Deltares

Methode voor de geohydrologische beoordeling van het met zandig materiaal verondiepen van plassen in uiterwaarden (aanvulling in kader van PFAS)

Methode voor de geohydrologische beoordeling van het met zandig materiaal verondiepen van plassen in uiterwaarden (aanvulling in kader van PFAS)

Aanvulling op "Handreiking geohydrologische beoordeling bij herinrichting van diepe plassen" fase 1

Auteur(s)
Wim de Lange

Methode voor de geohydrologische beoordeling van het met zandig materiaal verondiepen van plassen in uiterwaarden (aanvulling in kader van PFAS)

Aanvulling op "Handreiking geohydrologische beoordeling bij herinrichting van diepe plassen" fase 1

Opdrachtgever	Rijkswaterstaat Water, Verkeer en Leefomgeving
Contactpersoon	Elmert de Boer
Referenties	de Lange W.J., 2020. Methode voor de geohydrologische beoordeling van het met zandig materiaal verondiepen van plassen in uiterwaarden (aanvulling in kader van PFAS). Deltares rapport 11205055-000-BGS-0012.
Trefwoorden	Generieke methode, grondwater, diepe plassen, PFAS

Documentgegevens	
Versie	1.0
Datum	04-06-2020
Projectnummer	11205055-000
Document ID	11205055-000-BGS-0012
Pagina's	17
Status	definitief

Auteur(s)

	Wim de Lange	

Doc. Versie	**Auteur**	**Controle**	**Akkoord**	**Publicatie**
1.0	Wim de Lange	Timo Kroon	Otto de Keizer	

Inleiding

Door de dynamiek rond het aantreffen van PFAS is de toepassing van grond en bagger voor herinrichting van diepe plassen onder druk komen te staan. De relatief strenge normstelling voor PFAS is aanleiding om te kijken of "hydrologische isolatie" is in te zetten als onderbouwing van de vergunningverlening (beoordeling van initiatieven of meldingen).

Door Deltares is in 2011 de “Handreiking geohydrologische beoordeling bij herinrichting van diepe plassen" opgesteld ter ondersteuning van aanvragen voor de vergunningverlening. In deze handreiking worden twee criteria benoemd (zie inleiding van hoofdstuk 7, Deltares 2011) voor hydrologische isolatie:

1. De doorstroming door de opvulling is verwaarloosbaar;
2. Het potentieel beïnvloed grondwater blijft nabij de bron (de vulling van de plas).

In laag Nederland wordt veel fijn slib toegepast, waardoor de vulling nagenoeg ondoorlatend is en aan het eerste criterium zal worden voldaan, zoals in de Handreiking van 2011 is uitgewerkt. In midden en hoog Nederland bevat het toegepaste vulmateriaal te weinig fijn-slib van lage doorlatendheid en wordt niet direct aan het eerste criterium voldaan. Deze plassen kunnen daarom alleen beoordeeld worden op het tweede criterium. Hier wordt een methode gepresenteerd voor toepassing van enigszins doorlatend materiaal zoals dat wordt gebruikt bij verondieping van voormalige zandwinplassen in midden en hoog Nederland. De methode is niet direct toepasbaar voor de grindplassen langs de Maas vanwege de grote doorlatendheden en stroomsnelheden daarin.
Voetnoot: Evenals in de handreiking van 2011 wordt hier geen rekening gehouden met dichtheidsstroming, omdat daarvoor expertkennis nodig is ver voorbijgaand aan het toepassingsdoel van dit document en dit bovendien in de beoogde situaties niet optreedt.

In plassen naast een rivier kan door de variatie van de waterstand in de rivier en in de plas afwisselend kwel en infiltratie optreden. Als de infiltratie gedurende beperkte tijd optreedt, terwijl er normaal gesproken kwel optreedt, zal lekkage vanuit de plasvulling beperkt zijn. In een dergelijk geval is de grootte van het beïnvloedingsgebied beperkt en wordt aan het tweede criterium voldaan. Deze dynamische omstandigheden zijn niet uitgewerkt in de Handreiking van Deltares uit 2011 (De Lange, 2011) en maken eenvoudige beoordeling van de situatie niet zonder meer mogelijk. Daarom wordt in dit document daarvoor een eenvoudige en robuuste beoordelingsmethode gegeven als aanvulling op de Handreiking van 2011. In de bijlage wordt de geohydrologische onderbouwing beschreven die is ondersteund met modelberekeningen en analyses die zijn gerapporteerd in het Technisch rapport (Vergroesen et al, 2020).

De gepresenteerde methode vergt beperkte inspanning en is algemeen toepasbaar voor het beoordelen op het tweede criterium van verondieping van plassen langs grote rivieren in midden en hoog Nederland behalve die in grind langs de Maas. De methode specificeert de uit te voeren stappen op basis van recente, beschikbare informatie en leidt tot een figuur die eenduidig en eenvoudig is te beoordelen. Als de figuur niet de juiste kenmerken (stroombanen en kleuring) aantoont, zoals in dit document beschreven, kan uit nader onderzoek alsnog blijken dat aan de eisen wordt voldaan.

