

# Verkennend onderzoek Water

**Monding Vorstermolenbeek [ZM\_113\_R]**

**KRW-ZN DP-5 Wp-5.1.2**

**Rijkswaterstaat**

25 april 2023

## Contactpersoon

**ARCADIS NEDERLAND B.V.**

Arcadis Nederland B.V.  
Postbus 33  
6800 LE Arnhem  
Nederland

---

# Inhoudsopgave

<b>Samenvatting</b>	<b>5</b>
<b>1 Inleiding</b>	<b>6</b>
1.1 Achtergrond	6
1.2 Doel	7
1.3 Leeswijzer	7
<b>2 Beoordelingskader en uitgangspunten</b>	<b>9</b>
2.1 Rivierkundig beoordelingskader	9
2.2 Beoordelingskader Water	9
2.3 Toetsingskader Water	10
<b>3 Huidige situatie</b>	<b>12</b>
3.1 Locatie	12
3.2 Bodemopbouw	12
3.3 Oppervlaktewater	14
3.4 Grondwater	16
<b>4 Toekomstige situatie</b>	<b>17</b>
4.1 Ontwerp	17
4.2 Oppervlaktewater	17
4.3 Grondwater	17
4.4 Effecten op de omgeving	18
4.5 Nader onderzoek en mitigatie	20
<b>5 Conclusie &amp; advies</b>	<b>21</b>
5.1 Conclusie	21
5.2 Advies	21
<b>6 Verwijzingen</b>	<b>22</b>

## **Bijlagen**

<b>Bijlage A – Ontwerp (SO++)</b>	<b>23</b>
-----------------------------------	-----------

<b>Bijlage B – Hydrologische toetsing (SO++)</b>	<b>24</b>
--	-----------

<b>Bijlage C – Geohydrologisch onderzoek</b>	<b>28</b>
--	-----------

Inleidend	28
-----------	----

Modelbeschrijving	29
-------------------	----

Modelcontrole	30
---------------	----

Validatie	31
-----------	----

Implementatie maatregel	32
-------------------------	----

Effectbepaling (kaarten en korte beschrijving)	32
--	----

<b>Colofon</b>	<b>36</b>
----------------	-----------



## Samenvatting

In opdracht van Rijkswaterstaat heeft Arcadis Nederland B.V. een verkennend onderzoek Water uitgevoerd voor maatregelgebied Monding Vorstermolenbeek, gemeente Venlo, provincie Zuid-Limburg. Het bureauonderzoek is uitgevoerd voor het project Kaderrichtlijn Water Maas Zuid-Nederland (hierna KRW-ZN). Het maatregelgebied Monding Vorstermolenbeek bevat een kwelgeul naast de bestaande lossing en het natuurvriendelijk inrichten van de beekmonding bij de Maas.

Het onderzoeksgebied ligt net ten noorden van Venlo, ter hoogte van rivierkilometer 111,5 en 113,1 aan de rechteroever van de Maas. De geul is ontworpen in het beekdal ten oosten van de Vorstermolenbeek. De Vorstermolenbeek bestaat uit meerdere soorten watergangen: De zuidelijke beek (Vorsterweidenlossing) is een B-watergang en de beekmonding van de Vorstermolenbeek is een A-watergang. De freatische grondwaterstand bevindt zich op circa NAP 15 m.

Het doel van het verkennend onderzoek water is het toetsen van het maatregelontwerp op oppervlaktewater- en grondwatereffecten op de omgeving. Als nadelige (hydrologische) gevolgen op de omgeving niet kunnen worden uitgesloten, zijn mitigerende maatregelen vereist. De bevindingen uit het verkennend onderzoek water worden gebruikt om te beoordelen of voor de maatregelen vergunningen moeten worden aangevraagd, of dat nader onderzoek is vereist.

De kwelgeul watert af op de Vorsterweidenlossing wanneer het waterpeil boven het GVG-niveau uitstijgt. De geul bestaat uit een noordelijk en zuidelijk deel, semi-gekoppeld via een stuwput met duiker bij het zandpad. In de winter wordt het grootste deel van de neerslag afgevoerd. In de overige kwartalen wordt het grondwater langer vastgehouden door deze inrichting. De zuidelijke geul heeft een bodemhoogte van NAP +13,4 tot +14,3 m en een waterdiepte van 0,5 tot 1,1 m ten opzichte van de GLG. Als het waterpeil in de zuidelijke geul stijgt tot boven de GVG (NAP +14,8 m) stroomt dit richting de noordelijke geul. De noordelijke geul ligt iets lager en is verbonden met de Vorsterweidenlossing. Door de lage ligging hoeft een deel van het kleidek niet geheel ontgraven. Dat is gunstig voor de stabiliteit van de kering. De natuurvriendelijke inrichting van de monding van de Vorstermolenbeek bestaat uit het minder groot maken van het verval en zorgen dat het profiel breder wordt, inclusief een natte oeverzone. Op de oeverzone kan kwelmoeras zich ontwikkelen over een lengte van 220 m.

De effecten op de omgeving zijn bepaald met een numeriek grondwatermodel (IBRAHYM). De effecten zijn getoetst volgens het Beoordelingskader Water. De geohydrologische veranderingen van het SO++ van maatregelgebied Monding Vorstermolenbeek overstijgen de grens van 5 cm voor grondwater- en stijghoogteverandering zoals opgenomen in het beoordelingskader.

Tot op een afstand van 40 m vanaf de geul worden verdrogende en vernattende effecten (0,05 – 0,10 m) berekend. Dit kan nadelig zijn voor de omliggende landbouw en natuur (graslanden). Of de eventuele nadelige effecten door verdroging/vernattening acceptabel zijn, is ter beoordeling van het bevoegd gezag.

In het watervoerende pakket worden tot 250 meter vanaf de geul vernattende effecten (0,05 – 0,20 m) geconstateerd bij een T=10 hoogwatergebeurtenis. De contouren van 20 cm verhoging komen voor onder de beschermingszone van de waterkering. De faalkans voor de waterveiligheid (onderdeel macrostabiliteit) neemt hierdoor toe. Dit is nader onderzocht in het geotechnisch rapport.

# 1 Inleiding

## 1.1 Achtergrond

### **Kaderrichtlijn Water: Europese afspraken om de waterkwaliteit te verbeteren**

Schoon oppervlaktewater is een essentiële randvoorwaarde voor planten en dieren om te kunnen leven. Bovendien biedt het voor de mens een aantrekkelijke leefomgeving. Daartoe hebben de lidstaten van de Europese Unie in 2000 de Kaderrichtlijn Water (KRW) vastgesteld. Doel van de KRW is dat al het water in Europa in 2027 schoon en gezond is.

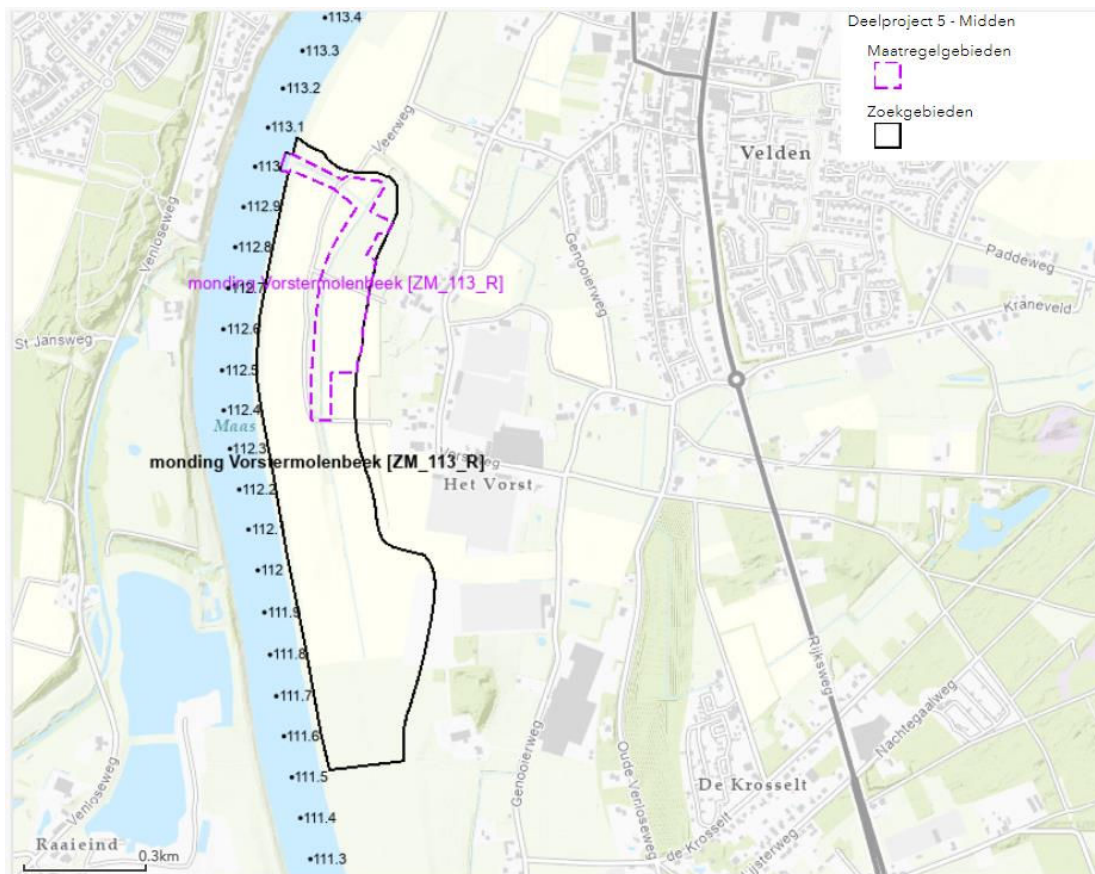
De KRW-richtlijn bepaalt dat de wateren een goed leefgebied moeten vormen voor de planten en dieren die er van nature thuishoren. De KRW-opgave is het verbeteren van de chemische en ecologische kwaliteit van grond- en oppervlaktewater. Dit geldt voor al het water in Nederland, waarbij Rijkswaterstaat verantwoordelijk is voor het verbeteren van de kwaliteit van het water in de grote rivieren. De KRW kent drie uitvoeringsperiodes: 2009-2015; 2016-2021 en 2022-2027. Uiterlijk in 2027 moeten de doelen voor schoon en gezond water zijn gehaald of moeten op zijn minst alle maatregelen zijn genomen om dit mogelijk te maken. Bij het niet halen van de KRW-doelen kan het Europese Hof van Justitie boetes opleggen.

### **KRW in Nederland**

In Nederland is de minister van Infrastructuur en Waterstaat verantwoordelijk voor de uitvoering van de KRW. Om de KRW-doelstellingen te behalen werkt de minister nauw samen met andere overheden, zoals provincies, waterschappen en gemeenten. Rijkswaterstaat is verantwoordelijk voor het verbeteren van de kwaliteit van het water in de grote rivieren, waaronder ook de Maas. Om de ecologische kwaliteit van het water in de Maas te verbeteren heeft Rijkswaterstaat het programma KRW Zuid-Nederland (KRW-ZN) opgezet. Het programma KRW-ZN bestaat uit verschillende typen maatregelen: herinrichting van oevers, uiterwaarden en beekmondingen. Hiermee kunnen verdwenen leefgebieden van waterplanten en -dieren in en langs de Maas weer zoveel mogelijk worden teruggebracht.

Voor het behalen van de KRW-doelen langs de Maas worden in het project KRW-ZN maatregelen getroffen om deze doelstellingen te behalen. Maatregelen in het KRW-ZN project omvatten het graven, herstellen of verbeteren van oever en hoogteprofielen, beeklopen en beekmondingen, aangetakte of geïsoleerde geulen of het verondiepen van zandwinplassen. Bij het graven in buitendijks gebied neemt de deklaagweerstand af, de mate waarop dit optreedt en de effecten die dit heeft op de omgeving is sterk afhankelijk van de locatie en (de omvang van) het ontwerp. Bij vergravingen in binnendijks en buitendijks gebied is het daarom noodzakelijk de hydrologische effecten in beeld te brengen en eventuele negatieve effecten te mitigeren.

De maatregelgebieden zijn verdeeld over deelprojecten. In deze rapportage is het verkennend onderzoek Water voor maatregelgebied Vorstermolenbeek in deelproject 5 (DP-5) beschreven. Vorstermolenbeek ligt op de rechteroever van de Maas, tussen rivierkilometer 111,5 en 113,1 net benedenstrooms van Venlo (Figuur 1). In het maatregelgebied is een kwelgeul voorzien en wordt de beekmonding natuurvriendelijk gemaakt.



Figuur 1 | Maatregelgebied Monding Vorstermolenbeek op 10 km ten noorden van Venlo, tussen Velden en Grubbenvorst.

## 1.2 Doel

Het doel van het verkennend onderzoek water is het toetsen van het maatregelontwerp op effecten op de omgeving voor oppervlaktewater en grondwater. Als hydrologische effecten op de omgeving niet kunnen worden uitgesloten zijn mitigerende maatregelen vereist. De bevindingen uit het verkennend onderzoek water worden gebruikt om te beoordelen of voor de maatregelen vergunningen moeten worden aangevraagd, of dat nader onderzoek nodig is.

### Werkwijze

In het verkennend onderzoek Water is de bestaande situatie vergeleken met de toekomstige situatie. Op basis van het beoordelingskader en uitgangspunten (hoofdstuk 2) is de afweging gemaakt tussen een kwalitatief of kwantitatief hydrologisch onderzoek.

Het voorlopig ontwerp (SO+) van de maatregel is getoetst volgens het stappenplan uitgangspuntendocument Kaderrichtlijn Water MIRT 3 (anteagroup, 2021). Met de resultaten van het SO+ worden eventuele aanpassingen en mitigerende maatregelen opgenomen in het definitief ontwerp (SO++). Als de mitigerende maatregelen invloed hebben op het hydrologisch systeem, zal ook het SO++ hydrologisch worden beoordeeld.

