

MONITORING EN CONTROLE VAN BODEMEN GRONDWATER

Beleidsrelevantie van monitoringsystemen

R.A. Ammerlaan en D. Pereboom

RAPPORTEN PROGRAMMA GEINTEGREERD BODEMONDERZOEK

DEEL 3

Gegevens: Monitoring en controle van bodem en grondwater - beleidsrelevantie van monitoring systemen / R.A. Ammerlaan, ... [et al.] - Wageningen: Programma Geïntegreerd Bodemonderzoek (Rapporten Programma Geïntegreerd Bodemonderzoek; deel 3) ISBN 90-73270-15-4, 60 blz., E. summ.

Trefw.: bodem, grondwater, monitoring.

Verantwoording:

Ter voorbereiding van het Programma Geïntegreerd Bodemonderzoek zijn enkele studies uitgevoerd met het doel de huidige stand van kennis samen te vatten, de kennisbehoefte te peilen en daaruit de verdere activiteiten op het gebied van onderzoek en onderzoekimplementatie af te leiden.

Het onderhavige rapport betreft de uitkomst van een studie naar de huidige kennis over de opzet van monitoring- en controlesystemen voor bodem en grondwater in de omgeving van stortplaatsen en dergelijke en naar de gewenste verdere ontwikkeling van deze systemen. In de studie worden drie praktijkcases beschreven en beoordeeld in technische, organisatorische en economische zin. In de studie worden aanbevelingen gedaan voor de formulering van doelstellingen, methodieke keuze en nader onderzoek voor de verdere ontwikkeling van het instrument monitoring ten dienste van beleid en beheer. Voorafgaand is een bronnenonderzoek uitgevoerd, waarin ook aandacht is besteed aan buitenlandse literatuur. De studie is uitgevoerd door Grondmechanica Delft.

Het rapport is verkrijgbaar bij het Programmabureau Bodemonderzoek in Wageningen f 40,--.

Projekuitvoering:

Grondmechanica Delft, Afdeling Milieugeotechniek; Stieltjesweg 2, Postbus 69, 2600 AB Delft; projektnummer CO-329470; rapportnummers CO-329470/32, augustus 1993; CO-329470/46, april 1994; 329470/47, april 1994.

' 1996. Programma Geïntegreerd Bodemonderzoek. Postbus 37, NL-6700 AA Wageningen; telefoon: 0317 - 484170; telefax: 0317 - 485051.

Niets uit deze uitgave mag worden vervoelvoudigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, fotokopie, microfilm, elektronisch of op geluidsband of op welke andere wijze ook en evenmin in een retrieval system worden opgeslagen zonder voorafgaande, schriftelijk toestemming van het programmabureau van het Programma Geïntegreerd Bodemonderzoek.

omslag : Ernst van Cleef  
druk : Grafisch Service Centrum Van Gils B.V., Wageningen

## INHOUDSOPGAVE

### SAMENVATTING SUMMARY

Blz.

1	INLEIDING	1
1.1	Algemeen	1
1.2	Probleemstelling	1
1.3	Doelstelling van de studie	2
1.4	Afbakening van de studie	2
1.5	Opbouw van de rapportage	2
2	GEHANTEERDE ONDERZOEKMETHODIEK	3
2.1	Onderscheiden methodieken	3
2.2	Toetsingscriteria	5
2.3	Selectie van de cases	8
2.3.1	Uitgangspunten	8
2.3.2	Selectie	8
3	PRAKTIJKCASES	10
3.1	Case A	10
3.1.1	Inleiding	10
3.1.2	Organisatiestructuur	13
3.1.3	Monitoringsysteem	13
3.1.4	Toegepaste methodiek	18
3.1.5	Evaluatie van de methodiek	18
3.2	Case B	19
3.2.1	Inleiding	19
3.2.2	Organisatiestructuur	20
3.2.3	Monitoringsysteem	20
3.2.4	Toegepaste methodiek	23
3.2.5	Evaluatie van de methodiek	24
3.3	Case C	25
3.3.1	Inleiding	25
3.3.2	Organisatiestructuur	26
3.3.3	Monitoringsysteem	26
3.3.3.1	Doelstelling	26
3.3.3.2	Toegepaste methodiek	26
3.3.3.3	Beschrijving van het monitoringsysteem	29
3.3.4	Evaluatie van de methodiek	34
4	DISCUSSIE	35
4.1	Beoordeling van de cases op basis van de toetsingscriteria	35
4.2	Formulering van doelstellingen	
4.3	Methodieke keuze	38
4.3.1	Technisch criterium	39
4.3.2	Organisatorisch criterium	40
4.3.3	Economisch criterium	41
4.3.4	Methodieke keuze bij kwantitatieve formulering van doelstellingen	41

4.3.5	Methodiekeuze bij afwijkende locaties	42
4.4	Beleidsrelevantie	42
5	CONCLUSIES	45
5.1	Doelstelling	45
5.2	Methodieken	45
6	AANBEVELINGEN	47
7	REFERENTIES	49

## BIJLAGEN

Bijlage 1	Pakket van eisen van case A.	53
Bijlage 2	Overzicht van de analysepakketten en de bemonsteringsfrequentie van het huidige monitoringsysteem van case A (Lit. 19).	54
Bijlage 3	Overzicht van het analysepakket en de bemonsteringsfrequentie van het voorgestelde monitoringsysteem van case A (Lit. 19).	55
Bijlage 4	Overzicht van het analysepakket en de bemonsteringsfrequentie van monitoringsysteem van case B (Lit. 24).	56
Bijlage 5	Overzicht van het analysepakket, de gemiddelde achtergrondconcentratie en de signaalwaarde van het monitoringsysteem van case C.	57
Bijlage 6	Beschrijving van de in case C toegepaste modellen.	58
Bijlage 7	Systeemdefinitie van case B.	59
Bijlage 8	Rapporten Speerpuntprogramma Bodemonderzoek en Programma Geïntegreerd Bodemonderzoek	60

## LIJST VAN FIGUREN EN TABELLEN

Blz.

Figuur 2.1	Actorenschema en overzicht van de factoren die de formulering van de doelstellingen en de keuze van de methodiek beïnvloeden.	6
Figuur 3.1	Bovenaanzicht van het stortterrein van case A.	11
Figuur 3.2	Schematisch geo(hydro)logische opbouw voor case A (Lit. 16).	12
Figuur 3.3	Overzicht van het huidige monitoringsysteem rondom de stortplaats van case A.	15
Figuur 3.4	Voorstel voor een toekomstig monitoringsysteem voor case A (Lit. 17).	16
Figuur 3.5	Ligging van de meetpunten van het monitoringsysteem van case B (Lit. 26).	21
Figuur 3.6	Vorming van de zoetwaterbellen onder het depot van case B (Lit. 26).	24
Figuur 3.7	Methodiek voor het ontwerp van monitoringsystemen voor case C (Lit. 32).	27
Figuur 3.8	Layout van het monitoringsysteem van case C (Lit. 32).	29
Figuur 3.9	Ontwerp van het monitoringsysteem van case C (Lit. 32).	31
Figuur 3.10	Filterstelling in een meetpunt van het monitoringsysteem van case C (Lit. 32).	32
Tabel 2.1	Overzicht van toegepaste methodieken voor de opzet van monitoringsystemen (Lit. 3).	4
Tabel 2.2	Onderbouwing van de selectiekeuze van de verschillende cases.	9
Tabel 3.1	Overzicht van de geohydrologische opbouw en parameters op de locatie van case A.	13
Tabel 3.2	Overzicht van (sub)doelstellingen en middelen voor het voorgestelde monitoringsysteem van het compartiment water (voor series zie figuur 3.4) (Lit. 19).	17
Tabel 3.3	Overzicht van de geohydrologische opbouw en parameters op de locatie van case B.	19
Tabel 3.4	Overzicht van de geohydrologische opbouw en parameters op de locatie van case C.	25
Tabel 3.5	Berekende kosten van het monitoringsysteem van case C (Lit. 32).	33
Tabel 3.6	Onderverdeling van de jaarlijkse exploitatiekosten van het monitoringsysteem van case C (Lit. 32).	33
Tabel 4.1	Kwalitatieve beoordeling van de methodieken A, B en C op basis van toetsingscriteria.	36

*LIST OF FIGURES AND TABLE*

*Page*

<i>Figure 2.1</i>	<i>Diagram of the parties concerned.</i>	<i>6</i>
<i>Figure 3.1</i>	<i>Plan of the landfill of Case A.</i>	<i>11</i>
<i>Figure 3.2</i>	<i>Geo(hydro)logical structure of Case A (Lit. 16).</i>	<i>12</i>
<i>Figure 3.3</i>	<i>Overview of the actual monitoring system around the landfill of Case A.</i>	<i>15</i>
<i>Figure 3.4</i>	<i>Proposed monitoring system for Case A (Lit. 17).</i>	<i>16</i>
<i>Figure 3.5</i>	<i>Situation of the monitoring points of Case B (Lit. 26).</i>	<i>21</i>
<i>Figure 3.6</i>	<i>Formation of a freshwater lens below the landfill of Case B (Lit. 26).</i>	<i>24</i>
<i>Figure 3.7</i>	<i>Methodology of the design of a monitoring system for Case C (Lit. 32).</i>	<i>27</i>
<i>Figure 3.8</i>	<i>Layout of the monitoring system of Case C (Lit. 32).</i>	<i>29</i>
<i>Figure 3.9</i>	<i>Design of the monitoring system of Case C (Lit. 32).</i>	<i>31</i>
<i>Figure 3.10</i>	<i>Depth and length of filters in one measurement point of the monitoring system of Case C (Lit. 32).</i>	<i>32</i>
<i>Table 2.1</i>	<i>Overview of the methodologies applied in the design of monitoring systems (Lit. 3).</i>	<i>4</i>
<i>Table 2.2</i>	<i>Reasoning for the choice of the cases.</i>	<i>9</i>
<i>Table 3.1</i>	<i>Geohydrological structure and parameters of Case A.</i>	<i>13</i>
<i>Table 3.2</i>	<i>Objectives and means for the proposed monitoring system of the water compartment (for series see figure 3.4) (Lit. 19).</i>	<i>17</i>
<i>Table 3.3</i>	<i>Geohydrological structure and parameters of Case B.</i>	<i>19</i>
<i>Table 3.4</i>	<i>Geohydrological structure and parameters of Case C.</i>	<i>25</i>
<i>Table 3.5</i>	<i>Calculated costs of the monitoring system of Case C (Lit. 32).</i>	<i>33</i>
<i>Table 3.6</i>	<i>Subdivision of the yearly operational costs of the monitoring system of Case C (Lit. 32).</i>	<i>33</i>
<i>Table 4.1</i>	<i>Qualitative classification of the methodologies of cases A, B and C, based on the review criteria.</i>	<i>36</i>

## SAMENVATTING

Monitoring van de bodem- en grondwaterkwaliteit van (potentieel) verontreinigde locaties is een beleidsinstrument om gebruik en beheer van de bodem en het grondwater te koppelen. Om aan te geven wanneer en hoe aan het beleidsinstrument monitoring invulling kan worden gegeven heeft de overheid de behoefte meer inzicht te krijgen in de kwaliteit van een monitoringsysteem.

Hierbij kunnen de volgende factoren worden onderscheiden:

- inzicht in de beschikbare methodieken om een monitoringsysteem te ontwerpen
- inzicht in de toepasbaarheid van deze methodieken voor te monitoren locaties
- inzicht in de stand van zaken bij operationele monitoringsystemen
- inzicht in de factoren die bij het ontwerp van deze monitoringsystemen een rol spelen.

In het kader van deze opdracht is in een bronnenonderzoek reeds een inventarisatie gemaakt van de beschikbare methodieken om een monitoringsysteem te ontwerpen en is ingegaan op de toepasbaarheid van de methodieken. In voorliggende studie "Beleidsrelevantie van monitoringsystemen" wordt de beleidsrelevantie van monitoringsystemen van de bodem- en grondwaterkwaliteit beschouwd.

In de studie is gekeken naar het functioneren van operationele monitoringsystemen aan de hand van een drietal praktijkcases. Deze praktijkcases zijn geselecteerd op basis van beschikbare informatie, doorlooptijd en toegepaste technieken. De praktijkcases zijn beschreven en beoordeeld op een drietal criteria; technisch, organisatorisch en economisch. De discussie gaat in op de formulering van doelstellingen en de methodiekkeuze van monitoringsystemen, en sluit af met een beschouwing van de beleidsrelevantie.

### **Formulering van doelstellingen**

Doelstelling van monitoring is de risico's van het niet-detecteren van schade aan de bodem- en grondwaterkwaliteit te beperken. De monitoringsystemen in de praktijkcases blijken voornamelijk ontworpen op basis van een kwalitatieve formulering van doelstellingen, verwoord in een vergunning. In deze opzet ontbreekt een controle op het werkelijk functioneren van het monitoringsysteem omdat de kwaliteit van het monitoringsysteem niet in de vorm van een detectiekans is vastgelegd.

Momenteel vindt een verschuiving plaats van kwalitatieve naar kwantitatieve formulering van doelstellingen, met andere woorden: van ontwerpen op basis van (kwalitatieve) middelvoorschriften naar ontwerpen op basis van (kwantitatieve) doelvoorschriften. Doelvoorschriften worden geformuleerd in de vorm van een detectiekans. Alleen door een detectiekans te formuleren is het mogelijk economische criteria bij de ontwerpmethodiek mee te laten wegen. Op deze wijze krijgt zowel de overheid als de terreineigenaar de mogelijkheid met monitoring een kosten-effectieve(re) controle van de bodem- en de grondwaterkwaliteit te garanderen.

### **Methodiekkeuze**

De methodiekkeuze voor het ontwerp van een monitoringsysteem is afhankelijk van de formulering van doelstellingen. De studie gaat in op de rol van de vergunningverlenende instantie en de vergunninghouder bij de formulering van de doelstelling en de methodiekkeuze. Uit de praktijkcases blijkt dat de methodiek voor het ontwerp van monitoringsystemen tot op heden voornamelijk gebaseerd is op een deterministische aanpak. Er is bij het ontwerp van monitoringsystemen weinig gebruik gemaakt van geostatistische of stochastische modellen, voornamelijk vanwege de grote

informatiebehoefte.

Economische aspecten worden tot op heden op slechts zeer beperkte en kwalitatieve wijze meegenomen bij het ontwerp van monitoringsystemen. Door een verschuiving naar kwantitatieve doelvoorschriften zullen economische aspecten vaker bij het ontwerp worden betrokken.

De organisatiegraad van het ontwerp van monitoringsystemen heeft verbetering. Het ontwerp van een monitoringsysteem van de grondwaterkwaliteit moet niet als een individueel probleem worden beschouwd. Integratie met overige monitoring- en beheerssystemen is noodzakelijk. Door een systematische aanpak van het ontwerp van monitoring- en beheerssystemen kan een herformulering van de doelstelling relatief eenvoudig worden uitgewerkt tot een aanpassing van het huidige monitoringsysteem.

### **Beleidsrelevantie**

Het beleidsinstrument "monitoring" is in de discussie op twee beleidsniveaus beschouwd; beleidsontwikkelingen beleidsuitvoering. De beleidsontwikkeling moet hierbij voornamelijk worden gezien op het niveau van centrale en provinciale overheden. De beleidsuitvoering bestaat voornamelijk uit vergunningverlening en bevindt zich vooral op het niveau van provinciale en regionale overheidsorganisaties.

Deze studie geeft een overzicht van de beleidsrelevante aspecten van monitoring voor zowel beleidsontwikkeling als voor beleidsuitvoering. Monitoring bevindt zich momenteel in een ontwikkelingsstadium. In deze studie worden aanbevelingen gedaan voor formulering van doelstellingen, de methodieke keuze en nader onderzoek die van belang zijn voor het versneld doorlopen van dit stadium.



## SUMMARY

Monitoring of (potentially) contaminated sites is a policy instrument linking use and control of soil and groundwater. To determine how and when this policy instrument can be applied, the authorities need more knowledge of the quality of monitoring systems.

The following factors can be distinguished:

- insight into the methodologies available for the design of monitoring systems;
- insight into the applicability of the methodologies for sites which must be monitored;
- insight into the state-of-the-art for operational monitoring systems;
- insight into the important aspects concerning the design of monitoring systems.

In a separate literature review (Lit. 3), insight is given into the different methodologies applied in designing monitoring systems and the applicability of these methodologies is discussed.

In this study, the functioning of operational monitoring systems has been evaluated using three practical cases. These cases were selected on the basis of information available, period of operation and techniques applied. They are described and evaluated on three criteria; technical, organizational and economic. The discussion examines the target formulation of monitoring systems, methodology choice, and the relevance of monitoring systems for policy making.

### **Formulation of monitoring objectives**

The objective of monitoring is to reduce the risk of not detecting damage to soil and groundwater quality. The monitoring of the practical cases selected are principally based on qualitative formulations of the objectives, expressed in a permit. Such designs do not enable to check the effectivity of the monitoring system.

Presently, there is a discussion about shifting from granting permits on the basis of qualitative criteria to granting permits on the basis of quantitative criteria. Quantitative formulations express a probability of detection. Only in this way it will be possible to consider economical criteria in the design of monitoring systems, and therefore to execute a cost/benefit analysis of the monitoring system designed.

### **Methodology choice**

The methodology choice for the design of a monitoring system depends on the target formulation. This study discusses the role of the authorities granting permits and the permit holder in respect of the formulation of the objective and the applied methodologies. The practical cases show that, until now, the design of a monitoring system has principally been based on a deterministic approach. Geostatistical or stochastic models are not frequently used, mainly because of the high amount of information required.

Until now, economic aspects have only been used on a limited scale and in a qualitative manner in the design of monitoring systems. With a shift to quantitative criteria, it will be easier to introduce economic aspects in the design of a monitoring system.

Therefore it is necessary that the level of organization of designing monitoring systems improves. This means that the design of a monitoring system will not be seen as an individual problem but as one integrated in other monitoring and control systems. A systematic approach to the design of monitoring and control systems has the additional advantage that a reformulation of the

monitoring objective can relatively easily be translated into an adaptation of the monitoring system.

**Policy relevance**

The policy instrument of monitoring should be considered at two levels; policy making and policy execution. Policy making must principally be seen at a national level. Policy execution mainly consists of granting permits and is done by national and regional authorities.

