

Opdrachtgever:

Rijkswaterstaat, Dienst Weg- en Waterbouwkunde

Handreiking:

Modellering baggerspeciéstortplaatsen

Verspreiding van verontreiniging in grondwater

Informatiedocument

Maart 1996

# Handreiking: Modellering baggerspeciële stortplaatsen

Verspreiding van verontreiniging in grondwater

J.G.C. Smits



# Inhoud

|   |     |
|---|-----|
| <b>Verantwoording</b> .....                                 | iii |
| <b>Samenvatting</b> .....                                   | iv  |
| <b>1 Inleiding</b> .....                                    | 1   |
| 1.1 Achtergrond .....                                       | 1   |
| 1.2 Doel van de handreiking .....                           | 2   |
| 1.3 Leeswijzer .....  | 3   |
| <b>2 Het besluitvormingsproces</b> .....                    | 4   |
| 2.1 Bepaling van te storten baggerspecie .....              | 7   |
| 2.2 Selectie van potentiële locaties en varianten .....     | 8   |
| 2.3 Bepaling van voorkeurslocatie(s) en -variant(en) .....  | 9   |
| 2.4 Bepaling van inrichting van de gekozen combinatie ..... | 10  |
| <b>3 Het gebruik van modellen</b> .....                     | 12  |
| 3.1 Modelkeuze .....  | 12  |
| 3.2 Toetsing aan probleemstoffen en lokale condities .....  | 13  |
| 3.3 Kwaliteitsborging van de modeltoepassing .....          | 15  |
| 3.4 Alternatieven voor modelberekening .....                | 15  |
| <b>4 Voor modelberekeningen benodigde gegevens</b> .....    | 16  |
| 4.1 Algemeen .....  | 16  |
| 4.2 Baggerspecie-specifieke gegevens .....                  | 17  |
| 4.3 Stof-specifieke gegevens verontreinigende stoffen ..... | 18  |
| 4.4 Locatie-specifieke gegevens bodem .....                 | 21  |
| 4.5 Locatie-specifieke gegevens grondwater .....            | 23  |
| 4.6 Scenario-specifieke gegevens .....                      | 24  |
| <b>5 Resultaten van modellen</b> .....                      | 26  |
| 5.1 Aard, vorm en gebruik .....                             | 26  |
| 5.2 Interpretatie .....                                     | 27  |
| 5.3 Rapportage .....  | 28  |

|          |                                       |           |
|----------|---------------------------------------|-----------|
| <b>6</b> | <b>Bronnen van informatie</b> .....   | <b>29</b> |
| <b>7</b> | <b>Literatuur</b> .....               | <b>30</b> |
| <b>8</b> | <b>Verklarende woordenlijst</b> ..... | <b>31</b> |

## Verantwoording

Dienst Weg- en Waterbouwkunde (DWW) van Rijkswaterstaat geeft in samenwerking met onder andere RIVM en VROM uitvoering aan actiepunten 22 van het Actieprogramma verwijdering baggerspecie, te weten 'Uitwerken en toetsen modellen voor baggerspeciéstortplaatsen' (Ministerie VROM, 1994). Als eerste stap heeft DWW het technisch-wetenschappelijk rapport 'Modelleren grondwaterverontreiniging bij baggerspeciéstortplaatsen' laten opstellen (DHV, rapport MT-BD-937627, 30 juni 1994). Naast deze handleiding is echter behoefte aan een handreiking voor afstemming van de contacten ten aanzien van modelstudies tussen bevoegd gezag, initiatiefnemers, hun adviseurs (met name de uitvoerders van modelstudies) en de buitenwereld in de vorm van informatie en richtlijnen. Via een breed bezette workshop zijn eisen geformuleerd, waaraan een dergelijk document dient te voldoen (DHV, verslag MT-BD-949419, 19 januari 1995). Deze eisen vormden de uitgangspunten van de voorliggende handreiking.

Het opstellen van de handreiking maakte onderdeel uit van de werkzaamheden ten behoeve van het produkt 'Handreiking/kwaliteitsstandaard modellering verspreiding van verontreinigingen in het grondwater rond baggerspeciéstortplaatsen', opgenomen in het projectplan milieugeotechniek van DWW.

De handreiking is in opdracht van DWW opgesteld door ir J.G.C. Smits, die daarbij wat betreft technisch-wetenschappelijke aspecten ondersteund werd door drs N.M. de Rooij. De begeleidingsgroep van de zijde van DWW bestond uit ir B.B.W. Thorborg (projectleider), dr K. Beurskens (RIVM), V. Schaap (RWS-DNH), J.M. van Steenwijk (RIZA), drs W.H. Munters (VROM-DGM) en dr J.V. Witter (Hoogheemraadschap West-Brabant).

De volgende vertegenwoordigers van het bevoegd gezag inzake baggerspeciéstortplaatsen hebben met adviezen en door kritische beschouwing van concept teksten bijgedragen aan de totstandkoming van de handreiking: mw ir A.J. Baks, mw ing. L. Baukema (beiden Provincie Gelderland) en drs G. Schaap (Provincie Noord-Holland).

## Samenvatting

De handreiking biedt informatie ten behoeve van optimale en vroegtijdige afstemming van overleg tussen partijen betrokken bij de totstandkoming van baggerspeciéstortplaatsen, voor zover dat modelstudies aangaande de grondwaterverontreiniging betreft. Achtereenvolgens wordt ingegaan op de relatie van het besluitvormingsproces met modelstudies, het gebruik van modellen, de benodigde gegevens en de resultaten van modelstudies.

In het op storten van baggerspecie toegespitste besluitvormingsproces zijn de volgende stappen te onderkennen:

- bepaling van hoeveelheid en kwaliteit van te storten baggerspecie;
- selectie van potentiële locaties en varianten voor het storten;
- keuze van de voorkeurscombinatie van locatie(s) en variant(en);
- bepaling van de inrichting van de gekozen combinatie; en
- vergunningverlening door het bevoegd gezag.

Het besluitvormingsproces en de ten aanzien van modelstudie relevante informatie worden gekarakteriseerd aan de hand van een beslisschema. In het kader van de derde en vierde stap kunnen milieu-effectrapportages (MER) worden uitgevoerd, waarvan modelstudies een onderdeel vormen. Reeds bij het genereren van gegevens van de kwaliteit van de waterbodem dient rekening gehouden te worden met de behoefte van modelstudies. Het is onder meer van belang om bij elke stap:

- benodigde omvang, diepgang en resultaten van (model)studies te onderkennen; en
- modelresultaten en daaraan klevende onzekerheden weloverwogen te presenteren.

Voor grondwaterverontreiniging relevante modellen beschrijven a) consolidatie van de baggerspecie, b) grondwaterbeweging, c) (im)mobilisatie van stoffen in baggerspecie en ondergrond, en d) stofverspreiding vanuit de baggerspecie via het grondwater. De modelkeuze wordt in grote lijnen bepaald door de vraagstelling, lokale omstandigheden, de aard van verontreiniging en de benodigde precisie. De vereiste mate van detail in ruimte en tijd neemt in het algemeen toe van locatie-keuze naar bepaling van de depot-inrichting en naar de selectie van maatregelen.

De toepassing van modellen vereist kwaliteitsborging om het risico van onbruikbare, (te) onnauwkeurige of zelfs onjuiste berekeningsresultaten te verkleinen. Aanbieders van modelstudies zouden goed beargumenteerd moeten aantonen dat de volgende essentiële vragen in hun geval positief beantwoord kunnen worden:

- Geeft het model de gewenste soort informatie en mate van detail? Geeft het de informatie in de gewenste vorm?
- Is het model geldig en bruikbaar voor de lokale condities?
- Bevat het model de stof-specifieke relevante processen?
- Kan de gewenste precisie met behulp van ruimtelijke schematisering en berekeningsmethode worden bereikt?.

Zo veel mogelijk dient gebruik te worden gemaakt van gevalideerde invoergegevens. Voorts zou de rapportage van modelstudies moeten vermelden met welke onzekerheden of tekortkomingen invoergegevens behept zijn, welke implicaties deze hebben voor de modelresultaten en hoe in verband daarmee invulling is gegeven aan een zo realistisch mogelijke worst case aanpak.

De voor modelberekeningen benodigde gegevens kunnen worden ingedeeld naar vijf groepen. Stof-specifieke gegevens hebben betrekking op baggerspecie en verontreinigende stoffen. Locatie-specifiek zijn de gegevens voor de samenstelling van de bodem, voor de kwaliteit en de beweging van het grondwater, en voor de geometrie en inrichting van de baggerspeciéstortplaats. Voor de laatste groep kunnen, evenals voor het aanbod van baggerspecie en de grondwaterbeweging, scenario's gedefinieerd worden, welke ter onderlinge vergelijking met modellen kunnen worden doorgerekend.

Per groep wordt een overzicht gegeven van benodigde gegevens. De toelichting gaat in op:

- de link van de gegevens met de verschillende soorten modellen;
- de vereiste mate van detail van gegevens in relatie tot de aard van een modeltoepassing, de ruimtelijke en temporele schematisering en de berekeningsnauwkeurigheid;
- omgaan met onzekerheid van gegevens op basis van een worst case benadering; en
- bronnen van gevalideerde gegevens.

De resultaten van modelstudies zijn toegesneden op de normen, waarop ze moeten worden getoetst. Afgezien van kenmerken van de grondwaterbeweging omvatten ze als functie van de tijd:

- concentratievelden in de omgeving van de baggerspeciéstortplaats;
- massastromen (fluxen) vanuit de stortplaats naar het grondwater; en
- beïnvloed volume van het grondwater, gedefinieerd als het volume waarin de streefwaarden worden overschreden.

Er kleeft altijd een zekere mate van onzekerheid aan modelresultaten. Deze is zowel verbonden aan vooronderstellingen bij de modeltoepassing als aan intrinsieke onnauwkeurigheid van invoergegevens en model. De onzekerheid van modelresultaten kan daarom niet in een absoluut getal, of een absolute bandbreedte rond de berekeningsresultaten worden uitgedrukt. Toch kunnen er uitspraken over worden gedaan, op grond waarvan men het omgaan met onzekerheid kan beschouwen als het nemen van een onvermijdbaar doch acceptabel risico bij maatschappelijke besluitvorming. Zo is de berekende stofverspreiding op te vatten als een pessimistische verwachting (worst case!), die gestoeld moet zijn op de beste beschikbare expertise.

De beoordeling van de juistheid van de resultaten van modelstudies en hun bruikbaarheid voor de toetsing van stofverspreiding uit baggerspeciëstortplaatsen is voorbehouden aan deskundigen. Om beoordeeld te kunnen worden, dient rapportage de volgende aspecten te bevatten:

- beschikbare en gebruikte invoergegevens (betrouwbaarheid, gedetailleerdheid, implicaties van tekortkomingen);
- motivatie van de keuze van te modelleren verontreinigende stoffen;
- de belangrijkste modelkenmerken en een toetsing van de toepasbaarheid van het model voor de betreffende locatie en het gestelde doel;
- de aanpak in grote lijnen (vooronderstellingen, modelschematiseringen, modelkoppelingen, gevoeligheidsonderzoek);
- nauwkeurigheidsproblemen van de modelberekeningen, daarvoor gekozen oplossingen en een systematische onderbouwing van de worst case benadering; en
- numerieke berekeningsresultaten en conclusies (interpretatie, beoordelingsgeldigheid).

De acceptatie van resultaten van een modelstudie door alle betrokken partijen vereist echter vaak meer dan een positief uitgevallen technisch-wetenschappelijke beoordeling. De toegankelijkheid en de helderheid van schriftelijke en mondelinge rapportage van resultaten vormen ook belangrijke factoren, evenals de mate van betrokkenheid bij het opstellen ervan.



# 1 Inleiding

## 1.1 Achtergrond

Bij het onderhoud van watergangen en de sanering van verontreinigde waterbodems zullen in de komende jaren grote hoeveelheden verontreinigde baggerspecie vrijkomen. Een groot deel van die specie zal moeten worden gestort, omdat er onvoldoende financiële en technische mogelijkheden voor verwerking zijn. Om de baggerspecie te kunnen storten is de aanleg van baggerspeciéstortplaatsen noodzakelijk. Bij de planning en voorbereiding van een stortplaats is het, zoals zal blijken, van belang inzicht te hebben in de emissies van verontreinigingen uit de geborgen baggerspecie.

Voor de aanleg van een baggerspeciéstortplaats is een vergunning in het kader van de Wet Milieubeheer vereist ongeacht het volume van de stortplaats. De provincie is hiervoor het bevoegd gezag. Bij de vergunningverlening wordt o.a. getoetst of voldaan wordt aan het rijksbeleid inzake baggerspeciéstortplaatsen zoals vastgelegd in het Beleidsstandpunt verwijdering baggerspecie van de ministers van VROM en V&W van oktober 1993. Het beleidstandpunt bevat richtlijnen voor baggerspeciéstortplaatsen op basis van de volgende uitgangspunten:

- Emissies uit de stortplaats dienen geminimaliseerd te worden door het treffen van IBC-voorzieningen (isoleren, beheersen en controleren).
- De inherente veiligheid van de stortplaats dient zodanig te zijn dat minimale emissie uit de stortplaats ook op de langere termijn gewaarborgd is.
- De gevolgen van de restemissie dienen te worden geminimaliseerd door keuze van een locatie, waarbij het gebied van beïnvloeding een minimale omvang heeft.

Voor stortinrichtingen groter dan 500.000 m<sup>3</sup> is het verplicht een milieueffectrapportage (MER) op te (doen) stellen aangaande de mogelijke beïnvloeding van de omgeving door baggerspeciéstortplaatsen. Dit betreft een zogenaamde inrichtings-MER, indien nodig gevonden vooraf gegaan door een locatiekeuze-MER. In het kader van dergelijke MER's worden prognoses gemaakt van de verspreiding van verontreinigingen vanuit de baggerspecie. De daarbij gebruikte berekeningsmethoden hebben veelal de vorm van complexe mathematische modellen. Vanwege het complexe karakter worden de modelberekeningen op computers uitgevoerd. Modelberekeningen dienen inzicht te geven in de volgende aspecten:

- de hoogte van de in het beïnvloede gebied optredende concentraties;
- de jaarlijkse emissie vanuit de stortplaats;
- de grootte van het beïnvloede gebied;
- de effectiviteit van voorzieningen ter beperking van verontreiniging; en
- het optimale monitoringprogramma (plaats, tijd en stoffen).

