

ONDERZOEK NAAR DE INVLOED VAN DE AANLEG VAN BODEMENERGIESYSTEMEN OP VERGRIJZING VAN GRONDWATER

- Case study Woerden -

▶▶ KIWK 2022-21



Kennisimpuls
WATERKWALITEIT

▶▶ KIWK IN HET KORT

Dit rapport is geschreven in het kader van het project **Vergrijzing van grondwater door menselijke invloeden met nadruk op langetermijneffecten** van de Kennisimpuls Waterkwaliteit.

In de Kennisimpuls werken Rijk, provincies, waterschappen, drinkwaterbedrijven en kennisinstituten aan meer inzicht in de kwaliteit van het grond- en oppervlaktewater en de factoren die deze kwaliteit beïnvloeden. Daarmee kunnen waterbeheerders en andere partijen de juiste maatregelen nemen om de waterkwaliteit te verbeteren en de biodiversiteit te vergroten.

In het programma brengen partijen bestaande en nieuwe kennis bijeen, en maken ze deze kennis (beter) toepasbaar voor de praktijk. Hiermee verstevigen ze de basis onder het waterkwaliteitsbeleid. Het programma is gestart in 2018 en duurt vier jaar. Het wordt gefinancierd door het ministerie van Infrastructuur en Waterstaat, STOWA, waterschappen, provincies en drinkwaterbedrijven.

Kennisimpuls Waterkwaliteit.

Beter weten wat er speelt en wat er kan.

▶▶ COLOFON

Opdrachtgever	Kennisimpuls waterkwaliteit
Auteurs	Mariëlle van Vliet (TNO), Frank Swartjes (RIVM), Annemieke Marsman (Deltares) en Peter Rood (PeterRood)
Contactgegevens	Marielle.vanvliet@tno.nl
Kwaliteitsborger	Wilko Verweij (Deltares)

Gebruikerscommissie Kennisimpuls waterkwaliteit

Vergrijzing van grondwater door menselijke invloeden met nadruk op langetermijneffecten

Almer Bolman	Waterschap Vallei en Veluwe
Birgitta Putters	WML
Suzanne van den Bos P	Provincie Gelderland
Dennis Kos	Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier
Eric Castenmiller	Provincie Limburg
Fransisco Leus	ILT
Janco van Gelderen	Provincie Utrecht
Juliaan Prast	Min I&W
Marian van Asten	Provincie Utrecht
Mark van Lokven	Waterschap de Dommel
Martin de Jonge	Vitens
Matthijs ten Harkel	Provincie Noord-Brabant
Ron Nap	Rijkswaterstaat
Sandra Verheijden	Brabant Water

Vormgeving Shapeshifter.nl | Utrecht

STOWA-rapportnummer 2022-21
ISBN 978.90.5773.994.1

Copyright De informatie uit dit rapport mag worden overgenomen, mits met bronvermelding. De in het rapport ontwikkelde, dan wel verzamelde kennis is kosteloos verkrijgbaar.

Disclaimer Deze uitgave is met de grootst mogelijke zorg samengesteld. Niettemin aanvaarden de auteur(s) en de uitgever geen enkele aansprakelijkheid voor mogelijke onjuistheden of eventuele gevolgen door toepassing van de inhoud van dit rapport.

►► VOORWOORD

Het Kennisimpuls Waterkwaliteit-project 'Vergrijzing van grondwater door menselijke invloeden met nadruk op langetermijneffecten' richt zich op de kwaliteit van grondwater op de lange termijn. Een van de bedreigingen voor een duurzaam gebruik van het grondwater is de aanwezigheid van veel verschillende antropogene stoffen. Hoewel veel van deze stoffen net onder de norm blijven vormen ze toch een bedreiging voor toekomstig gebruik. Echt schoon grondwater wordt steeds schaarser.

De aanleg van bodemenergiesystemen in Nederland levert een belangrijke bijdrage aan de energietransitie. Indien er echter sprake is van bodem- of grondwaterverontreiniging, kan dit in interactie met de bodemenergiesystemen een ongunstige invloed hebben op de kwaliteit van grondwater en tot vergrijzing leiden. In dat geval is het wenselijk bij de locatiekeuze van bodemenergiesystemen rekening te houden met de aard en positie van eventueel aanwezige verontreiniging.

Uit deze studie blijkt dat de landelijk beschermingskaart voor doorboringen toegepast kan worden op regionale schaal (bijvoorbeeld op de schaal van een middelgrote gemeente), om na te gaan wat meer of minder gunstige locaties zijn voor de aanleg van bodemenergiesystemen. Bovendien is in deze studie inzicht verkregen in de mate van invloed van de aanleg van bodemenergiesystemen op de vergrijzing van grondwater onder worst case omstandigheden. Hieruit blijkt dat ten gevolge van de aanleg van bodemenergiesystemen de oppervlakte van de grondwaterpluim en de massa aan contaminanten in grondwater tot een factor vijf toe kunnen nemen na een periode van 100 jaar. Worst case omstandigheden worden gerepresenteerd door bijvoorbeeld de aanleg van bodemenergiesysteem dwars door een VO-CI-zaklaag en een slechte afdichting rondom de (PE-)buizen van de warmte- en koudebron.

Eric Castenmiller (Provincie Limburg)

Voorzitter gebruikerscommissie 'Vergrijzing van grondwater door menselijke invloeden met nadruk op langetermijneffecten'

►► SAMENVATTING

De aanleg van bodemenergiesystemen in Nederland levert een belangrijke bijdrage aan de energietransitie. In sommige gevallen kan dit echter, namelijk in het geval er sprake is van bodem- of grondwaterverontreiniging, een ongunstige invloed hebben op de kwaliteit van grondwater. In dat geval is het wenselijk bij de locatiekeuze van bodemenergiesystemen rekening te houden met de aard en positie van eventueel aanwezige verontreiniging.

Het doel van deze studie is om inzicht te krijgen in welke aspecten van belang zijn voor een veilige aanleg van bodemenergie wat betreft vergrijzing van het grondwater. Hiertoe is de situatie in de ondergrond van Woerden beschouwd als een case study. In Woerden wordt door Oasen grondwater onttrokken voor de drinkwaterwinning. Er spelen bovendien een aantal belangrijke ruimtelijke ontwikkelingen, waarbij de aanleg van bodemenergiesystemen relevant is in verband met de mogelijke invloed op de grondwaterkwaliteit.

Uit deze studie blijkt dat de landelijk beschermingskaart voor doorboringen toegepast kan worden op regionale schaal (bijvoorbeeld de schaal van een middelgrote Nederlandse gemeente). Alhoewel een 'extreem slechte afdichting' van de boringen een uitzonderlijke situatie is, kan de beschermingskaart die hierop gebaseerd is worden gebruikt om meer of minder risicovolle locaties voor de aanleg van bodemenergiesystemen te identificeren vanuit het oogpunt van verspreiding van grondwaterverontreinigingen.

Om inzicht te krijgen in de meest extreme situatie zijn een aantal worst case scenario's doorgerekend. Op basis van deze hypothetische worst case scenario's blijkt dat de aanleg van open bodemenergiesystemen in geval van combinatie met de aanwezigheid van verontreiniging een substantiële invloed kan hebben op het oplossen van stoffen vanuit VOCl-zaklagen en de verspreiding in horizontale en verticale richting.

Hypothetische scenario's

Zoals de term hypothetisch al aangeeft hebben de in deze rapportage uitgewerkte scenario's geen relatie met de werkelijke aanleg van bodemenergiesystemen in Woerden. Deze scenario's zijn bedoeld om inzicht te krijgen in het ergste geval van invloed van de aanleg van bodemenergiesystemen op de grondwaterkwaliteit ('de bovengrens' qua invloed op de grondwaterkwaliteit).

In geval van de aanleg van bodemenergiesystemen in het eerste watervoerende pakket ter plaatse van grondwaterpluimen (worst case scenario voor wat betreft de interactie met de verontreiniging) is de invloed op de grondwaterkwaliteit aanzienlijk. Na 100 jaar is de oppervlakte van de grondwaterpluim en de massa aan contaminanten in grondwater met een veelvoud (ordegrootte factor 3) toegenomen ten opzichte van de situatie zonder de aanleg van bodemenergiesystemen. Er kan ook een substantiële negatieve invloed op de grondwaterkwaliteit in diepere watervoerende pakketten ontstaan. De aanleg van bodemenergiesystemen tot in diepere watervoerende pakketten ter plaatse van de grondwaterverontreinigingspluim (worst case scenario voor wat betreft het doorboren van de scheidende laag en de slechte afdichting van de boringen) kan een aanzienlijke invloed hebben op de kwaliteit van het grondwater in de diepere watervoerende pakketten. De vinylchloride-concentratie bijvoorbeeld kan in het hart van de pluim in het tweede watervoerende pakket na enige jaren tot meer dan een factor 10 toenemen ten opzichte van de situatie zonder de aanleg van bodemenergiesystemen. De oppervlakte van de vinylchloride-verontreinigingspluim in het tweede watervoerende pakket kan na 100 jaar groter zijn dan in de situatie zonder de aanleg van bodemenergiesystemen (ordegrootte 1,5 maal groter).

De aanleg van bodemenergiesystemen tot in het tweede watervoerende pakket nabij de drinkwateronttrekking (worst case scenario voor wat betreft het doorboren van de scheidende laag en de slechte afdichting van de boringen), en waarbij een diffuse verontreiniging aanwezig verondersteld wordt in het eerste watervoerende pakket, kan een behoorlijke invloed hebben op de grondwaterkwaliteit in het tweede watervoerende pakket. Ondanks dat de oppervlakte van de grondwaterpluim niet altijd toe zal nemen, kan de massa aan verontreiniging in een dieper watervoerend pakket na 100 jaar substantieel verhoogd zijn (ordegrootte factor 5).

De berekende scenario's (met name scenario 2) zijn specifiek voor situaties met grote verontreinigingen en waar de geo-hydrologische karakterisering dusdanig is dat slechte afdichting van een boorgat een neerwaartse flux veroorzaakt. Een eventueel risico in dit soort situaties kan gemitigeerd worden door optimale afsluiting van de boorputten, bodemenergiesystemen uit te rusten met (bovengrondse) zuivering of door de VOCl-zaklagen te verwijderen voorafgaand aan een boring. Dit scenario is in voorliggende studie niet doorgerekend. De verwachting is dat deze maatregelen verslechtering van de grondwaterkwaliteit in het onderliggende watervoerende pakket ten opzichte van de referentie situatie kunnen voorkomen.

Het wordt aanbevolen bij de aanleg van bodemenergiesystemen in of nabij grondwaterverontreinigingen rekening te houden met de invloed op de grondwaterkwaliteit. Op de regionale schaal is de landelijke beschermkaart voor doorboringen hierbij een praktisch hulpmiddel. Op basis van deze kaart is identificatie mogelijk van de risicovolle of minder risicovolle gebieden voor de aanleg van bodemenergiesystemen, vanuit het perspectief van de grondwaterkwaliteit. Voor een gedetailleerd inzicht in de invloed van de aanleg van bodemenergiesystemen is locatie-specifieke modellering noodzakelijk.

▶▶ INHOUD

	Kennisimpuls Waterkwaliteit in het kort	3
	Voorwoord	4
	Samenvatting	7
1	INLEIDING	8
1.1	Relatie met kennisimpuls	8
1.2	Doel	8
1.3	Aanpak	8
2	BESCHRIJVING	10
2.1	Algemene beschrijving	10
2.2	Activiteiten in het gebied	11
	2.2.1 Drinkwaterwinning (Oasen)	11
	2.2.2 Gebiedsgericht grondwaterbeheer Woerden	13
2.3	Hydrogeologie	14
2.4	Grondwaterkwaliteit	15
2.5	Reeds uitgevoerde activiteiten	16
3	TOEPASBAARHEID LANDELIJKE BESCHERMINGSKAART DOORBORINGEN	17
3.1	Inleiding	17
3.2	Beschermingskaart doorboringen	17
3.3	Locaties bodemenergiesystemen	19
3.4	Combinatie beschermkaarten en doorboringen	20
3.5	Conclusies en aanbevelingen toepasbaarheid landelijke kaart	23
4	INVLOED VAN BODEMENERGIESYSTEMEN OP DE GRONDWATERKWALITEIT ONDER VERSCHILLENDE SCENARIO'S	25
4.1	Scenario's	25
4.2	Invloed aanleg bodemenergiesystemen in het eerste watervoerende pakket, plaatsing bodemenergiesystemen op Defensie-eiland (scenario 1)	26
4.3	Invloed aanleg bodemenergiesystemen tot in het tweede watervoerende pakket, plaatsing bodemenergiesystemen op Defensie-eiland (scenario 2)	26
4.4	Invloed aanleg bodemenergiesystemen tot in het tweede watervoerende pakket, plaatsing bodemenergiesystemen vlak voor grondwaterbeschermingsgebied (scenario 3)	26
4.5	Conclusies verspreiding	27
5	ALGEMENE CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN	29
5.1	Algemene conclusies	29
5.2	Aanbevelingen	30
	LITERATUUR	31
	BIJLAGE	32
	Case study Woerden, Studie naar impact van aanleg bodemenergiesystemen op verspreiding van stoffen in grondwater op lange termijn	

▶▶ 1 INLEIDING

1.1 RELATIE MET KENNISIMPULS

De in dit rapport beschreven case study Woerden is onderdeel van het Kennisimpuls Waterkwaliteit-project 'Vergrijzing van grondwater door menselijke invloeden met nadruk op langetermijneffecten'. Vergrijzing is de voortschrijdende, sluimerende, negatieve beïnvloeding van de chemische kwaliteit van grondwater, tot steeds grotere diepten (Swartjes *et al.*, 2021). Vergrijzing kan leiden tot risico's voor mens of ecosysteem of gebruiksbeperkingen, omdat grondwater gebruikt wordt als grondstof voor drinkwater, frisdrank en bier, voor beregening van voedingsgewassen en het drinken van vee. Bovendien zijn bepaalde ecosystemen (terrestrische en aquatische) afhankelijk van voldoende schoon grondwater.

Het Kennisimpuls Waterkwaliteit-project 'Vergrijzing van grondwater door menselijke invloeden met nadruk op langetermijneffecten' richt zich op een vijftal door stakeholders geïdentificeerde thema's die van belang zijn voor de grondwaterkwaliteit. De in deze rapportage beschreven case study richt zich op één van deze thema's, namelijk 'Effecten van het grootschalig toepassen van bodemenergiesystemen op de grondwaterkwaliteit'. Daarnaast wordt in het Kennisimpuls Waterkwaliteit-project 'Vergrijzing van grondwater door menselijke invloeden met nadruk op langetermijn-effecten' een connectie gemaakt met de drie barrières die in dit project beschouwd worden om grondwater te beschermen. Voor de hier beschreven case study is de barrière 'Geohydrologische bescherming, bijvoorbeeld door slecht doorlatende lagen in de ondergrond' van belang. Door deze barrière wordt de verspreiding van stoffen tegengegaan of verminderd (vooral verticaal). Door fysieke ingrepen in de bodem, zoals de aanleg van bodemenergiesystemen, kan deze barrière onder druk komen te staan.

1.2 DOEL

De aanleg van bodemenergiesystemen in Nederland levert een belangrijke bijdrage aan de energietransitie. In sommige gevallen kan dit echter, namelijk in het geval er sprake is van bodem- of grondwaterverontreiniging, een ongunstige invloed hebben op de kwaliteit van grondwater. In dat geval is het wenselijk bij de locatiekeuze van bodemenergiesystemen rekening te houden met de aard en positie van eventueel aanwezige verontreiniging. Ter ondersteuning hiervan is inzicht in de aanleg van bodemenergiesystemen op de kwaliteit van grondwater op de langere termijn (vergrijzing) belangrijk.

Het doel van deze studie is om inzicht te krijgen in welke aspecten van belang zijn voor een veilige aanleg van bodemenergiesystemen, voor wat betreft vergrijzing van het grondwater. Aangezien vergrijzing een proces is dat zich over lange tijd uitstrekt, gaat het om de beïnvloeding van de grondwaterkwaliteit op de lange termijn (ordegrootte honderd jaar).

Vragen die hierbij kunnen worden beantwoord voor de grondwaterkwaliteit in case study Woerden zijn:

- Maakt het in geval van de aanwezigheid van grondwaterverontreiniging significant uit waar de bodemenergiesystemen worden aangelegd?
- Hoeveel maakt dat uit voor de omvang van grondwaterpluimen en de massa aan contaminanten opgelost in grondwater?
- Zijn hier handelingsperspectieven (richtlijnen) uit af te leiden om de vergrijzing te mitigeren (voor case Woerden en misschien ook landelijk, of voor westelijk Nederland)?

1.3 AANPAK

In dit project zijn een aantal hypothetische worst case scenario's opgesteld. Met scenario's wordt bedoeld: een aantal varianten voor wat betreft de aanleg en afdichting van open bodemenergiesystemen in Woerden. Variabelen zijn:

- Locatie van de bodemenergiesystemen. Zowel voor wat betreft positie ten opzichte van de verontreinigingen (dwars door een verontreiniging/ver van een verontreiniging verwijderd), als positie ten opzichte van kwetsbare objecten (drinkwaterwinning)
- Diepte van de bodemenergiesystemen.

Hypothetische scenario's

Zoals de term hypothetisch al aangeeft hebben de in deze rapportage uitgewerkte scenario's geen relatie met de werkelijke aanleg van bodemenergiesystemen in Woerden. Deze scenario's zijn bedoeld om inzicht te krijgen in het ergste geval van invloed van de aanleg van bodemenergiesystemen op de grondwaterkwaliteit ('de bovengrens' qua invloed op de grondwaterkwaliteit).

Door middel van modelberekeningen gerelateerd aan worst case scenario's wordt nagegaan in hoeverre de kwaliteit van grondwater kan worden beïnvloed door de aanleg van open bodemenergiesystemen. Dit gebeurt door de invloed op de grondwaterkwaliteit te vergelijken met de situatie waarin er geen bodemenergiesystemen worden aangelegd (referentiescenario). Hiertoe zijn de modellen gebruikt die eerder door Acacia Water werden toegepast voor berekening van transport van verontreinigingen in grondwater in Woerden. De modelberekeningen om de invloed van de aanleg van bodemenergiesystemen in deze studie te onderzoeken werden wederom door Acacia water uitgevoerd.

Er is voor worst case scenario's gekozen om voor ongunstige situaties inzicht te hebben in de invloed van de aanleg van bodemenergiesystemen op de grondwaterkwaliteit. Indien bij dergelijke scenario's geen invloed op de grondwaterkwaliteit wordt gezien, betekent dit dat in alle situaties de aanleg van bodemenergie-systemen veilig zijn voor de grondwaterkwaliteit. Als er wel sprake is van negatieve beïnvloeding, kan vervolgens op basis van realistische scenario's worden nagegaan wat de invloed in het geval van 'normale situaties' is. Dat is in voorliggende studie niet gedaan, omdat hiervoor tijd en budget ontbrak. We zullen hierover wel een verwachting uitspreken.

►► 2 BESCHRIJVING

2.1 ALGEMENE BESCHRIJVING

Het grondwater in Woerden wordt gebruikt voor steeds meer doeleinden. Nabij de stadskern van Woerden bevindt zich een drinkwaterwinning van Oasen, die van het grondwater uit het eerste watervoerend pakket (WVP) drinkwater maakt. Daarnaast wordt de ondergrond en het grondwater steeds meer gebruikt voor duurzame warmteopwekking (bodemenergie). Door de grote vraag en ontwikkeling van woningen in combinatie met de energietransitie zal de ondergrond en het gebruik van het grondwater steeds meer gaan toenemen in de beperkte ruimte van de kern van Woerden.

Het grondwater in de stadskern van Woerden is in het verleden verontreinigd geraakt door bedrijfsactiviteiten. Die verontreinigingen bevinden zich ook grotendeels in het beïnvloedingsgebied van de drinkwaterwinning van Oasen. Daarmee vormt het deel van de grondwaterverontreinigingen die nog niet zijn gesaneerd een potentiële bedreiging voor de drinkwaterwinning van Oasen. Daarnaast zal zorgvuldig omgegaan moeten worden met de combinatie van bodemenergie en grondwaterverontreiniging. Voorkomen moet worden dat bodemenergie een grotere ongewenste verspreiding veroorzaakt, met name in de richting van kwetsbare functies als de drinkwaterwinning. Anderzijds wenst de gemeente bodemenergie op een goede manier in te zetten om de grondwaterkwaliteit te verbeteren op de lange termijn door onder anderen gebruik te maken van gestimuleerde biologische afbraak.

Om enerzijds het gebruik van het grondwater voor de toekomst veilig te stellen voor kwetsbare functies als de drinkwaterwinning (beschermen) en anderzijds voor het gebruik in de vorm van bodemenergie (benutting) heeft de gemeente Woerden gekozen voor het instrument gebiedsgericht grondwaterbeheer. Het gebiedsgericht grondwaterbeheer zorgt ervoor dat meerdere aanwezige verontreinigingen op een verantwoorde wijze worden beheerd in samenhang met het groeiende gebruik van het grondwater. Dit gebiedsgericht grondwaterbeheer wordt in nauwe samenwerking afgestemd met de gebiedspartners (de provincie Utrecht, het Hoogheemraadschap De Stichtse Rijnlanden (HDSR) en drinkwaterbedrijf Oasen).