Inhoud

	Inleiding	**4**
	Samenvatting van de methode	**6**
1	**Beschrijving uitvoering van de methode ‘omhullend-vlak’**	**7**
2	**Literatuur**	**10**
A	**Nadere onderbouwing methode ‘omhullend-vlak’**	**11**
A.1	Inleiding	11
A.2	De berekening van de stroming van / naar rivier met een regionaal model	11
A.2.1	Invloed van onzekerheden op de uitkomsten van het model.	13
A.3	Het effect van een plasvulling op de grondwaterstroming	13
A.4	De potentiële invloed van de plasvulling op de grondwaterkwaliteit	14
A.5	Methode met gekleurde stroomlijnen	15

Samenvatting van de methode

Bij een gemiddeld drainerende rivier kan gedurende een hoogwater periode tijdelijk (tot enkele maanden) infiltratie naar het grondwater optreden. De infiltratie gebeurt dan ook in een aanliggende plas en in de vulling daarin. Na de hoogwater periode stroomt het geïnfiltreerde water terug naar de drainerende rivier. Als het maximaal beïnvloede gebied een beperkte grootte heeft, is dat toelaatbaar voor het criterium "beïnvloed grondwater blijft bij de bron". De grens is daarvoor op 100 meter rond de plasrand gelegd en is gebaseerd op de uitvoeringspraktijk, de realiteit van grondgebruik en de nauwkeurigheid waarop de beoordeling in de methode kan plaatsvinden.

Voor de beoordeling maken we gebruik van het bestaan van een “omhullend vlak”. Een omhullend vlak is een 3 dimensionale begrenzing van het gebied van beïnvloeding door uitstroming vanuit de plasvulling. Bestaat zo'n vlak binnen een grens op 100 meter van de plas-rand dan wordt voldaan aan het criterium dat "het potentieel beïnvloed grondwater nabij de bron blijft".

Het bestaan van een omhullend vlak wordt aangetoond op basis van stroomlijnen in het grondwater, startend op 100 meter rond de plas in een 10 jaar gemiddelde situatie. Wanneer alle waterdeeltjes gevolgd vanaf 100 m rond de plas in de rivier afstromen, bestaat er een omhullend vlak binnen 100 m van de plas. In een situatie die robuust is voor toekomstige en onbekende veranderingen moet de regionale grondwaterstroming gemiddeld over een periode van 10 jaar significant en stabiel richting de rivier zijn. Dat wordt aangetoond als de berekende waterdeeltjes binnen beperkte tijd afstromen.

1 Beschrijving uitvoering van de methode ‘omhullend-vlak’

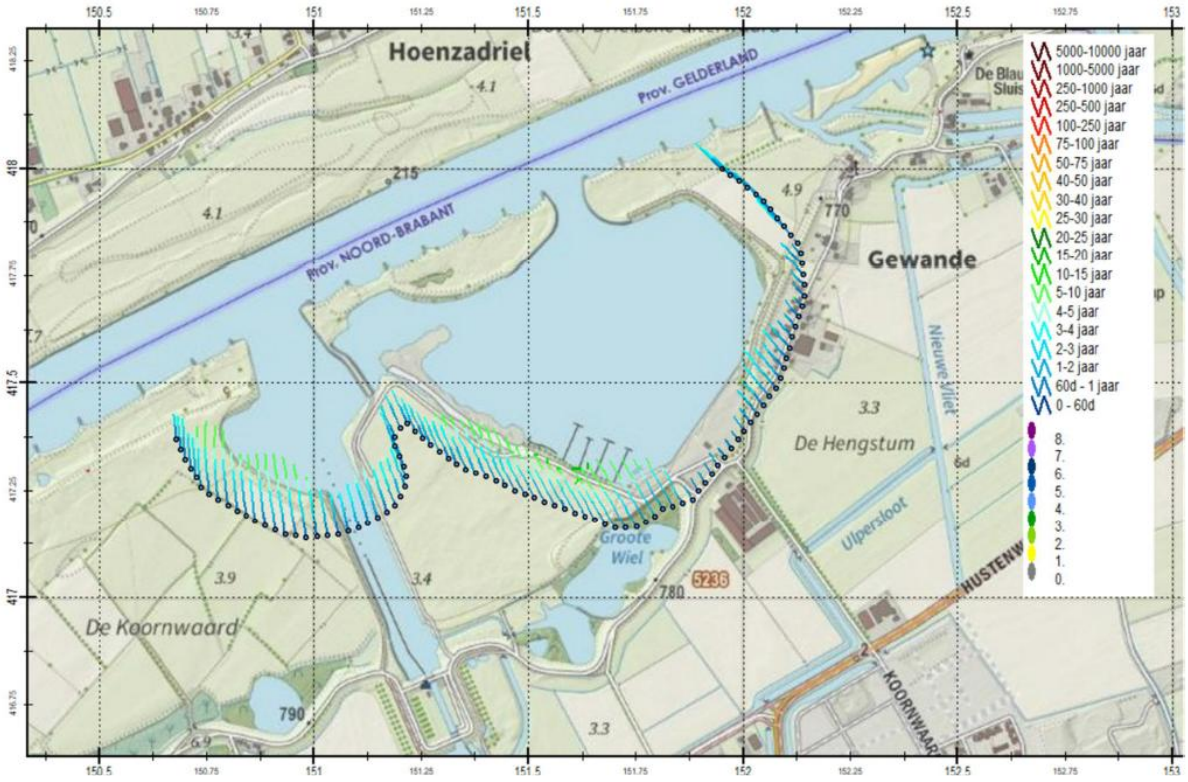
Stap 1 – Maak een lokaal model op basis van een beschikbaar, regionaal grondwater model.

