

**Handreiking geohydrologische  
beoordeling bij herinrichting van  
diepe plassen.**

Wim J. de Lange

1203224-000

**Titel**

Handreiking geohydrologische beoordeling bij herinrichting van diepe plassen.

**Opdrachtgever**

Bodemplus

**Project**

1203224-000

**Kenmerk**

1203224-000-BGS-0006

**Pagina's**




33

**Trefwoorden**

Beoordeling, effecten, geohydrologie, diepe plassen, bodemslib, restgrond, herinrichten

**Samenvatting**

Geohydrologische criteria zijn afgeleid voor herinrichting van diepe plassen. De beoordeling kan op drie niveaus van deskundigheid worden uitgevoerd: eenvoudig op basis van algemene kennis, met summier geohydrologische ondersteuning en met behulp van een eenvoudig model. De geohydrologische criteria zijn gebaseerd op het feit dat bij zeer lage doorlatendheid van het vulmateriaal en/of afwezigheid van potentiaalverschil de grondwaterstroming naar de omgeving marginaal zal zijn. Verspreiding is ook afwezig als het grondwater opkwelt in de directe nabijheid van de locatie. Voor het ongecoördineerd toepassen van gemengd bodemslib en zandig materiaal is nadere beoordeling van de effectieve doorlatendheid van de gehele vulling noodzakelijk om te kunnen vaststellen of de grondwateruitstroming marginaal is.

Versie	Datum	Auteur	Paraaf	Review	Paraaf	Goedkeuring	Paraaf
0.9.4	16-2-2011	Wim J. de Lange		Jacco Hoogewoud		Bennie Minnema	

**Status**

definitief

## Inhoud

<b>0</b>	<b>Voorwoord</b>	<b>1</b>
<b>1</b>	<b>Inleiding</b>	<b>2</b>
<b>2</b>	<b>Doel en inhoud van de handreiking</b>	<b>3</b>
2.1	Doel van de handreiking	3
2.2	Inhoud van de handreiking	3
<b>3</b>	<b>Kennis uit eerdere onderzoeken</b>	<b>6</b>
3.1	Uitspraken over geohydrologie door Commissie Verheyen	6
3.2	Resultaten geohydrologie in onderzoek Schellerwaard	6
3.3	Resultaten geohydrologisch onderzoek Verdunningsfactor	9
3.4	Relevante kennis uit overige eerdere onderzoeken	12
<b>4</b>	<b>Beoordelingscriteria</b>	<b>14</b>
4.1	Criteria voor veilige situaties door bron met lage doorlatendheid.	14
4.2	Criteria voor veilige situaties door pad tot naburig oppervlaktewater	15
4.3	Criteria voor veilige situaties in receptor: geen potentiaalverschil over vulling.	17
4.4	Geohydrologisch ongewenste situatie (bron en pad)	19
4.5	Overige, niet benoemde situaties	19
<b>5</b>	<b>Beoordelingsniveau 1: Simpel als het kan</b>	<b>20</b>
5.1	Bron met lage doorlatendheid	20
5.2	Pad tot naburig oppervlaktewater	20
5.3	Receptor: geen potentiaalverschil over vulling	21
5.4	Geohydrologisch ongewenste situatie (bron en pad)	22
<b>6</b>	<b>Beoordelingsniveau 2: Beperkte geohydrologische ondersteuning</b>	<b>23</b>
6.1	Bron met lage doorlatendheid	23
6.2	Pad tot naburig oppervlaktewater	23
6.3	Receptor: geen potentiaalverschil over vulling	25
6.4	Geohydrologisch ongewenste situatie (bron en pad)	25
<b>7</b>	<b>Beoordelingsniveau 3: Op basis van eenvoudig grondwater model</b>	<b>26</b>
7.1	Modellering van de bron, de vulling	26
7.2	Modellering van het pad (de omgeving)	28
7.3	Modellering van de receptor (stroombanen)	28
7.4	Geohydrologische modelanalyse van de situatie (bron, pad, receptor)	28
<b>8</b>	<b>Omgaan met pluim uit initiële consolidatie</b>	<b>30</b>
<b>9</b>	<b>Conclusies en aanbevelingen</b>	<b>31</b>
9.1	Conclusies	31
9.2	Aanbevelingen	31
<b>10</b>	<b>Literatuur</b>	<b>33</b>

## 0 Voorwoord

De kennis van de geohydrologie rond her in te richten diepe plassen of zandwinputten is opgebouwd gedurende een langjarige samenwerking, die begon rond 1995 binnen het voormalige RIZA van Rijkswaterstaat en later binnen de voormalige AKWA organisatie. In het bijzonder hebben Charlotte Schmidt significant bijgedragen aan het opbouwen van de geohydrologische kennis in aansluiting op de geochemie en Pieter de Boer aan de inbedding in de besluitvorming. Binnen de voorlopers van Deltares is het werk in die periode met diverse onderzoeken ondersteund. Vanuit alle oorspronkelijke bloedgroepen van Deltares is rond het onderwerp “verondieping diepe plassen” een kennisgroep van geohydrologen en geochemici gegroeid met onder andere Jasper Griffioen, Bas van der Grift, Niels Hartog, Jacco Hoogewoud, Toine Vergroesen en Arjan Wijdeveld. Deze kennisgroep heeft significant bijgedragen aan de totstandkoming van de synthese verwoord in dit rapport.

## 1 Inleiding

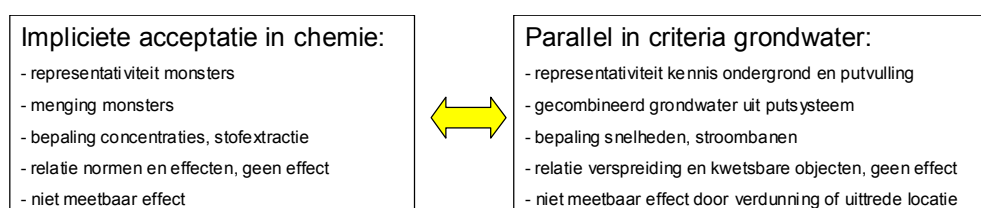
In het kader van het vervolg op de aanbevelingen van de commissie Verheijen (Commissie Verheijen, 2009) zijn in het najaar 2010 de “Handreiking voor het herinrichten van diepe plassen” (Bolleboom et al., 2010) en de nadere uitwerking “Beoordelen grootschalige bodemtoepassingen in diepe plassen, Elementen voor locatiespecifieke beoordeling” (Lijzen et al 2010) gepubliceerd. In de handreiking wordt, in navolging van de aanbevelingen van de commissie Verheijen, de mogelijkheid geboden om de geschiktheid van een diepe plas voor herinrichting met baggerslib en grond ook te beoordelen op basis van de geohydrologische gesteldheid. Dit rapport geeft het bevoegd gezag, de initiatiefnemer en andere betrokkenen informatie over de verschillende geohydrologische aspecten die van belang zijn bij een dergelijke beoordeling en presenteert een aantal criteria waarop positief dan wel negatief kan worden geoordeeld over de geschiktheid voor herinrichting. Het is als zodanig dan ook te zien als achtergrond document van de “Handreiking” (Bolleboom, 2010)

## 2 Doel en inhoud van de handreiking

### 2.1 Doel van de handreiking

Deze “handreiking geohydrologie” heeft tot doel om het bevoegd gezag, de initiatiefnemers en andere betrokken partijen te ondersteunen bij de besluitvorming rond het beoordelen van geschikte of ongeschikte locaties voor het verondiepen van diepe plassen door het toepassen conform de Handreiking en het Besluit bodemkwaliteit.

Het gebruik van beoordelingscriteria die gebaseerd zijn op de grondwatersituatie is vrij nieuw en is gebaseerd de beschrijvingen in het rapport van de commissie Verheijen (zie hierna in paragraaf 3.1). In de ondergrond en het grondwater kunnen we niet precies zien hoe het zit, terwijl dat met criteria van de chemische samenstelling en de normen heel duidelijk zichtbaar lijkt. Bij nadere beschouwing blijken criteria gebaseerd op chemie vergelijkbare onzekerheden te bevatten als criteria gebaseerd op grondwater (figuur 2.1) waarover dit rapport handelt.



Figuur 2.1. Voorbeelden van onzekerheden in criteria op basis van chemie of grondwater.

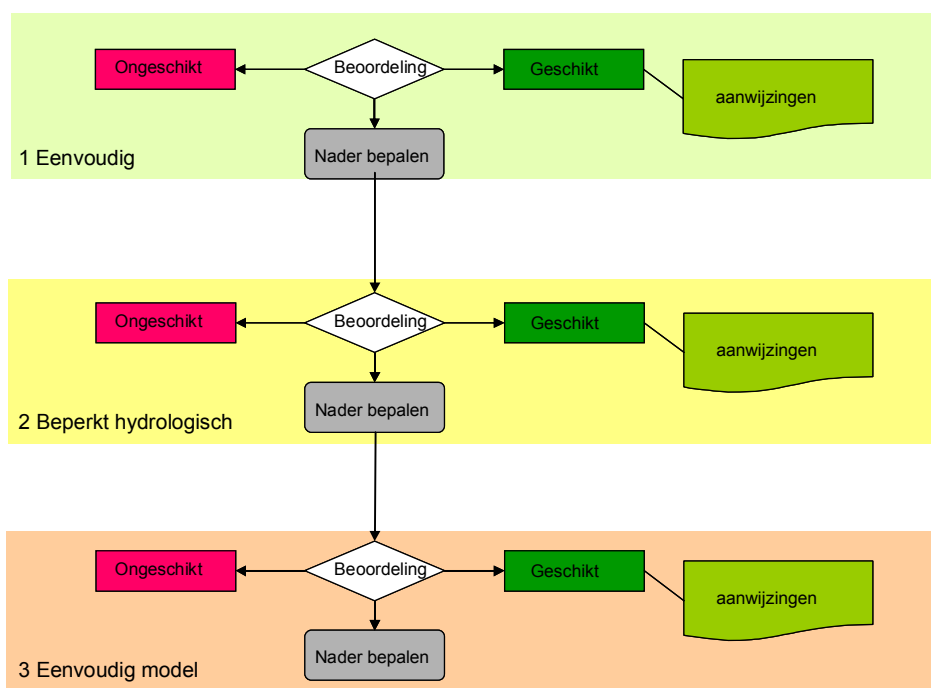
De criteria op basis van de grondwater situatie die in dit rapport zijn gepresenteerd, gaan dan ook uit van acceptatie van normaal gangbare onzekerheden, vergelijkbaar met de criteria op basis van de chemie.

### 2.2 Inhoud van de handreiking

Voorafgaand aan de feitelijke handreiking voor de besluitvorming wordt een overzicht gegeven van recente, relevante kennis en inzichten in de stroming van grondwater in en rond verondiepte plassen. Voor de begrijpbaarheid van de onderbouwing van de beoordeling worden in deze handreiking veel illustraties van de verschillende situaties gepresenteerd. Dit kan de acceptatie door de omgeving van de diepe plas ondersteunen.

De handreiking is gebaseerd op het doen van een beoordeling op 3 niveaus (figuur 2.2). Een hoger niveau van beoordeling heeft een meer uitgebreide onderbouwing:

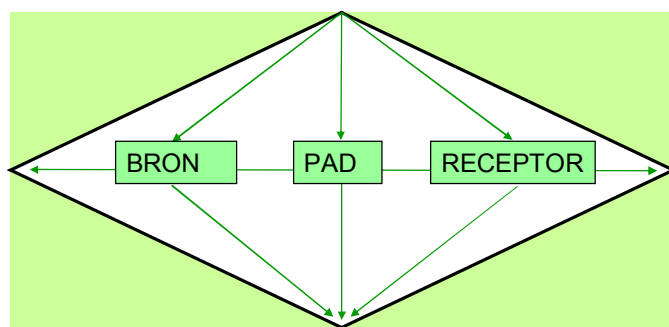
- 1 – **Simpel als het kan** (van achter een bureau door een persoon die het gebied kent).  
Wordt beschreven in hoofdstuk 5.
- 2 – Met **bepaalde geohydrologische ondersteuning** (adviseur binnen enkele dagen).  
Wordt beschreven in hoofdstuk 6.
- 3 – Op basis van **eenvoudig grondwater model** (welomschreven qua inhoud en doel).  
Wordt beschreven in hoofdstuk 7.