FIGUUR 2.1

Ligging drinkwaterwinning van Oasen bij Woerden (rode omlijnning: grondwaterbeschermingsgebied (25-jaarszone); gele omlijnning: 100-jaarsaandachtsgebied) - stand 2021 -



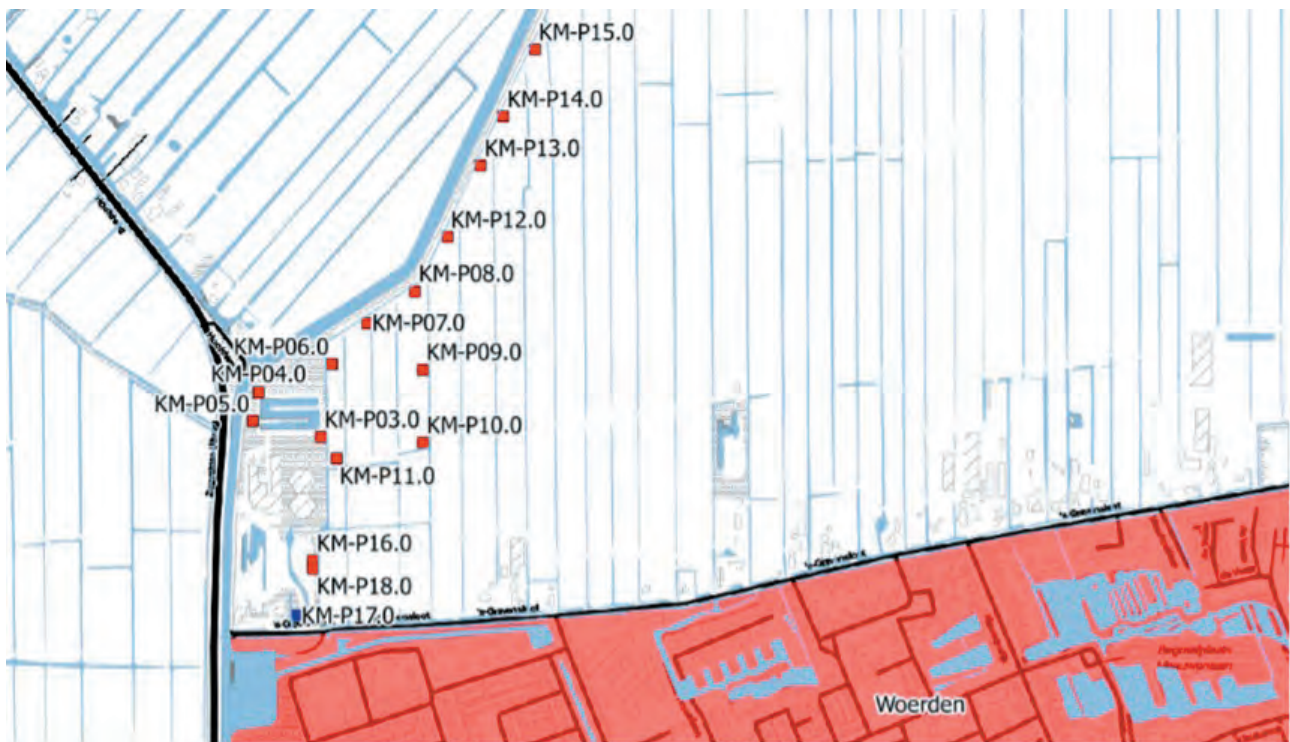
2.2 ACTIVITEITEN IN HET GEBIED

2.2.1 Drinkwaterwinning (Oasen)

De drinkwaterwinning van Oasen bevindt zich ten noordwesten (Figuur 2.1) van de stadskern van Woerden. De drinkwaterwinning is sinds 1932 actief. De ligging van het waterwingebied, het grondwaterbeschermingsgebied (de 25-jaarszone) en het 100-jaarsaandachtsgebied is weergegeven in Figuur 2.1.

FIGUUR 2.2

Ligging winning De Hooge Boom in Woerden. Ondiepe pompputten (PP) op ca -15 m tot N-50 m NAP in rood, diepe PP op ca. -70 m tot -85 m NAP in blauw).

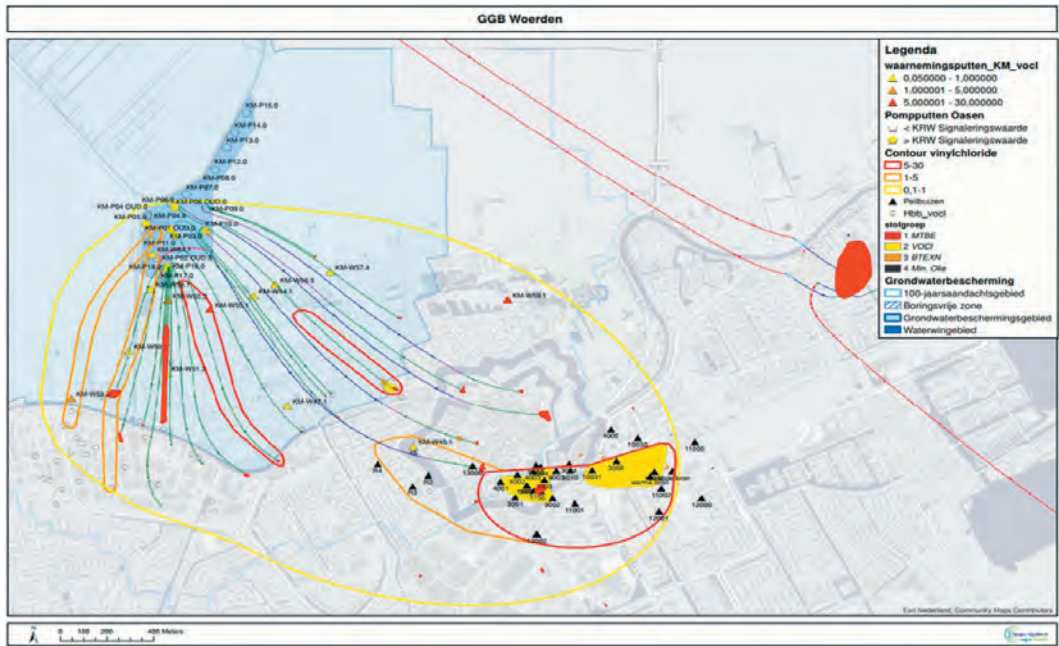


Het drinkwatergebied en de winning staan onder invloed van verschillende verontreinigingen, die hieronder worden opgesomd:

- 1) Verschillende historische verontreinigingen in het gebied bestaande uit puntbronnen en pluimen van verontreinigingen. Dit is weergegeven in Figuur 2.3. Een aantal verontreiniging worden nu gesaneerd door een bronsanering of een interceptiemaatregel. Voor een enkele verontreiniging is een saneringsmaatregel voorzien. Via het gebiedsgericht grondwaterbeheer is een inventarisatie uitgevoerd naar de meest risicovolle verontreinigingen en mogelijke puntbronnen (brononderzoek provincie Utrecht, bijlage 2 gebiedsplan Woerden).
- 2) Daarnaast zorgt de Oude Rijn, die net langs de grens van de 25-jaarszone loopt, voor infiltratie van verschillende diffuse verontreinigingen, waarvan een aantal overeenkomen met de historische puntbronnen maar dan in lagere concentraties.
- 3) En tenslotte zijn er diffuse verontreinigingen aanwezig waarvan de oorsprong lastig te achterhalen is. Bijvoorbeeld de stof MTBE.

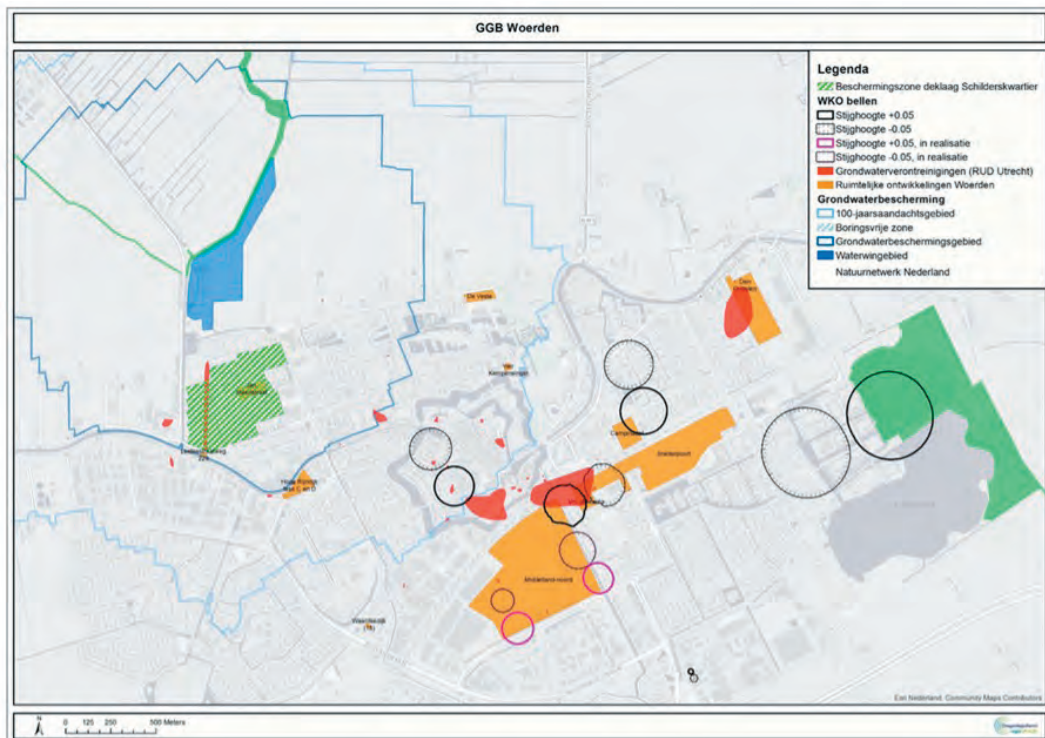
FIGUUR 2.3

Meest risicovolle historische puntverontreinigingen en stroombanen naar de drinkwaterwinning van Oasen (Bron: Gebiedsplan, gebiedsgericht grondwaterbeheer kern van Woerden (concept)) - situatie anno 2019-



FIGUUR 2.4

Overzichtskaart van Woerden met het waterwingebied met beschermingszones, bronnen en pluimen verontreinigingen (rood), ontwikkelgebieden (oranje), en bodemenergiesystemen (Kaartbijlage uit Gebiedsplan, gebiedsgericht grondwaterbeheer kern van Woerden (concept)) - situatie anno 2019 -



2.2.2 Gebiedsgericht grondwaterbeheer Woerden

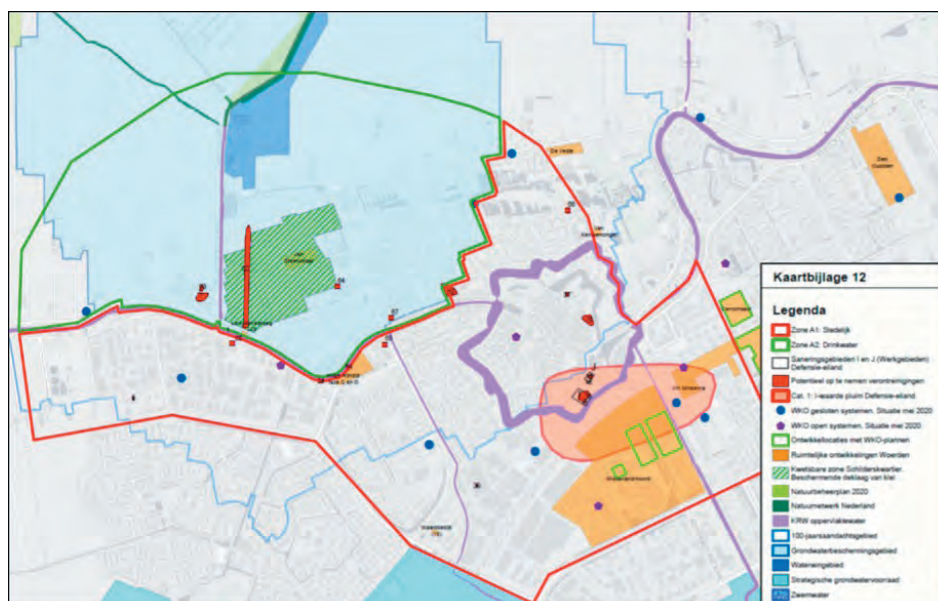
De aanleiding voor een gebiedsgerichte aanpak grondwaterbeheer in de kern van Woerden wordt gevormd door de combinatie van opgaven en ontwikkelingen die in Woerden spelen. Gebiedsgericht grondwaterbeheer (GGB) faciliteert ruimtelijke ontwikkelingen en duurzaam gebruik van de ondergrond. In de kern van Woerden zijn diverse ruimtelijke ontwikkelingen die op stapel staan en er zijn redenen om op een meer integrale wijze het grondwaterbeheer in te richten (Figuur 2.4). De gedachte hierbij is dat de beheersing (sanering) van de pluim effectiever en meer risicogericht kan plaatsvinden, en er minder belemmeringen zijn bij ingrepen in de ondergrond en er meer mogelijkheden zijn voor een duurzaam gebruik van de ondergrond.

In 2022 zal het gebiedsplan Woerden worden vastgesteld door de gemeente en door de provincie op grond van de mogelijkheid in de Wet bodembescherming. De belangrijkste aspecten die het Gebiedsplan GGB kern van Woerden regelt en mogelijk maakt zijn als volgt:

- Een inventarisatie en opname van de meest risicovolle grondwaterverontreinigingen die of een kwetsbaar object bedreigen of in de invloedssfeer liggen van een ruimtelijke ontwikkeling.
- Binnen het beheergebied zone A1 (zie Figuur 2.5; alleen eerste watervoerende pakket) mogen pluimen zich verspreiden. Deze mogen zich niet buiten het beheergebied verspreiden, maar ook niet naar zone A2 (eveneens alleen eerste watervoerende pakket) of het onder A1 en A2 liggende beheersgebied B.
- De grondwaterverontreiniging van het Defensie-eiland wordt opgenomen in het gebiedsplan GGB Woerden en is gelegen in het te ontwikkelen deelgebied Middelland Noord.
- Door de inwerkingtreding van het gebiedsplan Woerden mogen bodemenergiesystemen binnen de gestelde randvoorwaarden en binnen en net buiten de opgenomen pluimgebieden worden geïnitieerd. In de huidige situatie (zonder gebiedsplan) kunnen op grond van de Wbb bronnen van bodemenergiesystemen in en net buiten de grens van een pluimgebied niet of lastig worden vergund. Buiten het verspreidingsgebied van de pluim van Defensie-eiland stelt het GGB geen aanvullende eisen.
- Voor het grondwaterbeschermingsgebied (het grootste deel van zone A2, zie Figuur 2.5) en opgenomen verontreinigingen is een maatregelenladder opgesteld om de bescherming van de drinkwaterwinning van Oasen te garanderen.

FIGUUR 2.5

Beheergebied zone A1 en A2 GGB Woerden met aanwezige kwetsbare functies en water, verontreinigingen, ruimtelijke ontwikkelingen en bestaande bodemenergiesystemen



De maatregelenladder kent de volgende treden:

1. Monitoring langs stroombanen en verspreidingsroutes van de meest risicovolle verontreinigingen en op de grenzen van kwetsbare gebieden en objecten, inclusief modelverificatie en -actualisatie. Indien de actiewaarde wordt overschreden zal in deze trede ook op herleidbare bronnen worden onderzocht.
2. Bronmaatregelen waar nodig en specifiek daar waar de bronnen van verontreinigingen een relatie hebben met de stijgende trend in de winputten van Oasen. Bij overige verontreinigingen worden bronmaatregelen genomen op een natuurlijk moment (ruimtelijke ontwikkeling).
3. Gebruik maken van en stimuleren van biologische afbraak, en indien nodig andere sanerende maatregelen in de pluim.
4. Interceptie en beheersmaatregelen om verspreiding buiten het beheergebied tegen te gaan en om de drinkwaterwinning te beschermen.
5. Het onder voorwaarden accepteren van een (tijdelijke) stijging van concentraties in één of meer pompputten van de drinkwaterwinning of zelfs in het ruwwater.

In beginsel worden deze maatregelen achter elkaar genomen en is het uitgangspunt dat de doelen van het GGB worden behaald. Het is mogelijk dat alle treden tegelijkertijd nodig zijn in het meest extreme geval. Echter kan ook een afweging gemaakt worden tussen trede 2 t/m 4. Bijvoorbeeld als biologische afbraak net zo effectief is als een bronmaatregel. De afwegingen die hierin gemaakt worden, worden getoetst aan de volgende criteria:

- Haalbaarheid: is de maatregel proportioneel en technisch haalbaar? Dit speelt bij alle maatregelen een rol.
- Kosteneffectiviteit: staan de kosten van de maatregel in verhouding tot de (maatschappelijke) baten die de uitvoering ervan oplevert? Dit speelt vooral een rol bij afweging interceptiemaatregel (trede 4) versus tijdelijke verhoging van de zuiveringinspanning (trede 5)
- Duurzaamheid: wordt het probleem door de maatregel niet (onaanvaardbaar) afgewenteld op een ander milieucompartiment of naar de toekomst?
- De tijdsduur van de maatregel moet te overzien zijn; het is geen eeuwigdurende maatregel. Gestreefd wordt naar een afronding voor 2040 of maximaal 20 jaar na start van de maatregel.

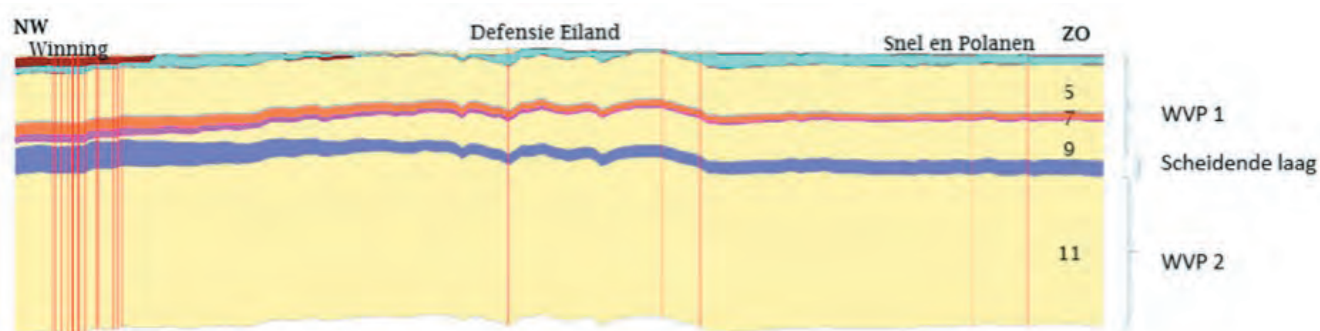
2.3 HYDROGEOLOGIE

De bodem bestaat in Woerden uit een deklaag van wisselende dikte en heeft een complexe opbouw: deels antropogeen, deels veen en deels zandige rivierafzettingen. De doorlatendheid is daardoor ook erg verschillend. Vanaf circa 8 m-mv begint het eerste watervoerende pakket (WVP1). In het in Woerden toegepaste grondwatermodel is aangenomen dat de eerste drie watervoerende lagen nagenoeg één pakket vormen, omdat er geen belangrijke scheidende lagen tussen deze pakketten zitten (zie [figuur 2.6](#) uit bijlage 1 Gebiedsplan, GGB-kern van Woerden). In het GGB-plan Woerden zijn de eerste drie watervoerende pakketten samen daarom als WVP1 beschouwd. Dit pakket loopt door tot een diepte van circa 60 m-mv. Vanaf die diepte is een scheidende kleilaag aanwezig van circa 10 meter dikte. Daaronder begint het volgende watervoerende pakket. De meeste verontreinigingen, activiteiten, open bodemenergiesystemen en vrijwel alle pompputten van Oasen bevinden zich in WVP1. Er bevinden zich wel diverse gesloten bodemenergiesystemen die dieper reiken. Een deel van de verontreiniging van het Defensie-eiland verspreidt zich langzaam door de scheidende laag heen naar WVP2, waar zich ook nog één pompput van Oasen bevindt. Een schematisering van de bodemopbouw is weergegeven in de dwarsdoorsnede in [Figuur 2.6](#) (figuur 1 uit het model van Acacia Water (Van Doorn, 2022; Bijlage A).

In het gebiedsplan GGB Woerden wordt uitgegaan van twee watervoerende pakketten. Het model van Acacia is gedetailleerder en maakt onderscheid in meer scheidende en watervoerende lagen. In [Tabel 2.1](#) wordt dit onderscheid inzichtelijk gemaakt.

FIGUUR 2.6

Schematische weergave van de dwarsdoorsnede van de bodem in Woerden met rechts weergegeven hoe de verschillende lagen in het GGB-plan genoemd worden (Bron: grondwatermodel van Acacia Water).

**TABEL 2.1**

Schematische weergave van de bodemopbouw, met modellagen Acacia model (zie tabel 1 van Bijlage A) en aanduiding in het GGB-plan.

Modellaag	Omschrijving in model	Gemiddeld niveau onderzijde laag (m NAP)	Omschrijving in GGB-plan
1	deklaag; antropogeen	- 1,8	deklaag
2	deklaag (scheidende laag); veen	- 3,4	deklaag
3	deklaag	- 7,6	deklaag
4	deklaag (scheidende laag); veen	- 8,3	deklaag
5	1e watervoerend pakket	- 20	
6	1e watervoerend pakket	- 33	WVP1
7	dunne scheidende laag	- 34	WVP1
8	1e watervoerend pakket	- 40	WVP1
9	dunne scheidende laag	- 41,0	WVP1
10	1e watervoerend pakket	- 56	WVP1
11	1e scheidende laag	- 65,4	scheidende laag
12	2e watervoerend pakket	- 79	WVP2
13	dunne scheidende laag	- 80	WVP2
14	2e watervoerende pakket	- 99	WVP2
15	dunne scheidende laag	-100	WVP2
15	2e watervoerende pakket	-150	WVP2

2.4 GRONDWATERKWALITEIT

Voor het gebiedsgericht grondwaterbeheer zijn de verontreinigingen afkomstig van de historische puntbronnen relevant en maatgevend. De verontreinigingen afkomstig van de infiltratie van de Oude Rijn en diffuus aanwezige verontreinigingen zijn niet opgenomen in het GGB, omdat een ander kader dan de Wbb van toepassing is en omdat vele verontreinigingen afkomstig hiervan geen (sanerings-technische) normeringen kennen. De verontreinigingen die zijn opgenomen in het gebiedsplan GGB Woerden zijn:

- VOCl (PER, TRI, cis/trans-DCE, VC, chloorethaan, dichloorethaan, pentachloorfenol);
- MTBE/ETBE/tert-butanol en andere olie-gerelateerde componenten zoals BTEXN;
- 1,4-dioxaan;
- cyanide.

De VOCl's en cyanide-verontreinigingen bevinden zich vooral in het gebied rondom de pluim van Defensie-eiland waar veel bodemenergiesystemen in de toekomst worden verwacht.