Op basis van de geohydrologische en geochemische omstandigheden, de gehalten van stoffen in de specie en de verdeling van deze stoffen tussen poriewater en sediment dient een inschatting te worden gemaakt van de mogelijke emissie vanuit een depot. De volgende situaties kunnen daarbij worden onderscheiden:

- Als na consolidatie de concentraties in het uittredende poriewater de streefwaarden niet overschrijden, kan verdere beschouwing van de emissie achterwege blijven.
- Indien de concentraties in uittredend poriewater de streefwaarden wel overschrijden, dan dient de jaarlijkse emissie uit de stortplaats na consolidatie te worden getoetst aan de toegestane flux (Beleidsstandpunt, 1993; p.41).
- Locatiekeuze en aanvullende isolatiemaatregelen (ALARA-principe) dienen erop gericht te zijn om toch zo goed mogelijk aan de maximaal toelaatbare flux te voldoen.
- Daarnaast dient de beïnvloeding van de directe omgeving van de stortplaats in de loop van de tijd in beeld gebracht te worden. Een beïnvloed gebied (d.w.z. het gebied met overschrijding van de streefwaarden grondwater) met een maximale inhoud ter grootte van de inhoud van de stortplaats binnen een periode van 10.000 jaar na stort wordt als richtinggevend aangehouden.
- De vergunningverlener kan ten behoeve van het toetsen van toekomstige monitoringsgegevens een modellering over een kortere tijdsas eisen.

In het besluitvormingsproces rond baggerspeciéstortplaatsen ontstaat een groot aantal overlegsituaties in het kader van milieueffectrapportage, bijbehorende modelstudies en vergunningverlening. Deze betreffen met name overleg tussen:

- initiatiefnemer en bevoegd gezag;
- initiatiefnemer en uitvoerder van (model)studies (bijv. een adviesbureau); en
- initiatiefnemer en belanghebbenden (bijv. belangenorganisaties en omwonenden);
- bevoegd gezag en belanghebbenden.

Het resultaat van (model)berekeningen speelt in deze overlegsituaties veelal een belangrijke rol. Gebleken is dat voor betrokkenen de modellen en de resultaten daarvan moeilijk te doorgronden zijn, hetgeen tot veel discussie leidt. Het gebruik van modellen roept vragen op met betrekking tot de noodzaak daarvan, het vereiste detail, de benodigde basisinformatie, de aan het modelleringsresultaat te stellen eisen en de betekenis ervan. Aspecten van onzekerheid spelen hier doorheen.

## 1.2 Doel van de handreiking

De handreiking beoogt het bevoegd gezag, de initiatiefnemers, hun adviseurs en de buitenwereld ondersteuning te bieden bij het overleg omtrent baggerspeciéstortplaatsen, voor zover dat modelstudies van grondwaterverontreiniging betreft. Tijdelijke opslagplaatsen voor baggerspecie worden daarbij niet als zodanig beschouwd. In de handreiking kunnen antwoorden op veel gestelde vragen gevonden worden. Daarmee biedt deze informatie voor optimale en vroegtijdige afstemming van verwachtingen en activiteiten van de bij overleg betrokken partijen met betrekking tot modelstudies.

Modelstudies moeten ertoe bijdragen dat de milieutechnische effectiviteit van een stortplaats en de beheersmaatregelen beoordeeld wordt in overeenstemming met de regelgeving. Vanuit dat perspectief wil de handreiking zodanige informatie verschaffen dat:

- gekozen wordt voor modelstudies, die goed passen bij de aard en schaal van de baggerspecieverontreiniging, de locatie van de baggerspeciestortplaats, de regelgeving, te nemen maatregelen en de beschikbare veld- en stofgegevens;
- heldere, efficiënte en controleerbare besluitvorming mogelijk wordt gemaakt, o.a. door daarop toegesneden inhoud, vorm en kwaliteit van modelresultaten; en
- effectieve en efficiënte maatregelen ter bescherming en bewaking (monitoring) van de grondwaterkwaliteit kunnen worden bewerkstelligd.

De handreiking kan als kwaliteitsstandaard het optimaal gebruik van in de adviesmarkt aanwezige kennis en instrumenten mogelijk maken. Met het oog hierop is gestreefd naar een breed toegankelijke vertaling van technisch-wetenschappelijke aspecten van modellering naar de praktische behoeften en mogelijkheden, waarmee bevoegd gezag en initiatiefnemer worden geconfronteerd.

Om de toegankelijkheid van de handreiking voor de belanghebbenden optimaal te houden is ervoor gekozen technische beschrijvingen van processen en modellen er niet in op te nemen. De lezer die zich op dit punt wenst te informeren, dient zich te wenden tot technisch-wetenschappelijke literatuur, onder andere DHV (1994) en WL en RIZA (1995).

### 1.3 Leeswijzer

Het succesvol doorlopen van een proces van overleg en besluitvorming vereist inzicht in het proces zelf en in de voor elk stadium benodigde informatie. Hoofdstuk 2 van deze handreiking gaat daarom in op dit proces aan de hand van een beslisschema. De rol van de betrokken partijen en de benodigde soort informatie (checklists) wordt per stap gespecificeerd. In het bijzonder wordt ingegaan op de samenhang met modelstudies.

De verspreiding van verontreinigingen vanuit een baggerspeciestortplaats wordt bepaald door een reeks van processen en is afhankelijk van vele lokale factoren. De mate van detail waarmee de verspreiding moet worden beschreven hangt af van te beantwoorden vragen. De keuze van een model, dat wil zeggen van de daarin te beschouwen aspecten en mate van detail, komt aan de orde in hoofdstuk 3. Daarbij worden globale richtlijnen voor het gebruik van modellen en modelresultaten gegeven ten behoeve van kwaliteitsborging.

Hoofdstuk 4 is het meest 'technische' deel van de handreiking. Het bevat een overzicht van de voor modellen benodigde invoer. Zoveel mogelijk wordt verduidelijkt wat de aard van de gegevens is, waarvoor ze worden gebruikt en hoe de vereiste mate van detail samenhangt met het doel van de modelberekening. De invoer wordt uitgesplitst naar stof-specifieke, locatie-specifieke en scenario-specifieke parameters.

In hoofdstuk 5 wordt ingegaan op aard, vorm en gebruik van de modelresultaten. Uitleg volgt met betrekking tot de betekenis van de modelresultaten en de interpretatie in het licht van onzekerheden. De beoordeling en acceptatie van een modeltoepassing via daarop toegesneden rapportage krijgt eveneens aandacht.

Tenslotte volgen een overzicht van bronnen van informatie aangaande modellen en modeltoepassingen, een overzicht van gerefereerde literatuur en een verklarende woordenlijst van in de tekst gebruikte technisch-wetenschappelijke termen.

## 2 Het besluitvormingsproces

Efficiënt en effectief overleg tussen de partijen, die betrokken zijn bij de ontwikkeling van een baggerspeciëstortplaats, kan worden bereikt als betrokkenen zoveel mogelijk over dezelfde informatie beschikken, dezelfde uitgangspunten en voorwaarden hanteren en uit dezelfde mogelijkheden kunnen kiezen. In het op storten toegespitste besluitvormingsproces zijn de volgende stappen te onderkennen:

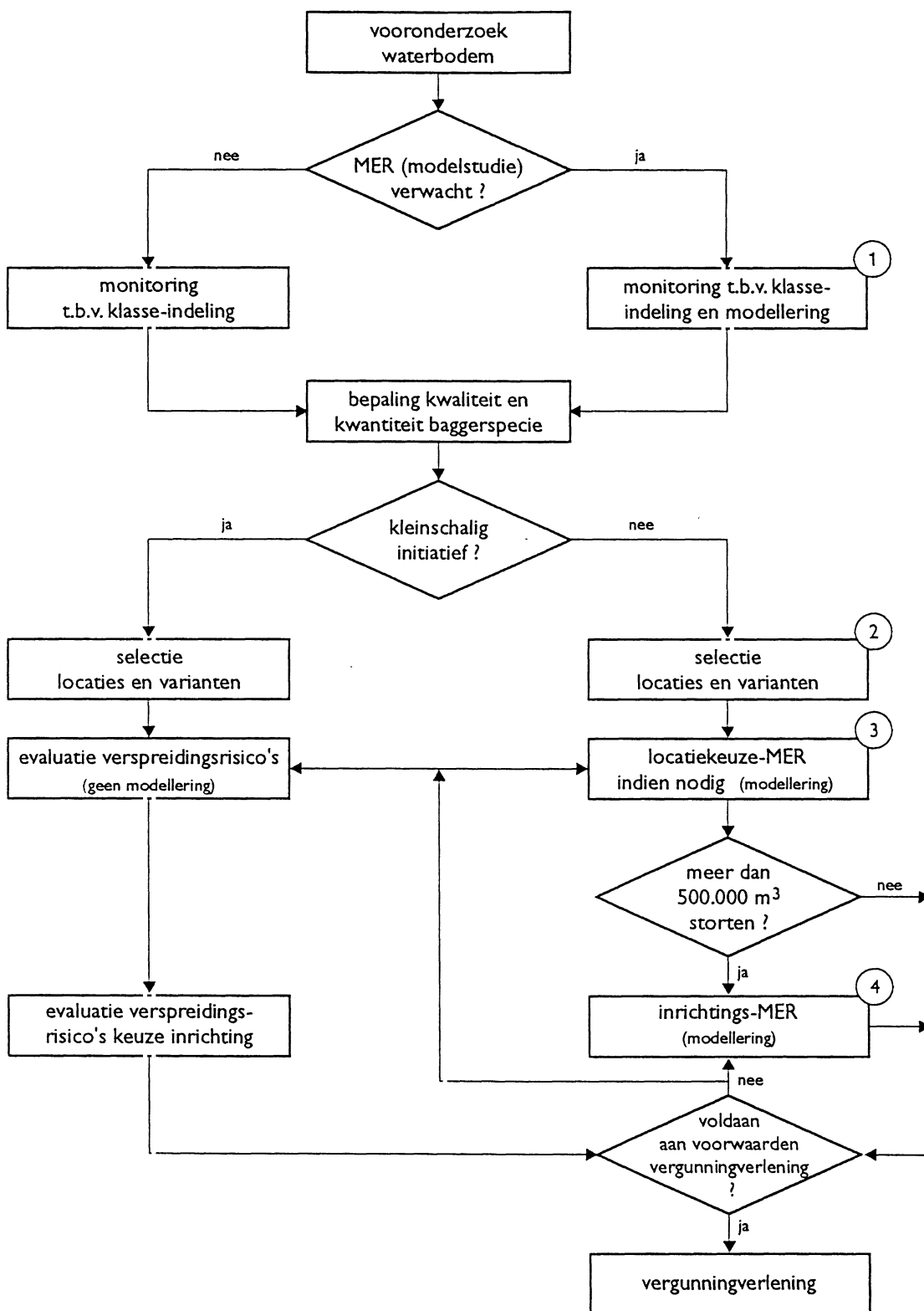
1. Bepaling van hoeveelheid en kwaliteit van te storten baggerspecië.
2. Selectie van potentiële locaties en varianten voor het storten.
3. Keuze van de voorkeurscombinatie van locatie(s) en variant(en).
4. Bepaling van de inrichting van de gekozen combinatie.
5. Vergunningverlening door het bevoegd gezag.

Het besluitvormingsproces, de na te streven doelen, de betrokken partijen, de relatie met modelstudie en de vanuit dat oogpunt benodigde informatie wordt hieronder voor stappen 1-4 globaal gekarakteriseerd. Een nadere beschrijving van de benodigde informatie volgt in hoofdstuk 4.

De beschrijving van het besluitvormingsproces beperkt zich met enige omlijsting nadrukkelijk tot die zaken, die relevant zijn voor de inpassing van modelstudies. Suggesties voor verbetering van de besluitvorming worden gedaan, maar het is geenszins de bedoeling iets voor te schrijven. Getracht is slechts de gemeenschappelijke noemer van lopende processen te karakteriseren. In lopende gevallen zal men reeds een of meerdere stadia van het proces doorlopen hebben. De lezer kan gepasseerde stadia in retrospectief beschouwen. Ook kan het vóórkomen dat een stadium wordt overgeslagen (bijv. de selectie van een locatie).

Figuur 2.1 bevat een beslisschema voor het besluitvormingsproces in zijn uitgebreide vorm. De meest beperkte vorm treedt op in een situatie, waarbij alleen de inrichting van een baggerspeciëstortplaats hoeft te worden voorbereid. De nummers in de blokjes corresponderen met de nummers van de verzamelingen 'richtlijnen, benodigde gegevens en criteria' in tabel 2.1. Afhankelijk van de belemmeringen die tijdens het proces optreden kan het in een concreet geval onvermijdelijk blijken te zijn om terug te stappen naar een eerder stadium in het besluitvormingsproces. Aan een dergelijke iteratieve weg door het proces wordt hier voorbijgegaan. Het proces zou juist door optimale informatievoorziening en overleg zoveel mogelijk in één richting moeten verlopen. Daarbij is het van belang om bij elke stap (gemeenschappelijk):

- doelen te definiëren en oplossingen aan doelen te koppelen;
- eisen die voortvloeien uit het beleidskader te onderkennen en te hanteren;
- systematisch de haalbare alternatieven te inventariseren en evalueren;
- benodigde omvang, diepgang en resultaten van een uit te voeren (model)studie te onderkennen; en
- modelresultaten en daaraan klevende onzekerheden weloverwogen te presenteren.



Figuur 2.1 Beslisschema voor de totstandkoming van baggerspeciestortplaatsen (zie voor nummers tabel 2.1).