Figuur 2.2 Schema van 3 niveaus van onderbouwing van de afweging.

In elke beoordelingsfase wordt gekeken of voldoende kennis is voor een positieve of negatieve beoordeling (op basis van geohydrologie) op geschiktheid voor verondiepen. Bij een positief besluit kunnen aanvullende voorwaarden zijn verwoord in een aanwijzing (bijvoorbeeld monitoring van het niet dichtslaan van de bodem van nabijliggend oppervlaktewater). Slechts een deel van de potentiële locaties kunnen met zekerheid worden beoordeeld in elke beoordelingsfase. Overblijvende locaties schuiven door naar de volgende beoordelingsfase en zelfs de laatste beoordelingsfase kan leiden tot de conclusie dat een besluit niet mogelijk is op basis van enkel en alleen criteria vanuit grondwater aspecten.

Op alle drie de niveaus (de ruitvormige symbolen in figuur 2.2), heeft de beoordeling drie mogelijkheden namelijk bron, pad, receptor worden gevolgd (figuur 2.3).



Figuur 2.3 Elke beoordeling bevat 3 parallele mogelijkheden met geohydrologische criteria.

Deze drie beoordelingsmogelijkheden (bron, pad, receptor) kunnen afzonderlijk en parallel worden doorlopen. Elk van deze beoordelingsmogelijkheden wordt in hoofdstuk 4 afzonderlijk en per niveau onderbouwd. In sommige gevallen zal het criterium voor bij de bron (paragraaf 4.1) direct tot duidelijkheid leiden, in andere gevallen kan het criterium voor het pad (paragraaf 4.2) of de receptor (paragraaf 4.3) voldoende zijn. Voordat de criteria worden gepresenteerd wordt eerst in hoofdstuk 3 een samenvatting van voorgaand onderzoek

gegeven om de achtergronden ervan voor de uitvoerder van de beoordeling duidelijk te maken. Daarna komt in de hoofdstukken 5, 6 en 7 de handreiking voor de praktijk bij de verschillende beoordelingsniveaus.

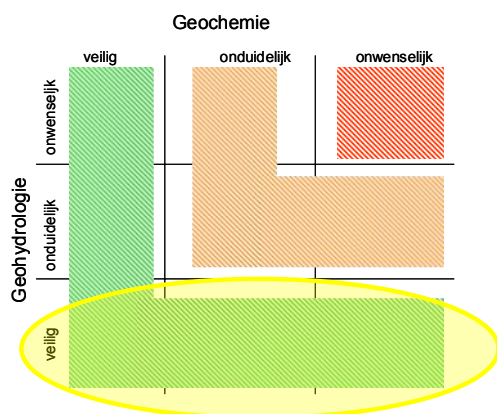


### 3 Kennis uit eerdere onderzoeken

Het gebruik van geohydrologische kennis voor het op geschiktheid beoordelen van locaties van diepe plassen voor verondieping met bagger of grond is gebaseerd op een lange reeks van onderzoeken en beoordelingen. Daarvan worden in dit hoofdstuk enkele recente, relevante resultaten gepresenteerd, om de beoordelaar bewust te maken van de context en de achtergronden van de in hoofdstuk 4 gepresenteerde criteria.

#### 3.1 Uitspraken over geohydrologie door Commissie Verheijen

De commissie Verheijen (Commissie Verheijen, 2009) heeft expliciet benoemd dat geohydrologie als beoordelingsbasis voor het aanwijzen van geschikte locaties kan dienen.



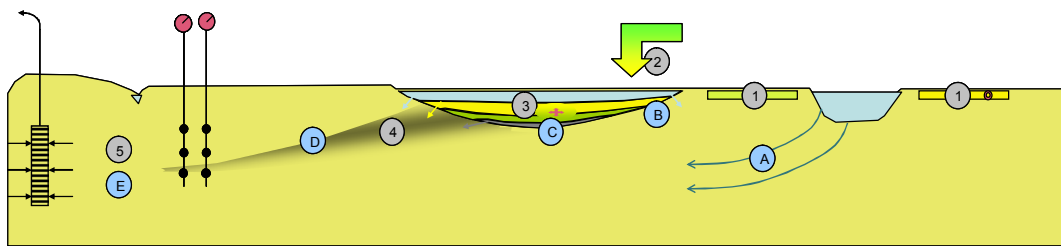
Figuur 3.1 Afwegingsmatrix voor geschiktheid voor herinrichting van diepe plassen.

Bestaand beleid is dat als een locatie geochemisch “veilig” is (figuur 3.1, linker groene kolom) is, het niet echt relevant hoe de geohydrologische condities zijn. De commissie Verheijen geeft aan dat ook als een locatie geohydrologisch “veilig” is (gele zone in figuur 3.1) is het niet echt relevant hoe de geochemische condities zijn. In feite betekent dit dat in dergelijke gevallen geen significante verspreiding via grondwater vanuit de gevulde plas plaats zal vinden. Dit principe is al eerder gehanteerd bijvoorbeeld bij de herinrichting van de Afferdense en Deestse Waarden (Schmidt et al 2005).

Door de commissie Verheijen is nog eens bevestigd dat er mogelijkheden zijn om een locatie geschikt te beoordelen op basis van alleen geohydrologische criteria geldend voor de natuurlijke en gecreëerde geohydrologische eindsituatie. De commissie heeft ook aanbevelingen voor grondwatermonitoring gedaan die kunnen worden ingezet als het bevoegd gezag daartoe de noodzaak ziet.

#### 3.2 Resultaten geohydrologie in onderzoek Schellerwaard

Het onderzoek rond de herinrichting van het gebied Schellerwaard aan de IJssel nabij Zwolle stelde de potentiële effecten van herinrichting op scherp door de aanwezigheid van een waterwinning in het invloedsgebied van de diepe plas. Het onderzoek heeft daarom alle kennis bijeengebracht die op dat moment beschikbaar was en maakte onderscheid tussen de geohydrologische en geochemische aspecten (figuur 3.2).



Put Schellerwaard:

- 1, A - uitgangssituatie; water en grond
- 2, B - Instroming & aanvoer van grond naar put
- 3, C - Doorstroming en processen in put & bodemlaag
- 4, D - Uitstroming en processen buiten put
- 5, E - Hoeveelheden water en stoffen, verblijftijden tot waterwinning

Figuur 3.2. Vijf geohydrologische en vijf geochemische aspecten zijn gehanteerd voor de bepaling van de gevolgen van herinrichting van de diepe plas Schellerwaard.

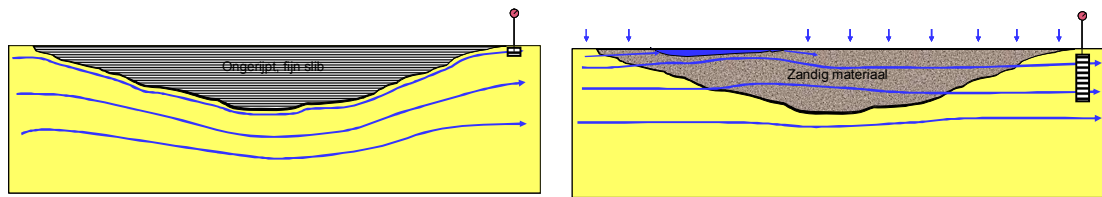
Alle aspecten getoond in figuur 3.2 zijn geanalyseerd en beschreven in het rapport (De Lange en Hartog, 2009) en voor verdere achtergronden wordt verder daarnaar verwezen.

Voor de geohydrologische beoordeling van potentiële effecten is in dit onderzoek onderscheid gemaakt tussen nat, siltig bodemslib hierna genoemd ongerijpt slib en zandig materiaal, (weerd-) grond, etc. hierna genoemd grond, waarvan figuur 3 een illustratie geeft.



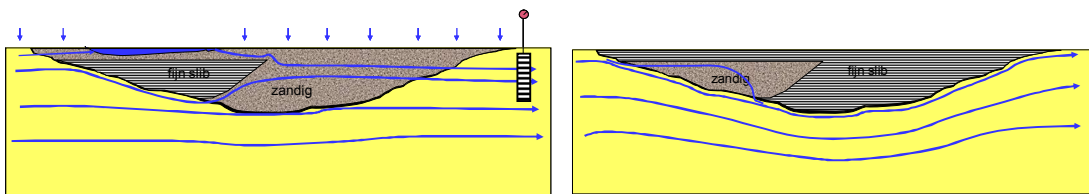
Figuur 3.3. Links: ongerijpt slib (nat, siltig bodemslib), rechts: grond (zandig materiaal),

Naast dat de geochemie van het toepassen van ongerijpt slib sterk verschilt van dat van zand wordt ook de grondwaterstroming verschillend beïnvloed door een vulling bestaande uit beide materialen.



Figuur 3.4. Grondwaterstroming bij een vulling van ongerijpt slib (links) en zand (rechts)

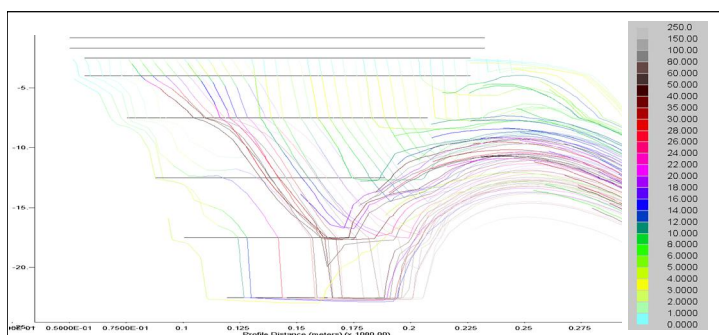
Omdat diepe plassen meestal van oorsprong zandwinputten zijn is de omgeving ook zandig, soortgelijk aan het gewonnen zand (behalve in enkele specifieke gevallen). De doorlatendheid van ongerijpt slib is vele malen kleiner (de weerstand dus groter) dan die van zand en daarom zal het grondwater om het ongerijpt slib heen stromen. Bij een vulling van zandig materiaal kiest het grondwater voor de kortste weg door de zandige vulling. In het geval van de gecombineerde vulling (figuur 3.5) zal het grondwater volgens dezelfde regels stromen.



Figuur 3.5. Voorbeelden van grondwaterstroming door een gecombineerde vulling.

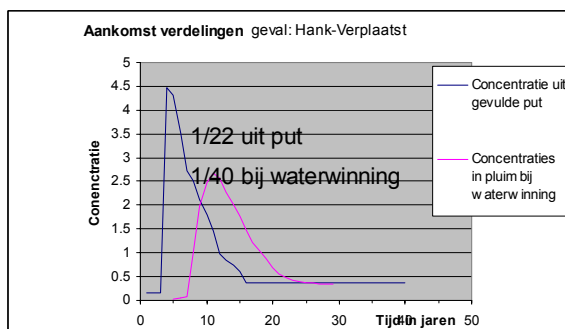
De fysische samenstelling van het vulmateriaal maakt dus heel veel uit voor of de grondwaterstroming met het vulmateriaal in contact komt of niet. In termen van grondwaterstroming is de parameter doorlatendheid van het materiaal hier doorslaggevend. Daarop wordt in paragraaf 3.3 verder ingegaan.

Voor het geval Schellerwaard is uitgegaan van een zandige verondieping en is als meest ernstige risico het optreden van een piekconcentratie Arseen bekeken. Deze piekconcentratie treedt op binnen een periode van een tot enkele jaren. Omdat het grondwater langzaam stroomt, is gekeken naar het effect van de verblijftijd van het grondwater binnen de put (figuur 3.6).