2.5 REEDS UITGEVOERDE ACTIVITEITEN

De gemeente Woerden heeft een grondwatermodel (Modflow) laten opstellen door Acacia Water met een stoftransportmodel (MT3D). Met deze modellen zijn een aantal scenario's doorgerekend voor de verontreinigingspluim van Defensie-eiland (Actualisatie stoftransportmodel Woerden, Acacia Water, september 2019).

Hierbij is uitgegaan van een realistische afbraakconstante die is vastgesteld op basis van literatuuronderzoek, aangevuld met analyses en plaatselijke onderzoek. Bioclear heeft de afbraakconstante bepaald en geadviseerd, mede op basis van *expert judgement* van omliggende praktijkgevallen.

Het grondwatermodel is en wordt ook gebruikt bij de te voorspellen verspreiding als gevolg van de plaatsing van open bodemenergiesystemen. Voor de Houttuinen, een nieuwbouwlocatie in Middelland Noord, zijn de effecten van twee WKO-installaties doorgerekend om na te gaan wat dit met de verspreiding van de pluim van Defensie-eiland doet. Een aantal scenario's zijn doorgerekend over 50 jaar. De effecten waren dusdanig dat de verspreiding netto zou toenemen, hetgeen nog niet toelaatbaar was omdat het GGB nog niet van kracht is. Op grond van deze berekeningen is door de initiatiefnemer, in overleg met gemeente en RUD Utrecht, besloten dat de bodemenergiesystemen in het 2^e watervoerend pakket worden geplaatst.

▶▶ 3 TOEPASBAARHEID LANDELIJKE BESCHERMINGSKAART DOORBORINGEN

3.1 INLEIDING

In dit hoofdstuk wordt de toepasbaarheid van de beschermingskaart doorboringen nagegaan. In werkpakket 2 van dit Kennisimpulsproject zijn landsdekkende kaarten gemaakt die op regionale schaal in beeld brengen waar (in potentie) verhoudingsgewijs veel kortsluitstroming kan optreden bij het doorboren van beschermende kleilagen (Van Vliet *et al.*, 2022). De aanleiding lag hierbij op doorboringen bij gesloten bodemenergiesystemen, maar de resultaten zijn ook bruikbaar voor andere typen boringen en putten.

Specifiek bij Woerden wordt nagegaan waar doorboringen voor bodemenergiesystemen en grondwateronttrekkingen zich bevinden en welk beeld dit oplevert als deze informatie op de beschermingskaart doorboringen wordt gelegd.

In [Tabel 3.1](#) is een overzicht weergegeven van de modellagen zoals gebruikt worden in het model van Acacia (zie [paragraaf 2.3](#) en [hoofdstuk 4](#)) en de LHM-modellagen zoals gebruikt zijn bij het bepalen van de lekkage flux ([par 3.1.2](#)). De laatste kolom van deze tabel geeft de hydrogeologie (REGIS II v2.2) bij Woerden weer, zoals ook getoond wordt voor boring B31G0038 te Woerden ([Figuur 3.1](#)).

TABEL 3.1

Vergelijking modellagen Acacia met LHM modellagen

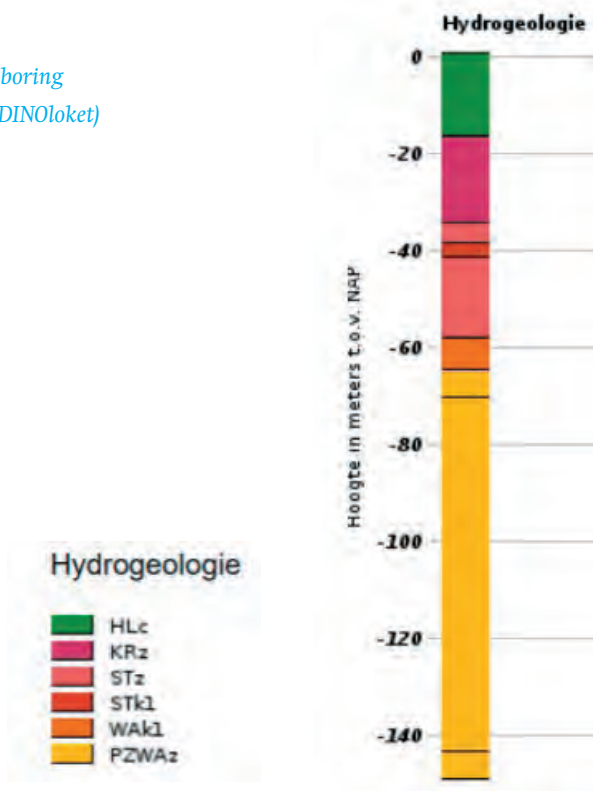
Modellaag	Omschrijving in model	Diepte m NAP (volgens Acacia model)	LHM	Hydrogeologie REGIS II v2.2
1	deklaag	Maaiveld tot -1	SDL1	HLc
2	deklaag	-1 tot -3.4		
3	deklaag	-3.4 tot -7.6		
4	deklaag	-7.6 tot -8.3		
5	WVP1	-8.3 tot -20	WVP2	KRz
6	WVP1	-20 tot -33	WVP2	KRz
7	WVP1	-33 tot -34	WVP2	STz
8	WVP1	-34 tot -40	WVP2	STz
9	WVP1	-40 tot -41	SDL2	STk1
10	WVP1	-41 tot -56	WVP3	STz
11	SDL1	-56 tot -65	SDL3	WAK1
12	WVP2	-65 tot -79	WVP4	PZWAZ

3.2 BESCHERMINGSKAART DOORBORINGEN

In deze case study wordt gebruik gemaakt van de ‘totale beschermkaart’ waarvoor de stijghoogteverschillen en afname van de weerstand gecombineerd zijn. Voor deze kaart is berekend hoeveel water (volumestroom) er bij de huidige stijghoogteverdeling (gemiddelde stijghoogtes voor de periode 2011-2018 zijn gebruikt) door een niet goed afgesloten boorgat kan stromen. Deze lekroute representeert de lekroute van het grondwater langs niet goed afgedichte buizen. Hiertoe is per slecht-doorlatende laag (SDL) een potentiële lekkageflux berekend bij een boorgat dat is opgevuld met materiaal met een hydraulische doorlaatbaarheids-waarde (k-waarde) van 1 m/d en met een extreem hoge k-waarde van 1000 m/d (zie [Figuur 3.2](#)). Deze waarden zijn gekozen om een beeld te geven van de mogelijke variatie in de potentiële lekkageflux bij een slechte afdichting. Een k-waarde van 1 m/d geeft de situatie weer van het ‘invallen van klei in het boorgat’ (gehele boorgat met straal van 7,2 cm) en een k-waarde van 1000 m/d geeft het extreme faalmechanisme ‘invallen van grind in het boorgat’ weer.

FIGUUR 3.1

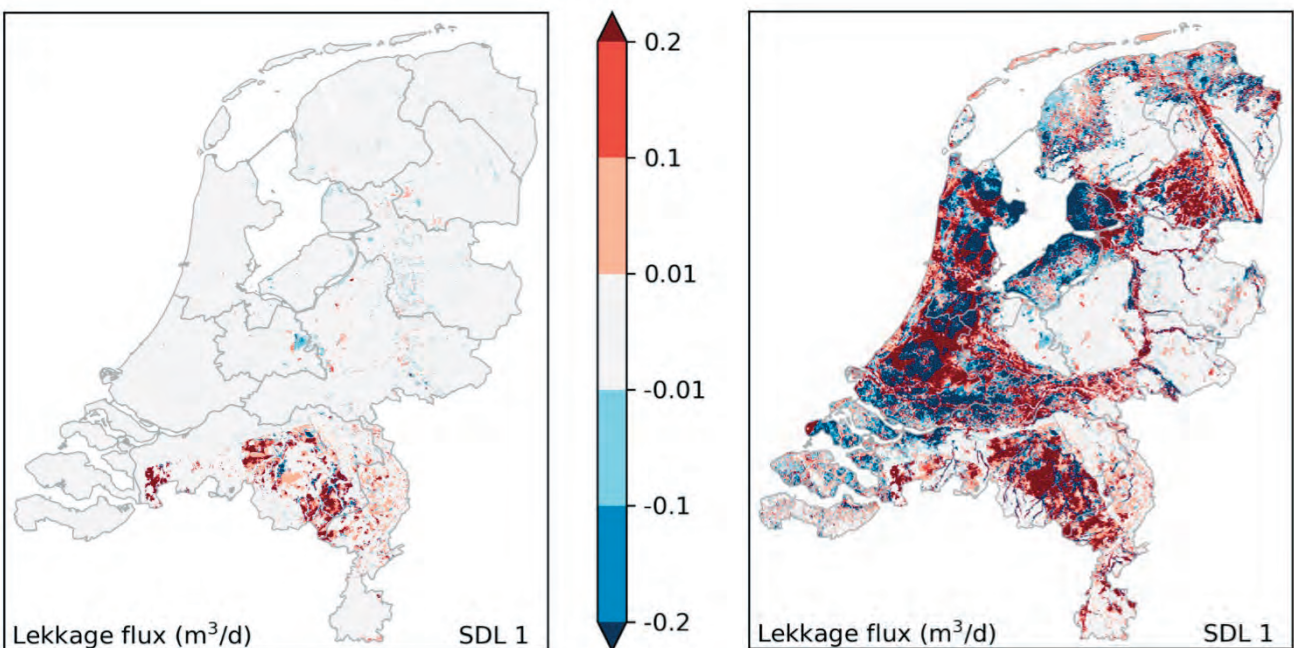
Hydrogeologische interpretatie van boring
B31G0038 BRO REGIS II v2.2 (bron: DINoloket)



Een positieve lekkageflux staat voor een flux van het bovenliggende watervoerende pakket naar het onderliggende watervoerende pakket. **Figuur 3.2** geeft de potentiële lekkageflux over LHM-modellaag SDL1 weer. Zoals verwacht kan worden, is de potentiële lekkageflux berekend voor de k-waarde van 1000 m/d in het boorgat, veel groter dan bij een k-waarde van 1 m/d.

FIGUUR 3.2

Landelijke 'Totale beschermkaart' voor LHM-modellaag SDL1, waarbij de potentiële lekkageflux (m^3/d) is weergegeven over LHM-modellaag SDL1 bij een boorgat dat is opgevuld met materiaal met een k-waarde van 1 m/d (links) en met een extreem hoge k-waarde van 1000 m/d (rechts). - kaart 2019, provinciegrenzen verouderd -



3.3 LOCATIES BODEMENERGIESYSTEMEN

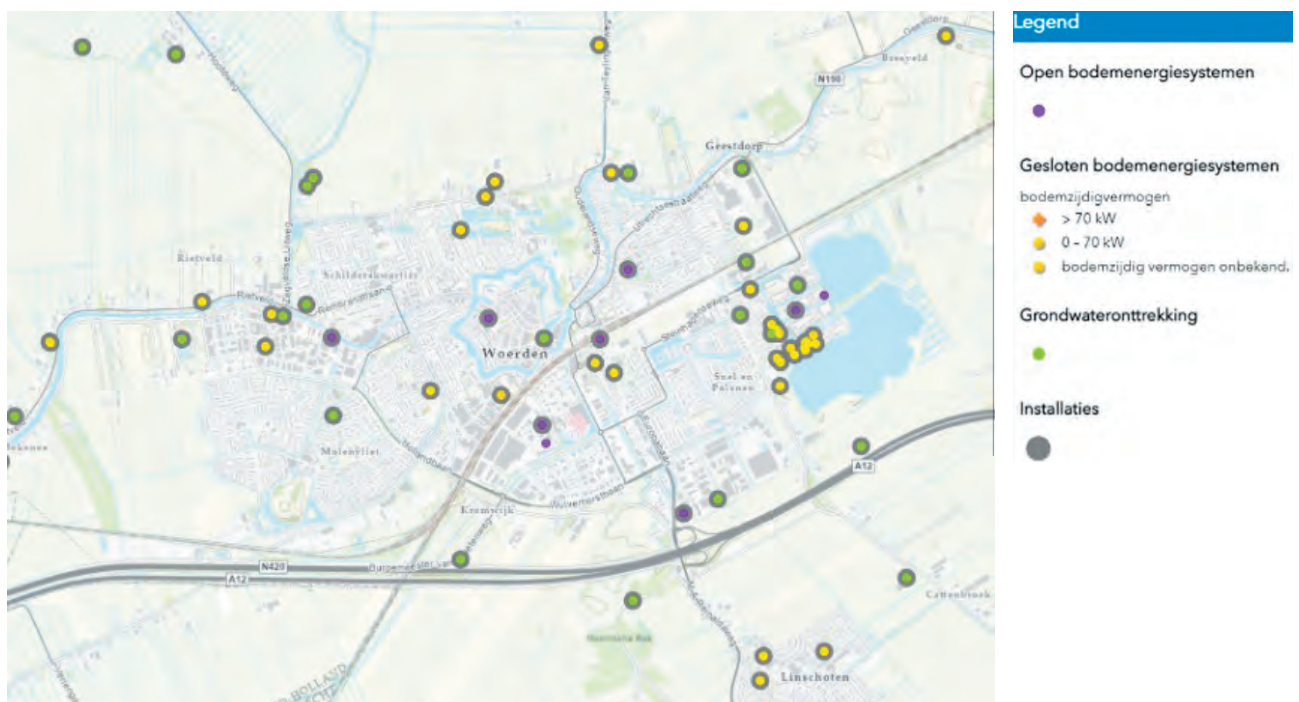
Voor een overzicht van de huidige stand van zaken van doorboringen voor bodemenergiesystemen en grondwateronttrekkingen is gebruik gemaakt van de WKO-bodemenergietool. Dit overzicht wordt weergegeven in [Figuur 3.3](#). De WKO-bodemenergietool is een website van het ministerie van Economische Zaken en Klimaat en wordt beheerd en ontwikkeld door de Rijksdienst voor Ondernemend Nederland (RVO).

De gegevens van de open bodemenergiesystemen komen uit het Landelijk Grondwater Register (LGR) en zijn door de provincies aangeleverd en geregistreerd zijn in het LGR. Dit kunnen zowel gemelde als vergunde open bodemenergiesystemen betreffen. Dit betekent dat deze (nog) niet gerealiseerd hoeven te zijn (WKO-bodemenergietool, 2021). De gegevens van de gesloten systemen komen ook uit het LGR. Deze zijn hierin door de gemeenten of omgevingsdiensten aangeleverd en geregistreerd. Dit kunnen zowel gemelde als vergunde gesloten systemen betreffen. Vóór 1 juli 2013 waren gesloten bodemenergiesystemen (GBES) niet meldingsplichtig en werden ze deels niet geregistreerd. Met terugwerkende kracht kunnen deze GBES worden geregistreerd, maar wellicht zijn niet alle systemen zichtbaar op de kaart.

Op [Figuur 3.3](#) is te zien dat verspreid over de stad Woerden en het buitengebied zowel open bodemenergiesystemen (OBES), GBES als grondwateronttrekkingen voorkomen. Bij GBES is ook de einddiepte van het systeem in de WKO-bodemenergietool weergegeven. Hiervan hebben drie systemen een einddiepte tussen 13-25 m-mv; deze zijn in WVP1 geplaatst. Eén systeem heeft een einddiepte van 65 m-mv, dat zou betekenen dat deze tot in LHM-modellaag SDL3 is geplaatst. De overige GBES hebben een einddiepte van > 80 m-mv en zijn door LHM-modellaag SDL3 (Wak1) in LHM-modellaag WVP4 geplaatst.

FIGUUR 3.3

Overzicht van OBES (paarse rondjes), GBES (gele rondjes) en grondwateronttrekkingen (groene rondjes) in Woerden en omgeving (bron WKO-tool, d.d. 7 dec 2021)



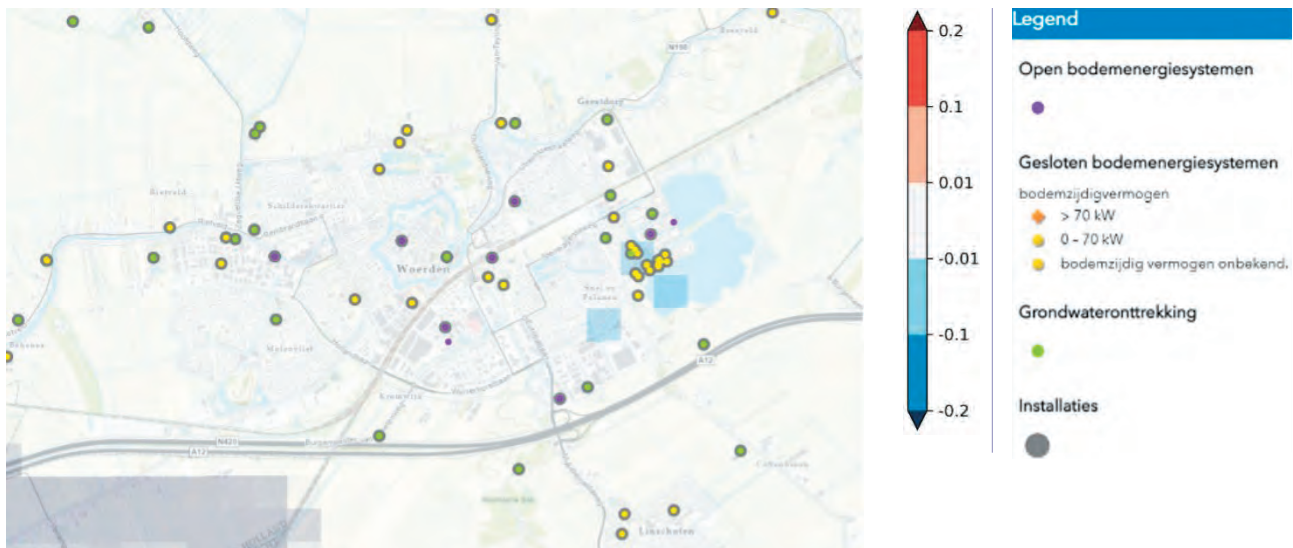
3.4 COMBINATIE BESCHERMKAARTEN EN DOORBORINGEN

Figuur 3.4 toont het resultaat van de combinatie van de doorboringen die in Woerden hebben plaatsgevonden met de kaart van een potentiële lekkageflux (m^3/d) bij een boorgat dat is opgevuld met materiaal met een k-waarde van 1 m/d. De doorboringen hebben plaatsgevonden voor de aanleg van OBES, GBES of ten behoeve van grondwateronttrekking. Uit de figuur blijkt dat bijna in het gehele gebied de lekkageflux verwaarloosbaar klein is, namelijk tussen $-0,01$ en $0,01 \text{ m}^3/\text{dag}$. Dit betekent een kleine opwaartse of neerwaartse flux.

In het oosten van Woerden zijn drie gridcellen zichtbaar waar de potentiële lekkageflux varieert tussen $-0,01$ en $-0,1 \text{ m}^3/\text{dag}$. Een negatieve lekkageflux staat voor een flux van het onderliggende watervoerende pakket naar het bovenliggende watervoerende pakket. Dit overlapt met een aantal vermelde en/of vergunde GBES.

FIGUUR 3.4

Potentiële Lekkageflux (m^3/d) over LHM-modellaag SDL1 (deklaag) met $k=1 \text{ m/d}$ gecombineerd met de locaties van OBES (paarse rondjes), GBES (gele rondjes) en grondwateronttrekkingen (groene rondjes) in Woerden en omgeving



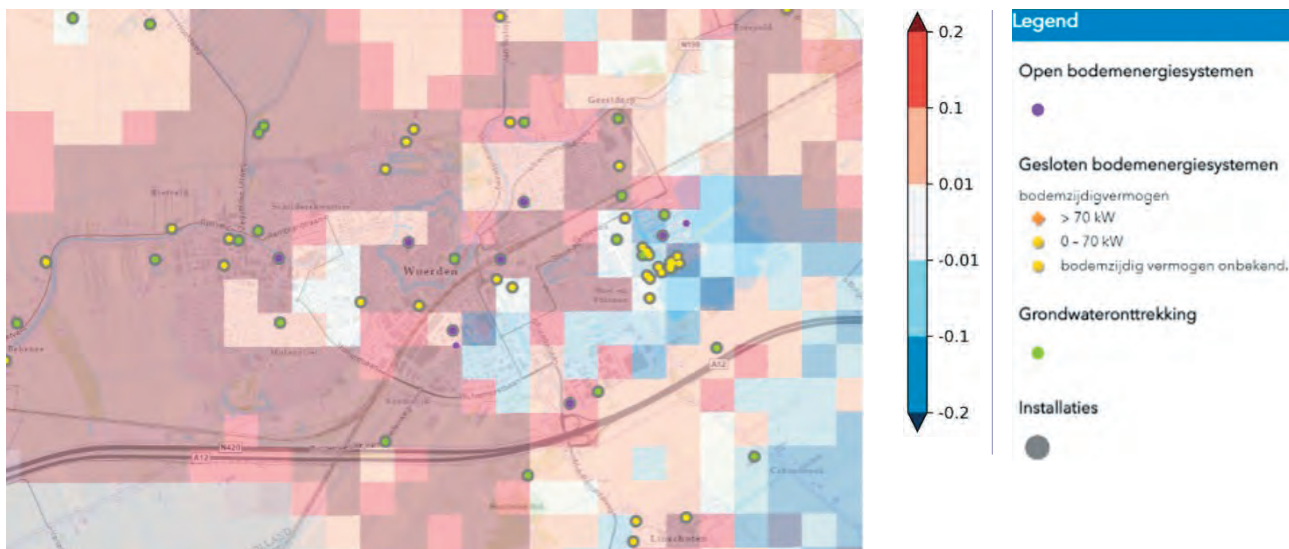
Figuur 3.5 geeft hetzelfde resultaat weer, maar dan met een extreem hoge k-waarde van 1000 m/dag. In een groot deel van Woerden zal dan een positieve flux van de deklaag naar onderliggend watervoerende pakket plaatsvinden, welke voor een deel van het gebied zelfs groter is dan $0,2 \text{ m}^3/\text{dag}$. Op de kaart is zichtbaar dat in dit gebied meerdere bodemenergiesystemen en grondwateronttrekkingen zijn gerealiseerd, waaronder een aantal systemen aan de rand van de VOCl-pluim. In het zuidoosten van de getoonde kaart zal de flux omgekeerd zijn, namelijk van het onderliggend watervoerende pakket naar het bovenliggende freatische pakket. Ook hier zijn volgens de huidige situatie bodemenergiesystemen gerealiseerd.