Tabel 2.1 Aanbevolen richtlijnen, benodigde gegevens en daarbij geldende criteria voor het besluitvormingsproces aangaande baggerspeciestortplaatsen (zie figuur 2.1 voor bij nummers behorende stappen in het proces)

| Richtlijnen   | Benodigde gegevens   | Criteria   |
|---|--|--|
| <p><b>1 Monitoring waterbodempkwaliteit</b></p> <p>Minimale gegevensbehoefte van modellen vaststellen</p> <p>Representatieve gemiddelde gehalten bepalen</p>  | <p>Gehalten van streefwaarden overschrijdende microverontreinigingen</p> <p>Gehalten van (im)mobilisatie-bepalende stoffen</p> <p>Consolidatiebepalende chemische en fysische parameters</p> | <p>Detectiegrenzen <math>\leq</math> streefwaarden</p>   |
| <p><b>2 Selectie locaties en varianten</b></p> <p>Inherente veiligheid toetsen op:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- aanwezigheid slecht doorlatende, goed adsorberende bodemlaag</li> <li>- geringe stijghoogteverschillen grondwater en oppervlaktewater</li> <li>- geringe stroomsnelheid en dikte eerste watervoerend pakket**</li> <li>- gereduceerde condities grondwater</li> </ul> <p>Globale toetsing bestemmingsplan, waterhuishoudingplan, inrichtingsplannen</p> | <p>Opbouw en samenstelling bodem</p> <p>Potentialen grondwater en oppervlaktewater</p> <p>Stroomsnelheid van grondwater</p> <p>Grondwaterkwaliteit</p>                                       | <p>Gereduceerd grondwater bevat geen zuurstof en nitraat</p> <p>Relevante functies van locaties met betrekking tot grondwatergebruik, natuur, recreatie en bewoning</p>  |
| <p><b>3 Locatiekeuze-MER</b></p> <p>Richtlijnen 2 plus:</p> <p>Globale toetsing van IBC-criteria</p> <p>Toetsing aan eindbestemming stortlocatie</p>  | <p>Gegevens 1 en 2, zonodig met meer detail, plus:</p> <p>Modelresultaten</p> <p>Bestemmingsplannen en inrichtingsplannen</p>  | <p>Criteria 2 plus:</p> <p>Stapsgewijs IBC-criteria:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Streefwaarden voor grondwater</li> <li>- Toelaatbare fluxen naar grondwater</li> <li>- Beïnvloed gebied na 10.000 jaar <math>\leq</math> depot-volume</li> </ul> <p>Verandering condities en gebiedsfuncties als gevolg van verwachte wijzigingen bestemmingsplan en overige plannen</p> |
| <p><b>4 Inrichtings-MER</b></p> <p>Richtlijnen 3 plus:</p> <p>Minimaliseren van restemissie op basis van IBC-criteria en ALARA-principe met behulp van:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- diffusieremmende lagen</li> <li>- geohydrologische isolatie</li> </ul> <p>Ontwerp monitoringsysteem voor controle van verspreiding</p>   | <p>Gegevens 3, zonodig met meer detail, plus:</p> <p>Modelresultaten</p> <p>Mogelijkheden voor diffusieremming en geohydrologische isolatie</p>  | <p>Criteria 3 plus:</p> <p>Hoef. baggerspecie/m<sup>2</sup> zo groot mogelijk</p> <p>Minimale flux naar grondwater</p> <p>Onderhoudbaarheid van isolerende voorzieningen</p> <p>Mogelijkheid van aanvullende maatregelen</p> <p>Controleerbaarheid van optredende verspreiding</p>   |

) Aanwezigheid van voor zware metalen belangrijke sulfiden is waarschijnlijk maar niet gegarandeerd.

) Nieuwe inzichten met betrekking tot geohydrologische isolatie maken dit aspect als eis omstreden.

## 2.1 Bepaling van te storten baggerspecie

Het bepalen van de kwaliteit en de hoeveelheid van te storten baggerspecie vangt aan bij inventarisatie van de te verwijderen baggerspecie. In hoeverre baggerspecie verwijderd moet worden, hangt af van de noodzaken tot onderhoud en sanering. De noodzaak tot sanering volgt uit de mate van verontreiniging van de waterbodem. Het beleidsstandpunt geeft aan hoe de kwaliteit van baggerspecie beoordeeld moet worden. Deze wordt ingedeeld naar vijf klassen (0-4), waarvan de vier grenzen gevormd worden door streefwaarden en normen (grenswaarden, toetsingswaarden en interventiewaarden).

De voor microverontreinigingen van toepassing zijnde normwaarden zijn opgenomen in de Evaluatienota Water (1994) en het "Besluit vrijstelling stortverbod buiten inrichtingen" (Ministerie VROM, november 1993). De beschrijving van de wijze waarop baggerspecie naar klassen wordt ingedeeld, kan worden gevonden in de op het laatstgenoemde document gebaseerde "Regeling klasse-indeling onderhoudsspecie" (Ministerie VROM, december 1993). De lezer dient zich op de hoogte te stellen van de aanpassing of uitbreiding van de normstelling, die kan hebben plaatsgevonden na het verschijnen van de handreiking.

Gezien zijn taken met betrekking tot het onderhoud van de watergangen is doorgaans de beheerder van een oppervlaktewatersysteem de initiatiefnemer tot de verwijdering, verwerking en berging van baggerspecie. Een andere taak van de (waterkwaliteits)beheerder is het vaststellen en beheersen van de kwaliteit van oppervlaktewater en waterbodem. Ten behoeve van het onderhoud van watergangen laat de beheerder o.a. waterbodempkwaliteitsmetingen uitvoeren (monitoring; zie nummer 1 in figuur/tabel 2.1). Het afstemmen van taken is belangrijk voor de bepaling van de hoeveelheid en kwaliteit van te verwijderen baggerspecie.

De gegevens die door middel van monitoring vergaard worden aangaande de kwaliteit van specie zijn niet alleen belangrijk voor klasse-indeling en ontwikkeling van plannen voor de verwijdering van baggerspecie. Ze zijn tevens benodigd voor modelstudies, die in een later stadium verricht moeten worden ter voorbereiding van baggerspeciéstort. Immers, zowel macrochemische samenstelling als gehalten van verontreinigingen en eutrofiërende stoffen zijn onmisbare invoergegevens voor verspreidingsmodellen. Monitoringsprogramma's dienen mede afgestemd te worden op de gegevensbehoefte van modelstudies, als verwacht mag worden dat deze zullen worden uitgevoerd. In de waterbodem te monitoren microverontreinigingen volgen uit de lijst van stoffen, waarvoor normen gesteld zijn. De aard van (deels voormalige) lokale emissies naar het oppervlaktewater levert indicaties voor de aanwezigheid van specifieke stoffen. Niet alleen klasse-bepalende stoffen maar ook relatief mobiele stoffen kunnen voor modelstudies van belang zijn, omdat bij deze stoffen de kans op overschrijding van de streefwaarden voor grondwater relatief groot is.

Relevante macrochemische en fysische parameters hebben betrekking op het consolidatiegedrag en de bepaling van het chemische milieu voor de (im)mobiliserende processen met betrekking tot microverontreinigingen.

Hoewel er naar gestreefd dient te worden om de meest recente kwaliteitsgegevens te gebruiken voor modelstudies, zullen de gebruikte gegevens vaak (gedeeltelijk) niet dezelfde zijn als de gegevens die voor het bestek van de baggerspeciéstort gegenereerd worden. Belangrijke redenen hiervan zijn de behoefte aan meer gedetailleerde gegevens en het verlopen van een aanzienlijke periode tussen studies en uitvoering van de stort. De kwaliteit en de hoeveelheid van de specie wordt onder andere bepaald door de te hanteren baggertechniek. De meest recente gegevens zullen uiteindelijk bepalend zijn voor welke baggerspecie in de stortplaats mag worden geborgen. Dit gegeven pleit ervoor om bij modelstudies binnen realistische grenzen van de worst case samenstelling van de baggerspecie uit te gaan, tenzij er duidelijke aanwijzingen zijn dat de speciekwaliteit zal verbeteren.

## 2.2 Selectie van potentiële locaties en varianten

Locaties voor baggerspeciéstortplaatsen kunnen in oppervlaktewater of op land gelegen zijn. Mogelijke varianten betreffen de omvang en het storten boven of onder (grond)water. De selectie van potentiële locaties en varianten wordt in sterke mate bepaald door benodigd bergingsvolume, ruimtelijk ordening, transportafstanden, gebiedsfuncties en milieueffecten. Het beleidsstandpunt geeft aan welke locatie-condities gunstig zijn met het oog op zoveel mogelijk beperkte verspreiding van verontreiniging naar het grondwater (zie nummer 2 in figuur/tabel 2.1).

De initiatiefnemer zal veelal in dit stadium van besluitvorming het overleg openen met het bevoegd gezag, de Provincie of in geval van aanleg in rijkswateren het Rijk en de Provincie gezamenlijk. Gegevensuitwisseling komt daarbij op gang. Het is raadzaam eveneens reeds met belanghebbenden in overleg te treden. *Het doel van overleg is te komen tot een lijst van geschikte potentiële locaties, die voor betrokken partijen in principe acceptabel kunnen zijn (voorselectie!).*

Het komt de efficiëntie van besluitvorming ten goede voor veelbelovende locaties in ieder geval die gegevens te verzamelen, die benodigd zullen zijn voor een locatiekeuze-MER en de daarbij uit te voeren modellering. Deze gegevens zijn immers naar aard ook dezelfde als de gegevens, die gebruikt worden voor een globale inschatting van de milieueffecten ten behoeve van de selectie van locaties. De voor modellering van verspreiding naar het grondwater benodigde gegevens hebben betrekking op:

- de geologische opbouw en macrochemische samenstelling van de ondergrond (gelaagdheid, ligging van watervoerende pakketten);
- de grondwaterbeweging (kwel en wegzijging, horizontale stroomsnelheden in watervoerende pakketten, stijghoogten van oppervlaktewater en watervoerende pakketten); en
- de grondwaterkwaliteit (macrochemie).

Het verdient aanbeveling lacunes in gegevens expliciet vast te stellen en beschikbare gegevens per locatie in naar gebruiksdoel en soort gestructureerde vorm beschikbaar te maken voor alle betrokken partijen. Het bestaan van ernstige lacunes in de voor modellering benodigde gegevens kan bijdragen tot het schrappen van een potentiële locatie of tot het in een vroeg stadium uitvoeren van aanvullende metingen. Gegevens omtrent de aan- of afwezigheid van een slecht doorlatende bodemlaag onder een depot zijn hiervan een goed voorbeeld.



Afhankelijk van de te storten hoeveelheid baggerspecie dient onderscheid gemaakt te worden naar:

- kleinschalig initiatief (beperkte hoeveelheid baggerspecie; mogelijk evaluatie verspreidingsrisico's benodigd; modellering niet benodigd; zie voorts de Wet bodembescherming);
- beperkt initiatief (minder dan 500.000 m<sup>3</sup>; evaluatie verspreidingsrisico's benodigd; mogelijk locatiekeuze-MER met modellering benodigd); en
- grootschalig initiatief (meer dan 500.000 m<sup>3</sup>; mogelijk locatiekeuze-MER benodigd; inrichtings-MER verplicht; modellering zeer waarschijnlijk benodigd).

De modellering van de verspreiding naar het grondwater zal waarschijnlijk worden uitgevoerd voor al die omvangrijke locaties en varianten, waarbij de toepassing van een blijvend ondoordringbaar geachte isolatielaag tussen baggerspecie en ondergrond geen uitgangspunt is.

In geval van een kleinschalig initiatief zal bij de vergunningaanvraag echter ook moeten worden aangetoond, dat de verspreiding van verontreiniging naar de omgeving binnen de wettelijk voorgeschreven randvoorwaarden blijft. Bij berging onder water kan het in zo'n geval nodig zijn berekeningen uit te voeren van de verspreiding van verontreinigingen naar de omgeving aan de hand van een 'worst case' benadering. Zo kan het risico vermeden worden dat de verspreiding wordt onderschat. De noodzaak om modelberekeningen uit te voeren hangt sterk af van de te storten hoeveelheid baggerspecie, de lokale bodemopbouw en de lokale geochemische en geohydrologische condities. Voor beoordeling daarvan is de inbreng van deskundigen onmisbaar.

### 2.3 Bepaling van voorkeurslocatie(s) en -variant(en)

In dit stadium nemen alle belanghebbende partijen aan overleg deel. Dat zijn de initiatiefnemer, het bevoegd gezag, aannemers van MER- en modelstudies en de bij locaties betrokken belangenorganisaties. *Het doel van overleg is de keuze van een binnen de wettelijke voorschriften en binnen de financiële, technische en maatschappelijke mogelijkheden te realiseren combinatie van locatie(s) en variant(en).* De bepaling van de relatieve geschiktheid van locaties staat voorop! Maatschappelijke acceptatie is mede bepalend voor de realiseerbaarheid van een stortplaats. Acceptatie vereist voldoende participatie van de belangenorganisaties in alle stadia van overleg, volledige informatieverschaffing en transparante en toetsbare presentatie van berekende milieurisico's. Met het oog hierop worden er dus aanvullende eisen gesteld aan de vorm van de modelresultaten. Het aspect onzekerheid verdient daarbij de volle aandacht. Aanbevolen wordt specificaties aangaande inhoud en vorm van resultaten in samenspraak met alle betrokken partijen vast te stellen en deze expliciet aan de opdracht tot uitvoering van modelstudies te verbinden.

Ten behoeve van de bepaling van de voorkeurslocatie(s) en -variant(en) kan een locatiekeuze-MER worden uitgevoerd (zie nummer 3 in figuur/tabel 2.1). Een evaluatie van verspreidingsrisico's kan echter ook van zeer beperkte omvang zijn en berusten op zeer globale stofverspreidingsberekeningen, waarbij basale gegevens omtrent de bodemopbouw, de grondwaterkwaliteit en de grondwaterbeweging worden gebruikt. Hierop wordt niet verder ingegaan, de handreiking richt zich volledig op modelstudies.