This study gives an overview of policy relevant aspects of monitoring both for policy makers and for policy executors. Monitoring is still in a development stage. In this study recommendations have been given for target formulation, methodology choice and additional research which is of importance for progress to be realized.

## 1 INLEIDING

Met steun van het Speerpuntprogramma Bodemonderzoek heeft Grondmechanica Delft een topping-up project uitgevoerd inzake "Monitoring en Controle".

### 1.1 Algemeen.1

In het kader van het Speerpuntprogramma Bodemonderzoek, een stimuleringsprogramma voor kennisvermeerderend onderzoek naar, ondermeer, technieken op het vlak van bodem- en grondwaterbescherming, is door Grondmechanica Delft een project uitgevoerd dat bestaat uit het verrichten van een beperkt maar gericht literatuuronderzoek betreffende "Monitoring en Controle" en het bepalen van de beleidsrelevantie op basis van bestudering van praktijkcases.

Het literatuuronderzoek, dat werd afgesloten in 1993, is in de vorm van een aparte rapportage verkrijgbaar bij Grondmechanica Delft (Lit. 3). De beleidsrelevantie van de onderzoeklijn wordt in de voorliggende rapportage beschreven.

### 1.2 Probleemstelling

Momenteel worden bodem en grondwater in toenemende mate als een grondstof of begrensde bron beschouwd. Om deze reden worden gebruik en beheer van de bodem en het grondwater in het huidige beleid gekoppeld. Om het effect van deze koppeling te optimaliseren dient het bodem- en grondwaterbeheer te worden getoetst aan de doelstelling van het beleid. Dit kan met een meet- of monitoringprogramma.

In de toekomst zal naar verwachting voor een groot aantal locaties (IBC-terreinen) een monitoringsysteem worden ontworpen met als belangrijkste doelstelling het tijdig signaleren van het falen van Isolatie- of Beheersmaatregelen zodat de te nemen maatregelen relatief beperkt zijn. Bij een falen van een monitoringsysteem zijn de te nemen saneringsmaatregelen over het algemeen kostbaar en bestaat de mogelijkheid dat de terreineigenaar wordt geconfronteerd met sancties van de overheid.

Hieruit volgt dat de resultaten van een monitoringsysteem direct bijdragen tot het te voeren beleid ten aanzien van bodembeheer door zowel de terreineigenaar als de overheid (in de rol van vergunning verlenende of toezichthoudende instantie). Daarom heeft de overheid de behoefte meer inzicht te krijgen in de kwaliteit van een monitoringsysteem met name wat betreft de volgende aspecten:

- inzicht in de beschikbare methodieken om een monitoringsysteem te ontwerpen
- inzicht in de toepasbaarheid van de methodieken voor te monitoren locaties
- inzicht in de stand van zaken bij operationele monitoringsystemen
- inzicht in de factoren die bij het ontwerp van deze monitoringsystemen een rol hebben gespeeld.

Voor het ontwerp van een monitoringsysteem is een aantal methodieken beschikbaar. Deze methodieken zijn beschreven in het bronnenonderzoek (Lit. 3) en worden samengevat in paragraaf 2.1.

### 1.3 Doelstelling van de studie

Doelstelling van de studie "beleidsrelevantie van monitoringsystemen" is tweeledig. Ten eerste het verschaffen van inzicht in de wijze waarop methodiek, ontwerp en uitvoering van monitoringsystemen aansluiten bij de kennis over (de praktische toepasbaarheid van) de beschikbare ontwerpmethodieken van een monitoringsysteem. Ten tweede aangeven hoe de ontwikkeling en uitvoering van het beleid kunnen inspelen op deze inzichten.

### 1.4 Afbakening van de studie

De studie beperkt zich tot monitoringsystemen van de grondwaterkwaliteit. Hierbij wordt uitsluitend gekeken naar monitoringsystemen met een te lokaliseren bron. De toegepaste methodieken van de diverse praktijkcases worden beschreven en getoetst op basis van een aantal kwalitatieve criteria zodat de methodieken ten opzichte van elkaar kunnen worden gewogen. Een nadere kwantificering van de criteria wordt gezien de aard van de studie en de beschikbare data niet mogelijk geacht.

### 1.5 Opbouw van de rapportage

De opbouw van de rapportage is als volgt:

- Hoofdstuk 2:       - samenvatting beschikbare methodieken  
                      - onderbouwing toe te passen toetsingscriteria  
                      - onderbouwing keuze praktijkcases
- Hoofdstuk 3:       - beschrijving praktijkcases
- Hoofdstuk 4:       - discussie
- Hoofdstuk 5:       - conclusies
- Hoofdstuk 6:       - aanbevelingen

## 2 GEHANTEERDE ONDERZOEKMETHODIEK

Hoofdstuk 2 gaat in op de in dit rapport te hanteren onderzoeksmethodiek. Hiertoe worden in paragraaf 2.1 de in het bronnenonderzoek onderscheiden methodieken samengevat. In paragraaf 2.2 wordt de keuze van de toetsingscriteria bediscussieerd en in paragraaf 2.3 wordt de selectie van de cases onderbouwd.

### 2.1 Onderscheiden methodieken

In het bronnenonderzoek (Lit. 3) is een overzicht gegeven van de verschillende methodieken die voor het ontwerp van monitoringsystemen kunnen worden aangewend. Aan de methodieken liggen de volgende benaderingen ten grondslag:

- deterministische benadering
- probabilistische benadering
- geostatistische benadering
- stochastische benadering.

In de deterministische benadering wordt op basis van inzichten in grondwaterstroming, dispersie (mate van uitspreiding van de verontreiniging) en (geo)chemie een monitoringsysteem ontworpen. De parameters die het verspreidingsproces bepalen worden constant en bekend verondersteld zodat het proces op basis van fysische processen is gedetermineerd. Bij onzekerheid wordt een "worst case" benadering toegepast. Omdat het verspreidingsproces bekend is of de "worst case" bekend is kunnen de monitoringpunten en bemonsteringsfrequentie worden vastgesteld.

In de probabilistische benadering wordt het monitoringsysteem ontworpen op basis van kansrekening. Een schatting van de grootte van de verontreiniging is hierbij vereist. Vervolgens wordt op basis van een zoektheorie bepaald wat de minimale afstand tussen monitoringlocaties moet zijn wil men met een zekere trefkans de verontreiniging van gegeven grootte op een locatie aantreffen.

De geostatistische benadering beschrijft de ruimtelijke variatie van een parameter met behulp van een statistisch model. Hierdoor kan de onzekerheid omtrent de grootte van een gegeven parameter worden gekwantificeerd.

De stochastische benadering maakt gebruik van een deterministische beschrijving van een proces en beschouwt de parameters als kansdichtheidsfuncties. Hierdoor kan op basis van een fysische beschrijving van een proces de onzekerheid van een gegeven variabele als functie van de onzekerheid van een gegeven parameter worden onderzocht (bijvoorbeeld onzekerheid in grondwaterconcentratie als functie van de onzekerheid in grondwaterstromingsrichting).

Tabel 2.1 geeft een overzicht van de toegepaste methodieken voor de opzet van monitoringsystemen. In deze tabel worden tevens de voor- en nadelen van de verschillende methodieken aangegeven en wordt aangegeven voor welke toepassingen ze geschikt zijn.

Er bestaat een groot verschil in de benodigde informatie voor de verschillende benaderingen. De informatiebehoefte van een deterministische benadering is sterk afhankelijk van de gewenste betrouwbaarheid. Voor een beschrijving van niet-stationaire processen of chemische interactie zal een uitgebreide gegevensverzameling noodzakelijk zijn.

Tabel 2.1 Overzicht van toegepaste methodieken voor de opzet van monitoringsystemen (Lit. 3).

Table 2.1 Overview of the methodologies applied in the design of monitoring systems (Lit. 3).

	Expert-guess/ deterministisch	Probabilistisch	Geostatistisch	Stochastisch
Proceskennis	deterministisch	geen	stat. beschrijving ruimtelijke correlatie	stochastisch
Doelstelling	waarschuwing/ controle	waarschuwing/ controle	controle	waarschuwing/ controle
Informatiebe- hoefte	- tot +	-	+	+
Vaststellen detectiekans	-	+	+	+
Risico/Kosten- Baten-Analyse	-	-/+	+	+
Technieken	deterministisch	Gilbert (1987)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- variantiereductie</li> <li>- reductie st.fout</li> <li>- combinatie var.- red. en grootte meetwaarde</li> <li>- var. reductie en cond. waarschijn- lijkheid</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Monte Carlo simulatie</li> <li>- analytisch</li> <li>- Kalman Filte- ring</li> </ul>

Wordt het monitoringsysteem daarentegen ontworpen op basis van een sterk vereenvoudigde benadering van de werkelijkheid dan zal het aantal benodigde gegevens betrekkelijk gering zijn. Een probabilistische benadering kan in feite toe met een schatting van de grootte van de te verwachten verontreiniging. Op basis hiervan en de gewenste detectiekans wordt een monitoringnetwerk ontworpen. Zowel de geostatistische benadering als de stochastische benadering vereist een groot aantal gegevens. Het betreft hier met name de gegevens die noodzakelijk zijn voor de statistische beschrijving van de parameters.

De detectiekans kan een belangrijke ontwerpparameter zijn voor een monitoringsysteem. Een deterministisch benadering verschaft geen inzicht in de effectiviteit of trefkans van een monitoringsysteem. Een probabilistische benadering kan wel een detectiekans vaststellen. Deze detectiekans is echter niet gebaseerd op inzichten in de natuurlijke processen, waardoor het moeilijk is de waarde van de aldus bepaalde detectiekans in te schatten. De geostatistische en stochastische benadering bieden beiden de mogelijkheid de effectiviteit van een monitoringnetwerk te toetsen en daarmee het ontwerp van het monitoringsysteem af te stemmen op een risico-analyse.

## 2.2 Toetsingscriteria

Deze paragraaf gaat in op de toetsingscriteria voor methodieken van monitoringsystemen. Bij het opstellen hiervan is het van belang inzicht te hebben in de rol van de verschillende partijen die invloed hebben in de besluitvorming bij monitoringsystemen. Daarom wordt in deze paragraaf eerst de van de verschillende actoren op het beleid rond monitoring besproken alvorens in te gaan op de toetsingscriteria.

### **Rol van de actoren**

Bij de opzet van een monitoringsysteem kunnen de volgende actoren worden onderscheiden:

- vergunninghouder
- vergunningverlenende instantie
- derden.

Figuur 2.1 beschrijft de invloed van de actoren op de formulering van de doelstelling en de keuze van de methodiek. Deze figuur geeft tevens de factoren aan die de doelstelling en de keuze van de methodiek beïnvloeden.

De vergunningverlenende instantie handelt binnen het kader van geformuleerd overheidsbeleid, dat is vastgelegd in de Afvalstoffenwet, het Stortbesluit en de Interimwet Bodemsaneringsring. Het overheidsbeleid heeft hierdoor directe invloed op de formulering van de doelstelling van een monitoringsysteem voor (potentiële) risicolocaties.

In bijzondere gevallen kan de "vergunningverlenende instantie" de Raad van State zijn.

Onder de vergunninghouder wordt een bedrijf of overheid verstaan met een (potentieel) verontreinigingsprobleem van de bodem en/of het grondwater. De vergunninghouder handelt binnen het kader van het in de wetgeving vastgelegde overheidsbeleid, maar heeft hiernaast eveneens een economisch belang en in sommige gevallen tevens een sociaal belang.

Onder derden worden pressiegroepen verstaan zoals buurtbewoners en milieuorganisaties. Pressiegroepen hebben de mogelijkheid vorm en inhoud van de vergunning, en hiermee (de methodiek van) het ontwerp van een monitoringsysteem met bezwaarschriften direct te beïnvloeden. Tevens kunnen zij informeel het standpunt van de vergunningverlenende instantie en de vergunninghouder beïnvloeden.

Uit het schema van figuur 2.1 blijkt dat onderkenning van een (potentiële) verontreiniging van de bodem en/of het grondwater en de manier waarop de diverse actoren hiermee omgaan sterk afhankelijk is van het niveau van de kennis en de techniek en de toegankelijkheid hiertoe.

### **Doelstelling**

Omdat de verschillende actoren verschillende belangen willen waarborgen, wordt de doelstelling van het monitoringsysteem zowel door (overheids)beleid als door vergunningverlenende instantie, vergunninghouder en derden beïnvloed.

Binnen het kader van de Leidraad Bodemsanering geldt de multi-functionaliteit van de bodem als uitgangspunt voor te nemen bodemsaneringsmaatregelen. In samenhang hiermee wordt in

het Stortbesluit aan stortactiviteiten de eis gesteld dat het storten zodanig dient te gebeuren dat de stort kan worden teruggenomen zonder ingrijpende aantasting van de bodem. Om dit te garanderen dient bij stortactiviteiten naast het nemen van isolerende maatregelen, de hoedanigheid van de bodem te worden onderzocht met een deugdelijk controlesysteem.

Figuur 2.1 Actorenschema en overzicht van de factoren die de formulering van de doelstelling en de keuze van de methodiek beïnvloeden.

*Figure 2.1 Diagram of the parties concerned.*

Binnen het (overheids)beleid wordt de doelstelling van een monitoringsysteem gekoppeld aan de multi-functionaliteit van de bodem. De vergunninghouder dient zich aan te sluiten bij de doelstellingen die op overheidsniveau worden geformuleerd en de in de vergunning vastgelegde doelstellingen.

In sommige situaties zal de vergunninghouder baat hebben bij het formuleren van een verder strekkende doelstelling voor het monitoringsysteem. Dit kan het geval zijn indien sancties (van de kant van de vergunningverlenende instantie) of kosten bij een niet realiseren van de doelstelling die door de vergunningverlenende instantie worden gesteld het minimaliseren van de kans



op het niet-detecteren van een verontreiniging noodzakelijk maken. In dit opzicht is de vergunninghouder gebaat bij het analyseren van een monitoringsysteem in termen van kosten en baten. Bij de formulering van de doelstelling voor een monitoringsysteem zal vergunninghouder zich voornamelijk baseren op de detectiekans van het monitoringsysteem en de kosten bij het niet-detecteren van een verontreiniging of falen van een isolatievoorziening.

### **Ontwerpmethodiek**

De vergunninghouder kiest op basis van de door (overheids)beleid en vergunningverlenende instantie vastgestelde doelstelling een ontwerpmethodiek voor het monitoringsysteem. Deze methodiek moet aansluiten bij de doelstelling van het systeem en de schaal en de karakteristieken van het te monitoren proces.

In de "Uitvoeringsregeling Stortbesluit Bodembescherming" en de "Richtlijn Drainagesystemen en Controlesystemen Grondwater voor Stort- en Opslagplaatsen" worden richtlijnen gegeven voor controle op de hoedanigheden van de bodem en van de bodembeschermende voorzieningen op stort- en opslagplaatsen. De controle op de hoedanigheden van de bodem dient bij voorkeur plaats te vinden middels een horizontaal controlesysteem, in de vorm van controledrains, onder de risico-locatie en additioneel middels een verticaal controlesysteem (peilbuizen) stroomafwaarts van de risico-locatie. De controle vindt plaats door het vergelijken van nul-waarnemingen met waarnemingen in latere jaren. De controle op de technische kwaliteit van de aangebrachte voorzieningen dient tenminste jaarlijks plaats te vinden. Deze werkzaamheden dienen plaats te vinden bij het aangebrachte controlesysteem en het opvang-, verzamel- of afvoersysteem voor percolaat en afstromend water.

### **Toetsingscriteria**

Het beleid heeft de behoefte om de ontwerpmethodiek van een monitoringsysteem te kunnen toetsen. Reeds operationele monitoringsystemen, die grotendeels zijn opgesteld zonder een complete kwantitatieve onderbouwing van de methodieke keuze kunnen moeilijk kwantitatief met elkaar worden vergeleken. Om deze reden is in voorliggende studie gekozen voor een kwalitatieve beoordeling van de opzet van de verschillende monitoringsystemen. Hiervoor zijn de beoordelingscriteria in 3 hoofdgroepen onderverdeeld:

- technische criteria
- economische criteria
- organisatorische criteria.

Technische criteria kunnen worden onderverdeeld in aardwetenschappelijk, milieukundig en civiel-technisch. Het aardwetenschappelijk criterium beoordeelt de methodieken op de wijze waarop een geologische, geohydrologische en bodemfysische/chemische beschrijving van de ondergrond ten grondslag ligt aan het ontwerp van het monitoringsysteem, en de mate waarop variatie en onzekerheden van geologische en geohydrologische parameters in de methodiek worden verwerkt. Het milieukundig criterium beoordeelt de methodieken op de analyse van de aard, omvang en risico van de (potentiële) verontreiniging, het verstrekken van inzicht in de detectiekans van het systeem en het analyseren van risicogebieden buiten het te monitoren systeem. Het civiel-technisch criterium beoordeelt de methodieken op de kans dat het ontworpen monitoringsysteem zijn functie na verloop van tijd niet meer uit kan voeren.

Economische criteria kunnen worden onderverdeeld in kostenanalyse van een ontwerp en kosten-batenanalyse van het totale te monitoren systeem. Hierbij kan de kostenanalyse worden beschouwd als een onderdeel van de kosten-batenanalyse.

Voor de kostenanalyse van een ontwerp van een monitoringsysteem kunnen de volgende kosten worden onderscheiden; implementatiekosten, exploitatiekosten en onderhoudskosten. Hiermee kan worden beoordeeld in hoeverre een methodiek rekening houdt met de kosten van een ontwerp. Bij een kosten-batenanalyse van het totale systeem zijn naast bovengenoemde kosten eveneens de herstelkosten bij falen van belang. Met de kosten-batenanalyse wordt nagegaan in hoeverre een methodiek in staat is de kosten en de baten van het totale te monitoren systeem tegen elkaar af te wegen.

Het organisatorische criterium weegt de systematiek van het ontwerp; hierbij wordt bekeken in hoeverre de beoordeelde methodieken een systematische aanpak volgen en in hoeverre het mogelijk is met de methodieken het monitoringsysteem van de grondwaterkwaliteit te koppelen aan een beheerssysteem (geohydrologisch of civiel-technisch) en/of een ander monitoringsysteem.

