blijft. Er kan in dit geval sprake zijn van een 'immobiele' verontreiniging die zich amper of niet in het grondwater beweegt of van een verontreiniging die in principe 'mobiel' is en vanuit de bron aan de pluim wordt afgegeven, maar die met een dermate hoge snelheid wordt afgebroken dat de nageleverde hoeveelheid verontreiniging vanuit de bron richting pluim(pje) continu en effectief wordt verwijderd.

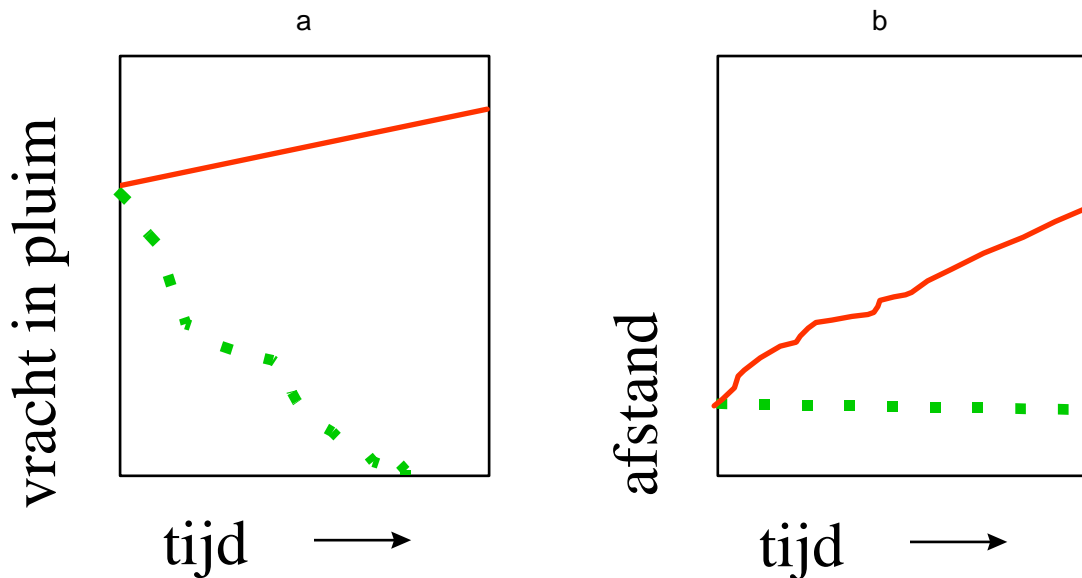


Fig. 6. a: ontwikkeling van de vracht in de tijd die in de pluim aanwezig is en b: ontwikkeling van de omvang van de pluim in de tijd.

Bij de beoordeling of NA een kansrijke variant is op de locatie of niet, is de combinatie van vracht en zwaartepunt van groot belang. De uitkomsten zijn:

- de vracht neemt toe en de pluim verplaatst zich (a: getrokken lijn en b: getrokken lijn). Dit is op puur technische grond een **'kansarm'** scenario.
- de vracht neemt toe en pluim de verplaatst zich niet (a: getrokken lijn en b: gestippelde lijn). Hier is sprake van een verontreiniging waarbij de nalevering vanuit de bron groter is dan de afbraak in de pluim en waarvan de pluim vrij statisch is. Deze uitkomst zal zich naar verwachting niet vaak voordoen. Deze uitkomst is **'kansarm'**.
- de vracht neemt af en de pluim verplaatst zich sterk (a: gestippelde lijn en b: getrokken lijn). In principe heeft deze uitkomst **'kans'** op puur technische gronden; er treedt immers duidelijk afbraak op. Bij de uiteindelijke afweging (zie derde verkeerslicht) spelen zowel de *ruimtelijke schaal* als het *tijdsbestek* een rol:
  - Wat is de afstand tot de bedreigde objecten?
  - Hoe snel gaat de afname van de vracht ten opzichte van de te verwachten verspreiding?
- de vracht neemt af en de pluim verplaatst zich amper (a: gestippelde lijn en b: gestippelde lijn). Deze uitkomst is **'kansrijk'** op technische gronden. Bij de uiteindelijke afweging (zie derde verkeerslicht) speelt alleen het *tijdsbestek* een rol:
  - Op welke termijn neemt de vracht af tot een 'acceptabel' niveau?