Figuur 3.6. Spreiding in de verblijftijd (jaren) van water komend uit de gevulde put bij Schellerwaard. (De oude zandwinput heeft de vorm van een omgekeerd trapezium centraal in de figuur).

De verblijftijd blijkt een grote spreiding te hebben van één tot honderden jaren. Dat betekent dat niet alle piekconcentraties tegelijkertijd uit de putvulling zullen komen en dus dat de concentratie verdeling afvlakt. In figuur 3.7 is als voorbeeld voor een inrichtingsscenario de verdeling van de concentratie in procenten ten opzichte van de oorspronkelijke concentratie gegeven.



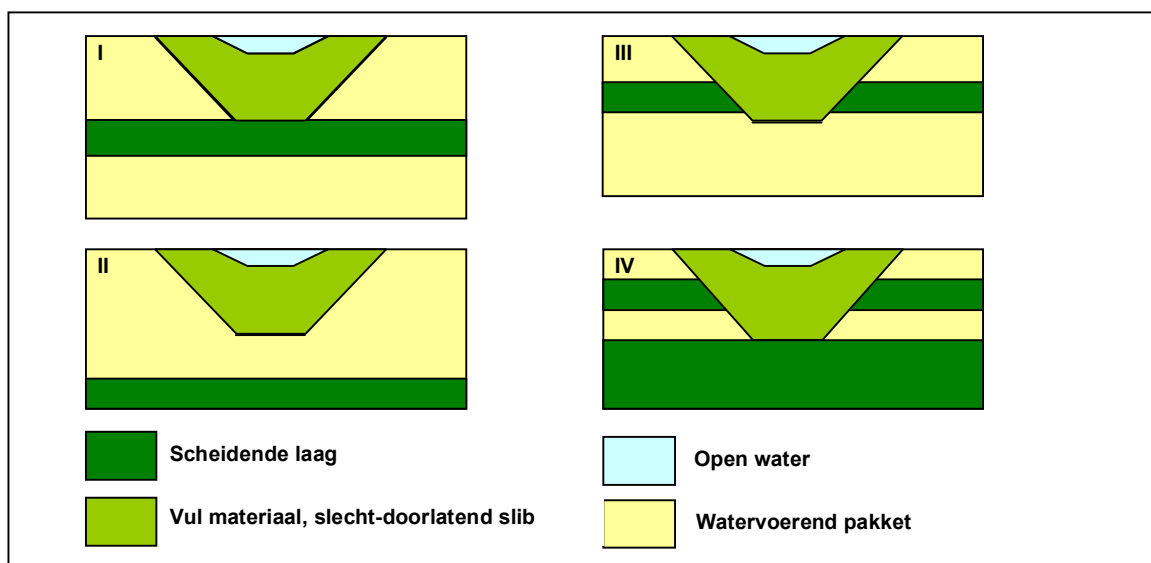
Figuur 3.7 Concentratieverdeling door verblijftijdsspreiding in het water naast de gevulde put en bij de waterwinning in procenten ten opzichte van de initiële concentratie die gedurende 1 jaar na het inbrengen is opgelegd (rekenvoorbeeld voor Schellerwaard).

Uit deze studie bleek dat de relatieve afname van de concentratie door de spreiding in de grondwaterstroming relevant kan zijn. Daarnaast blijkt dat de kleine hoeveelheden water die uit de vulling stromen ten opzichte van het natuurlijk langsstromende grondwater factoren 10, 100 en meer kleiner kunnen zijn. Dit blijkt voor de beoordeling van toelaatbare concentraties in het poriewater relevant te zijn. Dat heeft geleid tot de studie hierna beschreven.

### 3.3 Resultaten geohydrologisch onderzoek Verdunningsfactor

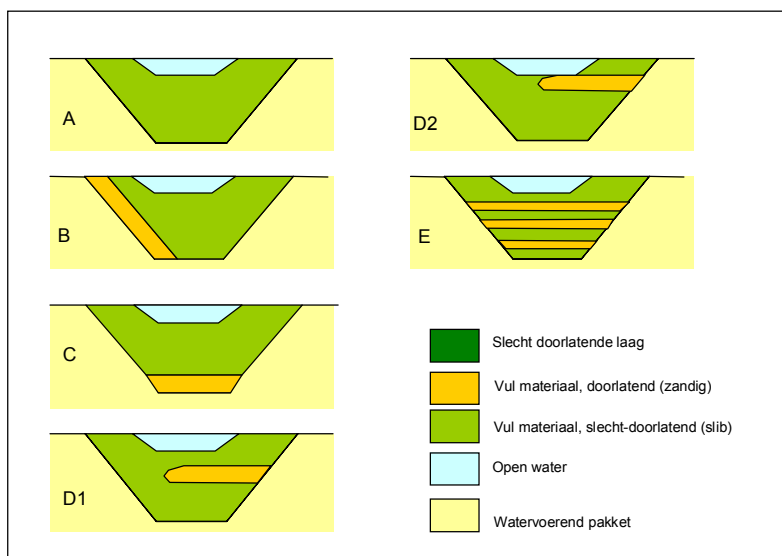
Ten behoeve van de bepaling van chemische criteria (Lijzen et al., 2010) van het vulmateriaal is onderzoek uitgevoerd naar de mate van verdunning die optreedt in een watervoerend pakket van de uitstroming uit een vulling van hoofdzakelijk ongerijpt slib in willekeurige geohydrologische omstandigheden. (De Lange et al., 2010). De onderbouwing in dat onderzoek geeft een indicatie voor de algemene toepasbaarheid van de resultaten die in deze handreiking worden gebruikt. Daarom volgt hier een samenvatting.

De onderzochte geohydrologische situaties buiten de diepe plas zijn in figuur 3.8 weergegeven en dekken alle bekende, relevante mogelijkheden af.



Figuur 3.8 Onderzochte geohydrologische situaties in verdunningsfactor onderzoek (donkergroen is scheidende laag).

De onderzochte verschillende manieren van vullen zijn weergegeven in figuur 3.9, waarbij groen het ongerijpte slib en geel het “zandig” materiaal voor stelt. Op basis van de analyse van de grondwaterstroming uit figuren 3.4 en 3.5 volgt dat de zandvolumes aan de buitenkant direct doorstroomd worden. In “doodlopende” of ingeklemde zandige banen (D1) stagneert het grondwater.



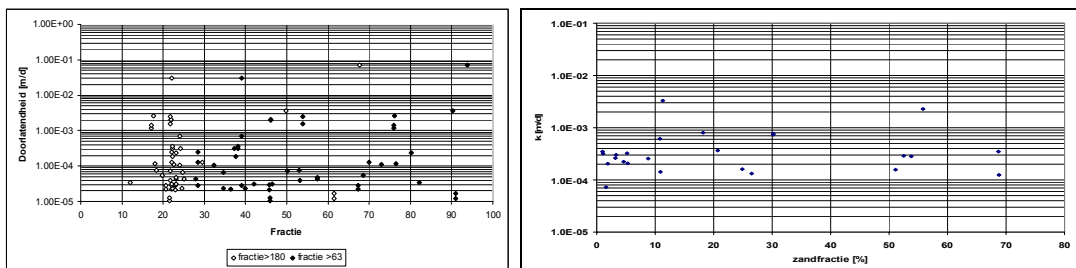
Figuur 3.9. Onderzochte varianten van samengestelde vulling.

Zandig vulmateriaal bestaat in de praktijk uit fijn zand met kleibrokken, een samenstelling die hergebruik niet rendabel maakt. Grof zand en massieve klei wordt vrijwel altijd hergebruikt als bouw materiaal. Voor het grondwater is dit vulmateriaal veel beter doorlatend dan slib, maar het heeft wel een kleinere doorlatendheid dan het zand dat gewonnen is uit de plas en dus het zand in de omgeving. Daarom zal in de meeste gevallen de doorlatendheid van het vulmateriaal kleiner zijn dan die in de omgeving en zal er minder grondwater door de putvulling stromen dan door een zelfde doorsnede in het omliggende watervoerend pakket. Een bepaalde concentratie in het water uit het vulmateriaal mag worden verondersteld te worden verspreid over het grondwater dat normaliter door dezelfde doorsnede stroomt. Dit levert de zogeheten verdunningsfactor op in het verdunningsonderzoek

Hydrologisch ongunstige aspecten werken isolatie tegen, zoals in het geval van doorgaande doorlatende “zandige” banen en met een plaspeil dat jaargemiddeld infiltratie naar het grondwater veroorzaakt. De inzichten over deze ongunstige gevallen uit het verdunningsonderzoek zijn gebruikt voor de aanwijzingen van het gemengd vullen in deze handreiking. Dit geldt ook voor het peil in de overblijvende plas, waarbij een infiltrerende situatie ongunstig kan uitpakken.

In het verdunningsonderzoek zijn twee series metingen van doorlatendheid van ongerijpt (en niet-geconsolideerd) slib bij variërende zandfractie gepresenteerd (figuur 3.10). De doorlatendheid blijkt een factor 1000 kleiner dan die van (fijn) zand. Dit betekent dat de stroming zoals geschetst in figuren 3.4 en 3.5 overeenkomt met de verhouding van de doorlatendheden van beide materialen. Ook blijkt uit deze metingen dat voor ongerijpt slib afkomstig uit west, laag Nederland de zandfractie nauwelijks van belang is voor de doorlatendheid. Dit komt doordat slibplaatjes de poriën in het zand snel verstoppen. Het effect is ook bekend op andere plaatsen zoals bij infiltratievijvers en infiltrerende sloten,

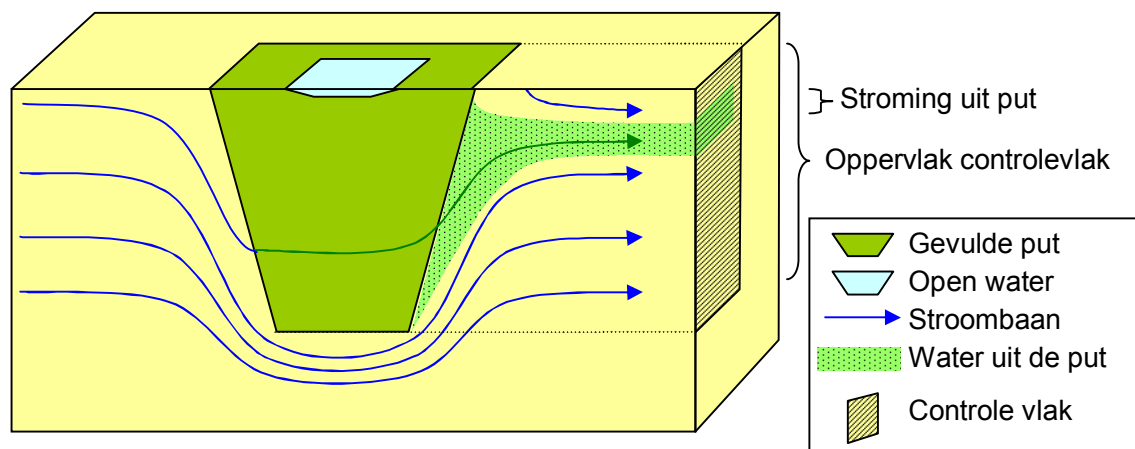
beken en grote oppervlaktewateren waarin zich veel slib bevindt (Markerwaard). Bij de enkele gevallen waarin de doorlatendheid wel groter gemeten is, heeft over het monster van enkele centimeters dikte een kortsluiting van zandige poriën kunnen ontstaan. Dit is in het geval van een diepe plas waarin tientallen meters dik ongerijpt slib wordt ingebracht onwaarschijnlijk. Voor een alleen met ongerijpt slib verondiepte plas zal de gemiddelde doorlatendheid in de orde van  $10^{-4}$  m/dag zijn. In gemengde situaties, bijvoorbeeld waar het slib gemengd is met zand zal de wijze van inbrengen bepalend zijn of de opvulling van poriën voldoende zal optreden. Dan moet vrijwel altijd met een gemiddeld hogere doorlatendheid rekening worden gehouden.



