

# Deelrapport Water

## Dijkversterking Salmsteke - Schoonhoven

**STERKE  
LEKDIJK**

Salmsteke - Schoonhoven



## Colofon

Rapportgegevens	
Rapporttitel	Deelrapport Water
Ondertitel	Dijkversterking Salmsteke - Schoonhoven
DMS nummer:	##
Versie:	Definitief
Datum:	6 maart 2026

### Vrijgave:

Verantwoordelijkheid	Functie	Naam	Paraaf
Opsteller:	Adviseur rivierkunde Adviseur geohydrologie Adviseur water	B.v.D. P.W. & K.v.I. D.d.B. (Arcadis & Sweco)	
Verificateur:	Senior Adviseur MER	T.B. (Sweco)	
Autorisator	Omgevingsmanager	L.d.J. (HDSR)	
Vrijgever	Projectmanager	O.v.E. (HDSR)	

### Documenthistorie:

Versie	Datum	Toelichting
C1	5 september 2025	Eerste versie
C2	17 november 2025	Review verwerkt
V3.0	21 januari 2026	Versie voor vrijgave IPM
Definitief	6 maart 2026	Definitieve versie

Hoogheemraadschap De Stichtse Rijnlanden  
Poldermolen 2  
030 634 57 00 **T**  
sterkelekdijk@hdsr.nl **E**  
hdsr.nl/sterkelekdijk **W**

**STERKE  
LEKDIJK**

# Inhoudsopgave

<b>1</b>	<b>Inleiding</b>	<b>5</b>
1.1	Aanleiding	5
1.2	Doelstelling	5
1.3	Te onderzoeken situaties	5
1.3.1	<i>Planvoornemen</i>	6
1.3.2	<i>Realisatiefase</i>	8
1.3.3	<i>Doorkijk eindsituatie</i>	9
<b>2</b>	<b>Uitgangspunten</b>	<b>10</b>
2.1	Studiegebied	10
2.2	Kaders wet- en regelgeving, beleid en richtlijnen	10
2.3	Beoordelingskader	13
2.4	Aannames en uitgangspunten	13
2.5	Methodiek	15
<b>3</b>	<b>Referentiesituatie</b>	<b>17</b>
3.1	Huidige situatie	17
3.1.1	<i>Rivierwaterstanden</i>	17
3.1.2	<i>Grondwatersysteem</i>	17
3.1.3	<i>KRW-relevant areaal</i>	18
3.2	Autonome ontwikkeling en trends	19
3.2.1	<i>Rivierwaterstanden</i>	19
3.2.2	<i>Grondwatersysteem</i>	20
3.2.3	<i>KRW-relevant areaal</i>	20
3.3	Referentiesituatie	20
3.3.1	<i>Rivierwaterstanden</i>	20
3.3.2	<i>Grondwatersysteem</i>	20
3.3.3	<i>KRW-relevant areaal</i>	20
<b>4</b>	<b>Effectbeschrijving en -beoordeling</b>	<b>21</b>
4.1	Effect op rivierwaterstanden	21
4.1.1	<i>Effecten Planvoornemen - gebruiksfase</i>	21
4.1.2	<i>Effecten Planvoornemen - Realisatiefase</i>	24
4.1.3	<i>Effecten Doorkijk eindsituatie - gebruiksfase</i>	26
4.2	Invloed op grondwatersysteem	29
4.2.1	<i>Effecten planvoornemen – gebruiksfase en realisatiefase</i>	29
4.2.2	<i>Effecten doorkijk eindsituatie - gebruiksfase</i>	31
4.3	Effect op KRW-relevant areaal	32
4.3.1	<i>Effecten planvoornemen – gebruiksfase</i>	32
4.3.2	<i>Effecten planvoornemen – realisatiefase</i>	34
4.3.3	<i>Effecten doorkijk eindsituatie - gebruiksfase</i>	35
4.4	Cumulatieve effecten	36
4.4.1	<i>KRW-relevant areaal</i>	36
4.5	Mitigerende maatregelen	36
4.5.1	<i>Invloed op grondwatersysteem</i>	36
4.5.2	<i>KRW-relevant areaal</i>	37

4.6	Leemten in kennis	38
4.6.1	<i>Invloed op grondwatersysteem</i>	38
4.6.2	<i>KRW-relevant areaal</i>	38

**Bijlage 1: Technische achtergrond rapportage geohydrologie**

**Bijlage 2: Rivierkundige beoordeling**

**Bijlage 3: Beslisschema's beleidsregels toetsingskader waterkwaliteit**

# 1 Inleiding

## 1.1 Aanleiding

De dijkversterking Salmsteke-Schoonhoven (SAS) is een deelproject van de dijkversterking Lekdijk en betreft circa 8,3 km vanaf de Rolafweg Zuid tot aan Schoonhoven en loopt van dijkpaal 108 tot dijkpaal 191. Het traject ligt grotendeels in de gemeente Lopik, provincie Utrecht. Het uiterst westelijk deel in Schoonhoven is gelegen in gemeente Krimpenerwaard, provincie Zuid-Holland. Het deelproject is het meest westelijk gelegen deeltraject binnen het programma Sterke Lekdijk en sluit in het oosten aan op deelproject Salmsteke.

Het dijkvak SAS is afgekeurd op verschillende faalmechanismen. Dit betekent dat er maatregelen genomen moeten worden om de dijk ook in de toekomst waterveilig te houden.

## 1.2 Doelstelling

Het hoofddoel van de dijkversterking Salmsteke – Schoonhoven is zorgen dat het traject aan de waterveiligheidsnormen voldoet. De dijk binnen het traject van SAS wordt versterkt vanuit een opgave voor de faalmechanismen piping, bekledingen, hoogte en stabiliteit en voorlanden. Hiervoor wordt een projectbesluit voorbereid, waarbij ook een milieueffectrapport (MER) wordt opgesteld. Onderdeel van het MER is onderzoek naar de mogelijke effecten op het thema water, bestaande uit zowel rivierkundige effecten als effecten op het KRW-areaal of op het grondwater- en oppervlaktewatersysteem. Dit deelrapport beschrijft het onderzoek naar het thema water.

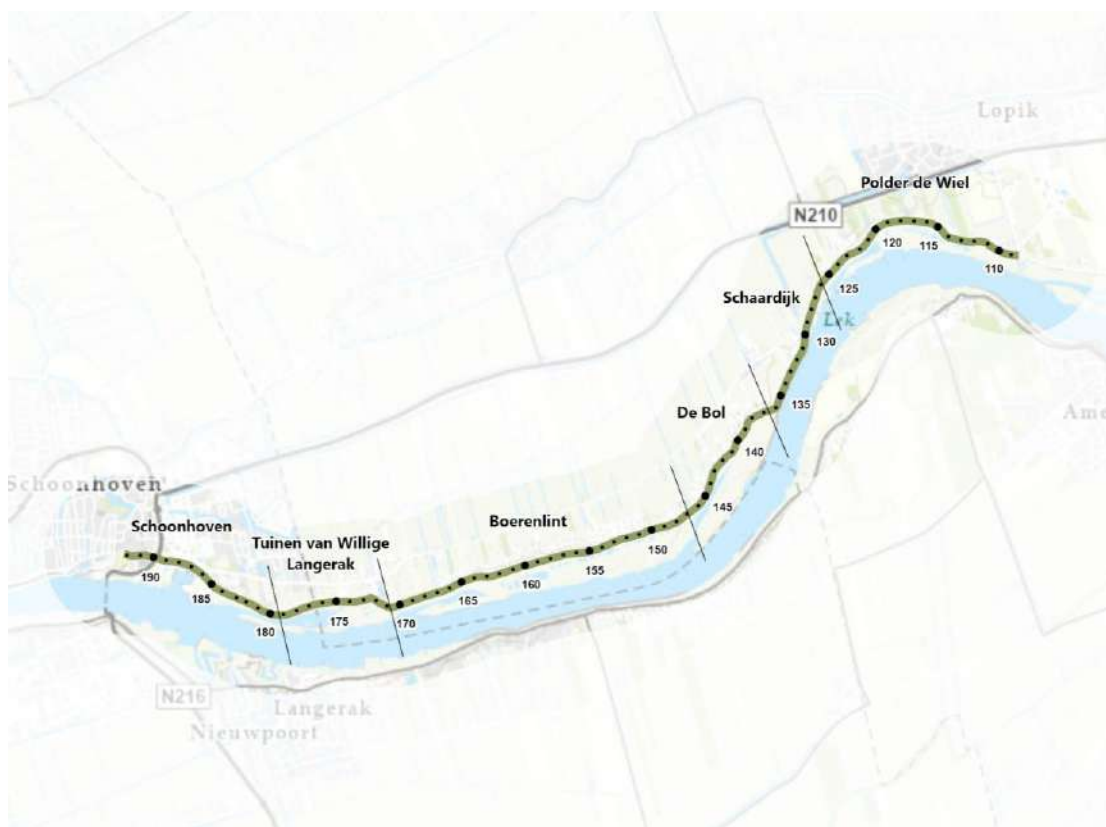
Naast het oplossen van de technische waterveiligheidsopgave heeft HDSR ook een beheeropgave van de dijk. Om te blijven voldoen aan de nieuwe veiligheidsnorm is zorgvuldig beheer aan de dijk noodzakelijk. Deze beheermaatregelen bestaan uit: taludverflauwing, beheerstroken, afritten naar de beheerstroken en kruininrichting. HDSR kan op korte termijn niet alle beheermaatregelen uitvoeren op het volledige dijktraject Salmsteke – Schoonhoven. Er is daarom een selectie gemaakt van de beheermaatregelen die wel op korte termijn kunnen worden uitgevoerd waar deze logisch en doelmatig te combineren zijn. Voor een deel van de dijk geldt dat het inpassen van de beheereisen is meegenomen in het basisontwerp bij de waterveiligheidsopgave. Op een aantal plekken vormen alleen de beheermaatregelen het basisontwerp. Deze beheermaatregelen zijn opgenomen in het projectbesluit. De overige beheermaatregelen worden op een later moment in een apart project uitgevoerd.

## 1.3 Te onderzoeken situaties

In het MER worden drie situaties onderzocht: de gebruiksfase en realisatiefase van het planvoornemen en de doorkijk naar de eindsituatie. Deze worden hieronder beschreven. De dijk is opgedeeld in 6 dijkzones die verschillen in kenmerken van de dijk, het landschap en het landgebruik eromheen. Elke zone heeft een leidende gebruiksfunctie zoals wonen, natuur of landbouw. De zes dijkzones worden daarom ook afzonderlijk beschreven en beoordeeld, behalve voor die aspecten waarbij er geen relevante verschillen tussen de dijkzones bestaan.

De dijkzones zijn weergegeven in Figuur 1-1, van oost naar west:

1. Polder de Wiel
2. Schaardijk
3. De Bol
4. Boerenlint
5. Tuinen van Willige Langerak
6. Schoonhoven

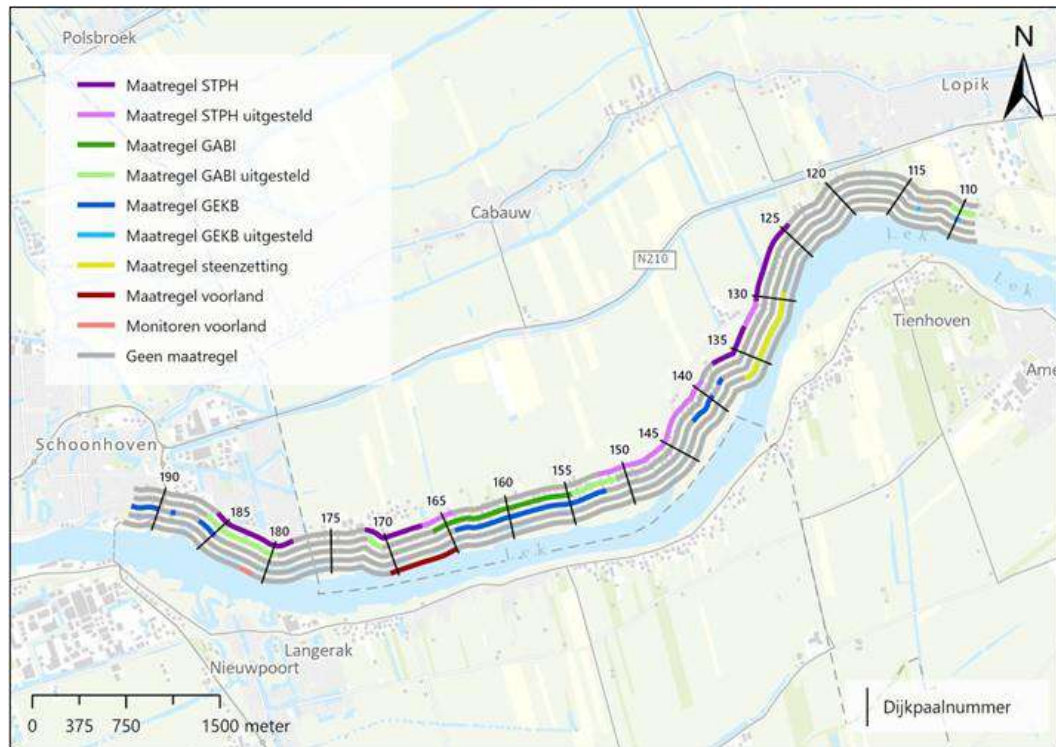


*Figuur 1-1 Deeltraject Salmsteke - Schoonhoven (SAS), inclusief dijkzones en dijpalen*