## 1.3 Leeswijzer

Dit document beschrijft de methode en de toetsingsresultaten voor de beoordeling van de hydrologische effecten van het definitief ontwerp (SO++) maatregelgebied Vorstermolenbeek. In hoofdstuk 2 zijn het beoordelingskader en uitgangspunten voor het toetsingskader opgenomen. De randvoorwaarden van de huidige hydrologische situatie in het maatregelgebied is beschreven in hoofdstuk 3. In hoofdstuk 4 is het ontwerp en de hydrologische beoordeling van de toekomstige situatie, na het doorvoeren van de maatregelen, beschreven. In hoofdstuk 5 is antwoord gegeven hoe de KRW-doelen in het maatregelgebied gerealiseerd kunnen worden en of er mitigatie/compensatie en/of nader onderzoek vereist is.



## 2 Beoordelingskader en uitgangspunten

### 2.1 Rivierkundig beoordelingskader

Voor ingrepen in de Grote Rivieren is een Rivierkundig Beoordelingskader (RBK; versie 5.0) opgesteld waarin is beschreven hoe Rijkswaterstaat bij de vergunningverlening rivierkundige effecten van ingrepen in de rivier bepaalt en beoordeelt (Rijkswaterstaat, 2019). Het RBK 5.0 heeft een toepassingsgebied voor de grote rivieren in Nederland die in beheer van het Rijk zijn, en is nodig voor:

- vergunningaanvraag in het kader van de Waterwet;
- opstellen van een projectplan Waterwet;
- uitvoeren van berekeningen voor een vergunningaanvrager;
- bevoegd gezag om een vergunningaanvraag te beoordelen op rivierkundige effecten.

Het RBK 5.0 bevat alleen de rivierkundige beoordelingsaspecten voor water, sediment en ijs en een aantal nautische beoordelingsaspecten die nauw samenhangen met rivierkunde. De rivierkundige beoordelingsaspecten in het RBK 5.0 zijn ingedeeld in drie hoofdthema's:

1. Hoogwaterveiligheid
2. Hinder of schade door hydraulische effecten
3. Morfologische effecten

De beoordeling hiervan is uitgevoerd in het rivierkundig en geotechnisch onderzoek.

Het Rivierkundig Beoordelingskader is geen integraal afwegingskader van alle relevante belangen/funcities/kaders. Voor andere belangen zoals scheepvaart, milieu, natuur, landschap en recreatie gelden aparte kaders en richtlijnen (Rijkswaterstaat, 2019):

*“Een initiatiefnemer/vergunningaanvrager dient de voor de ingreep relevante beoordelingsaspecten met het bevoegd gezag af te stemmen. Daarna kunnen voor deze aspecten de (rivierkundige) effecten worden bepaald. De wijze waarop dit dient te gebeuren, gaat in overleg met het bevoegd gezag.”*

### 2.2 Beoordelingskader Water

Aanvullende beoordelingsaspecten en uitgangspunten die volgen uit de lokale en specifieke omstandigheden van een maatregel/projectlocatie zijn afgestemd met Bevoegd Gezag (Rijkswaterstaat en waterschap Limburg) De hydrologische beoordelingsaspecten in dit onderzoek zijn wateroverlast/vernatting en wateronderlast/verdroging. In het verkennend onderzoek Water is onderzocht of de hydrologische effecten van de maatregelen nadelige gevolgen hebben op de omgeving. Nadelige gevolgen voor de omgeving bestaan uit verandering van de kans op wateroverlast, vernatting, lage grondwaterstanden en verdroging. De relevante omgevingsaspecten waarvoor deze gevolgen onderzocht zijn, is opgenomen in Tabel 1.

De hydrologische effecten zijn volgens de uitgangspunten ‘Toetsingskader Water’ (paragraaf 2.3) kwalitatief en/of kwantitatief beoordeeld. Een kwantificering van de oppervlaktewater- en/of grondwatereffecten zijn voor de omgevingsaspecten voor verschillende hydrologische situaties onderzocht.

Tabel 1 | Beoordelingskader Water voor het beheersgebied van Waterschap Limburg

Onderdeel	Omgevingsaspect	Hydrologische situatie
<b>Oppervlaktewater</b>	Waterhuishouding	Gemiddelde winter en T=10
	Afvoercapaciteit (Legger-watgangen)	T=1 en T=10
<b>Grondwater</b>	Waterhuishouding	Gemiddelde winter en T=10
	Waterveiligheid	T=10
	Bebouwing en infrastructuur	Gemiddelde winter en T=10
	Natuur	Gemiddelde winter
	Landbouw	Gemiddelde winter
	Zoet-brak/brak-zout grensvlak	Gemiddelde winter
	Grondwateronttrekkingen	Gemiddelde winter

\* De GxG beschrijft de grondwaterdynamiek voor 3 grondsituaties: gemiddeld hoogste grondwaterstand (GHG), gemiddelde voorjaars grondwaterstand (GVG) en gemiddeld laagste grondwaterstand (GLG)



Als de maatregel nadelige gevolgen op de omgeving tot gevolg heeft, zijn compenserende en/of mitigerende maatregelen noodzakelijk.

### Kwalitatieve effectbeoordeling

Voor maatregelen waar geen significante nadelige effecten op de omgeving worden verwacht is een kwalitatieve beoordeling op basis van *expert judgement* toegepast.

Geen significante nadelige effecten op de omgeving worden verwacht als:

- Ter plaatse van een kwetsbaar object de freatische grondwaterstand en/of stijghoogte niet meer dan 5 cm veranderd ten opzichte van de huidige gemiddelde (afvoer)situatie.
- Ter plaatse van een kwetsbaar object de stijghoogte niet meer dan 5 cm veranderd ten opzichte van een T=10 (afvoer)situatie.
- De afvoercapaciteit en/of hydraulische weerstand van een primaire watergang niet verminderd ten opzichte van de huidige situatie.

### Kwantitatieve effectbeoordeling

Voor maatregelen waar significante (nadelige) effecten op de omgeving plausibel zijn, is een kwantitatieve beoordeling uitgevoerd. Hiervoor zijn oppervlaktewater- en grondwaterberekeningen toegepast.

#### Oppervlaktewater

Hydrologische effecten van de maatregelen op de afvoercapaciteit en waterstanden in primaire watergangen (Legger) zijn berekend voor de volgende situaties:

- Verhoogde afvoer T = 1
- Verhoogde afvoer T = 10

#### Grondwater

Hydrologische effecten van de maatregelen op de freatische grondwaterstanden, stijghoogte in het eerste watervoerend pakket (onder de deklaag) en de binnendijkse kwelflux zijn berekend voor de volgende situaties:

- Verandering gemiddelde situatie (zomer/winter) of grondwaterdynamiek (GxG)
- Verandering bij een hoogwatersituatie (T=10) op de Maas

#### Geotechnische randvoorwaarden

Voor het beoordelingsaspect waterveiligheid, waar onder andere het risico op piping wordt onderzocht (geotechnische beoordeling), worden de volgende gegevens en resultaten uit de grondwaterberekeningen gebruikt/uitgewisseld:

- Weerstand (c) van de deklaag (c-waarde)
- Doorlaatvermogen (kD) van het eerste watervoerend pakket (WVP1)
- Maximale grondwaterstanden - hoogwatertoets T=10
- Maximale stijghoogte WVP1 - hoogwatertoets T=10
- Maximale waterstanden binnen- en buitendijks - hoogwatertoets T=10

## 2.3 Toetsingskader Water

In het uitgangspuntendocument Kaderrichtlijn Water MIRT 3 (anteagroup, 2021) is een eerste stap in de afbakening van de werkwijze (stappenplan) van de planopgave beschreven. Aanvullende uitgangspunten die volgen uit de lokale en specifieke omstandigheden van een maatregel/projectlocatie zijn afgestemd met Bevoegd Gezag (Rijkswaterstaat en waterschap Limburg).

Vooraf maatregelen waar de bodemweerstand, stijghoogteverschil tussen open water en/of freatisch grondwaterwater veranderen moeten nader onderzocht worden op eventuele nadelige gevolgen op de omgeving. Voor overige inrichtingsmaatregelen zoals plaatsen van rivierhout, herstel van zeegras en aanpassingen van natuurlijke mondingen van beken is een kwalitatieve beschrijving op basis van *expert judgement* (doorgaans) voldoende.

De stappen uit het uitgangspuntendocument KRW (anteagroup, 2021) en aanvullende uitgangspunten van het Bevoegd Gezag zijn verwerkt tot een toetsingskader Water (zie Tabel 2).

Tabel 2 | Uitgangspunten van het Toetsingskader Water voor het beheersgebied van Waterschap Limburg

Stappenplan KRW Zuid-Nederland	Oordeel
<b>1. Is voldoende informatie beschikbaar van (grond)waterstanden, het doorlaatvermogen (kD) én (hydraulische) weerstand (c) van de watergangen en bodemlagen?</b>	<b>Ja</b>
a. Zo nee, aanvullend onderzoek zoals waterstandmetingen, doorlatendheidsonderzoek en/of bodemonderzoek zijn nodig voordat de beoordeling uitgevoerd kan worden.	n.v.t.
<b>2. Verandert het (geo)hydrologisch systeem door de maatregel?</b>	<b>Ja</b>
a. Wordt het open waterpeil of afvoercapaciteit van watergangen significant gewijzigd door nieuwe watergangen, en/of herprofilering van bestaande watergangen (aanpassingen van aantakkingen en/of stuwpeil/overstort drempels)?	Ja
b. Veranderd de weerstand van bodemlagen significant door afgravingen of ophogingen?	Ja
<b>3. Zo ja, vinden significante effecten op de omgeving plaats?</b>	<b>Ja</b>
a. Bij aanleg van nieuwe watergangen en geulen en/of wijzingen in waterstanden, vermindering van de afvoercapaciteit en/of verhoging van de hydraulische weerstand in bestaande (Legger) watergangen, moeten de effecten gekwantificeerd worden.	n.v.t.
b. Als de afstand tussen kwetsbare objecten en de maatregel kleiner is dan de spreidingslengte/lekfactor ( $\lambda = \sqrt{kDc}$ ) moeten de effecten gekwantificeerd worden <sup>1</sup> . Geïsoleerde geulen, die onder normale omstandigheden niet in verbinding staan met het oppervlaktewater en kleiner zijn dan 10 hectare, hoeven niet door Waterschap Limburg worden getoetst.	Ja
<b>4. Zo ja, wat is de te verwachten verandering van het (geo)hydrologisch systeem?</b>	
<i>De duiding van de wijziging kan kwalitatief als daarmee een aannemelijke/acceptabele onderbouwing kan worden gegeven en de risico's op een onjuiste conclusie zeer beperkt is. In andere gevallen moet gebruik gemaakt worden van een kwantitatieve benadering.</i>	
a. Als de afvoercapaciteit niet wijzigt en geen waterstandswijzigingen plaatsvinden de uiterwaarde, wordt ten aanzien van hydrologie geen belemmeringen verwacht.	n.v.t.
b. Als de verandering van de stijghoogte/grondwaterstand ter plaatse van een kwetsbaar object kleiner is dan 5, worden ten aanzien van geohydrologie geen belemmeringen verwacht.	Kwantitatief
<b>5. Opstellen watertoets/projectplan.</b>	
<i>Het projectplan is een vormvrij document dat moet voldoen aan de inhoudelijke eisen van artikel 5.4 van de Waterwet: "... Het plan bevat ten minste een beschrijving van het betrokken werk en de wijze waarop dat zal worden uitgevoerd, alsmede een beschrijving van de te treffen voorzieningen, gericht op het ongedaan maken of beperken van de nadelige gevolgen van de uitvoering van het werk..."</i>	
a. Het verkennend onderzoek Water is een eerste stap in de belangenafweging om te komen tot een duurzaam en klimaatbestendig ontwerp. Het verkennend onderzoek Water is geen Watertoets.	CONCEPT

<sup>1</sup> In het uitgangspuntendocument KRW (anteagroup, 2021) is voorgesteld de verwachte stijghoogtedaling/toename te onderzoeken als er binnen de afstand van driemaal de spreidingslengte een kwetsbaar object/omgevingsaspect voorkomt. Deze grens wordt als te ruim gezien. Bij een gemiddelde kD van 1500 m<sup>2</sup>/dag en een c tussen de 1 en 200 dagen zal de spreidingslengte variëren tussen de 40 en 550 meter. Voor het zoekgebied naar kwetsbare objecten wordt eenmaal de spreidingslengte als voldoende gezien. In de uitgangspunten voor het verkennend onderzoek Water is driemaal de spreidingslengte gebruikt als afstand waarover een eventuele (grondwater)berekening is uitgevoerd (bijvoorbeeld de afstand tot de modelrand).

### 3 Huidige situatie

In de ontwerpnota is een uitgebreide landschapsecologische systeembeschrijving (LESA; (Arcadis, Ontwerpnota KRW-ZN Vorstermolenbeek, 2021 [CONCEPT])) opgenomen. De beschrijving in dit hoofdstuk is gericht op hydrologische randvoorwaarden en variabelen.