Het beeld is bij de kaarten voor LHM-modellaag SDL2 (STk) en SDL3 (Wak1) hetzelfde. De potentiële lekkageflux (m^3/dag) bij een k-waarde van 1 m/d blijkt in het gehele gebied verwaarloosbaar klein te zijn: tussen $-0,01$ tot $0,01 \text{ m}^3/\text{dag}$, een kleine opwaartse of neerwaartse flux (zie Figuur 3.6 en Figuur 3.8). Echter bij extreem slechte afdichtingen vinden grotere lekkagefluxen plaats. LHM-modellaag SDL2 (Sterksel klei) komt waarschijnlijk niet onder geheel Woerden voor, waardoor voor een klein gebied een potentiële opwaartse ($<0,01 \text{ m}^3/\text{dag}$) of neerwaartse ($0,01-0,1 \text{ m}^3/\text{dag}$) lekkageflux over deze SDL wordt berekend (Figuur 3.7).

Bij het doorboren en extreem slecht afdichten van de LHM-modellaag SDL3 (Wak1), de eerste scheidende laag in het Acacia-model, worden grote lekkagefluxen van $>0,2 \text{ m}^3/\text{dag}$ getoond in Figuur 3.9. Dit betekent een lekkageflux van het watervoerende pakket met de VOCl-verontreiniging naar WVP2.

FIGUUR 3.5

Potentiële lekkageflux (m^3/d) over LHM-modellaag SDL1(deklaag) met extreem hoge k-waarde van 1000 m/d gecombineerd met de locaties van OBES (paarse rondjes), GBES (gele rondjes) en grondwateronttrekkingen (groene rondjes) in Woerden en omgeving



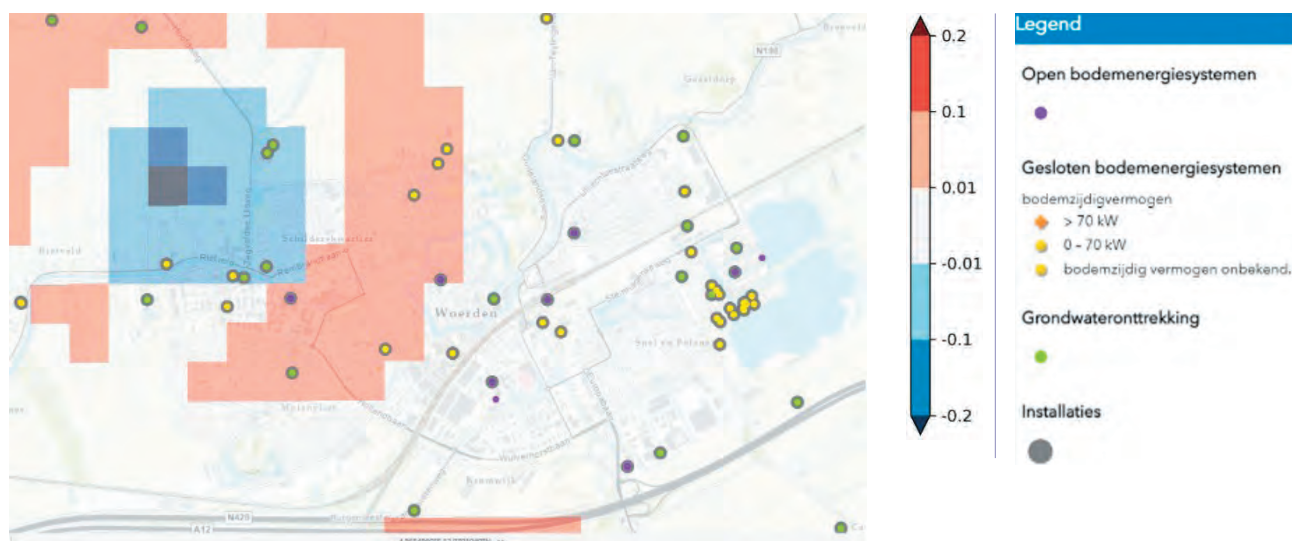
FIGUUR 3.6

Potentiële lekkageflux (m^3/d) over LHM-modellaag SDL2 (STk) met k-waarde van 1 m/d gecombineerd met de locaties van OBES (paars rondjes), GBES (gele rondjes) en grondwateronttrekkingen (groene rondjes) in Woerden en omgeving



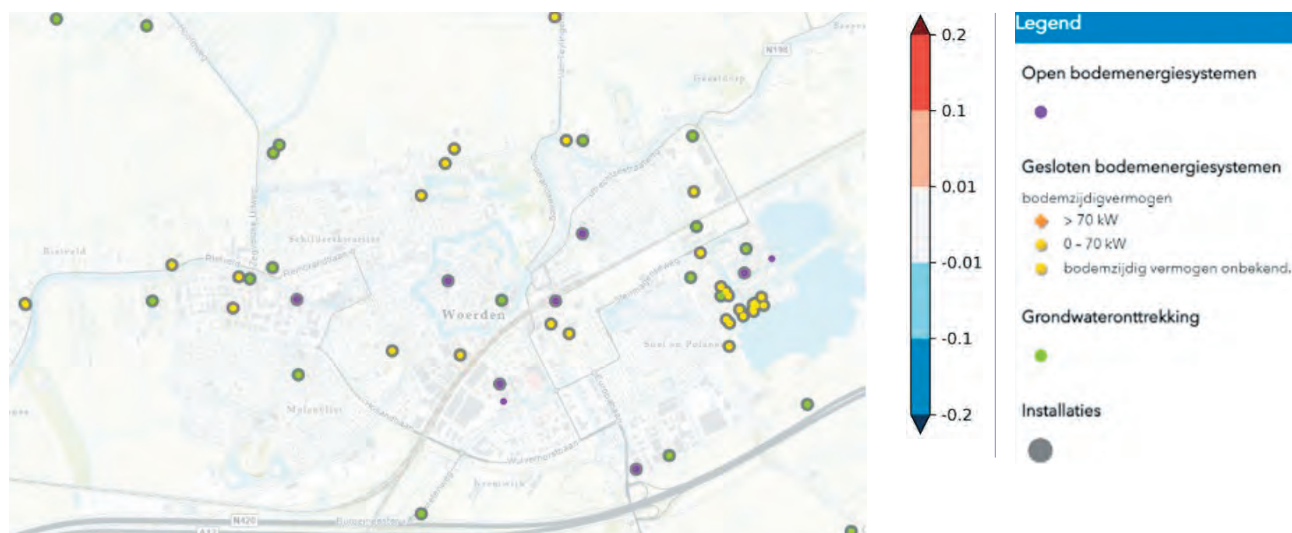
FIGUUR 3.7

Potentiële lekkageflux (m^3/d) over LHM-modellaag SDL2 (STk) met extreem hoge k-waarde van 1000 m/d gecombineerd met de locaties van OBES (paarse rondjes), GBES (gele rondjes) en grondwateronttrekkingen (groene rondjes) in Woerden en omgeving



FIGUUR 3.8

Potentiële lekkageflux (m^3/d) over LHM-modellaag SDL3 (WAK1) met k-waarde van 1 m/d gecombineerd met de locaties van OBES (paarse rondjes), GBES (gele rondjes) en grondwateronttrekkingen (groene rondjes) in Woerden en omgeving



FIGUUR 3.9

Potentiële lekkageflux (m^3/d) over LHM-modellaag SDL3 (STk) met extreem hoge k-waarde van 1000 m/d gecombineerd met de locaties van OBES (paars rondjes), GBES (gele rondjes) en grondwateronttrekkingen (groene rondjes) in Woerden en omgeving



3.5 CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN TOEPASBAARHEID LANDELIJKE KAART

In dit hoofdstuk is de toepasbaarheid van de beschermingskaart doorboringen nagegaan voor de situatie in Woerden. De landelijke kaarten zijn gecombineerd met de locaties waar doorboringen zijn geplaatst of gepland. Voor Woerden zijn de kaarten van de potentiële lekkageflux over LHM-modellaag SDL1 (deklaag), SDL2 (ST-k, Sterkselklei) en SDL3 (Wak1, Waalreklei 1) van belang. De slecht-doorlatende laag van de Sterksel klei komt niet onder heel Woerden voor.

De huidige resolutie (250x250 m) van de landelijk kaart levert een nuttig eerste beeld op van de risico's voor kortsluitstroming tussen watervoerende lagen bij de aanleg van WKO's, waaruit blijkt dat het in Woerden belangrijk is dat er aandacht is voor het realiseren van goede afdichtingen van de buizen voor de warmte- en koudebron.

Bij een slechte afdichting met een k-waarde van 1 m/dag ('invallen van klei in het boorgat') zien we nauwelijks een effect op de lekkagefluxen. Echter bij een extreem slechte afdichting met een k-waarde van 1000 m/d (faalmechanisme 'invallen van grind in het boorgat') zijn forse lekkagefluxen mogelijk. Dit zien we bij doorboren van alle slecht-doorlatende lagen. De flux is voornamelijk van bovenliggende naar onderliggende watervoerende pakketten. Dit betekent dat verspreiding van VOCl-verontreiniging naar diepere watervoerende pakketten sneller zou kunnen plaatsvinden bij slechte afdichting van de buizen van de warmte- en koudebron.

De kaarten geven een indicatie van potentiële kortsluitstroming tussen watervoerende lagen bij doorboringen. Ze kunnen bijvoorbeeld gebruikt worden om te bepalen waar ontwikkeling van bodemenergie vanuit het perspectief van grondwaterkwaliteit mogelijk is:

- Eerste selectie van gebieden waar doorboringen minder wenselijk zijn, of waar extra aandacht aan zorgvuldige uitvoering gegeven moet worden en of toezicht en handhaving op het afdichten van de (PE-)buizen van de warmte- en koudebron.
- Eerste selectie van maximale dieptes i.v.m. doorboren van specifieke slecht-doorlatende lagen per gebied voor grotere aantallen doorboringen zoals voor gesloten bodemenergie-opslagsystemen.

In het rapport over de totstandkoming van de landelijke 'totale beschermkaart' (Van Vliet *et al.*, 2022) zijn een aantal beperkingen benoemd waar rekening mee moet worden gehouden. Deze gelden ook bij een regionale toepassing:

- De kaarten zijn gemaakt met een grid 250x250 voor een landelijke schaal. Regionaal geven de kaarten voldoende inzicht voor indicatieve toepassing op een schaal als de gemeente Woerden. Voor lokale schaal zijn de kaarten niet geschikt;
- De kaarten zijn gemaakt voor slechts twee situaties: een 'best guess' en 'worst case' (extreme hoge doorlatendheid) situatie. De praktijk zit hier ergens tussen in en zo moeten de resultaten dan ook geïnterpreteerd worden afhankelijk van de toepassing.

►► 4 INVLOED VAN BODEMENERGIESYSTEMEN OP DE GRONDWATERKWALITEIT ONDER VERSCHILLENDE SCENARIO'S

4.1 SCENARIO'S

Er worden drie hypothetische scenario's beschouwd. Het doel hiervan is inzicht te krijgen in de invloed van de aanleg van open bodemenergiesystemen op de grondwaterkwaliteit. De volgende hypothetische scenario's zijn beschouwd:

1. De aanleg van bodemenergiesystemen in het eerste watervoerende pakket, ter plaatse van de VOCl-verontreiniging op Defensie-eiland.
2. De aanleg van bodemenergiesystemen tot in het tweede watervoerende pakket, ter plaatse van de VOCl-verontreiniging op Defensie-eiland.
3. De aanleg van bodemenergiesystemen tot in het tweede watervoerende pakket, binnen het 100-jaars aandachtsgebied nabij het grondwaterbeschermingsgebied.

Bovenstaande scenario's zijn worst case scenario's voor wat betreft:

- de aanleg van bodemenergiesystemen door de zaklaag (scenario 1 en 2);
- het doorboren van de scheidende laag en de slechte afdichting van de (PE-) buizen voor de warmte- en koudebron (scenario 2 en 3).

Zoals in de inleiding is beschreven, is er voor worst case scenario's gekozen om voor deze specifieke situaties inzicht te hebben in de wat er in het ergste geval mis kan gaan bij de aanleg van bodemenergiesystemen voor wat betreft de grondwaterkwaliteit.

Hypothetische scenario's

Zoals de term hypothetisch al aangeeft hebben de in deze rapportage uitgewerkte scenario's geen relatie met de werkelijke aanleg van bodemenergiesystemen in Woerden. Deze scenario's zijn bedoeld om inzicht te krijgen in het ergste geval van invloed van de aanleg van bodemenergiesystemen op de grondwaterkwaliteit ('de bovengrens' qua invloed op de grondwaterkwaliteit).

Ook wordt één referentiescenario beschouwd, waarin geen bodemenergiesystemen worden aangelegd. De impact van de aanleg van de bodemenergiesystemen volgt uit het verschil tussen de twee varianten, met en zonder de aanleg van bodemenergiesystemen.

De karakteristieken van dit referentiescenario zijn als volgt:

- Huidige verontreinigingsbron: grondwaterpluim VOCl's (TRI en PER) op Defensie-eiland, tot 20 m -mv.
- Huidige verontreinigingspluim VOCl's tot 50 m-mv (CIS en VC) op Middelland Noord.
- Afbraak wordt meegenomen met de meest waarschijnlijke afbraakconstante.
- Onttrekkingsregime van Oasen in het eerste watervoerende pakket van 2 Mm³/jaar.
- In het tweede watervoerende pakket wordt door Oasen ook grondwater onttrokken.

Op dit moment wordt door Oasen nauwelijks grondwater in het tweede watervoerende pakket onttrokken. Het project 'Vergrijzing van grondwater door menselijke invloeden met nadruk op langetermijneffecten' richt zich echter op de lange termijn, waarmee op een periode van 100 jaar wordt bedoeld. Gezien de toenemende vraag naar drinkwater, is op een dergelijke lange termijn een toename van de grondwaterwinning in het tweede watervoerende pakket niet uit te sluiten.

4.2 INVLOED AANLEG BODEMENERGIESYSTEMEN IN HET EERSTE WATERVOERENDE PAKKET, PLAATSING BODEMENERGIESYSTEMEN OP DEFENSIE-EILAND (SCENARIO 1)

In dit hypothetische scenario wordt ervan uitgegaan dat bodemenergiesystemen ter plaatse van de VOCl-verontreiniging bij Defensie-Eiland in het eerste watervoerende pakket worden aangelegd, ter plaatse van de VOCl-verontreiniging. Dit scenario betreft een worst case scenario, voor wat betreft de aanleg van bodemenergiesystemen door de zaklaag.

Karakteristieken:

- Huidige verontreinigingsbron: grondwaterpluim VOCl's (TRI en PER) op Defensie-eiland, tot 20 m -mv.
- Huidige verontreinigingspluim VOCl's tot 50 m-mv (CIS en VC) op Middelland Noord
- Afbraak wordt meegenomen met meest waarschijnlijke afbraakconstante.
- Onttrekkingsregime van Oasen in het eerste watervoerende pakket van 2 Mm³/jaar;
- In het tweede watervoerende pakket wordt door Oasen ook grondwater onttrokken.

En anders dan in het referentiescenario:

- Veel ongunstig gesitueerde bodemenergiesystemen in het eerste watervoerende pakket. Dat wil zeggen:
 - Bodemenergiesystemen dwars door de VOCl-zaklagen (filter echter niet in de zaklaag): snellere verplaatsing PER, TRI, VC in horizontale en verticale richting aan de randen van de boring;
 - Bodemenergiesystemen ook onder de zaklagen: aantrekkende werking op de VOCl-zaklagen in neerwaartse richting.

4.3 INVLOED AANLEG BODEMENERGIESYSTEMEN TOT IN HET TWEEDE WATERVOERENDE PAKKET, PLAATSING BODEMENERGIESYSTEMEN OP DEFENSIE-EILAND (SCENARIO 2)

In dit scenario worden bodemenergiesystemen aangelegd tot in het tweede watervoerende pakket op het Defensie-eiland. Dit scenario betreft een worst case scenario voor wat betreft het doorboren van de scheidende laag, de aanleg van bodemenergiesystemen dieper dan de zaklaag en de slechte afdichting van de ruimte rondom de (PE-)buizen van de warmte- en koudebron.

Karakteristieken:

- Huidige verontreinigingsbron: grondwaterpluim VOCl's (TRI en PER) op Defensie-eiland, tot 20 m -mv;
- Huidige verontreinigingspluim VOCl's tot 50 m-mv (CIS en VC) op Middelland Noord
- Afbraak wordt meegenomen met de meest waarschijnlijke afbraakconstante;
- Onttrekkingsregime van Oasen in het eerste watervoerende pakket van 2 Mm³/jaar;
- Onttrekking in het tweede watervoerende pakket;

En anders dan in het referentiescenario:

- Plaatsing bodemenergiesystemen: Defensie-eiland;
- Bodemenergiesystemen tot in het tweede watervoerende pakket, met slechte afdichting kleilaag tussen WVP1 en het tweede watervoerende pakket (open verbinding; weerstand van 10 dagen). Dat wil zeggen:
 - Lekkage van verontreinigingen langs de (PE-)buizen van de warmte- en koudebron.
 - Stijghoogteverschil veroorzaakt flux vanuit 1^e watervoerend pakket richting het tweede watervoerende pakket.
- Slechte afdichting boorgat, zodat er relatief grote lekverliezen zijn langs de (PE-) buizen van de warmte- en koudebron.

4.4 INVLOED AANLEG BODEMENERGIESYSTEMEN TOT IN HET TWEEDE WATERVOERENDE PAKKET, PLAATSING BODEMENERGIESYSTEMEN VLAK VOOR GRONDWATERBESCHERMINGSGBIED (SCENARIO 3)

Dit scenario verschilt van het voorgaande scenario voor wat betreft de ruimtelijke plaatsing van de bodemenergiesystemen, maar de diepte van bodemenergiesystemen is gelijk aan scenario 2. Ook dit scenario is worst case voor wat betreft het doorboren van de scheidende laag en de slechte afdichting van de boringen. Bodemenergiesystemen worden aangelegd binnen 100-jaar aandachtsgebied nabij het grondwaterbeschermingsgebied op circa 100 meter afstand).

Karakteristieken:

- Huidige verontreinigingsbron: grondwaterpluim VOCl's (TRI en PER) op Defensie-eiland, tot 20 m -mv.
- Huidige verontreinigingspluim VOCl's tot 50 m-mv (CIS en VC) op Middelland Noord
- Afbraak wordt meegenomen met de meest waarschijnlijke afbraakconstante;
- Onttrekkingsregime van Oasen in het eerste watervoerende pakket van 2 Mm³/jaar;
- Onttrekking in het tweede watervoerende pakket

En anders dan in het referentiescenario:

- Diffuse verontreiniging over de gehele gemeente Woerden: theoretische diffuse stof met concentratie 1.
- Plaatsing WKO's: binnen 100-jaar aandachtsgebied nabij het grondwaterbeschermingsgebied (bijvoorbeeld op 100 meter afstand)
- Bodemenergiesystemen tot in het tweede watervoerende pakket, met slechte afdichting kleilaag tussen WVP1 en het tweede watervoerende pakket (open verbinding; weerstand van 10 dagen). Dat wil zeggen:
 - Lekkage van verontreinigingen langs boorgaten;
 - Stijghoogte verschil veroorzaakt flux vanuit eerste watervoerende pakket richting het tweede watervoerende pakket.
- Slechte afdichting boorgat, zodat er relatief grote lekverliezen zijn langs de (PE-) buizen van de warmte- en koudebron.

4.5 CONCLUSIES VERSPREIDING

De natuurlijke verspreiding van de VOCl-verontreinigingen is initieel in zuidwestelijke richting en van het eerste naar het tweede watervoerende pakket. Om inzicht te krijgen in het effect van het plaatsen van bodemenergiesystemen op de verspreiding van aanwezige verontreinigingen is een drietal hypothetische scenario's doorgerekend (Van Doorn, 2020; Bijlage A). Als gevolg hiervan stimuleert de aanleg van bodemenergiesystemen de natuurlijke verspreiding van de VOCl-verontreinigingen in zuidwestelijke richting en naar het tweede watervoerende pakket. Ook vergroot de aanleg van bodemenergiesystemen de aanwezige massa aan VOCl-verontreinigingen en andere verontreinigingen, omdat de bodemenergiesystemen door continue verversing een versterkte oplossing van stoffen uit VOCl-zaklagen tot gevolg hebben.

Om de invloed van de aanleg van bodemenergiesystemen kwantitatief te maken, zijn hieronder de conclusies weergegeven voor het berekenen van de verspreiding in geval van een drietal hypothetische worst case scenario's (Van Doorn, 2020; Bijlage A).

SCENARIO 1:

In geval dat de bodemenergiesystemen ter plaatse van de VOCl-verontreiniging bij Defensie-eiland in het eerste watervoerende pakket zouden worden aangelegd zijn de volgende conclusies te trekken:

- Gedurende 100 jaar (oftewel vanaf het begin tot na 100 jaar) is de toename van de oppervlakte van de vinylchloride-verontreinigingspluim in het eerste watervoerende pakket een factor drie hoger dan in de situatie zonder bodemenergiesystemen. Na 100 jaar is de massa aan vinylchloride in het eerste watervoerende pakket een factor tweeënhalf hoger dan in de situatie zonder bodemenergiesystemen. In Woerden is een zekere toename van de verspreiding in beheersgebied A in het kader van gebiedsgericht grondwaterbeheer toegestaan.
- De invloed van de aanleg van de bodemenergiesystemen is veel kleiner in het tweede watervoerende pakket. Deze invloed manifesteert zich na enige jaren. Hierbij is de toename van de oppervlakte van de vinylchloride-verontreinigingspluim (met veel lagere concentraties dan in het eerste watervoerende pakket) na 10 jaar 50% hoger en na 100 jaar 25% hoger dan in de situatie zonder bodemenergiesystemen. Na 100 jaar is de massa aan vinylchloride in het tweede watervoerende pakket een factor twee hoger dan in de situatie zonder bodemenergiesystemen.