Figuur 3.10 Doorlatendheid van ongerijpt slib in laag Nederland in relatie tot de zandfractie

Voor het bodemmateriaal in oost en zuid Nederland, dus op hoge zandgronden (boven NAP +2 meter), moeten deze relaties nader worden vastgesteld. Het is waarschijnlijk dat het liggend materiaal daar veel meer zandig is. In dat geval volgt niet automatisch dezelfde conclusie over het dichtslibben van poriën.

Door middel van de modelsimulaties van worstcase situaties is vastgesteld dat de minimale realistische verdunningsfactor 100 mag worden aangehouden die veiligheidshalve in de Handreiking inrichting Diepe Plassen wordt gehanteerd, maar dat deze factor wel 1000 of groter kan zijn. Daarbij wordt de verdunning bepaald door een “controle vlak” ter grootte van de doorsnede van de gevulde diepe plas (figuur 3.11). De uitstroomflux uit de vulling wordt vergeleken met de grondwaterflux die in ongestoorde toestand, dus zonder de aanwezigheid van de diepe, gevulde plas, door dat controle vlak zou stromen.



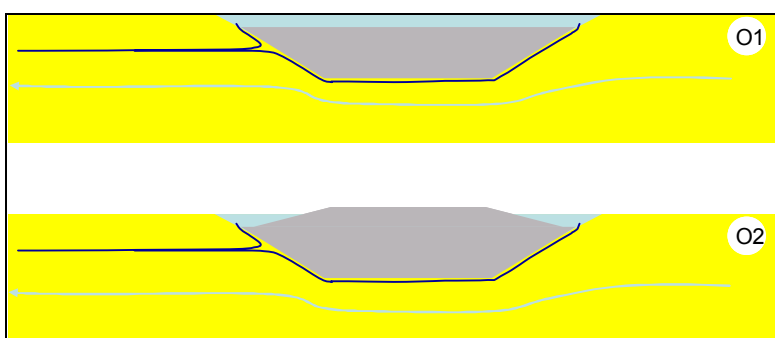
Figuur 3.11. Schematische presentatie van uitstroom uit vulling door het controle vlak.

Van belang is dat het controle vlak geldt loodrecht op de stromingsrichting van het grondwater. Dit betekent in gevallen van infiltratie, verticale stroming, dat het vlak horizontaal in plaats van verticaal ligt. Dergelijke gevallen worden besproken in de volgende paragraaf.

### 3.4 Relevante kennis uit overige eerdere onderzoeken

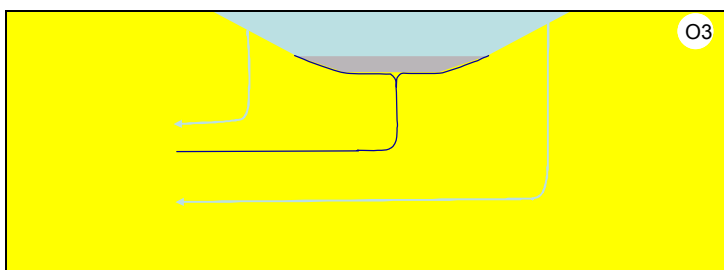
De figuren 3.4, 3.5 en 3.11 zijn gebaseerd op onderzoek van de grondwaterstroming rond ongerijpt slib en weerdgrond in verondiepingen in uiterwaarden (Afferdense en Deestse Waarden, Schellerwaard, zie referenties) en rond liggend slib op de bodem van grote oppervlaktewateren (Kanaal door Walcheren, Haringvliet, zie referenties). In deze paragraaf worden daaruit specifiek de situaties met permanent bovenstaand oppervlakte water gepresenteerd.

De vorm van de mogelijk beïnvloedde stroombanen, de pluim, wordt sterk door de stroming door de oevers bepaald. Wordt vastgesteld dat het grondwater in direct contact staat met het oppervlaktewater rond de plasvulling, dan zal er over de vulling nauwelijks potentiaalverschil en dus stroming ontstaan in het watervoerend pakket. Alleen het grondwater dat vlak rond de vulling komt wordt beïnvloed door stofuitwisseling op basis van concentratie verschillen (diffusie). Er is sprake van een verwaarloosbaar dunne pluim die in de praktijk niet meer relevant is (figuur 3.12). Ook als een klein gedeelte van de vulling boven water uitsteekt, zal de neerslag afstromen naar het oppervlaktewater als de vulling in verticale richting voldoende laag doorlatend is.



Figuur 3.12. Door aanwezigheid oever rondom vulling: dunne pluim in stroming naar links.

Een soortgelijk proces kan ook optreden rond slib dat ligt op de bodem van grote oppervlaktewateren met zandige bodem (figuur 3.13). Ook daar wordt het potentiaalverschil opgeheven door de relatief goede doorstroming in het watervoerend pakket en zal alleen een zeer dunne pluim ontstaan in het geval dat het oppervlaktewater infiltreert.



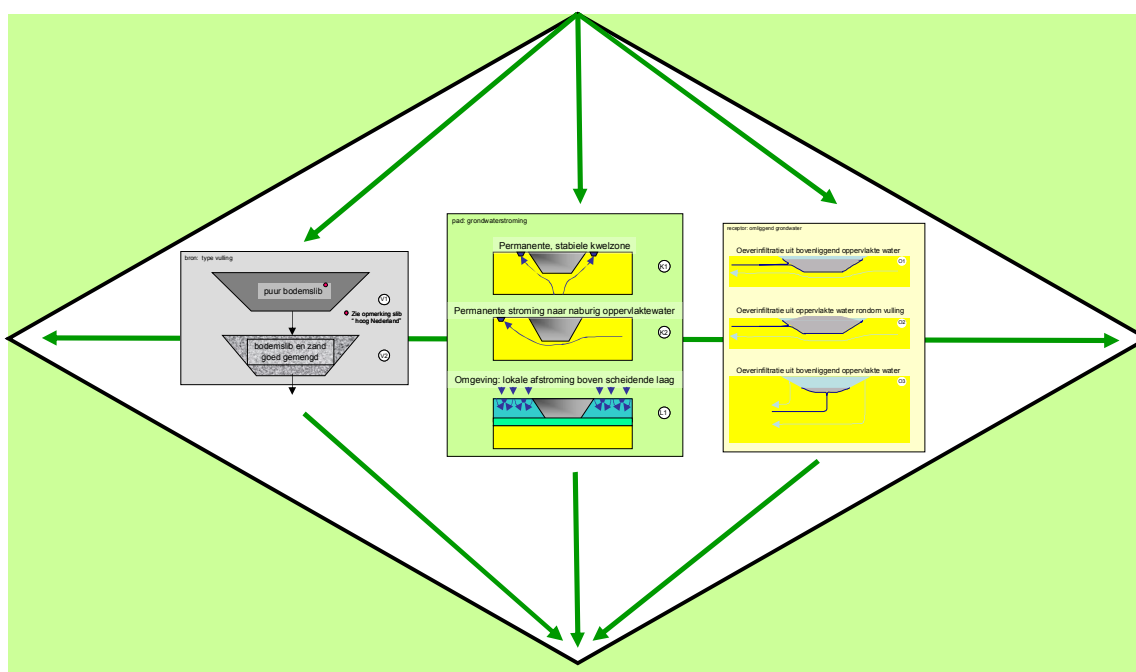
Figuur 3.13. Liggend slib op bodem van groot oppervlaktewater: dunne pluim in stroming naar links.

De conditionele voorwaarde voor bovenstaande situaties is dat er een sterke interactie met het grondwater via de oever optreedt. In het geval van kwelsituaties ontstaat geen pluim in het grondwater en wordt alleen een dunne stroombaan langs de vulling beïnvloed.



## 4 Beoordelingscriteria

In dit hoofdstuk worden de beoordelingscriteria gepresenteerd, die volledig op geohydrologische gronden zijn gebaseerd. Het doel van het stellen van de criteria is om vast te stellen of de toestand “geohydrologisch veilig” (figuur 3.1) beoordeeld wordt, dat wil zeggen dat de beoordeling onafhankelijk van de geochemische criteria kan worden genomen. In navolging van de aanbevelingen van de commissie Verheijen en de uitwerking in het RIVM-ECN-Deltares-rapport “Beoordelen grootschalige bodemtoepassingen in diepe plassen” (Lijzen et al., 2010) wordt daarbij uitgegaan van de bron – pad - receptor benadering, zoals in figuur 2.3 is aangegeven. Op de plaats van de termen bron, pad receptor is in onderstaand figuur het schema met de geohydrologische invulling van de beoordeling gegeven.



Figuur 4.0 Geohydrologisch invulling van de beoordelingsruut van figuur 2.3.

De symbolen in deze figuur staan voor de verschillende criteria en worden in de volgende paragrafen verder uitgelegd.

De uitwerking van de methode voor de beoordeling in de praktijk wordt in de hoofdstukken 5 t/m 7 gegeven. In dit hoofdstuk worden de criteria sec behandeld.

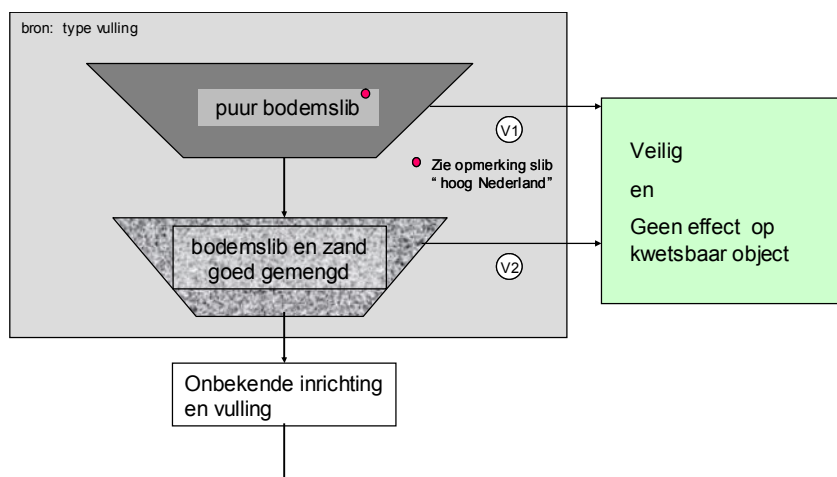
### 4.1 Criteria voor veilige situaties door bron met lage doorlatendheid.

De basis voor de criteria aan de bron luidt:

Geen significante uitstroming door lage doorlatendheid vulling

De achtergrond hiervan is dat er geen kans op verspreiding is als er geen uitstroming van grondwater uit de vulling optreedt. In het geval dat de vulling vrijwel ondoorlatend is, zal het grondwater er niet doorheen maar omheen stromen. Het toepassen van ongerijpt slib met

een lage doorlatendheid (figuur 3.10) leidt tot dat resultaat. Dan kan gesteld worden dat het systeem voor het grondwater veilig is (figuur 4.1, geval (V1) ). Omdat er geen verspreiding optreedt uit de bron, is het ook niet relevant of er een kwetsbaar object aanwezig is in de omgeving van de diepe plas.



Figuur 4.1. Afwegingscriteria aan de bron.