#### 4.5 Derde verkeerslicht: overleg tussen partners en beslissing

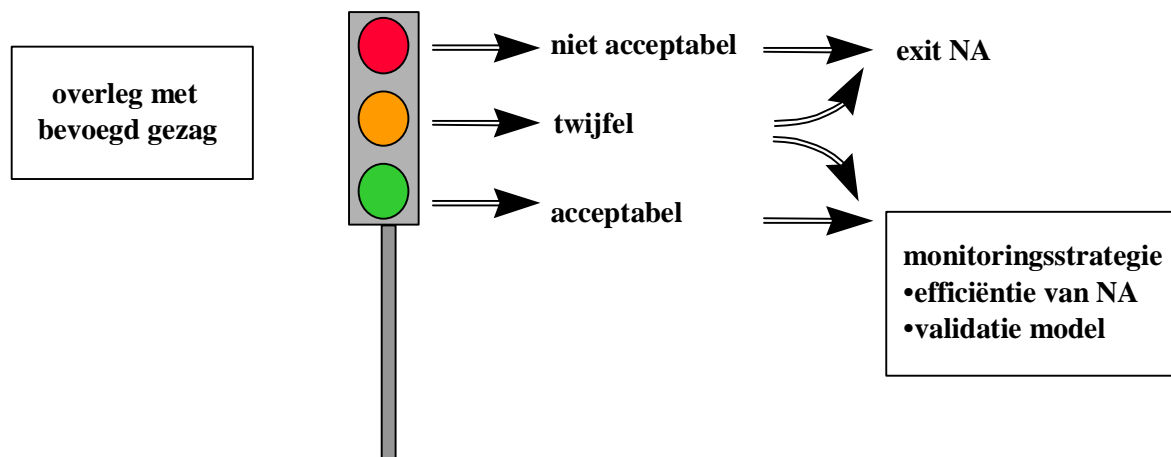


Fig. 7. Het derde verkeerslicht waarbij overleg plaatsvindt tussen bevoegd gezag en probleem-eigenaar.

De bij het eerste verkeerslicht verzamelde gegevens en de modelleeruitkomsten over de ontwikkeling van de vracht en de verspreiding van de verontreiniging dienen als basis voor het overleg tussen bevoegd gezag en probleem-eigenaar. De beslissing die uiteindelijk wordt genomen, hangt af van de technische informatie die uit het model volgt en van de beleidsmatige en praktische aandachtspunten, zoals in hoofdstuk 3 vermeld. Indien in hoofdstuk 3 de randvoorwaarden met betrekking tot de hoeveelheid beschikbare tijd en ruimte scherp zijn geformuleerd, wordt de afweging beduidend vergemakkelijkt.

De uiteindelijke uitkomst is dat NA als saneringsvariant 'acceptabel' of 'niet acceptabel' is. Bij 'twijfel' zijn verschillende opties mogelijk:

- uitgebreidere meet- en modelleerinspanning om onzekerheden te verkleinen;
- doorgaan naar vierde onderdeel met zeer stringente eisen aan het monitoringspakket en met een relatief korte implementatieperiode;
- inzet van aanvullende saneringsstrategieën (zie hoofdstuk 6).

Indien overeengekomen wordt dat NA als saneringsvariant 'acceptabel' is, dient een 'eisenpakket' te worden geformuleerd dat in overeenstemming is met de eisen die aan het toekomstig gedrag en de ontwikkeling van de pluim worden gesteld. Dit eisenpakket is mede gebaseerd op het met behulp van modellering verkregen toekomstperspectief. De eisen zullen met name de ruimtelijke schaal en de tijdsschaal betreffen. Voorbeelden van 'eisen' zijn:

- de pluim moet op zijn plek blijven;
- de pluim mag niet verder komen dan punt x;
- de pluim mag zich nog maximaal gedurende 5 jaar uitbreiden;
- de vracht in de pluim moet stabiel blijven;
- de vracht moet binnen 10 jaar tot de helft zijn gereduceerd.

Ook dient geformuleerd te worden op welke termijn de effectiviteit van NA wordt geëvalueerd. Gedurende deze **implementatieperiode** wordt gemonitord. Er kan bijvoorbeeld een implementatieperiode worden afgesproken van 5 (10, 20) jaar. De lengte van deze implementatieperiode hangt mede af van de modeluitkomsten en de beleidsmatige afwegingen.

Ook wordt in dit overleg gedefinieerd wat er moet gebeuren indien NA achterblijft bij de verwachting. Hiertoe wordt een 'vangnet' ontworpen. Het vangnet kan bijvoorbeeld bestaan uit afspraken over aanvullende conventionele maatregelen, zoals pump en treat.