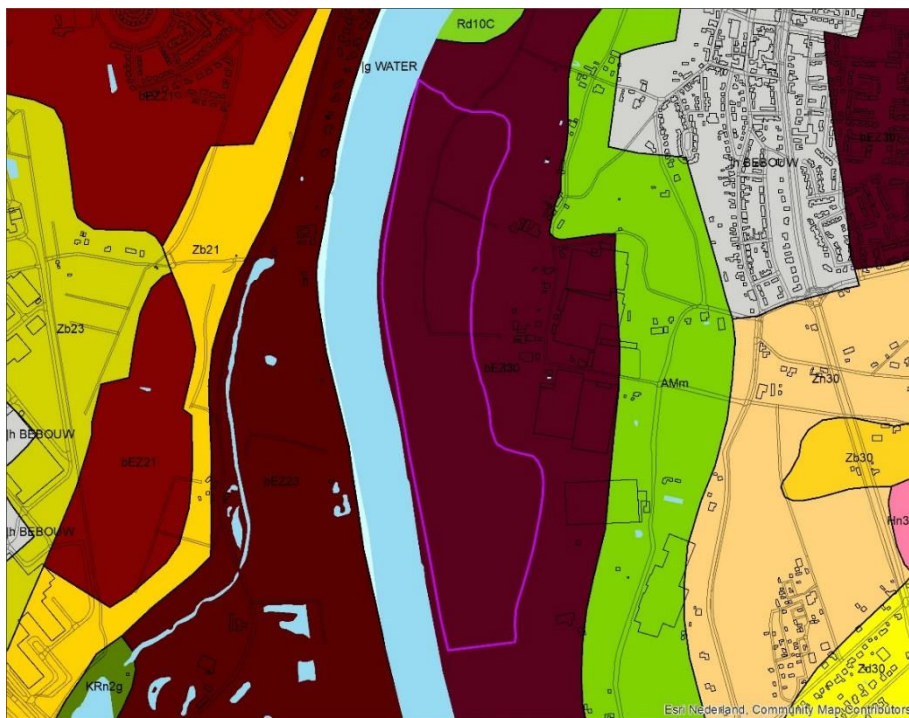
#### 3.1 Locatie

De maatregel is onderdeel van de Vorsterweidenlossing. Deze lossing is de afwatering van het overstroombare deel van het maasterras, en stroomt richting het noorden. Ten westen van Velden buigt de lossing af naar de Maas. Op het knikpunt komt de Vorstermolenbeek bij de lossing. Het zoekgebied van de maatregel wordt begrensd door de primaire kering. In het westen is de grens de oever van de Maas. Het gebied is in eigendom van voornamelijk particuliere eigenaren op twee smalle stroken van SBB na en het maaipad van het waterschap. De Vorsterweidenlossing volgt een ongeveer honderd meter brede laagte in het landschap die op gemiddeld NAP 15 m ligt. De laagte is door een rug van de Maas gescheiden. Deze rug ligt op NAP 16 en NAP 16,5 m.

#### 3.2 Bodemopbouw

##### Bodem

Binnen de contouren van het maatregelengebied komt het bodemtype bEZ30: Hoge bruine enkeerdgronden: lemig fijn zand voor.



Vorstermolenbeek



Figuur 2 | Bodemkaart van Nederland, 1:50.000

De Vorstermolenbeek stroomt door de recente overstromingsvlakte. Deze vlakte bestaat uit een afwisseling van grof en fijn zand en leem; de bodem in het beekdal bestaat voornamelijk uit klei die afgezet is onder laagdynamische omstandigheden. De kleilaag kan hier tot circa 5 m dik zijn met een verticale weerstand van 500 dagen. Langs het



beektracé ligt enkele decimeters zand direct aan het oppervlak opgevolgd door circa 1,5 m klei meters klei. De weerstand van deze 'overgangszone' is aangenomen op 150 dagen. De bodemopbouw van het maatregelgebied is op basis van beschikbare openbare boringen gecontroleerd (Bijlage D; (Arcadis, Ontwerpnota KRW-ZN Vorstermolenbeek, 2021 [CONCEPT])). Het gebied wordt gebruikt als landbouw.

## Hydrogeologie

De regionale (hydrogeologische) bodemopbouw is beschreven in Tabel 3. Zoals hierboven beschreven komt in de deklaag lokaal lichte klei met zand en leem voor. Het watervoerend pakket onder de deklaag bestaat uit de Formatie van Beegden, Kiezeloeliet en Breda. Tot een diepte van circa NAP -200 m zijn geen vlakdekkend scheidende lagen onder het maatregelgebied.

Tabel 3 | Hydrogeologische bodemopbouw (REGISlv2.2; DINOloket; [www.dinoloket.nl](http://www.dinoloket.nl))

Hydrogeologie	Omschrijving	Geohydrologie	Dikte [m]	Kh [m/d]	Kv [m/d]
Holocene afzettingen (HLc)	Lichte kleilig met zand en leem (oeverafzettingen) klei	DKL	0 - 5	2,5 - 5	0,01 - 2,5
Formatie van Beegden	Matig tot uiterst grof zand (210-2000 $\mu$ m), fijn tot zeer grof grind (2-63 mm),	WVP1a	5 - 10	100 - 200	---
Kiezeloeliet Formatie	Matig tot uiterst grof zand (210-2000 $\mu$ m), matig tot sterk grindhoudend. Sporadisch siltige kleilagen en kleiige veenlaagjes aanwezig.	WVP1b	25 - 30	50 - 100	---
Formatie van Breda (BR)	Afwisselingen van zand- en kleilagen van matig fijn zand (105-210 $\mu$ m), siltig en klei, sterk zandig tot matig siltig.	SDL/ WVP2	200 - 210	2,5 - 5,0	0,001 - 0,005

DKL = deklaag

WVP = watervoerend pakket

SDL = slecht doorlatende laag

kh = horizontale doorlatendheid WVP

kv = verticale doorlatendheid WVP

--- = niet (dominant) aanwezig

## Spreidingslengte

Een belangrijke afgeleide parameter die in de geotechniek en geohydrologie gebruikt wordt om het invloedsgebied van een hydrologische ingreep op de stijghoogte te bepalen is de spreidingslengte of lekfactor ( $\lambda$ ; in meter; (TAW, 2004). J.P. Mazure vond in het onderzoek naar de geo-hydrologische gesteldheid van de Wieringermeer een reductiefactor (Mazure, 1936): "... welke een functie was van de verhouding van den straal R van den dijk en een lengte  $\lambda$ , welke wordt bepaald door de eigenschappen van den ondergrond en de bovenlagen en gelijk is aan  $\sqrt{kH \cdot c}$ ".

Op basis van de lokale en regionale (hydrogeologische) bodemopbouw is de bandbreedte van de spreidingslengte ( $\lambda$ ) bepaald (zie Tabel 4). Hiervoor is een gemiddelde dikte van de deklaag van 5 m en een totale dikte van het onderliggende watervoerend pakket van 40 m aangehouden (conservatieve uitgangspunten).

De bandbreedte van de spreidingslengte is bepaald op 70 tot 1580 m. Binnen deze afstand is de waterkering en de bebouwing van Velden gelegen.

Tabel 4 | Spreidingslengte/ lekfactor

Bandbreedte	Doorlaatvermogen (kD) [m <sup>2</sup> /d]	Weerstand (c) [d]	Spreidingslengte/lekfactor ( $\lambda = \sqrt{kDc}$ ) [m]
Bovengrens	5000 (10 m x 200 m/d + 30 m x 100 m/d)	500 (5 m / 0,01 m/d)	1580
Ondergrens	2500 (10 m x 100 m/d + 30 m x 50 m/d)	2 (5 m / 2,5 m/d)	70

Binnen de bandbreedte van de spreidingslengte zijn de volgende omgevingsaspecten gelegen:

Tabel 5 | Huidige situatie grondwater

Onderdeel	Omgevingsaspect	Afstand tot maatregelgebied
<b>Oppervlaktewater</b>	Maas	~150 m
	Waterhuishouding	Aangrenzend
<b>Grondwater</b>	Waterhuishouding	Aangrenzend
	Waterveiligheid	Aangrenzend
	Bebouwing en infrastructuur	Aangrenzend
	Natuur	Aangrenzend
	Landbouw	Aangrenzend
	Zoet-brak/brak-zout grensvlak	Zoet/brak <100 m en brak/zout -100 m diepte
	Grondwateronttrekkingen	n.v.t.

### 3.3 Oppervlaktewater

#### Maas

Ter plaatse van het maatregelgebied varieert de bodemhoogte van de Maas tussen de NAP 3 m en NAP 2 m (bron: Rijkswaterstaat, [Bathymetrie Nederland](#)).

Het maatregelgebied voor de Vorstermolenbeek bevindt zich in het stuwpand Sambeek. Het peil van de Maas wordt in dit stuwpand gereguleerd door de Sambeek Boven op circa 30 km afstand van het maatregelgebied. Het meest nabijgelegen benedenstroomse meetpunt is Well Dorp. In Tabel 6 zijn de Maas-waterstanden (grenswaarden) van het meetpunt Well Dorp weergegeven.

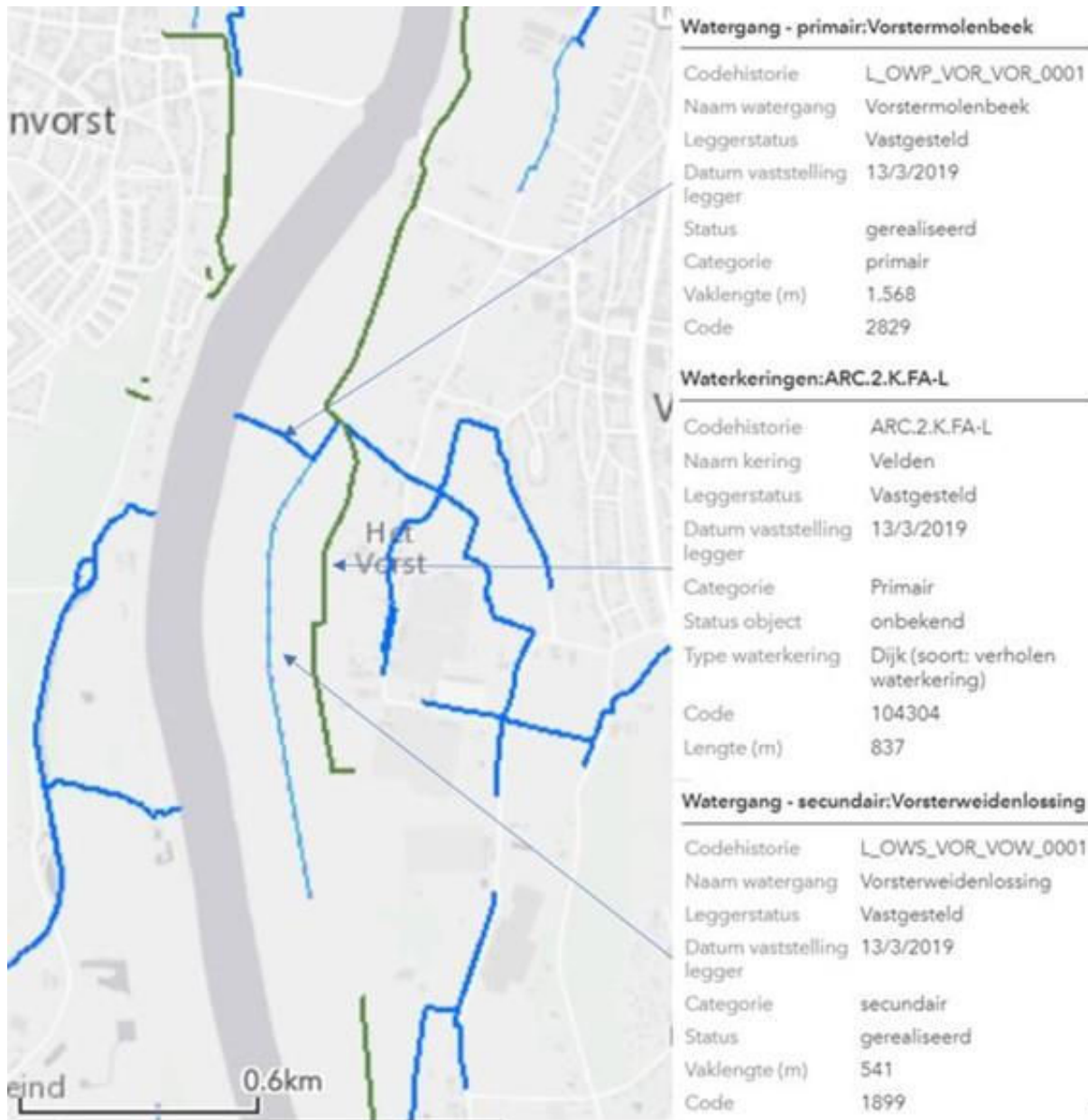
Tabel 6 | Maaswaterstanden meetpunt Well Dorp (bron: Rijkswaterstaat; <https://www.rijkswaterstaat.nl/water>; geraadpleegd 31-01-2023)

Frequentie	Waterhoogte (> x m NAP)	Frequentie (T = X jaar)
Extreem hoogwater	15,00 m	100
Hoogwater	14,30 m	10
Verhoogde waterstand	12,60 m	1
Licht verhoog	11,90 m	2 dagen per jaar
Normaal	11,05 tot 11,90 m	
Verlaagde waterstand	11,05 m	

Met een bodem van de geul op NAP +14,3 m ligt de uiterwaarde bij de Vorstermolenbeek vrijwel altijd droog: alleen bij een waterstand die gemiddeld eens per 10 jaar of minder voorkomt zal de waterstand in de Vorstermolenbeek opgestuwd worden.

#### Waterhuishouding

In het midden van het maatregelgebied loopt een noord-zuid georiënteerde secundaire watergang (Vorsterweidenlossing). De Vorsterweidenlossing loopt uit in de Vorstermolenbeek die oost-west uitmondt in de Maas (Figuur 3). Er is geen peilbeheer en hemelwaterlozing bekend voor deze watergangen. In de legger van Waterschap Limburg is geen informatie beschikbaar over de dimensies van deze watergangen. Op basis van de AHN is geschat dat beide waterlopen ca. 1 à 2 m breed zijn op de waterlijn. Bij een waterdiepte van ca. 0,3 tot 0,5 m zijn de waterstanden van de lossing en de beek geschat.