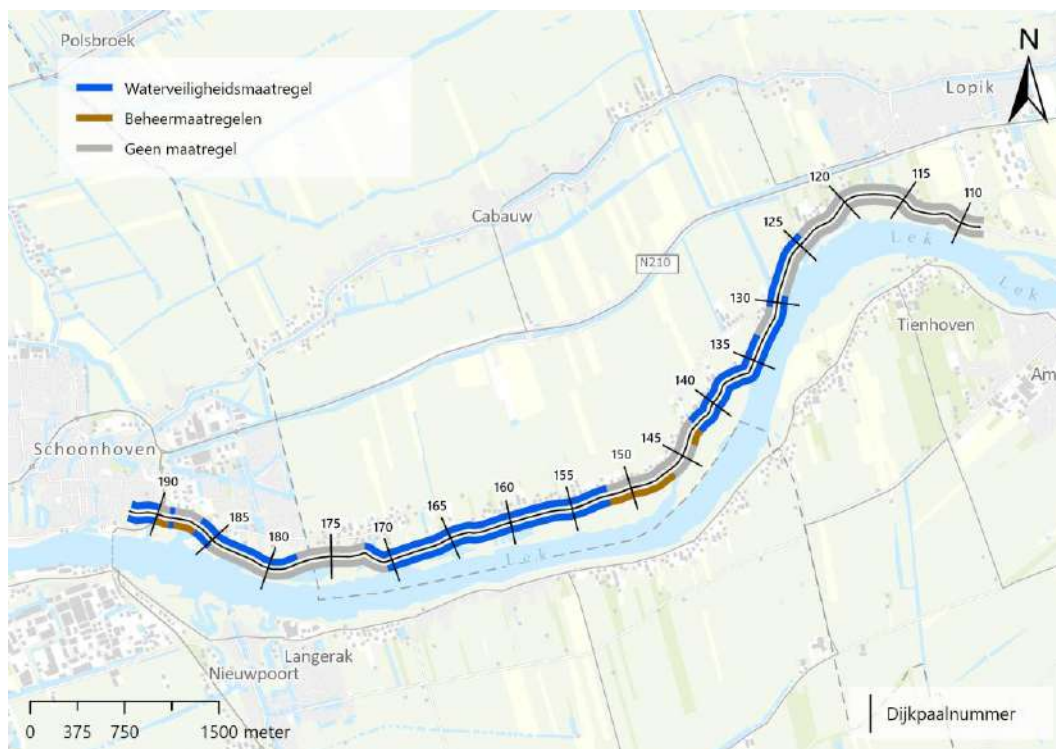
### 1.3.1 Planvoornemen

Het planvoornemen is beschreven in hoofdstuk 3.2 van het MER-deel 2. De beschrijving omvat algemene onderdelen zoals de kruinverhoging, verticale constructies, steenbekleding, taludaanpassingen en de beheermaatregelen en behandelt het ontwerp verder per dijkzone.

De scope van het projectbesluit voor het dijkversterkingsproject SAS heeft betrekking op twee onderdelen: de technische waterveiligheidsopgave om te voldoen aan de waterveiligheidsnormen en het verbeteren van de beheerbaarheid van de dijk ('de beheeropgave'). De beheermaatregelen worden meegenomen op locaties waar dit logisch en doelmatig samenvalt met de dijkversterking. Deze maatregelen zijn schematisch weergegeven in Figuur 1-2, waarin de benodigde waterveiligheidsmaatregelen zijn weergegeven en Figuur 1-3 waarin is aangegeven waar de beheeropgave ook wordt meegenomen.



Figuur 1-2 Maatregelenoverzicht waterveiligheid VO 3.1



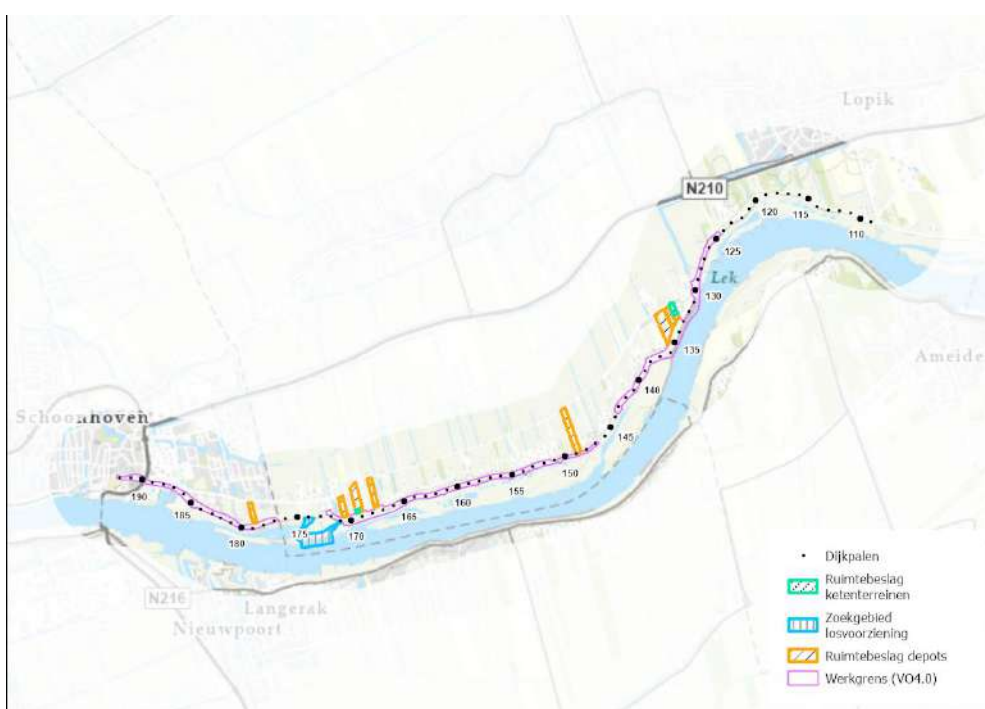
Figuur 1-3 Overzicht waterveiligheids- en beheermaatregelen (Bovenste lijn: binnenzijde. Onderste lijn: buitenzijde)

### 1.3.2 Realisatiefase

De werkzaamheden voor de diverse maatregelen bestaan uit de volgende stappen:

- Conditioneren van het terrein (verwijderen obstakels, kabels en leidingen verleggen, maaien terrein);
- Voorbereiden van de werkzaamheden (inrichten bouwwegen, instellen omleidingsroutes, aanvoer materiaal en materieel);
- Aanbrengen van verticale of horizontale constructies;
- Opruimen van het terrein;
- Herstellen en afwerken van het terrein.

Hierbij wordt gebruik gemaakt van tijdelijke werkdepots, zie Figuur 1-4. Niet alle depots op de figuur zullen uiteindelijk nodig zijn, het gaat hierbij nog om zoekgebieden.



*Figuur 1-4 Ruimtebeslag realisatiefase met werkgrens en zoekgebieden voor werkdepots, ketenterreinen en losvoorziening*

In de realisatiefase kunnen effecten optreden door de aanwezigheid van werkdepots en tijdelijke wegen, de aanleg en het gebruik van een tijdelijke loswal, verkeersomleidingen en de uitvoering van werkzaamheden, zoals overlast door geluid en trillingen.

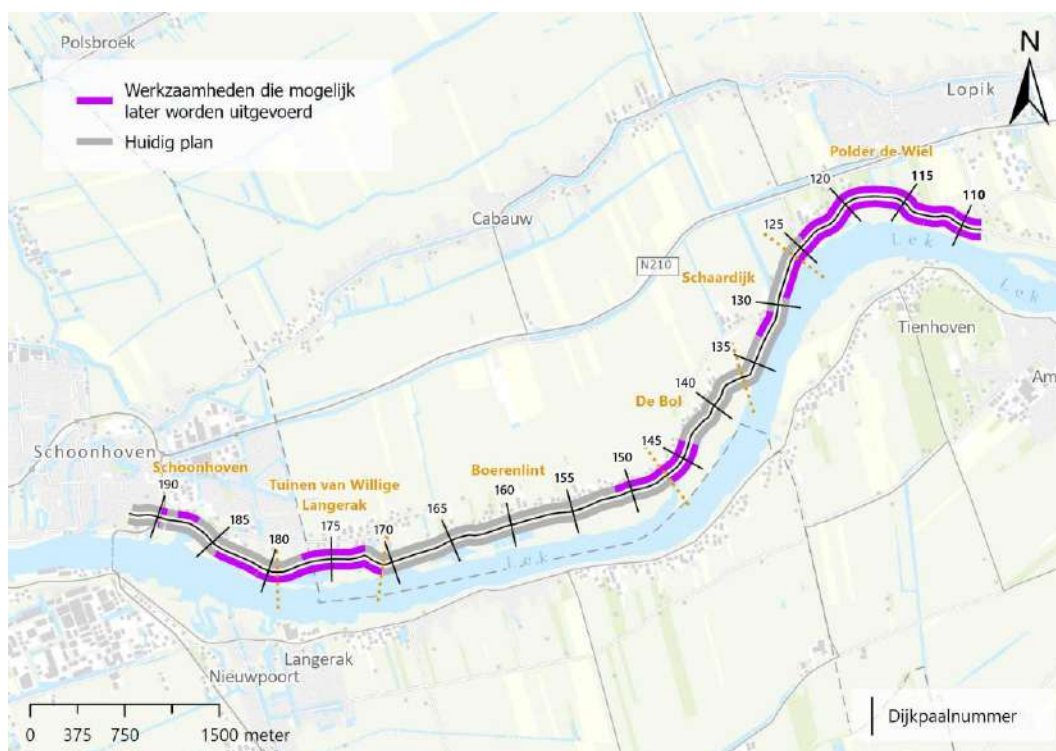
De realisatie van de gehele dijkversterking zal op basis van huidige planning uitgevoerd worden tussen 2028 en 2030. In het eerste jaar wordt gestart met de buitendijkse werkzaamheden en mogelijk ook met het voorbelasten van bepaalde dijkvakken. In beginsel worden de werkzaamheden van oost naar west uitgevoerd.

De dijkversterkingswerkzaamheden worden altijd over een beheerst tracé uitgevoerd aangezien een afgegraven deel dijk bij hoogwater tijdig dichtgemaakt moet worden om de veiligheid te waarborgen.

### 1.3.3 Doorkijk eindsituatie

Voor de strekkingen waar, in het huidige dijkontwerp, de beheermaatregelen niet tegelijk met de dijkversterking worden gerealiseerd, geldt dat deze in de toekomst door HDSR alsnog uitgevoerd worden. Nu niet alle beheermaatregelen direct worden meegenomen vanwege de planning en kosten, is het wel van belang inzicht te geven in de mogelijke effecten van het totale ontwerp, zodat inzicht ontstaat in de mogelijke gecumuleerde effecten en er reeds in dit planstadium kan worden afgewogen of dit aanleiding geeft om andere keuzes te maken.

Om een doorkijk te kunnen geven naar de toekomst worden in dit MER ook globaal de effecten van het dijkontwerp inclusief deze beheermaatregelen beschreven. Hierbij wordt alleen ingegaan op de meest ingrijpende maatregelen, namelijk het taludherstel en de aanleg van de beheerstroken. Andere maatregelen zoals het vervangen van steenbekleding of puin in dijkbekledingen zijn niet meegenomen omdat deze geen ruimtelijke effecten hebben. In Figuur 1-5 is aangegeven waar sprake is van deze maatregelen.



*Figuur 1-5 Doorkijk naar eindsituatie, in paars staat aangegeven waar de toekomstige beheersmaatregelen worden genomen*

## 2 Uitgangspunten

### 2.1 Studiegebied

In het MER is het te onderzoeken gebied aangeduid met twee termen: het plangebied en het studiegebied. Het plangebied is het gebied waarbinnen de maatregelen plaatsvinden.

Voor het criterium *Effect op rivierwaterstanden* geldt dat de effecten van de dijkversterking kunnen doorwerken tot ver buiten het projectgebied. Het studiegebied voor dit criterium omvat de hele Nederrijn en Lek.