SCENARIO 2:

Indien bodemenergiesystemen aangelegd worden tot in het tweede watervoerende pakket ter plaatse van Defensie-eiland, met een forse kortsluitstroming tussen het eerste en tweede watervoerend pakket, zijn de volgende conclusies te trekken:

- In het eerste watervoerende pakket is de invloed van de aanleg van de bodemenergiesystemen beperkt. Na 100 jaar is de toename van de oppervlakte van de vinylchloride-verontreinigingspluim in het eerste watervoerende 25% minder dan in de situatie zonder bodemenergiesystemen. Na 100 jaar is de massa aan vinylchloride in het eerste watervoerende vergelijkbaar met de situatie zonder bodemenergiesystemen.
- In het tweede watervoerende pakket is de invloed van bodemenergiesystemen groot. De vinylchloride-concentratie neemt hier initieel sterk toe, tot meer dan een factor 10 in het hart van de pluim na 10 jaar, in vergelijking met de situatie zonder bodemenergiesystemen. Na 100 jaar is in het geval van de aanleg van bodemenergiesystemen de concentratie sterk afgenomen en nadert volledige verdwijning, zodat er geen verschil meer is met de situatie zonder bodemenergiesystemen. De toename van de oppervlakte van de vinylchloride-verontreinigingspluim in het tweede watervoerende pakket na 100 jaar is 50% hoger dan in de situatie zonder bodemenergiesystemen. Echter is de concentratie dan zo laag, dat dit niet van groot belang is.

SCENARIO 3:

Indien bodemenergiesystemen aangelegd worden tot in het tweede watervoerende pakket nabij de drinkwateronttrekking, in het 100-jaarsaandachtsgebied net buiten het grondwaterbeschermingsgebied, waar een diffuse verontreiniging aanwezig verondersteld wordt, zijn de volgende conclusies te trekken:

- In het eerste watervoerende pakket is er gedurende 100 jaar vrijwel geen invloed van de aanleg van bodemenergiesystemen.
- In het tweede watervoerende pakket heeft de aanleg van bodemenergiesystemen gedurende 100 jaar geen invloed op de oppervlakte van de verontreinigingspluim. De massa aan verontreiniging is echter na 100 jaar een factor 4 hoger dan in de situatie zonder bodemenergiesystemen.

INTERPRETATIE WORST CASE SCENARIO'S VOOR DE PRAKTIJK

De berekende scenario's (met name scenario 2) zijn specifiek voor situaties met grote verontreinigingen en waar de geohydrologie dusdanig is dat slechte afdichting van een boorgat of de ruimte rondom de PE-buizen van de warmte- en koudebron een neerwaartse flux veroorzaakt. Een eventueel risico in dit soort situaties kan gemitigeerd worden door optimale afsluiting van de boorputten en buizen, bodemenergiesystemen uit te rusten met (bovengrondse) zuivering of door de VOCl-zaklagen te verwijderen voorafgaand aan een boring. Dit scenario is in voorliggende studie niet doorgerekend. De verwachting is dat deze maatregelen verslechtering van de grondwaterkwaliteit in het onderliggende watervoerende pakket ten opzichte van de referentie situatie kunnen voorkomen.

▶▶ 5 ALGEMENE CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN

5.1 ALGEMENE CONCLUSIES

Uit de rapportage volgen de onderstaande conclusies.

Nut van toepassen van de landelijke beschermingskaart op regionaal niveau

Op regionale schaal (bijvoorbeeld de schaal van een middelgrote Nederlandse gemeente) kan de landelijk beschermingskaart voor doorboringen worden toegepast om een indruk te krijgen van de locaties waar vanuit het perspectief van de grondwaterkwaliteit de aanleg van bodemenergiesystemen mogelijk is. Toepassing voor Woerden geeft bijvoorbeeld aan dat bij een slechte afdichting van het boorgat of slechte afdichting van de (PE-)buizen van een warmte- of koudebron de invloed van de aanleg van bodemenergiesystemen op de grondwaterkwaliteit gering is. Bij een 'extreem slechte afdichting' zijn echter forse lekkagefluxen van eerste naar tweede watervoerende pakket mogelijk, waarbij de grondwaterkwaliteit van het diepere grondwater kan verslechteren. Alhoewel een 'extreem slechte afdichting' een uitzonderlijke situatie is, kan de beschermingskaart die hierop gebaseerd is, worden gebruikt om risicovolle locaties te identificeren, waarbij aandacht voor een goede afdichting van de boorgaten en (PE-) buizen van een warmte- of koudebron van groot belang is. Voor grotere aantallen doorboringen, zoals voor gesloten bodemenergieopslagsystemen, kan deze beschermingskaart worden gebruikt om de maximale dieptes voor aanleg te markeren, in verband met het doorboren van specifieke slechtdoorlatende lagen.

Voor de lokale schaal, bijvoorbeeld om de invloed van de aanleg van bodemenergiesystemen binnen een wijk op de grondwaterkwaliteit te onderzoeken, is de landelijke beschermingskaart niet geschikt.

Hypothetische scenario's

Zoals de term hypothetisch al aangeeft hebben de in deze rapportage uitgewerkte scenario's geen relatie met de werkelijke aanleg van bodemenergiesystemen in Woerden. Deze scenario's zijn bedoeld om inzicht te krijgen in het ergste geval van invloed van de aanleg van bodemenergiesystemen op de grondwaterkwaliteit ('de bovengrens' qua invloed op de grondwaterkwaliteit).

Inzicht in het effect van de aanleg van bodemenergiesystemen op de verspreiding van aanwezige verontreinigingen

Om inzicht te krijgen in het effect van de aanleg van bodemenergiesystemen op de verspreiding van aanwezige verontreinigingen zijn een aantal hypothetische worst case scenario's doorgerekend.

Voor een drietal hypothetische scenario's met aanleg van bodemenergiesystemen is de grondwaterkwaliteit vergeleken met de situatie zonder de aanleg van bodemenergiesystemen. De resultaten zijn hieronder weergegeven.

1. Bodemenergiesystemen ter plaatse van de VOCl-verontreiniging bij Defensie-Eiland in het eerste watervoerende pakket:

De aanleg van bodemenergiesystemen ter plaatse van grondwaterpluimen heeft grote invloed op de grondwaterkwaliteit. Zowel de toename van de oppervlakte van de grondwaterpluim als de massa aan contaminanten in grondwater kunnen met een veelvoud (ordegrootte factor 3) toenemen ten opzichte van de situatie zonder de aanleg van bodemenergiesystemen. Er kan ook een substantiële negatieve invloed op de grondwaterkwaliteit in deze diepere watervoerende pakketten ontstaan.

2. Bodemenergiesystemen aangelegd tot in het tweede watervoerende pakket ter plaatse van Defensie-eiland, met een slechte afdichting van de kleilaag tussen het eerste en tweede watervoerend pakket:

Dit kan een aanzienlijke invloed hebben op de kwaliteit van het grondwater in dit tweede watervoerende pakket. De vinylchloride-concentratie kan in het hart van de pluim na enige jaren tot meer dan een factor 10 toenemen ten opzichte van de situatie zonder de aanleg van bodemenergiesystemen.

3. Bodemenergiesystemen aangelegd tot in het tweede watervoerende pakket nabij de drinkwateronttrekking, waar een diffuse verontreiniging aanwezig verondersteld wordt:

Ondanks dat de oppervlakte van de grondwaterpluim niet toeneemt, kan de massa aan verontreiniging in het tweede watervoerende pakket na 100 jaar substantieel verhoogd zijn (ordegrootte factor 5).

Interpretatie worst case scenario's voor praktijk

De berekende scenario's (met name scenario 2) zijn specifiek voor situaties met grote verontreinigingen en waar de geo-hydrologie dusdanig is dat slechte afdichting van een boorgat een neerwaartse flux veroorzaakt. Een eventueel risico in dit soort situaties kan gemitigeerd worden door optimale afsluiting van de boorputten, bodemenergiesystemen uit te rusten met (bovengrondse) zuivering of door de VOCl-zaklagen te verwijderen voorafgaand aan een boring. Dit scenario is in voorliggende studie niet doorgerekend.

De verwachting is dat deze maatregelen verslechtering van de grondwaterkwaliteit in het onderliggende watervoerende pakket ten opzichte van de referentie situatie kunnen voorkomen.

5.2 AANBEVELINGEN

Aanbevolen wordt bij de aanleg van bodemenergiesystemen in (de nabijheid van) grondwaterverontreinigingen extra rekening te houden met de invloed op de grondwaterkwaliteit. Hierbij speelt de kans op de toename van de massa stoffen in grondwater en een toename van de verspreiding in verticale en horizontale richting een rol. Op de regionale schaal (bijvoorbeeld op de schaal van een middelgrote Nederlandse stad) is de landelijke beschermkaart voor doorboringen een praktisch hulpmiddel. Op basis van deze kaart is identificatie mogelijk van de geschikte en minder geschikte gebieden voor de aanleg van bodemenergiesystemen, vanuit het perspectief van de grondwaterkwaliteit.

Uit de studie volgt dat onder *worst case omstandigheden* risico's voor de grondwaterkwaliteit niet kunnen worden uitgesloten. Dat roept de vervolgvraag op wat de invloed van de aanleg van bodemenergiesystemen betekent onder meer realistische en vaak voorkomende omstandigheden. Voor een gedetailleerd inzicht in de invloed van de aanleg van bodemenergiesystemen is modellering noodzakelijk. Voor de nauwkeurigheid is hierbij de bepaling van een realistische waarde voor het lekverlies door slechte afdichting van de (PE-)buizen van de warmte- en koudebron (in de vorm van een doorlaatbaarheidswaarde; k-waarde) en van de afbraakconstante essentieel.

▶▶ LITERATUUR

Doorn, van A. (2022). Case study Woerden. Studie naar impact van aanleg bodemenergiesystemen op verspreiding van stoffen in grondwater op de lange termijn, Definitief-rapport Acacia Water, 25 januari 2022.

Swartjes, F.A., N. Hoekstra, W. Verweij, J.J. Dijkstra, M.E. van Vliet, A.H. van Loon, P. Schipper (2021). Deltafact 'Vergrijzing van grondwater'. Kennisimpuls water, Januari 2021.

Van Vliet, M.E., S. Huizer, A. Marsman, M. van der Schans en WJ Zaadnoordijk (2022). Beschermingskaart doorboringen, Kennisimpuls water, Maart 2022.

▶▶ **BIJLAGE:
CASE STUDY WOERDEN, STUDIE NAAR IMPACT VAN AANLEG
BODEMENERGIESYSTEMEN OP VERSPREIDING VAN STOFFEN
IN GRONDWATER OP LANGE TERMIJN**

Deze bijlage betreft een studie uitgevoerd door Acacia Water in het kader van het project 'Vergrijzing van grondwater door menselijke invloeden met nadruk op langetermijneffecten', onderdeel Case study Woerden'.

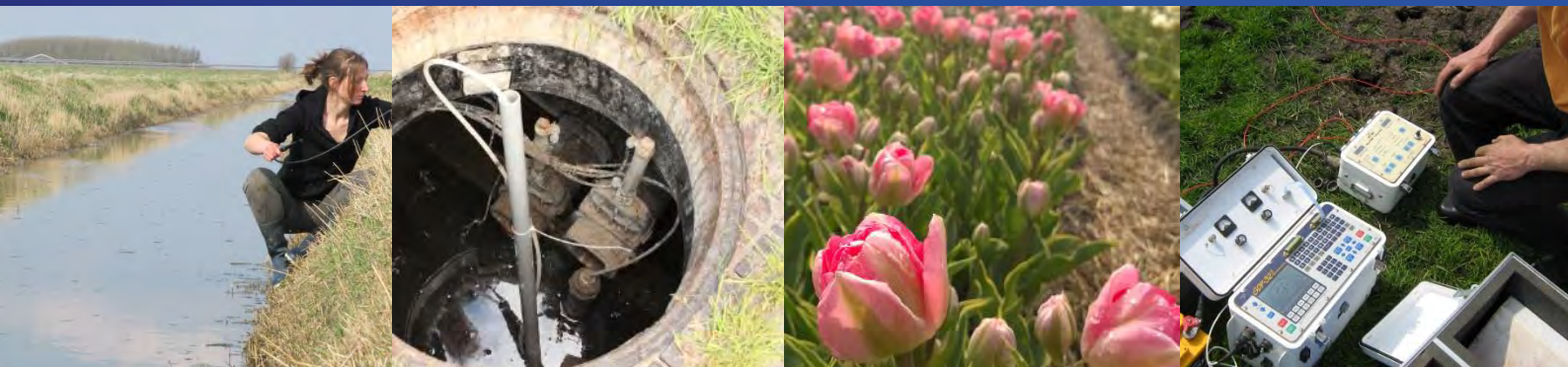
25 jan 2022



Case study Woerden

Studie naar impact van aanleg bodemenergiesystemen op verspreiding van stoffen in grondwater op de lange termijn

Definitief rapport



Colofon

Documenttitel	. Case study Woerden
Opdrachtgever	. Deltares
Verantwoordelijke bij opdrachtgever	. Dr. Annemieke Marsman
Status	. Definitief rapport
Datum	. 25 januari 2022
Projectnummer	. 211290
Projectteam/Auteur	. drs. Annemieke van Doorn
Kenmerk	AW-006_AD_211290
Collegiale toetsing door	drs. Arjen Roelandse
Vrijgegeven door	drs. Jouke Velstra

Disclaimer

De ideeën in dit voorstel zijn, voor zover deze niet al vooraf door de opdrachtgever zijn geformuleerd, eigendom van Acacia Water. Zonder schriftelijke toestemming van Acacia Water is het niet toegestaan om (delen ervan) voor te leggen aan derden.

Inhoudsopgave

1	Inleiding	1
1.1	Aanleiding	1
1.2	Case study Woerden	1
2	Model	3
2.1	Discretisatie	3
2.2	Bodemopbouw	4
2.3	Onttrekking Oasen	4
2.4	Verontreinigingen	4
2.5	Referentiesituatie	5
2.6	Scenario's	6
3	Modelresultaten	9
3.1	Scenario 1: BES t.p.v. Defensie Eiland in watervoerend pakket 1	9
3.2	Scenario 2: BES t.p.v. Defensie Eiland in watervoerend pakket 2	11
3.3	Scenario 3: BES t.p.v. grens grondwaterbeschermingsgebied in watervoerend pakket 2	12
4	Conclusies	15
5	Literatuur	17

1 Inleiding

1.1 Aanleiding

Binnen het kennisimpuls programma, “project vergrijzing van grondwater door menselijke invloeden met nadruk op lange termijneffecten”, wordt in het werkpakket geohydrologische barrières gekeken naar de aanleg van bodemenergiesystemen (BES): welke factoren hebben invloed op de grondwaterkwaliteit? Een onderdeel van dit werkpakket vormen case studies, waar voorliggende studie onder valt. Het Kennisimpulsproject Grondwater wordt uitgevoerd door de volgende partijen: Deltares, TNO, RIVM, KWR en Wageningen Environmental Research.

In de case study Woerden wordt d.m.v. modellering onderzocht wat het effect is van het doorboren van een, van nature aanwezige, geohydrologische barrière (een slecht doorlatende laag in de ondergrond) op de grondwaterkwaliteit. Hiervoor worden hypothetische toekomsituaties doorgerekend met een grondwater-stoftransportmodel.

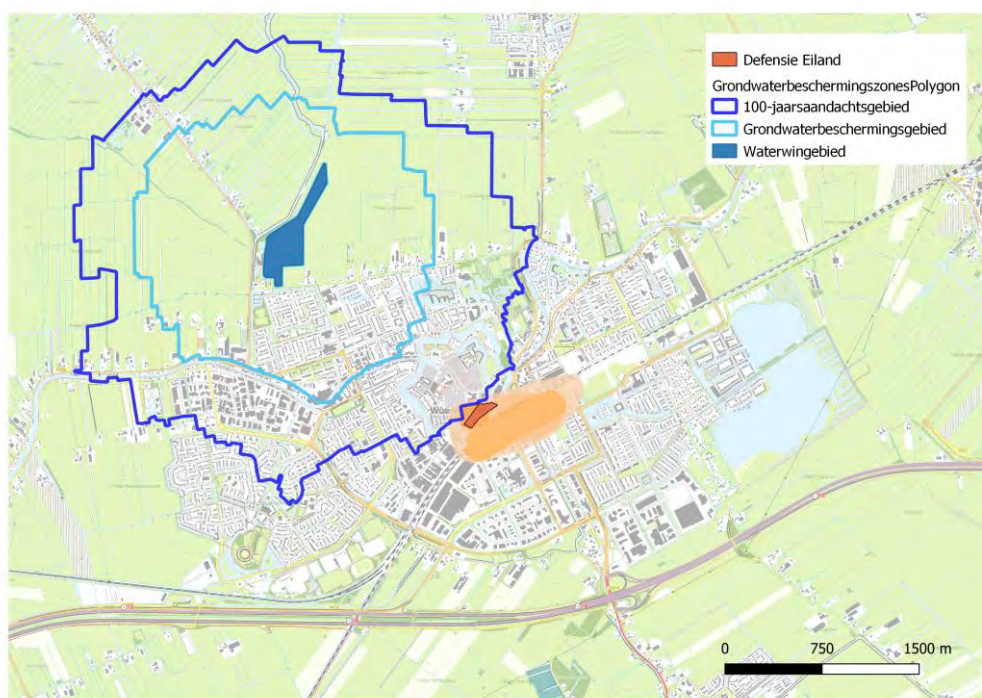
1.2 Case study Woerden

Ter plaatse van het Defensie Eiland, zie Figuur 1, in het stadscentrum van Woerden zijn verontreinigingen (o.a. VOCL) aanwezig in het eerste watervoerende pakket. Ook worden op meerdere locaties in het eerste watervoerende pakket andere mobiele verontreinigingen aangetroffen. De herkomst daarvan is niet altijd bekend, maar ze zijn vermoedelijk afkomstig van voormalig verontreinigde locaties en/of geïnfiltreerd vanuit de oude Rijn naar het grondwater.

Ten noorden van Woerden ligt een drinkwaterwinning van Oasen, met putten in het eerste watervoerende pakket. (Mede) door deze onttrekking worden de aanwezige verontreinigingen naar het noorden verplaatst.

Op dit moment wordt zeer beperkt grondwater uit het tweede watervoerende pakket onttrokken door Oasen. Het project ‘Vergrijzing van grondwater door menselijke invloeden met nadruk op langetermijneffecten’ richt zich echter op de lange termijn, waarmee op een periode van 100 jaar wordt bedoeld. Gezien de toenemende vraag naar drinkwater, is op een dergelijke lange termijn een (sterke) toename van grondwaterwinning uit het tweede watervoerende pakket niet uit te sluiten.

Acacia Water heeft in het verleden een grondwatermodel met stoftransport opgezet voor de regio Woerden, hierin zijn de verontreinigingen DC (dichlooretheen) en VC (vinylchloride) op het Defensie Eiland opgenomen (Acacia Water 2019).



Figuur 1 2 Overzicht locatie Defensie Eiland in Woerden, de verontreinigingspluim DC en VC (oranje tinten) en waterwingebied Kamerik van Oasen met grondwaterbeschermingsgebied (25-jaars beschermingszone en 100-jaars aandachtsgebied)

Dit grondwatermodel wordt gebruikt voor deze casestudie om drie hypothetische toekomstscenario's door te rekenen en de bijbehorende referentiesituatie. De scenario's hebben het doel om de impact van onderstaande hypothetische situaties op de verspreiding van verontreinigingen te onderzoeken:

- Scenario 1: wijdverbreide aanleg van BES in het eerste watervoerende pakket op en rondom het Defensie Eiland;
- Scenario 2: wijdverbreide aanleg van BES in het tweede watervoerende pakket ten zuiden van het Defensie Eiland;
- Scenario 3: wijdverbreide aanleg van BES in het tweede watervoerende pakket (tussen het 100-jaars aandachtsgebied en het de 25-jaars verblijftijdzone van de drinkwaterwinning).

Deze scenario's zijn doorgerekend voor 100 jaar en worden in deze rapportage toegelicht.

2 Model

Dit hoofdstuk beschrijft (1) de aanpassingen aan het grondwater- en stoftransportmodel en (2) de uitwerking van de toekomstscenario's en bijhorende referentiesituatie. Voor de volledige beschrijving van het model wordt verwezen naar Acacia Water, 2019.

Om de toekomstscenario's te kunnen modelleren, dienen eerst een aantal aanpassingen aan het grondwater- en stoftransportmodel te worden uitgevoerd:

- aanpassen t.b.v. referentiesituatie:
 - Detaillieren bodemopbouw van het tweede watervoerende pakket;
 - Aanpassen windebiet van Oasen;
 - Toevoegen diffuse verontreiniging in het eerste watervoerend pakket in heel Woerden.
- extra aanpassingen t.b.v. hypothetische toekomstscenario's:
 - Toevoegen bronnen van het bodemenergiesysteem aan het model.

2.1 Discretisatie

Het modelinstrumentarium voor Woerden bestaat uit een grof regionaal model voor grondwaterstroming (Modflow) en een gedetailleerder lokaal stoftransport-model rondom het Defensie Eiland (Modflow en MT3D), zie Figuur 3. Het regionale model heeft een gridgrootte variërend van 20 tot 300 m en het gedetailleerde model een uniforme gridgrootte van 10 m.



Figuur 3 Overzicht modelgrenzen regionaal model (blauw) en gedetailleerd lokaal model (rood)

2.2 Bodemopbouw

Tabel 1 geeft een overzicht van de bodemschematisatie ter plaatse van het Defensie Eiland in het grondwatermodel. Het tweede watervoerende pakket bestaat uit één dikke modellaag in het grondwatermodel. Omdat in de toekomstscenario's ook juist de impact van de bodemenergiesystemen op het tweede watervoerende pakket in kaart dient te worden gebracht, is deze modellaag gedetailleerd naar 5 modellagen. Uit de enkele diepe boringen beschikbaar in het DINoloket blijkt dat de bodemopbouw qua horizontale doorlatendheid niet eenduidig gelaagd is. Wel is het mogelijk dat lokaal dunne scheidende lagen voorkomen. Daarom is de doorlatendheid in de watervoerende lagen (modellaag 12, 14 en 16) gelijk gehouden en zijn tussen de watervoerende lagen dunne scheidende lagen (modellaag 13 en 15) aangebracht met een weerstand van respectievelijk 10 en 300 dagen.