De MER dient informatie te leveren over de verschillen tussen locaties en over de locatie-onafhankelijke aspecten van varianten. Een locatiekeuze-MER stoelt in belangrijke mate op modelmatige verspreidingsberekeningen aangaande het grondwater. De benodigde gegevens met betrekking tot te storten baggerspecie en stortlocaties zijn mogelijk reeds volledig beschikbaar. Toetsing aan de gegevensbehoefte van modellen dient echter in een vroeg stadium plaats te vinden. Aanbevolen wordt aanvullend verzamelde gegevens te integreren in reeds bestaande documenten (zie boven) en de documenten aan alle partijen ter inzage te geven. Voorts is het voor de efficiëntie van het opstellen van de MER's en dus de besluitvorming van belang goed bij te houden waar meer gedetailleerde gegevens beschikbaar zijn en welke gegevens beschikbaar moeten komen.

De modelresultaten moeten toetsbaar zijn ten opzichte van de in het Beleidsstandpunt verwijdering baggerspecie geformuleerde normen, te weten de streefwaarden voor grondwater, de maximaal toelaatbare fluxen en het maximaal toelaatbare beïnvloede gebied. Dit impliceert het in voor locaties en varianten vergelijkbare vorm genereren van:

- concentraties in vaste stof (baggerspecie, bodemmateriaal) en grondwater als functie van ruimte en tijd;
- massafluxen op het grensvlak baggerspecie-ondergrond als functie van de tijd; en
- de omvang van het beïnvloede gebied na 10.000 jaar (criterium voor beïnvloeding is overschrijding van de streefwaarden).

## 2.4 Bepaling van inrichting van de gekozen combinatie

Na keuze van locatie en variant volgt de bepaling van de inrichting van de baggerspeciéstortplaats. Voor grootschalige initiatieven dient een inrichtings-MER te worden opgesteld (zie nummer 4 in figuur/tabel 2.1). De inrichting omvat de vormgeving van de stortplaats, het treffen van maatregelen om de verspreiding van verontreinigingen naar de omgeving tegen te gaan en de monitoring van verspreiding.

Monitoring van de (grond)waterkwaliteit dient om vast te stellen of verspreiding daadwerkelijk binnen het toelaatbare niveau blijft. Indien dat niet het geval blijkt te zijn, verschaft het monitoren ook informatie ten behoeve van in een later stadium te treffen maatregelen. Monitoring kan tevens bijdragen tot maatschappelijk acceptatie van de baggerspeciéstortplaats, als er uitzicht wordt geboden op het treffen van aanvullende, effectieve maatregelen wanneer dat op grond van monitoringsgegevens nodig blijkt te zijn.

Op grond van de bevindingen van de locatiekeuze-MER zullen verschillende inrichtingsalternatieven worden gedefinieerd. Het Beleidsstandpunt verwijdering baggerspecie geeft alleen doelvoorschriften (zie sectie 1.1). Voorts beschrijft het op globale wijze mogelijke maatregelen, met name het aanbrengen van diffusie-remmende lagen. Met betrekking tot geohydrologische isolatie (oppompen van verontreinigd grondwater) zijn geen richtlijnen geformuleerd.

De bij overleg betrokken partijen zijn globaal dezelfde als in het voorgaande stadium. *Het doel van overleg is de keuze van een binnen de wettelijke voorschriften en binnen de financiële, technische en maatschappelijke mogelijkheden te realiseren inrichtingsvorm voor de stortplaats met zo gering mogelijke milieueffecten.* Het verdient aanbeveling dat initiatiefnemer en bevoegd gezag in een zo vroeg mogelijk stadium bepalen aan welke eisen de vergunningaanvraag moet voldoen. Uit de voorwaarden kunnen ook richtlijnen voortvloeien met betrekking tot de inhoud en vorm van modelresultaten, zonodig in aanvulling op het advies voor de richtlijnen van de commissie MER. Uiteraard is ook nu de maatschappelijke acceptatie van wezenlijk belang, zodat het hierboven gestelde met betrekking tot overleg en presentatie onverkort van toepassing is.

Toe te passen modellen zullen over het algemeen een grotere mate van ruimtelijk detail kennen dan in het stadium van locatie-keuze, omdat alternatieven voor de vormgeving moeten worden geëvalueerd. In geval van een complexe opbouw van de bodem kan het echter ook voor ondersteuning van de locatie-keuze nodig zijn een zeer gedetailleerde ruimtelijke schematisering te gebruiken!

Een grote mate van ruimtelijke detaillering kan voortvloeien uit de noodzaak om de modellering over een kortere tijdsas uit te voeren. Daarbij gelden namelijk hogere eisen aan de berekeningsnauwkeurigheid. Berekeningen over een kortere tijdsas zijn vooral aan de orde bij beoordeling van de effectiviteit van stofverspreiding-beperkende maatregelen en bij bepaling van het optimale programma voor monitoring van de grondwaterkwaliteit (plaats, tijd en stoffen).

Het een en ander impliceert dat een modeltoepassing ten behoeve van een inrichtings-MER over het algemeen behoefte heeft aan enigszins meer gedetailleerde gegevens dan een toepassing voor een locatiekeuze-MER. Verschillen hebben vooral betrekking op de bodem en het grondwater. Het kan dus nodig zijn aanvullende gegevens te genereren met betrekking tot (zeer) lokale opbouw en samenstelling van de bodem, grondwaterbeweging en grondwaterkwaliteit.

De modelresultaten zijn dezelfde als beschreven in paragraaf 2.3, maar vertonen uiteraard meer detail in ruimte en tijd. Ze bieden voor de verschillende inrichtingsalternatieven vergelijkbare kwantificeringen van het verspreidingsgedrag. Daarnaast moeten de resultaten ook inzicht geven in de optimale plaatsing van monitoringspunten en de toetsing aan toekomstige monitoringsresultaten mogelijk maken.

## 3 Het gebruik van modellen

### 3.1 Modelkeuze

Een mathematisch model van een natuurlijk systeem kan worden gedefinieerd als een verzameling onderling samenhangende vergelijkingen, waarmee aspecten van dat systeem met een bepaalde mate van nauwkeurigheid kwantitatief kunnen worden beschreven. In het geval van modellering van verontreiniging uit een baggerspeciéstortplaats gaat het om (im)mobilisatieprocessen in baggerspecie en ondergrond, grondwaterbeweging en stofverspreiding. Deze groepen van processen worden dikwijls gescheiden gemodelleerd. Voorts wordt onderscheid gemaakt naar relatief kortdurende grondwaterbeweging ten gevolge van consolidatie (korte termijn) en naar permanente grondwaterbeweging. De resultaten van het grondwatermodel en het (im)mobilisatiemodel vormen een essentieel deel van de invoer voor het stofverspreidingsmodel. Concentraties en massastromen als functies van plaats in de bodem en van tijd zijn het uiteindelijke berekeningsresultaat.

In Nederland zijn diverse modelinstrumentaria beschikbaar, die verschillen naar de wijze van ruimtelijke schematisering, de beschouwde processen en de formulering daarvan (zie DHV, 1994). Verwacht mag worden, dat modellen van gerenommeerde instituten en adviesbureaus bruikbare resultaten opleveren bij toepassing op die situaties, waarvoor ze zijn gemaakt. In een concreet geval moet worden gekozen voor het meest geschikte model. De keuze wordt in grote lijnen bepaald door:

- de vraagstelling; Geeft het model de gewenste soort informatie en mate van detail? Geeft het de informatie in de gewenste vorm?
- de lokale eigenschappen van de bodem en het grondwater; Is het model geldig en bruikbaar voor de lokale condities?
- de aard van de problematische verontreinigende stoffen: Bevat het model de stofspecifieke relevante processen?
- de benodigde precisie; Kan de gewenste precisie met behulp van ruimtelijke schematisering en berekeningsmethode worden bereikt?.

Voor de beantwoording van deze vragen zijn weinig absolute criteria te geven. De gewenste informatie hangt samen met te toetsen grootheden, zoals concentraties, massafluxen en volumes. De benodigde mate van detail in ruimte en tijd neemt toe gaande van de keuze van locaties via bepaling van de inrichting naar de selectie van plaatsen voor grondwatermonitoring en/of onttrekking van grondwater ten behoeve van geohydrologische isolatie. De gewenste vorm betreft de grafische en tabelsmatige presentatie, die een goede vergelijking van alternatieven mogelijk moet maken. Relevante criteria met het oog op precisie zijn vooral:

- de massabehoudendheid van modellen, ook bij de overdracht van het ene naar het andere model;
- de geschiktheid en nauwkeurigheid van de berekeningsmethode voor het oplossen van de vergelijkingen voor stoftransport (advectie en diffusie);
- de omvang van rekensegmenten, die niet te groot mogen zijn;
- de omvang van het gemodelleerde gebied, dat niet te klein mag zijn; en

- de adequaatheid van de formuleringen voor relevante (bio)chemische en fysische processen.

In modellen wordt de bodem in twee of drie dimensies opgedeeld in segmenten, waardoor water en daarin opgeloste stoffen worden getransporteerd. Naarmate segmenten groter gekozen zijn om de rekenlast te beperken, is de nauwkeurigheid van de modelberekening geringer. Onnauwkeurigheid is in dit opzicht het gevolg van numerieke dispersie, een uitvloeisel van de berekeningsmethode. Numerieke dispersie resulteert in ongewenst additioneel stoftransport, een artefact. Sommige methoden bevatten correcties hiervoor.

De maximaal toegestane grootte van een segment hangt onder meer samen met de correcte modellering van diffusie en dispersie, de beperking van numerieke dispersie, de omvang van onttrekkingsdebieten, de toetsing van stofverspreiding aan de hand van meetgegevens afkomstig van monitoring en de lengte van de tijdsas. Proefondervindelijk zou aangetoond moeten worden, dat verdere verfijning van de ruimtelijke schematisering geen significante verbetering van de rekennauwkeurigheid oplevert.

Bij de minimaal benodigde omvang van het te modelleren gebied liggen de randen ver genoeg van de baggerspeciëstortplaats af om het beïnvloede gebied na 10.000 jaar te kunnen vaststellen (dit bij acceptabele rekenlast!). De ligging van de randen mag de stofverspreiding niet beïnvloeden. De geohydrologische effecten zijn hiervoor in eerste instantie maatgevend.

Tenslotte kan nog worden opgemerkt, dat geringe beschikbaarheid en betrouwbaarheid van locatie-specifieke invoergegevens gegevens het gebruik van een meer globaal, en dus minder nauwkeurig model kan rechtvaardigen.

### 3.2 Toetsing aan probleemstoffen en lokale condities

In het algemeen spelen zich de volgende processen af in baggerspecie. Organische stof wordt afgebroken met als gevolg dat er in de specielaag:

- gereduceerde condities worden gehandhaafd;
- de zuurgraad (pH) de neiging heeft te dalen;
- eutrofiërende stoffen (fosfaat en ammonium), gemobiliseerd worden; en
- dat er opgelost organisch materiaal en gas wordt gevormd.

De aanwezigheid van bepaalde mineralen zoals kalk verhinderen daling van de pH onder een bepaald niveau. Deze gaan echter geleidelijk in oplossing en worden omgezet in andere mineralen, waarin ook fosfaat en ammonium worden vastgelegd. De voorraad bufferende mineralen in verhouding tot de hoeveelheid afbreekbare organische stof bepaalt dus tot welk niveau de pH op den duur kan dalen. pH-daling kan leiden tot mobilisatie van zware metalen. De afname van de hoeveelheid organische stof impliceert voorts de geleidelijke mobilisatie van daaraan geadsorbeerde stoffen.

De (im)mobilisatieprocessen zijn sterk verschillend met betrekking tot zware metalen, organische microverontreinigingen en eutrofiërende stoffen. Ze vertonen bovendien een relatie met het lokale chemische milieu. Globaal kan hier onderscheid gemaakt worden tussen geoxydeerde condities en de reeds genoemde gereduceerde condities. Bij geoxydeerde condities zijn zuurstof en/of nitraat aanwezig. Gereduceerde condities worden gekenmerkt door de afwezigheid van deze stoffen en door de productie van sulfiden en methaan. Zware metalen worden onder dergelijke omstandigheden vastgelegd in zeer slecht oplosbare sulfiden. Bij gereduceerde condities in bodem en grondwater zullen de streefwaarden voor zware metalen in grondwater daarom niet worden overschreden. Het toepassen van een model is dan niet nodig. (Het grondwater in het onder de zeespiegel gelegen deel van Nederland is grotendeels gereduceerd.)

Chroom vormt op het bovenstaande een uitzondering. De oplosbaarheid van dit metaal wordt zowel onder gereduceerde als geoxydeerde condities bepaald door hydroxyden en is daarom vrij sterk afhankelijk van de pH van het grondwater. Naarmate de pH daalt wordt chroom beter oplosbaar en dus sterker gemobiliseerd.

Hoewel geen zwaar metaal, wordt arseen vaak in één adem met zware metalen genoemd. Het gehalte arseen in oplossing wordt vooral bepaald door sorptie aan organische stof. Arseen mobiliseert diensgevolge bij de afbraak daarvan.

In geval van geoxydeerd grondwater rond een depot, met name in de hogere gronden, kunnen zware metalen relatief sterk gemobiliseerd worden. Het opgeloste metaalgehalte wordt bepaald door sorptie aan anorganische en organische bodemcomponenten of door de oplosbaarheid van mineralen. Voor simulatie van de mobilisatie en verspreiding van zware metalen is een model benodigd, dat in staat is complexe chemische processen te beschrijven. De meeste verspreidingsmodellen kunnen dat niet adequaat.

Het laatste geldt evenzo voor de modellering van eutrofiërende stoffen. Voor precieze modellering is onder alle omstandigheden een chemisch model benodigd. Eutrofiërende stoffen worden echter in de context van baggerspeciëstortplaatsen voor wat betreft grondwater vaak niet als probleemstoffen aangemerkt, hoewel ammonium, nitriet en nitraat daarin ongewenst zijn, met name vanuit het oogpunt van drinkwaterwinning.