Voor het criterium *Effect op het grondwatersysteem* geldt dat de effecten van de dijkversterking binnendijs door kunnen werken maar boven- of benedenstrooms van het dijktraject worden geen relevante effecten verwacht. Het studiegebied voor dit criterium behelst dus de lengte van het dijktraject met een buffer van 3 kilometer bovenstrooms en 6 kilometer benedenstrooms.

Voor het criterium *Invloed op oppervlaktewatersysteem* is het studiegebied in eerste instantie het projectgebied. Indien er effecten op oppervlaktewaterkwantiteit zijn te verwachten, wordt het studiegebied uitgebreid naar het watersysteem waar het betreffende oppervlaktewater (sloten en dergelijke) onderdeel van uitmaakt.

Voor het criterium *Effect op KRW-relevant areaal* geldt dat de effecten van de dijkversterking kunnen doorwerken op de KRW-doelstellingen van het KRW-waterlichaam Oude Maas, waar de Lek onderdeel van uitmaakt.

### 2.2 Kaders wet- en regelgeving, beleid en richtlijnen

Voor het thema Water zijn de in de onderstaande tabel aangegeven wettelijke/beleidskaders relevant.

*Tabel 2-1 | Relevante beleidsdocumenten en wetgeving*

Europese kaders	Planspecifiek
Richtlijn 2000/60/EG van het Europees parlement en de Raad van 23 oktober 2000 (EU-waterrichtlijn)	Doelstelling is het realiseren en behouden van chemisch schoon en ecologisch gezond oppervlaktewater en grondwater. De EU-lidstaten moeten deze 'goede toestand' uiterlijk in 2027 realiseren. Er zijn uitzonderingsmogelijkheden. Voor de Kaderrichtlijn Water (KRW) zijn beschermde gebieden aangewezen (KRW wordt hieronder uitgewerkt). In deze gebieden gelden aanvullende omgevingswaarden in het Besluit kwaliteit leefomgeving. Het geldt onder andere voor het Natura 2000-gebied Rijntakken.
Kaderrichtlijn Water (KRW)	De Kaderrichtlijn Water (KRW) is een Europese richtlijn die is gericht op de bescherming en verbetering van de waterkwaliteit. Het voornaamste doel van de KRW is om een goede ecologische en chemische toestand van alle wateren, zoals rivieren, meren, kust- en grondwater, in de EU te bereiken. De richtlijn stelt specifieke normen voor de kwaliteit van waterlichamen, inclusief grenswaarden voor verontreinigende stoffen.

Rijksbeleid	Planspecifiek
Omgevingswet	De Omgevingswet regelt de aanleg, het beheer en het gebruik van watersystemen, waaronder waterkeringen, oppervlaktewater- en grondwaterlichamen.
Zorgplicht (als onderdeel van de Omgevingswet)	Buitendijkse (rivierwaartse) dijkversterking betreft een activiteit in het rivierbed waarvoor een algemene zorgplicht van toepassing is. De zorgplicht houdt o.a. in dat de beheerder zorgdraagt voor een zo gering mogelijke waterstandsverhoging of afname van het bergend vermogen van het oppervlaktewaterlichaam ten gevolge van het gebruik en voor het compenseren van resterende onvermijdbare waterstandseffecten.
Beleidslijn Grote Rivieren 2025	Beleidsregel die beschrijft wanneer een omgevingsvergunning verleend mag worden voor activiteiten in het rivierbed. Toestemming wordt gegeven als: <ul style="list-style-type: none"> <li>• sprake is van een zodanige situering en uitvoering van de activiteit dat een veilig en doelmatig gebruik van de rivier gewaarborgd blijft;</li> <li>• feitelijke belemmeringen voor de vergroting van de afvoercapaciteit van de rivier worden voorkomen;</li> <li>• er sprake is van een zodanige situering en uitvoering van de activiteit dat een waterstandsverhoging of afname van het bergend vermogen van de rivier wordt voorkomen of zoveel mogelijk wordt beperkt;</li> <li>• resterende onvermijdbare waterstandsverhoging wordt gecompenseerd.</li> </ul>
Rivierkundig Beoordelingskader <sup>1</sup>	Het rivierkundig beoordelingskader beschrijft hoe een rivierkundige beoordeling uitgevoerd moet worden en kwantificeert wanneer rivierkundige effecten wel en niet toelaatbaar zijn.
Redeneerlijn buitendijks versterken (2018)	Bij dijkversterkingsmaatregelen langs de grote rivieren moet vaak een afweging gemaakt worden tussen binnendijkse of buitendijkse (rivierwaartse) versterking van de dijk. Deze afweging moet worden gedaan volgens de redeneerlijn buitendijks versterken. De redeneerlijn houdt in dat buitendijkse (rivierwaartse) versterkingen zoveel mogelijk voorkomen moeten worden.
Besluit kwaliteit leefomgeving (Bkl)	In artikel 9.1 van het Besluit kwaliteit leefomgeving staat dat het bij een projectbesluit verplicht is om de waterbelangen mee te wegen ('Watoets'). Als de effecten van het project op de grondwaterstand niet aanvaardbaar zijn, moet het projectbesluit maatregelen bevatten om die effecten te beperken of ongedaan te maken. De omgevingswaarden beschrijven de normen voor (grond)waterkwaliteit. De Kaderrichtlijn Water (KRW) bevat (onder andere) doelstellingen voor het bereiken van een goede ecologische toestand van

<sup>1</sup> De rivierkundige beoordeling van de dijkversterking SAS is uitgevoerd op basis van het Rivierkundig Beoordelingskader (RBK) versie 5.0. Inmiddels geldt voor rivierkundige beoordelingen het RBK versie 6.0. Bij de start van het project was echter het RBK versie 5.0 nog de vigerende versie. Daarom is met Rijkswaterstaat Oost-Nederland afgestemd dat deze versie gedurende het hele project wordt gebruikt voor de rivierkundige beoordeling. Het verschil tussen versies 5.0 en 6.0 zit vooral in de modelsoftware die wordt gebruikt voor de rivierkundige berekeningen. De beoordelingsaspecten en -criteria zijn (nagenoeg) hetzelfde.

	aangewezen wateren. Om deze doelstellingen te bereiken, gelden er omgevingswaarden voor oppervlaktewater.
Beleidsregel toetsingskader waterkwaliteit	Het toetsingskader is gericht op het beoordelen van mogelijke verslechtering van de ecologische of chemische toestand als gevolg van fysieke ingrepen of emissies van stoffen. Met als centrale vraag: <i>Kunnen de KRW-doelstellingen waarop de activiteit mogelijk effecten heeft nog behaald worden als de activiteit daadwerkelijk plaatsvindt?</i> Het doel van het toetsingskader is om ingrepen die mogelijke effecten hebben op de toestand van een rijkswaterlichaam snel te kunnen onderscheiden van gevallen die geen effect hebben op de toestand van een rijkswaterlichaam.
Provinciaal/regionaal beleid	
Bodem- en waterprogramma provincie Utrecht 2022- 2027	De provincie Utrecht laat met dit programma zien hoe -samen met haar partners- aan ambities uit de Omgevingsvisie wordt voldaan. Het gaat over duurzaam gebruik van de ondergrond, circulariteit, schoon oppervlaktewater, schone bodem en schoon grondwater, voldoende water, waterveiligheid en energie uit bodem en water. Onderdeel hiervan is het vaststellen van doelen en maatregelen voor de KRW.

### Europese Kaderrichtlijn Water

De EU-Kaderrichtlijn Water (KRW) uit 2000 heeft tot doel aquatische ecosystemen te beschermen en duurzaam gebruik van water te bevorderen. Verder beoogt de KRW grondwaterverontreiniging te verminderen en de gevolgen van zowel perioden van overstroming als perioden van droogte te verminderen. Een belangrijk uitgangspunt van de KRW is het 'stand still beginsel'. Dat wil zeggen dat na het jaar 2000 geen achteruitgang van de chemische en ecologische toestand van het water in het KRW-waterlichaam mag plaatsvinden.

De KRW schrijft voor dat al het oppervlaktewater uiterlijk in 2027 in een goede chemische en ecologische toestand moet verkeren. Het watersysteem is hiervoor opgedeeld in 'waterlichamen'. Dit zijn hydrologische eenheden met een bepaalde minimum omvang. Het begrenzen van waterlichamen, de typologie en de status aanwijzing (natuurlijke, sterk veranderde of kunstmatige wateren) vormen de basis voor de uitwerking van ecologische doelstellingen. Een waterlichaam met een natuurlijke status heeft een hogere doelstelling dan een kunstmatig of sterk veranderd waterlichaam.

Op Europees niveau zijn normen voor de chemische toestand van water voor een groep prioritair stoffen vastgelegd. Deze normen gelden uniform voor alle oppervlaktewateren en zijn in Nederland verankerd in het Besluit kwaliteit leefomgeving (Bkl).

Voor de ecologische toestand van het water moeten normen geformuleerd worden voor biologische kwaliteitselementen, hydromorfologische kenmerken, biologie-ondersteunende fysisch-chemische parameters en voor overige specifieke verontreinigende stoffen. Hiervoor zijn door de lidstaten van de EU zelf normen en doelstellingen opgesteld. De normen voor de specifieke verontreinigende stoffen gelden voor alle wateren. Ook deze zijn vastgelegd in het Bkl. De overige doelstellingen (de zogenaamde GEP's: goed ecologisch potentieel) zijn per waterlichaam afgeleid op basis van landelijke referenties en maatlaten. Deze doelstellingen zijn vastgesteld in de provinciale 'Regionale Waterprogramma's'.

## 2.3 Beoordelingskader

Voor het beoordelen van de effecten is een beoordelingskader nodig. Voor het thema water geldt het volgende beoordelingskader:

Tabel 2-2 | Beoordelingskader Water

criterium	Toelichting
Effect op rivierwaterstanden	De dijkversterking heeft mogelijk een effect op de stroming en waterstanden bij hoge rivierafvoeren. De waterstanden mogen niet toenemen bij maatgevende hoge rivierafvoeren vanwege de hoogwaterveiligheid.
Invloed op grondwatersysteem	De dijkversterking heeft effect op het lokale grondwatersysteem. Binnendijs mogen daardoor met name tijdens hoog- en laagwatersituaties geen problemen ontstaan, zoals ondergelopen kruipruimtes, schade door zetting van de ondergrond. In de landbouw moet nat- en droogteschade worden voorkomen.
Invloed op oppervlaktewatersysteem	De dijkversterking heeft mogelijk een effect op het oppervlaktewatersysteem binnendijs.
Effect op KRW-relevant areaal	KRW-relevant areaal is het gebied dat geschikt is voor bodemdieren, vissen of waterplanten. Er mag geen bestaand areaal dat relevant is voor de KRW-doelen verdwijnen of verslechteren in kwaliteit.

In paragraaf 2.5 wordt beschreven hoe de beoordeling van deze criteria plaatsvindt.

## 2.4 Aannames en uitgangspunten

### Effect op rivierwaterstanden

Voor het criterium *Effect op rivierwaterstanden* is met name gekeken naar de effecten van de dijkversterking op de maatgevende waterstanden op de as van de rivier. Voor de hoogwaterveiligheid zijn ook de waterstanden buiten de as van de rivier van belang, waarbij een waterstandsverhoging bij de dijk zoveel mogelijk voorkomen moet worden. Het uitvoeren van een binnendijkse dijkversterking heeft geen effect op de waterstanden, maar in dit gebied is het redelijkerwijs niet mogelijk om de dijkversterking uit te voeren zonder buitendijkse maatregelen te nemen. Buitendijks versterken en het aanleggen van de beheerstrook is nodig om de hoogwaterveiligheid en beheerbaarheid (voor het borgen van de toekomstige veiligheid) te verbeteren. Bij een buitendijkse dijkversterking zijn effecten op de waterstand onvermijdelijk. Daarom is de beoordeling van waterstanden buiten de as van de rivier voor dit project minder relevant.

Een rivierwaartse dijkversterking veroorzaakt vaak een afname van het bergend volume van de rivier. In de nieuwe versie van de Beleidsregels grote rivieren, die is ingegaan op 1 februari 2025, moet voor alle ingrepen in het rivierbed worden getoetst of deze geen afname van het bergend volume veroorzaken. De uitgangspunten en criteria voor de rivierkundige beoordeling van het project dijkversterking SAS zijn echter al in 2023 vastgelegd in afstemming met RWS, toen de vorige versie van de Beleidsregels grote rivieren nog van kracht waren. In de oude versie van de regels was een toets op bergend volume alleen van toepassing voor ingrepen in bergende gebieden. De dijkversterking wordt volledig in stroomvoerend gebied uitgevoerd. Daarom is geen toets op het bergend volume gedaan.