Bij het toepassen van gemengd slib en zandig materiaal kan gebruik worden gemaakt van de uitkomsten van het onderzoek naar de verdunningsfactor (zie paragraaf 3.3). Uit de analyse van het onderzoek naar de verdunningsfactor is gebleken dat bij gemengd toepassen van zand en ongerijpt slib het grootste risico wordt gevormd als ontmengde zandbanen gecombineerd met infiltratie van boven de vulling optreedt, dus bijvoorbeeld uit de resterende plas. Door te eisen dat "goed gemengd" wordt gevuld, zal dit niet zal optreden (figuur 4.1 geval (V2) ). Dan wordt grondwaterstroming door de vulling voorkomen en kan dan deze "bron" beschouwd worden als veilig voor het grondwater. De eis voor het goed gemengd vullen vraagt een nadere uitwerking door een geohydroloog in samenwerking met de uitvoerder. Daarbij wordt aanbevolen om de analyse uit het "verdunningsonderzoek" (de Lange et al 2010) in de beoordeling te betrekken. Met name geven de verschillen in de eigenschappen van zand en slib bij het vullen reden voor de daarin veronderstelde ontmenging; bijvoorbeeld zand langs de oevers en slib in het midden van de voormalige plas.

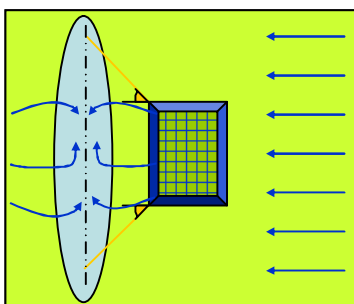
Is de vulling niet voldoende te karakteriseren als hierboven aangegeven dan kan gekeken worden of aan de criteria voor het pad of de receptor kan worden voldaan, zie de volgende paragrafen.

#### 4.2 Criteria voor veilige situaties door pad tot naburig oppervlaktewater

De basis voor de criteria in het pad luidt:

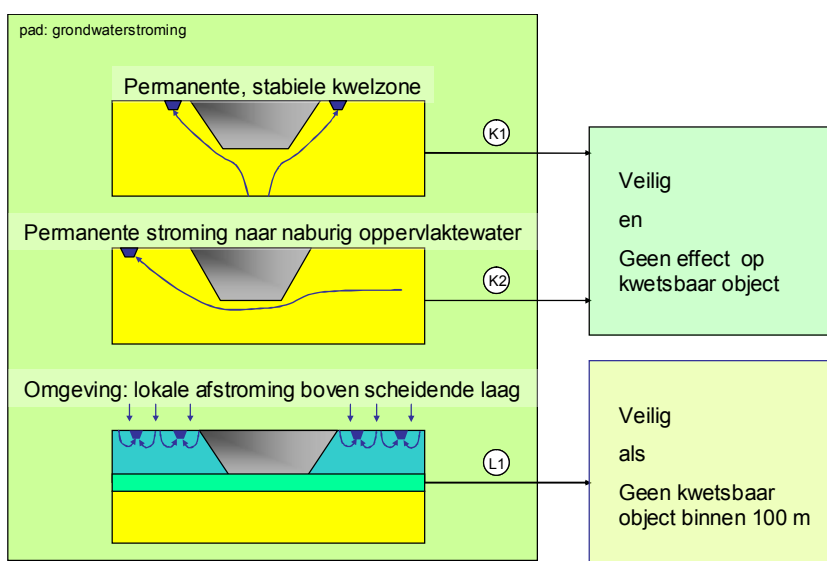
Het potentieel beïnvloed grondwater stroomt naar naburig oppervlaktewater.

De achtergrond hiervan is dat er geen verspreiding optreedt buiten een beperkt gebied tussen de vulling in de diepe plas en een naburig oppervlaktewater. Daardoor is de diepe plas en haar vulling feitelijk geohydrologische geïsoleerd van het grondwater in de omgeving.



Figuur 4.4 Bovenaanzicht van kwelgebied (licht blauwe zone, links) nabij verondiepte plas (rechthoek, midden) waarin grondwaterstroming (vanaf rechts, donker blauwe peilen) eindigt.

Een klassiek voorbeeld van dit geval is de nabijheid van een kwelgebied of kwellend kanaal dat bekend staat als waterscheiding voor het gehele grondwatersysteem (figuur 4.4). In een dergelijke situatie is verspreiding van potentieel vrijkomende stoffen uit de vulling altijd beperkt tot het gebied tussen de vulling en het oppervlaktewater. Hoe dichter de kwelzone bij de vulling ligt hoe kleiner de kwelzone. Het lijkt in dit kader reëel (schaal van beïnvloeding) om voor de afstand tot het kwelgebied een afstand in de orde van de afmeting van de vulling te nemen dus maximaal 500 meter.



Figuur 4.5. Droge situaties met stroming naar naburig oppervlaktewater.

In de praktijk met een gevulde put, dus zonder bovenliggend oppervlaktewater kunnen verschillende gevallen worden onderscheiden (figuur 4.5):

(K1) – Permanente stabiele kwelzone

(K2) – Permanente stroming naar naburig oppervlaktewater

(L1) – Lokale afstroming boven scheidende laag in direct omgeving.

Permanente stabiele kwelzone (K1)

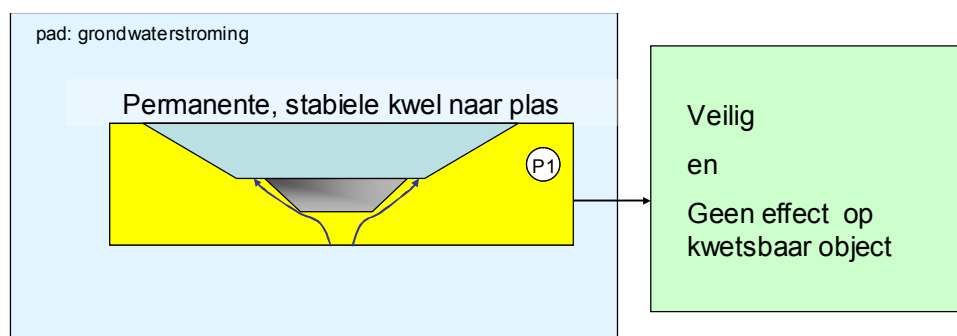
Ligt de diepe plas in een bekend gebied van diepe kwel, bijvoorbeeld een diepe polder, dan zal het grondwater vanuit de diepte naar het dichtstbijzijnde oppervlaktewater stromen. Er bestaat in dit geval geen kans op verspreiding en dus geen kans op beïnvloeding van een naburig kwetsbaar object via het grondwater.

**Permanente stroming naar naburig oppervlaktewater (K2)**

Ligt in de directe nabijheid van de diepe plas een oppervlaktewater waarin al het bovenste grondwater afstroomt, dan zal het potentieel beïnvloed grondwater dat rond de vulling in de voormalig diepe plas stroomt ook daarin uitstromen. Er bestaat in dit geval geen kans op verspreiding en dus geen kans op beïnvloeding van een naburig kwetsbaar object voor zover dat buiten het gebied tussen de vulling en het oppervlaktewater ligt.

**Lokale afstroming boven scheidende laag in direct omgeving (L1)**

Vindt in de directe omgeving van de diepe plas alleen ondiepe grondwaterstroming tussen een dicht stelsel van sloten of beken plaats en ligt direct onder de vulling een slechtdoorlatende laag dan kan het potentieel beïnvloed grondwater niet verder stromen dan tot het eerste naastliggende oppervlaktewater. Dan bestaat er geen kans op verspreiding en zullen kwetsbare objecten buiten de afstand tot het oppervlaktewater (ongeveer 100 meter) ook niet worden beïnvloed.



Figuur 4.6. Permanente kwel naar plas boven vulling van diepe plas.

Ook voor een vulling in het diepere gedeelte van een diepe plas met blijvend bovenliggend oppervlaktewater kan deze situatie ontstaan (figuur 4.6). Mits het grondwater vrij op kan kwellen door de bodem of de oevers van de resterende plas zal als het potentieel beïnvloede grondwater daarmee afstromen. Er bestaat in dit geval geen kans op verspreiding en dus geen kans op beïnvloeding van een naburig kwetsbaar object.

#### 4.3 Criteria voor veilige situaties in receptor: geen potentiaalverschil over vulling.

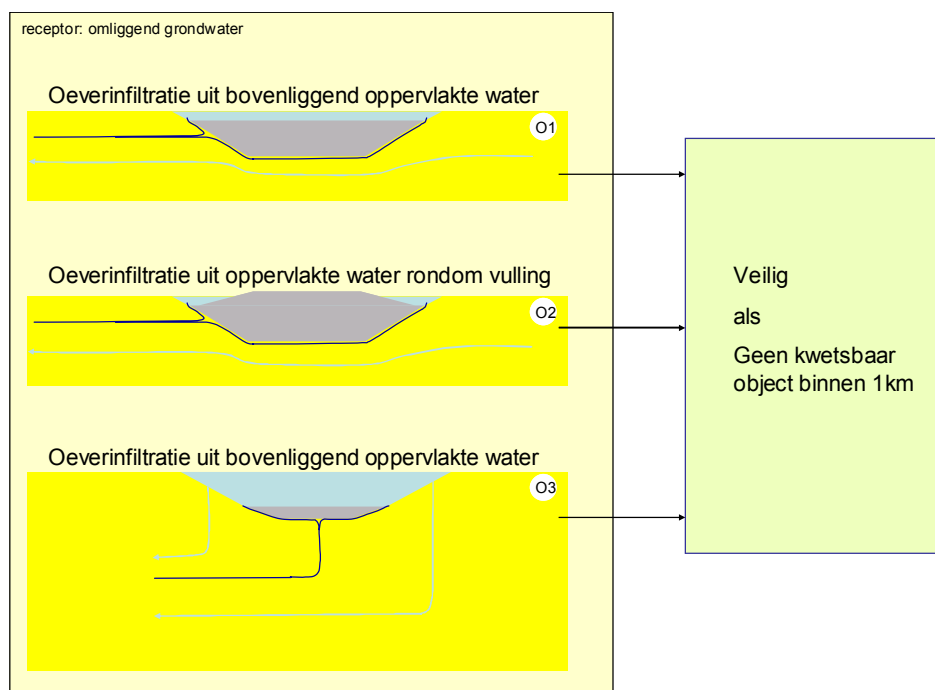
De basis voor de criteria in de receptor (het grondwater in de omgeving) luidt:

##### Marginale uitstroming door marginaal potentiaalverschil buitenom vulling.

De achtergrond hiervan is dat er geen uitstroming zal plaatsvinden als er rond de vulling overal dezelfde potentiaal (stijghoogte, grondwaterstand) heerst. Het maakt dan niet uit of die potentiaal in de tijd varieert, zolang de grondwaterstand maar goed het oppervlaktepeil volgt; peilveranderingen in het oppervlaktewater kunnen mogelijk zijn. In sommige gevallen zal om dit te kunnen voorspellen geohydrologisch onderzoek nodig zijn.

Door gebruik te maken van de natuurlijke beheersing van de grondwaterstand rond de vulling door de sterke interactie met het direct bovenliggend oppervlaktewater kan stroming binnen de vulling worden tegengegaan. De stroombaan langs de vulling zal mogelijk door diffusie worden opgeladen en een niet traceerbare, marginale pluim (dikte in orde van centimeters) vormen. In analogie met de resultaten van het verdunningsonderzoek mag deze als veilig worden gekenmerkt. De marginale pluim zal na een zekere afstand volledig gedesintegreerd

zijn (door diffusie en dynamische beweging in het grondwater). Voor de consistentie en veiligheidshalve kan in navolging van het RIVM-ECN-Deltares-rapport (Lijzen et al., 2010) voor deze afstand 1 km aangehouden worden.



Figuur 4.7 Situaties met afwezigheid stroming en potentiaalverschil over vulling.

Deze toestand kan optreden in verschillende situaties (figuur 4.7):

- (O1) Oeverinfiltratie uit bovenliggend oppervlaktewater
- (O2) Oeverinfiltratie uit oppervlaktewater rondom vulling
- (O3) Oeverinfiltratie uit bovenliggend oppervlaktewater bij regionale infiltratie

#### Oeverinfiltratie uit bovenliggend oppervlaktewater (O1)

Door sterke interactie tussen het bovenliggend oppervlaktewater en het onderliggend grondwater zal ter plaatse van de vulling nauwelijks een potentiaalverschil mogelijk zijn en dus is er geen stroming door de vulling. De potentieel mogelijk dunne pluim (zie boven) heeft een verwaarloosbaar effect volgens het verdunningsonderzoek.