- Snijd een deelmodel uit een regionaal model:
    - neem langs de rivier een lengte van 5 km, met de plas in het centrum.
    - gebruik de rivier daarbij als modelrand en leg de tegenover liggende rand op ca 5 km afstand.
    - zorg dat de celgrootte 25 bij 25 m is en neem de cel-diktes van het regionale model.
- Controleer de schematisatie en de parameterwaarden van het oppervlaktewatersysteem in de omgeving van de plas aan de hand van de werkelijke situatie en pas waar nodig aan met oog op (potentieel) drainerende systemen die lokale stroming beïnvloeden.
- Controleer de bathymetrie van de plas in de model-schematisatie met het inrichtingsontwerp op de volgende onderdelen en pas zo nodig het model aan:
    - de ligging van de plasrand in de eindsituatie.
    - de eerste scheidende laag mag niet boven de plasbodem liggen; in dat geval is de methode niet bruikbaar.
- Voor aangetakte plassen: zorg dat het plaspeil met het rivierpeil meebeweegt in de modelrandvoorwaarde. Voor niet-aangetakte plassen: zorg dat het waterniveau in de plas wordt berekend (in plaats van opgegeven) en dat ook de hoogwatersituatie juist wordt gemodelleerd.
- Geef een geohydrologische samenvatting van de grondwaterstroming bij de rivier ter plaatse van de plas.
- Identificeer en verdisconteer bekende hydrologisch-significante ontwikkelingen in de komende 10 jaar.

Stap 2 – Bepaal of het omhullend vlak binnen de grens van 100 meter bestaat.

- Voer met het model uit stap 1 een niet-stationaire modelberekening uit waarbij de rivierwaterstanden per dag zijn ingevoerd voor een zo recent mogelijke periode van 10 jaar. De periode wordt bepaald door de beschikbaarheid van gemeten rivierwaterstanden.
- Presenteer een figuur met de berekende stijghoogte op een representatief moment bijvoorbeeld tijdens de infiltrerende fase aan het begin van een hoogwater en beschrijf de plausibiliteit.
- Reken voor iedere model cel (horizontaal en verticaal) de gemiddelde stijghoogte over die periode van 10 jaar uit.
- Construeer een model dat de 10-jaar-gemiddelde situatie representeert:
    - Verwijder alle randvoorwaarden, onttrekkingen, etc. in het model behalve de oorspronkelijke k-waarde verdeling (en behoud natuurlijk wel de cel afmetingen).
    - Geef iedere cel de gemiddelde stijghoogte met de GHB (general head boundary) randvoorwaarde en een zeer hoge conductance (kD = 10.000 m^2/d).
    - Reken dit model stationair door.
- Voer met dit model stroombaan berekeningen uit, startend op 100 meter van de buitengrens van de plas in de begin situatie en 10 meter onder maaiveld (of 10 m onder gemiddelde plas waterstand, indien dat relevant lager is) en onderling op (cel-) afstand van 25 meter.
- Kleur de verblijftijd langs de stroombanen: tot 10 jaar blauw, tot 25 jaar groen, tot 50 jaar geel, tot 100 jaar oranje tot 250 jaar en langere verblijftijden rood.
- Presenteer de figuur met legenda voor verblijftijden.

Voorbeeld figuur (Sweco, 2020, plas Koornwaard), waarin een nog fijner onderscheid in verblijftijden is gehanteerd:



Aanvulling bij vergunningaanvraag (melding)

Bij de voorbereiding van de vergunningaanvraag (melding) wordt onderstaande checklijst gehanteerd door een onafhankelijke deskundige om de rapportage inhoudelijk te beoordelen. Onderstaande punten dienen duidelijk in de rapportage beschreven danwel als figuur of tabel opgenomen te zijn. Om zonodig na langere tijd onafhankelijke verificatie te kunnen uitvoeren, wordt gevraagd de per cel en modellaag berekende 10 jaars-gemiddelde grondwaterstand aan te leveren.

<u>Checklist inhoud rapportage:</u>

1. Geschikt model:
    a. recent regionale model.
    b. celgrootte, horizontaal en verticaal.
    c. modelgrootte volgens uitgangspunten voor begrenzing; controleer spreidingslengte.
2. Geohydrologische beschrijving, inclusief:
    a. regionale stromingssituatie naar rivier.
    b. bijzonderheden die de stroming bepalen, zoals onttrekkingen, drainerende beken.
    c. hydrologisch-significante ontwikkelingen in de komende 10 jaar.
    d. aan-/afwezigheid van relevante scheidende lagen in watervoerend pakket.
    e. berekende gemiddelde kwel en infiltratie fluxen, met name in de plas.
    f. stijghoogte patroon aan begin van hoogwater situatie.
3. Oppervlaktewatersysteem, inclusief:
    a. juiste recente situatie van waterlopen en peilen in omgeving van plas.
    b. juiste bathymetrie van plas in de eindsituatie.
    c. de hydrologische werking van de (wel/niet aangetakte) plas in model.
    d. rivierwaterstanden op dag-basis in model.