Bij een rivierkundige beoordeling volgens het Rivierkundig Beoordelingskader (RBK) zijn behalve hoogwaterveiligheid ook de thema's Hinder of schade door hydraulische effecten en Morfologische effecten van belang. Uit eerdere analyses is gebleken dat de effecten voor deze thema's zeer beperkt zijn en ook veel minder gevoelig voor veranderingen in het ontwerp dan de effecten op hoogwaterveiligheid. Deze effecten worden in het voorliggend rapport wel kort beschreven maar wegen niet mee in de beoordeling en vormen ook geen apart criterium binnen het thema Watersysteem.

### **Invloed op grondwatersysteem**

Voor het criterium *Effect op het grondwatersysteem* is gekeken naar de binnendijkse impact van de maatregelen op de grondwaterstroming. De woningen en landbouwpercelen moeten hier geen hinder ondervinden van de dijkversterking. Omdat de exacte plaatsingslocaties en materialen van de pipingschermen nog niet vastgesteld zijn, zijn de volgende worst-case uitgangspunten gehanteerd:

- De plaatsing van de pipingschermen zo dicht mogelijk tegen de woningen aan binnen de aangewezen vlakken.
- Ondoorlatend pipingscherm (hydraulische weerstand van 100.000 dagen)

Het aanbrengen van de beheerstrook en de taludverflauwing zorgen voor veranderingen in de maaiveldhoogte in het dijktraject. Omdat de doorlatendheid van de beoogde ingebrachte grond onbekend is, wordt in de grondwatermodelberekeningen uitgegaan van het doorlaatvermogen van de huidige ondiepe ondergrond. Voor meer informatie over het grondwatermodel en de berekeningen die hiermee zijn gedaan wordt verwezen naar de technische achtergrond rapportage in Bijlage 1.

### **Invloed op oppervlaktewatersysteem**

Bij toenemend of veranderend ruimtebeslag als gevolg van een binnendijkse of buitendijkse asverschuiving van de dijk of de aanleg van piping- of stabiliteitsbermen kan het nodig zijn om bestaand oppervlaktewater aan te passen of te dempen. Voorbeelden zijn het verleggen van een dijksloot of het dempen van een (deel van) een watergang of een poel.

In het planvoornemen is van deze situaties geen sprake, het bestaande oppervlaktewatersysteem wordt niet geraakt. Er is daarom geen effect op het oppervlaktewatersysteem te verwachten. Om deze reden wordt dit criterium niet verder uitgewerkt.

### **Effect op KRW-relevant areaal**

Voor de effectbeoordeling van het criterium *Effect op KRW-relevant areaal* is gekeken of de geplande maatregelen rond de dijkversterking overlappen met het door RWS als KRW-relevant areaal beschouwde deel van de Lek-uiteerwaarden. Hiervoor wordt gebruik gemaakt van kaarten die soms erg grof kunnen zijn, in de zin van grote blokken. Door de onzekerheid van het KRW-relevante areaal is bij de huidige beoordeling gebruik gemaakt van een worst-case scenario. Een vergelijkbare analyse gemaakt tijdens deze MER-systematiek geeft een vergelijkbaar KRW-relevant areaal aan. Hierdoor kan gesteld worden dat 1) het KRW-relevant areaal zoals bepaald door RWS betrouwbaar is en 2) dat deze analyse gebruikt kan worden voor gebieden waarvoor geen KRW-relevant areaal beschikbaar is in de online GIS-viewer van RWS.

Een onderdeel van de gehanteerde Beleidsregel toetsingskader waterkwaliteit is het effect van lozingen (chemische stoffen en fysische chemische parameters). Er wordt

aangenomen dat vanuit de gebruikte materialen als, de aan te brengen grond, geen chemische of fysische chemische stoffen vrijkomen die het ecosysteem op korte of lange termijn negatief beïnvloeden.

## 2.5 Methodiek

Voor ieder criterium zal eerst de huidige en autonome situatie worden beschreven voor de relevante dijkzones.

Vervolgens worden per dijkzone de effecten, kansen en aandachtspunten van realisatie van het project. Hierbij wordt ook ingegaan op mitigerende maatregelen.

### Effect op rivierwaterstanden

De effectbeschrijving en -beoordeling van het criterium *Effect op rivierwaterstanden* gebeurt op basis van een kwantitatieve analyse. Deze kwantitatieve analyse bouwt sterk voort op eerder uitgevoerde kwalitatieve analyses van de dijkversterking. In een eerdere ontwerpfase (VO3.0) is een volledige rivierkundige beoordeling uitgevoerd waarbij het effect op rivierwaterstanden is bepaald met modelsimulaties met het stromingsmodel WAQUA. Deze beoordeling is beschreven in het rapport "Rivierkundige beoordeling, Dijkversterking VO3.0" d.d. 30 januari 2025.

Het plangebied van het huidige planvoornemen is kleiner dan in de eerdere ontwerpfase, waardoor voor de effectbeoordeling gebruikt gemaakt kan worden van de informatie uit dit eerdere rapport. Het oorspronkelijke rapport is aangevuld met nieuwe informatie en als bijlage 2 bij dit deelrapport gevoegd. In dit rapport staat een volledig overzicht van de uitgangspunten en randvoorwaarden van de uitgevoerde modelsimulaties.

Voor de doorkijk naar de eindsituatie is gebruik gemaakt van eerder uitgevoerde modelsimulaties van het VO2.0 waarin nog de volledige scope zat voor het buitendijkse gebied. Deze modelsimulaties zijn uitgevoerd volgens dezelfde uitgangspunten en randvoorwaarden als het VO3.0 maar zijn niet beschreven in een apart rapport.

Voor de realisatiefase zijn niet eerder modelberekeningen uitgevoerd. De inschatting van de effecten op de maatgevende waterstand voor deze fase is gedaan op basis van expert judgement en eenvoudige vuistregels.

### Invloed op grondwatersysteem

De effectbeschrijving en -beoordeling van het criterium gebeurt op basis van een kwantitatieve analyse. Hiervoor is gebruik gemaakt van modelsimulaties met de rekencode iMOD-2005. Het grondwatermodel is in een eerdere fase geactualiseerd en gevalideerd en het VO3.1 is als een scenariomodel ingebracht waarbij de toevoeging van de pipingschermen en aanpassing van het maaiveld in het scenariomodel is verwerkt.

Er zijn 5 situaties in kaart gebracht, te weten:

- Een extreem hoogwater situatie;
- Een extreem laagwater situatie;
- De GHG-situatie;
- De GVG-situatie;
- De GLG-situatie.

De extreem hoog- en laagwater situaties komen statistisch gezien eens in de 10 jaar voor en hebben betrekking op de gemeten rivierpeilen. De GXG-situaties komen gemiddeld 3x

per jaar voor en zijn de berekende grondwaterstanden. In bijlage 1 staat de technische achtergrondrapportage waar een gedetailleerde versie van het bepalen van deze situaties uitgelegd wordt.

Voor het beoordelen van de eventuele nat- en droogteschade in de binnendijkse landbouwpercelen en de eventuele schade aan woningen zijn effecten bepaald voor de bovenstaande situaties. Hiervoor zijn de effecten op de grondwaterstanden, stijghoogten en kwelfluxen in kaart gebracht. De volgende effecten worden als significant beschouwd:

- Een stijghoogte effect van minimaal 5 centimeter;
- Een effect op de kwel van minimaal 0,25 mm/dag.

### **Effect op KRW-relevant areaal**

De effectbeschrijving en -beoordeling van het criterium *Effect op KRW-relevant areaal* gebeurt op basis van een kwalitatieve analyse. Hiervoor is gebruik gemaakt het Toetsingskader waterkwaliteit (online beschikbaar via: [wetten.nl - Regeling - Beleidsregel toetsingskader waterkwaliteit - BWBR0046422](https://wetten.nl/Regeling-Beleidsregel-toetsingskader-waterkwaliteit-BWBR0046422)) dat RWS hanteert om nieuwe fysieke ingrepen te toetsen aan de vereisten van de KRW. Daarnaast is de online GIS-viewer ([KRW viewer RWS Oost- en Zuid-Nederland](#)) gebruikt voor inzicht in het KRW-relevant gebied, gerealiseerde KRW-maatregelen RWS Oost-Nederland en geplande KRW-maatregelen Oost-Nederland. Dit is aangevuld met een inundatiekaart voor 50 dagen in het jaar voor deze MER, voor gebieden waar geen KRW-relevant areaal beschikbaar is in de online GIS-viewer.

Voor zowel de doorkijk naar de eindsituatie en de realisatiefase is nog niet eerder gekeken naar het effect op KRW-relevant areaal. Daarom is voor beide fasen het Toetsingskader waterkwaliteit doorlopen. Dit toetsingskader is gericht op het beoordelen van een mogelijke verslechtering van de ecologische en/of chemische toestand als gevolg van een fysieke ingreep of als gevolg van lozingen. In het toetsingskader wordt gebruik gemaakt van drie beslisschema's (zie bijlage 3):

1. Algemeen:
  - a. De locatie van de ingreep,
  - b. Effecten op concreet geplande of uitgevoerde KRW-maatregelen,
  - c. Het voorkomen van de activiteit op de lijst van ingrepen van ondergeschikt belang voor de ecologische kwaliteit, én het plaatsvinden van de ingreep in een ecologisch gezien niet kwetsbaar gebied,
  - d. Of de ingreep een fysieke ingreep of een lozing betreft.
2. Effecten van lozingen
3. Effecten van fysieke ingrepen

Het doorlopen van de stroomschema's is gedaan op basis van expert judgement. Uit het doorlopen van het algemene deel van het toetsingskader (stroomschema 1) volgt dat binnen het project sprake is van fysieke ingrepen. Er is geen sprake van lozingen. De beoordeling in dit MER richt zich daarom op de effecten van fysieke ingrepen (stroomschema 3).

## 3 Referentiesituatie

In dit hoofdstuk wordt de referentiesituatie beschreven. Dit is de situatie die in de toekomst ontstaat als het project niet wordt uitgevoerd. Deze referentiesituatie is gebaseerd op de huidige situatie, trends en autonome ontwikkelingen.

### 3.1 Huidige situatie

#### 3.1.1 Rivierwaterstanden

De beoordeling van het criterium *Effect op rivierwaterstanden* is gebaseerd op een rivierkundig model (aangeleverd door Rijkswaterstaat Oost-Nederland (RWS ON)) dat uitgaat van de huidige situatie, aangevuld met verleende vergunningen en een aantal overige (plan)maatregelen.

De basis voor de huidige situatie is het model 'baseline-rijn-j18\_5-v1', dat de situatie in 2018 zo goed mogelijk beschrijft<sup>2</sup>. Bij de start van de rivierkundige beoordeling (in 2023) zijn door RWS ON enkele aanvullende actualisaties en correcties op dit basismodel uitgevoerd, die de stroming ter plaatse van het projectgebied voor SAS kunnen beïnvloeden. De belangrijkste aanvullingen betreffen:

- Een verbetering van de ligging van de bandijk voor het traject tussen Amerongen en Schoonhoven, inclusief aansluitingen van terpen, brughoofden en kades. De ligging van de bandijk is aangeleverd door HDSR en bevat de buitenkruinlijn, oftewel de rivierwaartse begrenzing van de kruin van de dijk.
- Actualisaties van de geometrie in de Collegewaard, De Bol en Willige Langerak op basis van laseraltimetrie-data uit 2019 en het AHN4.
- Actualisaties binnen het plangebied van Ruimte voor de Lek op basis van as-built data. Het betreft de aanleg van geulen in de Bossenwaard en 't Waalse Waard.

In paragraaf 3.2 wordt nader ingegaan op de verleende vergunningen en overige maatregelen die in het rivierkundig model zijn opgenomen.

#### 3.1.2 Grondwatersysteem

De beoordeling van het criterium *Effect op het grondwatersysteem* is gedaan met een regionaal iMOD grondwatermodel. De basis voor de huidige situatie is een uitsnede van UGM-data en, buiten UGM-gebied, landelijke data.

De huidige situatie is op een aantal punten verfijnd:

- De deklaag is geactualiseerd ter plekke van het dijkversterkingstraject;
- De oppervlaktewaterpeilen zijn lokaal gecorrigeerd;
- Het verhard oppervlak is gedetailleerder in kaart gebracht rond de dijkversterking;
- De nevengeulen langs de Lek zijn verbeterd in het grondwatermodel;
- Reeds geplaatste damwanden in de dijk zijn in het grondwatermodel verwerkt;
- De uitwisseling tussen oppervlaktewater en de ondergrond is gekalibreerd.

---

<sup>2</sup> Dit was het meest recente basismodel van Rijkswaterstaat bij aanvang van de rivierkundige beoordeling van de dijkversterking voor SAS.

Met het verwerken van bovenstaande maatregelen in het grondwatermodel reflecteert het model zo goed mogelijk de huidige situatie. Dit aangepaste grondwatermodel is als basis gebruikt voor het doorrekenen van de voorkeursontwerpen.