#### Oeverinfiltratie uit oppervlaktewater rondom vulling met droog maaiveld (O2)

Door sterke interactie tussen het oppervlaktewater rond de vulling en het onderliggend grondwater zal ter plaatse van de vulling nauwelijks een potentiaalverschil mogelijk zijn in het grondwater. De stroming door de vulling is beperkt tot de lokale afstroming van neerslag, waarvoor mogelijk maatregelen moeten worden getroffen om jaargemiddeld geen infiltratie te laten ontstaan. De potentieel mogelijk dunne pluim (zie boven) heeft een verwaarloosbaar effect volgens het verdunningsonderzoek. Als een gedeelte van de vulling boven water uitsteekt, zal gezorgd moeten worden dat de neerslag afstromen naar het oppervlaktewater door oppervlakkig drainage of een vulling die verticale richting voldoende weerstand biedt.

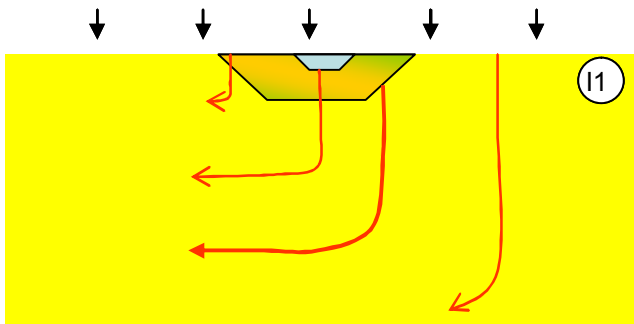
#### Oeverinfiltratie uit bovenliggend oppervlaktewater bij regionale infiltratie (O3)

Door sterke interactie tussen het bovenliggend oppervlaktewater en het onderliggend grondwater zal ter plaatse van de vulling nauwelijks een potentiaalverschil mogelijk zijn en

dus is er geen stroming door de vulling. De regionale infiltratie zorgt voor een verticale richting van de pluim in plaats van de horizontale richting in de eerdere twee gevallen. De potentieel mogelijk dunne pluim (zie boven) heeft ook nu een verwaarloosbaar effect volgens het verdunningsonderzoek.

#### 4.4 Geohydrologisch ongewenste situatie (bron en pad)

Er is een duidelijk ongewenste situatie te definiëren, waarbij uitloging direct voor significante verandering van de grondwaterkwaliteit in de directe omgeving zorgt (figuur 4.8). Bij een zandige vulling in een infiltratiegebied is te verwachten dat de poriewaterconcentraties direct teruggevonden gaan worden in het watervoerend pakket. In een dergelijk geval is uitsluitend volledig schoon materiaal toepasbaar.



Figuur 4.8. Infiltratie door zandige vulling in infiltratiegebied geeft direct beïnvloeding van grondwater in de omgeving.

#### 4.5 Overige, niet benoemde situaties

In niet beschreven gevallen is het soms toch mogelijk om aan de criteria te voldoen door aangepaste – combinaties van – maatregelen of interpretaties. Een geohydrologische expert kan vrij snel aangeven of er kansrijke alternatieven mogelijk zijn.

## 5 Beoordelingsniveau 1: Simpel als het kan

Sommige kritische omstandigheden zijn zo eenvoudig te bepalen dat ze door iemand met regionale kennis en gezonde logica kan worden vastgesteld. In deze gevallen zijn de omstandigheden zo helder en doorslaggevend dat een beoordeling eenvoudig kan worden genomen op basis van een enkele vastlegging. Als bijvoorbeeld het materiaal waarmee verondiept wordt puur uit baggerslib bestaat, zal door de lage doorlatendheid van het slib geen grondwaterstroming door de vulling plaatsvinden en dus geen verspreiding van stoffen mogelijk zijn. Een dergelijke inrichting is dan geohydrologisch veilig. In dit hoofdstuk wordt dit geval en vergelijkbare gevallen beschreven, waarop kan worden besloten volgens de regel "simpel als het kan".

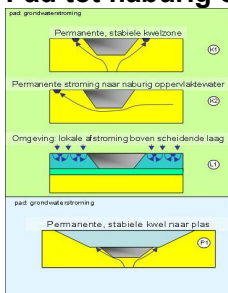
### 5.1 Bron met lage doorlatendheid



Heeft de bron, de vulling waarmee de diepe plas is verondiept, een zeer lage doorlatendheid (in de orde van  $10^{-4}$  m/dag) dan zal het grondwater er marginaal doorheen stromen en is verspreiding van stoffen vanuit de bron marginaal. Het systeem is dan geohydrologisch veilig. Dit geldt in de gevallen dat gegarandeerd alleen ongerijpt slib of materiaal met meer dan 90% slib wordt toegepast. Voor andere gevallen is geohydrologische kennis noodzakelijk (hoofdstuk 6) om uitspraken te doen.

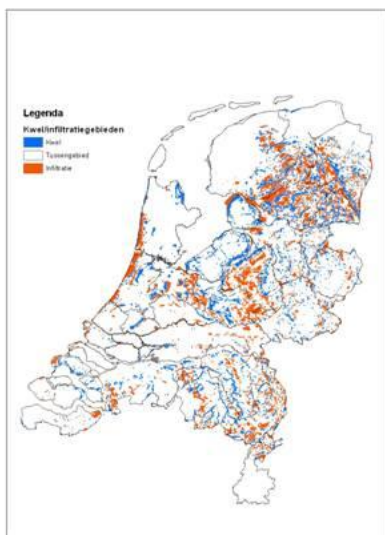
Voor het liggend slib in hoog Nederland (boven NAP +2 meter) geldt dat dit meer uit zandig materiaal zal bestaan dan het ongerijpt slib waarop de huidige kennis is gebaseerd. Om daar ook dit criterium toe te kunnen passen moet eerst zijn vastgesteld dat de gemiddelde doorlatendheid vergelijkbaar met die van het slib dat bemeten is in laag Nederland. Dit kan bijvoorbeeld door een meetcampagne te houden als uitgevoerd voor de resultaten in figuur 3.10, waarvoor 50 representatief gekozen monsters werden bemeten. Ook kan wellicht op basis van bestaande korrelverdelingen (de gemeten fractie van <math><63\mu</math>) gebruik gemaakt worden van de informatie uit figuren 3.10 en 7.2.

### 5.2 Pad tot naburig oppervlaktewater



Voor een beoordeling op basis van criteria (K1) en (P1) moet een permanente kwelsituatie worden vastgesteld, waarvoor eenvoudige hulpmiddelen bestaan. Om besluiten te kunnen nemen voor de andere twee criteria (P2) en (L1) is geohydrologische kennis noodzakelijk (hoofdstuk 6).

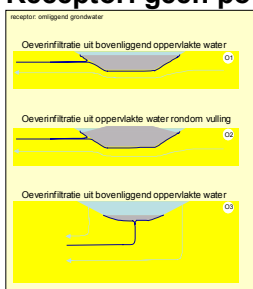
Het vaststellen van een stabiele kwelzone is soms mogelijk op basis van algemeen beschikbare kenmerken van de omgeving van de te verondiepen plas. Al voorbeeld hiervan is in figuur 5.1 een kaart met landelijk bekende kwelzones - met kwel >1mm/dag uit het landelijke model NHI (v2.0, 2010) – gepresenteerd.



Figuur 5.1 Landelijk bekende kwel en infiltratiegebieden, berekend met NHI 2.0 voor >1mm/dag (voor meest recente verdeling: [www.nhi.nu](http://www.nhi.nu)).

In veel gebieden bestaat een gezamenlijk regionaal grondwatermodel, waarmee de regionale kwelsituatie kan zijn berekend en is gerapporteerd. Belangrijk is dat het zeker moet zijn dat het om een permanente kwelsituatie gaat die het hele jaar door geldt.

### 5.3 Receptor: geen potentiaalverschil over vulling



In sommige situaties is bekend dat de verondieping gepland is in een plas die slechts voor een deel wordt gevuld waardoor de interactie met het grondwater in het onderliggend watervoerend pakket niet wordt veranderd, geval (O3). Het is dan noodzakelijk om vast te stellen (grondwaterstandmetingen) dat interactie van de overblijvende plas met het onderliggend grondwater direct via de zandige bodem plaats blijft vinden. Wordt de plas grotendeels verondiept - dus de gevallen (O1) en (O2) - of is er sprake van een minder doorlatende deklaag dan is voor de beoordeling geohydrologische kennis noodzakelijk (Hoofdstuk 6).

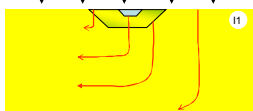
In dit beoordelingscriterium geldt dat:

- een groot deel van de plas blijft tot op watervoerend pakket
- de vulling is een ondergeschikt deel van resterende plas



Voorbeelden hier bedoeld zijn de verondieping in een voormalige zandwinning in een grote plas in Zuid-Holland en verondieping in delen van het IJsselmeer en de randmeren.

#### 5.4 Geohydrologisch ongewenste situatie (bron en pad)

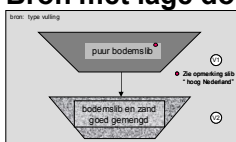


Een geohydrologisch ongeschikte locatie in combinatie met type vulling is het geval van een zandige vulling in een infiltratiegebied. Voor de landelijke bekende infiltratiegebieden kan worden gekeken naar de kaart in figuur 5.1. Regionale modelstudies en algemene kennis van de omgeving van de diepe plas zijn vaak voldoende om deze gevallen aan te wijzen.

## 6 Beoordelingsniveau 2: Beperkte geohydrologische ondersteuning

In een aantal gevallen kan een geohydroloog eenvoudig op basis van bestaande landelijke, regionale en lokale kennis, zoals DINO, REGIS, NHI, regionale studies en lokale boringen, vaststellen of de situatie voldoet aan een van de mogelijke beoordelingscriteria. Als bijvoorbeeld onder de locatie een gesloten, weerstandbiedende laag ligt en er voldoende sloten of een kanaal aanwezig zijn om de grondwaterstroming als zeer lokaal aan te duiden, kan ook gesteld worden dat er geen sprake is van mogelijke verspreiding in het grondwater. Dan kan de locatie als geohydrologisch veilig worden gekenmerkt. Dit hoofdstuk beschrijft hoe de beoordelingscriteria kunnen worden gebruikt door het beperkt toepassen van geohydrologische kennis.

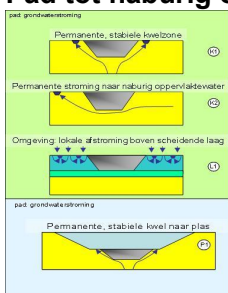
### 6.1 Bron met lage doorlatendheid



Is de vulling van de diepe plas samengesteld uit zand en minder dan 90% ongerijpt slib (zie paragraaf 5.1), dan moet de vulling nader geohydrologisch worden beoordeeld. De vulling moet zodanig worden opgebouwd dat doorstroming door grondwater wordt voorkomen, geval (V2). In paragraaf 4.1 is beschreven dat met een “goed gemengde” vulling aan dit criterium kan worden voldaan. Nadere uitwerking van het begrip “goed gemengd” is nodig (zie paragraaf 4.1).

Is de vulling (nog) niet voldoende te karakteriseren als hierboven aangegeven dan kan gekeken worden of aan de criteria voor het pad of de receptor kan worden voldaan.

### 6.2 Pad tot naburig oppervlaktewater



Voor een beoordeling op basis van criteria (K1) en (P1) moet een permanente kwelsituatie worden vastgesteld. Voor de andere twee criteria is het noodzakelijk om te beoordelen of de grondwaterstroming rond (K2) en nabij (L1) de verondiepte plas lokaal wordt afgevangen.