Organische microverontreinigingen adsorberen veelal sterk aan organische stof. De afbraak van organische stof leidt dus tot mobilisatie van organische microverontreinigingen, hetgeen nog versterkt kan worden door associatie met in poriewater opgeloste organische stof. Vele organische microverontreinigingen worden in baggerspecië traag afgebroken. Sommige stoffen zoals polycyclische aromatische koolwaterstoffen (PAK's) breken echter onder gereduceerde condities vrijwel niet af. Afgezien van verschillende afbraakprocessen is het gedrag van organische microverontreinigingen niet essentieel anders onder gereduceerde of geoxydeerde condities. De keuze van een model wordt daarom niet bepaald door de macrochemische condities.

De vorming van gas is vooral een beheersprobleem omdat door volumevergroting de hoeveelheid te bergen baggerspecië kan worden beperkt. Gasvorming kan voorts het transport van microverontreinigingen vertragen. Door dit aspect niet te beschouwen wordt voldaan aan de worst case benadering.

### 3.3 Kwaliteitsborging van de modeltoepassing

De toepassing van modellen vereist kwaliteitsborging om het risico van onbruikbare, (te) onnauwkeurige of zelfs onjuiste berekeningsresultaten te verkleinen. Hierbij zijn geen absolute toetsingscriteria te geven. Door systematisch te werk te gaan is echter veel dreigend onheil af te wenden. De volgende handelingen passen in die systematiek:

- Bepaal voor of tijdens de uitbesteding van modelstudies gedetailleerd op welke vragen antwoorden moeten worden gegeven met behulp van de modelberekeningen.
- Bepaal eveneens welke inhoud en vorm de modelresultaten moeten hebben (aard, detail in ruimte en tijd, vergelijkbaarheid, etc.).
- Laat aanbieders van modelstudies goed beargumenteerd aantonen dat de in paragraaf 3.1 gestelde vragen in hun geval positief beantwoord kunnen worden.
- Toets aanbiedingen aan de in paragrafen 3.1 genoemde en in paragraaf 3.2 nader toegelichte criteria.
- Laat ten aanzien van de gegevensbeschikbaarheid in een zo vroeg mogelijk stadium een uitspraak doen over de haalbaarheid van modellering. Er moet van evenwichtigheid sprake zijn ten aanzien van de vraagstelling, de beschikbare gegevens en de gedetailleerdheid van de modellering.
- Toets de mate waarin voor de invoergegevens bronnen met gevalideerde gegevens gebruikt worden.
- Laat de interimrapportage en eindrapportage vermelden met welke onzekerheden of tekortkomingen de invoergegevens behept zijn, welke implicaties deze hebben voor de modelresultaten en hoe omgegaan wordt met een zo realistisch mogelijke worst case aanpak.
- Laat de voorgenomen modeltoepassing en de resultaten toetsen door een onafhankelijke deskundige.

### 3.4 Alternatieven voor modelberekening

In het geval van kleinschalige initiatieven zullen meestal geen modelberekeningen worden uitgevoerd. Ook in die gevallen dient te worden aangetoond, dat de verspreiding van verontreiniging binnen het toelaatbare blijft. In geval van onderafdichting behoort verspreiding via de zijkanalen tot de mogelijkheden, zeker als sprake is van taluds. Een alternatief voor modellen wordt hier gevormd door een analyse van worst case verspreidingsfluxen en -risico's. Een belangrijk nadeel ten opzichte van modellering is de vergrote kans op significante overschatting van verspreidingsfluxen.

Een dergelijke analyse stelt eerst de relevante eigenschappen van de ondergrond en de te verwachten grondwaterbeweging vast, waarbij voor verspreiding gunstige boven- of ondergrenzen worden genomen. Daarna wordt een inschatting gemaakt van het chemische milieu dat zich in en onder de baggerspecie binnen een relevant geachte tijdschaal zal ontwikkelen. Aan de hand daarvan wordt vastgesteld welke maximale mobilisatiefluxen kunnen optreden, zonodig verminderd door een adsorberende, diffusie-remmende laag. Tenslotte worden de risico's bepaald van het optreden van significant grotere verspreidingsfluxen onder invloed van een omslag in chemische condities, doorbraak van een diffusie-remmende laag (bentoniet) of het kapot gaan van een isolerende laag (folie).

## 4 Voor modelberekeningen benodigde gegevens

### 4.1 Algemeen

De voor modelberekeningen benodigde gegevens kunnen worden ingedeeld naar drie hoofdgroepen: stof-specifieke gegevens, locatie-specifieke gegevens en scenario-specifieke gegevens. Stof-specifieke gegevens hebben betrekking op baggerspecie en verontreinigende stoffen. Locatie-specifiek zijn de gegevens voor de samenstelling van de bodem en de kwaliteit en beweging van het grondwater. Scenario's kunnen gedefinieerd worden voor:

- de kwantiteit en de kwaliteit van de baggerspecie;
- de geometrie en inrichting van de baggerspeciéstortplaats; en
- de (grond)waterhuishouding.

Scenario's worden doorgerekend om via onderlinge vergelijking optimale scenario's te vinden ten aanzien van depotvariant, bergingscapaciteit en beperking van verontreiniging.

Specifieke gedeelten van de gegevens worden gebruikt voor de verschillende soorten modellen voor a) consolidatie van de baggerspecie, b) grondwaterbeweging (geohydrologische model), c) (im)mobilisatie van stoffen in baggerspecie en ondergrond (geochemisch model), en d) stofverspreiding vanuit de baggerspecie via het grondwater. In onderstaande paragrafen wordt steeds de link gelegd tussen gegevens en modellen.

Alleen de locatie-specifieke gegevens hebben een relatie met de aard van de modeltoepassing (locatie-keuze, inrichting, geohydrologische isolatie, etc.). Bij de betreffende paragrafen wordt daarom aandacht gegeven aan het vereiste detail van ruimtelijke en temporele schematisering enerzijds en het effect op de berekeningsnauwkeurigheid.

In het algemeen geldt dat zoveel mogelijk gebruik moet worden gemaakt van gevalideerde gegevens. Dit zijn gegevens waaraan een kwaliteitskeurmerk hangt en waarvoor een verifieerbare bronvermelding kan worden gegeven. In veel gevallen is desalniettemin sprake van gegevens met een zekere mate van onnauwkeurigheid of zelfs onzekerheid. Cruciaal is het om met onzekerheid om te gaan op een manier die verantwoord is met het oog op het gebruik van de modelresultaten voor het beslisproces. Uitgelegd wordt hoe parameters daartoe op basis van een worst case beschouwing gekwantificeerd moeten worden. Een worst case benadering dient een berekeningsresultaat op te leveren, waarbij de effecten van verspreiding van verontreiniging niet onderschat worden voor zover dat met de huidige kennis kan worden overzien.

De mate van onzekerheid in de invoergegevens voor modellen, die nog acceptabel is, is afhankelijk van het doel van de modelberekeningen. Voor toetsing aan absolute normen is de toelaatbare onnauwkeurigheid geringer dan voor vergelijking van diverse alternatieven. Het eerste speelt vooral bij berekeningen ten behoeve van een inrichtings-MER. Bij berekeningen voor een locatiekeuze-MER ligt de nadruk op het tweede. In dit geval kan dikwijls volstaan worden met minder gedetailleerde invoergegevens.

In de navolgende paragrafen wordt niet ingegaan op achtergronden en details van processen. Dat soort informatie is te vinden in bijvoorbeeld DHV (1994).



## 4.2 Baggerspecie-specifieke gegevens

De benodigde gegevens van baggerspecie worden afgeleid uit meetgegevens betreffende de te bergen baggerspecie. Tabel 4.1 verschaft een overzicht van de benodigde gegevens voor drie hoofdgroepen.

### *Fysische parameters*

De fysische parameters zijn afgezien van de porositeit alleen benodigd voor de modellering van consolidatie en grondwaterbeweging. De meeste parameters kunnen nauwkeurig bepaald worden. De uitzondering wordt gevormd door de doorlatendheid. Voor deze zeer belangrijke parameter is het mogelijk betrouwbare bovengrenzen te schatten, zodat aan een worst case benadering kan worden voldaan.

### *Macrochemische parameters*

De afbraaksnelheid van organisch materiaal in baggerspecie is een betrekkelijk onzekere parameter vanwege zijn tijdsafhankelijkheid. De afbraaksnelheid neemt traag met de tijd af. Het verloop binnen 10 jaar na vorming van de specie is redelijk goed bekend. Het verloop daarna is niet meetbaar, zeker als men denkt aan eeuwen tot millennia. Het is daarom gebruikelijk om de afbraaksnelheid in de tijd invers exponentieel te extrapoleren tot een zeer lage restwaarde. De afname van de snelheid wordt zo gering mogelijk genomen om te voldoen aan de worst case benadering. Gegeven de onzekerheid van andere invoerparameters is het echter ook te rechtvaardigen om in het geval van organische microverontreinigingen de afbraak van organisch materiaal geheel te verwaarlozen.

Het stofverspreidingsmodel heeft naast de porositeit en de afbraaksnelheid van organische stof alleen de sorptie-gerelateerde eigenschappen van baggerspecie nodig. Indien de sorptiecapaciteit (CEC) voor zware metalen niet gemeten is kan deze als minimale waarde worden geschat op basis van de gehalten lutum en organische stof. De speciatie-gerelateerde gegevens dienen alleen het vaak gecompliceerde geochemische (im)mobilisatiemodel voor zware metalen en/of eutrofiërende stoffen.

De gehalten van stikstof en fosfor in organische stof zijn vaak niet gemeten. Ze zijn desalniettemin vrij redelijk in te schatten. Een hoge schatting past uiteraard bij de worst case benadering.

### *Microchemische parameters*

De gehalten van microverontreinigingen worden in modelberekeningen gebruikt om de beginsamenstelling van de baggerspecie te beschrijven. Vanuit de worst case gedachte kan men hiervoor niet zonder meer het rekenkundige gemiddelde van gemeten gehalten nemen. Het gemiddelde dient verhoogd te worden met een veiligheidsmarge, waarvan de grootte een relatie vertoont met het aantal meetgegevens en het tijdsverloop tussen in-situ metingen en baggerspecieberging. De veiligheidsmarge moet zodanig zijn dat het werkelijke gemiddelde gehalte in de te bergen specie het berekende gemiddelde niet zal overschrijden (zie par. 2.1).

De benodigde gehalten van microverontreinigingen volgen uit de aard der verontreiniging. Criteria voor de keuze van de meest kritische en daarom te modelleren stoffen zijn:

- de ernst van de verontreiniging, c.q. de relatieve overschrijding in baggerspecie van normconcentraties voor baggerspecie;
- de mate van gemobiliseerdheid, c.q. de relatieve overschrijding van de normconcentraties voor grondwater; en
- de vorming uit de stof van mobielere en/of toxischer afbraakproducten.

Tabel 4.1 Overzicht van voor modellering benodigde gegevens van baggerspecie

| Groep                     | Proces  | Parameter   |
|---------------------------|---|---|
| Fysische parameters       | Consolidatie  | Initiële dichtheid, porositeit en doorlatendheid<br>Relatie dichtheid-belasting<br>Korrelgrootteverdeling                           |
|                           | Grondwaterbeweging  | Doorlatendheid en porositeit in geconsolideerde toestand  |
|                           | Stoftransport   | Porositeit in gecons. toestand  |
| Macrochemische parameters | Alle overige sorptie en speciatie processen                       | Afbraaksnelheid organische stof<br>pH   |
|                           | Sorptie van organische microverontreinigingen                     | Organische stofgehalten in vaste stof en in poriewater  |
|                           | Sorptie van zware metalen   | Sorptiecapaciteit CEC of gehalten lutum en organische stof<br>Opgeloste gehalten van kalium, natrium, calcium, ammonium en chloride |
|                           | Sorptie van arseen en fosfaat                                     | Gehalten van geoxideerd ijzer, mangaan, aluminiumhydroxyde  |
|                           | Sorptie van ammonium  | Gehalten van klei en organische stof  |
|                           | Ontwikkeling speciatie van zware metalen en eutrofiërende stoffen | Gehalten van kalk, ijzer, mangaan, sulfide, fosfaat en ammonium   |
| Microchemische parameters | (Im)mobilisatie   | Vorming van eutrofiërende stoffen   |
|                           |   | Gehalten stikstof en fosfor in organische stof  |
|                           |   | Gehalten van organische microverontreinigingen, zware metalen, chroom en arseen   |

### 4.3 Stof-specifieke gegevens verontreinigende stoffen

Gegevens met betrekking tot stoffeigenschappen zijn van belang voor beschrijving van de processen in een (im)mobilisatiemodel en een stofverspreidingsmodel. In het geval van organische microverontreinigingen vallen deze modellen over het algemeen samen. In het geval van zware metalen behoeft een modelmatige studie alleen uitgevoerd te worden als sprake is van geoxydeerd grondwater (zie paragraaf 3.2). De hoeveelheid benodigde gegevens is daarbij voor een (im)mobilisatiemodel over het algemeen groter dan voor een stofverspreidingsmodel. De relevante gegevens zijn bijeengebracht in tabel 4.2.

Waarden voor de modelparameters kunnen verkregen worden uit de wetenschappelijke literatuur. Een belangrijk deel van de informatie uit de literatuur is ondergebracht in databases. In het bijzonder kunnen hier als gevalideerde bronnen voor alle benodigde gegevens genoemd worden: AQUAPOL (WL, 1995a; ontwikkeld voor Rijkswaterstaat, RIKZ en RIZA) en TOXIS (RIVM, 1994) voor organische microverontreinigingen; thermodynamische databases MINTEQ (Brown et al., 1986) en CHARON (WL, 1988) voor metalen en eutrofiërende stoffen. AQUAPOL en TOXIS zijn in principe overlappend. Voor de meest relevante stoffen zijn de benodigde gegevens reeds beschikbaar bij de uitvoerders van modelstudies.