### 2.3 Selectie van de cases

In deze paragraaf wordt ingegaan op punten van verschil tussen monitoringsystemen en op de uitgangspunten die aan de selectie van de cases ten grondslag liggen. Op basis van deze uitgangspunten zijn een aantal praktijkcases geselecteerd. Voor ieder van deze cases wordt aangegeven welke criteria van belang waren om de case in deze studie op te nemen.

#### 2.3.1 Uitgangspunten

Voor de selectie van de cases zijn de volgende uitgangspunten opgesteld:

- er wordt in eerste instantie gekeken naar grote en middelgrote terreinen;
- er wordt in eerste instantie geselecteerd op systemen die reeds een langere doorlooptijd hebben om een oordeel te kunnen vormen over de effectiviteit van het ontwerp van het monitoringsysteem en het voldoen aan de doelstelling hiervan;
- er is toestemming om informatie in voorliggende studie op te nemen en op basis van de beschikbare informatie is het mogelijk de methodiek die aan het systeem ten grondslag ligt te toetsen;
- de praktijkcases moeten zo worden gekozen dat er een zo evenwichtig mogelijke verdeling is over de punten waarin monitoringsystemen van elkaar verschillen:
  - doelstelling van het monitoringsysteem
  - soort terrein
  - schaalgrootte
  - genomen maatregelen
  - soort (potentiële) verontreiniging
  - geohydrologische opbouw
  - toegepaste methodiek (zie paragraaf 2.1).

#### 2.3.2 Selectie

Voor dit onderzoek is een aantal cases beoordeeld op grond van de vermelde uitgangspunten. Op basis van deze gegevens zijn drie praktijkcases geselecteerd. De onderbouwing van de selectiekeuze van de desbetreffende cases is in tabel 2.2 weergegeven.

Case A is geselecteerd omdat het soort terrein, de schaalgrootte, het soort verontreiniging en de doorlooptijd als representatief kunnen worden beschouwd voor een groter scala aan te monitoren locaties. Bij de selectie van Case A speelde de beschikbare hoeveelheid informatie een belangrijke rol omdat hiermee een eerste aanzet kon worden gegeven voor dit deel van het onderzoek.

Tabel 2.2      Onderbouwing van de selectiekeuze van de verschillende cases.  
*Table 2.2      Reasoning for the choice of the cases.*

	CASE A	CASE B	CASE C
doelstelling			*
soort terrein	*	*	
schaalgrootte	*	*	
soort verontreiniging	*	*	
geohydrologie		*	
toegepaste methodiek		*	**
doorlooptijd	*	*	
beschikbare informatie	**	*	

\*      bepalend criterium

\*\*     sterk bepalend criterium

Case B wordt op bijna alle punten als een representatieve case beschouwd en kent reeds een langere doorlooptijd.

Case C is bij het onderzoek betrokken omdat voor deze case een afwijkende doelstelling gold en tevens een afwijkende methodiek is toegepast.

### 3 PRAKTIJKCASES

In dit hoofdstuk worden de in paragraaf 2.3 geselecteerde praktijkcases nader beschreven en bediscussieerd. Paragraaf 3.1 beschrijft case A, een vuilstort; paragraaf 3.2 case B, een baggerspeciedepot; paragraaf 3.3 case C, eveneens een vuilstort.

#### 3.1 Case A.1

##### 3.1.1 Inleiding.

De beschrijving van case A is gebaseerd op Lit. 11 - 19.

##### **Locatiegegevens**

Case A behandelt de stortplaats Gulbergen van de RAZOB N.V. (Regionale Afvalverwerkingsmaatschappij ZuidOost-Brabant) in Nuenen, Noord-Brabant. Deze stortplaats ligt ten noorden van het Eindhovens-kanaal en heeft een omvang van ca. 100 ha waarvan op ca. 50 ha wordt gestort.

In figuur 3.1 is een bovenaanzicht van het terrein weergegeven. Hierin is te zien dat de stortplaats uit een voormalig terrein voor huisvuilcompostering, de Noord- en de Zuidheuvel bestaat. Momenteel wordt op de Zuidheuvel gestort. Het deel tussen de Noord- en de Zuidheuvel wordt momenteel eveneens opgevuld. Rondom het stortterrein liggen een drainageleiding en een ringsloot.

De Noordheuvel is niet voorzien van een onderafdichting; de Zuidheuvel heeft een onderafdichting van folie en het tussenstuk heeft een onderafdichting bestaande uit een folie en een zand-bentonietlaag. Ten noorden en westen van de Noordheuvel is een verticaal folie aangebracht tot in de eerste slecht doorlatende laag op een diepte van ruim 2 m -mv. De ligging van het verticale scheidingsmateriaal is in figuur 3.1 aangegeven.

##### **Regionale bodemopbouw**

De locatie van case A maakt deel uit van de Centrale Slenk. De opbouw van de ondergrond is schematisch weergegeven in figuur 3.2. Aan de oppervlakte komen pleistocene afzettingen voor met een dikte van ca. 25 meter, de Nuenengroep. De Nuenengroep bestaat uit zandige afzettingen afgewisseld met leemlagen. Aan de oppervlakte komen laat-pleistocene dekzanden voor die plaatselijk dikker dan 2 meter zijn. Uit onderzoek is gebleken dat onder de locatie 2 leemlagen voorkomen. De bovenste leemlaag is onregelmatig van dikte (0-4 m) en kan gaten vertonen als gevolg van vorstwerking. De onderste leemlaag is 1 - 2 meter dik en vermoedelijk weinig of niet door vorstwerking beïnvloed.

Onder de Nuenengroep bevindt zich de Formatie van Sterksel, een watervoerend pakket van grove grindhoudende zanden met een dikte van 60 meter. Het watervoerende pakket wordt aan de onderkant afgesloten door de Formatie van Kedichem, een 30 meter dikke scheidende laag van fijne zanden met kleilagen. In tabel 3.1 is een schematisch overzicht gegeven van de geohydrologische opbouw van de Nuenengroep en de Formatie van Sterksel.

**Figuur 3.1** Bovenaanzicht van het stortterrein van case A.  
*Figure 3.1 Plan of the landfill of Case A.*

### **Grondwaterstroming**

In figuur 3.1 is tevens de grondwaterstroming voor het freatisch vlak en het eerste watervoerende pakket ingetekend op basis van de regionaal beschikbare informatie. Het grondwater stroomt in de Nuenengroep naar het noorden en in het watervoerend pakket naar het noordwesten. In de Nuenengroep resulteert de aanwezigheid van beken en waterlopen in grote lokale afwijkingen van deze richting; water uit het Eindhovens Kanaal infiltreert naar het freatische grondwater; de Luchense Wetering en de ringsloot hebben een drainerende invloed op het freatische water. Deze drainerende werking strekt zich uit over een afstand van ongeveer 100 meter van de waterlopen.

Uit de gemeten potentialen blijkt dat in de directe omgeving van de stortlocatie gemiddeld een

inzijging heerst. Lokaal kan er sprake zijn van een kwelsituatie als gevolg van de drainerende werking van de Luchense beek.

Figuur 3.2 Schematisch geo(hydro)logische opbouw voor case A (Lit. 16).  
*Figure 3.2 Geo(hydro)logical structure of Case A (Lit. 16).*

### **Activiteiten**

De voornaamste activiteit op het terrein van case A is het storten van afvalstoffen; huishoudelijk afval, bouw- en sloopafval, zuiveringslib, bedrijfsafval, verontreinigde grond en asbesthoudend afval.

### **Omgevingsfactoren**

Stroomopwaarts van case A bevindt zich een mogelijke verontreinigingsbron; een slibverwer-

kingsinstallatie van een waterschap ten zuiden van het Eindhovens Kanaal. De meest nabij gelegen grondwateronttrekkingen in het watervoerend pakket bevinden zich 2 – 3 km ten noordwesten van het onderzoekgebied.

Tabel 3.1 Overzicht van de geohydrologische opbouw en parameters op de locatie van case A.  $k_{hor}$  = horizontale hydraulische doorlatendheid,  $k_{vert}$  = verticale hydraulische doorlatendheid,  $kD$  = doorlaatfactor,  $c$  = hydraulische weerstand.

Table 3.1 *Geohydrological structure and parameters of Case A.*

Geohydrologische classificatie	diepte m -mv	$k_{hor}$ (m/dag)	$k_{vert}$ (m/dag)	$kD$ (m <sup>2</sup> /dag)	$c$ (dag- en)
freatisch pakket zwak tot sterk lemig matig fijn zand	0-2	1	0.1	2	-
1e scheidende laag zwak lemig matig fijn zand	2-4	0.05	0.005	-	400
ondiepe watervoerende laag matig grof zand	4-20	5	0.5	80	-
2e scheidende laag leem	20-23	0.05	0.005	-	600
watervoerende laag <sup>1</sup> (Formatie van Sterksel)	23-83	45		2.500	

<sup>1</sup> gegevens ontleend aan de Grondwaterkaart van Nederland (TNO/DGV, 1972)

### 3.1.2 Organisatiestructuur.1.2

### Organisatiestructuur

Case A is een samenwerking van twee gewesten in het kader van afvalverwerking. Case A wordt bestuurd door een Raad van Bestuur, samengesteld door de burgemeesters van de participerende gemeenten.

Na afronding van het storten worden de verantwoordelijkheden over de stortplaats overgedragen aan een Stichting Nazorg. Deze stichting beheert een budget waarmee beheersmaatregelen van het stort kunnen worden gefinancierd.

### 3.1.3 Monitoringsysteem.1.3

### Monitoringsysteem

In deze paragraaf zal voornamelijk het huidige monitoringsysteem van de stortplaats worden besproken, maar tevens zal worden ingegaan op een aanzet tot een nieuw monitoringsysteem. Deze aanzet van het monitoringsysteem is opgesteld in het kader van nazorg van de stortplaats. Een opzet voor het ontwerp van het toekomstige monitoringsysteem is in een initieel onderzoek reeds opgesteld.

### **Doelstelling**

Het monitoringsysteem van case A is opgezet om inzicht te krijgen in de verspreiding van verontreiniging. Een nadere detaillering van de doelstelling is niet duidelijk verwoord.

De vergunningverlenende instantie, de provincie Noord-Brabant, heeft haar doelstelling kenbaar gemaakt in een pakket van eisen dat in het kader van de oude Afvalstoffenwetvergunning is opgesteld. Het pakket van eisen is beschreven in bijlage 1.

Op basis van dit pakket van eisen heeft de "vergunninghouder" een monitoringplan opgesteld. De doelstelling van de "vergunninghouder" is verwoord in het conform de voorwaarden van de Provincie Noord-Brabant opgestelde plan en is sterk gericht op het voldoen aan de in het plan opgelegde voorwaarden met betrekking tot het monitoringsysteem.

Op basis van het opgestelde plan is de provincie overgegaan tot vergunningverlening.

### **Huidige monitoringsysteem**

Het huidige monitoringsysteem van de grondwaterkwaliteit is in 1989 in gebruik genomen en is onderdeel van een totaal monitoringsysteem van het compartiment water. Bij de opzet van het monitoringsysteem is gebruik gemaakt van reeds aanwezige meetpunten die ook voor 1989 al zijn bemonsterd.

Het monitoringsysteem van het compartiment water onderscheidt de volgende deelsystemen:

- grondwater (in peilbuizen rondom het stort)
- grondwater (in peilbuizen in het buitengebied)
- percolaat
- micro-analyses (pompputten)
- ringsloot
- drainageleidingen.

Figuur 3.3 geeft een overzicht van de monitoringlocaties rondom het stort. In bijlage 2.1 wordt een overzicht gegeven van aantal monitoringlocaties, de te analyseren parameters en de bemonsteringsfrequentie van de onderdelen van het monitoringsysteem water.

In 7 meetpunten, 1 t/m 5, 407 en 409 wordt het grondwater in 17 peilbuizen twee keer per jaar geanalyseerd op analysepakket 4 (zie bijlage 2); het grondwater in 12 van deze peilbuizen tevens twee keer per jaar op het uitgebreidere analysepakket 5 (zie bijlage 2.1).

In de peilbuizen in het buitengebied wordt 26 keer per jaar de stijghoogte geregistreerd.

### **Resultaten**

Conform de vergunning verstrekt de vergunninghouder de analyseresultaten aan het Bevoegd Gezag maximaal drie maanden na het vrijkomen van deze resultaten. Zowel de vergunninghouder als het bevoegd gezag heeft de resultaten van het monitoringsysteem niet in een rapportage opgenomen. Een evaluatie van het analysepakket en/of de bemonsteringsfrequentie heeft (nog) niet plaats gevonden.

### **Toekomstig monitoringsysteem van de grondwaterkwaliteit**

In het kader van een uitbreiding van de stortplaats en in het kader van de nazorg dient een nieuwe opzet voor een monitoringsysteem te worden gepresenteerd. Een eerste voorstel tot de



opzet van een toekomstig monitoringsysteem van de grondwaterkwaliteit is verwoord in een plan (Lit. 17).

**Figuur 3.3**      *Overzicht van het huidige monitoringsysteem rondom de stortplaats van case A.*  
**Figure 3.3**      *Overview of the actual monitoring system around the landfill of Case A.*

Dit plan is opgesteld op basis van de volgende doelstellingen:

- controleren of de geohydrologische isolatie optimaal functioneert
- controleren of verontreinigd grondwater de locatie binnenstroomt
- inzicht verschaffen in de herkomst van verontreinigd grondwater; dit gebeurt op basis van de diepte waarop de verontreinigingen worden aangetroffen en/of de samenstelling van het verontreinigde water.

De opzet van het plan van het toekomstige monitoringsysteem is weergegeven in figuur 3.4. In tabel 3.2 worden de doelstellingen van de verschillende onderdelen van het monitoringsysteem aangegeven.

Figuur 3.4 Voorstel voor een toekomstig monitoringsysteem voor Case A (Lit. 17).  
 Figure 3.4 Proposed monitoring system for Case A (Lit. 17).

Tabel 3.2 Overzicht van (sub)doelstellingen en middelen voor het voorgestelde monitoringsysteem van het compartiment water (voor series zie figuur 3.4) (Lit. 19).

Table 3.2 Objectives and means for the proposed monitoring system of the water compartment (for series see figure 3.4) (Lit. 19).

Doel	Middel
1) Monitoring van het functioneren van het geohydrologisch beheerssysteem: a) freatische onttrekking b) diepwell onttrekking c) invloed op de omgeving	registratie waterkwaliteit serie A: filterdiepte 15 en 30 m - mv registratie waterkwaliteit serie A: filterdiepte 60 m - mv registratie van de waterstand in de peilbuizen in het buitengebied
2) Signaleren van het falen van het isolatiesysteem: a) horizontaal folie van de Zuid-Heuvel b) verticaal folie van de Noord-Heuvel c) bovenafdichting	registratie van de waterkwaliteit in de drains onder het folie registratie van de waterkwaliteit van de ringsloot registratie van de waterkwaliteit in de drains boven het folie
3) Bewaking van de verspreidingsrouten a) Nuënen groep b) Formaties van Veghel en Sterksel c) oppervlaktewater d) verspreiding van verontreiniging van het voormalige VAM-terrein	registratie waterkwaliteit serie B: filterdiepte 8 en 17 m - mv nog geen invulling aangegeven waterkwaliteit van de Noordhof vijver en de Hooidonksebeek registratie waterkwaliteit serie C: filterdiepte 8 en 15 m - mv
4) Bepaling van de aanvoer van externe verontreiniging	registratie waterkwaliteit serie C: filterdiepte 15 en 40 m - mv



### 3.1.4 Toegepaste methodiek

De toegepaste methodiek voor het ontwerp van zowel het huidige als het toekomstige monitoringsysteem van case A kan worden omschreven als een expert-guess.

Het monitoringsysteem is ontworpen op basis van een inventarisatie van de volgende gegevens:

- aard van de (potentiële) verontreiniging
- geotechnische informatie
- geohydrologische informatie
- geochemische informatie
- omgevingsfactoren.

Bij de opbouw van het monitoringsysteem zijn de volgende onderwerpen buiten beschouwing gelaten of slechts kwalitatief beschouwd:

- ruimtelijke variabiliteit in de parameters
- detectiekans
- risico's van (het uitvallen van) het monitoringsysteem
- kosten-batenanalyse van het monitoringsysteem
- nauwkeurigheid van puntmetingen in peilbuizen.

### 3.1.5 Valuatie van de methodiek

De methodieккеuze bij het ontwerp van het monitoringsysteem is sterk bepaald door de geformuleerde doelstellingen bestaande inzichten in kennis en techniek. De doelstelling is door de vergunningverlenende instantie in een vergunning verwoord in de vorm van middelvoorschriften zonder een verdere detaillering in de vorm van bijvoorbeeld een detectiekans. Hierdoor was het mogelijk om op basis van relatief weinig informatie te komen tot een ontwerp van een monitoringsysteem dat aan de doelstelling voldoet.

De vergunninghouder draagt na afronding van de exploitatiefase de (financiële) verantwoordelijkheid voor de nazorg over aan de Stichting Nazorg. Deze stichting heeft de beschikking over een fonds. De Stichting Nazorg heeft belang bij een optimalisatie van de kosten en baten van het monitoringsysteem en een koppeling van het monitoringsysteem aan een geohydrologisch en/of civieltechnisch beheerssysteem. De stichting is echter niet betrokken bij de formulering van doelstellingen, methodieккеuze en ontwerp van het monitoringsysteem. Het is mogelijk dat hierdoor de economische aspecten bij de toegepaste methodiek voor het huidige ontwerp van het monitoringsysteem beperkter aan bod zijn gekomen.

De vergunninghouder voert momenteel overleg met de Provincie Noord-Brabant om te komen tot doelvoorschriften in plaats van middelvoorschriften. Mogelijk zal op basis van deze besprekingen voor het ontwerp van het toekomstige monitoringsysteem de keuze op een andere methodiek vallen.

## 3.2 Case B

### 3.2.1 Inleiding

De beschrijving van case B is gebaseerd op Lit. 21 - 27.