Figuur 3 | Oppervlaktewater bij het maatregelgebied (Legger waterschap Limburg)

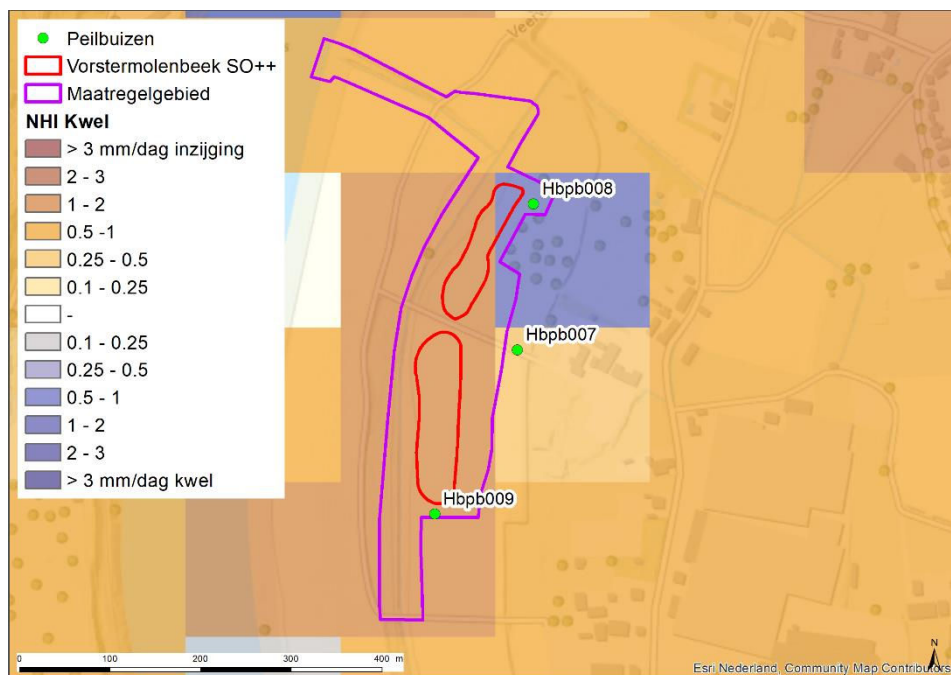
Tabel 7 | Kenmerken waterhuishouding

Kenmerk	Waterpeil (m NAP)	Dimensies	Toelichting
Zomerbed	Zie Tabel 6	30 m breed 6 à 10 m diep	Overstromingsfrequentie is tussen 2-10 dagen per jaar
Vorstermolenbeek	ca 13,8 m	800 m lang	Voert af op de Maas
Vorsterweidenlossing	ca 13,6 m	1.000 m lang	Lossing op de Vorstermolenbeek

### 3.4 Grondwater

De grondwaterstand bij de Vorstermolenbeek is circa NAP 15 m. Het grondwater stroomt in het watervoerend pakket richting de Maas (wegzijging). Aan de westzijde van het maatregelgebied is de grondwaterstand circa NAP +13 m, volgens de isohypsen van Limburg. Ook is sprake van wegzijging van het oppervlaktewater richting het watervoerend pakket (en de Maas). De berekende wegzijging is tussen 1996 en 2011 circa 2,0 mm/d (<https://data.nhi.nu/>).

Er zijn gemiddelde grondwaterstanden (GxG) berekeningen uitgevoerd voor de peilbuizen HBpb007, HBpb008 en HBpb009 (Tabel 8; zie Bijlage B).



Figuur 4 | Kwelkaart NHI (<https://data.nhi.nu/>)

Tabel 8 | Gesimuleerde GLG en GVG bij monding Vorstermolenbeek\*

Peilbuis	EVP	RMSE	Dng. Base	EVAP	Gain (M0)	GLG	GVG
	%	cm	m NAP	-	d	m NAP	m NAP
HBpb007	98%	2,9	14,5	0,7	644	14,68	15,67
HBpb008	98%	3,4	14,7	1,4	408	14,58	15,44
HBpb009	96%	3,7	14,2	0,9	607	14,37	15,18

\* EVP: verklaringspercentage tijdreeksmodel

RMSE: Root Mean Square Error (standaardafwijking van het residu)

Dng. Base: drainagebasis (“gemiddelde peil van de ontwateringsmiddelen”)

EVAP: verdampingsfactor (schaalfactor impulsresponsfunctie neerslag en verdamping)

Gain (M0): verhouding tussen stijghoogte en intensiteit van regenval (“drainageweerstand”)

## 4 Toekomstige situatie

### 4.1 Ontwerp

In Bijlage A is het definitief ontwerp (SO++) opgenomen. Dit document is geraadpleegd op 31-01-2023, maar is een latere versie nog aangepast, de drempelhoogtes zijn aangepast. Deze aanpassingen veranderen de conclusie niet. Het doel van de maatregel bestaat uit het vergroten van de diversiteit aan groeiplaatsen voor macrofyten en leefgebieden voor macrofauna en vis. Dit wordt gerealiseerd door het verwijderen van slib en de realisatie van natuurvriendelijke oevers langs de bestaande waterplas en geulen.

Het ontwerp (SO++) bestaat uit 2 kwelgeulen van circa 380 m die in het midden verbonden zijn met een stuwput met een overlaat op NAP 15,2 m. De noordelijke geul is met overlaat op NAP 14,4 m verbonden met de Vorsterweidenlossing (Bijlage A). Op basis van huidige grondwaterstanden wordt een waterniveau van NAP 14,65 m verwacht, dat zorgt voor een waterdiepte van gemiddeld 1,3 m. In het noorden van de maatregel wordt de monding natuurvriendelijk ingericht door het profiel te verbreden en de beekmonding licht te laten meanderen.

Tabel 9 | Randvoorwaarden en variabelen maatregel/ontwerp

Kenmerk	Referentiehoogte*	Dimensies** (l x b x d)	Toelichting
Kwelgeul zuid	Drempelhoogte NAP 14,4 m Bodemhoogte NAP 13,4 m	220 m x 2,25 m x 1 m	kwelgeul met moeraszone
Kwelgeul noord	Drempelhoogte NAP 15,2 m Bodemhoogte NAP 13,6 m	160 m x 2,25 m x 1,6 m	kwelgeul met moeraszone

\* Drempelhoogte ontwerp SO++ (geraadpleegd op 31-01-2023).

\*\* Maximale dimensies: l = lengte; b = breedte (incl. taludafgravingen); d = diepte (ten opzichte van huidig maaiveld).

### 4.2 Oppervlaktewater

Voor de monding is een hydrologische studie uitgewerkt (Bijlage B). Hieruit blijkt dat de maatregel geen negatieve gevolgen hebben voor (het grondgebruik) van de omgeving. Nader hydrologisch onderzoek is niet nodig, omdat de effecten ook zonder dit onderzoek goed in te schatten zijn en verwaarloosbaar zijn (geen effect).

### 4.3 Grondwater

De maatregelen zijn erop gericht om met de lokaal voorkomende hydrologische situatie de KRW-doelstellingen te behalen. De huidige waterhuishoudkundige situatie en grondwaterdynamiek (GxG) zijn als randvoorwaarden voor het ontwerp gebruikt. Hierdoor zullen eventuele hydrologische effecten vooral lokaal optreden bij het maatregelgebied.

Bij hoogwatersituaties zullen de effecten binnen de bandbreedte van de spreidingslengte optreden. De voornaamste oorzaak voor geohydrologische effecten zijn de veranderingen in deklaagweerstand door vergravingen. Door vergraving kan hemelwater en oppervlaktewater (bij inundatie) makkelijker wegzijgen naar diepere bodemlagen. Afhankelijk van de hydrologische situatie kan dit een verdrogend of vernattend effect hebben.

In Tabel 10 zijn de berekende geohydrologische effecten per hydrologische situatie samengevat. De effecten zijn berekend in een geohydrologisch onderzoek (zie Bijlage C).

Tabel 10 | Berekende geohydrologische effecten grondwater

Situatie/toetsingscriteria	Effect
<b>Gemiddelde winter</b>	
• Grondwaterstand-/stijghoogteverandering < 5 cm	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Grondwaterstandverlaging is 5 cm tot 10 cm buiten maatregelgebied tot 5 m van de geul.</li> <li>• Grondwaterstandverhoging is 5 cm tot 10 cm buiten maatregelgebied tot 40 m van de geul.</li> <li>• Stijghoogteverandering is kleiner dan 5 cm</li> </ul>
<b>Hoogwatersituatie T=10</b>	
• Grondwaterstand-/stijghoogteverandering < 5 cm	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Grondwaterstandverlaging is kleiner dan 5 cm</li> <li>• Stijghoogteverandering van 5 cm tot 20 cm buiten maatregelgebied, tot op maximaal 250 m afstand buitendijks</li> </ul>



## Geotechnische randvoorwaarden

De gegevens en resultaten voor de beoordelingsaspect waterveiligheid (geotechnische beoordeling) zijn opgenomen in onderstaande tabel.

Tabel 11 | Geotechnische randvoorwaarden

Randvoorwaarde	Waarde	Eenheid
Weerstand (c) van de deklaag	500	d
Doorlaatvermogen (kD) van het WVP1	5000	m <sup>2</sup> /d
Maximale grondwaterstanden - hoogwatertoets T=10	10,8	m NAP
Maximale stijghoogte WVP1 - hoogwatertoets T=10	11,9	m NAP

## 4.4 Effecten op de omgeving

De (berekende) hydrologische effecten zijn beoordeeld op nadelige gevolgen voor de omgeving. In onderstaande paragrafen zijn de relevante omgevingsaspecten toegelicht.

De (berekende) hydrologische effecten zijn beoordeeld op nadelige gevolgen voor de omgeving (Tabel 12). In onderstaande paragrafen zijn de omgevingsaspecten die negatief scoren nader toegelicht.

De effecten van Waterveiligheid zijn verder onderzocht in de Adviesmemo Geotechniek (dijkstabiliteit).

Tabel 12 | Effecten op de omgeving

Onderdeel	Omgevingsaspect	Toelichting	Beoordeling
<b>Oppervlaktewater</b>	Waterhuishouding	Toename bergingscapaciteit	Neutraal/positief
	Afvoercapaciteit (Legger)	Handhaving afvoercapaciteit	Neutraal/positief
<b>Grondwater</b>	Waterhuishouding	Verandering grondwaterstand van 5 cm tot 10 cm.	<b>Negatief</b>
	Waterveiligheid	Afname effectieve voorlandlengte bij T=10	NVT (geen oordeel)
	Bebouwing en infrastructuur	Geen verandering nabij omgevingsaspect.	Neutraal
	Natuur	Geen natuur aanwezig.	Neutraal
	Landbouw	Grondwaterstandverandering: 5 cm tot 10 cm op 40 m afstand.	<b>Negatief</b>
	Zoet-brak/brak-zout grensvlak	Geen verandering nabij omgevingsaspect.	Neutraal
	Grondwateronttrekkingen	Geen verandering nabij omgevingsaspect.	Neutraal

\* De GxG beschrijft de grondwaterdynamiek voor 3 grondsituaties: gemiddeld hoogste grondwaterstand (GHG), gemiddelde voorjaars grondwaterstand (GVG) en gemiddeld laagste grondwaterstand (GLG)

## VERDROGING

Over het algemeen worden bij de KRW-maatregelen geen nadelige effecten op de omgeving verwacht door verdroging. De huidige waterhuishoudkundige situatie en grondwaterdynamiek (GxG) zijn als randvoorwaarden voor het ontwerp gebruikt. De maatregelen zijn erop gericht om met de lokaal voorkomende hydrologische situatie de KRW-doelstellingen te behalen.

Door het graven van een geul of de herprofilering van een bestaande watergang zal de hydrologische situatie onder gemiddelde (normale) omstandigheden vooral lokaal bij de maatregel wijzigen. Eventuele grondwaterstandverlagingen of verdroging door vergravingen hebben door deze randvoorwaarden een beperkte invloed en nadelig effect op de omgeving. Vooral als dit in perspectief wordt gezet tot de (geo)hydrologische invloed van de Maas. Of de eventuele nadelige effecten door verdroging acceptabel zijn, is ter beoordeling van het bevoegd gezag.

Bij vergravingen is het risico op nadelige effecten op de omgeving tijdens extreme hoogwatersituaties, door inundaties, groter dan onder normale of droge omstandigheden. In de verkennende effectbeoordeling is hier de voornaamste aandacht naar uitgegaan.

## Waterhuishouding

Door het graven van een kwelgeul wordt de deklaagweerstand lokaal verlaagd (zie Bijlage C). Hierdoor treedt binnen 5 m van de geul circa 0,05 m tot 0,10 m grondwaterstandverlaging op in een gemiddelde wintersituatie. En binnen 40 m een grondwaterstandverhoging van 0,05 m tot 0,20 m.

Grondwaterverlagingen/verhogingen van 5 cm tot 10 cm leiden niet tot nadelige effecten voor de waterhuishouding. De verhogingen van de stijghoogte tijdens een T=10 leidt niet tot nadelige gevolgen voor de waterhuishouding, omdat alles al geïnundeerd zal zijn.

Tabel 13 | Effectbeschrijving waterhuishouding

Situatie	Effectbeschrijving
Gemiddelde winter	De huidige grondwaterstand bevindt zich op een diepte van NAP 15 m. <ul style="list-style-type: none"> <li>Binnen 5 m van de geul treedt circa 0,05 m tot 0,10 m verdroging op.</li> <li>Binnen 40 m van de geul treedt circa 0,05 m tot 0,10 m vernatting op.</li> </ul> Deze grondwaterstandverlagingen hebben geen nadelige gevolgen voor de waterhuishouding.
T = 10	<ul style="list-style-type: none"> <li>Verhoging van de stijghoogte in het watervoerend pakket van 5 tot 20 cm tot op 250 m afstand van het maatregelgebied (buitendijks). Deze stijghoogteverhogingen hebben geen nadelig effect voor de waterhuishouding.</li> </ul>

## Waterveiligheid

De geul ligt parallel ten westen van de beschermingszone van de primaire kering. De effectieve voorlandlengte neemt af door de uiterwaarde vergravingen. De afname van de effectieve voorlandlengte kan een negatief effect hebben op de faalmechanismen macrostabiliteit.