Tabel 4.2 Overzicht van voor modellering benodigde stoffeigenschappen

| Stofgroep                         | Proces                                  | Parameter                       |
|-----------------------------------|---|---------------------------------|
| Organische microverontreinigingen | Sorptie aan slib (org. stof)            | Partiticoëfficiënt              |
|                                   | Sorptie aan opgeloste org. stof         | Partiticoëfficiënt              |
|                                   | Afbraak en vorming                      | Snelheidsconstanten             |
| Zware metalen en arseen           | Sorptie aan slib (div. comp.)           | Sorptieconstante                |
|                                   | Speciatie in opgeloste en vaste stoffen | Evenwichtsconstanten            |
| Eutrofiërende stoffen (N,P)       | Sorptie aan slib (div. comp.)           | Sorptieconstante                |
|                                   | Speciatie in opgeloste en vaste stoffen | Evenwichtsconstanten            |
|                                   | Nitrificatie en denitrificatie          | Snelheidsconstanten             |
| Alle groepen                      | Diffusie                                | Moleculaire diffusiecoëfficiënt |

### *Sorptie*

Het sorptieproces is deels een snel proces en deels een langzaam proces. Snelle sorptie vindt plaats aan het oppervlak van slibdeeltjes. De langzame component is waarschijnlijk het gevolg van uiterst trage migratie van de verontreinigende stof tussen het oppervlak en het inwendige van de deeltjes.

De in literatuur (databases) gegeven partiticoëfficiënten en sorptieconstanten vertonen een grote spreiding in waarde en hebben vaak betrekking op snelle sorptie. Deze parameters zijn maten voor de snelle evenwichtsverdeling van een stof over vaste stof en poriewater. Ze nemen echter in baggerspecie als gevolg van de trage sorptiecomponent met de tijd toe tot een (nog) niet nauwkeurig te bepalen maximale waarde. Voor de lange termijn beschouwing (> 10 jaar) dient men eigenlijk deze waarde te nemen. De aanname van evenwicht in baggerspecie is op zichzelf wel gerechtvaardigd gegeven het zeer trage stoftransport.

De beschikbare waarden voor partiticoëfficiënt en sorptieconstante zijn bepaald voor uiteenlopende omstandigheden die veelal niet representatief zijn voor baggerspecie. Soms moeten ze zelfs bij gebrek aan gegevens worden afgeleid van analoge parameters. Vanwege de daarmee samenhangende onzekerheid, dient men te rekenen met een worst case schatting die verkregen wordt door:

- het gemiddelde van in de literatuur aangetroffen hoge waarden te bepalen; of beter nog
- een waarde te bepalen aan de hand van in baggerspecie gemeten particuliere en opgeloste gehalten.

De partiticoëfficiënt met betrekking tot opgeloste organische stof heeft echter betrekking op snelle sorptie. Hiervan bestaan maar weinig uit meting bepaalde gegevens. De coëfficiënt wordt daarom gelijk gesteld aan of iets kleiner genomen dan het gemiddelde van de in de literatuur aangetroffen lage waarden van de partiticoëfficiënt voor sorptie aan vaste organische stof.

De sorptieconstante is een functie van de sorptiecapaciteit van de vaste stof, de zuurgraad en de mate waarin een metaal door opgeloste anorganische ionen gebonden wordt. Alleen voor koper kan de binding aan opgeloste organische stof een rol van betekenis spelen.

### *Speciatie*

Onder speciatie wordt verstaan de verdeling van zware metalen en arseen over diverse anorganische opgeloste en vaste verbindingen. Grote verschillen treden op tussen de speciatie bij gereduceerde en geoxydeerde condities. De pH- en saliniteit-afhankelijke verdeling over verbindingen kan in evenwicht worden beschouwd. De bijbehorende evenwichtsconstanten zijn voor het grootste deel vrij nauwkeurig bekend als het gaat om zuivere verbindingen. In baggerspecie maar ook in de bodem kunnen echter allerlei mengvormen van vaste verbindingen optreden, waarvan de evenwichtsconstante niet nauwkeurig bekend is. Om vergelijkbare redenen als voor partitie worden in berekeningen met een geochemisch (im)mobilisatiemodel daarom worst case waarden genomen, dus waarden waarbij het opgeloste gehalte wordt overschat.

Iets soortgelijks geldt voor de speciatie van de eutrofiërende stoffen ammonium en fosfaat, zowel onder gereduceerde als geoxydeerde omstandigheden. Een complicatie is dat de mengvormen in de vaste stof slecht bekend zijn (WL, 1992a). Nitraat is volledig in opgeloste vorm aanwezig, maar komt alleen voor bij geoxydeerde omstandigheden.

### *Afbraak en vorming*

Organische microverontreinigingen worden over het algemeen beter afgebroken onder geoxydeerde omstandigheden dan onder gereduceerde omstandigheden (WL, 1992b). De afbraakroutes zijn ook verschillend, evenals de gevormde tussenproducten, welke soms toxischer en/of mobieler kunnen zijn dan de uitgangsstof, hetgeen het zinvol kan maken de uitgangsstof en het (relatief stabiele) tussenproduct gezamenlijk te modelleren. Polycyclische aromatische koolwaterstoffen (PAK's) breken onder gereduceerde omstandigheden zeer traag of in het geheel niet af.

De snelheidsconstanten voor afbraak en vorming in baggerspecie en grondwater zijn in het algemeen slechts qua ordegrrootte bekend. Zeer trage omzetting is immers niet direct meetbaar. Daarom wordt voor de afbraaksnelheidsconstante een lage schatting gebruikt of wordt deze zelfs op nul gesteld in modelberekeningen. Voor het bestuderen van een tussenproduct is het echter juist zinvol een hoge schatting voor de vormingssnelheid te hanteren.

#### *Nitrificatie en denitrificatie*

De microbiële omzetting van ammonium naar nitriet en vervolgens nitraat (nitrificatie) verloopt bij aanwezigheid van zuurstof, de omzetting van nitraat naar elementair stikstof (denitrificatie) bij afwezigheid van zuurstof. Deze processen voltrekken zich relatief snel, zodat de snelheidsconstanten geen kritische grootheden zijn bij de modellering van baggerspecie-grondwatersystemen.

## **4.4 Locatie-specifieke gegevens bodem**

De bodem is hier op te vatten als de beïnvloedbare omgeving van een baggerspeciedepot tot aan de onderzijde van het eerste of tweede watervoerende pakket. Een overzicht van de voor alle soorten modellen relevante bodemgegevens wordt geboden in tabel 4.3. Indien het gaat om niet-modelmatige analyse van verspreiding van verontreiniging bij een kleinschalig initiatief zijn slechts globale bodemgegevens benodigd. De mate van detail vereist voor modelmatige analyse is gekoppeld aan de gedetailleerdheid van de ruimtelijke opbouw van de bodem en de aard van het stoftransport. De gegevens worden immers gebruikt om chemische en fysische eigenschappen toe te wijzen aan de bodemsegmenten, die in het model worden onderscheiden. Het vereiste detail neemt in het algemeen toe van de vergelijking van locaties naar de bepaling van depotinrichting, grondwatermonitoring en geohydrologische isolatie.

De belangrijkste bronnen van gevalideerde gegevens met betrekking tot geologische opbouw, samenstelling en fysische eigenschappen van de Nederlandse bodem zijn de Grondwaterkaart van Nederland (TNO-IGG, tot 1995; TNO-IGG, 1993) en de Geologische kaart van Nederland (RGD, tot 1995). Daarnaast zijn vaak aanvullende gegevens beschikbaar bij provincies of gemeenten, afkomstig van voor specifieke doeleinden uitgevoerde boringen. Gedetailleerde informatie met betrekking tot de samenstelling en inrichting van de bovenste 2 meter van de bodem kan worden verkregen uit de Bodemkaart van Nederland (STIBOKA, tot 1995).

#### *Geologische parameters*

De opbouw van de bodem met slecht- en goed-doorlatende lagen is sterk bepalend voor de stroming van het grondwater en dus het transport van daarin opgeloste stoffen. De bodemopbouw is vastgesteld door extrapolatie van gegevens verkregen uit boringen. Naarmate meer boringen zijn verricht wordt een beter gefundeerd en nauwkeuriger beeld van de gelaagdheid en de aard (textuur) van het bodemmateriaal verkregen. Toch is het vaak onmogelijk, zelfs bij een dicht net van boringen, de lokale aan- of afwezigheid van lagen met zekerheid vast te stellen. De variaties in de bodemopbouw in Nederland zijn sterk. De beschikbare gegevens kunnen afdoende zijn voor modeltoepassing ten behoeve van locatiekeuze, maar tekort

schieten voor nauwkeurige modellering ter analyse van het rendement van geohydrologische isolatie. Het aannemen van een ononderbroken laag, terwijl deze in werkelijkheid lokaal niet aanwezig is, zorgt voor artefacten in een modelberekening. Per geval zullen zodanige aannamen moeten worden gemaakt, dat het gemodelleerde systeem zich in de werkelijkheid niet significant ongunstiger zal gedragen.

### *Fysische parameters*

Indien de textuur van een bodemlaag is vastgesteld, zijn de doorlatendheid en de porositeit vrij nauwkeurig bekend. Het zal echter duidelijk zijn, dat lagen veelal niet homogeen zijn, hetgeen leidt tot onzekerheidsmarges om de parameterwaarden. Door calibratie van een geohydrologisch model kunnen deze marges worden verkleind. Vervolgens dient de definitieve berekening van de grondwaterbeweging zodanig binnen de vastgestelde parametermarges te worden uitgevoerd dat deze de voor stofverspreiding meest ongunstige toestand vertegenwoordigt.

De dispersiecoëfficiënt vertoont relaties met de korrelgrootteverdeling van het bodemmateriaal, de homogeniteit van bodemlagen en de stroomsnelheid van het grondwater. Het is een van de meest onzekere parameters, waarvoor overigens de boven- en ondergrenzen wel vrij goed te bepalen zijn (Gelhar et al., 1992). Per geval moet worden beoordeeld met welke combinatie van boven- en ondergrenzen er gerekend dient te worden om onderschatting van stofverspreidingseffecten te voorkomen.

Tabel 4.3 Overzicht van voor modellering benodigde bodemeigenschappen

| Groep                     | Proces  | Parameter   |
|---------------------------|---|---|
| Geologische parameters    | Grondwaterbeweging  | Gelaagdheid<br>Bodemsamenstelling (zand, klei, veen, etc.)  |
| Fysische parameters       | Grondwaterbeweging<br><br>Stoftransport   | Doorlatendheden<br>Porositeiten<br><br>Dispersiecoëfficiënten<br>Porositeiten   |
| Macrochemische parameters | Sorptie en speciatieprocessen<br><br>Sorptie van organische microverontreinigingen<br><br>Sorptie van zware metalen<br><br>Sorptie van arseen en fosfaat<br><br>Sorptie van ammonium<br><br>Ontwikkeling speciatie van zware metalen en eutrofiërende stoffen | pH<br><br>Organische stofgehalten<br><br>Sorptiecapaciteiten of gehalten van lutum (<2 $\mu$ ) en organische stof<br><br>Gehalten geoxideerd ijzer en mangaan<br>Gehalte aluminiumhydroxyde<br><br>Kleigehalte<br><br>Gehalten van kalk, ijzer, mangaan, sulfide en fosfaat |

### Macrochemische parameters

Ook de macrochemische parameters van een laag hangen sterk samen met de textuur van het materiaal in die laag. De gehalten van mangaan, sulfide en fosfaat zijn meestal niet bekend. Bij schatting dient onzekerheid zodanig gehanteerd te worden dat stofverspreiding niet wordt onderschat.

## 4.5 Locatie-specifieke gegevens grondwater

Met betrekking tot de vereiste mate van detail van de gegevens in relatie tot ruimtelijke schematisering en doel van de modelberekeningen gelden dezelfde constatering en als voor bodemgegevens. De fysische gegevens zijn benodigd voor het grondwatermodel, de chemische gegevens vrijwel uitsluitend voor het stofverspreidingsmodel of het (im)mobilisatiemodel (zie tabel 4.4).

De belangrijkste en meest actuele bron van gevalideerde fysische en chemische gegevens met betrekking tot grondwater in Nederland is OLGA, het digitale grondwaterarchief van TNO-IGG te Delft. Voorheen beschikte ook RIVM over een gegevensbestand van een landelijk meetnet. De Grondwaterkaart van Nederland (TNO-IGG, tot 1995) levert gegevens met betrekking tot stijghoogten. Waterschappen beschikken over de meest recente oppervlaktewaterpeilen en over gegevens van kwel- en wegzijging. De waterstaatskaarten van de Meetkundige Dienst van RWS worden niet meer bijgewerkt en zijn veelal verouderd. Een overzicht van stroom-snelheden in het watervoerend pakket en van kwel- en wegzijgingssnelheden voor heel Nederland wordt geboden in TNO-IGG (1993). Informatie over grondwateronttrekking en infiltratie is beschikbaar bij de diensten Water en Milieu van Provincies.

Tabel 4.4 Overzicht van voor modellering benodigde grondwatereigenschappen

| Groep                     | Proces  | Parameter   |
|---------------------------|---|---|
| Fysische parameters       | Grondwaterbeweging                            | Stijghoogten<br>Oppervlaktewaterpeilen<br>Snelheden van kwel en wegzijging<br>Onttrekkings- en infiltratie-debieten             |
| Macrochemische parameters | Sorptie en speciatieprocessen                 | pH  |
|                           | Sorptie van organische microverontreinigingen | Opgeloste organische stofgehalten   |
|                           | Sorptie en speciatie van zware metalen        | Gehalten van kalium, natrium, calcium, magnesium, ijzer, ammonium, nitraat, sulfaat, sulfide, bicarbonaat, chloride en zuurstof |
|                           | Sorptie van fosfaat                           | Gehalten van fosfaat  |
|                           | Nitrificatie en denitrificatie                | Gehalten van ammonium, nitraat en zuurstof  |
|                           | Grondwaterbeweging                            | Gehalten van chloride   |

### *Fysische parameters*

De beperkte gedetailleerdheid van beschikbare gegevens is soms een probleem bij de meest gedetailleerde modelberekeningen. Per geval zal moeten worden vastgesteld of de beschikbare gegevens toereikend zijn voor het verkrijgen van voldoende betrouwbare modelresultaten.