#### **Locatiegegevens**

Case B betreft het baggerspeciedepot de Slufter in Zuid-Holland. Het depot is gevormd door het ontgraven van de zeebodem binnen de ringdam. Het uitgegraven zand is ondermeer toegepast voor de constructie van de ringdam rond het depot. De bodem van het depot ligt op een diepte van NAP -28 meter, de bovenkant van de ringdam op NAP +23 meter. Het depot heeft een voorziene bruto bergingsruimte voor 150 miljoen m<sup>3</sup> baggerspecie. De netto bergingsruimte bedraagt 90 miljoen m<sup>3</sup>.

#### **Regionale bodemopbouw**

De ondergrond bestaat tot ca. NAP -22 meter uit een holoceen pakket van matig fijn zand afgewisseld met klei en sliblaagjes. De basis van dit pakket bestaat uit kleiafzettingen van n tot enkele meters dikte, de Laag van Velsen. Deze afzetting is plaatselijk door geulen doorsneden.

Onder deze kleilaag bevindt zich een goed doorlatend pleistoceen pakket met matig grof tot grove zanden met grind. Het pleistocene pakket wordt aan de onderzijde op ca. NAP -40 meter begrensd door de slecht doorlatende Formatie van Kedichem.

In tabel 3.3 is een aantal geohydrologische parameters van de locatie van case B weergegeven.

Tabel 3.3 Overzicht van de geohydrologische opbouw en parameters op de locatie van case B.  $k_{hor}$  = horizontale hydraulische doorlatendheid,  $k_{vert}$  = verticale hydraulische doorlatendheid,  $kD$  = doorlaatfactor,  $c$  = hydraulische weerstand.

Table 3.3 *Geohydrological structure and parameters of Case B.*

Geohydrologische classificatie	diepte NAP	$k_{hor}$ (m/dag)	$k_{vert}$ (m/dag)	$kD$ (m <sup>2</sup> /dag)	$c$ (dagen)
Holocene pakket	0 - 22	5	0.2	100	2000 - 5000
Laag van Velsen (basis van het holocene pakket plaatselijk afwezig)	20 - 22				
Pleistocene afzettingen	-22 - -40			1000	

#### **Activiteiten**

Het baggerspeciedepot wordt benut als definitieve opslagplaats voor baggerspecie van de klassen II en III.

### **Omgevingsfactoren**

Het depot doorsnijdt de Laag van Velsen. De bodem en taluds zijn niet met een ondoorlatende laag afgedekt. Hierdoor kunnen de verontreinigingen in het poriewater van het baggerspecie zowel in het holocene als het pleistocene pakket doordringen.

In de directe omgeving van het baggerspeciedepot De Slufter bevinden zich ecologisch waardevolle gebieden in het ondiepe zeegebied voor de kust van Voorne. Met de ligging van deze gebieden is in de opzet van het monitoringsysteem rekening gehouden.

#### 3.2.2 Organisatiestructuur

Het baggerspeciedepot is een initiatief van Rijkswaterstaat directie Benedenrivieren (namens het Rijk) en de Gemeente Rotterdam. De inbreng van de partijen is vastgelegd in de vorm van een beheersdocument.

De noodzakelijke werkzaamheden worden begeleid door een projectorganisatie met daarin de Begeleidingsgroep Grootschalige Locatie aan het hoofd. In de werkzaamheden zijn vier fasen onderscheiden; de aanlegfase, de exploitatiefase, de beheersfase en de inrichtingsfase.

De verdeling van de voor verrekening in aanmerking komende kosten zijn vastgelegd. De niet verrekenbare personele en materiële inzet voor elk van de partijen wordt per fase in een realisatieplan aan de deelnemende partijen ter goedkeuring voorgelegd.

De bergingsruimte is voor 30% aan het Rijk toegewezen, voor 60% aan de gemeente Rotterdam en voor 10% aan derden. Aan derden wordt een bedrag in rekening gebracht gebaseerd op de geraamde kostprijs per m<sup>3</sup>. Voor het baggerspeciedepot is geen nazorgfonds opgezet.

#### 3.2.3 Monitoringsysteem

##### **Doelstelling**

In het kader van de Projectnota/M.E.R. zijn op basis van de modelberekeningen prognoses opgesteld voor de ontwikkeling van zoetwaterbellen en de verspreiding van verontreiniging naar de omgeving. De doelstelling van het monitoringsysteem is afwijkingen van de prognoses te kunnen vaststellen en zodanige effectieve maatregelen te kunnen nemen om eventuele ongewenste effecten te voorkomen of te beperken.

Het Ministerie van VROM heeft haar doelstelling nader verwoord in een vergunning in het kader van de Afvalstoffenwet. In deze vergunning is de vergunninghouder verzocht een monitoringplan in te dienen dat aan een pakket van eisen voldoet. Het plan diende de volgende elementen te bevatten:

- aantal en locaties van peilbuizen
- diepte van de peilfilters
- bemonsternemingsfrequentie
- analyseprocedure
- verslaglegging van de analyseresultaten
- rapportage aan de directeur-generaal.

De vergunninghouder heeft een monitoringplan opgesteld waarin de bovengenoemde elementen zijn opgenomen. De doelstelling van de vergunninghouder is in dit plan verwoord. Dit plan is

ter goedkeuring aan het Ministerie van VROM voorgelegd. Het Ministerie van VROM heeft hiermee ingestemd.

### **Omschrijving**

Het monitoringsysteem is ontworpen om de vorming en ontwikkeling van de systeemdefinitie te monitoren. Het monitoringsysteem bestaat uit 17 meetpunten die voornamelijk op de ringdam en deels in het depot zijn geplaatst. De ligging van de meetpunten is weergegeven in figuur 3.5.

**Figuur 3.5** Ligging van de meetpunten van het monitoringsysteem van case B (Lit. 26).  
*Figure 3.5 Situation of the monitoring points of Case B (Lit. 26).*

Op de ringdam zijn 15 meetpunten gesitueerd met ieder 4 waarnemingsfilters; 3 filters in het holoceen op resp. NAP -2, -10 en -18 meter en 1 filter in het pleistoceen direct onder de laag van Velsen op NAP -23 meter. 9 Meetpunten bevinden zich op de kruin van de ringdam (NAP +24 m) op een onderlinge afstand van 300 - 1000 meter. Drie van deze meetpunten zijn onderdeel van een raai; rond deze meetpunten zijn twee extra meetpunten op het talud van



de ringdam gesitueerd (NAP +6 m). Meetpunt 12 is niet meer operationeel.

De situering van de raaien maakt het mogelijk de volgende locaties gedetailleerder te monitoren:

- ecologisch waardevolle gebieden in het ondiepe zeegebied voor de kust van Voorne;
- een zone met een bekende afwijkende geohydrologische ondergrond, waarbij tevens de gevolgen van de afwijkende geohydrologische ondergrond op de ontwikkeling van de zoetwaterbel kan worden gevolgd.

In het depot, in het verlengde van de bovengenoemde raaien liggen 2 meetpunten met ieder drie waarnemingsfilters; het bovenste filter ligt in het specie op NAP -26 m, de twee onderste filters liggen in het pleistoceen op respectievelijk NAP -32 m en NAP -38 m. Deze meetpunten monitoren de ontwikkeling van de pleistocene zoetwaterbel onder het depot, en dienen als referentiekader voor de te bereiken concentratieniveaus van verontreinigingen. Deze meetpunten zijn tevens van belang voor de interpretatie van de metingen onder de ringdam; ze bieden de mogelijkheid eventuele optredende veranderingen in het grondwater onder de ringdam te toetsen aan een mogelijke oorzaak, de berging van baggerspecie.

In bijlage 2.3 is een overzicht gegeven van de frequentie van bemonstering en de te analyseren parameters voor de diverse meetpunten. Bij de keuze van het bemonsteringsprogramma is verondersteld dat in baggerspecie een breed scala aan verontreinigingen voorkomt.

Het programma is gebaseerd op de veronderstelling dat de metingen gedurende de eerste monitoringperiode nulmetingen zijn en dienen als evaluatie van de in de geformuleerde systeemdefinitie voorspelde vorming en ontwikkeling van zoetwaterbellen. Het pleistocene pakket onder het depot wordt het vroegst en in de grootste mate beïnvloed door de berging van baggerspecie; om deze reden is de bemonsteringsfrequentie voor de meeste parameters in de meetpunten in het depot hoger dan in de meetpunten onder de ringdam.

### **Resultaten**

In de vergunning is opgenomen dat de eerste resultaten van het monitoringsysteem 5 jaar na ingebruikname van de Slufter aan het Bevoegd Gezag zal worden gerapporteerd. Van de periode 4<sup>e</sup> kwartaal 1989 tot en met 4<sup>e</sup> kwartaal 1991 is reeds een rapportage opgesteld (Lit. 26) en zijn de resultaten geïnterpreteerd. Op basis van de analyseresultaten beraadt de vergunninghouder zich over een voorstel naar het Bevoegd Gezag om de omvang van het analysepakket c.q. de bemonsteringsfrequentie te beperken.

### **Geohydrologisch beheerssysteem**

In het kader van de Afvalstoffenwet is bepaald dat voordat met de bergingswerkzaamheden wordt aangevangen een plan voor geohydrologische beheersing ter goedkeuring aan het Ministerie moet worden voorgelegd.

Dit plan (Lit. 25) diende de volgende elementen te bevatten:

- uitvoering van een aan te brengen systeem;
- berekening die aan de dimensionering hiervan ten grondslag ligt;
- voorgenomen maatregelen en realisatietermijn.

Doel van het geohydrologisch beheerssysteem is zo nodig effectieve maatregelen te nemen om eventuele ongewenste effecten te voorkomen of te beperken. Het geohydrologisch beheerssysteem bestaat uit een bemaling in het Holoceen en een bemaling in het Pleistoceen. De

dimensionering is eerst voor het Holoceen en Pleistoceen apart uitgevoerd, vervolgens is een twee-lagensysteem beschouwd.

Het bemalingsontwerp voor de Slufter gaat uit van een cirkelvormig bemalingsstelsel met de volgende configuratie van bronnen:

- bemaling in het Holoceen; hart op hart is 80 meter, aantal bronnen 75, filterdiepte van NAP +1 meter tot NAP -18 meter, debiet per bron ca. 10 m<sup>3</sup>/uur, mengverhouding (consolidatiedebiet: totale bemalen debiet) 1:50 in de beginsituatie tot 1:250 in de eindsituatie;
- bemaling in het Pleistoceen; hart op hart is 1.000 meter, aantal bronnen 6, filterdiepte tussen NAP -25 meter en NAP -35 meter, debiet per bron ca. 40 m<sup>3</sup>/uur, mengverhouding (consolidatiedebiet: totale bemalen debiet) 1:16 in de beginsituatie tot 1:80 in de eindsituatie.

In het ontwerp wordt aanbevolen om voor de installatie van de bronnen aan te vangen de geohydrologische parameters en de invloeds lengte van het Holoceen en het Pleistoceen met een pompproef te bepalen.

De berekende mengverhoudingen voor het Holoceen en het Pleistoceen zijn zo groot dat het uitgangspunt is dat het opgepompte grondwater via een zuigleiding in de Mississippihaven kan worden geloosd.

Voor het geohydrologisch beheerssysteem wordt een groot aantal nieuwe bronnen geslagen.

#### 3.2.4 Toegepaste methodiek.2.4

#### Toegepaste methodiek

De toegepaste methodiek voor het ontwerp van het monitoringsysteem van case B kan worden omschreven als een expert-guess methode, met als uitgangspunt een systeemdefinitie die in het kader van de Projectnota M.E.R. is opgesteld.

Deze systeemdefinitie is in de projectnota/MER. (Lit. 21) opgesteld op basis van berekende ontwikkelingen van processen in het depot en processen die optreden tijdens transport van uittredend poriewater. Hierin zijn tevens de prognoses voor de omvang en de snelheid van verspreiding van een aantal representatieve verontreinigingen opgenomen. In bijlage 4 wordt hier nader op ingegaan.

Volgens deze systeemdefinitie zullen onder het depot twee zoetwaterbellen worden gevormd. De vorming van deze zoetwaterbellen is weergegeven in figuur 3.6.

Figuur 3.6 Vorming van de zoetwaterbellen onder het depot (Lit. 26).  
*Figure 3.6 Formation of a freshwater lens below the landfill of Case B (Lit. 26).*

Het monitoringsysteem is ontworpen op basis van een inventarisatie van de volgende gegevens:

- aard van de (potentiële) verontreiniging
- geotechnische informatie;
- geohydrologische informatie;
- geochemische informatie;
- modelberekeningen van de fysische en geochemische processen die zich afspelen in het baggerspeciedepot;
- modelberekeningen van de ontwikkeling van zoetwaterbellen onder het depot;
- modelberekeningen van de verspreiding van verontreiniging
- omgevingsfactoren.

Bij de opbouw van het monitoringsysteem zijn de volgende onderwerpen buiten beschouwing gelaten of slechts kwalitatief beschouwd:

- ruimtelijke variabiliteit in de parameters;
- detectiekans;
- risico's van (het uitvallen van) het monitoringsysteem;
- kosten-batenanalyse van het monitoringsysteem;
- nauwkeurigheid van puntmetingen in peilbuizen.

### 3.2.5 Evaluatie van de methodiek

De keuze van de methodiek "expert-guesses op basis van een systeemdefinitie" is sterk bepaald door de geformuleerde doelstelling en de reeds in het kader van de Projectnota/MER verzamelde gegevens en opgestelde prognoses voor de processen in het baggerspeciedepot, de vorming van

zoetwaterbellen en de verspreiding van de verontreiniging naar de omgeving.

De doelstelling van het monitoringsysteem gaat niet uit van een detectiekans. Hierdoor wordt geen inzicht verschaft in de detectiekans van het monitoringsysteem bij de gekozen onderlinge afstanden van de meetpunten van 300 tot 1000 meter.

Voor het baggerspeciedepot is een geohydrologisch beheersplan opgesteld (Lit. 25). Dit beheersplan is niet direct gekoppeld aan het monitoringsysteem. De onderlinge afstand tussen de meetpunten van het huidige monitoringsysteem lijkt een effectieve aansturing van het geohydrologisch beheerssysteem te bemoeilijken.

### 3.3 Case C

#### 3.3.1 Inleiding.

De beschrijving van case C is gebaseerd op Lit. 31 - 35.

#### **Locatiegegevens**

Case C is een monitoringsysteem voor een bestaande stortplaats in Zuid-Holland. Deze stortplaats wordt beschouwd als een IBS-locatie en heeft geen voorzieningen in de betekenis van boven- en/of onderafdichtingen.

#### **Regionale bodemopbouw**

De ondergrond bestaat van maaiveld (NAP 0 m) tot ca. NAP -10 m uit een holocene pakket van oud-holocene klei- en veenlagen en jong-holocene zandige geulafzettingen (Westland Formatie). Onder het holocene pakket ligt het eerste watervoerende pakket met matig fijne tot matig grove zanden van de Formaties van Twente en Kreftenheye. Ter plaatse van de stortplaats heeft het pakket een dikte van 35 meter en een doorlaatvermogen van circa 1800 m<sup>2</sup>/dag.

Onder het watervoerende pakket bevindt zich een 10 meter dik pakket fijne slibhoudende zandlagen en kleilagen van de Formatie van Kedichem. De gemiddelde weerstand van deze laag bedraagt circa 10.000 dagen. De bovenkant van dit pakket wordt gezien als de geohydrologische basis.

In tabel 3.4 is een aantal geotechnische parameters van de locatie case C weergegeven.

Tabel 3.4 Overzicht van de geohydrologische opbouw en parameters op de locatie van case C.  $k_{hor}$  = horizontale hydraulische doorlatendheid,  $k_{vert}$  = verticale hydraulische doorlatendheid,  $kD$  = doorlaatfactor,  $c$  = hydraulische weerstand.

Table 3.4 *Geohydrological structure and parameters of Case C.*

Geohydrologische classificatie	diepte (NAP m)	$kD$ (m <sup>2</sup> /dag)	$c$ (dagen)
Stortpakket	+14 tot -2	1 tot 10	
Holocene deklaag (Westland	-1 tot -10		3.000 tot 4.000

formatie)			
Formaties van Twente en Kref- tenheye	-10 tot -45	1.800	
Formatie van Kedichem	dieper dan -45		10.000

### **Grondwaterstroming**

Het freatisch watervoerend pakket bestaat uit het stortmateriaal met daarin percolaat en wordt rechtstreeks door neerslag gevoed. De grondwaterstand varieert van NAP -1,8 m tot NAP 0,9 m en ligt gemiddeld op NAP. De stijghoogte in het eerste watervoerende pakket bedraagt gemiddeld NAP -3,6 m, zodat het stijghoogteverschil tussen het eerste watervoerende pakket en het freatisch pakket gemiddeld 3,6 meter bedraagt. Hiermee wordt de verticale stromingsnelheid (infiltratie) berekend op ongeveer 1 mm/dag. Het grondwater in het eerste watervoerende pakket stroomt ten noorden van het stort in noordelijke richting met een gradiënt van 1:5.000.

### **Activiteiten**

Op de stortplaats is huisvuil, puin en (illegaal) chemisch afval gestort. Er bestaat onvoldoende informatie over soort, hoeveelheid, concentratie en exacte ligging van de verontreiniging. Daarom wordt de stort als een black box benaderd, en wordt het risico van een emissie vanuit het stort overal even groot beschouwd.

#### 3.3.2 Organisatiestructuur

Initiatiefnemer van het monitoringsysteem op de locatie van Case C is de afdeling Bodemsanering van de provincie Zuid-Holland.

#### 3.3.3 Monitoringsysteem

##### 3.3.3.1 Doelstelling

De doelstelling van het monitoringsysteem is het tijdig signaleren van onacceptabele verontreinigingen in het watervoerende pakket teneinde de beheersmaatregelen te kunnen effectueren. Er is sprake van onacceptabele verontreinigingen als de gemeten concentraties significant afwijken van de lokale achtergrondwaarden.

##### 3.3.3.2 Toegepaste methodiek

In figuur 3.7 is de methodiek voor het ontwerp van het monitoringsysteem schematisch weergegeven.

### **Uitgangspunten**

Bij het opstellen van deze methodiek zijn de volgende uitgangspunten van toepassing geweest:

- de methodiek moet eenduidige kwantificeerbare resultaten leveren voor aantal peilbuizen, ligging van de peilbuizen, monitoringfrequentie, diepte van de filters, trefkans van het systeem en de kosten;
- de methodiek moet in veel voorkomende gevallen toepasbaar zijn;
- de methodiek wordt zoveel mogelijk geautomatiseerd ten behoeve van alternatief-verge-

lijking.