*De afname van de deklaagweerstand heeft een groot een effect (5 - 50 cm verhoging) op de stijghoogte tijdens hoogwatersituaties (neutraal).*

Tabel 14 | Effectbeschrijving waterveiligheid

Situatie	Effectbeschrijving
T = 10	<ul style="list-style-type: none"> <li>Verhoging van de stijghoogte in het watervoerend pakket van 5 tot 20 cm onder de dijk.</li> </ul> <b>Risico voor dijkstabiliteit mitigeren</b>

## Landbouw en natuur

De percelen rondom de geul in beheer als grasland en overige landbouw, verder is een klein perceel in beheer van Staatsbosbeheer (natuurgrasland). Het gebied heeft geen formele status als natuurgebied (geen Natura 2000). Door het aanleggen van de kwelgeul wordt de deklaagweerstand lokaal verlaagd (zie Bijlage C) Hierdoor treedt binnen 25 m van de geul circa 0,05 m tot 0,10 m verdroging op.

*Nadelige effecten door de grondwaterstandverlaging/verdroging moet nader onderzocht/beoordeeld worden.*

Tabel 15 | Effectbeschrijving landbouw en natuur

Situatie	Effectbeschrijving
Gemiddelde winter	De huidige grondwaterstand bevindt zich op een diepte van 15 m <ul style="list-style-type: none"> <li>Binnen 5 m van de geul treedt circa 0,05 m tot 0,10 m verdroging op.</li> <li>Binnen 40 m van de geul treedt circa 0,05 m tot 0,10 m vernatting op.</li> </ul>

Effect op landbouwgronden en natuur nader onderzoeken om te beoordelen of mitigerende maatregelen en/of compenserende maatregelen vereist zijn.

## 4.5 Nader onderzoek en mitigatie

De maatregelen hebben een beperkt effect op de grondwaterstanden en stijghoogten die grotendeels binnen de gestelde eisen vallen. Of voor de nadelige gevolgen door verdroging compenserende maatregelen vereist zijn, is ter beoordeling van Waterschap Limburg.

Wel moet waterveiligheid en piping (en daarom bebouwing en infrastructuur) zijn nader onderzocht worden door een geotechnisch specialist in de Adviesmemo Geotechniek (dijkstabiliteit).

Tabel 16 | Nader onderzoek en mitigatie

Onderdeel	Omgevingsaspect	Nader onderzoek	Mitigatie/compensatie
<b>Oppervlaktewater</b>	Waterhuishouding	Nee	n.v.t.
	Afvoercapaciteit	Nee	n.v.t.
<b>Grondwater</b>	Waterhuishouding	Nee	n.v.t.
	Waterveiligheid	Ja	Onderzoek naar nadelige effecten
	Bebouwing en infrastructuur	Nee	n.v.t.
	Natuur	Nee (herinrichting van de taluds met geschikte standplaatssoorten)	n.v.t.
	Landbouw	Ja, nadelige gevolgen door verdroging	Compensatie
	Zoet-brak/brak-zout grensvlak	Nee	n.v.t.
	Grondwateronttrekkingen	Nee	n.v.t.



## 5 Conclusie & advies

### 5.1 Conclusie

Bij vergravingen kunnen nadelige effecten optreden (dijkveiligheid en piping) op de omgeving tijdens extreme hoogwatersituaties, door inundaties.

De berekende geohydrologische veranderingen van het SO++ van monding Vorstermolenbeek zijn groter dan de 5 cm grondwater- en stijghoogteverandering van het Toetsingskader Water. Eventuele belemmeringen voor de maatregel zijn nadelige gevolgen door verdroging en waterveiligheid:

- Grondwaterstandverlaging (verdroging) gemiddelde wintersituatie is tot op 5 m van het maatregelgebied circa 0,05 tot 0,10 m;
  - Het is aannemelijk dat bij een huidige grondwaterstand van NAP 15 m de 0,05 m tot 0,10 m grondwaterstandverlaging leidt tot extra droogteschade.
  - Of de grondwaterstandverlagingen leiden tot droogteschade voor landbouwpercelen moet nader onderzocht worden.
  - Als nadelige gevolgen optreden en deze niet kunnen worden gemitigeerd, moeten de nadelige gevolgen worden gecompenseerd.
- Tot op een afstand van 40 m vanaf de geul komt grondwaterstandverhoging (vernatting) voor in de orde van circa 0,05 tot 0,10 m bij de gemiddelde wintersituatie
  - Het is aannemelijk dat bij een huidige grondwaterstand van ca NAP 15 m de 0,05 m tot 0,10 m verhoging leidt tot extra natschade.
  - Of de grondwaterstandverhoging leiden tot natschade voor de natuurgraslanden en landbouwpercelen moet nader onderzocht worden.
  - Als nadelige gevolgen optreden en deze niet kunnen worden gemitigeerd, moeten de nadelige gevolgen worden gecompenseerd.
- Stijghoogteverandering in een hoogwatersituatie (T=10) is tot op 250 m van het maatregelgebied circa 0,05 tot 0,50 m.
  - Nadelige gevolgen (macrostabiliteit) zijn volgens het geotechnisch rapport niet waarschijnlijk.

Door het graven van de geul zal de (geo)hydrologische situatie onder gemiddelde (normale) omstandigheden voornamelijk bij de maatregel wijzigen. Eventuele grondwaterstandverlagingen of verdroging door vergravingen hebben door deze randvoorwaarden een beperkte invloed en nadelige gevolgen op de omgeving. Vooral als dit in perspectief wordt gezet tot de (geo)hydrologische invloed van de Maas. Of de eventuele nadelige gevolgen door verdroging acceptabel zijn, is ter beoordeling van het bevoegd gezag.

### 5.2 Advies

Het verkennend onderzoek Water is uitgevoerd met openbare en project gerelateerde ondergrondgegevens (boringen en grondwatermonitoring) en oppervlaktewater- en grondwaterberekeningen. Als de veldsituatie tijdens uitvoering sterk afwijkt van de uitgangspunten gehanteerd in dit onderzoek, moet nader onderzoek verricht worden welke gevolgen dit heeft voor het ontwerp en de omgeving.

Op basis van het verkennend onderzoek in dit rapport wordt aanbevolen om:

- Nadelige gevolgen ter beoordeling voorleggen aan Bevoegd Gezag, en indien nodig;
- Nader onderzoek naar eventuele nadelige gevolgen door droogte- en natschade door de grondwaterstandveranderingen om eventuele compensatie van de nadelige gevolgen te bepalen.

Nadelige gevolgen (macrostabiliteit) zijn volgens het geotechnisch rapport niet waarschijnlijk. Hierover is geen nader onderzoek nodig

## 6 Verwijzingen

anteagroup. (2021). *Uitgangspuntendocument Kaderrichtlijn Water MIRT 3*. 's-Gravenhage: Projectnummer 0460931.100, 26 februari 2021. Opdrachtgever Rijkswaterstaat.

Arcadis. (2021 [CONCEPT]). *Ontwerpnota KRW-ZN Vorstermolenbeek*. 's-Hertogenbosch: Arcadis Nederland BV, D10039297:20, 16 september 2021.

Arcadis. (2023). *DP-5 - Wp-5.1.16 - Conditionering Geotechniek (waterveiligheid) – Geul Leijgraaf-Arcen - ter informatie*.

Mazure, J. (1936). *Geo-hydrologische gesteldheid van de Wieringermeer*. 's-Gravenhage: Algemene landsdrukkerij.

Rijkswaterstaat. (2019). *Rivierkundig Beoordelingskader voor ingrepen in de Grote Rivieren*. Lelystad, 4/5/2019: Rijkswaterstaat Water, Verkeer en Leefomgeving.

TAW. (2004). *Technisch Rapport Waterspanningen bij dijken*. Werkgroep TAW-Techniek. Kenmerk: DWW-2004-057, 1 september 2004: Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen.

**Bijlage A – Ontwerp (SO++)**

Ontwerpbestand: KRW-ARC-ZM-VMB-SIT\_01.pdf

Datum: 31-01-2023

## Bijlage B – Hydrologische toetsing (SO++)

Ontwerpbestand: KRW-ARC-ZM-VMB-SIT\_01.pdf

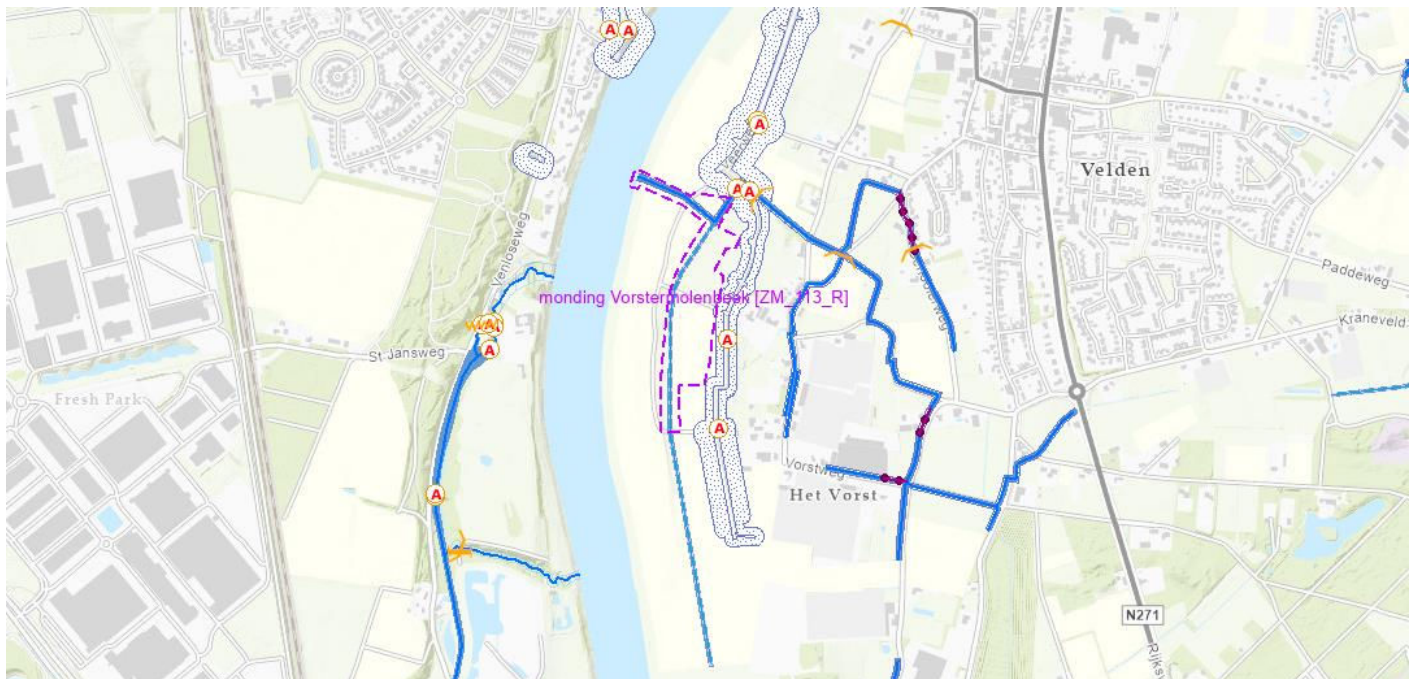
Datum: 31-01-2023

### Achtergrond

Rijkswaterstaat heeft als waterbeheerder onder meer de taak een goede chemische en ecologische toestand van alle oppervlaktewateren te bereiken binnen het Nederlandse deel van het stroomgebied van de Maas. Rijkswaterstaat Zuid-Nederland heeft Arcadis opdracht gegeven om de planstudie uit te voeren voor een nieuw pakket aan ecologische verbetermaatregelen aan de Maas in het kader van de Kaderrichtlijn Water (KRW). Deze ecologische verbetermaatregelen staan daarom ook wel bekend als KRW-maatregelen. Voorbeelden van dergelijke verbetermaatregelen zijn de aanleg van kwelgeulen, de aanleg van natuurvriendelijke oevers, het verlagen van uiterwaarden, en het aanpassen van beekmondingen. Tijdens de planstudie doorloopt Arcadis een intensief proces met alle belanghebbenden en wordt onderzoek uitgevoerd naar de haalbaarheid van deze maatregelen.

Eén van de maatregelen betreft het natuurvriendelijk inrichten van de monding van de Vorstermolenbeek. Dit document beschrijft de hydrologische toetsing van de toegepaste maatregel in de Vorstermolenbeek. Figuur 5 toont de ligging van de Vorstermolenbeek ten oosten van het dorp Velden. Deze memo wordt toegevoegd als bijlage in de volledige ontwerpnota. Het SO++ is getoetst op basis van de ontwerpschetsen:

- KRW-ARC-ZM-VMB-SIT\_01.pdf
- KRW-ARC-ZM-VMB-DWP\_01.pdf
- KRW-ARC-ZM-VMB-DWP\_02.pdf



Figuur 5: Ligging Vorstermolenbeek

### Doel

Om tot een vergunbaar ontwerp te komen is het noodzakelijk te toetsen wat de invloed is van het ontwerp. Als basis voor de toets wordt het definitief ontwerp gehanteerd. Er mogen geen significante effecten optreden die negatief zijn voor de huidige gebruiksfuncties in de omgeving. Daarvoor wordt het ontwerp getoetst op:

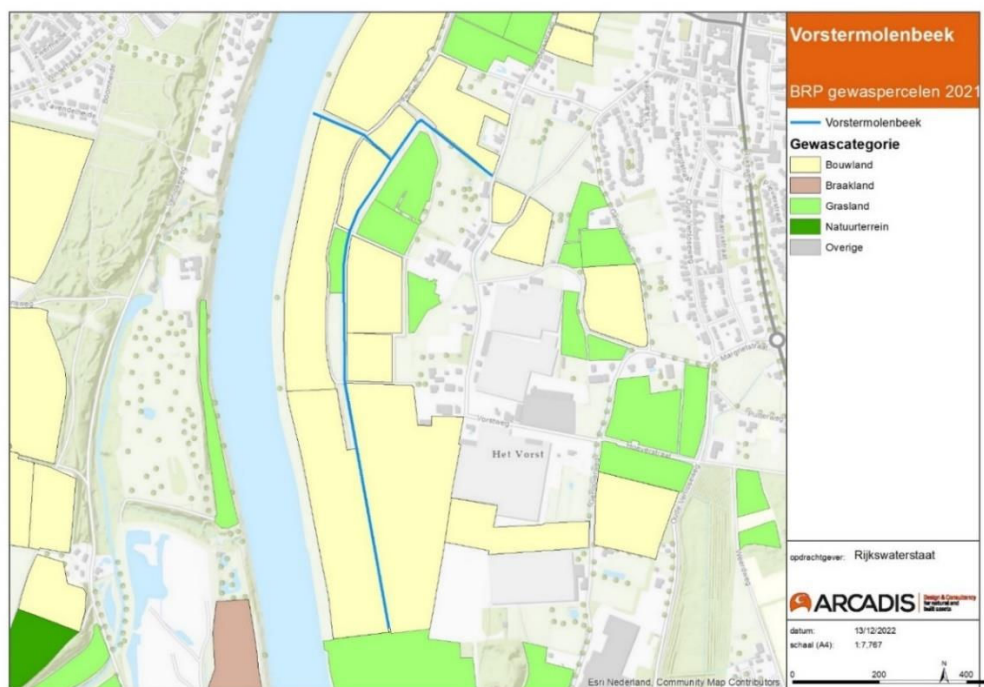
- Peilen: blijven de peilen bovenstrooms van de maatregelen gelijk? En zo niet, heeft dit negatieve effecten op de huidige gebruiksfuncties?
- Grondwater: treedt er in de omgeving geen verandering op groter dan 5 cm?