In geval van een stortplaats naast een der grote rivieren dient rekening te worden gehouden met instationaire grondwaterbeweging. Effecten hiervan kunnen in een verspreidingsmodel via de dispersiecoëfficiënten worden meegenomen (par. 4.4). Aan de bepaling van de coëfficiënten komt berekening van de instationaire grondwaterbeweging te pas.

### *Macrochemische parameters*

De gegevens die idealiter benodigd zijn voor de modellering van de verspreiding van zware metalen in grondwater zijn deels vaak in zeer beperkte mate beschikbaar. Dit geldt de gehalten van alkali metalen, sulfide en fosfaat. Vaak moeten deze gehalten dus geschat worden.

## **4.6 Scenario-specifieke gegevens**

De scenario-specifieke gegevens hebben betrekking op die parameters in een model, die een relatie hebben met de aanleg van een depot of het beheer van de omgeving daarvan, en die tevens invloed hebben op de verspreiding van verontreiniging (zie tabel 4.5). Het algemene kenmerk van deze parameters is, dat ze gekozen worden en daarmee exact zijn te bepalen. Van berekeningonzekerheid is dus niet wezenlijk sprake. De nauwkeurigheid van modelberekeningen wordt bepaald door de gedetailleerdheid van de ruimtelijke schematisering.

Het doel van scenario-berekeningen is om na te gaan welke van een reeks alternatieven leiden tot acceptabele verspreiding van verontreinigingen. Onderscheid kan worden gemaakt naar de volgende scenario-aspecten:

- kwantiteit en kwaliteit van de baggerspecie;
- omvang en geometrie van het depot;
- aanbrengen van isolerende of diffusie-remmende lagen;
- verandering van de geohydrologie in de omgeving van het depot; en
- monitoring van de verspreiding van verontreinigingen.

Verandering van de geohydrologische condities levert alleen invoergegevens voor het grondwatermodel. De overige aspecten zijn direct van belang voor alle soorten modellen.

De kwantiteit van de baggerspecie en de omvang van het depot zijn uiteraard sterk aan elkaar gekoppeld. Deze aspecten worden afgewogen tegen het specie-aanbod en de opbouw van de ondergrond. Met name ligging en dikte van scheidende en watervoerende lagen vormen hierbij belangrijke argumenten.



Tabel 4.5 Overzicht van gegevens benodigd voor scenario's

| Scenario-aspecten                     | Beïnvloed proces                                    | Parameter   |
|---------------------------------------|---|---|
| Kwantiteit en kwaliteit baggerspecie  | Consolidatie<br>Grondwaterbeweging<br>Stoftransport | Dikte specielaag<br>Relatie dichtheid-belasting<br>Dikte specielaag<br>Gehalten van verontreinigingen, macrochemische componenten   |
| Omvang en geometrie depot             | Consolidatie<br>Grondwaterbeweging<br>Stoftransport | Dikte specielaag<br>Oppervlakte en dikte<br>Hellingshoeken van taluds<br>Ligging ten opzichte van horizontale grondwaterstroming<br>Verschil in (grond)waterpeil tussen depot en omgeving |
| Isolerende of diffusie-remmende lagen | Grondwaterbeweging<br>Stoftransport                 | Laagdikte<br>Doorlatendheid<br>Porositeit<br>Diffusiecoëfficiënt<br>Sorptiecapaciteit   |
| Geohydrologie omgeving depot          | Grondwaterbeweging<br>Stoftransport                 | Grondwateronttrekking ten behoeve van isolatie of waterwinning<br>(Grond)waterpeilen  |
| Monitoring stofverspreiding           | Geen  | Plaats en aantal van monsterpunten  |

Isolerende of diffusie-remmende lagen kunnen worden aangebracht als onderafdichting of in de vorm van verticale schermen. Ze kunnen bestaan uit folies, bentoniet of uit zelfdichtend materiaal. Overwegingen met betrekking tot de levensduur van dergelijke materialen kunnen ertoe leiden, dat het toch nodig gevonden wordt om modelmatig de verspreiding van verontreiniging bij doorbraak van de laag door te rekenen (ook in geval van volledig ondoorlaatbaar geachte materialen!)

Geohydrologische isolatie door oppompen van grondwater is een veelbelovende methode om stofverspreiding vanuit een baggerstortplaats te beperken. De optimale combinatie van het aantal en de posities van onttrekkingspunten en de omvang van de onttrekkingsdebiëten kunnen modelmatig worden bepaald. Dit geschiedt op iteratieve wijze, via terugkoppeling op de schematisering van de bodem.

Voorts kunnen de gevolgen worden onderzocht van veranderingen met betrekking tot (grond)waterpeilen en grondwateronttrekkingen. Dergelijke veranderingen kunnen zich in de omgeving van een depot voltrekken als gevolg van gewijzigd (grond)waterbeheer.

Monitoring is kostbaar en het is daarom belangrijk om vast te stellen welk aantal monsterpunten minimaal benodigd is, waar deze zich moeten bevinden en wat vanaf welk tijdstip gemeten moet worden om verspreiding van verontreiniging vast te kunnen stellen. Grondwaterbemonstering heeft echter geen invloed op stofverspreiding en levert daarom ook geen invoergegevens. De genoemde aspecten kunnen uit de modelresultaten worden afgeleid, mits de ruimtelijke schematisering van de bodem hiertoe voldoende detail bevat. Bij het ontwerpen van schematiseringen dient met dit aspect dus rekening te worden gehouden.

## 5 Resultaten van modellen

### 5.1 Aard, vorm en gebruik

#### *Grondwaterbeweging*

Geohydrologische resultaten zijn niet het (hoofd)doel van modelstudies van baggerspeciëstortplaatsen, maar dienen wel onderwerp van toetsing te zijn. De resultaten omvatten:

- grondwaterbewegingen voor diverse scenario's in de vorm van invoerbestanden voor het stofverspreidingsmodel of het (im)mobilisatiemodel; en
- kwel- en wegzijgingssnelheden en de horizontale stroomsnelheden in watervoerende pakketten.

De berekende grondwaterbeweging is stationair voor zover deze niet specifiek de consolidatie van baggerspecie betreft. Hij wordt gepresenteerd in kaarten, waarin de punten van gelijke grondwaterstijghoogte met lijnen verbonden zijn, zogenaamde isohypsekaarten (voorbeelden in WL en RIZA, 1995). In de kaart die de uitgangstoestand weergeeft zijn ter vergelijking ook gemeten stijghoogten opgenomen. De mate van overeenkomst is een indicatie voor de juistheid van de berekening.

#### *Stofverspreiding*

Met het oog op de toetsing van te verwachten stofverspreiding aan normen en richtlijnen, zijn de gewenste resultaten van stofverspreidings- en (im)mobilisatiemodellen:

- concentratievelden in de omgeving van de baggerspeciëstortplaats;
- massastromen (fluxen) vanuit de stortplaats naar het grondwater; en
- beïnvloed volume van het grondwater, gedefinieerd als het volume waarin de streefwaarden worden overschreden.

De concentraties in het grondwater zijn functies van plaats en tijd. Concentratievelden op specifieke tijdstippen worden grafisch gepresenteerd in horizontale en verticale doorsneden, in de vorm van lijnen van gelijke concentratie of kleurvlakken voor concentratie-intervallen. Gekozen concentraties en intervallen moeten in verband met onderlinge vergelijkbaarheid in figuren zoveel mogelijk gelijk zijn. Relevante normconcentraties, met name voor grondwater, dienen daartoe te behoren, zodat normoverschrijdingen rechtstreeks zichtbaar zijn. De ruimtelijk schaal en resolutie moet passen bij het doel van de berekening. Dat impliceert dat een figuur aangaande geohydrologische isolatie veel sterker inzoomt dan een figuur aangaande locatiekeuze.

De massastromen en volumes worden per stof grafisch of tabelmatig gepresenteerd als functie van de tijd. De normen worden daarbij expliciet aangegeven, zodat eventuele normoverschrijding onmiddellijk zichtbaar wordt. Alleen voor het beïnvloede volume na 10.000 jaar is een richtlijn gegeven.

Voorbeelden van de presentatie van de resultaten van modelmatige verspreidingsberekeningen kunnen worden gevonden in en WL en RIZA (1995) en WL (1995b).

## 5.2 Interpretatie

De interpretatie van de modelresultaten richt zich op:

- toetsing van de stofverspreiding aan normen; en
- de nauwkeurigheid en de betrouwbaarheid van de resultaten.

Het eerste hoeft niet problematisch te zijn, mits de resultaten in een geschikte vorm ter beschikking komen. De extrapolatie van conclusies naar het gedrag van andere stoffen dan de gemodelleerde stoffen draagt geen risico van onderschatting, mits de juiste, dat wil zeggen de meest kritische stoffen zijn doorgerekend. Dit zijn in het algemeen de stoffen die in relatief hoge gehalten aanwezig (zullen) zijn en relatief geringe sorptie en afbraak vertonen.

Het tweede blijkt vaak wel problematisch te worden gevonden, omdat er altijd een zekere mate van onzekerheid kleeft aan modelresultaten. Deze is zowel verbonden aan vooronderstellingen bij de modeltoepassing als aan intrinsieke onnauwkeurigheid van invoergegevens en model. De onzekerheid van modelresultaten kan daarom niet in een absoluut getal, of een absolute bandbreedte rond de berekeningsresultaten worden uitgedrukt. Toch kunnen er uitspraken over worden gedaan, op grond waarvan men het omgaan met onzekerheid kan beschouwen als het nemen van een onvermijdbaar doch acceptabel risico bij maatschappelijke besluitvorming.

De berekende stofverspreiding moet allereerst gezien worden als een betrouwbare verwachting, die daarom gestoeld moet zijn op de beste beschikbare expertise. Een verwachting draagt desalniettemin het risico van onder- of overschatting in zich. Om het risico van substantiële onderschatting van de verspreidingseffecten echter zo gering mogelijk te maken wordt het model zo ingericht en van invoer voorzien, dat niet de meest realistische (gemiddelde) verwachting maar een pessimistische verwachting wordt geproduceerd. Hierbij speelt onder andere gevoeligheidsonderzoek van het model een belangrijke rol. De verwachting is zodanig pessimistisch, dat de kans dat de werkelijkheid toch nog significant slechter uitpakt verwaarloosbaar is (worst case!).

Vaak kan aannemelijk gemaakt worden dat onzekerheid in modelberekeningen voor verschillende locaties en varianten dezelfde kant op werkt. In dat geval belemmert onzekerheid de keuze van het meest geschikte alternatief niet wezenlijk.

Het is van doorslaggevend belang de meest kritische invoerparameters volgens een zo realistisch mogelijke worst case benadering te kwantificeren. Dat zijn die parameters waarvan de waarde relatief onzeker en niet goed te begrenzen is, en waarvoor de uitkomst van het model relatief gevoelig is. Hiertoe behoren:

- de partiticoëfficiënt en de afbraaksnelheid van microverontreinigingen; en
- het vóórkomen, de dikte en de doorlatendheid van scheidende bodemlagen.

Een essentiële vooronderstelling voor de geldigheid van de modelberekeningen is wel, dat de (hydro)geologische condities op de beschouwde locatie gedurende een periode langer dan 10.000 jaar niet wezenlijk zullen veranderen. Over de permanentie van de geohydrologische condities gedurende zo'n lange periode vallen geen absolute uitspraken te doen.

In principe kunnen berekende concentratievelden in de toekomst getoetst worden met in grondwater gemeten gehalten. De verspreiding verloopt echter in het algemeen zo traag, dat er vele tientallen jaren verstrijken alvorens concentratieverhoging in het grondwater buiten de onmiddellijke omgeving van een baggerspeciéstortplaats kan worden vastgesteld. Verificatie of calibratie van stofverspreidingsmodellen met behulp van door monitoring verkregen veldgegevens zijn daarom vooralsnog weinig realistische opties.

Grondwatermodellen van gerenommeerde instituten zijn wel gevalideerd. Calibratie op gemeten grondwaterstijghoogten is echter noodzakelijk bij elke toepassing.

### 5.3 Rapportage

#### *Wetenschappelijke beoordeling van resultaten*

De beoordeling van de juistheid van de resultaten van modelstudies en hun bruikbaarheid voor de toetsing van stofverspreiding uit baggerspeciéstortplaatsen is voorbehouden aan deskundigen. Deze kunnen echter alleen dan tot een wetenschappelijk gefundeerd oordeel komen, indien de rapportage van modelstudies wordt toegesneden op de beoordelingsaspecten. Het rapport dient daarom minimaal beschrijvingen te bevatten van:

- beschikbare en gebruikte invoergegevens, in het bijzonder de betrouwbaarheid, de gedetailleerdheid en de beperkingen daarvan;
- implicaties van geconstateerde tekortkomingen in gegevens voor modelberekeningen;
- de motivatie van de keuze van te modelleren verontreinigende stoffen;
- de belangrijkste principes en berekeningsmethoden van gebruikte modellen en een toetsing van de toepasbaarheid voor de betreffende locatie en het gestelde doel;
- de aanpak in grote lijnen (vooronderstellingen, modelschematiseringen, modelkoppelingen, gevoeligheidsonderzoek, etc.);
- problemen aangaande de nauwkeurigheid van de modelberekeningen voortvloeiend uit modeleigenschappen en invoergegevens, daarvoor gekozen oplossingen en een systematische onderbouwing van de worst case benadering;
- numerieke berekeningsresultaten en de interpretatie daarvan; en
- conclusies die op grond van vergelijking van modelresultaten en normen getrokken worden, vergezeld van een oordeel omtrent de geldigheid hiervan in relatie tot het aan de berekeningen gestelde doel.

#### *Acceptatie van resultaten*

De acceptatie van de resultaten van een modelstudie door alle betrokken partijen vereist vaak meer dan een positief uitgevallen technisch-wetenschappelijke beoordeling. De toegankelijkheid en de helderheid van schriftelijke en mondelinge rapportage van de resultaten vormen ook belangrijke factoren, evenals de mate van betrokkenheid bij het opstellen ervan. Rapporten dienen dus helder geschreven te zijn en alle essentiële informatie te bevatten. De samenvatting zou zelfs in zodanig toegankelijk Nederlands geschreven moeten zijn, dat hij door alle betrokken partijen begrepen kan worden. Het verdient daarom aanbeveling, dat een initiatiefnemer in overleg met andere betrokken partijen vóór opdrachtverlening vaststelt hoe de rapportage van (model)studies in het besluitvormingsproces zal worden betrokken, en aan welke eisen deze bijgevolg zal moeten voldoen.