<u>Criteria beoordeling</u>

1. De kleur van de stroombanen is hoofdzakelijk (>95%) blauw (<10 jaar) tot groen (<25 jaar), beperkt geel en oranje (<5%) en niet significant rood (<1%) bij gebruik van de juiste legenda.
2. De berekende 10-jaar gemiddelde model waarden zijn aangeleverd.

Toelichting stap 1:
Langs de rivieren zijn regionale grondwater modellen gebouwd door regionale consortia. Deze worden voortdurend verbeterd en vormen een geaccepteerd uitganspunt voor detailstudies. Voor elke detail studie moet de lokale situatie worden gecontroleerd en bijgesteld, met name de parameters en de ligging van het oppervlaktewater en de drainage. De plasomvang is belangrijk met het oog op de stroming van grondwater en de ligging van relevante kleilagen moet juist in het model zijn opgenomen. Als de plas een kleilaag doorsnijdt is de methode niet toepasbaar. De samenstelling van de vulling is niet belangrijk voor de beoordeling van de modelresultaten.

De grootte van 5 bij 5 km is gebaseerd op de volgende uitgangspunten:

1. De rand ligt op meer dan 3 maal de spreidingslengte. De maximale, realistische spreidingslengte van 1700 meter is gebaseerd op zandwinputten langs grote rivieren die liggen in pakketten van ten hoogste 50 meter dikte met een gemiddelde doorlatendheid van hoogstens 60 meter per dag met een deklaag die in de uiterwaarden niet meer dan 1000 dagen weerstand zal hebben. In bijzondere gevallen zal hierop aanpassing nodig kunnen zijn.
2. Nabij de rivier is de regionale stroomrichting van het grondwater vrijwel loodrecht op de rivier.
3. De rivier vormt een waterscheiding in het beschouwde zandpakket omdat hij significant draineert als het resultaat van de methode aan de eisen voldoet. Indien dit niet het geval is (bijvoorbeeld bij diepe polders aan de overzijde van de rivier) moet het model daarop zijn aangepast.
4. De plas ligt nabij de rivier en heeft een omvang in de orde van 1 km^2.
5. De buitenste omvang van de vulling en de plas in de eindsituatie zal gelijk zijn aan de plasomvang in de beginsituatie. Dit bepaalt de grens van 100 meter waar stroombanen starten.

In de rapportage moet worden aangegeven dat aan deze uitgangspunten wordt voldaan.
Bij punt 2 en 3: als de situatie niet voldoet aan deze uitgangspunten zal met deze methode blijken dat dan ook niet wordt voldaan aan het criterium.

Toelichting stap 2:
Het gebruik van de gemiddelde situatie over de 10-jaar-periode vereenvoudigt het beoordelen en berekenen van stroombanen. De gemiddelde snelheden in het model worden berekend met behulp van de gemiddelde stijghoogtes op de rekenpunten (zie onderbouwing in de bijlage).

Als alle stroombanen gemiddeld over 10 jaar duidelijk richting de rivier en plas stromen, zal al het eventueel tijdelijk uit de plasvulling komende water "afstromen nabij de bron". De figuur met gekleurde stroomlijnen levert het bewijs dat de stroming uit de plas binnen een omhullend vlak met beperkte omvang optreedt. De figuur toont direct of de gemiddelde stroming richting de rivier en de plas is (of niet = afkeuring). De kleuring hoofdzakelijk (>95%) met blauw, groen en beperkt (<5%) geel en oranje toont aan of de situatie hydrologisch stabiel is. Als een significant aantal (>1%) stroomlijnen rood kleurt doet het grondwater er op die plaats 100 of meer jaar over om de afstand van 100 meter tot de rivier of plas af te leggen. Dan kunnen kleine veranderingen in het rivier regiem tot omslag van de gemiddelde stromingsrichting leiden. Deze situatie is hydrologisch niet robuust en moet nader worden beoordeeld.

2 Literatuur

De Lange, W.J., 2011. Handreiking geohydrologische beoordeling bij herinrichting van diepe plassen, Rapport 1203224, Deltares Utrecht.

Olsthoorn, T.N., 28-04-2020. Penetratiediepte van water dat tijdens een hoogwatergolf infiltreert vanuit de rivier of een aangekoppelde plas, afhankelijk van naburig binnendijks oppervlaktewater.

Online user manual iMOD, December 24, 2019. https://oss.deltares.nl/web/imod/online-imod-user-manual.

Sweco, 2019. Rapportage over Ravenswaarden – concept 18-12-2019.

Sweco, 2020. Rapportage over Koornwaard – concept 14-02-2020.

Vergroesen, A.J.J., T. op den Kelder, W.J. de Lange, 2020. Technische onderbouwing van de Aanvulling Handreiking beoordeling herinrichting diepe plassen. Fase 1: Nabij een rivier gelegen diepe plassen. Deltares rapport 11205055-000-BGS-0009.