### 3.1.3 KRW-relevant areaal

Binnen het KRW-waterlichaam Oude Maas, waar de Lek onderdeel van uitmaakt, voldoet het biologische kwaliteitselement macrofauna momenteel aan de gestelde doelen. De toestand van overige waterflora en vis is respectievelijk als matig en ontoereikend beoordeeld. Alle fysisch chemische parameters voldoen aan de gestelde doelen. Vier specifieke verontreinigende stoffen voldoen niet. Vijf ubiquitaire prioritaire stoffen<sup>3</sup> voldoen niet. (Bron: Factsheet Oude Maas, versie 16 september 2025, online beschikbaar via [Het Waterkwaliteitsportaal](#)).

Het KRW-relevant areaal is het gebied dat geschikt is voor bodemdieren, vissen of waterplanten. Deze gebieden zijn belangrijk voor het halen van de doelen die zijn vastgelegd in de Kaderrichtlijn Water. Deze gebieden zijn weergegeven in de KRW viewer RWS Oost- en Zuid-Nederland ([KRW viewer RWS Oost- en Zuid-Nederland](#)).

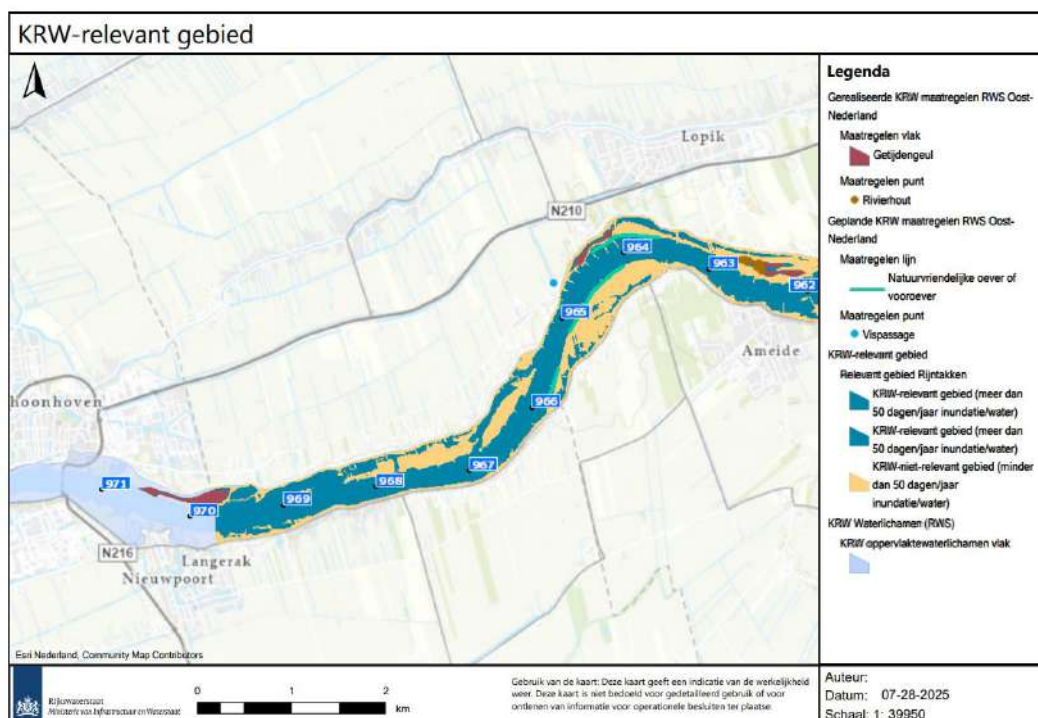
In de uiterwaarden gaat het daarbij over het algemeen om gebieden die meer dan 50 dagen per jaar onder water staan, maar de afperking is niet geheel eenduidig.

In de huidige situatie zijn er in het plangebied verschillende gebieden die (potentieel) relevant zijn voor de KRW (zie Figuur 3-1). In deze gebieden is niet per definitie waardevolle natuur aanwezig. Dit geldt voor macrofauna, water- en oeverplanten en vissen.

De afgelopen jaren zijn maatregelen uitgevoerd om de ecologische kwaliteit van de uiterwaarden, conform de 'maatlatten' die hiervoor zijn vastgesteld, te verbeteren. In dat kader is er een getijdegeul gerealiseerd nabij Schoonhoven in het meest westelijke deel van het plangebied (Dijkzones: Schoonhoven en Willige Langerak). Ook is een getijdegeul gerealiseerd nabij Lopik (Dijkzones: Schaarsdijk en De Bol).

---

<sup>3</sup> Ubiquitaire stoffen zijn stoffen die niet meer geloosd worden, maar die door nalevering uit bijvoorbeeld het sediment nog lange tijd in het water kunnen worden aangetroffen. Ze zijn schadelijk voor het waterleven.



Figuur 3-1 (Potentieel) KRW-relevante gebieden binnen dijktracé SAS en geplande en gerealiseerde KRW-maatregelen.

## 3.2 Autonome ontwikkeling en trends

### 3.2.1 Rivierwaterstanden

Voor het rivierkundige model waarmee het criterium *Effect op hoogwaterstanden* is beoordeeld, is de huidige situatie (beschreven in paragraaf 3.1.1) aangevuld met ingrepen die vergund zijn en definitief besloten planstudies. Op grond van vergunningen toegestaan, maar nog niet gerealiseerde veranderingen, worden hierbij ook meegenomen. De basis voor het rivierkundige model met vergunningen en planstudies is het model 'baseline-rijn-beno18\_5-v1'. Dit model is opgeleverd in 2019, wat betekent dat alleen de vergunningen en planstudies van voor 2019 zijn opgenomen in dit model. Voor de rivierkundige beoordeling van SAS zijn door RWS ON nog de volgende vergunde projecten toegevoegd aan het model:

- Aanpassingen aan de Beatrixsluizen vanwege de aanleg van een derde kolk.
- Een buitendijkse woonwijk bij Vianen die is vrijgesteld van vergunningsplicht.

De verschillende deelprojecten van het project Sterke Lekdijk zijn voor de rivierkundige beoordeling niet meegenomen als autonome ontwikkeling. Een aantal deelprojecten is inmiddels in een vergevorderd stadium maar waren op het moment van de uitlevering van het referentiemodel geen vergunde projecten en zijn daarom niet opgenomen in het rivierkundig model. Op basis van de voorkeursalternatieven van alle Sterke Lekdijk-projecten zijn de buitendijkse ingrepen (en effecten) vrij beperkt. Een uitzondering betreft Salmsteke, waar een nevengeul is aangelegd die voor wat bovenstroomse effecten zorgt. Het ontbreken van de deelprojecten van Sterke Lekdijk in het rivierkundige model heeft naar verwachting weinig invloed op de beoordeling van het effect op waterstanden, omdat bij de beoordeling vooral wordt gekeken naar het effect op de waterstanden en in mindere mate naar de absolute waterstanden.

### 3.2.2 Grondwatersysteem

Binnen de modelgrenzen van het regionale iMOD grondwatermodel spelen, voor zover bekend, geen autonome ontwikkelingen die van invloed kunnen zijn op de modelberekeningen. Andere dijkversterkingstrajecten liggen te ver van het SAS-dijkversterkingstraject af om invloed op de grondwaterstroming uit te kunnen oefenen.

### 3.2.3 KRW-relevant areaal

Voor de KRW zijn vanuit het KRW-maatregelenprogramma van RWS Oost-Nederland natuurvriendelijke oevers (NVO) of vooroevers gepland (zie ook Figuur 3-1) aan de projectzijde en aan de andere zijde van de Lek. Aan de projectzijde zijn de NVO's gepland bij dijkzone Polder de Wiel. Aan de andere zijde van de Lek zijn NVO's gepland ter hoogte van dijkzone De Bol en tegenover dijkzones Schaarsdijk en Polder de Wiel. Deze NVO's liggen niet in de invloedssfeer van de dijk maar zijn mogelijk wel relevant bij te nemen mitigerende maatregelen.

## 3.3 Referentiesituatie

### 3.3.1 Rivierwaterstanden

De referentiesituatie voor de rivierkundige beoordeling is op de volgende manier opgebouwd:

- De basis is de huidige situatie zoals beschreven in paragraaf 3.1.1.
- Vervolgens zijn de Vegetatielegger en Stroomlijn (as-built situatie) opgenomen in het model.
- Als laatste zijn de verleende vergunningen en een aantal overige (plan)maatregelen opgenomen (zie paragraaf 3.2.1).

### 3.3.2 Grondwatersysteem

De referentiesituatie voor de beoordeling van het grondwatersysteem is gebaseerd op de huidige situatie. Binnen de modelgrenzen van het regionale iMOD grondwatermodel spelen zoals gezegd, voor zover bekend, geen autonome ontwikkelingen die van invloed kunnen zijn op de modelberekeningen. Het referentiemodel bestaat dus uit het basisgrondwatermodel dat lokaal is verfijnd met de eerdergenoemde nieuwe inzichten.

### 3.3.3 KRW-relevant areaal

De KRW schrijft voor dat al het oppervlaktewater uiterlijk in 2027 in een goede chemische en ecologische toestand moet verkeren. Zo ook het KRW-waterlichaam Oude Maas (Bron: Factsheet Oude Maas, versie 16 september 2025, online beschikbaar via [Het Waterkwaliteitsportaal](#)).

Rijkswaterstaat verwacht de gestelde doelen voor de biologische kwaliteitselementen macrofauna en overige waterflora vrijwel zeker te behalen. De verwachting voor vissen is dat het doel redelijk zeker bereikt wordt.

Wat betreft fysische chemie is het vrijwel zeker dat alle relevante parameters het doel bereiken. Alleen temperatuur wordt aangeduid met redelijk zeker.

Bij de chemische stoffen (zowel specifieke verontreinigende stoffen als prioritaire stoffen) gaat het om negen norm overschrijdende stoffen, waarvan bij drie stoffen het onzeker is of het doel wordt behaald. De beoordeling van het doelbereik van de overige stoffen is redelijk zeker tot vrijwel zeker.

## 4 Effectbeschrijving en -beoordeling

In de volgende paragrafen worden per criterium de effecten beschreven en beoordeeld per dijkzone (tenzij dit niet onderscheidend is) ten opzichte van de referentiesituatie en ook in relatie tot normen en richtlijnen. Tevens wordt aangegeven of mitigerende maatregelen nodig, gewenst of mogelijk zijn en worden conclusies getrokken.

### 4.1 Effect op rivierwaterstanden

De effecten op rivierwaterstanden zijn zoveel mogelijk beoordeeld op basis van de beschikbare modelresultaten. Het modelinstrumentarium dat hiervoor is gebruikt bestaat uit de volgende onderdelen:

- Een schematisering van de rivier (inclusief uiterwaarden) zoals beschreven in paragraaf 3.3.1.
- Een hydrodynamisch model, waarmee de waterbeweging wordt gesimuleerd (WAQUA). De WAQUA berekeningen zijn uitgevoerd met het deelmodel waqua-rijn-beno18\_5\_20m\_nrlk-v1. Dit is een model voor de Nederrijn en Lek dat is opgezet op basis van een vaste, beleidsmatig vastgelegde afvoerverdeling bij de splitsingspunten van de Rijntakken (Pannerdensche Kop en IJsselkop).
- Randvoorwaarden voor de berekeningen. Voor het effect op rivierwaterstanden is de hoogwaterreferentie voor de Rijntakken gebruikt. De hoogwaterreferentie is een afvoersituatie van de rivier om de waterstandseffecten van ingrepen en ontwikkelingen op de belasting van de waterkeringen op een praktische manier te benaderen<sup>4</sup>. De hoogwaterreferentie is vastgesteld door RWS en betreft een hoogwaterafvoer van 16.000 m<sup>3</sup>/s op de Boven-Rijn bij Lobith.

Voor de beoordeling van de effecten op rivierwaterstanden is alleen gekeken naar de integrale effecten en is geen onderscheid gemaakt naar de effecten per dijkzone. De effecten op waterstanden van een ingreep werken vaak vele kilometers buiten de locatie van een ingreep door, waarbij normaal gesproken een geleidelijke afname van het effect in bovenstroomse richting te zien is. De effecten op waterstanden per dijkzone kunnen daarom niet los van elkaar worden gezien; de ingrepen in een bepaalde dijkzone hebben invloed op de waterstanden in andere dijkzones, waarbij effecten elkaar kunnen versterken of juist (gedeeltelijk) opheffen. Voor de beoordeling van de waterstandseffecten zijn daarom alleen de integrale effecten van het hele traject van belang.