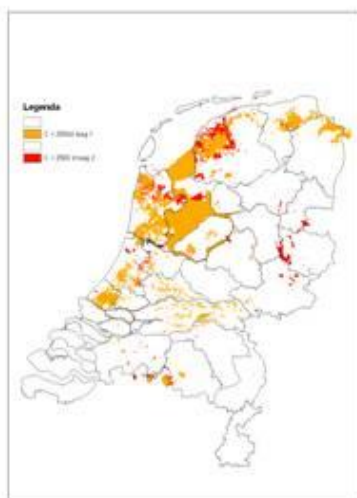
De geohydroloog kan op basis van specifieke kenmerken van het gebied rond de locatie onderbouwen dat er een permanente kwelsituatie heerst voor de gevallen (K1) en (P1). Aangegeven kan worden waar het grondwater in opkwelt. De hydroloog kan zich ook baseren op regionale modellen, waarin de permanente kwelsituatie is aangetoond. De kwel kan

kleiner zijn dan de 1 mm/dag gehanteerd in paragraaf 5.2, maar moet jaargemiddeld en stabiel voor lange termijn aangetoond zijn.

Voor het geval (K2) moet worden aangetoond dat de stroomlijn die vlak langs de vulling stroomt, uitkomt in het nabijgelegen oppervlaktewater. Daarbij kan een eenvoudige berekening of conceptuele schets voldoende zijn als onderbouwing.

Voor de criteria in geval (L1) moet worden aangetoond dat het grondwater boven de scheidende laag (of hydrologische basis) lokaal afstroomt. Grondwater dat uit de vulling zou kunnen komen moet afstromen naar een van de naburige oppervlaktewateren of drains. Dit geval verschilt geohydrologisch van geval (K2), omdat de aanwezigheid van de scheidende laag en het intensieve drainagestelsel aanwijzingen zijn voor het gewenste hydrologische systeem. Aangetoond moet worden dat er geen (sub-)regionale stroming onder de lokale drainage systemen (maar boven de scheidende laag) heerst. Dit kan soms eenvoudig uit de oppervlaktewaterpeilen worden afgeleid.

Voor de aanwezigheid van de scheidende laag kan de geohydroloog terugvallen op landelijke data in DINO, de hydrogeologische schematisatie in REGIS en de parameterisering in het landelijke model NHI (figuur 6.1). Als uit de landelijke informatie niet onweerlegbaar de aanwezigheid kan worden afgeleid, dient de aanwezigheid en afsluitende werking vast gesteld te worden op basis van DINO en eventueel aanvullende lokale informatie (bijvoorbeeld boringen, grondwaterstanden, stijghoogtes).

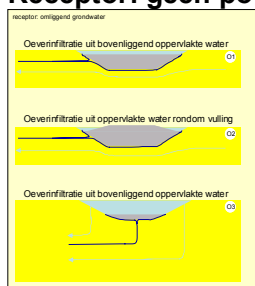


Figuur 6.1. Scheidende lagen met weerstand groter dan 2500 dagen in de bovenste lagen van NHI 2.0 (voor meest recente verdeling: [www.nhi.nu](http://www.nhi.nu)).

De aanwezigheid van het intensieve drainagestelsel kan worden afgeleid uit topografische, bodemkundige (GT's) kaarten (digitaal: top10 vector bestand). De peilbeheersing kan worden gevonden uit informatie van waterschappen in peilbesluiten, etc. In veel gebieden bestaat een regionaal gedetailleerd grondwatermodel, waarin deze informatie opgeslagen is. Het gaat hierbij om wat in de praktijk de secundaire en primaire drainagestelsels zijn. De tertiaire stelsels werken vooral tijdens natte periodes en zijn niet altijd representatief voor de jaargemiddelde stromingstoestand.

Als voorbeeld voor geval (L1) kan dienen de recreatieplas ten zuidoosten van Eibergen waar ondiepe grondwaterstroming plaats vindt boven de geohydrologische basis.

### 6.3 Receptor: geen potentiaalverschil over vulling



Als de verondieping gepland is in een plas die slechts voor een deel wordt gevuld kan de interactie met het grondwater in het onderliggend watervoerend pakket via de oever en de resterende bodem gehandhaafd blijven, geval (O3). Dan heerst over de vulling nauwelijks een potentiaalverschil en zal er geen stroming zijn. Wordt de plas grotendeels verondiept, dus in de gevallen (O1) en (O2), dan is voor de beoordeling noodzakelijk om vast te stellen of het potentiaalverschil klein blijft.

Voor voldoende interactie tussen de overblijvende plas en het grondwater in het watervoerend pakket is het noodzakelijk dat de resterende plas:

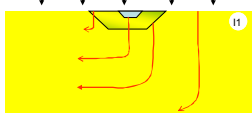
- direct aansluit op het watervoerend pakket;
- voldoende infiltrerend vermogen heeft (niet droog valt of dichtslibt);
- bepalend is en blijft voor de grondwaterstand onder de vulling.

Als een gedeelte van de vulling boven water uitsteekt (O2), zal gezorgd moeten worden dat de neerslag afstromen naar het oppervlaktewater door oppervlakkig drainage of een vulling die verticale richting voldoende weerstand biedt.

De oeverinteractie bij langsstromend grondwater kan ook leiden tot geval (K2) indien het grondwater opkwelt over de oever benedenstrooms.

De geohydroloog zal hiervoor lokale aanvullende informatie over ondergrond, en de opbouw van de verondiepte plas moeten verzamelen, die aanvullend is op regionale of landelijke interpretaties van ondergrond. Metingen van grondwaterstanden zijn daarbij belangrijk. Meestal volstaat een hydrologische onderbouwing met eenvoudige formules of concepten.

### 6.4 Geohydrologisch ongewenste situatie (bron en pad)



In dit geval kan de geohydroloog paragraaf 5.4 volgen met de regionale en lokale informatie die hierboven is genoemd.

## 7 Beoordelingsniveau 3: Op basis van eenvoudig grondwater model

Het kan zijn dat de onderdelen bron, pad, receptor op zichzelf niet voldoende doorslaggevend materiaal opleveren voor een beoordeling, maar dat in samenhang er mogelijk wel voldoende aanleiding is tot een beoordeling. In dat geval kan de geohydroloog gebruik maken van een eenvoudig model, dat aan basisvoorwaarden voldoet om aan te tonen dat aan een der basis criteria wordt voldaan.

Deze basiscriteria zijn genoemd aan het begin van de paragrafen 4.1 4.2 en 4.3 en kunnen worden samengevat tot:

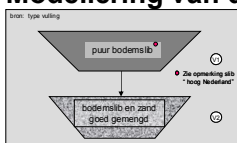
1 – De doorstroming van de vulling is verwaarloosbaar door de (combinatie van) lage doorlatendheid en/of verwaarloosbaar potentiaalverschil.

2 – Het potentieel beïnvloed grondwater blijft nabij de bron (vulling).

Met het grondwatermodel moet worden aangetoond dat tenminste aan een van deze basiscriteria wordt voldaan om een locatie als geschikt te kunnen aanwijzen.

De geohydroloog / modelleur zal met kennis van zaken over gevoeligheden van parameters ten opzichte van praktijktoepassing en veldsituaties moeten oordelen en de keuze van de schematisatie van het model voor de uitkomsten moeten onderbouwen. De beschrijving van de ondersteuning beoogt een inzet van maximaal 10 dagen.

### 7.1 Modelling van de bron, de vulling



De modellering van de vulling gebeurt hetzij met één gemiddelde waarde voor de doorlatendheid als default hetzij met behulp van zonering van de zand en ongerijpt slib eenheden zoals die voorzien zijn bij het inbrengen.

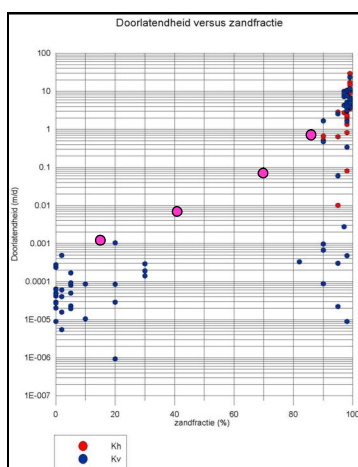
Voor de gemiddelde doorlatendheid voor vulmateriaal in laag Nederland kan de waarde worden afgeleid uit figuur 7.1. Deze indeling is gebaseerd op het feit dat in een grote vulling de kans op verstopping toeneemt bij toename van het percentage slib. Het bestaan van slechtdoorlatende zones neemt toe. Het effect is sterk niet-lineair, waarschijnlijk logaritmisch of reciproke. Gekozen is voor de logaritmische relatie dat de doorlatendheid 1/10x verandert bij 2x verandering van het percentage slib.

Default waarden (bij afwezigheid betere inschatting):

- fijn slib (>90%):  $k=10^{-3}$ m/d
- fijn slib (>60%) en fijn zand:  $k=10^{-2}$ m/d
- fijn zand in fijn slib (>30%):  $k=10^{-1}$ m/d
- fijn zand met fijn slib (>15%):  $k=1$ m/d

Figuur 7.1 Waarden voor doorlatendheid bij gebruik in modellering van de gehele vulling.

In figuur 7.2 is deze logaritmische relatie is uitgezet tegen metingen in de Formatie van Naaldwijk (persoonlijke communicatie R. Vernes, TNO, 2010). De samenstelling (fijn zand, silt, klei, jonge afzetting) van de Formatie van Naaldwijk heeft de meeste gelijkenis (van de bekende geologische lagen) met het slib-zand materiaal uit laag Nederland dat toegepast wordt bij verondieping. Uit de plaats van de default waarden in de figuur blijkt dat de default waarden over vrijwel de hele range van de zandfractie aan de hoge kant van de doorlatendheid uitvallen. Dit betekent dat met een relatief lage weerstand zal worden gerekend in het model, hetgeen aan de veilige kant is. De default waarden liggen ook hoger dan de waarden gepresenteerd in figuur 3.10.



Figuur 7.2 Doorlatendheid van de Formatie van Naaldwijk (persoonlijke communicatie R. Vernes, TNO 2010). De paars-zwarte stippen zijn ingevoegde waarden volgend uit figuur 7.1.

Voor het liggend slib in hoog Nederland (boven NAP +2 meter) geldt dat dit meer uit zandig materiaal zal bestaan dan het ongerijpt slib waarop de huidige kennis is gebaseerd. Om daar ook dit criterium toe te kunnen passen moet eerst zijn vastgesteld dat de gemiddelde doorlatendheid vergelijkbaar met die van het slib dat bemeten is in laag Nederland. Dit kan bijvoorbeeld door een meetcampagne te houden als uitgevoerd voor de resultaten in figuur 3.10, waarvoor 50 representatief gekozen monsters werden bemeten. Ook kan wellicht op basis van bestaande korrelverdelingen (de gemeten fractie van <math><63\mu</math>) gebruik gemaakt worden van de informatie uit figuren 3.10 en 7.2.

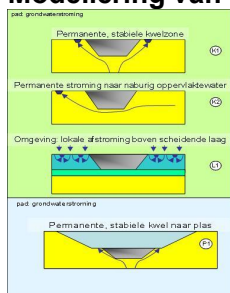
Bij schematiseren van de werkelijke opbouw van de vulling (zie figuur 4.2 en 4.3) worden homogene eenheden gemodelleerd afgewisseld met gebieden met weerstand (ongerijpt slib). De weerstandslagen moet altijd in 2 of meer cellen dwars op stroming worden gemodelleerd

Algemene eisen voor het model zijn aangegeven in figuur 7.3

- Celhoogte < put diepte / 10
- Bodemhelling van nieuwe en oorspronkelijke put inbrengen
- Liggende bodemlaag realistisch en veilig inbrengen
- Afdeklaag, vorm en peil eindplas modelleren volgens inrichtingsontwerp

Figuur 7.3 Algemene eisen voor grondwater model gebaseerd op cellen of elementen.