#### 4.6 Vierde verkeerslicht: implementatie en monitoring

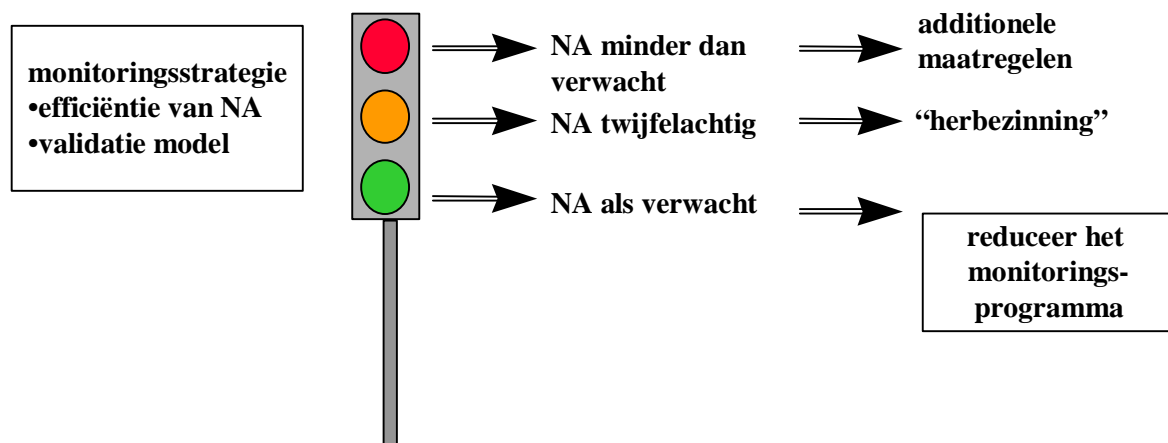


Fig. 8. Het vierde verkeerslicht waarbij NA wordt toegepast en het verloop wordt gemonitord.

Bij dit onderdeel aangekomen is intussen de beslissing genomen dat NA wordt toegepast op de locatie. Er wordt voor de locatie een specifieke monitoringsstrategie opgesteld die een tweeledige doelstelling heeft:

- het controleren van de effectiviteit van NA;
- het verzamelen van gegevens om het gebruikte model te kalibreren.

Voor het eerste aspect 'controleren van de effectiviteit' is het van belang dat er peilbuizen worden gezet die het mogelijk maken het in 4.5 overeengekomen 'eisenpakket' te controleren. Bijvoorbeeld, indien uit de berekeningen is gebleken dat de pluim stabiel blijft en dit als 'acceptabel' wordt beschouwd, dient er met name aan de buitenkant van de pluim te worden gemonitord om te verifiëren of de pluim zich inderdaad niet verder uitbreidt. Indien de eisen betrekking hebben op de vracht, dient de meetstrategie zich te richten op het bepalen van de totale vracht in de pluim.

Voor het tweede aspect 'modelkalibratie' is het van belang om peilbuizen te bemonsteren die geplaatst zijn bij het te verwachten zwaartepunt van de pluim. Door het regelmatig meten van een aantal cruciale peilbuizen kan het gebruikte model worden gekalibreerd en neemt de zekerheid over de voorspelling van het gedrag van de verontreiniging sterk toe.

In beide gevallen zullen de belangrijkste peilbuizen in een stroombaan staan: vlak voor de bron, rond het zwaartepunt en stroomafwaarts van de verontreiniging. Ook wordt dwars op een stroombaan gemeten om de zijwaartse verspreiding te bepalen (zie fig. 9).

Na afloop van de in 4.5 afgesproken implementatieperiode wordt het verloop van NA geëvalueerd. Hierbij zijn 3 uitkomsten mogelijk:

##### 1. NA blijft achter bij verwachting

In dit geval treedt het vangnet in werking. Er worden additionele maatregelen genomen om verspreiding van de verontreiniging tegen te gaan.

## 2. **NA is twijfelachtig**

In dit geval blijven de meetwaarden achter bij het in de modellering voorspelde verloop van NA. Afhankelijk van de overige randvoorwaarden kan worden besloten om:

- de implementatie periode te verlengen;
- additionele veldmetingen uit te voeren;
- een additionele modellering uit te voeren;
- aanvullende saneringsmaatregelen te nemen.

## 3. **NA loopt als verwacht**

Indien de natuurlijke afbraak verloopt volgens de verwachte trend, kan uiteindelijk de monitoringsinspanning worden gereduceerd.



## HOOFDSTUK 5

### TOEPASSING VAN HET MODEL

Voor een aantal (anonieme) cases is het eerste onderdeel van het model doorlopen met als input de in het OO en NO verzamelde gegevens. Hierbij bleek dat - afhankelijk van de 'kwaliteit' van de verzamelde gegevens - een uitspraak kon worden gedaan over de kans dat NA op de desbetreffende locatie optreedt. Voor cases met een CKW-verontreiniging is de beoordeling wat eenvoudiger dan voor cases met een BTEX-verontreiniging. In vrijwel alle gevallen van BTEX-verontreinigingen bleef het verkeerslicht met de aanwezige gegevens op 'oranje' staan en zijn voor een eenduidiger uitspraak aanvullende metingen nodig.