Tabel 1 Bodemopbouw van het grondwatermodel ter plaatse van Defensie Eiland

Bodemopbouw	Modellaag oud	Modellaag nieuw	van tot [mNAP]	doorlaatvermogen [m ² /d]	weerstand [d]
deklaag	1	1	mv tot -1	5	
	2	2	-1 tot -3.4		1-1000
	3	3	-3.4 tot -7.6	10-100	
	4	4	-7.6 tot 8.3		5-5000
eerste watervoerende pakket	5	5	-8.3 tot -20	580-860	
	6	6	-20 tot -33	620-940	
	7	7	-33 tot -34		1-100
	8	8	-34 tot -40	1-250	
	9	9	-40 tot -41		100-150
	10	10	-41 tot -56	20-650	
eerste scheidende laag	11	11	-56 tot -65		5000-10000
tweede watervoerende pakket		12	-65 tot -79	390-620 (18 % totale kD)	
		13	-79 tot -80		10 d
		14	-80 tot -99	520-820 (24 % totale kD)	
		15	-99 tot -100		300 d
		16	-100 tot -150	1300-2060 (58 % totale kD)	

2.3 Onttrekking Oasen

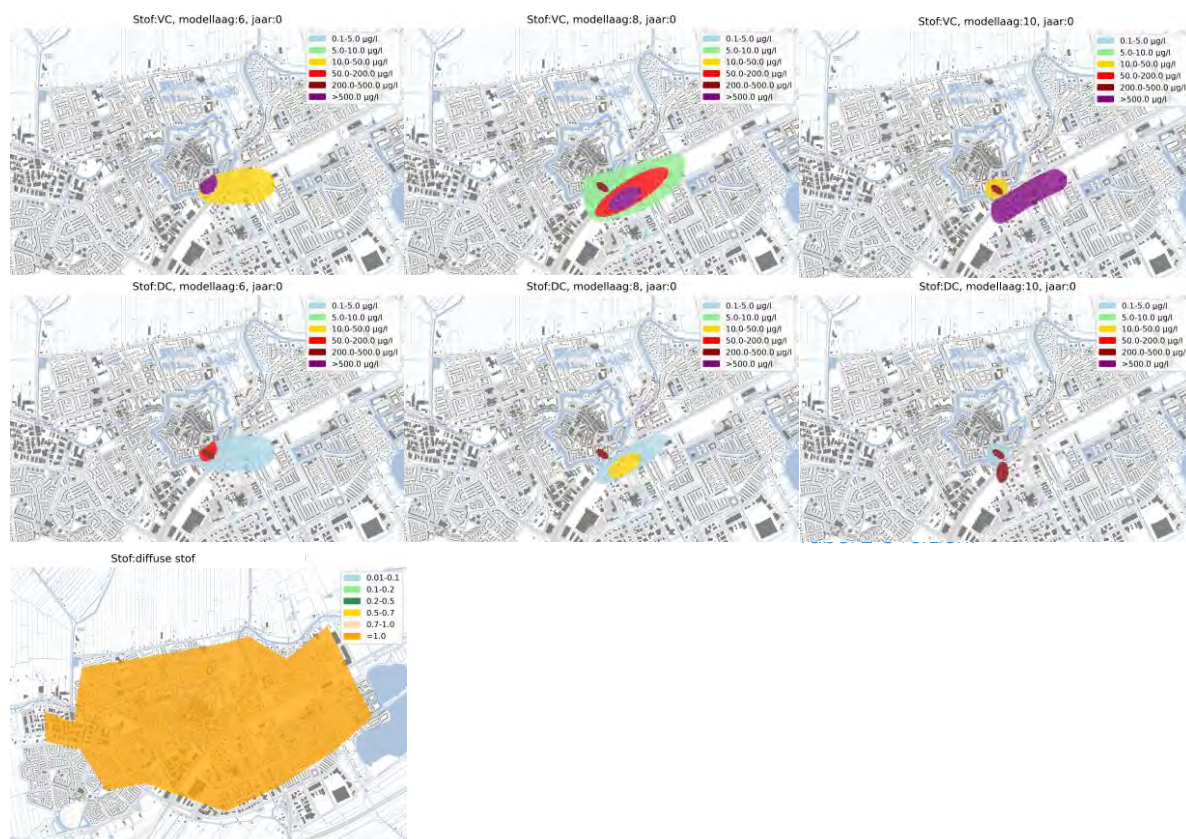
Voor de hypothetische toekomstscenario's wordt uitgegaan van een uitbreiding van het windebiet van Oasen naar het tweede watervoerende pakket. Zo wordt uit het eerste en het tweede watervoerende pakket ieder 2 Mm³/jaar onttrokken, in totaal dus 4 Mm³/jaar. De putten in het tweede watervoerende pakket worden op dezelfde coördinaten geplaatst als in het eerste watervoerende pakket. De debieten zijn recht evenredig over de putten verdeeld. In het eerste watervoerende pakket zijn de putfilters toegevoegd aan modellaag 5 en in het tweede watervoerende pakket aan modellaag 12.

Omdat de winning van Oasen gelegen is nabij de modelrand van het stoftransportmodel, is ook het regionale model doorgerekend met aangepaste winning en bodemopbouw. Dit is nodig om de juiste stijghoogterandvoorwaarden te verkrijgen voor het gedetailleerde model.

2.4 Verontreinigingen

De verontreinigingen (VC en DC) zijn opgenomen in het model zoals ze in 2019 bekend waren uit monitoringsgegevens (Acacia Water, 2019). Figuur 4 geeft dit weer voor de modellagen 6, 8 en 10 in het eerste watervoerende pakket. In modellaag 5 is alleen ter plekke van het Defensie Eiland (zaklaag) een naleverende bron van VC en DC opgenomen.

Om een effect van de bodemenergiesystemen op een diffuse verontreiniging in het watervoerende pakket te kunnen simuleren is aanvullend aan alle modellen t/m modellaag 6 een diffuse verontreiniging van "1" toegekend onder het bebouwde deel van Woerden. De naleverende bron in modellaag 5 is in dit model verwijderd.



Figuur 4 initiële concentraties van VC in modellaag 6, 8 en 10 (bovenste rij) en DC in modellaag 6, 8 en 10 (middelste rij) en diffuse stof (onderste rij) waarde van "1", op gelijke wijze ingevoerd in de modellen 1 t/m 6 onder het bebouwde gebied van Woerden.

Voor de stoffen VC en DC is een afbraak toegekend aan het model op basis van de maximale halfwaardetijd (Tabel 3) op basis van ervaringsgetallen van Bioclear Earth in de regio (Bioclear Earth, 2019). Voor de diffuse verontreiniging is aangenomen dat afbraak niet optreedt.

Tabel 3 Afbraak voor de drie verontreinigingsstoffen in het model

Stof	Toelichting	halfwaarde tijd (jaar)
Diffuse stof	Geen afbraak	0
VC	Meest aannemelijke afbraak	20
DC	Meest aannemelijke afbraak	14

2.5 Referentiesituatie

De referentiesituatie betreft de situatie waarbij Oasen 4 Mm³/jaar tezamen uit het eerste en tweede watervoerende pakket onttrekt en de verontreinigingen in het model aanwezig zijn, zoals in & 2.4 omschreven is. In de referentiesituatie zijn geen bodemenergiesystemen geplaatst of scheidende lagen doorboord.

Dit betreft dus ook een hypothetische situatie, aangezien er in de werkelijke situatie niet 2 Mm³/jaar uit het tweede watervoerende pakket onttrokken wordt door Oasen. Voor deze referentiesituatie is de verspreiding van de drie stoffen voor 100 jaar doorgerekend.

2.6 Scenario's

Met het model zijn vervolgens drie hypothetische toekomstscenario's doorgerekend voor 100 jaar, waarbij energieopslagsystemen (BES) aan het model zijn toegevoegd.

Modellerwijze bodemenergiesysteem

De bodemenergiesystemen zijn steeds op uniforme wijze aan het model toegevoegd. Het systeem bestaat uit twee warme (op 25 m afstand van elkaar) en twee koude bronnen (op 25 m afstand van elkaar). De afstand tussen de warme en koude bronnen bedraagt circa 150 m. De filterlengte bedraagt ongeveer 30 m. Voor BES in het eerste watervoerende pakket betekent dit dat de filters in modellaag 6, 8 en 10 worden geplaatst en voor BES in het tweede watervoerende pakket in modellaag 12 en 14.

Iedere put onttrekt of infiltreert 75.000 m³ water per seizoen. Dus in de winter wordt bijvoorbeeld 150.000 m³ uit de twee warme bronnen tezamen onttrokken (bovengronds gemengd) en vervolgens wordt 150.000 m³ geïnfilteerd in de twee koude bronnen. De debieten van alle bronnen zijn gelijk gehouden.

Aan de te infiltreren put dient ook een infiltratieconcentratie aangegeven te worden in het model. Deze concentratie is steeds bepaald op basis van de concentratie van het onttrokken grondwater, die door het model berekend wordt gedurende de simulatie. Omdat de berekende concentraties alleen na een modelberekening uit de resultaten kunnen worden ingelezen, zijn steeds korte modelperioden na elkaar doorgerekend. 1 jaar is opgedeeld in 10 korte modelruns. Het winter- en zomerseizoen is ingedeeld in 4 modelruns van respectievelijk 10, 20, 30 en 30 dagen en de rustperiode is steeds met 1 modelrun doorgerekend. Dit is 100 jaar herhaald, wat resulteert in 1000 kortere modelruns, die achter elkaar zijn doorgerekend. Tabel 4 geeft dit weer voor 1 jaar.

Tabel 4 Overzicht modelsimulaties voor 1 jaar

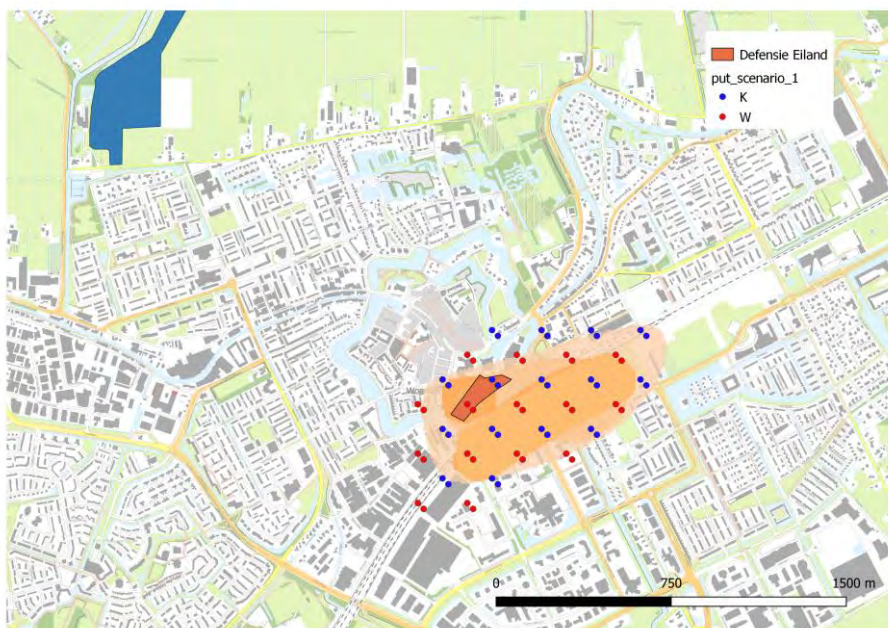
Simulatie 1 jaar	Periode seizoen	deelmodel 1	deelmodel 2	deelmodel 3	deelmodel 4
Winterseizoen	90 d*	10 d	20 d	30 d	30 d
Lente (rust)	92 d	92d		nvt	nvt
Zomerseizoen	90 d	10 d	20 d	30 d	30 d
Herfst (rust)	93 d	93 d		nvt	nvt
Totaal	365 d		10 opeenvolgende modelruns, variërend van 10 d tot 93 d		

*d is dagen

Scenario 1: BES t.p.v. Defensie Eiland in watervoerend pakket 1

Rondom het Defensie Eiland zijn 15 bodemenergiesystemen geplaatst in het eerste watervoerende pakket, zie Figuur 5. De filters staan in de modellagen 6, 8 en 10. Uit deze modellagen wordt respectievelijk 60%, 15% en 25% van het totale putdebiet van de bodemenergiesystemen onttrokken.

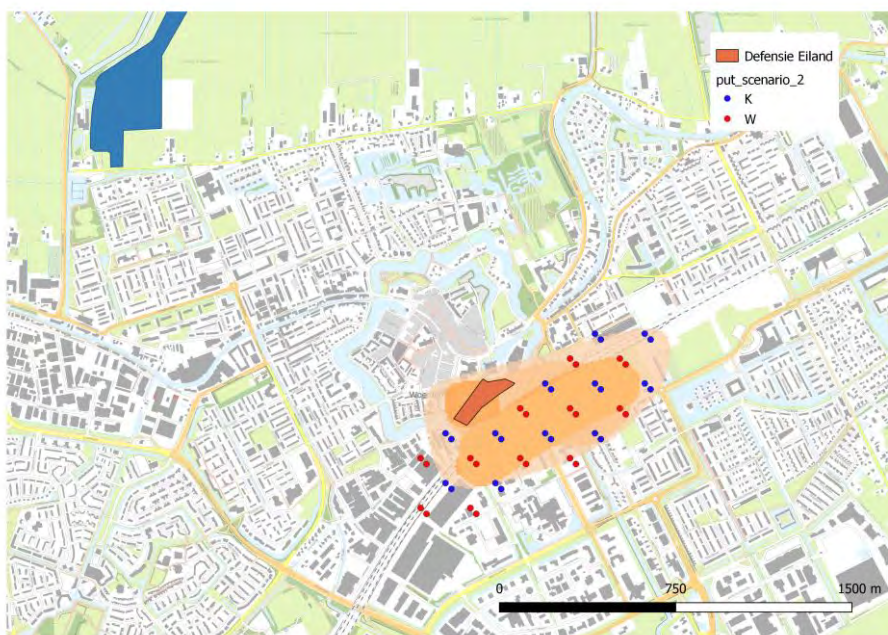
Het doel van dit scenario is om te verkennen hoe de bodemenergiesystemen de verspreiding van de VC en DC verontreinigingen lateraal en vertikaal beïnvloeden.



Figuur 5 Locatie warme (W) en koude (K) bronnen bodemenergiesystemen voor scenario 1

Scenario 2: BES t.p.v. Defensie Eiland in watervoerend pakket 2

Ten zuiden van het Defensie Eiland zijn 11 bodemenergiesystemen geplaatst in het tweede watervoerende pakket, zie Figuur 6. De filters staan in de modellagen 12 en 14. Uit deze modellagen wordt respectievelijk 43% en 57% van het totale putdebiet van de bodemenergiesystemen onttrokken.



Figuur 6 Locatie warme (W) en koude (K) bronnen bodemenergiesystemen voor scenario 2

Daarnaast is ervan uitgegaan dat de boringen niet goed zijn afgewerkt waardoor lekkage langs de boorgatwand optreedt. Dit is gesimuleerd door de weerstand van de scheidende laag tussen het eerste en tweede watervoerende pakket (modellaag 11) ter plaatse van de putten aan te passen naar 10 dagen.

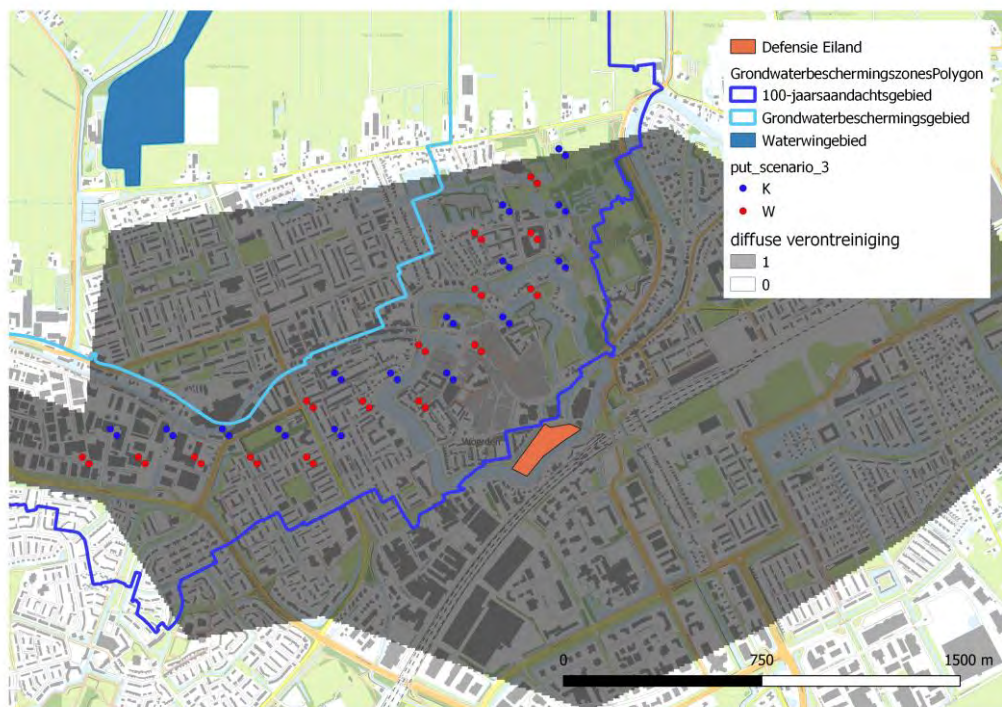
Het doel van dit scenario is om te verkennen hoe de bodemenergiesystemen de verspreiding van de VC en DC verontreinigingen richting het tweede watervoerende pakket en richting de winputten van Oasen beïnvloeden.

Scenario 3: BES t.p.v. grens grondwaterbeschermingsgebied in watervoerend pakket 2

Tussen de 25-jaars beschermingszone en het 100-jaars aandachtsgebied van de drinkwaterwinning zijn 15 bodemenergiesystemen geplaatst in het tweede watervoerende pakket, zie Figuur 7. De filters staan in de modellagen 12 en 14. Uit deze modellagen wordt respectievelijk 43% en 57% van het totale putdebiet van de bodemenergiesystemen onttrokken.

Daarnaast is voor dit scenario de weerstand van de scheidende laag tussen het eerste en tweede watervoerende pakket (modellaag 11) ter plaatse van de putten aangepast naar 10 dagen (om lekkende boorgaten te simuleren).

Het doel van dit scenario is om te verkennen hoe de bodemenergiesystemen de verspreiding van diffuse verontreinigingen, die naar verwachting aanwezig zijn ter plaatse van de bodemenergiesystemen, naar het tweede watervoerende en richting de winputten van Oasen beïnvloeden.



Figuur 7 Locatie warme (W) en koude (K) bronnen bodemenergiesystemen voor scenario 3

3

Modelresultaten

In dit hoofdstuk worden de resultaten van de hypothetische toekomstscenario's toegelicht. Dit wordt gedaan door de resultaten te vergelijken met de referentiesituatie, waarin geen bodemenergiesystemen zijn gemodelleerd.

Bijlage 1 geeft een overzicht van de berekende verspreiding als gevolg van de verschillende scenario's per modellaag.

3.1 Scenario 1: BES t.p.v. Defensie Eiland in watervoerend pakket 1

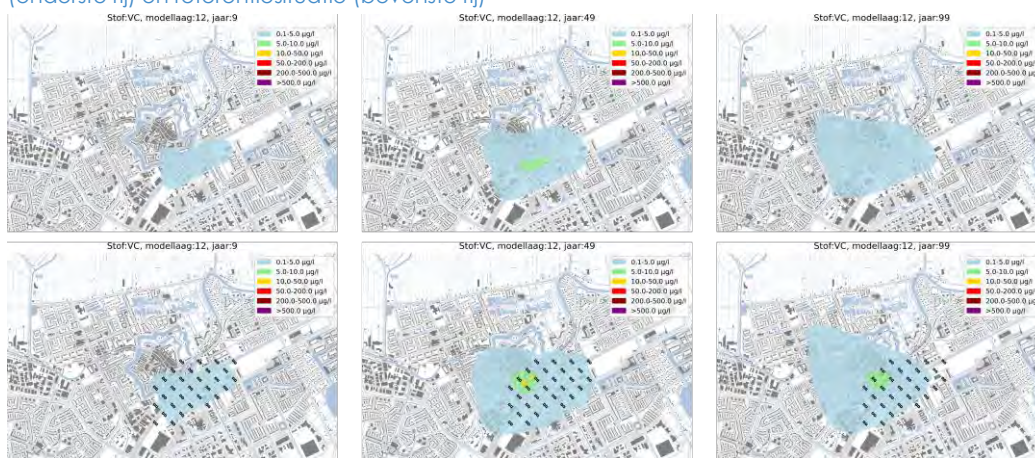
In dit scenario wordt bodemenergie toegepast in hetzelfde watervoerende pakket als waar de verontreiniging aanwezig is. Bovenin het pakket is een vaste naleverende verontreiniging aanwezig. Door het afwisselend onttrekken en infiltreren van de bodemenergieputten wordt de VC-verontreiniging, die in beginsel nog gelaagd is opgenomen in het model, direct gemengd. Tevens treedt er door het onttrekken en infiltreren meer verspreiding op van de naleverende bron. De verspreiding van de verontreiniging ziet er daarom na enkele jaren vrijwel gelijk uit in alle modellagen van het eerste watervoerend pakket (zie bijlage 1). In de referentiesituatie blijft daarentegen de gelaagdheid van de verontreiniging deels intact en blijven de concentraties onderin het eerste watervoerende pakket lager dan bovenin.

Het verontreinigde gebied in het eerste watervoerende pakket neemt toe door het plaatsen van bodemenergiesystemen. Zo berekent het model na ongeveer 100 jaar bodemenergiebedrijf verontreinigd grondwater in de zuidelijk gelegen putten van de drinkwatervoorziening en is het beïnvloede gebied ongeveer 3-maal zo groot als in de referentie. In de referentie bereikt de verontreiniging het puttenveld niet met concentraties groter dan 0.1 µg/l.