## 7.2 Modelling van het pad (de omgeving)



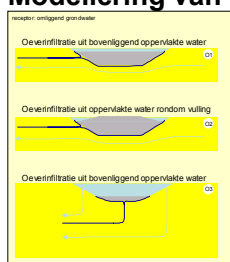
De model eisen voor de omgeving van plas zijn beschreven in figuur 7.4.

- Baseren op bestaand regionaal model, of NHI op 25m als basis
- Modelgrenzen:
  - maximaal 5 km stroomafwaarts van put, of hydrologische grens
  - Maximaal 1 km stroomopwaarts van put, of hydrologische grens
  - Hydrologische grens = ondoorlatend, groot oppervlakte water, etc.
- Modelbasis = geohydrologische basis als ondieper dan 3 x put diepte
- Anders: Modelbasis = 1<sup>e</sup> kleilaag dieper dan 3 x put diepte
- Toevoegen: lokale oppervlaktewaterstelsels, onttrekkingen
- Toevoegen: lokale laagindeling op basis van DINO en put informatie

Figuur 7.4 Eisen voor grondwatermodel in omgeving van diepe plas.

De geohydroloog zal een onderbouwing geven van de randvoorwaarden van het model en expliciet daarin over de wijze van opleggen van de regionale kweldruk.

## 7.3 Modelling van de receptor (stroombanen)



Indien het model gebruikt wordt om met behulp van stroombanen het maximale beïnvloedingsgebied van de vulling te berekenen, gebeurt dat met stroombanen die starten vlakbij de bovenrand van de vulling, dus nabij de bodem van de resterende plas. Zie hiervoor de zwarte lijnen in figuur 4.7.

## 7.4 Geohydrologische modelanalyse van de situatie (bron, pad, receptor)

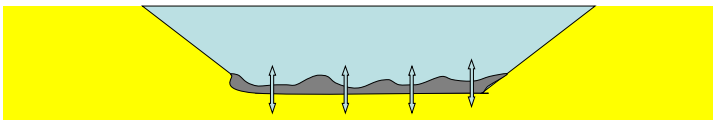
Het grondwatermodel kan aantonen dat wordt voldaan aan tenminste één van de criteria genoemd in de inleiding van dit hoofdstuk. De geohydroloog zal door middel van een gevoeligheidsanalyse van de situatie aantonen dat de conclusie niet berust op een toevallige combinatie van factoren en modelkeuzes. Daarbij moet rekening gehouden worden dat weerstanden met een factor 10 kunnen variëren, dat het doorlaatvermogen een factor 2 kan

variëren en dat ook de peilen variëren in zomer en wintertoestand en niet altijd worden gehandhaafd als aangegeven in het peilbesluit.



## 8 Omgaan met pluim uit initiële consolidatie

Uit de onderzoeken voor Schellerwaard (De Lange en Hartog, 2009) en Afferdense en Deestse Waarden (Schmidt et al., 2005) is gebleken dat de initiële consolidatie flux qua volume relevant is. Uit een interpretatie van metingen bij het Dalemse Gat in Zuid Holland (intern onderzoek TNO 2008) lijkt dit in de praktijk voor te kunnen komen. Deze flux ontstaat doordat water wordt uitgedreven als de vaste delen in het vulmateriaal op elkaar worden gedrukt door het gewicht van het bovenliggende materiaal (figuur 8.1).



*Figuur 8.1 Uitstroming van consolidatie water in initiële fase kan relevant volume worden en pluim in grondwater veroorzaken.*

Om te voorkomen dat deze flux een pluim met (lichte) verontreinigingen veroorzaakt, wordt aanbevolen om de eerste laag uit schoon materiaal op te bouwen. Dan komt de eerste consolidatie flux uit schoon materiaal. Soms ligt er al fijn materiaal op de bodem dat zorgt voor voldoende weerstand en dat consolidatieflux uit het bovenliggende vulmateriaal dwingt naar boven af te stromen. In dat geval hoeft op die plaats geen maatregel te worden getroffen.

## 9 Conclusies en aanbevelingen

### 9.1 Conclusies

Met deze handreiking zijn geohydrologisch gebaseerde criteria aangereikt voor het herinrichten van diepe plassen en is daarmee de aanbeveling voor het meenemen van de geohydrologie van de commissie Verheijen ingevuld.

De geohydrologische criteria zijn geordend volgens het bron-pad-receptor principe en zijn geohydrologisch goed onderbouwd. De begeleidende tekst streeft naar optimale duidelijkheid voor de praktijk van de beoordeling.

Enigszins verrassend is het dat er criteria zijn ontwikkeld voor herinrichting van diepe plassen niet alleen in kwelgebieden maar ook in infiltratie gebieden en voor situaties zowel in hoog als in laag Nederland.

De fasering in 3 fasen voor de onderbouwing beoordeling maakt het mogelijk om na een eerste eenvoudige beoordeling met toenemende inspanning tot beoordeling van minder eenvoudige situaties te komen.

Voor een van de meest interessante criteria, die van kleine doorlatendheid van de bron, is op 2 punten nadere uitwerking nodig (zie aanbevelingen). Deze dienen om (1) voor de praktijk een nog meer eenvoudige voorwaarde aan de wijze van vullen te kunnen geven en (2) voor niet bemeten slibtypen in hoog Nederland (hoger dan +2m) de doorlatendheid te bepalen.

### 9.2 Aanbevelingen

#### 1 - Uitwerking wijze van vullen voor "goed gemengd"

Voor voldoende weerstand tegen de horizontale stroming zal in de volgorde van vulling langs de oevers bewust gestuurd moeten worden op het afwisselend inbrengen van zand en ongerijpt slib. Een eerste, voorlopige, eenvoudige analyse heeft laten zien dat een inrichting die voldoende weerstand geeft haalbaar is op meerdere wijzen. Daartegenover blijkt het niet aansluiten van slibhoudende weerstandbiedende lagen tot kortsluitstroming kan leiden waardoor niet voldoende aan de gestelde eis wordt voldaan (figuur 4.2, stroomlijn door gat binnen groene cirkel). De opbouw van de vulling en gemiddelde doorlatendheid van het meest gebruikte materiaal bepalen samen het resultaat. Verdere uitwerking van een aanwijzing voor de volgorde van vullen is noodzakelijk. Dit zal moeten gebeuren als combinatie van geohydrologische analyse en de vulpraktijk.

Een andere mogelijkheid voor het bepalen van de weerstand tegen grondwaterstroming in een gemengde vulling is natuurlijk het uitvoeren van een meting in een bestaande situatie. Daaraan kleeft echter het risico dat oorzaak en gevolg dan niet geheel duidelijk zijn: de conclusie over de weerstand is dan gebaseerd op één situatie waarvan de samenstelling wellicht niet goed genoeg gekend is.

Een verdere onderbouwing van het effect van gemengd zandig en slibrijk materiaal kan beter op systematische wijze gebeuren met kleine proeven en aanvullende modelsimulaties. Het is niet onwaarschijnlijk dat het dan mogelijk blijkt om te onderbouwen dat bij het in grote

aantallen mengen van zandig en slibrijk materiaal voldoende lage doorlatendheden ontstaan om aan de eis voor de weerstand van de vulling te voldoen.

## 2 – Bepaling doorlatendheid in liggend slib in hoog Nederland (boven NAP +2m).

Voor het liggend slib in hoog Nederland (boven NAP +2 meter) geldt dat dit meer uit zandig materiaal zal bestaan dan het ongerijpt slib waarop de huidige kennis is gebaseerd. Om daar ook dit criterium toe te kunnen passen moet eerst zijn vastgesteld dat de gemiddelde doorlatendheid vergelijkbaar met die van het slib dat bemeten is in laag Nederland. Dit kan bijvoorbeeld door een meetcampagne te houden als uitgevoerd voor de resultaten in figuur 3.10, waarvoor 50 representatief gekozen monsters werden bemeten. Ook kan wellicht op basis van bestaande korrelverdelingen (de gemeten fractie van <math><63\mu</math>) gebruik gemaakt worden van de informatie uit figuren 3.10 en 7.2.

## 3 – Bepaling effectieve doorlatendheid van “grond”

Als de uitwerking van aanbeveling 1 tot te stringente voorwaarden voor de praktijk leidt, is voor verder gebruik van geohydrologische criteria de doorlatendheid van de ingebrachte grond (in dit rapport als zand of zandig materiaal aangeduid) cruciaal. Hiervoor zijn verschillende mogelijkheden, waarvan er hier twee worden genoemd. Bij willekeurig samengesteld materiaal kan naar de effectieve doorlatendheid van de ingebrachte grond op de schaal van de deel vulling, de partij, in samenhang met de noodzakelijke verdunningsfactor voor de toegepaste klasse van de grond worden gekeken. Het meten van doorlatendheden van de monsters die voor de chemische samenstelling worden genomen, zal hieraan bijdragen. Het in situ bepalen van de doorlatendheid van een partij of een bestaande vulling kan worden uitgevoerd door grondwaterstandmetingen eventueel in combinatie met een lokale geforceerde stroming.

## 10 Literatuur

Bolleboom T., P. Bakker et al., 2010 Handreiking voor het herinrichten van diepe plassen, versie 1 oktober 2010, Bodemplus

Commissie Verheijen, 2009, Verantwoord grootschalig toepassen van grond en baggerspecie, Rapport Commissie Verheijen aan de Ministers van VROM en V&W.

De Lange, W.J. 1996, Groundwater modeling of large domains with analytic elements PhD-thesis Technical University Delft ISBN 90-369-4569-0

De Lange en Hartog 2009, Van Put naar Plas, Bergen van grond onder water, Systematisch onderzoek zandwininput Schellerwaard, redactie W.J. de Lange, N. Hartog, TNO-Deltares Rapport BGS92.93000

De Lange W.J., J. Hunink en J.C. Hoogewoud, 2010, Geohydrologische analyse van stroming uit met slib gevulde zandwinputten, Deltares 1202368.

Lijzen, J.P.A., J.W. Claessens, R.N.J. Comans, J. Griffioen, W.J. de Lange, J. Spijker, J.P.M. Vink, M.C. Zijp, 2010, Beoordelen grootschalige bodemtoepassingen in diepe plassen, Elementen voor locatiespecifieke beoordeling, RIVM-ECN-Deltares Rapport, RIVM-607711002/2010

Schmidt, C.A., K. van Vliet, W.J. de Lange, 2001, Verspreiding van stoffen uit het Haringvliet naar het grondwater, Inschatting actueel risico naar het grondwater ihkv Nader Onderzoek naar de verontreinigde waterbodem, RIZA rapport 2001.0XX

Schmidt, C.A., G. Cornelissen, C. Cuypers, W.J. de Lange, K van Vliet, J.P.M. Vink, 2002, Bepaling actueel risico van verspreiding via grondwater, Achtergrond document in het kader van de Richtlijn nader onderzoek Verontreinigde waterbodems, RIZA rapport 2002.025

Schmidt, C.A., C. Cuypers, W.J. de Lange, J.J. E van Ormondt, K van Vliet, 2003, Nader onderzoek Kanaal door Walcheren, Actuele risico's van verspreiding van verontreinigingen via grondwater, RIZA rapport 2003.017

Schmidt, C.A., C Cuypers, W.J. de Lange, H. van den Heuvel, J.M. Lourens. 2005, Berging van uiterwaardengrond in Afferdense en Deestse Waarden, Verspreiding via grond, RIZA rapport 2005.008

Zindler, J.A., C.A. Schmidt, W.J. de Lange, 1999, De invloed van verontreinigd slib op de kwaliteit van het grondwater direct onder de sliblaag, Een geostatistische analyse van de stoffen in het proefgebied aan de noordoever van het Hollands Diep, RIZA rapport 99.026