Voor één case (de Koninginneweg in Vaassen) is ook het tweede onderdeel doorlopen en is door vier groepen de toekomstige vracht en omvang van de pluim gemodelleerd [Tonnaer en Hanneman, 1998].

In de tweede fase van het project zal het model op 5 locaties worden toegepast. Van tevoren worden voor elke locatie de reeds aanwezige gegevens verzameld en wordt een strategie opgesteld om eventuele missende gegevens te verkrijgen. In de tweede fase zullen dan de technisch aspecten van het beslissingsondersteunend model worden doorlopen. Het derde verkeerslicht - overleg met bevoegd gezag - valt buiten het project.





### ONDERSTEUNENDE SANERINGSSTRATEGIEËN

Bij een oranje of rood stoplicht kan, afhankelijk van de benodigde gegevens en de financiële aspecten, ook worden gekozen voor een variant waarin NA wel een grote rol speelt maar ondersteund wordt door intensievere concepten. In de gegeven varianten wordt de capaciteit van de bodem om de verontreiniging te verwerken optimaal benut en worden daarnaast aanvullende maatregelen genomen om de snelheid of effectiviteit van NA te stimuleren. Uit de analyse van de gegevens van een bepaalde locatie kan naar voren komen dat NA weliswaar optreedt, maar dat de verwachte snelheid onvoldoende is om het gewenste resultaat binnen een redelijke termijn te behalen. Afhankelijk van de omstandigheden op de locatie en van de oorzaak van het 'tekort' aan effectiviteit kunnen verschillende alternatieven worden onderzocht, waarbij de capaciteit van de bodem om de verontreiniging te verwerken optimaal wordt benut. Als ondersteunende saneringsstrategieën kunnen verschillende mogelijkheden worden onderzocht:

- *Stimuleren van NA*  
Dit speelt bijvoorbeeld een rol bij CKW-verontreinigingen waar te weinig brandstof in de bodem aanwezig is. In een dergelijk geval kan door het actief toedienen van organische verbindingen (methanol, compost) de natuurlijke afbraak worden gestimuleerd. Ook in het geval van verontreiniging met BTEX kan NA worden gestimuleerd door bijvoorbeeld zuurstofrijke verbindingen (lucht, ozon, permanganaat, nitraat) in de bodem te pompen.
- *Pump en treat met NA*  
Indien NA alleen onvoldoende is om de verspreiding van de verontreiniging binnen de perken te houden, kan dit worden bereikt door met een klein debiet op enkele cruciale punten te pompen. In het rapport 'Restrisk fase 2' [Hetterschijt en Te Stroet, 1998] wordt dit principe uitvoerig toegelicht. Ook een lagere snelheid van NA kan dan afdoende zijn om - in combinatie met pump en treat - van de verontreiniging af te komen. Daarnaast wordt momenteel bij het toepassen van pump en treat nog niet geoptimeerd voor natuurlijke afbraak. Een optimalisering van het pompregiem zou de natuurlijke processen extra kunnen stimuleren.
- *Sanering van de bron*  
NA is vooral technisch te gebruiken als alternatief om de verontreinigde pluim aan te pakken. In een aantal gevallen kan blijken dat NA weliswaar functioneert, maar dat de afbraaksnelheid achterblijft bij de continue nalevering vanuit de bron. Een intensieve aanpak van de bron (ontgraven, pompen) is dan verstandig. Het verder verwijderen van de verontreiniging in de pluim kan dan aan NA worden overgelaten.
- *Biologisch hekwerk*  
Door de natuurlijke afbraak in een speciale zone stroomafwaarts van de kern sterk te stimuleren, kan verspreiding worden verhinderd. Hiervoor worden verschillende methoden en technieken uitgetest.



## AANBEVELINGEN VOOR ONDERZOEK OP NIEUWE LOCATIES

Bij het uitvoeren van een onderzoek naar een verontreiniging op een 'nieuwe' locatie kan al direct bij het opstellen van de meetstrategie rekening worden gehouden met de mogelijkheid dat NA op de locatie optreedt en gekwantificeerd dient te worden. Momenteel is het nog zo dat het onderzoek er vooral op is gericht de omvang van de verontreiniging te bepalen.

De peilbuizen dienen zo te worden gezet dat parallel aan een stroombaan kan worden gemeten en dat ook een indruk wordt verkregen over de laterale spreiding (zie fig. 9). Als indicatie voor de stromingsrichting van het grondwater kunnen de grondwaterkaarten van TNO worden gebruikt.