### Huidige situatie oppervlaktewater

De Vorstermolenbeek stroomt vanuit Velden richting de Maas. De Vorstermolenbeek watert via een kantelstuw, pomp en schuif met klep onder de kering door af richting de uiterwaarde en uiteindelijk de Maas. Binnendijks wateren verschillende zijlossingen af op de Vorstermolenbeek.

De maatgevende afvoer van de monding bij de Vorstermolenbeek is 122 l/s. Deze maatgevende afvoer is bepaald en aangegeven door Waterschap Limburg. Het traject waar een nieuw ontwerp voor de beekmonding is gemaakt is voor het traject in de uiterwaarde van ongeveer 220 meter, tot iets benedenstrooms van de kering. De dichtstbijzijnde bebouwing staat op 200 meter bovenstrooms van de kering.

Ongeveer 220 meter bovenstrooms van de Maas komen twee watergangen samen, de Vorstermolenbeek vanaf het noorden onder de kering en de Vorsterweidenlossing vanaf het zuiden. Het verhang tussen dit punt en de Maas is relatief groot, over het traject zit een bodemverhang van ongeveer 1,3 meter. De bodemhoogte is bij de dichtstbijzijnde bebouwing ongeveer 1,5 meter hoger dan in de uiterwaarde. De huidige drooglegging bij maatgevende afvoer wordt berekend op ongeveer 1,25 m-mv (bij een waterdiepte van ongeveer 30 cm als gevolg van de maatgevende afvoer).



Figuur 6: Landgebruik rondom de Vorstermolenbeek (BRP gewaspercelen)

### Uitgangspunten en aanpak

In het definitieve ontwerp zijn diverse aanpassingen van de beek in de uiterwaarde voorzien, waaronder:

- Het verruimen van het profiel;
- Het minder frequent onderhouden van de waterloop (dus hogere weerstand);
- Het plaatsen van houtpakketten (dus hogere weerstand);
- De monding in een (lichte) meandere manier aanleggen.

In dit gebied is geen oppervlaktewatermodel beschikbaar. Voor dit gebied is een analytische berekening gemaakt van de effecten op basis van een maatgevende afvoer (122 l/s). Deze berekening is gebaseerd op de Formule van Manning. In deze berekening wordt de verandering van waterpeil bepaald op basis van dezelfde afvoer, maar verschil in



profielgegevens en een toename van weerstand in de beek. In deze berekening wordt in een excel-bestand per afstand (meter) bepaald wat de opstuwende werking is van het profiel en weerstand.

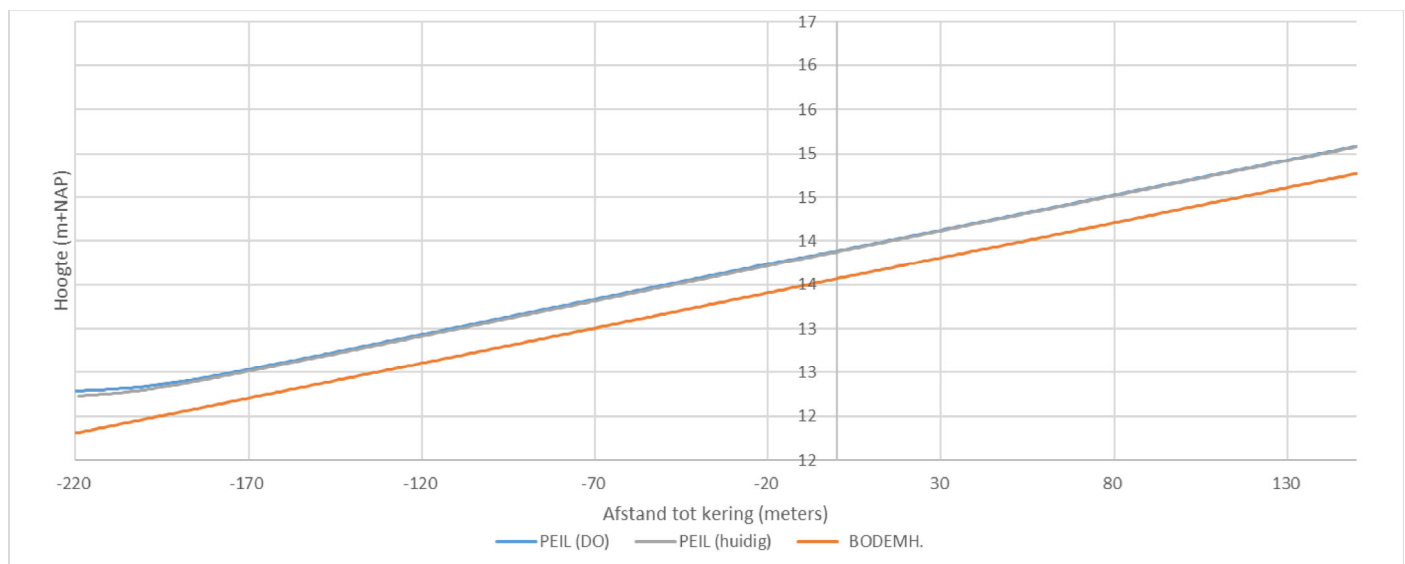
Tabel 17 toont de gehanteerde uitgangspunten voor de analytische berekening. De aanpassingen uit het ontwerp vinden plaats tussen de Maas en de samenkomst van de Vorsterweidenlossing en de Vorstermolenbeek. In de berekening wordt uitgegaan van een homogeen profiel over dit gehele traject, zonder kerende objecten. In het midden van het traject is een duiker gelegen. Deze duiker is groot genoeg gedimensioneerd voor vrije doorstroming bij de maatgevende situatie.

Tabel 17 Uitgangspunten analytische berekening

Parameter	Huidige situatie	Ontwerp
Maatgevende afvoer	122 l/s	122 l/s
Talud	1:1	1:3
Bodembreedte	0,5 m	2,25 m
Weerstand coëfficiënt	25 (Strickler)	5 (Strickler)
Lengte traject uiterwaarde	220 m	220 m

## Resultaten

Figuur 7 toont de resultaten voor de analytische berekening. Over het traject van de Vorstermolenbeek vanaf de instroom van de Vorsterweidenlossing tot de Maas is een peilstijging van 1 cm berekend bij een maatgevende afvoer. Deze peilstijging is voornamelijk het gevolg van de hogere weerstand, maar wordt beperkt door de verruiming van het profiel. Door het grote verhang in de bodemhoogte is de peilstijging bovenstrooms van het maatregelgebied zeer beperkt. Dat betekent dat er geen peilverandering optreedt bovenstrooms van de kering en daardoor geen vermindering van de drooglegging.



Figuur 7: Resultaten van de analytische berekening

## Grondwateraspecten

De Maas zorgt voor de ontwatering van de naastgelegen, hogere maasterrassen. De Vorstermolenbeek doorsnijdt over dit tracé de zandige kleibodem van de Formatie van Beegdem. De beek heeft voor de direct-omliggende gronden een drainerende werking. De nabijheid van de Maas zorgt ook voor de ontwatering van de kavels.

Het verruimen van het profiel, het verlengen van de beek in de uiterwaarden en het minder frequente onderhouden van het beekprofiel hebben geen significante gevolgen voor de grondwaterstand in de omgeving. Een peilverhoging van maximaal 1 cm van de beek in de uiterwaarden houdt in dat de ontwateringsdiepte direct naast de beek minimaal wijzigt. Bovenstrooms van de kering op 200 m vanaf de Maas wordt geen verandering van waterstanden en ook niet van de grondwaterstanden verwacht.

**Conclusie**

Uit deze toetsing worden de volgende conclusies getrokken:

- Als gevolg van het SO++ (verruimd profiel, de houtpakketten, de hogere weerstand als gevolg van het verminderde beheer en de lichte meandering) zal de waterstand bij maatgevende afvoer iets toenemen in de uiterwaarde: maximaal 1 centimeter.
- Er wordt geen peilstijging bovenstrooms van de kering verwacht en daarmee geen vermindering van de drooglegging.
- Als met toepassing van houtpakketten de voor ogen weerstand coëfficiënt niet gehaald kan worden, kan het zijn dat er peilverlagingen optreden. Deze peilverlaging zal de waterstanden bovenstrooms van de kering niet beïnvloeden, doordat hier een stuw het bovenstrooms peil bepaald.

Conclusie:

De maatregelen opgenomen in het SO++ hebben geen negatieve gevolgen voor (het grondgebruik) van de omgeving. Nader geohydrologisch onderzoek is niet nodig, omdat de effecten ook zonder dit onderzoek goed in te schatten zijn en verwaarloosbaar zijn (geen effect).

## Bijlage C – Geohydrologisch onderzoek

*De tekst in deze bijlage is afkomstig uit het rapport “Geohydrologisch onderzoek Fase 2” voor deelproject 5. De resultaten van monding Vorstermolenbeek zijn in deze bijlage overgenomen. Voor het doel van dit rapport en de leesbaarheid zijn de resultaten van andere maatregelgebieden verwijderd.*

### Inleidend

In het kader van de KRW-doelstellingen voor de Maas worden momenteel over de gehele Maas maatregelen uitgewerkt om deze doelstellingen te halen. De maatregelgebieden zijn verdeeld in deelprojecten, één van de deelprojecten is deelproject 5 (DP-5). Onder deelproject 5 (DP-5) vallen twee maatregelgebieden die in deze rapportage worden behandeld (Monding Kleefse Beek is afgevallen als geohydrologische studie).

- Monding Vorstermolenbeek
- Geul Leijgraaf-Arcen

De locaties van de maatregelgebieden zijn weergegeven in Figuur 1. Alle gebieden liggen in het gebied van Waterschap Limburg.



Figuur 8 | Locaties maatregelgebieden.



## Modelbeschrijving

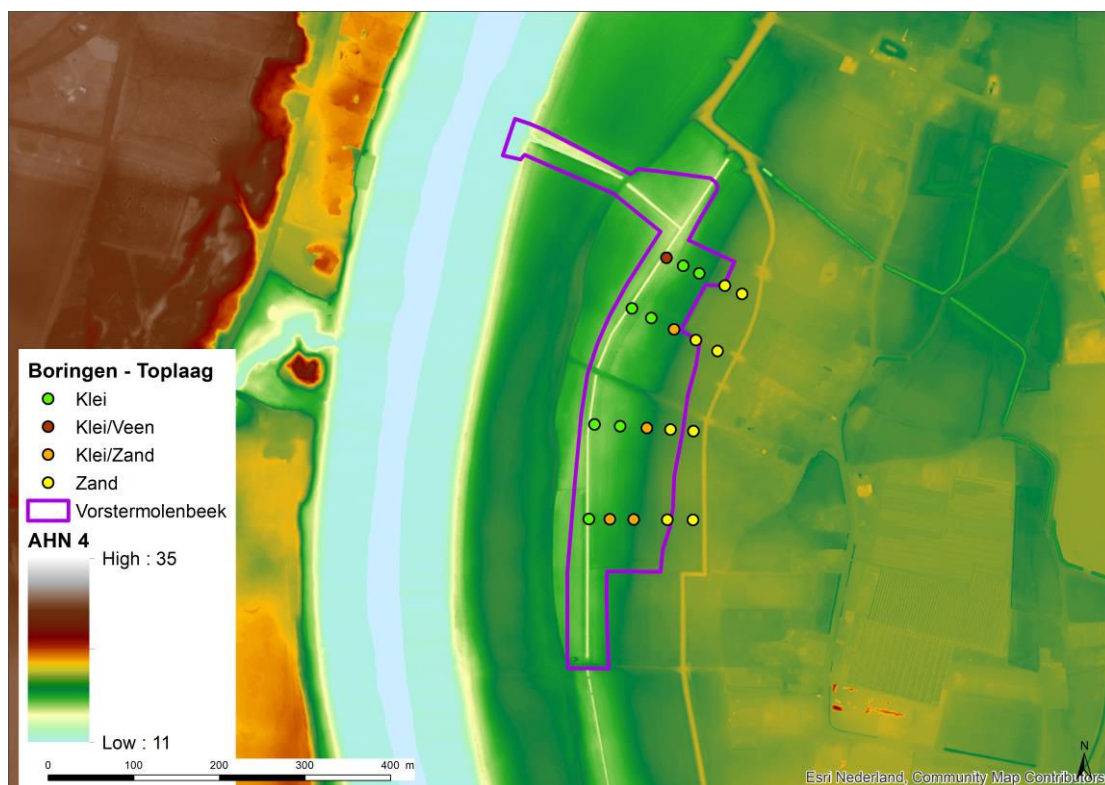
### Modelbouw, grenzen en – uitgangspunten