#### 4.1.1 Effecten Planvoornemen - gebruiksfase

In een eerdere ontwerpfase (VO3.0) is een volledige rivierkundige beoordeling uitgevoerd waarbij het effect op rivierwaterstanden is bepaald met modelsimulaties. Het VO3.0 lijkt sterk op het planvoornemen. Het enige verschil dat relevant is voor het effect op rivierwaterstanden is dat er in het planvoornemen geen rivierwaartse (buitendijkse) maatregelen plaatsvinden tussen dijkpalen 143 en 147/148 (ter hoogte van

---

<sup>4</sup> Voor de belasting op waterkeringen zijn meerdere afvoeren en waterstanden van belang, maar om te voorkomen dat onnodig veel berekeningen uitgevoerd moeten is voor vergunningverlening gekozen om voor hoogwaterveiligheid aan één representatief afvoerniveau te toetsen.

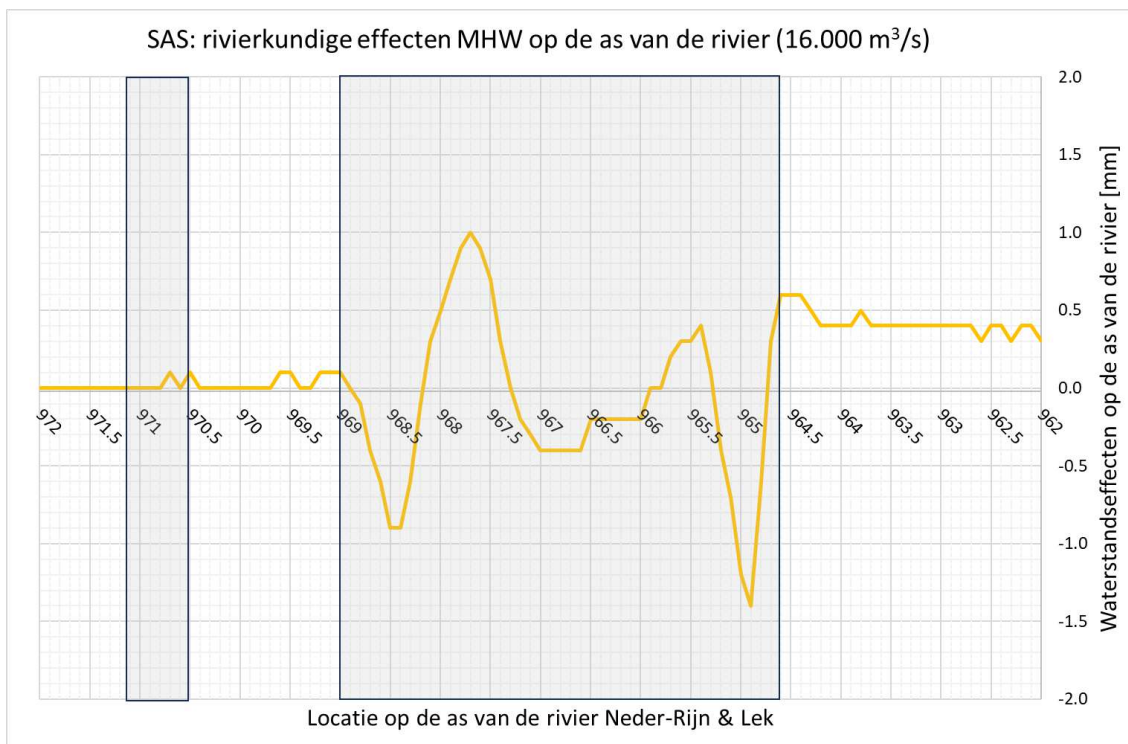
rivierkilometers 966,0 tot 966,5). In het VO3.0 waren hier nog wel maatregelen voorzien in de vorm van:

- Een rivierwaartse versterking van de dijk door een aanvulling van grond in het talud. Deze taludaanvulling varieert op dit traject van ruim 8 tot ruim 22 m<sup>3</sup> grond per strekkende meter dijk. Het totale volume van de taludaanvulling op dit traject is naar schatting ongeveer 7000 m<sup>3</sup>.
- De aanleg van een beheerstrook. De beheerstrook is onderdeel van de grondaanvulling in het buitendijkse talud van de dijk. Voor de rivierkundige berekeningen is aangenomen dat de beheerstrook en het talud van de dijk (tussen de kruin en de beheerstrook) worden vrijgehouden van begroeiing. In de referentiesituatie is er op deze locatie wat begroeiing aanwezig, wat betekent dat er hier in het VO3.0 wat ruwe vegetatie wordt verwijderd.
- De aanpassing van een op-/afrit net voorbij dijkpaal 147, ter hoogte van rkm<sup>5</sup> 966,5.

Uit de integrale berekening van het VO3.0 blijkt dat de bovengenoemde maatregelen tussen rkm 966,0 en 966,5 een zeer beperkt waterstandseffect hebben. Op basis van de waterstandseffecten op de as van de rivier (zie Figuur 4-1) en bij de kering lijken de maatregelen te zorgen voor een zeer beperkte waterstandsverhoging op de as van de rivier van 0,1 of 0,2 mm. In het planvoornemen komen deze maatregelen te vervallen en vindt deze waterstandsverhoging niet plaats. De waterstand is bovenstrooms van rkm 966,0 (rechts in de grafiek) daarom naar verwachting 0,1 mm lager dan in Figuur 4-1. Benedenstrooms van rkm 966,5 verandert het waterstandseffect niet, en de piek van 1 mm bij rkm 967,7 blijft hetzelfde. Het waterstandseffect op de as van de rivier is daarmee nog steeds zeer vergelijkbaar met de grafiek in Figuur 4-1 met een opstuwing van naar verwachting 0,5 mm die doorwerkt in bovenstroomse richting (in plaats van maximaal 0,6 mm bij het VO3.0) en een lokale waterstandspiek van 1 mm bij rkm 967,5.

---

<sup>5</sup> De Rijnkilometer (afgekort als rkm) is de stroomafwaartse afstand vanaf het punt waarop de Rijn bevaarbaar wordt



*Figuur 4-1 Waterstandseffecten VO3.0 bij maatgevend hoogwater (MHW) ter plaatse van het projectgebied. Het traject waar de dijkversterking plaatsvindt is aangegeven met de lichtgrijze blokken.*

Naast de waterstandseffecten op de as van de rivier moeten ook de waterstandseffecten bij de hoogwaterreferentie buiten de as van de rivier (in het 2D-vlak) worden beoordeeld. Hierbij moet worden gekeken of er geen belangen van derden worden geschaad. Dit kan bijvoorbeeld een waterstandsverhoging bij bebouwing zijn, maar ook een verhoging tegen kades of dijken. Een waterstandsverhoging bij de kering moet zoveel mogelijk worden voorkomen. In de praktijk is het vaak niet mogelijk om waterstandsverhogingen bij de kering helemaal te voorkomen. In dat geval geldt dat de verhoging van de waterstand bij een kering (of hoge grond) slechts is toegestaan na acceptatie door de betreffende beheerder van de waterkering (in dit geval HDSR).

Bij de kering zelf komen in het VO3.0 op meerdere locaties waterstandsverhogingen groter dan 1 mm voor (zie Tabel 4-1). In het planvoornemen vervallen de maatregelen tussen rkm 966,0 en 966,5 t.o.v. het VO3.0. Dit betekent dat de waterstandsverhoging tussen rkm 965,8 en 966,5 (weergegeven in groen) niet meer plaatsvindt in het planvoornemen. In bovenstroomse richting wordt verwacht dat de waterstandsverhoging in het planvoornemen zeer beperkt afneemt t.o.v. het VO3.0. Dit betekent dat de waterstandsverhogingen bovenstrooms van rkm 966 (weergegeven in geel) naar verwachting iets (maar zeer beperkt) afnemen en de trajectlengte waar de opstuwing groter is dan 1 mm ook iets korter wordt.

Tabel 4-1 Trajecten langs de kering waar de waterstandsverhoging in het VO3.0 groter is dan 1 mm. Soms is de waterstandsvaling niet over het hele traject groter dan 1 mm en is de trajectlengte in de laatste kolom kleiner dan op basis van de rivierkilometers in de eerste kolom.

Rkm	Locatie	Maximale opstuwing [mm]	Trajectlengte opstuwing > 1 mm [m]
964,6 – 964,8	Schaardijk	6	150
965,0 – 965,25	Schaardijk	13	280
965,3 – 965,6	De Bol	7	290
965,8 – 966,5	De Bol	9	400
967,0 – 967,1	De Bol	7	60
967,35 – 967,45	Boerenlint	7	60
967,55 – 967,85	Boerenlint	12	200
968,1 – 968,3	Boerenlint	20	140
968.7 – 969,0	Boerenlint	4	240

Bij de rivierkundige beoordeling van het VO3.0 is geconcludeerd dat de zeer beperkte negatieve effecten als gevolg van de dijkversterking vooral de waterstandseffecten bij de hoogwaterreferentie betreffen. De buitendijkse versterking en het aanleggen van de beheerstrook is echter nodig om de hoogwaterveiligheid en beheerbaarheid (voor het borgen van de toekomstige veiligheid) te verbeteren. Bij een buitendijkse dijkversterking zijn effecten op de waterstand onvermijdelijk. Bij de overige rivierkundige aspecten (zoals dwarsstroming en morfologie) zijn geen significante negatieve effecten gevonden.

Deze conclusies gelden ook voor het planvoornemen. De negatieve effecten op waterstanden zijn nog steeds zeer beperkt, en daarmee acceptabel. Voor de overige rivierkundige aspecten worden bij het planvoornemen vrijwel dezelfde effecten verwacht als bij het VO3.0. Dat betekent dat het planvoornemen voor deze aspecten ook geen significante negatieve effecten veroorzaakt.

#### 4.1.2 Effecten Planvoornemen - Realisatiefase

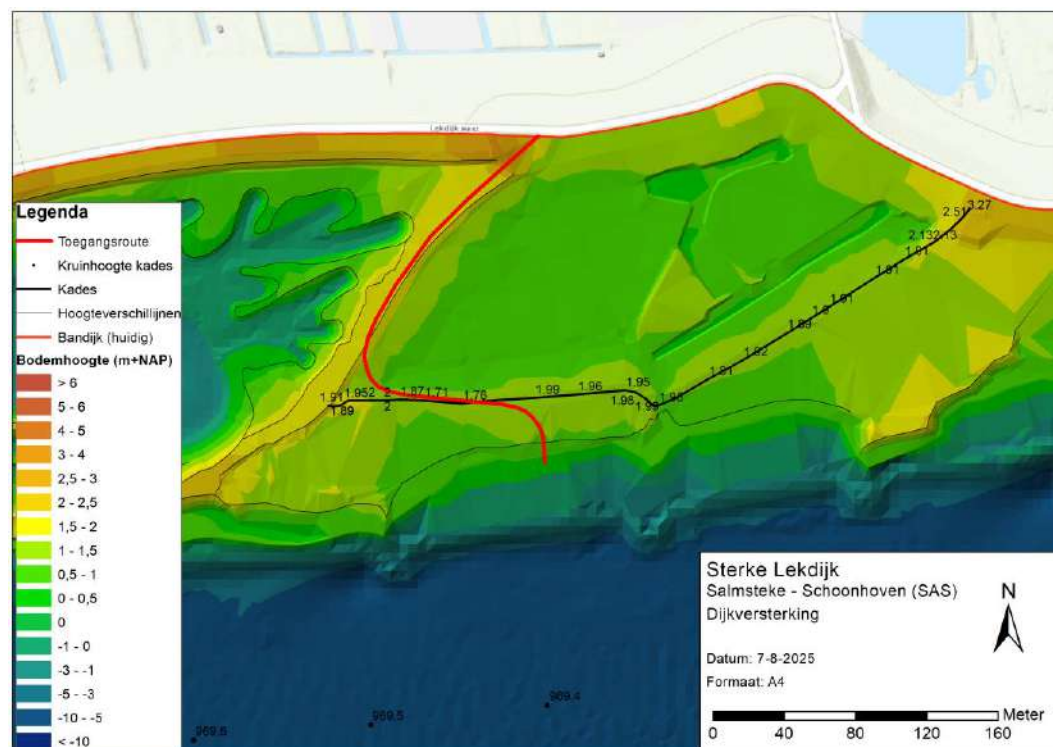
Tijdens de realisatiefase worden verschillende werkzaamheden uitgevoerd die mogelijk rivierkundige effecten hebben zoals het inrichten van werkstroken, aanleg van depots en de aanleg van een loslocatie voor schepen. De werkstroken betreffen stroken op en rond de dijk waar materieel kan rijden en waar materiaal tijdelijk kan worden opgeslagen. Omdat de werkstroken op en rond de dijk liggen vormen deze geen belemmering voor de stroming bij hoogwater en zorgt dit niet voor een verhoging van rivierwaterstanden. Het materiaal dat op de werkstroken wordt opgeslagen is vooral de bovengrond (toplaag) die van de taluds wordt afgehaald voordat er nieuwe klei kan worden aangebracht. Dit gaat dus om een beperkte verplaatsing van materiaal wat ook niet zorgt voor een effect op rivierwaterstanden.