Figuur 3.7 Methodiek voor het ontwerp van monitoringsystemen voor case C (Lit. 32).  
*Figure 3.7 Methodology of the design of a monitoring system for Case C (Lit. 32).*

### **Benodigde gegevens**

Voor toepassing van deze methodiek bij het ontwerp van het monitoringsysteem zijn de volgende gegevens noodzakelijk:

- geohydrologische parameters van stort (emissiegebied), deklaag, eerste watervoerende pakket en geohydrologische basis
- geochemische en stoftransportparameters
- (potentiële) verontreinigingen; soort, concentraties en eigenschappen; selectie gids-

- parameter, signaalwaarde
- emissierisico's, lokale risicoverschillen.

De ontwerpmethodede is gebaseerd op het simuleren van potentiële verontreinigingsemissies. Hiertoe wordt vanuit het emissiegebied voor een groot aantal verontreinigingspluimen de migratie vanuit de stort door de deklaag naar het eerste watervoerende pakket in de tijd gevolgd. De trefkans in de monitoringzone wordt bepaald door de pluimen te projecteren over potentiële emissiepunten en te controleren of de pluimen één of meer monitoringpunten raken.

Deze trefkans is gekoppeld aan een bepaalde verontreinigingsvracht. Het functioneren van ieder alternatief monitoringsysteem wordt getest. Op basis van het programma van eisen kan een selectie van het monitoringsysteem worden gemaakt.

### **Berekeningssysteem**

Voor opslag en verwerking van gegevens van het monitoringsysteem is gebruik gemaakt van het ontwikkelde berekeningssysteem MODISCO. Hierin is de ontwerpmethodede onderverdeeld in een invoer-, verwerkings- en uitvoergedeelte.

Het invoerdeel bevat de volgende elementen:

- emissiegebied;
- emissiepunten (dichtheid en oriëntatie);
- geohydrologisch deelgebied;
- grondwaterstromingsrichting;
- vuilpluimen;
- monitoringpunten (vaste onderlinge afstand of flexibel);
- monitoringlijn (lijn door de monitoringpunten);
- monitoringgrens;
- observatiepunten (vaste onderlinge afstand of flexibel);
- observatielijn (lijn door observatiepunten);
- observatiegrens.

Deze elementen zijn in figuur 3.8 grafisch weergegeven in de layout van het monitoringsysteem van case C.

In het verwerkingsdeel projecteert MODISCO verontreinigingspluimen op de emissiepunten. Tijdens de projecties wordt bijgehouden of de verontreinigingspluim de monitoringlijn, -grens en -punten raakt, alsmede het aantal treffers en de status van de betreffende pluim. Er worden uitdunningscriteria toegepast om voor een gegeven trefkans het meest optimale netwerk vast te stellen.

Het model maakt voor de projectie van de pluimen gebruik van een verspreidingsscenario. Dit scenario wordt in twee delen berekend:

- neerwaartse verplaatsing door de deklaag met het stoftransportprogramma MOC<sup>em</sup>; doorbraakcurves voor verspreiding naar het eerste watervoerende pakket;
- horizontale verplaatsing in het watervoerende pakket met het stoftransportprogramma PLUIM; contourlijnen van de verontreiniging

Een korte beschrijving van de twee programma's is in bijlage 3 weergegeven.

Het berekeningssysteem heeft de volgende uitvoer:

- gesimuleerd functioneren van de diverse monitoringsystemen;
- berekende trefkans van iedere alternatief monitoringsysteem.

Figuur 3.8      Layout van het monitoringsysteem van Case C (Lit. 32).

Figuur 3.8      Layout van het monitoringsysteem van Case C (Lit. 32).

*Figure 3.8      Layout of the monitoring system of Case C (Lit. 32).*

### 3.3.3.3 Beschrijving van het monitoringsysteem

In deze paragraaf worden de uitgangspunten van het monitoringsysteem beschreven en wordt vervolgens een overzicht gegeven van de geselecteerde invoerparameters, het verspreidingscenario beschreven en de gevoeligheden van het monitoringsysteem vastgesteld. Uiteindelijk



worden de resultaten en de kosten van het monitoringsysteem gepresenteerd en wordt een korte beschrijving gegeven van het beslismodel dat het monitoringsysteem koppelt met het geohydrologisch beheersmodel.

### **Uitgangspunten**

Bij de opstelling van het monitoringsysteem zijn de volgende uitgangspunten gehanteerd:

- stroomafwaarts van de stortplaats wordt een controlezone van 120 meter aangehouden; hierin worden verontreinigingen geaccepteerd;
- deze zone ligt ruimschoots binnen de invloedssfeer van de beheersputten;
- het watervoerend pakket buiten de controlezone mag niet worden beïnvloed door verontreinigingen vanuit het stort;
- om deze reden mogen verontreinigingen de grens van de controlezone niet passeren;
- grondwater is verontreinigd als de signaalwaarde van een element in het grondwater is overschreden;
- voor het ontwerp van het monitoringsysteem is de signaalwaarde bepaald op een concentratie die groter is dan 95% van de geanalyseerde achtergrondconcentraties.

### **Invoer**

In de controlezone zijn twee meetzones geprojecteerd; de monitoringzone en de observatiezone (zie figuur 3.8). Doel van de observatiezone is om direct stroomafwaarts van de stort te signaleren indien grote emissies de controlezone binnenstromen.

Als invoer is gebruik gemaakt van de volgende gegevens:

Emissiegebied:	hele stort (met een groot aantal emissiepunten);
Geohydrologisch deelgebied:	twee deelgebieden vanwege de grotere afstand tussen (potentiële) emissiepunten en monitoringpunten in het westelijk deel;
Vuilpluimen:	isoconcentratielijnen van benzeen berekend met PLUIM (0,7 µg/l);
Monitoringlijn:	op 70 meter van het beheerssysteem, punten initieel op een onderlinge afstand van 20 meter;
Monitoringgrens:	op 30 meter van de monitoringlijn;
Observatielijn:	ten noorden van de Kromme Aar, punten initieel op een onderlinge afstand van 20 meter;
Observatiegrens:	op 30 meter van de observatielijn.

### **Verspreidingsscenario**

De berekeningen voor de monitoringzone zijn gebaseerd op een verontreinigingsscenario van één vat (met een verontreinigingsvracht van 285 gram benzeen) dat vanuit één emissiepunt gelijkmatig verdeeld over 1 jaar leegstroomt; de berekeningen voor de observatiezone op een verontreinigingsscenario van tien vaten (met een verontreinigingsvracht van 2850 gram benzeen). Het pad dat benzeen volgt wordt opgedeeld in een neerwaartse verplaatsing door de deklaag en een horizontale verspreiding in het eerste watervoerende pakket. Bij de verplaatsing door de deklaag is een "worst case"-situatie doorgerekend, waarbij is verondersteld dat verontreinigingen via een verticale zandbaan relatief snel in het eerste watervoerende pakket arriveren.

### **Gevoeligheid van de berekeningen**

Het model heeft een voorspellend karakter en streeft naar een zo goed mogelijke simulatie van de werkelijkheid. Bij de beschouwde stortplaats wordt dit beïnvloed door drie aspecten:

- 1) mate van inzicht in de verontreinigingssituatie;
- 2) mate van inzicht in emissieprocessen;
- 3) schematisatie van de werkelijkheid.

ad 1) statistische verantwoording van de verontreinigingssituatie wordt bemoeilijkt door de grote heterogeniteit van het stort;

ad 2) het ontwerp is uitgevoerd op basis van een "worst case"-benadering voor de verspreiding van toxische stoffen;

ad 3) bij schematisatie van de ondergrond zijn op basis van een "worst case"-benadering een aantal aannamen gedaan om het proces te kunnen modelleren.

### **Resultaten**

Op basis van een "trekkans" van een verontreiniging van 80 procent in de observatiezone en 100 procent in de controlezone is een monitoringsysteem ontwikkeld dat is weergegeven in figuur 3.9.

Figuur 3.9                      Ontwerp van het monitoringsysteem van case C (Lit. 32).  
*Figure 3.9                      Design of the monitoring system of Case C (Lit. 32).*

Het ontworpen monitoringsysteem bevat 5 monitoringputten in de observatiezone en 10 monitoringputten in de controlezone. De monitoringputten hebben een diepte van 45 meter en bevatten 7 filters met een filterlengte van 2 meter. Deze filters zijn aangebracht in het eerste watervoerende pakket. Figuur 3.10 geeft de filterstelling in een monitoringput weer. De grondwatermonsters worden n keer per jaar geanalyseerd op het in bijlage 2.4 beschreven analysepakket.

Figuur 3.10 Filterstelling in n meetpunt van het monitoringsysteem van case C (Lit. 32).

*Figure 3.10 Depth and length of filters in one measurement point of the monitoring system of Case C (Lit. 32).*

Om de grondwaterkwaliteit van het toestromende water te bepalen zijn stroomopwaarts van het stort eveneens drie peilbuizen geplaatst.

### Kosten

In tabel 3.5 zijn de berekende kosten van het monitoringsysteem weergegeven. Hierbij is een onderscheid gemaakt tussen investeringskosten en (jaarlijkse) exploitatiekosten. De jaarlijkse exploitatiekosten zijn in tabel 3.6 verder onderverdeeld.

Tabel 3.5 Berekende kosten van het monitoringsysteem van Case C (Lit. 32).

*Table 3.5 Calculated costs of the monitoring system of Case C (Lit. 32).*

Kosten	kosten (NLG)
Ontwikkelingskosten	geen gegevens verstrekt
Investeringskosten ( nmalig)	240.000
Exploitatiekosten (per jaar)	100.000

Tabel 3.6 Onderverdeling van de jaarlijkse exploitatiekosten van het monitoringsysteem van Case C (Lit. 32).

*Table 3.6 Subdivision of the yearly operational costs of the monitoring system of Case C (Lit. 32).*

Exploitatiekosten (per jaar)		100.000
analysekosten	108 monsters 500	54.000
onderhoud	5% van 240.000	12.000
rapportage en voortgangsoverleg		25.000
onvoorzien	10 %	9.000

### **Beslismodel**

Om het monitoringsysteem te koppelen aan het geohydrologisch beheerssysteem is een beslismodel opgesteld. Een algemeen criterium voor het beslismodel is dat bij overschrijding van een signaalwaarde het beheerssysteem wordt geoperationaliseerd.

Omdat de constatering dat er een overschrijding heeft plaats gevonden op een fout kan berusten, zal na circa n maand een eerste herbemonstering worden uitgevoerd. Als bij de herbemonstering wederom een overschrijding van de signaalwaarde wordt geconstateerd zal na circa 6 maanden een tweede herbemonsteringsronde worden uitgevoerd. Bij overschrijding van de signaalwaarde in de tweede herbemonsteringsronde wordt het geohydrologisch beheerssysteem gestart.

Het geohydrologisch beheerssysteem wordt reeds na 1 maand opgestart indien in de eerste herbemonsteringsronde de C-waarde wordt overschreden, of indien in de monitoringronde de

C-waarde is overschreden en in de eerste herbemonsteringsronde de signaalwaarde. Op basis van de monitoringsresultaten kan worden besloten het geohydrologisch beheerssysteem te stoppen.

### **Resultaten**

Het monitoringsysteem van de Coup polder bevindt zich momenteel in de startfase. Om deze reden zijn er op dit moment nog geen analyseresultaten beschikbaar.

#### 3.3.4 Evaluatie van de methodiek

De voor Case C toegepaste methodiek kan worden beschouwd als een methodiek die een detectiekans bepaalt op basis van expert-guesses. Het berekeningssysteem MODISCO biedt de mogelijkheid om met een meer stochastische benadering tot een ontwerp van een monitoringsysteem te komen. Voor de locatie van Case C is hiervan afgezien wegens gebrek aan inzicht in onder andere de verontreinigingssituatie en de variatie in geo(hydro)logische parameters. Om deze reden is een "worst case"-benadering toegepast.

De methodiek heeft een systematische aanpak en verschaft veel inzicht in de manier waarop het ontwerp van het monitoringsysteem tot stand is gekomen. Dit heeft als voordeel dat eenvoudig een aantal alternatieve systemen kunnen worden vergeleken.

In de methodiek wordt gebruik gemaakt van de term "trek kans". Deze trek kans is geldig onder voorwaarden van een aantal aannames, waaronder een veronderstelde verontreinigingsvracht, een twee-dimensionale benadering van het probleem en een doorrekening van een "worst case"-scenario van het transport door de deklaag. Deze "trek kans" wordt bepaald op de vooraf bepaalde monitoring- en observatielijn. De methodiek geeft geen inzicht in optimalisatie van de ligging van de monitoring- en de observatielijn, noch van de invloed die de verschillende aannames hebben op de grootte van de "trek kans".

Vanwege de tweedimensionale benadering van het probleem is het moeilijk de diepte van de filters en het aantal filters per meetpunt te bepalen. Er zijn ontwikkelingen om het probleem driedimensionaal te benaderen; hierdoor is het mogelijk de diepte van de filters en het aantal filters te optimaliseren. Nadeel van een driedimensionale benadering is de benodigde rekentijd en de extra onzekerheid over de waarde en de variatie van geo(hydro)logische parameters.

Het monitoringsysteem is gekoppeld aan een geohydrologisch beheerssysteem. Door het

monitoringsysteem onder te verdelen in een observatielijn en een monitoringlijn kan het gebruik van het geohydrologisch beheerssysteem worden geoptimaliseerd.

Het ontwerp van het monitoringsysteem voor de locatie van Case C moet worden beschouwd als een voorlopig ontwerp van het monitoringsysteem. Bij de implementatie van het monitoringsysteem kan op basis van bevindingen worden besloten wijzigingen aan te brengen in het voorgestelde systeem. Deze wijzigingen kunnen bestaan uit onder andere locatiewijzigingen van monitoringpunten, veranderingen in de diepte van filters en het aantal filters. Locatiewijzigingen van monitoringpunten kunnen weer worden ingevoerd in het model waarna een trefkans voor het definitieve ontwerp kan worden berekend.

## 4 DISCUSSIE

De methodieken die ten grondslag liggen aan het ontwerp van de monitoringsystemen voor de in hoofdstuk 3 beschouwde praktijkcases vallen in de categorie expert-guess/deterministisch (zie ook hoofdstuk 2). Binnen deze categorie kunnen de cases worden onderscheiden op basis van hun aanpak:

- case A: ontwerp op basis van deterministische beschrijving/expert-guess
- case B: ontwerp op basis van een systeemdefinitie
- case C: ontwerp op basis van bepaling van een detectiekans.

### 4.1 Beoordeling van de cases op basis van de toetsingscriteria

De wijze waarop tot het ontwerp van een monitoringsysteem is gekomen zal in dit hoofdstuk kwalitatief worden beoordeeld op de in paragraaf 2.2 geformuleerde toetsingscriteria. De criteria zijn in hoofdgroepen onderverdeeld in technische, organisatorische en economische criteria.

In tabel 4.1 zijn kwaliteiten aan de verschillende toetsingscriteria toegekend voor de methodieken van case A, B en C. In deze tabel is de beoordeling van case A gebaseerd op de toegepaste methodiek van het huidige monitoringsysteem; de toegepaste methodiek voor de opstelling van het plan voor het toekomstige monitoringsysteem is hierin niet opgenomen.

#### **Technisch criterium**

Het technisch criterium is opgebouwd uit een milieuhygi nisch, een aardwetenschappelijk en een civiel-technisch criterium.

Op het milieuhygi nisch criterium scoort de methodiek van case A relatief slecht omdat er geen inzicht wordt gegeven in de detectiekans van het monitoringsysteem. Dit geldt eveneens voor de methodiek van case B maar deze methodiek maakt gebruik van monitoring van een systeemdefinitie waardoor meer inzicht bestaat in de processen die tot de verspreiding van de verontreiniging leiden. Tevens houdt de methodiek van case B rekening met risicogebieden door op deze plaatsen de monitoring-intensiteit te verhogen. De bij case C toegepaste methodiek scoort milieuhyginisch relatief goed omdat er op basis van een aantal veronderstellingen ("worst case") een systeem wordt ontworpen dat voldoet aan een vooraf gestelde "trefkans".

Bij het aardwetenschappelijke criterium scoort de methodiek van case A neutraal. Er is gebruik gemaakt van een gedegen hoeveelheid aardwetenschappelijke informatie, maar het monitoringsysteem wordt niet op basis van variatie en/of onzekerheid in aardwetenschappelijke parameters bepaald. Case B scoort hierbij hoger omdat het monitoringsysteem deels is opgezet op basis van onzekerheid in aardwetenschappelijke parameters.

Case C scoort hier ook relatief goed; er is rekening gehouden met aardwetenschappelijke onzekerheden en er is een geohydrologische worst-case situatie doorgerekend.

Tabel 4.1 Kwalitatieve beoordeling van de methodieken van cases A, B en C op basis van toetsingscriteria.

Table 4.1 Qualitative classification of the methodologies of cases A, B and C based on the review criteria.

	Case A -1989-	Case B -1988-	Case C -1992-
Technisch	-/0	0	0/+
milieu	-/0	0/+	0/+
aardwetenschappelijk	0	0/+	0/+
civiel-technisch	0	-/0	0
Organisatorisch	-/0	0	+
systematische aanpak	-	0	+
koppeling met beheersmodel c.q. andere monitoringsystemen	-/0	0	0/+
Economisch	-	-	0
kostenanalyse monitoringsysteem	-	-	0/+
kosten-batenanalyse totale systeem	-	-	-/0

- negatief (niet beschouwd c.q. scoort slecht) / 0 neutraal / + positief

Bij het civiel-technisch criterium scoort A neutraal. De licht negatieve beoordeling van case B is gebaseerd op het feit dat de kans op uitvallen van een deel van het monitoringsysteem relatief groot is, aangezien een aantal meetpunten aan de binnenkant van het depot is gesitueerd en op termijn onbereikbaar wordt. De methodiek van case C scoort neutraal; positief is dat bij de opzet van het monitoringsysteem tevens direct wordt gekeken naar mogelijke toepassing voor een geohydrologisch beheerssysteem; negatief is het grote aantal peilbuizen per monitoringpunt.