A Nadere onderbouwing methode ‘omhullend-vlak’

Versie 0.9.6 (4 mei 2020).
Door: Wim J. de Lange, Deltares

A.1 Inleiding

De kern van de methode is het bestaan van een omhullend vlak in het grondwater waarbinnen infiltrerend water, dus potentiele beïnvloeding, vanuit de plas blijft. Bevindt dit omhullend vlak zich geheel binnen de afstand van 100 meter van de plas, dan wordt voldaan aan het criterium "beïnvloeding blijft nabij de bron". Zo’n omhullend vlak bestaat indien de rivier gedurende het grootste deel van de tijd draineert. Zo’n vlak bestaat niet in situaties waarin het grondwater hoofdzakelijk van de rivier afstroomt. Als het omhullend vlak bestaat, kan het worden aangetoond door het modelmatig volgen van waterdeeltjes die vertrekken van de grens op 100 meter van de plasrand. De zo verkregen stroomlijnen tonen of de deeltjes in de plas of de rivier afstromen. Als alle deeltjes gemiddeld en voldoende snel afstromen bestaat het omhullend vlak en is de situatie robuust voor onzekerheden in de huidige en toekomstige situaties. Dit wordt onderstaand onderbouwd.

Tijdens de ontwikkeling van de methode zijn de volgende criteria verworpen om de daarbij genoemde redenen.

Over een jarenlange periode gemiddeld treedt kwel op in de plas. Ook een niet volledig over het oppervlak of niet permanent kwellende toestand kan goed genoeg zijn voor het criterium. Hiervoor is niet eenvoudig een helder en eenduidig criterium te formuleren.
Een waarde voor de maximale verbreiding van water uit de vulling die optreedt tijdens een tijdelijk hoogwater. Voor elke grens geldt dat daarover discussie kan ontstaan (waarom deze? en wat als dan 1 cm meer?). De uitkomst van spreidingsberekeningen is te afhankelijk van de parameterwaarden in het model.
Een grens voor de maximale afstand waarbinnen geen kwetsbare objecten mogen liggen, bijvoorbeeld gebaseerd op een "algemene snelheid (5 of 10 meter per jaar) en 100 jaar verblijftijd". Deze werkwijze sluit niet aan op het bovengenoemde criterium: De werkelijke stromingssituatie wordt niet meegenomen en volgens dit criterium kan het grondwater op lange termijn overal komen.

De onderbouwing van de methode is in 4 stappen opgedeeld, die met modelberekeningen (Vergroesen et al, 2020) zijn ondersteund:

1. De berekening van de stroming van / naar rivier met een regionaal model.
2. Het effect van een plasvulling op de grondwaterstroming.
3. De potentiële invloed van de plasvulling op de grondwaterkwaliteit.
4. De methode met gekleurde stroomlijnen.

A.2 De berekening van de stroming van / naar rivier met een regionaal model

Het criterium "potentieel beïnvloed grondwater blijft nabij de bron" houdt in dat het grondwater nabij de plasvulling blijft of tot uitstroming komt. Voor de niet-vrij-liggende plassen, waar het hier om gaat, komt dit neer op dat het grondwater gemiddeld over langere tijd genomen uitstroomt in de rivier of de plas. In een dergelijke situatie stroomt het grondwater vanuit het achterland naar de rivier. Tijdens een periode van hoogwater op de rivier kan de stroming rond de plas tijdelijk omkeren en stroomt water tijdelijk vanuit de vulling in het watervoerend pakket.

Om aan het criterium te voldoen moet het gebied waarin de instroming plaatsvindt beperkt zijn. Dit wordt aangetoond met het berekenen van stroombanen die starten op 100 meter rond de plasrand met een model dat hiervoor geschikt is.
In de zandgebieden in Nederland bestaan regionale modellen die worden beheerd door consortia van het rijk, waterschappen, provincies en waterleidingbedrijven. Deze modellen zijn gekalibreerd en gedocumenteerd en kunnen worden beschouwd als de best beschikbare weergave van het grondwatersysteem in de regio. Daar waar er geen beter, recenter lokaal model bestaat, zijn de regionale modellen een goed uitganspunt voor de hier beoogde toepassing. Wel moet de informatie lokaal worden gecontroleerd en mogelijk aangevuld met informatie van de recente situatie met name van het oppervlakte water en het drainage stelsel. De resolutie van de modellen is 25 bij 25 meter in het horizontale vlak, uitgezonderd in Brabant waar een verfijning nodig kan zijn. In verticale richting wordt de hydrogeologische indeling van REGIS en GeoTOP als basis gebruikt. Deze modellen zijn voldoende nauwkeurig om te bepalen of de beweging van waterdeeltjes rond de plas voldoende wordt beheerst door de afstroming van het regionale grondwater in de rivier of plas. In Brabant zal de modellering op bovenstaand moeten worden aangepast.

De methode houdt in dat een deelmodel wordt geknipt uit het regionale model volgens bestaande werkwijzen, zoals beschreven is in de iMOD handleiding (Online user manual iMOD, 2019). De aanbevolen gebiedsgrootte is 5 bij 5 kilometer eenzijdig langs de rivier met de plas in het midden. Dit is een praktische grootte qua rekensnelheid en is gebaseerd op een spreidingslengte van 1.7 kilometer. Dit is voldoende voor de zandige watervoerende pakketten langs de grote rivieren (zand tot 50 meter dikte, met een doorlatendheid tot 60 m/d en een deklaagweerstand van minder dan 1000 dagen). Bij de grindplassen langs de Maas kunnen de doorlatendheden en grondwatersnelheden zeer groot zijn en moet de situatie apart worden beoordeeld.