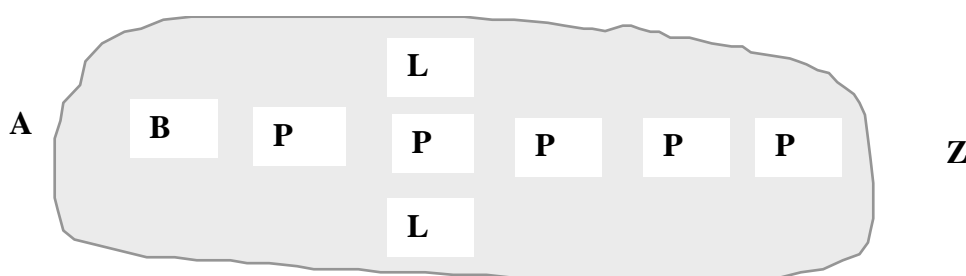


Fig. 9 Schematische weergave van een pluim en de bemonsteringsstrategie met peilbuizen in de bron (A), in de pluim parallel aan een stroombaan (P), in de pluim dwars op een stroombaan om de laterale verspreiding te karakteriseren (L) en net buiten de pluim (Z).

Op basis van de resultaten van deelactiviteit 3 (meten) en 4 (modelleren) zijn een aantal aanbevelingen voor de meetstrategie op verontreinigde locaties geformuleerd:

- de peilbuizen dienen volgens de in figuur 9 weergegeven strategie te worden geplaatst: parallel aan stroombanen, aanbeveling minimaal 10 peilbuizen;
- in het gebied dient een geohydrologische karakterisering plaats te vinden, waarbij worden bepaald: de stroomsnelheid, de stroomrichting, en de bodemopbouw;
- de hoeveelheid verontreiniging in de bron dient te worden gekwantificeerd. De hoeveelheid verontreiniging die nog resteert, is bepalend voor de duur van het proces. Natuurlijke afbraak gaat relatief langzaam en indien veel verontreiniging resteert, kan de saneringsduur oplopen tot ongewenste lengte;
- bij CKW's: alle uitgangs- en tussenproducten dienen te worden bepaald (PER, TRI, CIS, VC, etheen);
- bij CKW's: hoeveelheid 'brandstof' in de vaste fase en opgelost in het grondwater (DOC en co-verontreinigingen) dient te worden bepaald;
- de redoxomstandigheden dienen te worden bepaald (BTEX en CKW's).



## LITERATUUR

Heimovaara, T.J., P.A. Alphenaar, T.N.P. Bosma, S.W. Moolenaar, J. Quist, A.J.C. Sinke en F. Volkering, 1998.

Beslismodel Natuurlijk afbraak - Fase 1: 'State of the art' meetmethoden.  
CUR/NOBIS-rapport 97-1-10, Gouda, september 1998.

Hetterschijt R. en C. te Stroet, 1998.

Restrisk; verspreiding en risico's van restconcentraties in bodem en grondwater - Fase 2: Deel-rapport 1: Slimmer saneren met pump & treat; onzekerheden en pompstrategieën.  
CUR/NOBIS-rapport 95-2-11, Gouda, oktober 1998.

Tonnaer, H. en F.A. Hanneman, 1998.

Ontwikkeling van een beslismodel ten behoeve van de acceptatie van natuurlijke afbraak als saneringsvariant: modelleren.  
TAUW-rapport R3569160.D03, 1998.



## BIJLAGE A

### TRANSPORTPARAMETERS, MEETMETHODEN, WATERSTROMING EN STOFTRANSPORT

Tabel A1. Sleutel tabel transportparameters, meetmethoden, waterstroming en stoftransport.

parameter	type Informatie	belang voor NA	niveau <sup>1)</sup>	lab/veld	bijlage(n)
neerslagoverschot	meteorologische gegevens (bijvoorbeeld KNMI)	randvoorwaarde; niet in eerste instantie van belang; kan voor ondiepe lagen belangrijk zijn voor inschatting van de grootte van de stroomsnelheid	2, 3	veld/literatuur	niet in dit document of KNMI-gegevens
waterpeil oppervlaktewateren	hoogheemraadschap	randvoorwaarde; belangrijk als oppervlaktewater een belangrijke grens is van het systeem	1, 3	veld/literatuur	niet in dit document
stijghoogten grondwater	meten aan de randen van locatie	randvoorwaarde en toestandsgrootte; schatting van de stroomsnelheid; kalibratie waterstromingsmodel; controleren van het waterstromingsmodel	1, 3	veld	A10, A13
stijghoogten aquifer	meten aan de randen van locatie	randvoorwaarde en toestandsgrootte; schatting van de stroomsnelheid; kalibratie waterstromingsmodel; controleren van het waterstromingsmodel	1, 3	veld	A10, A13
verzadigde waterdoorlatendheid	meten op locatie	systeemeigenschap; schatting van de stroomsnelheid	2	veld	A2, A4, A5, A6, A7, A8
bodemopbouw	meten op locatie	systeemeigenschap; van belang voor de verdeling van de doorlatendheid in de bodem	1, 2	veld/literatuur	A1, A2 interpretatie van boorgegevens en op basis van geologische kaarten enzovoorts
adsorptie	meten op locatie	systeemeigenschap; van belang voor de retardatie	2	veld/literatuur	C12, E1, E2, E3