De depots, waar grotere hoeveelheden materiaal worden opgeslagen, liggen allemaal binnendijks en hebben hierdoor geen effect op de rivierwaterstanden.

De enige maatregel die mogelijk wel effect heeft op de rivierwaterstanden is de aanleg van een loslocatie, bedoeld om klei over water aan te kunnen voeren. Binnen het plangebied zijn geen vaste voorzieningen aanwezig voor het laden en lossen van schepen. Daarom wordt een tijdelijke laad-loslocatie aangelegd ter hoogte van dijkspaal

174 (rkm 969,4). Het ontwerp van de laad-loslocatie is nog niet uitgewerkt. Voor de analyse van effecten wordt uitgegaan van een mobiele losvoorziening die bestaat uit:

- Een kraanschip dat wordt vastgelegd aan een aantal palen of een drijvend ponton met loskraan dat wordt verankerd met palen. Dit kraanschip of ponton wordt bij te hoge waterstanden weggehaald. Deze waterstanden zijn nog nader te bepalen maar er kan worden aangenomen dat het kraanschip of ponton bij de hoogwaterreferentie (maatgevend hoogwater) is weggehaald. Het kraanschip/ponton komt landwaarts van de normaallijn te liggen en ligt daarmee tussen de kribben (in het krib vak).
- Een rijbaan vanaf de oever naar het kraanschip of ponton (bestaande uit stortsteen ingepakt zand en rijplaten). De hoogte van deze rijbaan is nog niet bekend maar wordt waarschijnlijk vergelijkbaar met de hoogte van de kribben waartussen deze rijbaan komt te liggen.
- Om de losvoorziening bereikbaar te maken wordt een bouwweg (toegangsroute) aangelegd vanaf de dijk naar de loskade (zie Figuur 4-2). De bouwweg loopt zoveel mogelijk over de hogere delen in de uiterwaard. Direct langs de kant bij de losvoorziening ligt een zomerdijk (de kade in Figuur 4-2) met een hoogte van 1,6 tot 1,8 m NAP op basis van het AHN4 (in het rivierkundig model is de kade hier net iets hoger dan in het AHN4). De hoge rug vanaf de zomerkade naar de dijk waar de bouwweg overheen loopt heeft een vergelijkbare hoogte. Om veilig te kunnen rijden en de scherpe bocht vanaf de zomerkade richting de dijk te kunnen maken moet waarschijnlijk tegen de zomerdijk een rug zand worden verwerkt. Deze rug zand komt niet hoger te liggen dan de bestaande hoge delen waarover de toegangsroute loopt. Het betreft dus een versterking/verbreding en geen ophoging.



Figuur 4-2 Bodemhoogte en kades in het rivierkundig model, met toegangsroute vanaf dijk naar losvoorziening schetsmatig ingetekend.

Het effect op de waterstand van de losvoorziening is niet met een rivierkundig model berekend maar kwalitatief ingeschat. De verwachting is dat het effect op de waterstand beperkt is om de volgende redenen:

- Het grootste effect wordt waarschijnlijk veroorzaakt door de rijbaan naar het kraanschip/ponton omdat dit een nieuw obstakel vormt voor de stroming tijdens hoogwater. De rijbaan ligt echter tussen de kribben in die ook al een obstakel vormen. De ligging tussen de kribben zorgt ervoor dat er slechts in beperkte mate (extra) opstuwing plaatsvindt.
- De aanleg van de toegangsroute zorgt nauwelijks voor opstuwing omdat de zandaanvullingen die hiervoor nodig zijn tegen de bestaande hoge delen worden aangelegd en hier niet bovenuit komen.
- Het kraanschip of ponton zorgt ook nauwelijks voor opstuwing, omdat deze bij een maatgevend hoogwater worden verwijderd. De palen waaraan dit verankerd wordt blijven wel staan, maar vanwege de beperkte breedte (en ligging tussen de kribben) is de opstuwing klein.

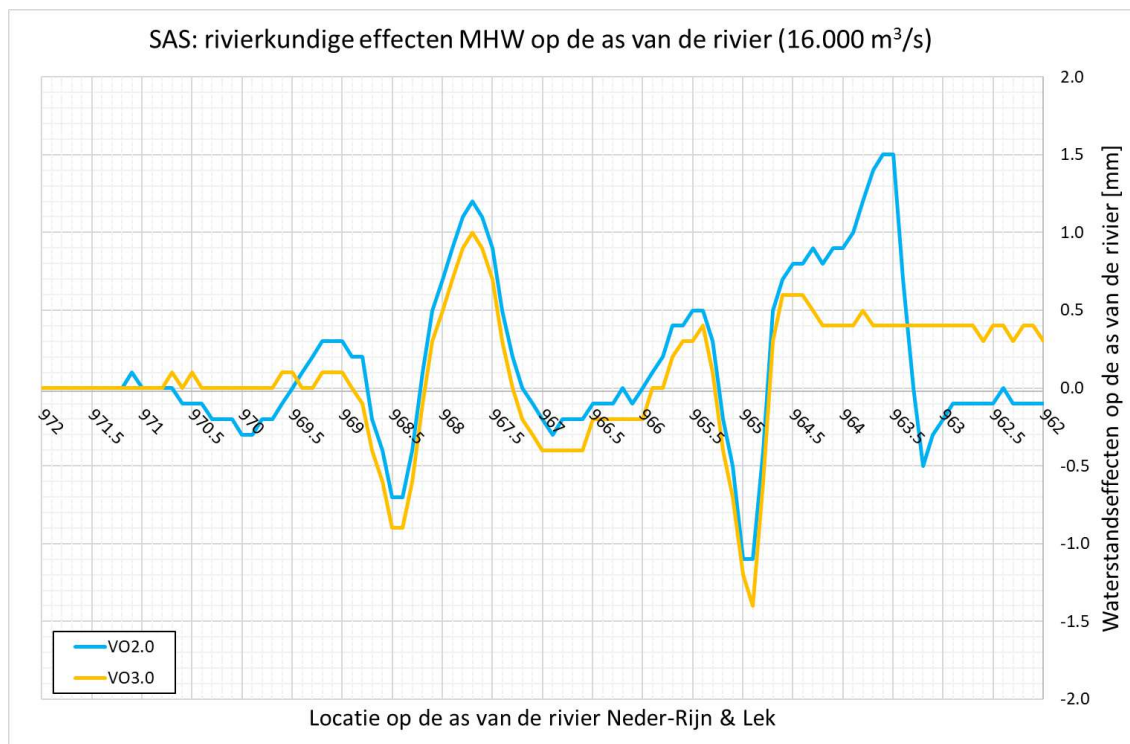
De verschillende maatregelen bij elkaar zorgen naar verwachting voor een waterstandsverhoging van maximaal enkele millimeters op de as van de rivier. Voor een tijdelijke situatie zijn de eisen aan de maximale waterstandsverhoging niet hard vastgelegd, maar minder streng dan voor een permanente situatie. Dat komt doordat de kans dat er een maatgevend hoogwater plaatsvindt tijdens de realisatiefase zeer klein is. De toelaatbaarheid van de effecten wordt gedaan door het bevoegd gezag (RWS), maar er kan worden aangenomen dat een waterstandsverhoging van maximaal enkele millimeters voor de realisatiefase acceptabel is.

Voor de overige rivierkundige aspecten (zoals dwarsstroming en morfologie) geldt dat in de realisatiefase geen negatieve effecten worden verwacht.

#### 4.1.3 Effecten Doorkijk eindsituatie - gebruiksfase

Voor effecten op waterstanden in de eindsituatie is gebruik gemaakt van eerder uitgevoerde modelsimulaties van een eerder planontwerp (VO2.0) waarin nog de volledige scope zat voor het buitendijkse gebied. In deze modelsimulaties zitten dus de door HDSR gewenste beheermaatregelen bij Polder de Wiel en Willige Langerak (taludverflauwing en aanleg beheerstrook). Deze beheermaatregelen zijn later uit de scope van het project SAS gehaald. De modelsimulaties zijn uitgevoerd volgens dezelfde uitgangspunten en randvoorwaarden als het VO3.0 maar zijn niet beschreven in een apart rapport. De buitendijkse maatregelen die in de doorkijk zitten en relevant zijn voor het effect op waterstanden (taludaanvullingen, op- en afritten, aanleg beheerstrook) zijn tussen het eerdere planontwerp en het VO3.0 vrijwel niet veranderd; richting het VO3.0 is alleen een deel van de maatregelen uit de scope gehaald. Dat betekent dat de rivierkundige berekeningen van het eerdere planontwerp representatief zijn voor de effecten op waterstanden van de eindsituatie.

Het waterstandseffect van de doorkijk eindsituatie is in blauw weergegeven in Figuur 4-3. Om deze goed te kunnen vergelijken met de gebruiksfase is de grafiek van het VO3.0 ook in deze figuur opgenomen.



*Figuur 4-3 Waterstandseffecten doorkijk eindsituatie (blauw) en VO3.0 bij maatgevend hoogwater (MHW) ter plaatse van het projectgebied.*

In de eindsituatie zijn – aanvullend op het planvoornemen – ook buitendijkse maatregelen genomen bij Polder de Wiel (rkm 963,1 tot 964,7) en Willige Langerak (rkm 969,0 tot 970,6). Dit zijn vergelijkbare maatregelen als bij het planvoornemen (taludaanvullingen, aanleg beheerstrook en aanpassing op- en afritten) maar omdat op deze trajecten geen waterveiligheidsopgave rust betreffen dit alleen beheermaatregelen. Op basis van een vergelijking van de waterstandseffecten op de rivieras van de doorkijk eindsituatie en het VO3.0 kunnen de volgende conclusies worden getrokken:

- De maatregelen bij Willige Langerak zorgen voor een kleine waterstandsverhoging van 0,2 á 0,3 mm. Deze waterstandsverhoging werkt door in bovenstroomse richting, waardoor de lokale waterstandspiek bij rkm 967,7 toeneemt van 1,0 naar 1,2 mm ten opzichte van het planvoornemen.
- De maatregelen bij Polder de Wiel hebben een tweeledig effect. Ten eerste zorgen deze voor een lokale waterstandsverhoging tussen rkm 963,4 en 964,7. Tegelijkertijd zorgen de maatregelen voor een waterstandsval over een langer traject in bovenstroomse richting t.o.v. het planvoornemen van ongeveer 0,5 mm (afnemend in bovenstroomse richting). Deze waterstandsval werkt door tot ongeveer Nieuwegein (bij rkm 950, buiten het bereik van Figuur 4-3). Het waterstandseffect bij Polder de Wiel is vooral het gevolg van de gewijzigde op- en afritten en in mindere mate van de buitendijkse taludaanvullingen.

Het waterstandseffect van de eindsituatie voldoet, in tegenstelling tot het planvoornemen, in principe niet aan het criterium uit het Rivierkundig Beoordelingskader dat waterstandsverhogingen groter dan 1 mm niet zijn toegestaan. In het geval van een lokale waterstandsverhoging in combinatie met een waterstandsverlaging over een langer traject, kan hierop een uitzondering worden gemaakt. Dat is bij de eindsituatie niet het geval. De eindsituatie wordt echter pas veel later uitgevoerd dan het planvoornemen. Als HDSR de aanvullende maatregelen bij Polder de Wiel en Willige Langerak in de toekomst wil uitvoeren, mogen deze bij de (toekomstige) rivierkundige beoordeling worden

beschouwd als een apart project. Bij de beoordeling wordt dan alleen gekeken naar de waterstandseffecten van de beheermaatregelen bij Polder de Wiel en Willige Langerak en niet zoals in Figuur 4-3 (bij het VO2.0) naar de gecombineerde effecten van het planvoornemen plus de toekomstige (beheer)maatregelen.

Er is geen rivierkundige berekening uitgevoerd voor alleen de (toekomstige) beheermaatregelen bij Polder de Wiel en Willige Langerak. Op basis van de verschillen in waterstandseffecten tussen het VO2.0 en het VO3.0 kan wel een inschatting gemaakt worden van het waterstandseffect van deze maatregelen:

- Aan de bovenstroomse zijde van het projectgebied (rkm 963) vindt een waterstandsdaling plaats van ongeveer 0,5 mm. Deze waterstandsdaling neemt geleidelijk af in bovenstroomse richting en is bij rkm 950 naar verwachting uitgewerkt.
- Bij Polder de Wiel is er een lokale waterstandsverhoging tussen rkm 963,5 en 964,7. Deze waterstandsverhoging is maximaal 1,1 mm en wordt vooral veroorzaakt door de aanpassing van op- en afritten.
- Tussen rkm 964,7 en 970,6 vindt er een kleine opstuwing plaats van maximaal 0,3 mm, als gevolg van de maatregelen bij Willige Langerak.