#### **Organisatorisch criterium**

Op het organisatorisch criterium scoort case C duidelijk beter dan de twee overige methodieken. Deze beoordeling is gebaseerd op de systematische aanpak van het ontwerp waardoor de opzet van het monitoringsysteem makkelijk is te volgen. Eventuele toekomstige aanpassingen van het monitoringsysteem kunnen hierdoor relatief eenvoudig worden bewerkstelligd. Tevens maakt de directe koppeling met het geohydrologisch beheerssysteem de methodiek overzichtelijk.

Volgens de methodieken van de cases A en B zal bij het ontwerp van het monitoringsysteem de problematiek eveneens stapsgewijs zijn aangepakt maar bij deze methodieken wordt weinig inzicht verschaft in de overwegingen en aannames. Case B scoort organisatorisch iets beter



dan A omdat het probleem overzichtelijk wordt gemaakt doordat eerst een systeemdefinitie is opgesteld, die vervolgens wordt gemonitord.

De methodiek van case C koppelt het monitoringsysteem aan een beheerssysteem en scoort daarom relatief goed op het criterium "koppeling". Bij case A en B bestaan tevens overige monitoringsyste(m)en en/of een beheerssysteem of beheersplan; de koppeling met het monitoringsysteem van de grondwaterkwaliteit is bij case B minder duidelijk beschreven dan bij case C. Bij case A is deze koppeling niet aangeduid.

### **Economisch criterium**

De economische aspecten zijn in de beschouwde methodieken zijdelings opgenomen. Een afweging van de optimalisatie van het meetnet op basis van een kosten-analyse is alleen bij de methodiek van case C toegepast. Hierbij is echter alleen uitgegaan van een optimalisatie van de onderlinge afstand van het meetnet op een vooraf bepaalde controlelijn; ligging van de meetpunten ten opzichte van de (potentiële) verontreinigingsbron, aantal filters per meetpunt, diepte van de filters en het analysepakket worden niet in de kostenanalyse opgenomen. De methodieken van de cases A en B geven geen inzicht in de manier waarop een eventuele kostenanalyse van het monitoringsysteem is uitgevoerd. Een kosten-batenanalyse, waarin tevens de herstelkosten bij falen zijn opgenomen, ontbreekt bij alle beschouwde methodieken.

In paragraaf 2.3 is reeds aangegeven dat de praktijkcases mede op basis van de toegepaste methodiek, die als relatief goed kan worden gekenschetst, zijn gekozen. Op basis van de kwalitatieve beoordeling van de beschouwde cases dient opgemerkt te worden dat monitoring van (potentiële) risicolocaties zich vooralsnog, zowel in technisch als in beleidsmatig opzicht, in een ontwikkelingsstadium bevindt. Dit valt af te leiden uit het feit dat voor het ontwerp van monitoringsystemen specifieke kwaliteitsdoelstellingen ontbreken en in veel gevallen het monitoringsysteem en beheerssysteem niet geïntegreerd ontworpen zijn. Desalniettemin leveren de drie cases inzicht in de aanpak van het ontwerp van een monitoringsysteem en de mate waarin verschillende factoren en milieuhygiënische eisen invloed hebben op het ontwerp van het monitoringsysteem.

#### 4.2 Formulering van doelstellingen.2

#### Formulering van doelstellingen

Voor de drie cases geldt dat het monitoringsysteem een kwaliteitscontroleerende functie heeft. Bij twee van de drie beschouwde monitoringsystemen heeft de vergunninghouder een plan ontworpen op basis van een door de vergunningverlenende instantie opgesteld kwalitatief pakket van eisen. Dit plan is vervolgens, na eventuele correcties, omgezet in een vergunning met niet-flexibele middelvoorschriften. Deze vergunning moet worden beschouwd als een verwoording van de doelstelling van het monitoringsysteem.

Momenteel vindt (een discussie over) een verschuiving plaats van vergunningverlening op basis van (kwalitatieve) middelvoorschriften naar vergunningverlening op basis van (kwantitatieve) doelvoorschriften. Doelvoorschriften worden geformuleerd in de vorm van een detectiekans.

Doelvoorschriften kunnen sturend werken bij een methodieke keuze van een monitoringsysteem gezien het feit dat in deze voorschriften de minimaal te leveren prestatie van het monitoringsysteem is aangegeven. De doelstelling van het monitoringsysteem is direct van invloed op het ontwerp van het monitoringsysteem. Al naar gelang de complexiteit van de doelstelling wordt

het monitoringsysteem verfijnd. Alleen bij een kwantitatieve formulering van doelstellingen is het bij de ontwerpmethodiek mogelijk economische criteria inzichtelijk mee te laten wegen.

Ontwerpmethodieken gebaseerd op een kwantitatieve doelstelling worden nog betrekkelijk weinig toegepast. In het geval van case C is de doelstelling van het monitoringsysteem gekwantificeerd in de vorm van een "trefkans". Onder "trefkans" wordt de kans verstaan waarbij voor het gegeven ontwerp een emissie vanuit de risicolocatie leidt tot een te constateren verhoging van de signaalconcentratie. De trefkans is een rekenkundige parameter die geldt voor een gehanteerd verspreidings- en emissiemodel.

Een ontwerp voor een monitoringsysteem zou moeten worden getoetst aan de mate waarin het tegemoet komt aan de doelstelling. Het formuleren van de doelstelling in termen van "trefkans/kans op detectie" biedt de mogelijkheid een ontwerp te toetsen op objectieve kwaliteitscriteria. Hierbij dient de kanttekening te worden gemaakt dat indien de bij de ontwerpmethodiek toegepaste modellen sterk afwijken van de werkelijkheid, ervan moet worden uitgegaan dat ook de trefkans voor het ontworpen monitoringsysteem afwijkt van de kans op detectie voor het geïnstalleerde monitoringsysteem. Met andere woorden: om een monitoringsysteem te toetsen aan een kwantitatieve doelstelling is het noodzakelijk kwaliteitseisen te stellen aan de ontwerpmethodiek en de daarbij toegepaste modellen.

#### 4.3 Methodiekeuze.3 Methodiekeuze

De beschouwde methodieken voor het ontwerp van monitoringsystemen voor de grondwaterkwaliteit zijn gebaseerd op een deterministische beschrijving van grondwater- en stoftransportprocessen. De methodieken verschillen vooral in de systematiek van de aanpak en de detaillering van de aannames om tot een optimaal ontwerp te komen.

Bij de cases A en B is geen duidelijke afweging gemaakt tussen de toe te passen ontwerpmethodieken voor het monitoringsysteem; bij case C is hiernaar gekeken binnen de mogelijkheden van het model MODISCO. De formulering van doelstellingen geschiedde in hoofdzaak door de vergunninghouder binnen het kader van een opgesteld pakket van eisen van de kant van de vergunningverlenende instantie. Het niveau van en de toegankelijkheid tot de kennis en techniek ten tijde van de formulering van de doelstellingen, bij zowel vergunningverlenende instanties als de vergunninghouder, hebben geresulteerd in een voornamelijk kwalitatieve doelstelling en een ontwerp van een monitoringsysteem van de grondwaterkwaliteit op basis van een deterministische beschrijving van grondwater- en stoftransportprocessen.

In deze studie is gekeken naar een drietal criteria ter beoordeling van de opzet van de monitoringsystemen. Hieronder zal per criterium de rol bij de methodiekeuze worden bediscussieerd.

##### 4.3.1 Technisch criterium.3.1 Technisch criterium

In het ontwerp van de praktijkcases gaat de meeste aandacht uit naar de locatiekeuze van de monitoringpunten. Op basis van beschikbare kennis van het grondwaterstromingssysteem en de ondergrond worden de locaties van de peilbuizen vastgesteld. Bij case C heeft de onzekerheid over de locatie van het emissiepunt ook invloed op de configuratie van het monitoringnetwerk.

De filterdiepte, het analysepakket en de meetfrequentie zijn echter eveneens belangrijke

variabelen. De invulling van deze variabelen wordt mede bepaald door de (potentieel) aanwezige verontreinigende componenten, de grondwaterstroomsnelheid en de heterogeniteit van de ondergrond. Deze factoren hebben een grote invloed op de omvang en verspreiding van een in het grondwater opgeloste verontreiniging. In een watervoerend pakket zal de snelheidsvector van het grondwater voornamelijk horizontaal zijn gericht. In de buurt van de (potentiële) risicolocatie zal de filterstelling met name gericht moeten zijn op de top van het watervoerend pakket.

Alleen op grotere afstand van de locatie heeft het zin om de filterstelling naar beneden toe uit te breiden. Dit geldt niet voor componenten waarvan op basis van stoffeigenschappen mag worden aangenomen dat de stoffen zich verticaal verplaatsen of indien de heterogeniteit van de ondergrond dusdanig is dat dichtbij de risicolocatie een grote spreiding van een verontreinigingspluim te verwachten is.

De invloed van de heterogeniteit van de ondergrond op het verspreidingsgedrag is momenteel onderwerp van uitvoerig onderzoek. Op basis van experimentele resultaten en de ervaringen die bestaan op het gebied van monsternemingsstrategieën, ontwikkelt zich in steeds sterkere mate het besef dat, als gevolg van de onregelmatigheid van de ondergrond (variatie in doorlatendheid, afwezigheid of variabele dikte ondoorlatende lagen), de verspreiding van een grondwaterverontreiniging een grillig verloop kent. Dit geldt zowel in verticale als in horizontale richting. De (onzekerheid van de) heterogeniteit van de ondergrond moet daarom als een belangrijke ontwerpparameter van monitoringsystemen van de grondwaterkwaliteit worden beschouwd.

Bij de keuze van de bemonsteringsfrequentie moet rekening worden gehouden met het niet-stationaire, tijdsafhankelijke karakter van verspreiding van een grondwaterverontreiniging. Daarnaast speelt de snelheid van het te verwachten verspreidingsproces een rol. Het voorkomen van droge en natte seizoenen heeft zijn invloed op grondwaterstanden en debieten. Bij een cyclische variatie in grondwaterstanden dient een minimale frequentie van 2 monsternemingen per cyclus te worden aangehouden (Nyquist-frequentie) waarbij bij voorkeur tijdens de hoogste en laagste grondwaterstand wordt bemonsterd. Bovendien dient de bemonsteringsfrequentie te worden afgestemd op de snelheid waarmee het te monitoren verspreidingsproces plaatsvindt. Een optimale frequentie wordt bereikt indien het bemonsteringsinterval gelijk is aan de helft van de te verwachten tijd tussen het moment van emissie en het moment waarop door emissie de signaalconcentratie wordt overschreden (Lit. 2).

De praktijkcases en bovenstaande discussie zijn gebaseerd op een passief monitoringsysteem; nadeel van deze techniek is dat slechts een klein invloedsgebied wordt bemonsterd en dat de resultaten een momentopname zijn. Vanuit de praktijk bestaat heel duidelijk de behoefte om een representatiever beeld te krijgen van de verspreiding van de bodemverontreiniging.

Momenteel wordt hieraan via twee invalshoeken invulling gegeven. Enerzijds heeft Iwaco een actieve monitoringtechniek opgesteld. Met deze techniek wordt gedurende een periode continue grondwater uit een monitoringput onttrokken en over een adsorptie-unit geleid. Deze unit wordt in een laboratorium geanalyseerd. De analyseresultaten geven informatie over de gemiddelde concentratie van verontreinigingen. Omdat permanent grondwater wordt onttrokken, zijn de resultaten representatief voor een groter gebied rond de monitoringput. Om het toepassingsgebied van deze monitoringtechniek af te bakenen, is uitvoering van een aantal praktijktesten noodzakelijk. Anderzijds bestaat de mogelijkheid om met geofysische meetmethoden of sondeersystemen snel een indicatie te krijgen van de verspreidingspluim van de verontreiniging. Grondmechanica Delft heeft hiertoe de beschikking over onder andere de

chemosonde, de grondwatermonstersonde en de oliesonde.

Een geostatistische of stochastische benadering biedt het meeste succes bij het vaststellen van de invloed van de heterogeniteit van de ondergrond op het ontwerp van het monitoringnetwerk. Geostatistische technieken, waaronder relatief nieuwe technieken als indicator kriging en disjunctive kriging zijn vooral toepasbaar voor monitoringsystemen met een controlefunctie (Lit. 3). Bij het ontwerp van monitoringsystemen is tot op heden weinig gebruik gemaakt van geostatistische of stochastische modellen. De voornaamste reden hiervoor is dat voor deze benaderingswijze veel informatie beschikbaar moet zijn.

#### 4.3.2 Organisatorisch criterium

Voor het ontwerp van monitoringsystemen is het van belang dat de overwegingen die aan het ontwerp van het monitoringsysteem ten grondslag liggen eenvoudig kunnen worden geanalyseerd en dat eventuele toekomstige aanpassingen relatief gemakkelijk kunnen worden doorgevoerd. Hierdoor is een systematische aanpak van het ontwerp essentieel.

Ten behoeve van monitoring van de grondwaterkwaliteit passen Massmann en Freeze (Lit. 1, 2 en 4) een systematiek toe die uitgaat van maximalisatie van de huidige netto waarde van kosten en baten, waarbij risico's eveneens in kosten worden uitgedrukt. Doel van deze systematiek is de complexe interacties tussen onder andere technisch ontwerp, hydrogeologische omgevingsfactoren, economische factoren en wetgeving te integreren. Deze systematiek legt de nadruk vooral op het verbeteren van de overall-beslissing die aan het ontwerp van een monitoringsysteem ten grondslag ligt. Meyer en Brill (Lit. 3) hebben een methodiek ontwikkeld die geïntegreerd in de systematiek van Massmann en Freeze optimale monitoring alternatieven genereert.

Bij toepassing van een systematiek voor het ontwerp van een monitoringsysteem van de grondwaterkwaliteit is het van belang zich te realiseren dat monitoring van de grondwaterkwaliteit in veel gevallen niet op zichzelf staat maar een onderdeel is van een meervoudig monitoringsysteem. In de Leidraad Storten (Lit. 6) wordt monitoring bij stortplaatsen onderverdeeld in proces-gerichte, voorzieninggerichte en emissie-gerichte waarnemingen. Resultaten van proces-gerichte en/of voorzieninggerichte waarnemingen zijn in meer of mindere mate gecorreleerd aan de resultaten van emissie-gerichte waarnemingen en beïnvloeden hierdoor het ontwerp van emissie-gerichte monitoringsystemen. Hierdoor is het van belang bij de opzet van een meervoudig monitoringsysteem de interacties tussen de verschillende deelsystemen te beschouwen. Aan dit aspect is tot op heden relatief weinig aandacht geschonken.

Een monitoringsysteem wordt opgezet omdat de mogelijkheid niet wordt uitgesloten dat verontreinigingen zich in de bodem en/of het grondwater verspreiden. Als deze verontreinigingen een zekere grenswaarde overschrijden, zal het noodzakelijk zijn deze verontreiniging te beheersen en/of te verwijderen. Bij de ontwerpmethodiek van monitoringsystemen is het daarom essentieel om monitoring te koppelen aan beheersing/verwijdering. In case C wordt hieraan gedacht door in de ontwerpmethodiek van het monitoringsysteem een beslissingsmodel te introduceren, dat de resultaten van monitoring koppelt aan additionele monitoring-activiteiten en beheersing.

Een systematische aanpak van het monitoringsysteem vereenvoudigt de koppeling tussen technische en economische factoren en de introductie van stochastische benaderingen.

#### 4.3.3 Economisch criterium

De toegepaste kosten-batenanalyses beperken zich uitsluitend tot de kostenanalyse van mogelijke varianten van monitoringsystemen van de grondwaterkwaliteit (case C). Er zijn geen methodieken beschouwd die het monitoringsysteem van de grondwaterkwaliteit door middel van een kosten-baten-analyse tevens relateren aan overige monitoring- en/of beheerssystemen.

Een dergelijke analyse is moeilijk uitvoerbaar om de volgende redenen:

- de financiële consequenties van het falen van het systeem kunnen niet worden overzien, en slechts per locatie worden benaderd;
- (bestaande) methodieken dragen voor het grootste deel van de te monitoren situaties geen oplossingen aan om de combinatie parameterkeuze, filterdiepte, aantal filters en configuratie van het meetnet te optimaliseren;
- kosten-batenanalyses gaan slechts op voor één doelstelling; de doelstelling van een monitoringsysteem kan echter gedurende (de lange) doorlooptijd van een monitoringsysteem nog wijzigen.

#### 4.3.4 Methodieke keuze bij kwantitatieve formulering van doelstellingen. 3.4 Methodieke keuze bij kwantitatieve formulering van doelstellingen

Onderbouwing van de keuze van de ontwerpmethodiek van een monitoringsysteem is sterk afhankelijk van de mate van detaillering en/of kwantificering van de formulering van doelstellingen. De discussie om in de vergunningverlening over te gaan van (kwalitatieve) middelvoorschriften naar (kwantitatieve) doelvoorschriften is zeer actueel. Doelvoorschriften gaan uit van een kans op niet-detecteren van een verontreiniging. Bij toepassing van doelvoorschriften komen twee problemen naar voren; ten eerste het ontbreken van eenduidigheid in de definitie detectiekans c.q. trefkans en ten tweede het gebrek aan inzicht in de relatie detectiekans/kosten om een detectiekans te onderbouwen.

Bij een kwantitatieve formulering van doelstellingen zal de ontwerpmethodiek worden geselecteerd op basis van de gewenste detectiekans van een systeem (weergegeven in of vertaald uit de doelstelling). Uit figuur 2.1 van hoofdstuk 2 valt af te leiden dat de gewenste detectiekans van een verontreiniging afhankelijk is van de volgende factoren:

- omgevingsfactoren;
- het verspreidingspad;
- risico, aard en omvang van verontreiniging;
- de benodigde onderzoekskosten om de detectiekans te onderbouwen;
- de kosten bij niet-detecteren.

De vergunningverlenende instantie zal zich bij het definiëren van de gewenste detectiekans vooral baseren op omgevingsfactoren, verspreidingspad en risico, aard en omvang van de verontreiniging. De kosten van niet-detecteren spelen hierbij een secundaire rol. De vergunninghouder is vooral geïnteresseerd in de kosten van het monitoringsysteem en de kosten bij niet-detecteren. Bij een kwantitatieve formulering van doelstellingen zal de vergunninghouder de ontwerpmethodiek baseren op de gewenste detectiekans, tenzij de vergunninghouder op

economische (en/of sociale) gronden beslist tot een ontwerp met een grotere detectiekans.