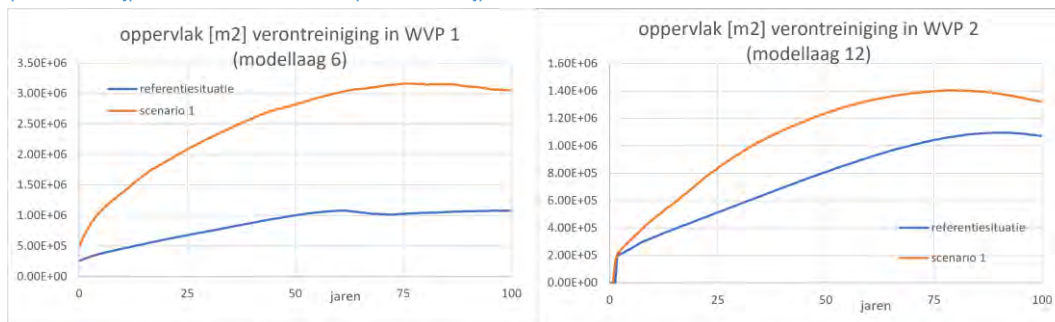
In de referentie en als gevolg van het scenario treedt (geringe) verspreiding van VC verontreiniging naar het tweede watervoerende pakket op. In de referentiesituatie blijft de concentratie wel beduidend lager op de lange termijn (ongeveer een factor 2 na 100 jaar). Ook in het tweede watervoerende pakket is het beïnvloede gebied net iets groter als gevolg van bodemenergie (circa 1.2-maal zo groot) dan in de referentie.



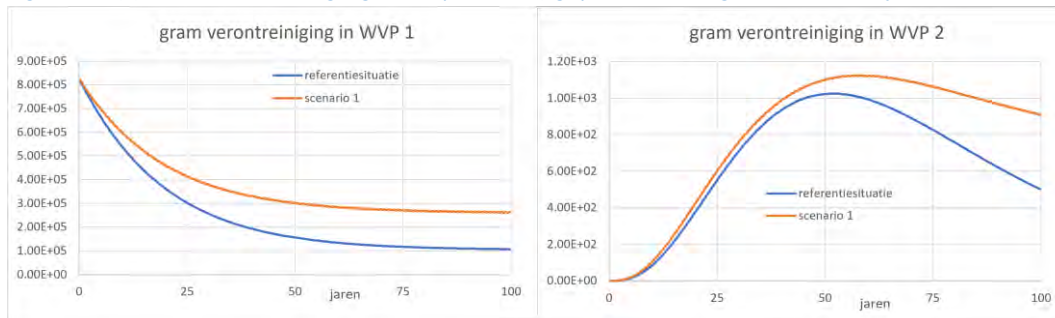
Figuur 8 Verspreiding van VC in het eerste watervoerende pakket (modellaag 6) voor scenario 1 (onderste rij) en referentiesituatie (bovenste rij)



Figuur 9 Verspreiding van VC bovenin het tweede watervoerende pakket (modellaag 12) voor scenario 1 (onderste rij) en referentiesituatie (bovenste rij)



Figuur 10 oppervlak verontreinigd gebied (VC > 0.1 µg/l) in modellaag 6 en 12 in de tijd



Figuur 11 Totale massa VC in WVP 1 en WVP 2 in de tijd

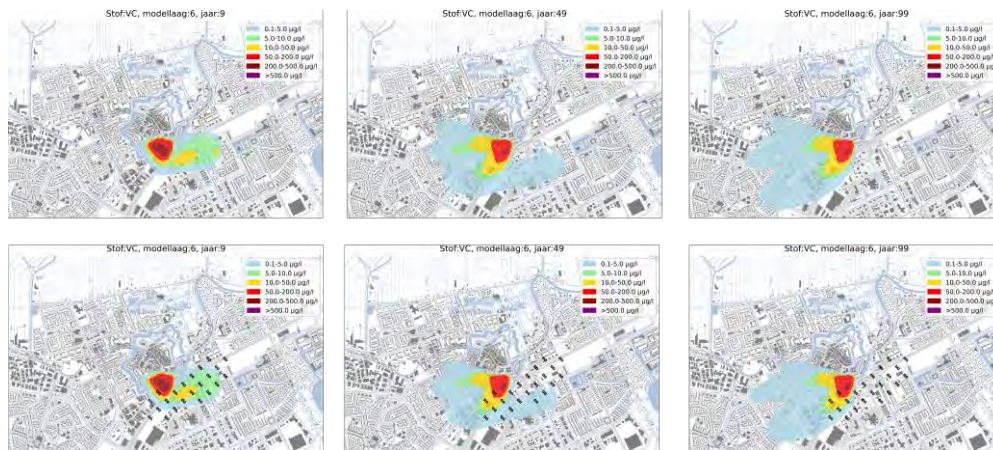
3.2 Scenario 2: BES t.p.v. Defensie Eiland in watervoerend pakket 2

In dit scenario worden bodemenergiesystemen geplaatst in het tweede watervoerende pakket en is aangenomen dat er lekkages zijn ter plaatse van de bodemenergieputten.

Door het afwisselend onttrekken en infiltreren van de bodemenergieputten in het dieper gelegen watervoerende pakket, wordt de VC-verontreiniging iets sterker omlaag getrokken naar het tweede watervoerende pakket. Hierdoor treedt iets minder verspreiding op van de VC verontreiniging in het eerste watervoerende pakket (Figuur 14). Het beïnvloede gebied in het eerste watervoerende pakket neemt af met een factor 0.9.

Door het onttrekken en infiltreren van de bodemenergieputten treedt wel direct verspreiding van VC naar het tweede watervoerende pakket op. Ook treedt nu verspreiding op naar de onderste modellaag van het tweede watervoerende pakket. Het verontreinigde gebied in het tweede watervoerende pakket is met bodemenergie de eerste periode groter (met een factor van circa 1.5). Ook stroomt er meer verontreinigde stof naar het tweede watervoerende pakket, al neemt dit verschil mettertijd ook weer af als gevolg van afbraak.

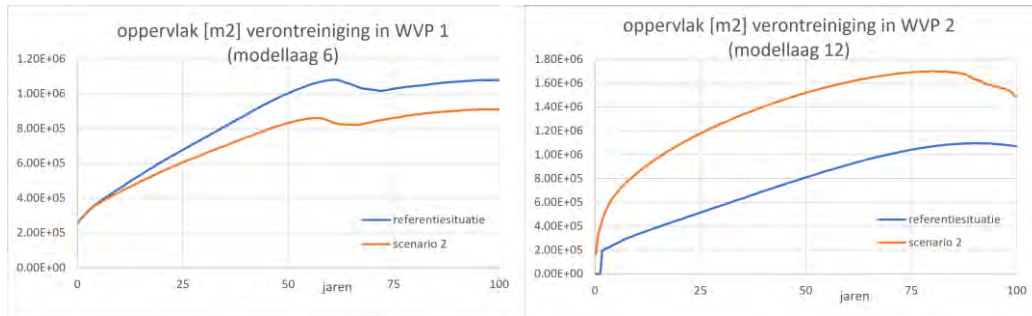
Als gevolg van de bodemenergiesystemen in het tweede watervoerende pakket stroomt de verontreiniging in het tweede watervoerende pakket sterker in de richting van de putten van de drinkwatervoorziening van Oasen dan in de referentie. In het eerste watervoerende pakket is dit niet het geval.



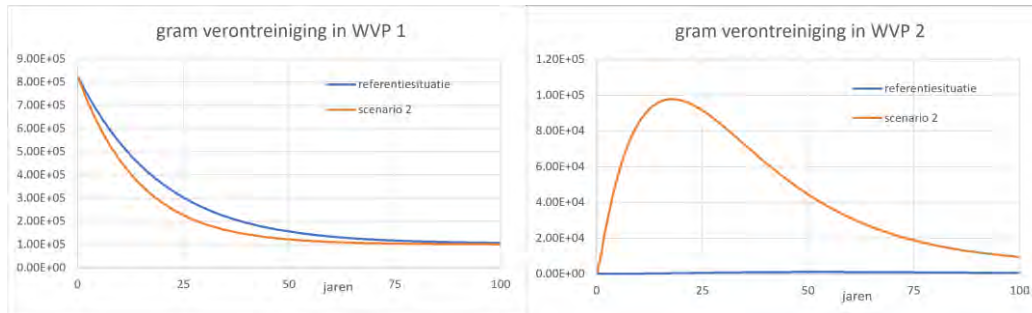
Figuur 12 Verspreiding van VC in het eerste watervoerende pakket (modellaag 6) voor scenario 2 (onderste rij) en referentiesituatie (bovenste rij)



Figuur 13 Verspreiding van VC bovenin het tweede watervoerende pakket (modellaag 12) voor scenario 2 (onderste rij) en referentiesituatie (bovenste rij)



Figuur 14 oppervlak verontreinigd gebied (VC > 0.1 µg/l) in modellaag 6 en 12 in de tijd



Figuur 15 Totale massa VC in WVP 1 en WVP 2 in de tijd

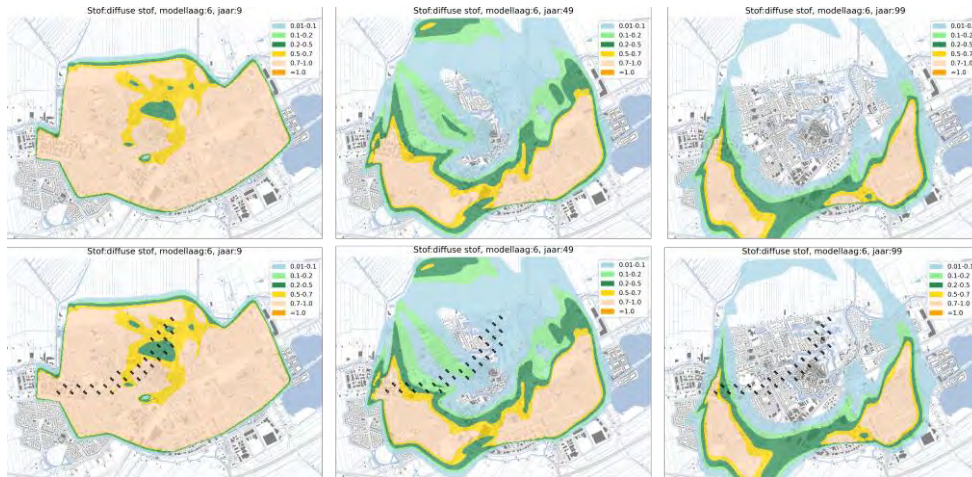
3.3 Scenario 3: BES t.p.v. grens grondwaterbeschermingsgebied in watervoerend pakket 2

Ter plaatse van het bebouwde gebied is nu een diffuse verontreiniging aangenomen in heel Woerden tot middenin het eerste watervoerende pakket (t/m modellaag 6). Aan de noordkant van Woerden heerst een infiltratiesituatie. Ondanks dat de deklaag en het eerste watervoerende pakket bovenin een verontreiniging bevatten, neemt de concentratie mettertijd af. Dit komt omdat de neerslag de verontreiniging langzaam uitspoelt naar de diepere ondergrond.

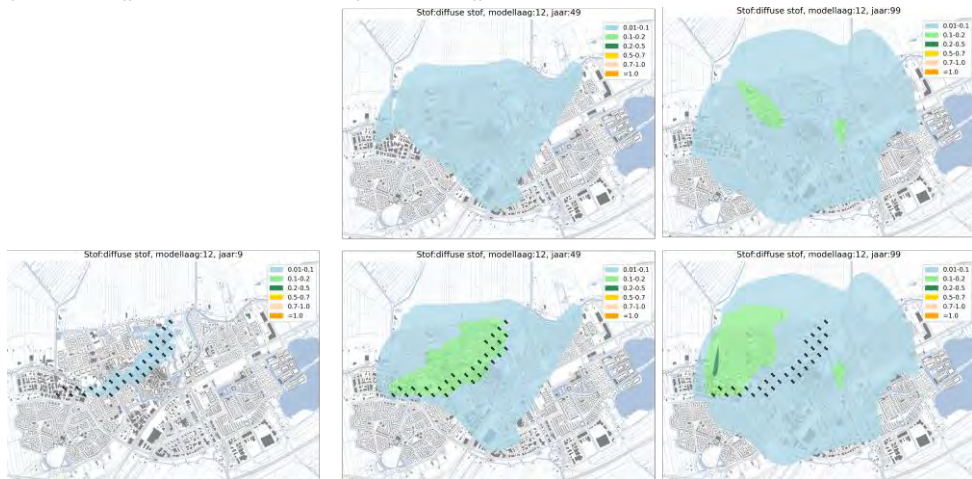
Als gevolg van de grondwaterstroming stroomt de verontreiniging in het eerste watervoerende pakket in noordelijke richting af. Een deel van de verontreiniging wordt ook afgevangen door de putten van de drinkwatervoorziening. De afstroming van de verontreiniging in het eerste watervoerende pakket is in de referentie ongeveer gelijk aan de afstroming bepaald met bodemenergiesystemen in het tweede watervoerende pakket.

Net zoals bij de referentie met VC verspreidt de diffuse verontreiniging zich uiteindelijk tot in het tweede watervoerende pakket vanwege de lagere stijghoogte in het tweede watervoerende pakket. Door de bodemenergiesysteempotten (en lekkages) in het tweede watervoerende pakket wordt de verontreiniging sterker naar het tweede watervoerende pakket getrokken. Hierdoor neemt vooral de hoeveelheid verontreinigde stof in het tweede watervoerende pakket sterk toe ten opzichte van de referentie. De hoeveelheid neemt toe met een factor 4. Een deel van deze verontreiniging stroomt naar het winveld van Kamerik, en wordt daar onttrokken door de winputten. Hierdoor neemt de massa verontreiniging in het model in het tweede watervoerende pakket af.

In zowel de referentie als in het scenario stroomt er in het eerste en tweede watervoerende pakket mettertijd diffuse verontreiniging naar de drinkwaterputten. Wel zijn de concentraties in het tweede watervoerende pakket met bodemenergiesystemen hoger.



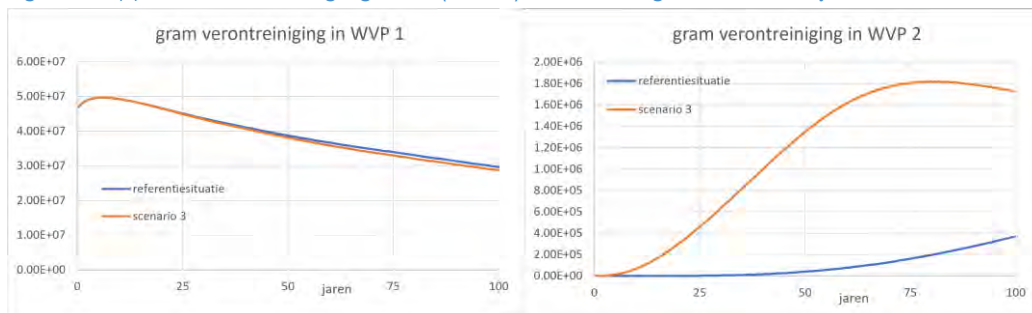
Figuur 16 Verspreiding van diffuse stof in het eerste watervoerend pakket (modellaag 6) voor scenario 3 (onderste rij) en referentiesituatie (bovenste rij)



Figuur 17 Verspreiding van diffuse stof bovenin het tweede watervoerend pakket (modellaag 12) voor scenario 3 (onderste rij) en referentiesituatie (bovenste rij)



Figuur 18 oppervlak verontreinigd gebied (> 0.01) in modellaag 6 en 12 in de tijd



Figuur 19 Totale massa diffuse stof in WVP 1 en WVP 2 in de tijd

In Figuur 18 is zichtbaar dat na ongeveer 27 jaar in de referentiesituatie in het tweede watervoerende pakket verontreinigingen worden berekend. In Figuur 19 lijkt dat de massa pas na ongeveer 45 jaar toeneemt in het tweede watervoerende pakket. Tussen de 27 en 45 jaar zijn de berekende concentraties in de referentiesituatie nog erg laag, waardoor op de schaal van de grafiek in Figuur 19 nog geen effect waarneembaar is.

4

Conclusies

Om inzicht te krijgen in het effect van het plaatsen van bodemenergiesystemen op de verspreiding van aanwezige verontreinigingen zijn een 3-tal hypothetische scenario's doorgerekend.

Uit de resultaten van de scenario's blijkt dat het plaatsen van bodemenergiesystemen in hetzelfde watervoerende pakket ertoe leidt dat de verontreiniging instantaan "gemixt" wordt over de hele diepte van het filterlengte. Daarnaast neemt de verticale en horizontale verspreiding toe omdat de putten de verontreiniging sterker heen en weer verplaatsen door het pompen.

Het plaatsen van bodemenergiesystemen in het tweede pakket, waarbij lekkage van boorgatwanden aannemelijk is, leidt ertoe dat de verontreiniging binnen enige jaren verspreid wordt tot in het tweede watervoerende pakket. De uiteindelijke hoeveelheid verontreinigde stof neemt hierdoor toe in het tweede watervoerende pakket.

Indien de locaties van bodemenergieputten dichtbij andere belanghebbende zijn (bv. een drinkwatervoorziening) dan kan dit ertoe leiden dat de verontreinigingen afstromen naar de andere belanghebbenden. Dit betekent een reëel risico voor de andere gebruikers van het grondwatersysteem. Om deze risico's te kunnen beoordelen is het belangrijk inzicht te hebben in (1) het lokale stromingspatroon en beïnvloeding daarvan door de bodemenergieputten en (2) betrouwbaar inzicht in de mate van afbraak en retardatie. Een eventueel risico kan gemitigeerd worden door de bodemenergiesystemen uit te rusten met (bovengrondse) zuivering.

In deze case study Woerden is de stijghoogte in het tweede watervoerende pakket lager dan in het eerste watervoerende pakket. Hierdoor stroomt van nature de verontreiniging naar het tweede watervoerende pakket. Door het toepassen van bodemenergiesystemen (en door lekke boorgatwanden) wordt deze stroming versterkt, waardoor de verspreiding richting het tweede watervoerende pakket substantieel toeneemt. Indien de bodemenergiesystemen in het tweede watervoerende pakket bestaan uit gesloten systemen (lussen), dan wordt er geen water onttrokken en geïnfilteerd in het tweede watervoerende pakket. Wel bestaat dan nog steeds het risico dat de boorgaten voor de lussen niet goed worden afgewerkt. In geval van lekkages na het plaatsen van de lussen zal ook de verspreiding van verontreiniging naar het tweede watervoerende pakket groter zijn dan in de referentiesituatie.

In de hypothetische situatie dat de stromingssituatie in de ondergrond in de referentiesituatie andersom is (van het tweede watervoerende pakket naar het eerste watervoerende pakket), dan zal het risico van verspreiding van verontreiniging van het eerste naar het tweede watervoerende pakket naar verwachting niet toenemen als gevolg van het plaatsen van gesloten bodemenergiesystemen (met lussen). Indien een open bodemenergiesysteem (met putten) wordt geplaatst is het in dat geval nog steeds mogelijk

dat verspreiding richting het tweede watervoerende pakket plaatsvindt, lokaal bij de putten tijdens het onttrekken.

5 Literatuur

- Acacia Water, 2017. Grondwatermodel Woerden, Modelopbouw, stroombaanberekeningen en stoftransportberekeningen;
- Bioclear Earth, 2019. Onderbouwing NA pluim Defensie-eiland te Woerden. 20195499/12044.