- Het basismodel is staat op de rekenserver van IBRAHYM (STAT\_Vorstermolenbeek\_v04; d.d. 10-06-2022)
- Het modeextent van de berekening is: 205800, 378000, 210800 en 383000 (XMIN, YMIN, XMAX en YMAX)
- Voorgeschreven wordt het model doorgerekend voor:
  - Gemiddelde wintersituatie – stationair;
  - Hoogwater Maas T=10 – niet-stationair (dynamische met duur van 10 dagen);

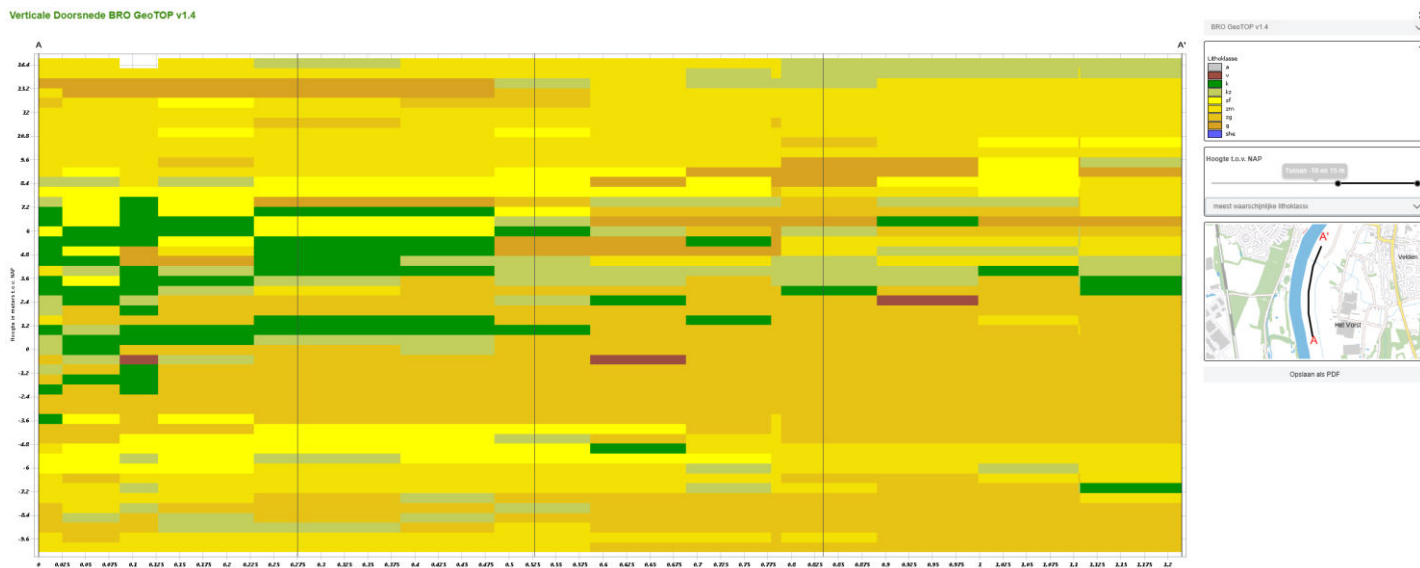
De gemiddelde situaties worden stationair doorgerekend met vaste winterpeilen. Voor beide situaties wordt de gemiddelde jaarlijkse grondwateraanvulling doorgerekend.

### Bodemopbouw

Op basis van de boringen bestaat de deklaag uit klei die afgezet is onder laagdynamische omstandigheden. De kleilaag kan hier tot circa 5 m dik zijn met een aangenomen verticale weerstand van 500 dagen. Langs het beektracé ligt enkele decimeters zand direct aan het oppervlak opgevolgd door circa 1,5 m klei meters klei. De weerstand van deze 'overgangszone' is aangenomen op 150 dagen. De bodem in het oosten van het zoekgebied bestaat uit fijn tot grof zand en grind (Figuur 9). Het onderliggende watervoerend pakket bestaat uit grof zand. Deze is circa 5 m dik en heeft een doorlaatvermogen van 150 m<sup>2</sup>/d (Figuur 10).



Figuur 9 | Boringen met toplaag lithologie.



Figuur 10 | Verticale doorsnede van de bodemopbouw (BRO GeoTOP v1.4).

## Modelcontrole

### Aanpassingen bodemopbouw

De slecht doorlatende laag 1 is in het grondwater model te dik. De dikte is verminderd door de bovenkant van modellaag 2 (TOP2) lokaal te verhogen. Na aanpassing is varieert de modeldeklaagweerstand van 50 d tot 150 d. Dit komt overeen met de bovenstaande bodembeschrijving.

### Aanpassingen oppervlaktewater

Er zijn geen kenmerken beschikbaar via de digitale Legger van het waterschap (<https://www.waterschaplimburg.nl/uwbuurt/kaarten-meetgegevens/leggerkaart/>). De in het model opgenomen watergangen en drainage zijn gecontroleerd op plausibiliteit:

- Bestaande waterlopen in het model hebben een aannemelijk waterpeil (geen modelaanpassingen).
- Op basis van de conductance en infiltratiefactor is de weerstand in de leggerwatergangen circa 13 dagen. Dit is een realistische weerstand (geen modelaanpassingen).
- Op basis van de conductance en infiltratiefactor is de weerstand in de Maas circa 2 dagen. Dit is een realistische weerstand (geen modelaanpassingen).
- De inundatierasters van het Maaswaterpeil inunderen het gebied. Inundatierasters volgt het maaiveld correct (geen modelaanpassingen).
- Drainage binnen maatregelgebied is verwijderd. Hier zijn namelijk geen gegevens over bekend en/of aanwijzingen voor.

### Aanpassingen grondwateraanvulling

Er is voor alle berekeningen een grondwateraanvulling aangenomen van circa 0,7 mm/dag. Op enkele percelen is gewasberegening van 0,11 mm/dag meegenomen.

## Validatie

Uit de aanpassingen en kalibratie zijn de volgende resultaten uitgekomen:

- Bij de gemiddelde wintersituatie zijn de modellen gekalibreerd, zodat de verschillen tussen de modelberekening en gemiddelde gemeten waarde binnen acceptabele marges valt (circa 10%). In de onderstaande tabel worden de waterstanden weergegeven.

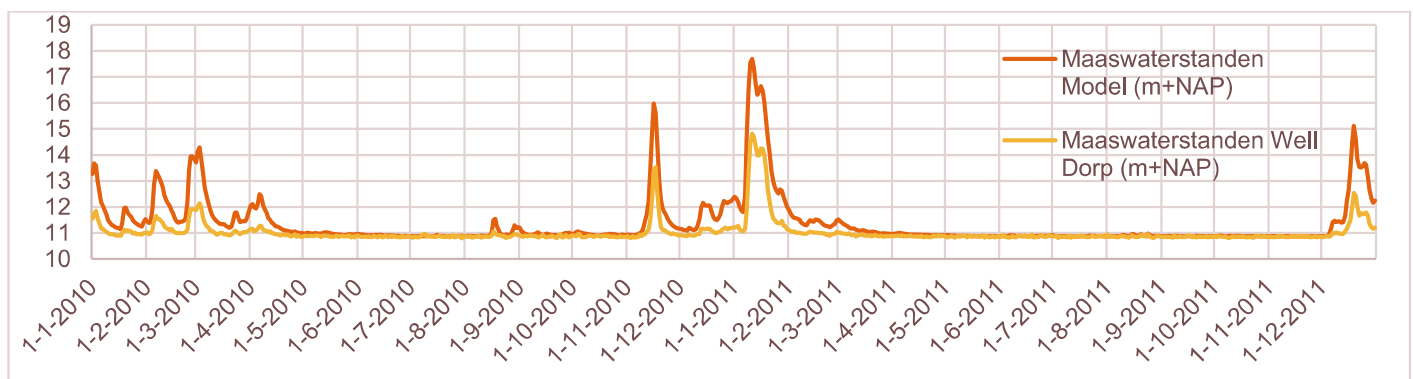
Tabel 18 | Verschil gemeten grondwaterstanden en berekende grondwaterstanden

	Peilbuis	Gemiddelde gemeten grondwaterstand	Stationair model grondwaterstand*	Verschil
	[-]	[mNAP]	[mNAP]	
Vorstermolenbeek	Hbpb007	15,25	15,12	-0,13
	Hbpb008	14,91	14,92	0,01
	Hbpb009	14,97	14,97	0,00

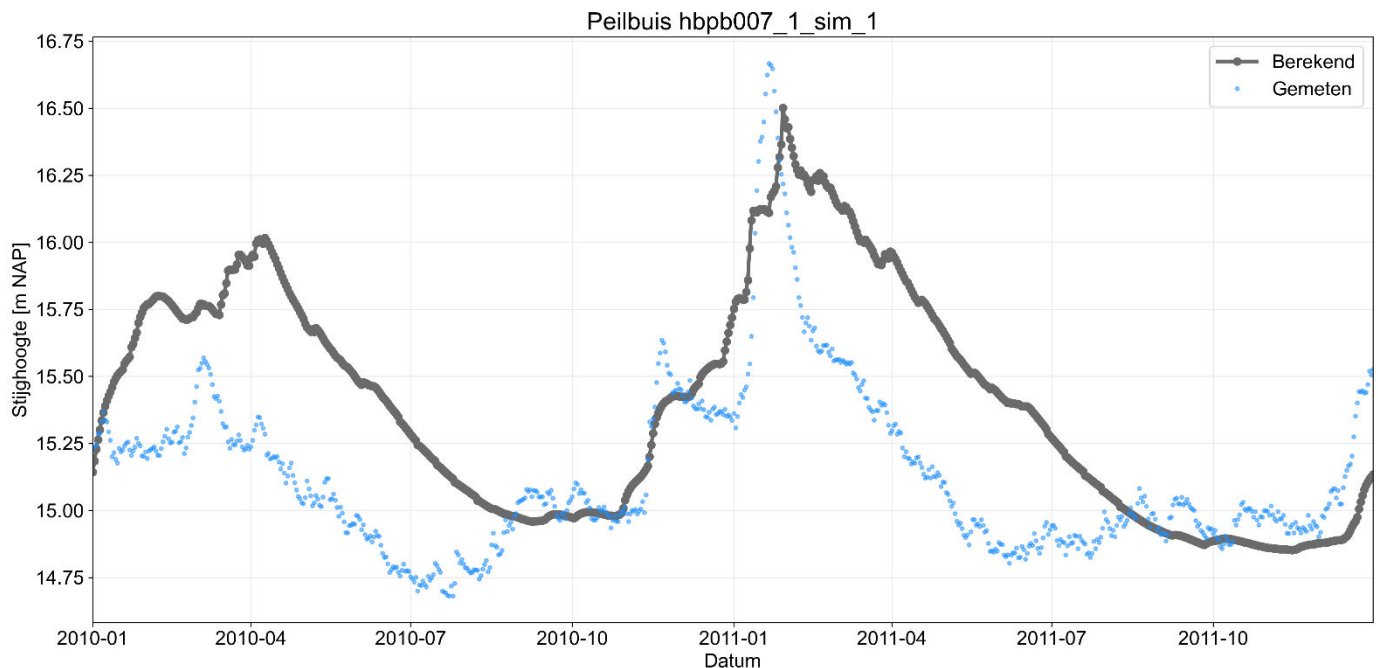
\*Na kalibratie – peilbuislocaties zijn weergegeven in de bijlagen

De modellen zijn ook gekalibreerd aan de hand van niet-stationaire berekeningen (pieksituatie januari 2011).

Uit de kalibratie blijkt dat lage grondwaterstanden goed berekend worden, maar dat het model de hoogwatersituaties te hoog berekend. De modelinvoer van Maaswaterstanden tijdens de hoogwatersituaties zijn hoger dan de gemeten hoogwatersituaties bij meetpunt Well Dorp



Figuur 11 | Hoogwatersituatie (2011) gebruikt voor de toetsing.



Figuur 12 | Tijdreeks van DINO peilbuizen en modelresultaten bij Vorstermolenbeek.

## Implementatie maatregel

- De maatregel is voor de gehele geul geïmplementeerd. Hierbij is geen rekening gehouden met het talud, als worst-case benadering.
- De TOP1 is aangepast tot het bodemniveau van het ontwerp. Hierbij zijn de onderliggende lagen ook aangepast zodat de lagenopbouw nog steeds klopt.
- De kh en kv zijn aangepast zodat de deklaagweerstand is verwijderd.

## Effectbepaling (kaarten en korte beschrijving)

Bij de Vorstermolenbeek zijn 2 kwelgeul ontworpen op de locatie ten oosten van de huidige watergang. Deze geul is dieper en breder dan de huidige watergang. In het ontwerp is rekening gehouden met een bodemhoogte van NAP +13,4 tot +13,6 m, wat betekent dat de volledige deklaag wordt afgegraven.