Voor te monitoren locaties waar de benodigde onderzoekskosten om een detectiekans te onderbouwen niet opwegen tegen het extra nut om inzicht te krijgen in deze detectiekans, is het raadzaam de doelstelling kwalitatief te formuleren in middelvoorschriften. Deze middelvoorschriften dienen dan wel afgeleid te zijn van richtlijnen, opgesteld op basis van een kwantitatief geformuleerde doelstelling voor een grotere groep te monitoren locaties. Dit geldt met name voor veel voorkomende (kleinere) te monitoren locaties met een vergelijkbare verontreinigingssituatie. Hierbij kan worden gedacht aan bijvoorbeeld pompstations.

#### 4.3.5 Methodieke keuze bij afwijkende locaties

De praktijkcases in deze studie betreffen vlakken waar over het hele terrein een potentiële bodemverontreiniging kan optreden. Voor deze locaties lijken stochastische methodieken, gebaseerd op (onder andere) monitoring van de grondwaterkwaliteit het beste perspectief te bieden. Voor andere te monitoren locaties c.q. objecten zoals transportleidingen, rioleringen en ondergrondse tanks lijkt monitoring van de grondwaterkwaliteit een dure methodiek. Voor deze locaties c.q. objecten wordt reeds gemonitord met lekdetectietechnieken. Deze technieken bevinden zich momenteel in een ontwikkelingsstadium. Vanuit beheersoogpunt is de ontwikkeling van relatief goedkope technieken zoals lekdetectiesystemen en EWS-technieken (early warning systems) van groot belang.

#### 4.4 Beleidsrelevantie

Monitoring is een beleidsinstrument om gebruik en beheer van de bodem en het grondwater te koppelen. Onder beleidsrelevantie van monitoringsystemen wordt de vraag verstaan wanneer en hoe aan dit beleidsinstrument invulling moet worden gegeven. Dit beleidsinstrument kan hiertoe op twee niveaus worden beschouwd; beleidsontwikkeling en beleidsuitvoering. De beleidsontwikkeling moet hierbij voornamelijk worden gezien op het niveau van centrale en provinciale overheden. De beleidsuitvoering bestaat voornamelijk uit vergunningverlening en bevindt zich vooral op het niveau van provinciale en regionale overheidsorganisaties.

Het beleidsinstrument "monitoring" kan vanuit twee invalshoeken worden bekeken; milieuhygienisch en economisch. Vanuit milieuhygienisch oogpunt is het doel van monitoringsystemen om de risico's van het ontstaan c.q. uitbreiden van (potentiële) verontreinigingen van bodem en grondwater voor milieu en volksgezondheid te minimaliseren. Uit economisch oogpunt worden monitoringsystemen opgezet om een verontreiniging in een vroegtijdig stadium te signaleren en op deze manier de kosten van een sanering te minimaliseren.

Bij het falen van een monitoringsysteem zijn de te nemen saneringsmaatregelen over het algemeen kostbaar, en kan de terreineigenaar worden geconfronteerd met sancties van de overheid. De overheid loopt op haar beurt het risico de kosten van een deel van de saneringsmaatregelen te moeten dragen als blijkt dat de terreineigenaar niet bij machte is de saneringsoperatie te financieren. Hieruit blijkt dat zowel de terreineigenaar als de overheid behoefte hebben aan een gedegen monitoringsysteem; een monitoringsysteem waarbij de kosten en de baten van het systeem tegen elkaar kunnen worden afgewogen.

Zo een monitoringsysteem is slechts mogelijk als de ontwerpmethodiek van een monitoringsysteem is gebaseerd op een kwantitatieve doelstelling (doelvoorschriften) van het monitoring-

systeem en bovendien in staat is de kosten en baten van het systeem te definiëren. Kwantificering van een detectiekans volgend uit een kwantitatieve doelstelling kan slechts gebeuren onder het maken van een aantal aannames. De onzekerheid van deze aannames kan niet of zeer moeilijk worden gekwantificeerd. Hierdoor hebben beleidsuitvoerende instanties moeite het gebruik van doelvoorschriften in de praktijk ten uitvoer te brengen. Beleidsontwikkeling heeft behoefte aan meer inzicht in de (on)mogelijkheden van het gebruik van doelvoorschriften voor het ontwerp van monitoringsystemen, de praktische toepasbaarheid hiervan en de mogelijkheden om ontwerpmethodieken aan deze doelstellingen te toetsen.

Op korte termijn lijken kwantitatieve doelstellingen slechts haalbaar voor grotere, complexere te monitoren locaties. Voor veel voorkomende locaties met een vergelijkbare (potentiële) verontreiniging, zoals bijvoorbeeld pompstations, is het van belang dat relatief snel en goedkoop een goed functionerend monitoringstelsel zal worden ontworpen. Beleidsuitvoerende instanties hebben hiervoor behoefte aan eenduidige richtlijnen. Deze richtlijnen kunnen worden gebaseerd op één te formuleren kwantitatieve doelstelling voor alle betrokken locaties.

Tevens blijkt dat de beleidsuitvoerende instanties moeite hebben de resultaten van het monitoringstelsel te beoordelen. Dit wordt veroorzaakt doordat vooraf niet duidelijk is bij welke resultaten van het monitoringstelsel (welke) additionele monitoringacties en/of beheersmaatregelen moeten worden genomen. Een beslismodel, een procedure waarin wordt beschreven bij welke resultaten welke acties moeten worden genomen, zoals bijvoorbeeld bij praktijkcase C is toegepast is een essentiële hulp bij de interpretatie van monitoringresultaten. Om deze reden dient een beslismodel een onderdeel te vormen van ieder monitoring- en beheersstelsel.

Een monitoringstelsel van de grondwaterkwaliteit is in de meeste gevallen gebaseerd op monsterneming in peilbuizen. Er is echter nog weinig onderzoek verricht naar de nauwkeurigheid en de representativiteit van de puntmetingen van verontreinigingen in peilbuizen. De nauwkeurigheid van de puntmetingen wordt bepaald door de nauwkeurigheid en de exactheid van de bemonsterings- en analysemethoden. De representativiteit van de puntmeting wordt beïnvloed door processen die in het meetpunt (de peilbuis) kunnen plaatsvinden, en die niet representatief zijn voor de processen in de geo(hydro)logische laag. Hierdoor kunnen in de peilbuis concentraties worden gemeten die sterk afwijken van de werkelijke situatie. Ten behoeve van de uitwerking van kwantitatieve doelstellingen zal nader onderzoek moeten worden uitgevoerd naar de representativiteit van puntmetingen.

Het monitoringstelsel van de grondwaterkwaliteit zal bij een (groot) deel van de in de toekomst te monitoren locaties slechts een onderdeel vormen van een totaal monitoringstelsel. Hierbij valt te denken aan onder andere monitoring van percolaat, oppervlaktewater en lekdetectiesystemen. Het is zowel voor de beleidsuitvoering als voor de beleidsontwikkeling van groot belang dat het ontwerp van een monitoringstelsel van de grondwaterkwaliteit niet als een onafhankelijk probleem wordt gezien maar wordt geïntegreerd in het totale monitoring- en beheersstelsel.

Het beleidsinstrument monitoring bevindt zich momenteel in een ontwikkelingsstadium. Bij de methodieke keuze moet daarom rekening worden gehouden met veranderingen die zich in de tijd kunnen afspelen. Daarom is het van belang dat methodieken organisatorisch zo worden opgezet dat aanpassing in de doelstelling makkelijk kunnen worden doorgevoerd en eenvoudig kunnen leiden tot een aanpassing van een monitoringstelsel.

In het bronnenonderzoek (Lit. 3) en in voorliggende studie is getracht beleidsontwikkeling en -uitvoering meer inzicht te verschaffen in de stand van zaken bij operationele monitoringsystemen, de ontwerpmethodieken van monitoringsystemen en de toepasbaarheid van de methodieken voor te monitoren locaties. Hierbij is tevens naar voren gekomen dat voor het beleid ten aanzien van het ontwerp van monitoringsystemen de volgende aspecten relevant zijn en nadere uitdieping behoeven:

#### **beleidsontwikkeling**

- integratie van (meervoudige) monitoring- en beheerssystemen;
- inventarisatie van de ontbrekende kennis om tot een optimale opzet van een monitoring- en beheerssysteem te komen en opstellen van beleidsstandpunten ten aanzien van de onderzoekbehoefte;
- beleidsstandpunten over de formulering van doelstellingen van monitoring- en beheerssystemen;
- beleidsstandpunten over de rol van de overheid bij het ontwerp van monitoring- en beheerssystemen;
- uitdragen/omschrijven van beleidsstandpunten ten behoeve van de beleidsuitvoerende instanties in de vorm van richtlijnen;

#### **beleidsuitvoerende instanties**

- op basis van de beleidsstandpunten doelstellingen voor (te ontwerpen) monitoring- en beheerssystemen kunnen formuleren;
- sturing geven aan de keuze van de ontwerpmethodieken;
- voorlichting geven over de (onderbouwing van de) beleidsontwikkeling op het gebied van monitoring;
- beoordelen van het monitoring- en beheerssysteem aan de doelstelling;
- beoordelen van de resultaten van het monitoringsysteem en het eventueel nemen van maatregelen.

Vanuit beleidsontwikkeling kunnen de volgende punten van nader onderzoek worden overwogen:

- stimulering van nieuwe monitoringtechnieken en ontwerpmethodieken;
- voortgaand onderzoek naar de toepasbaarheid van ontwerpmethodieken;
- onderzoek naar de mogelijkheden om monitoring en beheersing te integreren;
- nader onderzoek naar effectiviteit van meervoudige monitoringsystemen, zowel op technische als economische aspecten;
- nader onderzoek naar de mogelijkheden en randvoorwaarden van kwantitatieve formulering van doelstellingen;
- stimulering van de modelontwikkeling;
- onderzoek naar de nauwkeurigheid en de representativiteit van puntmetingen van de verontreinigingen in peilbuizen.

De interactie tussen beleidsontwikkeling en beleidsuitvoering kan worden verbeterd door:

- goede communicatie tussen de praktijk en de beleidsontwikkeling/onderzoek;
- het opstellen van richtlijnen ten behoeve van de formulering van doelstellingen;
- het opstellen van richtlijnen ten behoeve van eenduidige procedure-vorming, bijvoorbeeld in de vorm van een basismethodiek;
- opstellen van richtlijnen voor ontwerpmethodieken (middelvoorschriften) voor veel



voorkomende te monitoren locaties.

## 5 CONCLUSIES

### 5.1 Doelstelling

De mate van detaillering van doelstelling(en) van een monitoringsysteem hangt sterk af van het niveau van de techniek en de beschikbare kennis ten tijde van het ontwerp.

De doelstelling van de drie onderzochte monitoringsystemen van de grondwaterkwaliteit is op basis van een voorgeschreven kwalitatief pakket van eisen grotendeels geformuleerd door de vergunninghouder, en vastgelegd in een vergunning met middelvoorschriften.

Momenteel vindt een discussie plaats over verschuiving van vergunningverlening op basis van (kwalitatieve) middelvoorschriften naar vergunningverlening op basis van (kwantitatieve) doelvoorschriften.

Beleidsuitvoerende instanties hebben moeite om ontwerpen van monitoringsystemen aan kwantitatieve doelstellingen te toetsen omdat in de ontwerpmethodieken kwantificering van een detectiekans alleen plaats kan vinden onder het maken van een aantal (nog) door onbekende zekerheid omgeven aannames.

### 5.2 Methodieken

#### **Algemeen**

Ontwerpmethodieken van monitoring- en beheerssystemen van de grondwaterkwaliteit bevinden zich in een ontwikkelingsstadium.

Voor de onderzochte drie cases geldt dat de monitoringsystemen van de grondwaterkwaliteit hoofdzakelijk op basis van een expert-guess zijn ontworpen.

De methodieken van de vergeleken cases onderscheiden zich voornamelijk op het gebied van de systematiek van de aanpak.

#### **Technische aspecten**

Bij de beschouwde cases ligt de nadruk op de configuratie van het meetnet; optimalisatie van het analysepakket en de filterstelling is hieraan ondergeschikt.

Over de nauwkeurigheid en de representativiteit van de puntmeting in een peilbuis (passieve monitoring) is weinig bekend; dit werkt uiteindelijk door in de werkelijke effectiviteit van het monitoringsysteem van de grondwaterkwaliteit.

Introductie van geostatistische en stochastische technieken en modellen bevindt zich in een ontwikkelingsstadium. Voor monitoring van de verspreiding van de verontreiniging vereist deze benaderingswijze veel informatie, maar indien voldoende gegevens beschikbaar zijn, vormen genoemde technieken en modellen een krachtig gereedschap.

#### **Economische aspecten**

De in de beschouwde cases toegepaste kosten(/baten)analyses beperken zich uitsluitend tot de kostenanalyse van mogelijke varianten van monitoringsystemen van de grondwaterkwaliteit.

In de onderzochte cases wordt geen kosten-batenanalyse uitgevoerd waarbij het falen van het systeem wordt betrokken (monitoring en beheersing/sanering). Voor optimalisatie van het bodembeheer is het noodzakelijk inzicht te hebben in de scenario's die kunnen leiden tot falen, de kans op falen en de kosten die hieraan zijn gerelateerd.

Een kosten-batenanalyse kan slechts op ruwe schattingen zijn gebaseerd omdat de financiële consequenties van het falen van het systeem moeilijk kunnen worden overzien.

### **Organisatorische aspecten**

Uit de beschouwde cases blijkt dat monitoringsystemen van de grondwaterkwaliteit sterk op zichzelf staan, en slechts in geringe mate zijn gekoppeld aan overige monitoring- en beheerssystemen.

Integratie van monitoring- en beheerssystemen is noodzakelijk. Bij de methodieke keuze moet hiermee rekening worden gehouden.

De meeste aanbevelingen zijn bedoeld voor zowel de beleidsontwikkeling als voor beleidsuitvoerende instanties. Om deze reden is er bij het opstellen van de aanbevelingen geen nadere onderverdeling tussen beleidsontwikkeling en beleidsuitvoering te maken.

### **Formulering van doelstellingen**

Het is aan te bevelen een beleid te formuleren voor het totale monitoring- en beheerssysteem, en niet voor individuele monitoringsystemen.

Het beleid moet door beleidsuitvoerende instanties worden verwoord in doelstellingen van monitoring- en beheerssystemen. Om een eenduidige formulering van doelstellingen van monitoring- en beheerssystemen te garanderen, moeten vanuit de beleidsontwikkeling richtlijnen worden opgesteld.

Richtlijnen voor de formulering van doelstellingen moeten aangeven:

- van welke factoren de formulering van doelstellingen afhankelijk is
- wanneer kan worden afgezien van doelvoorschriften
- aan welke middelvoorschriften in dergelijke gevallen moet worden voldaan
- bij doelvoorschriften aangeven welke detectiekans in welke omstandigheden acceptabel is.

Voor veel voorkomende (kleinere) te monitoren locaties met een vergelijkbare verontreinigingssituatie, zoals bijvoorbeeld pompstations, lijken ontwerpmethodieken op basis van (kwantitatieve) doelvoorschriften te kostbaar. Voor deze locaties is het raadzaam de doelstelling kwalitatief te formuleren in middelvoorschriften. Deze middelvoorschriften dienen dan wel afgeleid te zijn van een kwantitatief geformuleerde doelstelling voor een grotere groep te monitoren locaties.

### **Methodiek(keuze)**

De ontwerpmethodiek voor monitoringsysteem van de grondwaterkwaliteit moet niet op zichzelf staan maar onderdeel vormen van een methodiek waarin overige monitoring- en beheerssystemen zijn opgenomen.

Koppeling van monitoringsystemen onderling en van monitoringsystemen aan beheerssystemen kan plaatsvinden middels een beslismodel; een procedure die aangeeft welke acties moeten worden ondernomen op resultaten van monitoring.

Een beslismodel moet zo worden opgesteld dat dit makkelijk kan worden bijgesteld aan nieuwe geohydrologische of toxicologische inzichten en/of maatschappelijke normen.

Er moet worden gewerkt aan een eenduidige (basis)methodiek waaraan methodieken voor monitoring- en beheerssystemen moeten voldoen. De (basis)methodiek moet in modulevorm worden opgebouwd; afhankelijk van de formulering van doelstellingen, de aard van de (potentiele) verontreiniging, de grootte van de locatie, de geohydrologische opbouw en de omgevingsfactoren wordt beslist welke (deel)methodiek moet worden toegepast.

Deze methodiek dient zo te worden opgesteld dat aanpassingen in de tijd als gevolg van herformulering van de doelstelling, vernieuwde toxicologische inzichten, etcetera, eenvoudig kunnen worden opgenomen.

Bij een ontwerp van een monitoringsysteem moet worden aangegeven op welke gronden de ontwerpmethodiek is geselecteerd. Beleidsuitvoerende instanties kunnen sturing geven aan de keuze van de ontwerpmethodieken. Toepassing van nieuwe monitoringstechnieken en ontwerpmethodieken moet worden gestimuleerd.

### **Nieuwe locaties**

Monitoringsystemen dienen in de kosten-batenanalyse bij locatiekeuze en ontwerp van (potentieel) verontreinigende activiteiten te worden betrokken. Bij een inventarisatie van locatiegegevens dient rekening te worden gehouden met de voor de opzet van het monitoringsysteem benodigde gegevens.

### **Onderzoek**

De mogelijkheden en randvoorwaarden van kwantitatieve formulering van doelstellingen behoeven nader onderzoek.

Aanvullend onderzoek naar de toepassingsmogelijkheden en de randvoorwaarden voor toepassing van probabilistische, geostatistische en stochastische technieken is noodzakelijk. Bij de opzet moet rekening worden gehouden met de toegankelijkheid van de resultaten voor ontwerpers en beslissers van monitoring- en beheerssystemen.

De ontwikkeling van geochemische transportmodellen moet verder worden gestimuleerd; hierbij moet worden gedacht aan verbeteringen op het gebied van microbiële processen, heterogeniteitseffecten, ontwikkeling van stochastische modellen en modelvalidatie. Door een beter inzicht in de toepassingsmogelijkheden van modellen wordt het gebruik van, en de toetsing aan doelvoorschriften vereenvoudigd.