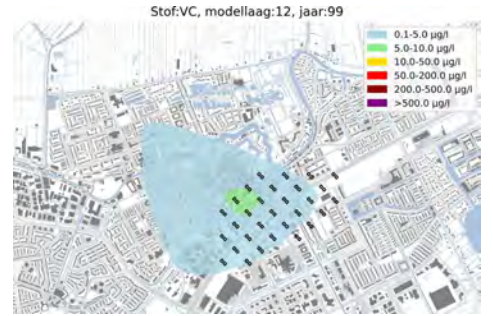
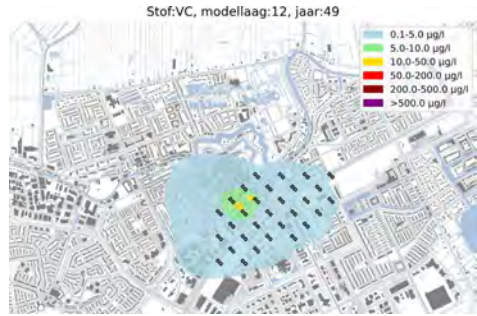
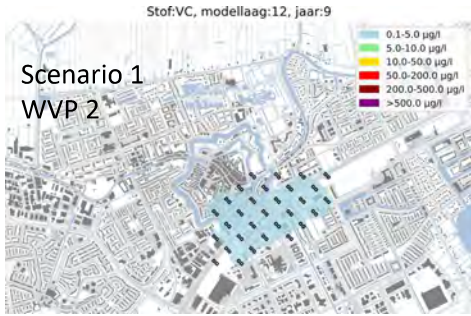
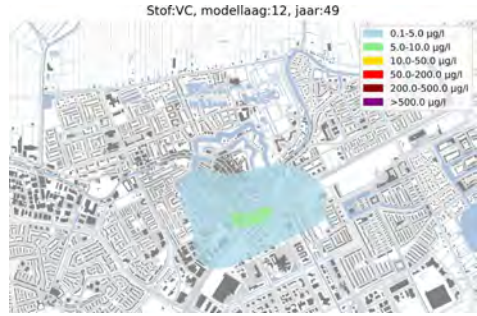
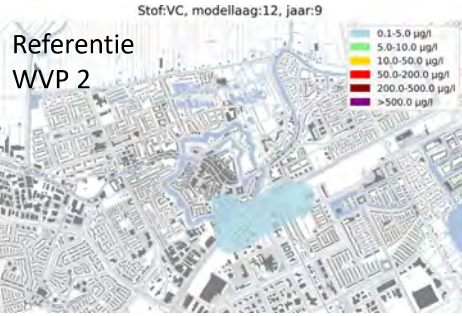
Bijlage 1

Scenario 1

Weergave van referentie en scenario 1

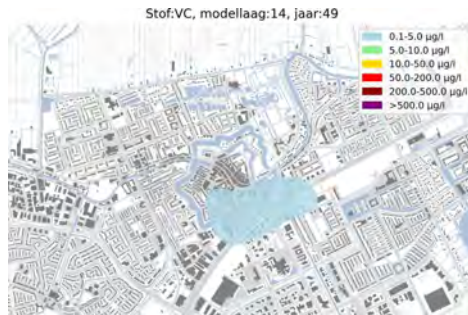
Na 10, 50 en 100 jaar

Voor de verschillende modellagen in WVP 1 en WVP 2



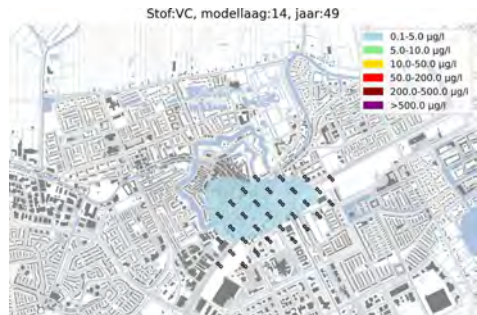
Referentie
WVP 2

Geen effect



Scenario 1
WVP 2

Geen effect



Geen effect in modellaag 16 in 100 jaar tijd

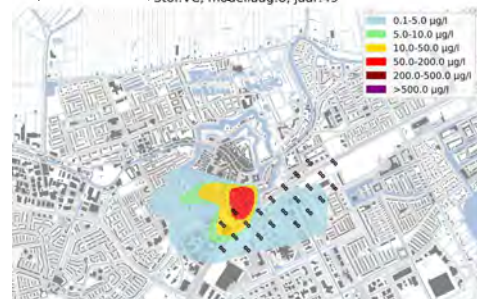
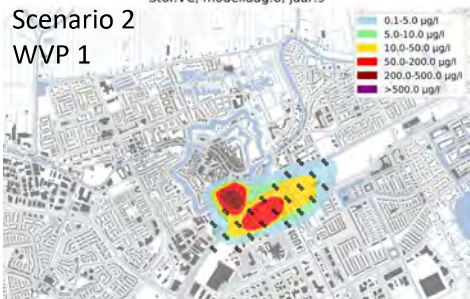
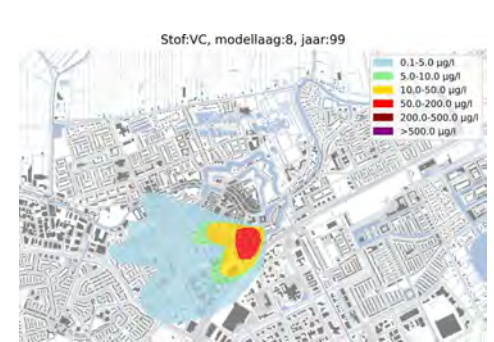
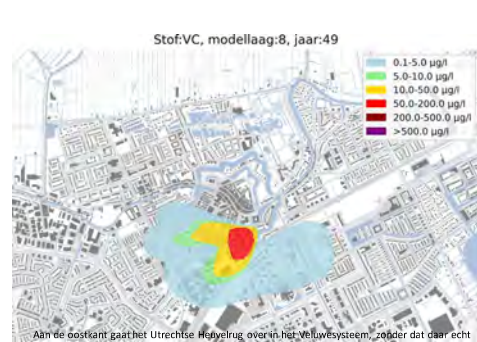
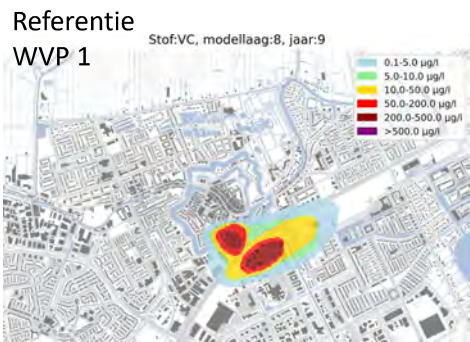
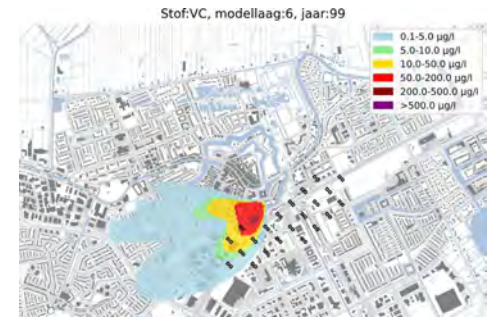
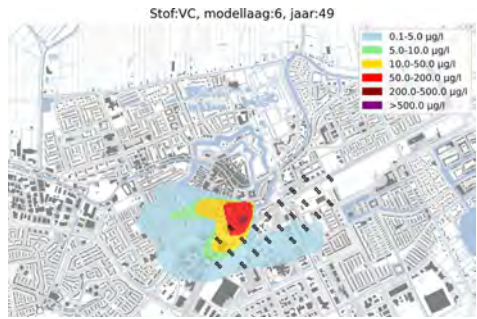
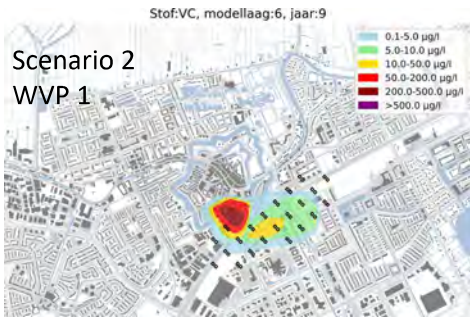
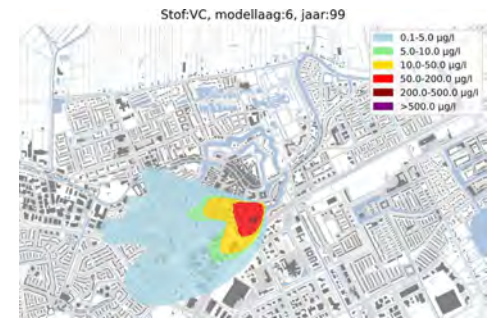
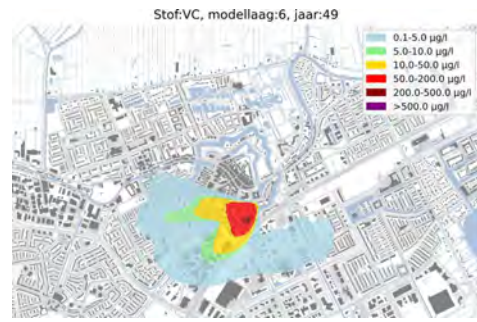
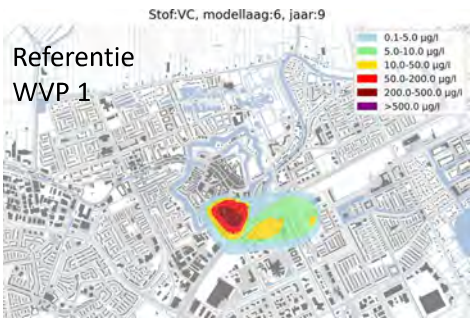
Bijlage 1

Scenario 2

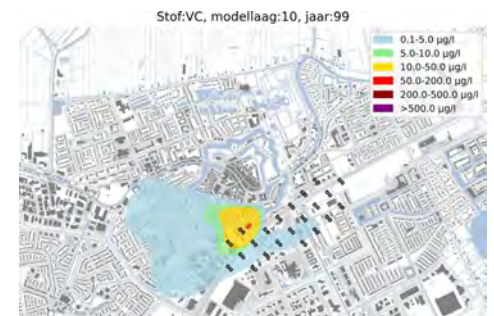
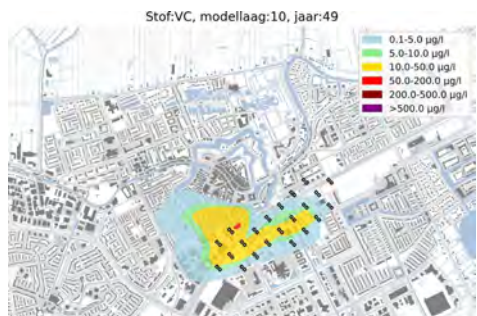
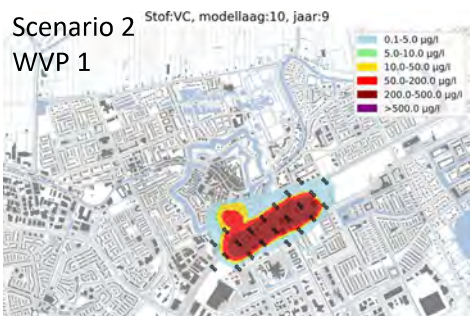
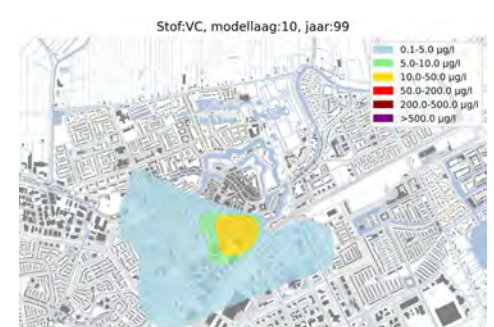
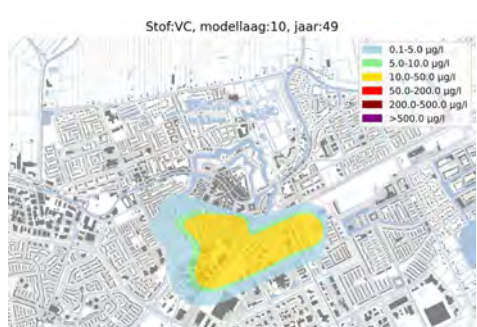
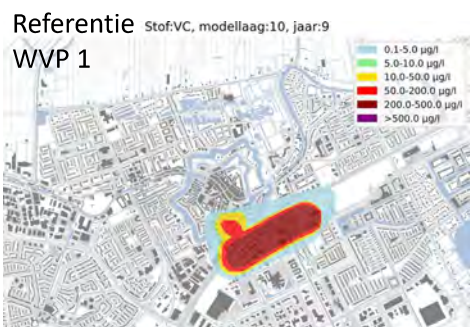
Weergave van referentie en scenario 2

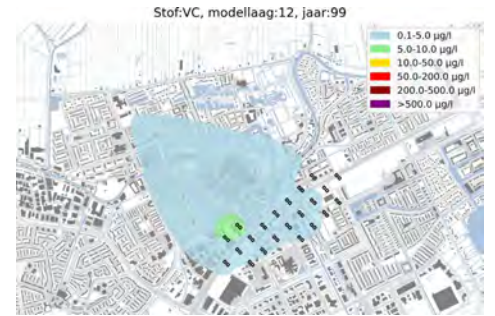
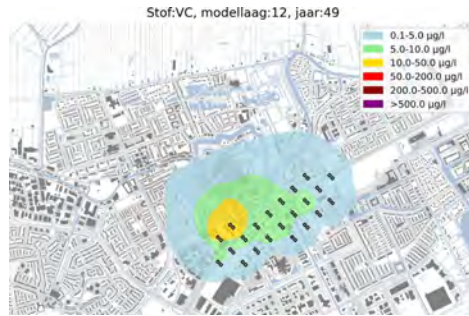
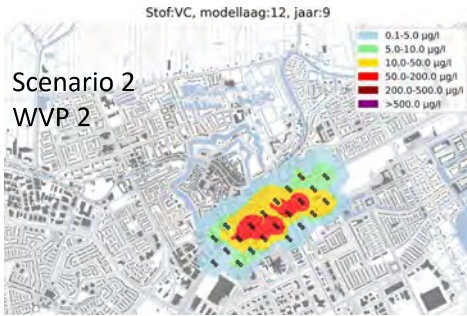
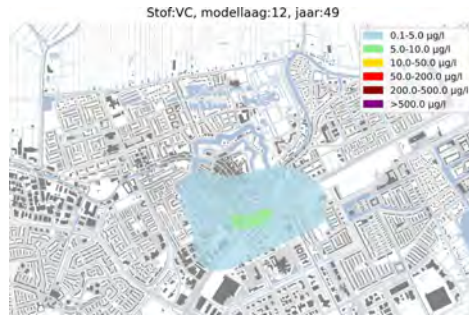
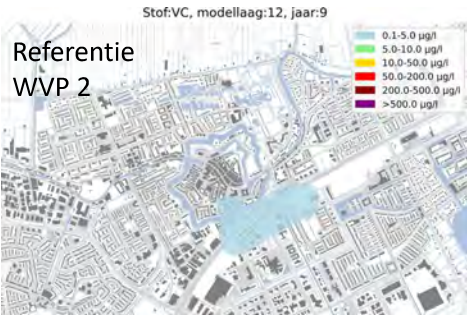
Na 10, 50 en 100 jaar

Voor de verschillende modellagen in WVP 1 en WVP 2



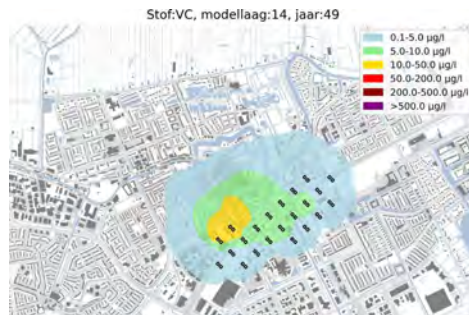
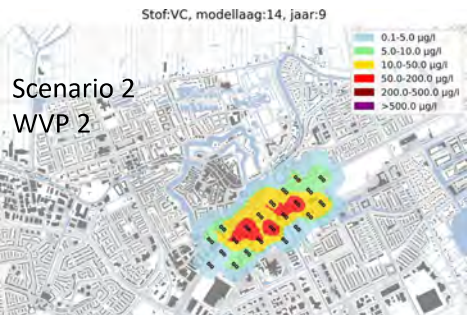
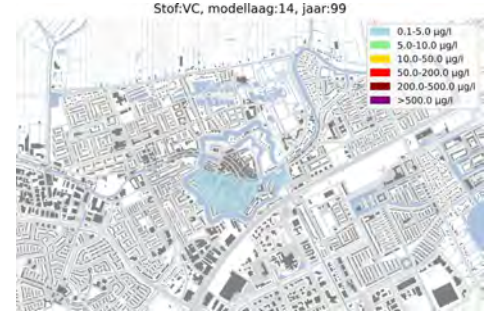
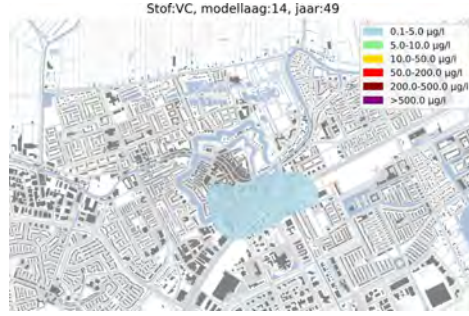
Aan de oostkant gaat het Utrechtse Houtveld over in het Velluwesysteem, zonder dat daar echt sprake is van een "voet" (vanaf het oostelijke oever van de mNAP onder "flank").





Referentie
WVP 2

Geen effect

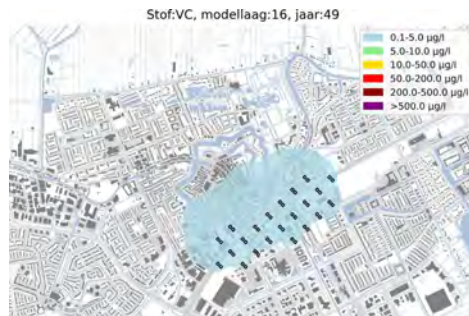
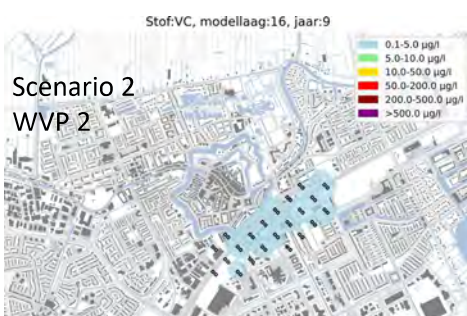


Referentie
WVP 2

Geen effect

Geen effect

Geen effect



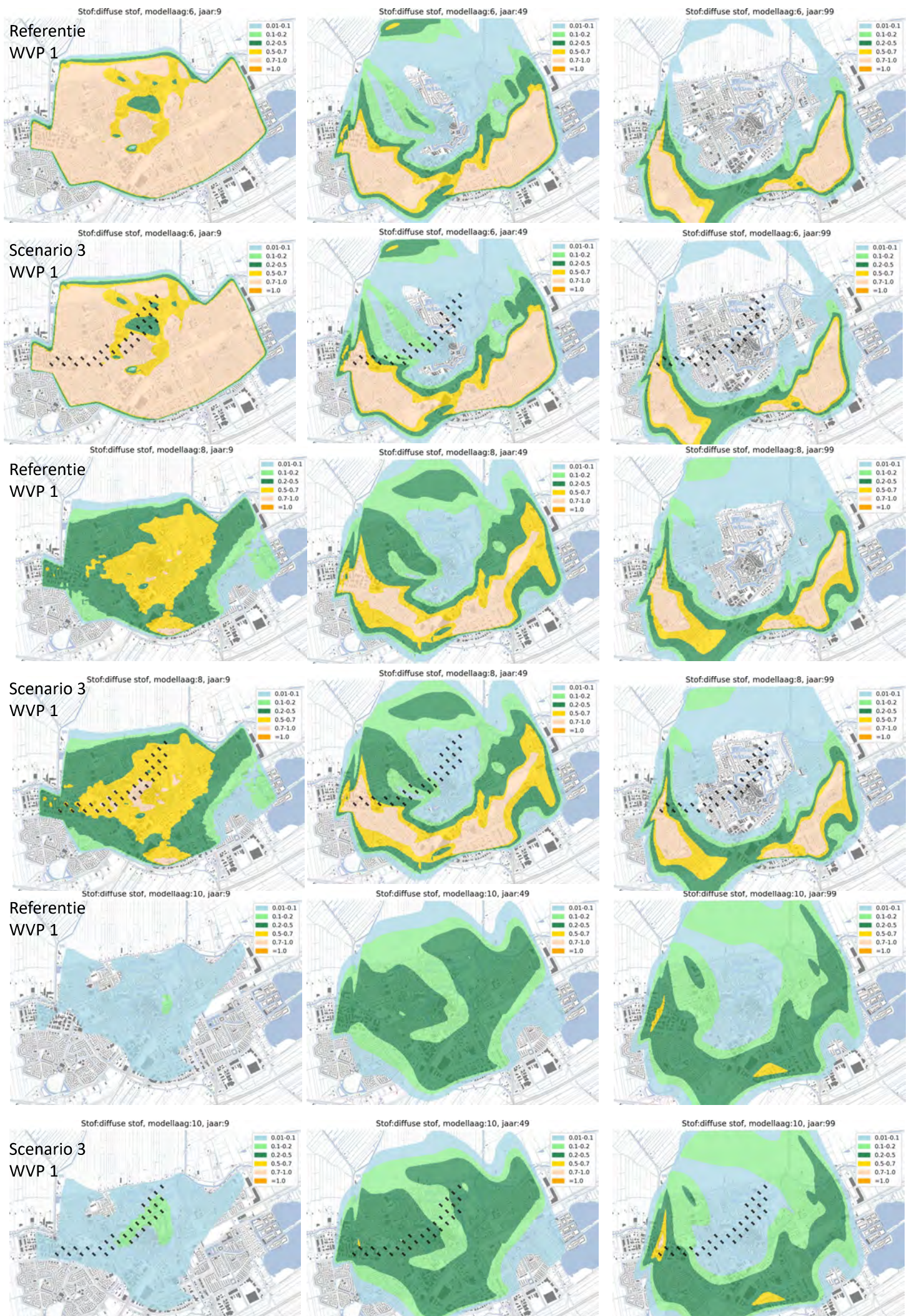
Bijlage 1

Scenario 3

Weergave van referentie en scenario 3

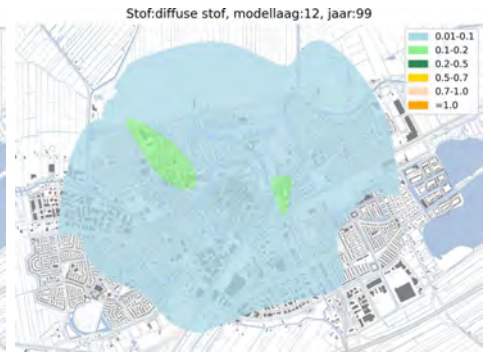
Na 10, 50 en 100 jaar

Voor de verschillende modellen in WVP 1 en WVP 2

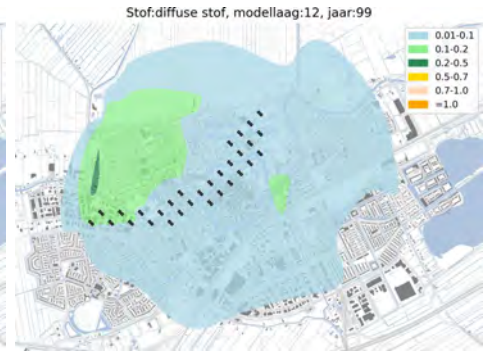
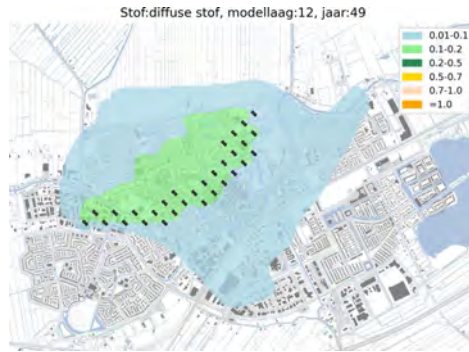
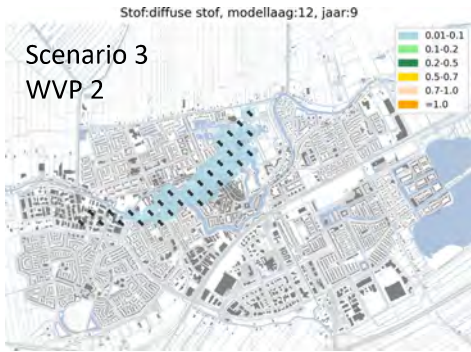


Referentie
WVP 2

Geen effect



Scenario 3
WVP 2



Referentie
WVP 2

Geen effect

Geen effect



Scenario 3
WVP 2



Referentie
WVP 2

Geen effect

Geen effect

Scenario 3
WVP 2

Geen effect





van Hogendorpplein 4
2805 BM Gouda

Telefoon: 0182 - 686 424
Internet: www.acaciawater.com
Email: info@acaciawater.com



Kennisimpuls
WATERKWALITEIT