Tabel 19 | Maatregelontwerpen

Maatregelgebied	Maatregel	Waterpeil	Bodemhoogte
	[-]	[mNAP]	[mNAP]
Vorstermolenbeek	Geul aanleggen noord	14,4	13,4
	Geul aanleggen zuid	15,2	13,6

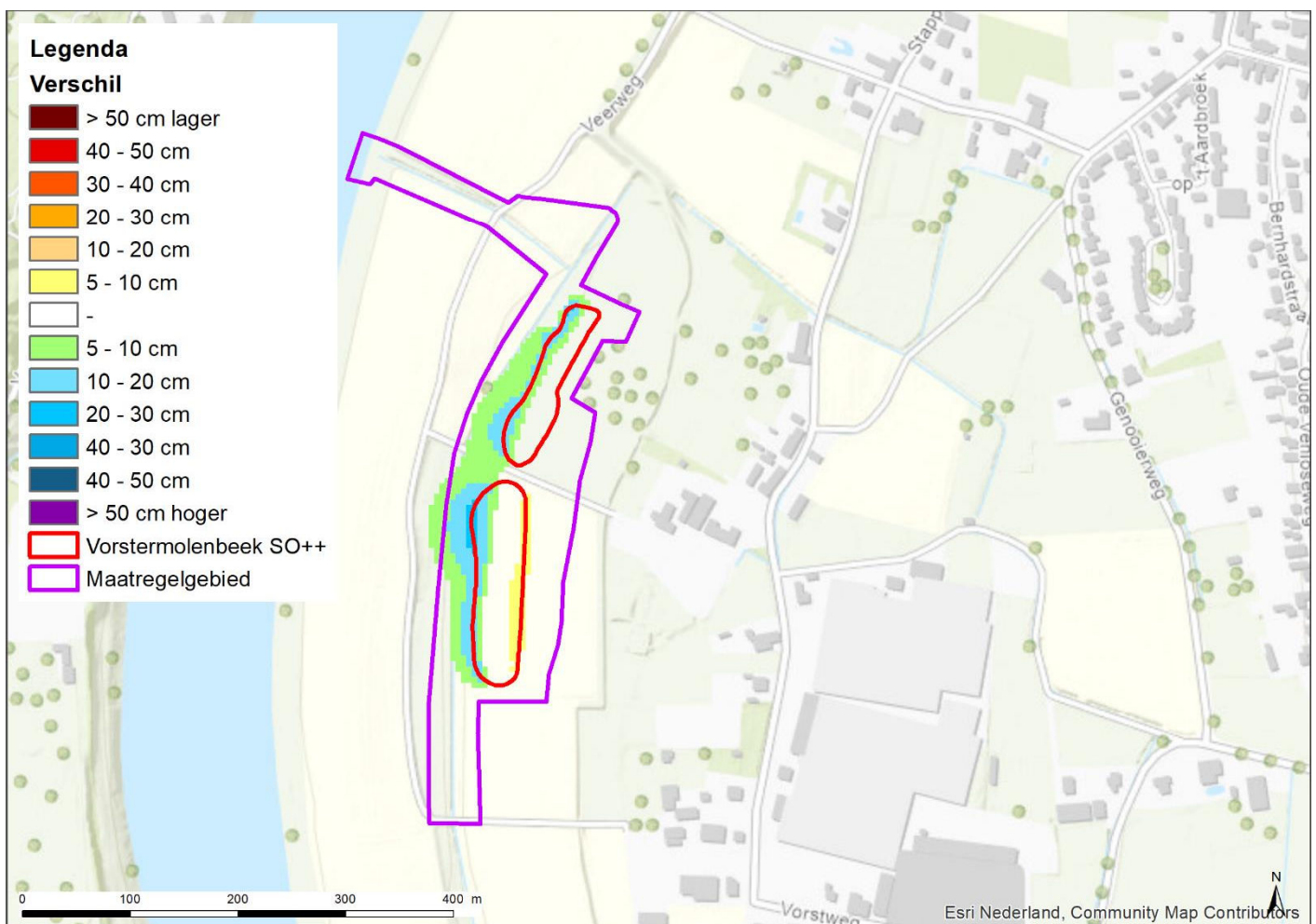
\* Waterpeil bepaald op basis van ontwerp. Indien deze niet beschikbaar was, is het berekende GVG gebruikt als tijdelijk waterpeil. Deze worden mogelijk veranderd na de GxG analyse van de gezette peilbuizen.

## Resultaten

### Effecten gemiddelde afvoersituatie

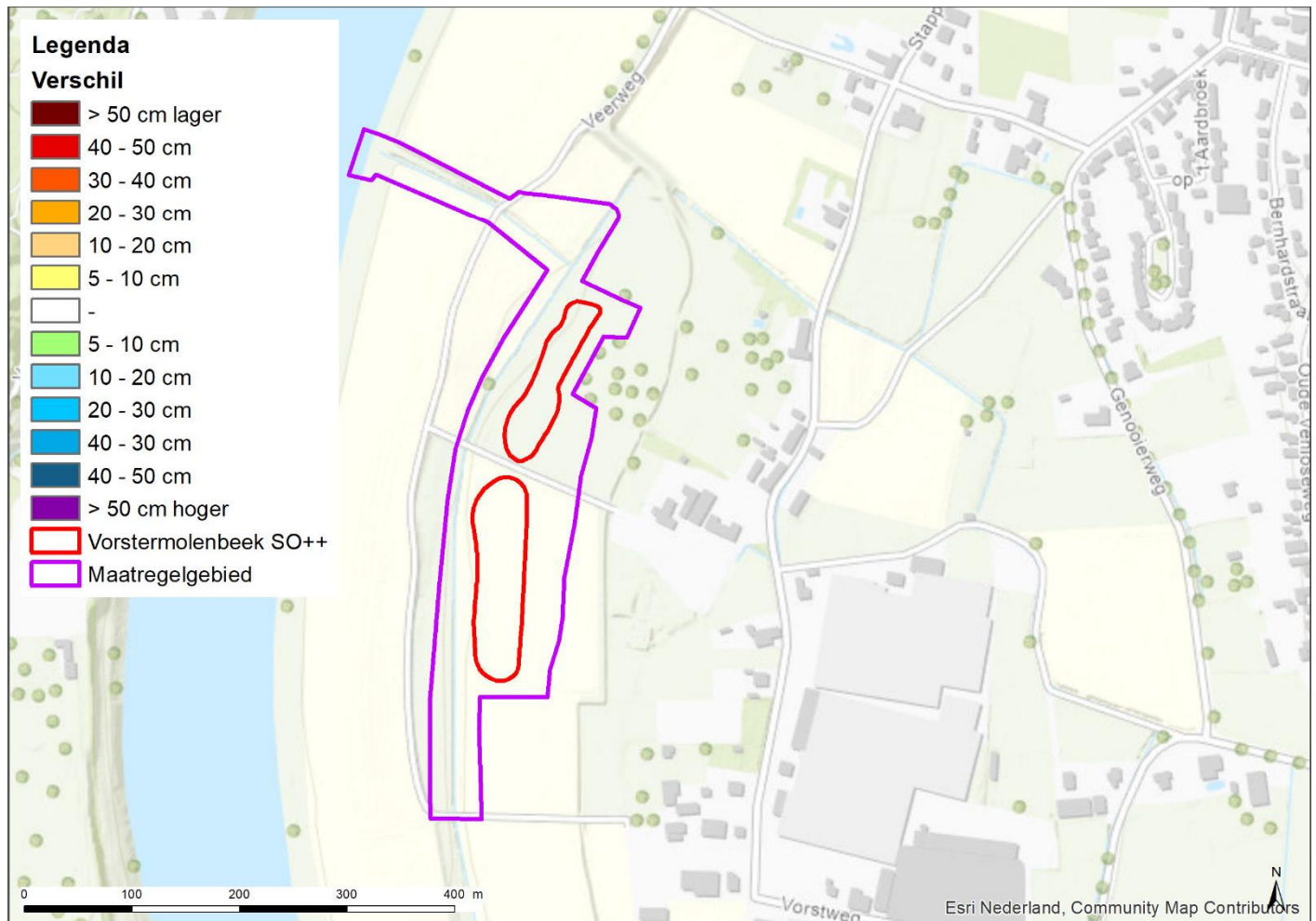
In Figuur 13 en Figuur 14 zijn de effecten van het SO++ in een gemiddelde afvoersituatie weergegeven. De ontgraving van de bovenste grondlaag heeft als gevolg dat er een toename van de waterstand is aan de westzijde van de maatregel, terwijl er juist een afname van de waterstand optreedt aan de oostzijde. Dit komt doordat het grondwater in eerste instantie richting de Maas stroomt. Door de ontgraving zal de grondwaterspiegel zich echter op een meer gelijkmatig niveau vestigen. Dit resulteert in een situatie waarbij er sprake is van meer vocht aan de westzijde en juist minder vocht aan de oostzijde van de maatregel.

In het watervoerend pakket zijn geen effecten berekend.



Figuur 13 | Effecten van het SO op de freatische grondwaterstanden in een gemiddelde afvoersituatie (deklaag).

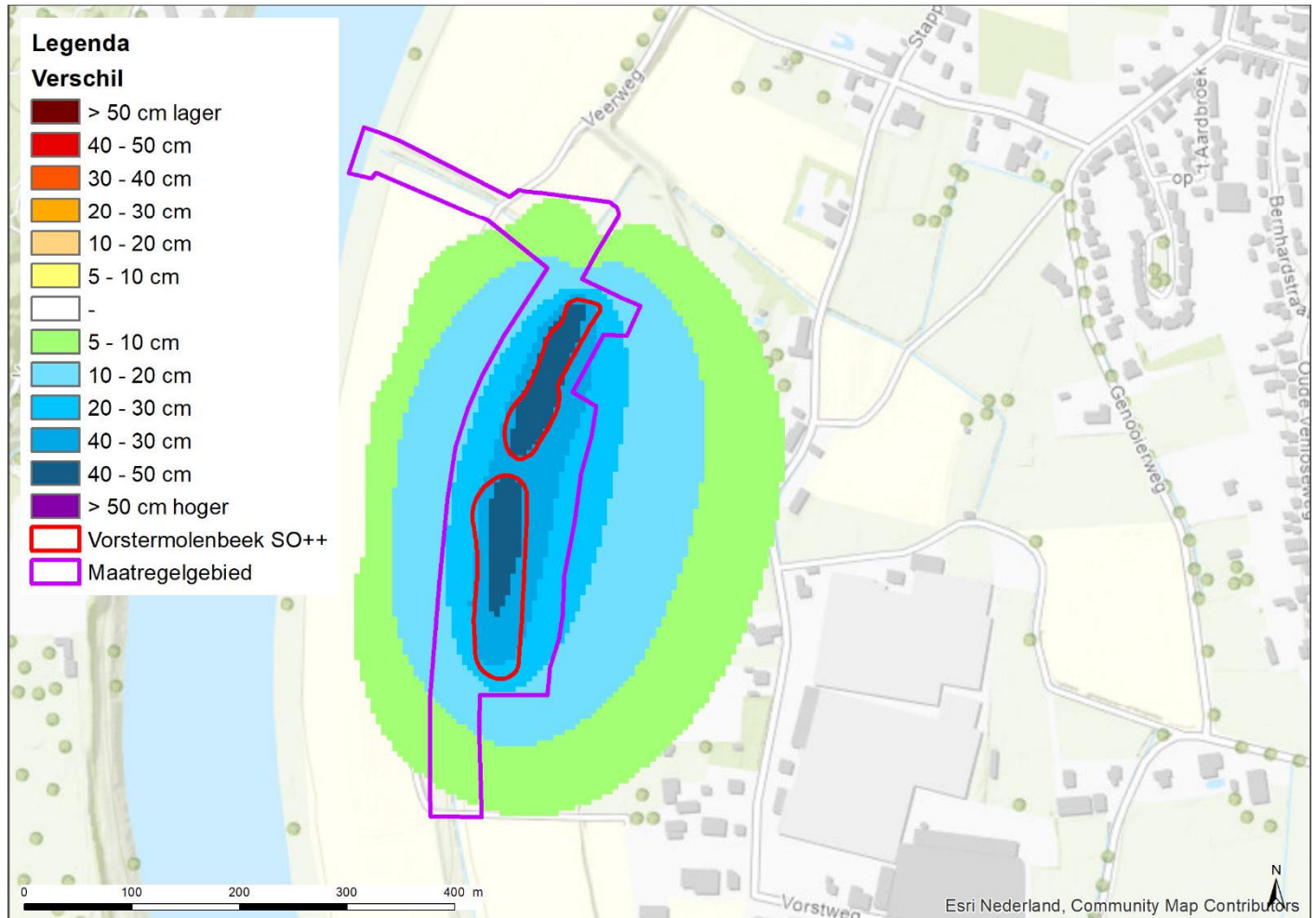




Figuur 14 | Effecten van het SO op de freatische grondwaterstanden in een gemiddelde afvoersituatie (watervoerend pakket): geen effecten.

### Effecten pieksituatie T10

In Figuur 15 zijn de effecten van het SO tijdens een T10 afvoersituatie op de Maas. Het afgraven van de deklaag zorgt voor een grotere interactie tussen de Maas en het watervoerend pakket. Dit zorgt voor een verhoging van de stijghoogtes in het watervoerend pakket. Het effect (> 5 cm) reikt tot ongeveer 250 m langs het maatregelgebied.



Figuur 15 | Effecten van het SO op de stijghoogtes in een piekafvoer (T10 waterstanden op de Maas)

## Colofon

VERKENNEND ONDERZOEK WATER  
MONDING VORSTERMOLENBEEK [ZM\_113\_R]  
KRW-ZN DP-5 WP-5.1.2

**KLANT**  
Rijkswaterstaat

**AUTEUR**  
Arcadis Nederland B.V.

**PROJECTNUMMER**  
30069107

**DATUM**  
25 april 2023

**STATUS**  
Definitief



## Over Arcadis

Arcadis is de leidende wereldwijd opererende ontwerp- en consultancyorganisatie op het gebied van de natuurlijke en gebouwde omgeving. Wij helpen onze klanten en de maatschappij met doeltreffende, duurzame en digitale oplossingen. Wij zijn met 36.000 mensen actief die in ruim zeventig landen meer dan €4,2 miljard aan omzet genereren. Wij helpen UN-Habitat met onze mensen, die kennis en expertise leveren om de moeilijke leefomstandigheden te verbeteren in gebieden die lijden onder de gevolgen van klimaatverandering.

[www.arcadis.com](http://www.arcadis.com)

### **Arcadis Nederland B.V.**

Postbus 33  
6800 LE Arnhem  
Nederland

T +31 (0)88 4261 261