De stappen in de modellering zijn ontwikkeld tijdens de uitwerking van de methode door Deltares en Sweco voor plassen langs de zandige Maas en de IJssel.

Het Deltares model is gebruikt om in detail de stroombanen uit de plas en vulling te analyseren en te vergelijken in verschillende gevallen die het onderscheidend vermogen van de methode hebben aangetoond. Dat laatste is gedaan door een serie van situaties niet-stationair en stationair door te rekenen waarbij de langjarig gemiddelde drainerende werking van de rivier toe- en afneemt zodat het omhullend vlak varieert en zelfs verdwijnt. De volledig analyse is beschreven in het Technisch rapport (Vergroesen et al, 2020). De modelsimulaties zijn gebaseerd op een werkelijke situatie langs de zandige Maas over een recente periode van 10 jaar. Daarbij is de gemiddelde hydrologische situatie bepaald zoals gegeven in de beschrijving. Dit is gedaan voor de werkelijk opgetreden waterstanden van de zandige Maas, en voor een aantal scenario’s met fictieve waterstanden die over de hele periode een halve meter, één meter of twee meter lager dan wel hoger zijn genomen. Bij lagere waterstanden wordt een sterker drainerende situatie gesimuleerd, bij een hogere waterstand kan de drainerende situatie omslaan in een situatie met overheersend infiltratie vanuit de rivier en de aangehaakte plas. Het model en de methode blijken voldoende onderscheidend te zijn voor het omslaan van de stroming en zijn eenduidig in de interpretatie van de grondwaterstroming (zie paragraaf A.4).

Met het model van Sweco zijn ondersteunende berekeningen over de indringing van waterdeeltjes tijdens een hoogwater uitgevoerd (Sweco, 2020). en zijn gekleurde stroombanen onafhankelijk berekend zoals weergegeven in de figuur in de hoofdtekst.

A.2.1 Invloed van onzekerheden op de uitkomsten van het model.

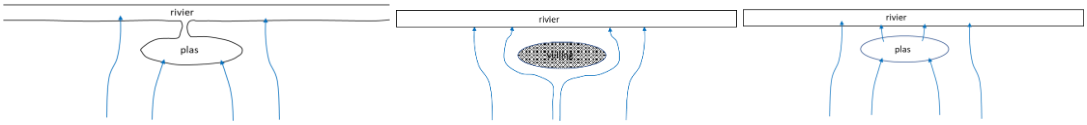
De onzekerheden in de doorlatendheid in de vulling of in het watervoerend pakket kunnen lokaal tot variatie in de stromingsrichting leiden, maar veranderen niet de dominante richting van afstroming naar de rivier en het uiteindelijke lot van het tijdens hoogwater via de plasvulling geïnfiltreerde water.
Wijzigingen van peilen en watergangen rond de plas kunnen lokaal de stroming omkeren. Daarom moet de te verwachten situatie in de nabij toekomst in het model worden opgenomen.
Klimaatverandering kan leiden tot langere periodes van droogte en heftiger neerslag. Dit kan leiden tot een langere periode van lage waterstand en tot een hogere waterstand tijdens hoogwater. Bij lagere waterstand is de drainerende werking van de rivier sterker en de langere duur ervan versterkt de dominante stroming richting de rivier. Tijdens hoogwater vindt significante infiltratie vanuit de plasvulling alleen plaats zolang de uiterwaarden niet overstroomd zijn. Dan is het potentiaal verschil tussen de plas en het grondwater het grootst. Bij hoge waterstanden tijdens hoogwater zijn de uiterwaarden overstroomd en is het grondwater al omhoog gekomen in de voorafgaande periode. Dat verkleint het potentiaalverschil tussen plas en grondwater en daarmee de infiltratie vanuit de plas. Het effect van hogere waterstanden tijdens hoogwater op de grootte van de infiltratie vanuit de plasvulling, en dus op het potentieel beïnvloed grondwater, is dan ook beperkt. Het wordt bovendien door de langere en lagere waterstanden gecompenseerd.
Wijziging van het hydrologisch regiem zoals wijziging van de peilen van watergangen en polders en van grondwateronttrekkingen zouden de regionale stroming kunnen doen omkeren. Zulke veranderingen zijn vergunningplichtig. Het hydrologische onderzoek dat daarvoor nodig is zal de dan bestaande situatie met de gevulde plas mee moeten nemen.

Is het model daarmee goed als representatie van de werkelijkheid? Daarvoor is de kernvraag maatgevend: is de regionale stroming naar de drainerende rivier voldoende en robuust of niet. De drijvende krachten daarvoor zijn de aanvoer van het grondwater uit het achterland en de peilen van het oppervlakte water in de lagere delen rond de rivier en die zijn goed bekend. De meer onbekende parameters zoals doorlatendheid, weerstand en berging van het watervoerend pakket dempen het grondwatersysteem maar bepalen niet stromingsrichting. Het heeft daarom weinig zin om modelkalibratie te eisen, omdat daar in de doorlatendheid, weerstand en berging alleen veranderen. Belangrijk is dat lokaal de ligging en peilen van het oppervlaktewater juist in het model zijn geschematiseerd.