Toelichting:

- <sup>1)</sup> niveau geeft aan wanneer in het NA-onderzoek de bepaling dient te worden uitgevoerd:
- 1 vooronderzoek (altijd)
  - 2 vooronderzoek (aanvullend)
  - 3 bij monitoring

Tabel A2. Specifieke bepalingen gerelateerd aan biologische afbraak.

naam	fase	verontreiniging	belang voor NA	status	niveau	lab/veld	bijlage(n)
biologische activiteit	grond en grondwater	BTEX/CKW	karakterisering aërobe/anaërobe biodegradatie	beschikbaar	aanvullend onderzoek	lab	B1, B2, B3, B4, B5, B6, B7, B8, C4
kwaliteit organisch stof	grondwater	CKW	elektronendonoraërobe biodegradatie	nabije toekomst	karakterisatie, aanvullend onderzoek	lab	B6
H <sub>2</sub> -concentratie	grondwater	BTEX/CKW	karakterisering anaërobe biodegradatie	nabije toekomst		veld	C1
isotopenanalyse	grond en grondwater	alle	uit verschuiving in isotopenverhoudingen kunnen aanwijzingen voor biologische afbraak worden gevonden	beschikbaar, nabije toekomst			B2

Tabel A3. Sleutel tabel algemene bepalingmethoden.

parameter	fase	verontreiniging	belang voor NA	niveau <sup>1)</sup>	lab/veld	bijlage(n)
verontreinigingssituatie						
PER, TRI, CIS, VC	water, bodem	CKW	verontreiniging en afbraakproducten	1, 3	lab/veld	A13, C27, C29, C30
BTEX(N)	water, bodem	BTEX	verontreiniging	1, 3	lab/veld	A13, C27
overige organische verontreinigingen	water, bodem	alle	aanwezigheid overige verontreinigingen kan NA zowel bevorderen (door te dienen als brandstof) als remmen (toxiciteit)	2	lab	C20, C21, C24, C34, C38, C39, C40, C41, C44, C48, C49
anorganische verontreinigingen	water, bodem	alle	aanwezigheid kan NA remmen	2	lab	C23
elektronenacceptoren en omzettingsproducten						
zuurstof	water, (gas)	alle	elektronenacceptor	1, 3	veld/lab	A13, C8, C11, C38
nitraat	water	alle	elektronenacceptor	1, 3	lab/veld	A13, C2
nitriet	water	alle	product nitraatreductie	2	lab	C3
ijzer(III)	grond	alle	elektronenacceptor	2	lab	C9, C23
ijzer(II)	water	alle	product ijzer(III)reductie	1, 3	veld/(lab)	A13, C7
sulfaat	water	alle	elektronenacceptor	1, 3	lab	C5
sulfide	water	alle	product sulfaatreductie	2	veld	A13, C6
CO <sub>2</sub>	water, (gas)	alle	elektronenacceptor methanogenese, eindproduct oxidatie organische verbindingen	2	lab (veld)	C12, C14, C38
methaan	water (gas)	alle	product methanogenese	1	lab (veld)	C36, C38
etheen, ethaan	water	CKW	producten anaërobe omzetting CKW	1, 3	lab	C37, C38
chloride	water	CKW (BTEX)	product anaërobe omzetting CKW, algemene indicator waterkwaliteit	1	lab	A13, C18
overige parameters						
pH	water, grond	alle	algemene indicator waterkwaliteit; kan worden beïnvloed door biologische omzettingsprocessen	1, 3	veld	A13, C15
elektrische geleidbaarheid (Ec)	water, grond	alle	algemene indicator waterkwaliteit	1, 3	veld	C19
redoxpotentiaal	water, grond	alle	indicator heersende omstandigheden voor biologische processen	1, 3	veld	C16
waterstof	water	alle	indicator heersende omstandigheden voor biologische processen	2		C1
DOC/TOC	water	CKW	elektronendonoren anaërobe omzetting CKW	1, 3	lab	C12
organisch stof	grond	alle	bepaalt retardatiefactor	2		C12
stikstof	water	alle	macronutriënt	2	lab	C4
BZV	water	CKW	biologische (aërobe) afbreekbaarheid organisch stof	2	lab	C13
oxidatiecapaciteit	water	alle	randvoorwaarde; geeft aan of de algemene condities voor afbraak gunstig zijn	2		C9
alkaniteit	grond/water	alle	algemene waterkwaliteit, buffercapaciteit	2	lab	C12, C14