## 6 Bronnen van informatie

Ter verkrijging van informatie omtrent waterbodembeheer en de verwerking en berging van baggerspecie kan men zich beroepen op de brochure "De waterbodemwegwijzer van Rijkswaterstaat". Deze is verkrijgbaar bij onder andere het Projectbureau Depotbouw (Bouwdienst, tel. 033-4953344) en het Projectbureau Hergebruik Baggerspecie (Dienst Weg- en Waterbouwkunde, tel. 015-2699413).

De technisch-wetenschappelijke aspecten van modellen zijn onder andere beschreven in DHV (1994) en WL en RIZA (1995). Voor praktijkgerichte vragen kan men contact opnemen met:

ontwikkeling en keuze van modellen, ervaringsfeiten van generieke modelstudies:

- Dienst Weg- en Waterbouwkunde, Rijkswaterstaat, Delft (tel. 015-2699418);  
ir B.B.W. Thorborg (consolidatie, geohydrologie)
- Projectbureau Depotbouw, Bouwdienst, Rijkswaterstaat, Leusden (tel. 033-4953344);  
dr ir G.E. Kamerling

benodigde invoergegevens, ervaringsfeiten van specifieke modelstudies:

- Directie IJsselmeergebied, Rijkswaterstaat, Lelystad (tel. 0320-299111);  
ir J. Driebergen (depot Ketelmeer)
- Directie Zuid-Holland, Rijkswaterstaat, Rotterdam (tel. 010-4026200);  
drs J.C. van Hees (depot Hollandsch Diep)
- RIZA, Rijkswaterstaat, Lelystad (tel. 0320-298761);  
drs T. Bakker (stofeigenschappen, monitoring)

Genoemde personen kunnen desgewenst doorverwijzen naar specifieke deskundigen.

## 7 Literatuur

- Brown, D.S., R.E. Carlton and T.A. Wool, 1986.  
An interactive preprocessor code to facilitate the use of the metal speciation model, MINTEQA A1.
- DHV, januari 1995.  
Verslag en evaluatie van de workshop inzake modelleren van grondwaterverontreiniging bij baggerspeciéstortplaatsen op 25 november 1994 te Utrecht. Verslag MT-BD-949419.
- DHV, juni 1994.  
Modelleren grondwaterverontreiniging bij baggerspeciéstortplaatsen. Rapport MT-BD-937627.
- Gelhar, L.W., C. Welty and K.R. Rehfeldt, 1992.  
A critical review of data on field-scale dispersion in aquifers. *Water Resources Research* 28(7): 1955-1974.
- Ministerie VROM, 1994.  
Actieprogramma verwijdering baggerspecie. Ministerie VROM, Ministerie V&W, IPO, UvW en VNG.
- Ministerie VROM, december 1993.  
Regeling klasse-indeling onderhoudsspecie. Gepubliceerd in de Staatscourant 1993 onder nummer 246. Opgenomen in de Leidraad bodembescherming, afl. 11, oktober 1995. Sdu Uitgeverij Koninginnegracht.
- Ministerie VROM, november 1993.  
Besluit vrijstelling stortverbod buiten inrichtingen. Gepubliceerd in het Staatsblad 1993 onder nummer 616. Opgenomen in de Leidraad bodembescherming, afl. 11, oktober 1995. Sdu Uitgeverij Koninginnegracht.
- RGD, tot 1995.  
Geologische kaart van Nederland. Schaal 1:50.000. Rijks Geologische Dienst, Haarlem.
- RIVM, 1994.  
Handleiding TOXIS. Adviescentrum Toxicologie (Agnes Aalbers, François Bourgeois, Emily Heijna en Lex Heydendael).
- STIBOKA, tot 1995.  
Bodemkaart van Nederland. Schaal 1:50.000. Stichting voor Bodemkartering, Wageningen.
- TNO-IGG, tot 1995.  
Grondwaterkaart van Nederland. (Horizontale schaal 1:50.000, verticale schaal 1:1000). TNO, Delft.
- TNO-IGG, augustus 1993.  
Geohydrologische hoedanigheid van Nederland t.b.v. richtlijnen voor baggerspeciéstortplaatsen. Rapport OS 93-46A TNO, Delft (S. Bloemendaal en J.W.T.M. Reckman).
- Tweede Kamer, 1994.  
Evaluatienota water. Document 21250 nr. 27-28, vergaderjaar 1993-1994. Ministeries van Verkeer en Waterstaat. Sdu Uitgeverij, Den Haag.
- Tweede Kamer, 1993.  
Beleidsstandpunt verwijdering baggerspecie. Document 23450 nr. 1, vergaderjaar 1993-1994. Ministeries van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer en van Verkeer en Waterstaat. Sdu Uitgeverij, Den Haag.
- WL, 1995a.  
AQUAPOL, chemical database. Manual version 1.01.
- WL, 1995b.  
Specifieke geohydrologische isolatie Baggerspeciedepot Ketelmeer. Samenvatting onderzoek en resultaten. Verslag onderzoek T1503. (H.J. Gerrits).
- WL, 1992a.  
Immobilisatie van verontreinigingen in baggerspecie en vaste afvalstoffen. Deel 2: Experimenteel onderzoek fase 2. Verslag onderzoek T737/T723 (H.N. Kerdijk en M.P.J.M. Kroot).
- WL, 1992b.  
Immobilisatie van verontreinigingen in baggerspecie en vaste afvalstoffen. Deel 2: Experimenteel onderzoek. Deel 4: Afbraak en sorptie van organische microverontreinigingen. Verslag literatuurstudie T737/T98 (J.J.G. Zwolsman).
- WL, 1988.  
Thermodynamic database. Report on investigations T0331 (M.P.J.M. Kroot).
- WL en RIZA, 1995.  
MER Baggerspeciedepoens Limburg. Basisrapport 4. Verslag onderzoek T1389. (H.J. Gerrits, W. van Ellen, N.M. de Rooij, J.M. van Steenwijk).

## 8 Verklarende woordenlijst

De onderstaande begrippen worden verklaard vanuit de context van modellering van baggerspeciëstortplaatsen. Er is dus niet getracht de meest algemeen geldige omschrijving te geven.

**adsorptie:** Het zich chemisch en/of fysisch hechten van een opgeloste stof aan bodemmateriaal. Desorptie is hiervan het tegendeel.

**advectief transport:** Het transport van stoffen als gevolg van de stroming van het (grond)water, waarin die stoffen zich bevinden.

**ALARA-principe:** ALARA staat voor As Low As Reasonably Achievable.

**bentoniet:** Soort klei, die gebruikt wordt in afdichtende lagen en schermen.

**calibratie:** Afregeling van invoerparameters van een model via het zo goed mogelijk doen aansluiten van de modelresultaten bij meetgegevens.

**consolidatie:** Het proces van wateruitreding uit en verdichting van baggerspecie als gevolg van de druk die het eigen gewicht op de specie uitoefent.

**diffusief transport:** Het transport van stoffen als gevolg van moleculaire beweging. Er is netto transport in één richting als er van een concentratieverschil sprake is, dat wil zeggen als er een concentratiegradiënt is.

**dispersief transport:** Het transport van stoffen als gevolg van ongelijkmatige stroming van water, waarin die stoffen zich bevinden. Ongelijkmatig wil zeggen niet constant in de ruimte voor wat betreft grootte en richting.

**doorlatendheid:** Maat voor de doorlaatbaarheid van bodemmateriaal voor water. Deze wordt gekwantificeerd in de vorm van de zogenaamde  $K_d$ , waarin de stromingsweerstand en de porositeit gecombineerd zijn.

**emissie:** De uitstoot van stoffen vanuit een bron naar de omgeving.

**eutrofiëring:** Het proces van verrijking van (grond)water met anorganische voedingsstoffen voor plantaardige organismen. Dit betreft met name ammonium, nitraat en fosfaat.

**flux:** De hoeveelheid stof, die per tijdseenheid een oppervlak passeert (ook massaflux, verspreidingsflux, etc.)

**geoxydeerde condities:** De chemische condities die zich voordoen bij de aanwezigheid van zuurstof en nitraat.

**gereduceerde condities:** De chemische condities die zich voordoen bij de afwezigheid van zuurstof en nitraat. Dergelijke condities ontstaan op den duur als de consumptie van zuurstof en nitraat bij de afbraak van organisch materiaal niet wordt gecompenseerd door de aanvoer van deze stoffen, zoals dat in baggerspecie het geval is.

**gevoeligheidsonderzoek:** Onderzoek naar de gevoeligheid van een model voor specifieke parameters. De gevoeligheid kan worden vastgesteld als de relatieve verandering van modelresultaten door berekeningen uit te voeren voor de waarschijnlijke waarde, een ondergrens en een bovengrens van een parameter.

**geochemisch:** Behorend tot dat deel van de wetenschap, dat betrekking heeft op het chemisch gedrag van de aardkorst en de daarin voorkomende verbindingen.

**geohydrologisch:** Behorend tot dat deel van de wetenschap, dat betrekking heeft op de waterbeweging in de aardkorst.

**geohydrologische isolatie:** Het voorkomen van stofverspreiding vanuit een baggerspeciëstortplaats naar de omgeving door de onttrekking van grondwater.

**grondwaterbeweging:** De verplaatsing van grondwater onder invloed van de zwaartekracht en drukverschillen.

**grondwaterstijghoogte:** De opstijging of daling van grondwater in een peilbuis ten opzichte van een referentieniveau. Het is dus een maat voor het potentiaalverschil (drukverschil) ten opzichte van het referentieniveau.

**immobilisatie:** De omzetting van een stof van transporteerbare, opgeloste vormen naar niet-transporteerbare, vaste vormen. Mobilisatie is hiervan het tegendeel.

**(im)mobilisatiemodel:** Een model waarmee tegelijkertijd complexe chemische speciatie en stofverspreiding worden berekend (zie verder bij speciatie).

**kwel:** Het naar boven gerichte transport van grondwater door een veelal slecht-doorlaatbaar, afdekkend bodempakket (zie verder bij watervoerend pakket).

**lutum:** De fractie van bodemmateriaal met een korrelgrootte die kleiner is dan 2 micrometer.

**macrochemisch:** Behorend tot de groep verbindingen, die het chemisch gedrag van bodemmateriaal en grondwater bepalen.

**massabehoudend:** Waarbij geen verlies van materie optreedt.

**microverontreiniging:** Verontreinigende stof, die voorkomt in zeer geringe gehalten.

**model (mathematisch):** Een samenhangende verzameling mathematische relaties, waarmee bepaalde aspecten van een natuurlijk systeem met een zekere mate van nauwkeurigheid kwantitatief kunnen worden beschreven.

**modelparameter:** Een grootheid in een model, die een processnelheid, een procesevenwicht of een stoffeigenschap karakteriseert.

**monitoring:** Het regelmatig meten van toestandsgrootheden, bijvoorbeeld gehalten van stoffen, in een natuurlijk systeem.

**numerieke dispersie:** Het kunstmatige transport van stoffen in een model als gevolg van de berekeningsmethode. Numerieke dispersie draagt dus bij aan onnauwkeurigheid van een modelberekening.

**partitie:** De verdeling van een stof over vaste stof en water.

**partiticoëfficiënt:** Een maat voor de verdeling van een stof over vaste stof en (porie)water in evenwicht. Deze wordt ook wel verdelingscoëfficiënt genoemd. Naarmate de coëfficiënt een hogere waarde heeft is een groter deel van de stof gebonden aan de vaste stof, en is de stof dus minder mobiel.

**segment:** Een deel van de bodem, waarvan in een model verondersteld wordt dat het homogeen is. Een rekensegment is een ruimtelijke eenheid in een modelberekening.

**schematisering:** Indeling van de ruimte naar segmenten en/of verdeling van de tijd in tijdstapjes.

**scenario:** Combinatie van condities, welke instelbaar of voorspelbaar zijn, en die opgelegd kunnen worden aan een modelberekening.

**sorptie:** Het samenspel van adsorptie en desorptie. Zie verder bij adsorptie.

**sorptiecapaciteit:** Het vermogen van bodemmateriaal om via sorptie stoffen aan zich te hechten. Het gehalte organische stof is een goede maat voor de sorptie van organische microverontreinigingen. De CEC (cation exchange capacity) is een maat voor de sorptie van zware metalen.

**speciatie:** Verdeling van een element over vaste en opgeloste verbindingen.

**stofverspreidingsmodel:** Model waarmee stoftransport kan worden berekend en waarbij de belangrijkste chemische en fysische processen slechts globaal worden beschouwd.

**tijdsas:** De duur van de in een modelberekening beschouwde periode. Deze is afhankelijk van de vraagstelling.

**validatie:** De bevestiging van de bruikbaarheid van een model voor voldoende nauwkeurige beschrijving van een natuurlijk systeem aan de hand van meetgegevens. Het begrip verificatie wordt hiervoor ook gebruikt.

**verspreidingsrisico:** De combinatie van de kans op optreden van stofverspreiding en de omvang van het effect ervan.

**watervoerend pakket:** Goed-doorlaatbare zandige bodemlaag, waarin het grondwater zich voornamelijk in horizontale richting beweegt en die omsloten wordt door slecht-doorlaatbare bodemlagen.

**wegzijing:** Het naar beneden gerichte transport van grondwater door een veelal slecht-doorlaatbaar, afdekkend bodempakket (zie verder bij watervoerend pakket).

**worst case:** De meest ongunstige situatie die zou kunnen ontstaan, als pessimistische schattingen voor de waarden van modelparameters ook werkelijk zouden optreden.

**zuurgraad:** Een maat voor de verhouding tussen zuurbindende en zuurvormende verbindingen in water. De zuurgraad wordt uitgedrukt in pH-eenheden.