Conclusie: Het in de methode beschreven model is voldoende voor het bepalen of rivier langjarig gemiddeld draineert.

A.3 Het effect van een plasvulling op de grondwaterstroming

In het regionale model zal de plas meestal als niet-gevulde zijn geschematiseerd. In het lokale model wordt de plas verfijnd maar hoeft de vulling niet te worden opgenomen. Een aangehaakte plas (figuur A.1 links) beweegt mee met het rivierpeil en draineert of infiltreert vrijwel in de zelfde periode als de rivier. Bij toenemende weerstand van de vulling zal de grondwater in het watervoerend pakket er minder doorheen gaan stromen en wordt het meer een obstakel waar het grondwater omheen stroomt (figuur A.1 midden). Een weerstandbiedend object in grondwater doet stroombanen afbuigen, maar keert stroming niet om van richting rivier naar richting achterland. Wel neemt de reistijd naar de rivier toe. Hieruit volgt dat als voor een aangehaakte plas de (langjarig gemiddelde) stroming duidelijk richting de plas en rivier is, dat eveneens zal gelden als de plas (deels) gevuld is met minder goed doorlatend materiaal.



Figuur A.1. Bovenaanzicht van stroming naar de rivier in drie situatie. Links: bij aangehaakte plas. Midden: volledig opgevulde plas. Rechts: van de rivier losgekoppelde plas.

Bij een niet-gekoppeld plas (figuur A.1 rechts) wordt het plaspeil gedurende het grootste deel van de tijd bepaald door neerslag, verdamping en grondwaterstroming in en uit de plas en dus niet door het rivierpeil. Bij een niet-gevulde plas stroomt het grondwater "erdoorheen" naar de rivier. De stroming blijft gericht naar de drainerende rivier. Dat geldt ook als de niet-gekoppelde plas wordt gevuld (figuur midden).

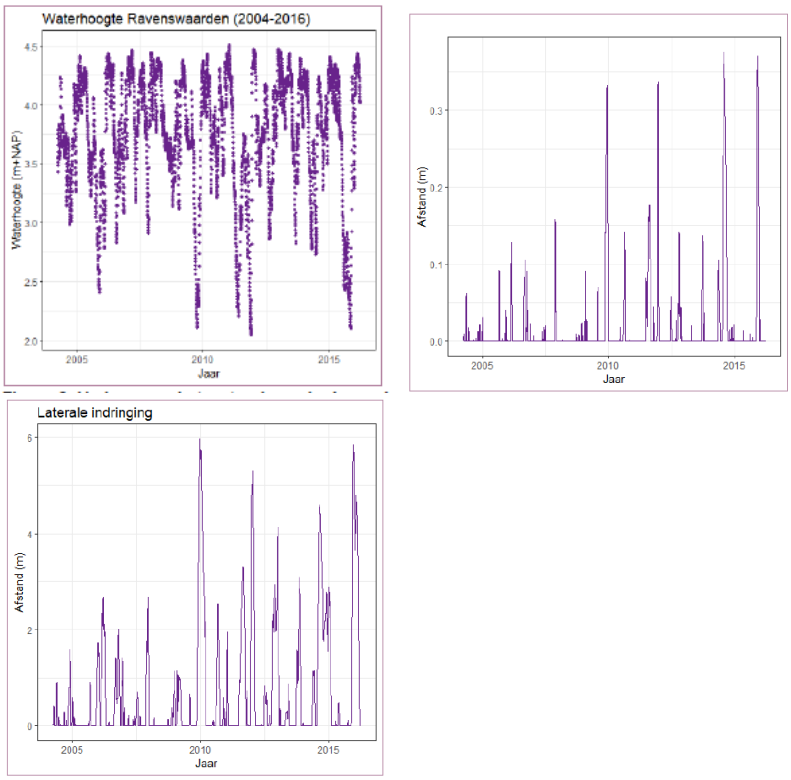
Conclusie: Als de grondwaterstroming in het geval van een niet-gevulde plas richting de rivier of plas is, dan zal dat ook gelden voor de gevulde plas, onafhankelijk van de samenstelling van de plasvulling.

A.4 De potentiële invloed van de plasvulling op de grondwaterkwaliteit

De plasvulling bestaat uit samengesteld restmateriaal dat niet is her te gebruiken als bouwstof en bestaat uit fijn zand, zandige klei, silt, kleibrokken, en organisch materiaal. Grof zand wordt teruggewonnen als bouwstof. De vulling heeft daarom tenminste een orde lagere doorlatendheid dan het watervoerend pakket. In midden en hoog Nederland is nauwelijks fijn baggerslib aanwezig, zoals dat veel voorkomt in laag Nederland, en moet rekening worden gehouden met dat de vulling toch een voor doorstroming relevante doorlatendheid heeft.
Het materiaal wordt in de put aangebracht werkende vanaf de rand naar het midden of vanaf pontons. Het materiaal is inherent heterogeen en wordt niet als één doorgaande horizontale laag over de gehele plas aangebracht. Het is daarom onwaarschijnlijk dat zandbanen van grof materiaal in de plas kunnen doorlopen over de volledige breedte of dikte van de plas. Dat betekent dat er geen preferente stroombanen optreden tussen twee randen aangesloten op het goed doorlatende watervoerend pakket. De gemiddelde doorlatendheid in de plas is daarom tenminste een factor 10 lager dan die in het omliggende watervoerend pakket.