Toelichting:

- <sup>1)</sup> niveau geeft aan wanneer in het NA-onderzoek de bepaling dient te worden uitgevoerd:
- 1 vooronderzoek, altijd
  - 2 vooronderzoek, aanvullend
  - 3 bij monitoring



## BIJLAGE B

### VERSLAG VAN DE WORKSHOP

#### **Commentaar op het beslissingsondersteunend model natuurlijke afbraak geuit op de workshop in de Eenhoorn te Amersfoort 16 juni 1998**

Het doel van de workshop was om de bruikbaarheid van het beslissingsondersteunend model te testen. Eerst werd door het kernteam de opzet en werkwijze van het model uitgelegd. Vervolgens werden de gegevens gepresenteerd van een bestaande locatie die verontreinigd is met gechloreerde koolwaterstoffen. Aan de hand van de verstrekte gegevens van metingen aan CKW's en redoxparameters in peilbuizen kon door de deelnemers met het model worden 'geoefend'.

Op de workshop waren 28 deelnemers aanwezig (zie deelnemerslijst), waarbij zowel het bevoegd gezag als de industriële probleembezitters goed vertegenwoordigd waren. De deelnemers werden in 3 groepen opgedeeld, waarbij in elke groep alle geledingen waren vertegenwoordigd.

De deelnemers bleken op een aantal plekken in het beslissingsondersteunend model tegen onduidelijkheden aan te lopen. Daarnaast werden vele opbouwende suggesties gedaan die zullen worden gebruikt om het model verder te verbeteren. Het gaat met name over de tabellen bij het eerste verkeerslicht. Er werden aanpassingen voorgesteld met betrekking tot:

- chloride-index: aanpassen chloride-index aan de detectiegrens;
- redoxscore: de overgangen in de score tussen -1, 0, en 1 moeten geleidelijker;
- de omschrijving van de 'bron';
- uitsplitsen van chloride-index en redoxscore naar de verschillende watervoerende pakketten.

Verder bleken nog een aantal onduidelijkheden in het model te zitten:

- wat te doen met filters zonder verontreiniging?
- op hoeveel decimalen nauwkeurig
- wat doen we met drijf- en zinklagen?

Ook werd de suggestie gedaan om het model uit te breiden, zodat er bij een rood verkeerslicht direct kan worden bepaald of het stimuleren van NA, door bijvoorbeeld extra koolstofbron in te brengen, een kansrijke optie zou zijn.

Ten aanzien van 'draagvlak' is voorgesteld om het rapport breed te verspreiden en een brochure in het Engels op te stellen.

Men was zeer positief over zowel de workshop ('eindelijk eens echt werken') als over het gepresenteerde beslissingsondersteunende model. Het concept werd zeer positief gewaardeerd en men was het er unaniem over eens dat het model als nieuw instrument een grote bijdrage kan leveren aan het geaccepteerd raken van NA als saneringsvariant. Daarnaast stuurt het model de ideeën over hoe een (nader) onderzoek op een verontreinigde locatie zou moeten worden uitgevoerd.

Een aantal kleine aanpassingen werd nu al in het model doorgevoerd, maar het verwerken van een aantal andere suggesties vraagt meer tijd en inspanning en is naar de tweede fase van het project doorgeschoven. In deze fase komen ook meer gegevens boven tafel, zodat de aanpassingen beter gefundeerd kunnen worden doorgevoerd.

Deelnemers workshop beslissingsondersteunend model natuurlijke afbraak:

Provincie Utrecht	dhr. P.W.M. van Mullekom
Provincie Gelderland	dhr. D. Coppel
Provincie Noord-Brabant	dhr. E. Kessels
Provincie Groningen	dhr. J. Vrolijk
Provincie Limburg	dhr. E. Schinkelshoek
Provincie Zuid-Holland	dhr. J.L. Veldhoven
Gemeente Arnhem	mevr. M.E. Visser
Gemeente Rotterdam	dhr. A.B. Roeloffzen
Milieudienst Amsterdam	dhr. J. de Smalen
Gemeentelijk Havenbedrijf Rotterdam	mevr. L. Schelwald van der Kley
Gemeentelijk Havenbedrijf Amsterdam	dhr. R. Barkhuis
Texaco	dhr. M. Carpels
KPE	dhr. W. Standhardt
Shell SIOP	dhr. C.D. Parkinson
SBNS	dhr. G.N.M. Stokman
NV EPON	dhr. B. Neeleman
NV EPON	dhr. H. Hoeksema
Oranjewoud	dhr A. v/d Velde
-	dhr. G. Beuming
NOBIS	dhr. H.J. Vermeulen
NOBIS	dhr. J.H.A.M. Verheul
TNO-MEP	dhr. H.J. van Veen
TNO-MEP	mevr. A.J.C. Sinke
TNO-MEP	dhr. J. ter Meer
TAUW Milieu	dhr. H. Tonnaer
TAUW Milieu	dhr. F. Spuy
IWACO	dhr. T.J. Heimovaara
MTI	dhr. F. Volkering

**Evaluatieformulier: beslissingsondersteunend model natuurlijke afbraak**  
**Alle gegevens worden confidentieel behandeld**

Naam:

Bedrijf/instituut:

Adres:

Telefoon:

---

Hoe bent u op het BOM geattendeerd?