De nauwkeurigheid, representativiteit en effectiviteit van puntmetingen van de verontreinigingen in peilbuizen (passieve monitoring), van continue-metingen (actieve monitoring) en van snelle in-situ meetsystemen zoals de chemosonde en de grondwatermonstersonde is relatief weinig bekend en behoeven nader onderzoek. Hiertoe dient op praktisch schaal een onderzoek te worden opgezet.

Nader onderzoek naar de optimale bemonsteringsfrequentie is gewenst; hierbij moet de aandacht liggen op de integrale optimalisatie van de configuratie van het netwerk met de bemonsteringsfrequentie, en de gevoeligheid van de meetreeks voor seizoensinvloeden. Bij het optimaliseren van de bemonsteringsfrequentie kan gebruik worden gemaakt van technieken voor tijdreeksanalyse.

Monitoringsystemen zijn in veel gevallen meervoudig. Bij stortplaatsen worden monitoringactiviteiten bijvoorbeeld onderverdeeld in proces-gerichte, voorzieninggerichte en emissie-gerichte monitoring. Over de effectiviteit van meervoudige monitoringsystemen is relatief weinig bekend. Dit punt behoeft onderzoek op zowel technische als economische aspecten.

Monitoring bevindt zich zowel met de formulering van doelstellingen als met het ontwerp van monitoringsystemen in een ontwikkelingsstadium. Nieuwe monitoringstechnieken kunnen het doorlopen van het ontwikkelingsstadium aanmerkelijk versnellen. Onderzoek naar nieuwe technieken en naar toepassingsmogelijkheden van bestaande technieken moet worden gestimuleerd. Hierbij kan bijvoorbeeld worden gedacht aan *in situ* meettechnieken, lekdetectiesystemen en de zogenaamde EWS-technieken (early warning systems).

## 7 REFERENTIES

- Lit. 1 Freeze, R.A., J. Massmann, L. Smith, T. Sperling, and B. James (1990); Hydrogeological decision analysis: 1. A framework. *Ground Water* vol. 28, no. 5, pp. 738-766.
- Lit. 2 Freeze, R.A., B. James, J. Massmann, T. Sperling, and L. Smith (1992); Hydrogeological decision analysis: 4. The concept of data worth and its use in the development of site investigation strategies. *Ground Water* vol. 30, no. 4, pp. 574-588.
- Lit. 3 Grondmechanica Delft (1993); Topping-up monitoring en controle, bronnenonderzoek. In opdracht van: Programmabureau Speerpuntprogramma Bodemonderzoek.
- Lit. 4 Massmann, J., and R.A. Freeze (1987b); Groundwater contamination from waste management sites: the interaction between risk-based engineering design and regulatory policy. 2. Results. *Water Resour. Res.*, vol. 23, no. 2, pp. 368-380.
- Lit. 5 Meyer, P.D., and E.D. Brill, Jr (1988); A method for locating wells in a ground-water monitoring network under conditions of uncertainty. *Water Resour. Res.*, vol. 24, no. 8, pp. 1277 - 1282.
- Lit. 6 Ministerie van VROM (1993); Leidraad stort-en.
- Lit. 7 Ministerie van VROM (1993); Richtlijn drainagesystemen en controlesystemen grondwater voor stort- en opslagplaatsen.
- Lit. 8 Staritsky, I.G. (1993); Variabiliteit van de bodemverontreiniging en de consequenties voor risicoafweging, proceedings van de workshop.

### Case A

- Lit. 11 Eindplan Gulbergen, concept bijlage bodem en water. Bijlagen bij Milieu-effectrapport, Projectnr.: 7176-45439, juli 1991.
- Lit. 12 Grondmechanica Delft (1988); NV RAZOB, be nvloeding grondwaterkwaliteit, NV Regionale Afvalverwerkingsmaatschappij Zuid-Oost Brabant, CO-294030/19.
- Lit. 13 Grondmechanica Delft (1990); Uitwerkingsstudie geohydrologische isolatie en bovenafdichting NV Regionale afvalverwerkingsmaatschappij Zuid-Oost Brabant, CO-303690/13.
- Lit. 14 Grondmechanica Delft (1990); Uitwerkingsstudie geohydrologische isolatie en bovenafdichting voor de terreinen van de NV RAZOB en NV VAM te Nuenen/Mierlo, NV Regionale afvalverwerkingsmaatschappij Zuid-Oost Brabant, CO-303690/41.
- Lit. 15 Maatregelen ter bescherming van het milieu, II.A. Water en bodem, onderdeel van de in het kader van de voormalige Afvalstoffenwet afgegeven vergunning.

- Lit. 16 TauwInfra Consult B.V.; rapportnr. 3142477, pagina 43-77.
- Lit. 17 TauwInfra Consult B.V.; rapportnr. 3151662/R03, pagina 7-13, 71-75.
- Lit. 18 Waterschap de Dommel, WVO-vergunning voor het brengen in oppervlaktewater van afvalstoffen, schadelijke of verontreinigende stoffen.
- Lit. 19 Schriftelijke informatie RAZOB (1993).

### **Case B**

- Lit. 21 Rotterdam gemeente, Rijkswaterstaat, Rijnmond openbaar lichaam (1984); Projectnota/Milieu-effectrapport; grootschalige locatie voor de berging van baggerspecie uit het benedenrivierengebied.
- Lit. 22 Rotterdam gemeente, Rijkswaterstaat, Rijnmond openbaar lichaam (1984); Geotechnisch onderzoek; grootschalige locatie voor de berging van baggerspecie uit het benedenrivierengebied.
- Lit. 23 Rotterdam gemeente, Rijkswaterstaat, Rijnmond openbaar lichaam (1984); Verspreidingsprocessen; Verspreiding van water en verontreinigingen vanuit het depot in de ondergrond; grootschalige locatie voor de berging van baggerspecie uit het benedenrivierengebied.
- Lit. 24 Rotterdam gemeente, Rijkswaterstaat (1987); Monitoringsysteem grootschalige locatie; grootschalige locatie voor de berging van baggerspecie uit het benedenrivierengebied.
- Lit. 25 Rotterdam gemeente, Rijkswaterstaat (1987); Hydrologisch beheerssysteem grootschalige locatie; grootschalige locatie voor de berging van baggerspecie uit het benedenrivierengebied.
- Lit. 26 Rotterdam gemeente, Rijkswaterstaat (1992); Monitoring grondwater Slufter, jaarrapportage 1991.
- Lit. 27 Rotterdam gemeente, Rijkswaterstaat; Overeenkomst grootschalige locatie.

### **Case C**

- Lit. 31 Canter Cremers, I., T.E. Hoencamp en M.C.L. Tusveld (1993); Uniformering monitoringsystemen voor verontreinigde terreinen. In: Bodem; nummer 2 - mei 1993.
- Lit. 32 Iwaco, adviesbureau voor water en milieu (1992); Onderzoek monitoring en beheersmaatregelen stort Coup polder Alphen aan den Rijn, deelrapportage fase 4, ontwerp monitoringsysteem en technisch beslismodel.
- Lit. 33 Ouboter, P.S.H. (1993); Monitoring bij bodembeheer in de toekomst. Studiedag

Nederlands Studie Centrum - 20 januari 1993.

- Lit. 34 Satijn, H.M.C. (1993); Monitoring in het kader van bodembeheer. Studiedag Nederlands Studie Centrum - 20 januari 1993.
- Lit. 35 Tusveld, M.C.L. (1993); Geautomatiseerde ontwerpmethode voor monitoringsystemen rondverontreinigde locaties (nog te publiceren in H<sub>2</sub>O).





Bijlage 1 Pakket van eisen van case A.

Het voor case A op te stellen plan diende de volgende onderdelen bevatten:

- een voorstel voor aantal, plaats, diepten en constructie van deze waarnemingsputten
- voorstel om binnen een half jaar na vergunningverlening te komen tot inrichting en instandhouding van waarnemingsputten voor het nemen van grondwatermonsters en het waarnemen van grondwaterstanden
- een voorstel voor de wijze waarop de waterstand in deze putten moet worden gemeten.

Bijlage 2 Overzicht van de analysepakketten en de bemonsteringsfrequentie van het huidige monitoringstelsel van case A (Lit 19).

element	analysepakket					
	1	2	3	4	5	6
T.O.C.				*	*	
CZV	*	*		*	*	*
pH	*		*	*	*	*
geleidbaarheid						*
hardheid				*	*	
Cl <sup>-</sup>				*	*	
NH <sub>3</sub>				*	*	
N-kj	*	*		*	*	
PO <sub>4</sub>				*	*	
HCO <sub>3</sub>				*	*	
BZV5					*	*
BETX		*			*	*
EOCl		*				*
VOCl		*				*
M.O.					*	*
vluchtige fenolen		*			*	
PAK (epa)					*	
PAK (VROM)		*				
SO <sub>4</sub>					*	
S					*	
CN (totaal complex)		*			*	
zware metalen; Cu, Zn	*	*	*		*	*
zware metalen; Cd, Cr, Ni, Pb, Hg, As		*	*		*	*
zware metalen; Sb, Co, Sn, Se, Mg, Tl			*			
zwevende deeltjes						*

analysepakket 1: percolaat (5 x per week)

analysepakket 2: punten A t/m E (4 x per jaar)

analysepakket 3: punt F byzabak (4 x per jaar)

analysepakket 4: grondwater rondom stort (2 x per jaar)

analysepakket 5: grondwater rondom stort (2 x per jaar), drainageleidingen (4 x per jaar)

analysepakket 6: ringsloot (4 x per jaar)

Bijlage 3 Overzicht van het analysepakket en de bemonsteringsfrequentie van het voorgestelde monitoringsysteem van case A (Lit. 19).

element	analysepakket 1	analysepakket 2
CZV	*	*
pH	*	*
Geleidbaarheid	*	*
Anorganische verbindingen		
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	*	*
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	*	*
Cl <sup>-</sup>	*	*
Zwaremetalen	*	*
CN		*
Fenolen		*
Aromatische oplosmiddelen		*
Pak (totaal)		*

**Bemonsteringsfrequentie**

De diepepeilbuizen dienen tweekeerper jaarte worden geanalyseerd op analysepakket 1.

De ondiepe peilbuizen, die als controle van de beheersmaatregelen gelden dienen twee keer per jaar te worden geanalyseerd op analysepakket 1 en tweekeerper jaarop analysepakket 2.

De analysefrequentie kan worden teruggebracht naar 1 keerper jaarof 1 keer per 2 jaar indien blijkt dat bepaalde stoffen niet worden aangetroffen bij een aantal achtereenvolgende bemonsteringsrondes.

Bijlage 4 Overzicht van het analysepakket en de bemonsteringsfrequentie van monitoring-systeem van case B (Lit 24).

element	analysepakket		
	1	2	3
pH	*		*
Cl <sup>-</sup>	*		*
pS	*		*
alkaliteit	*		*
stijghoogte	*		*
EOCl	*	*	
AOCl	*	*	
VOCl	*	*	
OCB (organochloorbestrijdingsmiddelen)	*	*	
PCB (van Balschmieter)	*	*	
PAK (zes van Borneff)	*	*	
zware metalen; Cu, Zn, Cd, Cr, Ni, Pb, Hg, As	*	*	

Analysepakket 1 wordt 2 x per jaargemeten (OCB, PCB en PAK 1 keer per 2 jaar) en geldt voor;  
 - de filters in de twee meetpunten in het depot.

Analysepakket 2 wordt 1 x per jaargemeten (OCB, PCB en PAK 1 keer per 2 jaar) en geldt voor;  
 - de filters in de meetpunten 2, 4, 6, 8, 10, 12, 13, 14 en 15 in de ringdam.

Analysepakket 3 wordt 2 x per jaargemeten en geldt voor;  
 - de filters in alle meetpunten in de ringdam.

Voor de ligging van de meetpunten wordt verwezen naar figuur 3.5.

Bijlage 5 Overzicht van het analysepakket, de gemiddelde achtergrondconcentratie en de signaalwaarde van het monitoringsysteem van case C.

element	gemiddelde achtergrondconcentratie	signaalwaarde (Log-Pearson verdeling)
GC-analyse		
CZV	32.000	61.000
N-Kjeldahl	8.000	35
Chloride	135.000	166.000
N-ammonium	9,6	43
Zn	80	156
VAK		
VOH		

Bemonsteringsfrequentie; 1 keer per jaar.

Bijlage 6 Beschrijving van de in case C toegepaste modellen.

### **Stoftransportmodel MOC<sup>em</sup>**

Het stoftransportmodel MOC<sup>em</sup> is een model voor tweedimensionaal transport van opgeloste stoffen en dispersie in het grondwater. Het kan worden toegepast voor n- en tweedimensionale stationaire en niet stationaire grondwaterstroming. De berekeningen van MOC<sup>em</sup> zijn gebaseerd op de eindige differentie methode.

De volgende elementen kunnen in het programma worden gedefinieerd:

- injectieputten
- onttrekkingsputten
- diffuse neerslag
- doorlaatvermogen
- randvoorwaarden
- initiële stijghoogten
- initiële concentraties.

Voor modellering van het stoftransport kan gebruik worden gemaakt van:

- eerste orde reacties
- reversibele evenwicht sorptie
- reversibele ionenuitwisseling voor mono- en divalente ionen.

### **Stoftransportmodel PLUIM**

Het stoftransportmodel PLUIM berekent de verspreiding van een opgeloste stof in het grondwater. Het programma is gebaseerd op een analytische berekening die tweedimensionaal de concentratie van een bepaalde stof op een bepaalde plaats en tijd berekent. De berekende pluimen hebben afhankelijk van de invoergegevens een min of meer parabolische vorm.

De voor de invoer benodigde parameters zijn:

- snelheid van het grondwater (Darcy) (m/dag)
- aquifer dikte (m)
- porositeit (volume %)
- influx van de verontreiniging (mg/dag)
- retardatie (-)
- dispersiviteit (longitudinaal, transversaal) (m)
- afbraak (m/dag) ???
- achtergrondconcentratie ( $\mu\text{g/l}$ )
- tijdstap (dag).

De influx van de verontreinigingen wordt in de vorm van een puntbron ingebracht, tijdelijk of continue met een constante concentratie.

De aannames bij het model zijn:

- continue stroomsnelheid in plaats en tijd
- de aquifer is isotroop
- er heersen eenvoudige randvoorwaarden.

## Bijlage 7   Systeemdefinitie van case B.

In de projectnota/M.E.R. (Lit. 11) is voor case B een systeemdefinitie opgesteld op basis van processen in het depot en processen die optreden tijdens transport van uit het depot tredend water.

Voor de processen in het depot prognoses opgesteld voor de kwantiteit en kwaliteit van uit het depot tredend pori nwater tijdens en na de berging. Deze prognoses geven aan dat gedurende enkele duizenden jaren verontreinigingen in het pori nwater aanwezig blijven; de hoogste concentraties treden na 20 tot 100 jaar na aanvang van de berging op.

Voor het uittredende verontreinigde pori nwater zijn prognoses opgesteld over de verspreiding van de verontreiniging in termen van ruimte, tijd en concentratie. Door de geringere dichtheid van het uittredende pori nwater ten opzichte van het zoute grondwater wordt verwacht dat in het pleistocene pakket onder de Laag van Velsen een zoetwaterbel zal ontwikkelen. Deze bel zal volgens berekeningen binnen 30 jaar volledig tot ontwikkeling zijn gekomen. De verspreiding van de verontreiniging zal in deze periode beperkt blijven tot de omvang van de zoetwaterbel.

Of deze zoetwaterbel ook op de langere termijn (> 30 jaar na berging) zal blijven bestaan is onzeker. Dit hangt af van het debiet van het uittredend consolidatiewater. Op basis van het aangenomen debiet is berekend dat de bel blijft bestaan, valt het debiet eventueel lager uit dan zal het water in de bel diffunderen.

Als gevolg van infiltratie van het neerslagoverschot door de ringdam zal in het holocene pakket onder deze dam eveneens een zoetwaterbel ontwikkelen. Deze bel zal zich ook op langere termijn kunnen handhaven.

Prognoses voor de verspreiding van de verontreiniging zijn in het kader van de projectnota/MER voor zowel met als zonder zoetwaterbel in het pleistoceen modelberekeningen uitgevoerd. Op basis van deze berekeningen is geprognostiseerd dat de verspreiding van het merendeel van de verontreinigingen beperkt blijft tot de diep pleistocene ondergrond in de directe omgeving van het depot (10 - 100 meters). Bij een worst-case benadering met een relatief sterke stroming in de richting van Voorne zullen de concentraties Cd en Zn, de snelst mobiliserende parameters, na 3000 jaar onder Voorne nog niet zijn verhoogd.

In het holoceen worden slechts licht verhoogde concentraties cadmium en zink geprognostiseerd in de directe omgeving van het depot.



Bijlage 8 Rapporten Speerpuntprogramma Bodemonderzoek en Programma Geïntegreerd Bodemonderzoek.

Rapporten Programma Geïntegreerd Bodemonderzoek

deel	titel	prijs
1.	Kennisbehoefte actief bodembeheer P.S.H. Ouboter et al., 1996 (29 p., 2 bijlagen)	f 40,-
2.	Ecotoxicologische risicobeoordeling van verontreinigde (water)bodems - Hoe verder? C. van de Guchte et al., 1996 (56 p.)	f 40,-

The Netherlands Integrated Soil Research Programme Reports

1.	The fate of organic pollutants in soils and sediments and the development of biological soil remediation techniques P.J.M. Middelkoop and G. Schraa, 1995 (26 p., 5 bijlagen)	f 15,-
2.	Adaptation and selection mechanisms of natural and genetically modified soil microorganisms H. Rogaar et al. (eds), 1995 (70 p., 2 bijlagen)	f 15,-
3.	Biological availability and transformations of organic compounds in soil and sediment systems H. Rogaar et al., 1995 (152 p., 4 bijlagen)	f 15,-
4.	Spatial variability of soil contamination and the consequences for environmental risk assessment A. Stein and I.G. Staritsky, 1995 (35 p., 5 bijlagen)	f 15,-
5.	Remediation and isolation techniques for soils and sediments J.T.C. Grotenhuis et al. (eds.), 1996 (265 p., 3 bijlagen)	f 15,-