In een model met een lege plas (Ravenswaarden, Sweco, 2019) in grof zand naast de IJssel is de indringing bepaald zoals dat gebeurt tijdens hoogwaters in de afgelopen 10 jaar (figuur A.2 links, Sweco 2020). De situatie met een lege plas geeft een grotere in- en uitstroming dan die met een gevulde plas. De berekende indringing is daarom een worst-case voor potentiële beïnvloeding vanuit een plasvulling.

De berekende verticale indringing (figuur A2 midden) is in dit model blijkt in de orde van centimeters, de horizontale kan meerdere meters zijn (figuur A.2 rechts).



Figuur A.2 Uit: Sweco 2020. Plas Ravenswaard. Links: rivierwaterstand. Midden: verticale indringing. Rechts: horizontale indringing.

Verspreiding van stoffen in grondwater is alleen mogelijk vanuit de plasvulling, dus niet uit het niet-gevulde gedeelte. De lagere doorlatendheid van de vulling is limiterend voor de uittredesnelheid tijdens hoogwater. Rekening houdend met de factor 10 lagere doorlatendheid van het vulmateriaal zal de (tijdelijke) horizontale indringing maximaal over enkele meters plaatsvinden. Dit is bijna twee ordes kleiner dan de 100 meter grens die wordt gehanteerd voor "beïnvloeding nabij de bron".
Absolute worst case berekeningen door reviewer prof dr. T.N Olsthoorn (Olsthoorn, 2020) bevestigen dat indringing binnen de 100 meter grens blijft.

Conclusie: Bij een drainerende rivier geldt dat de maximale beïnvloeding in horizontale richting rond de plasvulling binnen 100 meter blijft en afstroomt naar de rivier. Het beïnvloede water in verticale richting onder de plasvulling blijft binnen decimeters en stroomt eveneens af naar de rivier.

A.5 Methode met gekleurde stroomlijnen

De methode schrijft voor dat stroomlijnen op 10 meter diepte op 100 meter landinwaarts van de putoever starten. Als de verblijftijd van waterdeeltjes tot de drainerende rivier voldoet aan de gestelde eis, is dat het bewijs van het bestaan van het omhullend vlak en wordt voldaan aan het tweede criterium dat potentiele beïnvloeding nabij de bron blijft. Dit is als volgt onderbouwd.

De afstand van 100 meter is veilig met oog op de horizontale beïnvloeding en in de praktijk van uitvoering en modellering bruikbaar. Het startpunt op 10 meter diepte leidt ertoe dat stroomlijnen representatief zijn voor de stroming in het watervoerend pakket. In de beoogde situatie gaan al deze stroombanen naar de rivier of plas. Omdat in het watervoerend pakket binnen de 100 meter zone geen scheidende lagen of onttrekkingen zitten, geldt dat alle stroombanen in het watervoerend pakket dan richting de rivier stromen. In de beoogde situatie moeten alle stroomlijnen vanaf deze grens binnen een gestelde tijd uitkomen in de drainerende rivier of in de plas.

Uit ondersteunende modelberekeningen (Vergroesen et al, 2020) is gebleken dat de methode onderscheidend is in verschillende situaties. Daarbij is gerekend met een dynamisch rivierpeil zoals dat in recente 10 jaar is opgetreden, waarbij het rivierpeil is verschoven met stappen van een halve, één en twee meter omhoog en omlaag ten opzichte van de huidige situatie.
In het niet-stationaire model zijn de stroombanen vanuit punten op de putbodem en putoever op dag-basis berekend vanaf het moment dat een hoogwater begint. In de gevallen dat de situatie voldoet volgens de hier gepresenteerde methode blijken de stroombanen na verloop van tijd altijd richting plas en rivier te gaan.

Theoretisch geeft het rekenen met gemiddelde grondwaterstanden per cel de juiste gemiddelde snelheid omdat het gemiddelde van een verschil (snelheid is evenredig met stijghoogte verschil tussen cellen) gelijk is aan het verschil van gemiddelden (stijghoogte per cel).

Conclusie: Het resultaat van de methode is een eindplaatje met daarop stroombanen gekleurd volgens reistijden. Uit de reistijdkleuring van de modelresultaten blijkt dat de verblijftijdberekend als gemiddelde over 10 jaar voldoende is om de situatie met drainerende rivier vast te stellen. Dan stroomt het eventueel beïnvloed grondwater af naar de rivier en wordt aan het criterium "beïnvloeding blijft nabij de bron" voldaan.

Deltares is een onafhankelijk kennisinstituut voor toegepast onderzoek op het gebied van water en ondergrond. Wereldwijd werken we aan slimme oplossingen voor mens, milieu en maatschappij.

Deltares

www.deltares.nl