- via NOBIS (publicaties/mondeling)
- via de uitvoerende partners
- via de betrokken sponsors
- anders namelijk .....

Bent u in een positie waarop u aanpak via NA op een locatie moet beoordelen?

- nee
- ja, als adviseur
- ja, als locatie-eigenaar
- ja, als bevoegd gezag

Heeft u één of meerdere locaties in bezit waarop u NA zou willen toepassen?

- nee, geen locatie-eigenaar
- ja, één locatie
- ja, meerdere locaties

Waarmee is/zijn deze locaties verontreinigd?

- BTEX
- CKW's
- minerale olie
- PAH
- anders namelijk .....

Hoe oud is de verontreiniging?

- minder dan 3 jaar
- tussen de 3 en 10 jaar
- tussen de 10 en 30 jaar
- meer dan 30 jaar
- onbekend

Hoeveel peilbuizen staan er op de betrokken locatie?

- nog geen een
- tussen de 5 en 10
- tussen de 10 en 50
- meer dan 50

Staan de peilbuizen op de aanbevolen manier geplaatst (parallel aan een stroombaan)?

- nee
- ja

### **Eerste verkeerslicht voor locaties verontreinigd met gechlloreerde koolwaterstoffen**

Kon u op basis van de bestaande gegevens de chloride-index berekenen?

- ja, de gemiddelde waarde was .....
- nee, want .....

Wat was het verloop van de chloride-index (tijd/ruimte)?

- afname in de tijd
- verandering in de tijd onbekend
- toename in de tijd
- afname op toenemende afstand tot de bron
- geen duidelijke verandering met toenemende afstand tot de bron
- toename met toenemende afstand tot de bron

Kon u op basis van de bestaande gegevens de redoxscore berekenen?

- ja
- nee, want .....

Wat was het verloop van de redoxscore (tijd/ruimte)?

- afname in de tijd
- verandering in de tijd onbekend
- toename in de tijd
- afname op toenemende afstand tot de bron
- geen duidelijke verandering met toenemende afstand tot de bron
- toename met toenemende afstand tot de bron

### **Eerste verkeerslicht voor locaties verontreinigd met BTEX**

Zijn op de locatie benzeen, toluen, ethylbenzeen en xylenen aanwezig en wat zijn (globaal) de gewichtspercentages in de buurt van de bron?

- benzeen            %
- toluen             %
- ethylbenzeen     %
- xylenen            %

Kon u de  $NA_{\text{benzeen}}$ -index bepalen?

- ja
- nee, want .....

Wat was het verloop van de  $NA_{\text{benzeen}}$  in ruimte en tijd?

- afname in de tijd
- verandering in de tijd onbekend
- toename in de tijd
- afname op toenemende afstand tot de bron
- geen duidelijke verandering met toenemende afstand tot de bron
- toename met toenemende afstand tot de bron

Is op de locatie aanvullend onderzoek gedaan?

- nee
- ja, aan de redox
- ja, met batch- en/of kolomexperimenten
- ja, met directe in situ metingen

### **Tweede verkeerslicht (CKW's en BTEX)**

Is het toekomstig gedrag van de pluim gemodelleerd?

- nee
- ja, door .....
- geen idee

Wat is het te verwachten gemodelleerde gedrag van de pluim?

- vracht neemt af
- vracht neemt toe
- pluim min of meer op dezelfde plaats
- pluimomvang neemt toe
- pluimomvang neemt af

### **Derde verkeerslicht**

Wanneer verwacht u dat de locatie weer 'schoon' of 'bruikbaar' is? (open vraag want zowel de definitie voor 'schoon' als voor 'bruikbaar' hangt sterk af van wat er met de locatie moet gebeuren)

Mogen wij u benaderen om de door u verzamelde resultaten te gebruiken om het model te verfijnen?

ja

nee

Wilt u overleg met het kernteam?

ja

nee

correspondentieadres:

Anja Sinke

TNO-MEP

Postbus 342

7300 AH Apeldoorn

tel.: 055-549 3116

fax: 055-549 3252

e-mail: [sinke@mep.tno.nl](mailto:sinke@mep.tno.nl)