Deze effecten voldoen bijna aan de criteria uit het Rivierkundig Beoordelingskader; alleen de lokale waterstandsverhoging van ruim 1 mm bij Polder de Wiel voldoet niet aan het RBK omdat hier te weinig waterstandsdaling tegenover staat. Dit betekent dat er waarschijnlijk een (beperkte) optimalisatie van het ontwerp gedaan moet worden om de effecten vergunbaar te krijgen.

Behalve lokale waterstandsverhogingen op de as van de rivier zullen er in de eindsituatie ook waterstandsverhogingen bij de kering zijn bij Polder de Wiel en (in mindere mate) Willige Langerak. De waterstandsverhogingen bij de kering zijn groter dan de effecten op de as van de rivier omdat de maatregelen ook bij de kering plaatsvinden. Het aanleggen van de beheerstrook is echter nodig om de beheerbaarheid te verbeteren en daarmee de toekomstige veiligheid te borgen. Door het aanleggen van de beheerstrook zijn effecten op de waterstand onvermijdelijk. De waterstandsverhoging bij de kering ligt naar schatting in de orde van enkele millimeters en de verwachting is dat dit geen probleem vormt in verband met het belastingniveau van de kering.

De overige rivierkundige aspecten (waarvan de belangrijkste dwarsstroming en morfologie) zijn niet getoetst voor het VO2.0 (die vrijwel gelijk is aan de eindsituatie). Op basis van de toetsing van het planvoornemen en de aanvullende maatregelen, die in de eindsituatie zijn gedaan, worden echter geen significante negatieve effecten verwacht voor de overige aspecten uit het Rivierkundig Beoordelingskader.

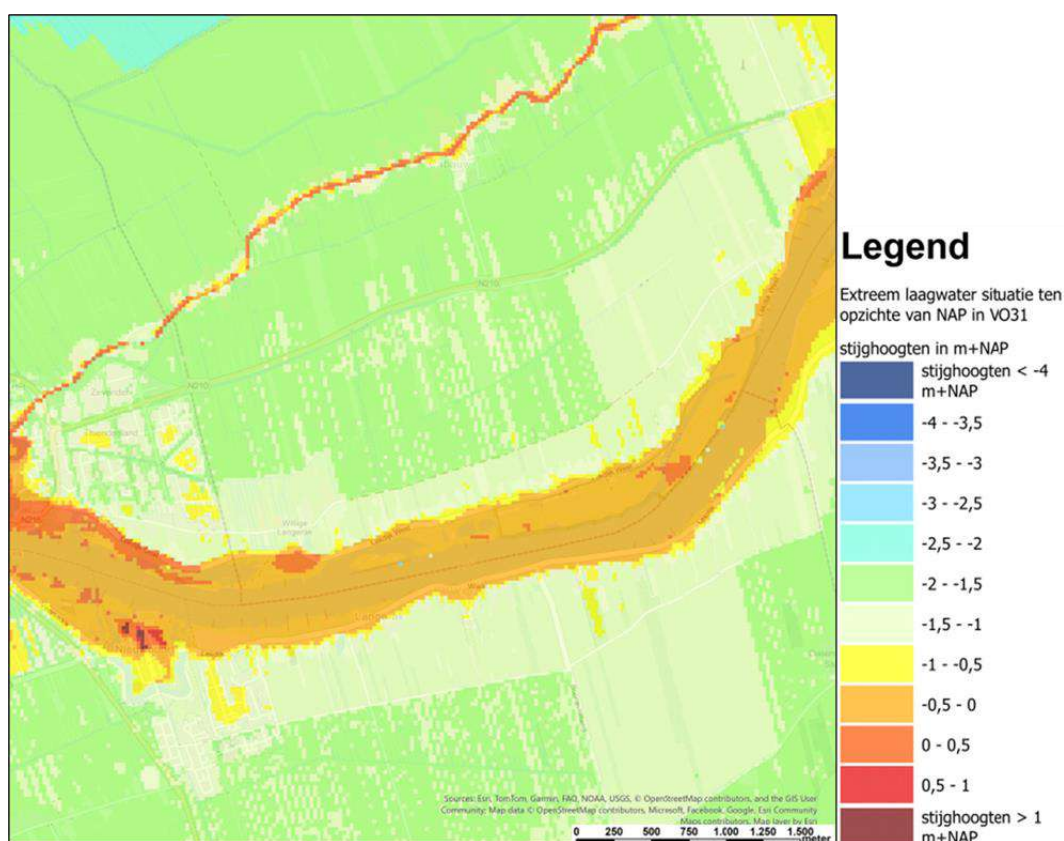
## 4.2 Invloed op grondwatersysteem

### 4.2.1 Effecten planvoornemen – gebruiksfase en realisatiefase

Voor de bepaling van de effecten van de dijkversterking op het grondwatersysteem is er geen onderscheid tussen de effecten in de gebruiksfase en de effecten in de realisatiefase. Deze effecten zijn namelijk gelijk omdat de regionale hydrologische situatie in beide fases van het project hetzelfde is.

Het effect van de verflauwde taluds van de dijk en de plaatsing van de pipingschermen worden gezamenlijk beoordeeld. Daarbij wordt ingezoomd op de *binnendijkse situatie*, in het bijzonder op de woningen en landbouwpercelen.

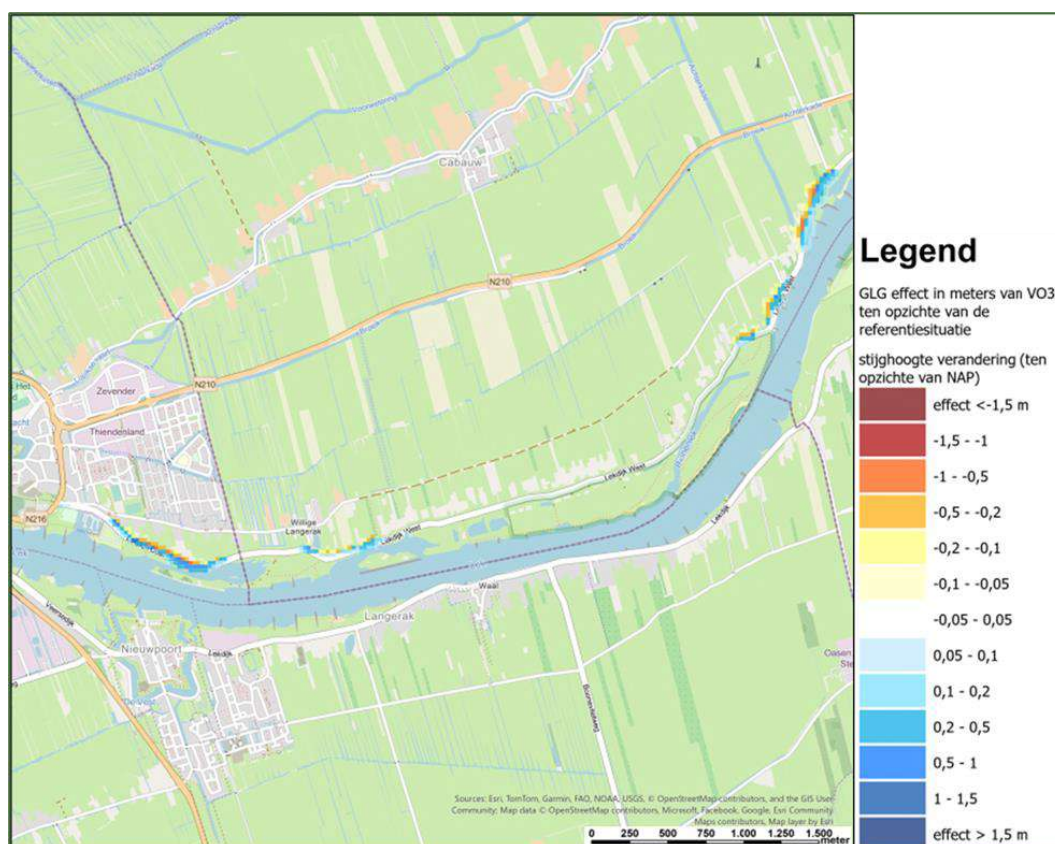
Het dijkversterkingstraject ligt in een poldergebied, waar binnendijks de maaiveldhoogtes beneden NAP zijn. Door het relatief hoge peil van de Lek infiltreert er jaarrond water vanuit de Lek naar dit lagergelegen poldergebied, zie Figuur 4-4. Deze figuur toont de freatische stijghoogten (bovenste laag grondwater) in een extreem laagwater situatie. Uit deze figuur blijkt dat zelfs in een laagwater situatie die gemiddeld eens per 10 jaar voorkomt het rivierpeil hoger is dan de binnendijkse freatische stijghoogten.



Figuur 4-4 Stijghoogten (freatisch) in een extreem laag water situatie ( $T=10$  jaar).

Figuur 4-5 toont de berekende effecten van de dijkversterking in de GLG-situatie. Omdat het Lekpeil altijd hoger is dan het polderpeil zorgt de plaatsing van een verticale constructie ook in deze droge situatie voor een vernatting aan de Lek kant van de verticale constructie en voor een verdroging aan de binnendijkse kant van de verticale constructie. Hierdoor zullen de verticale constructies geen problemen veroorzaken tijdens nattere periodes, maar nemen mogelijk risico's die samenhangen met verdroging (droogteschade, zettingen, veenoxidatie, funderingen) toe.

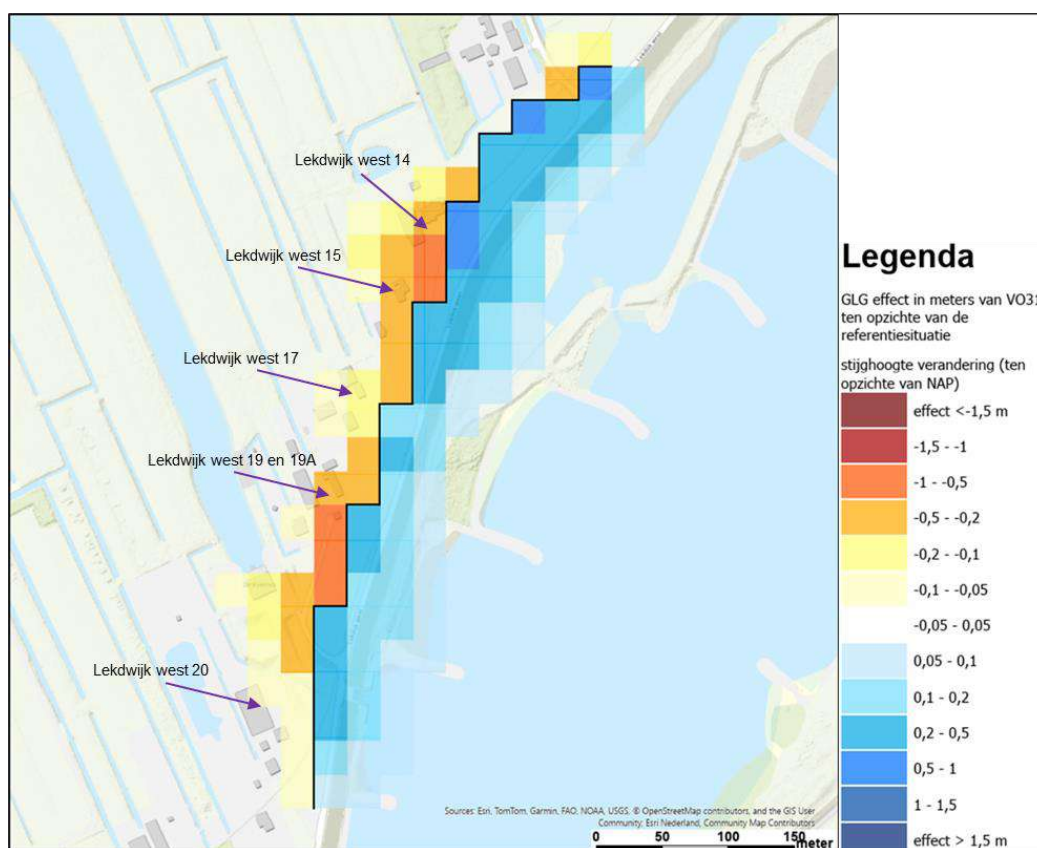
Er wordt geen verandering van de landbouwschade voorzien omdat de effecten van dijkversterking niet reiken tot de landbouwpercelen.



Figuur 4-5 Berekend effect op de freatische stijghoogte in de GLG-situatie.

Figuur 4-6 toont een close-up zien van het effect ter plekke van een pipingscherm. De zwarte lijn in deze figuur is het pipingscherm zoals dat in het grondwatermodel is verwerkt. De blauwe kleuren duiden op vernatting aan de Lekzijde en geelrode kleuren duiden op verdroging aan de binnendijkse zijde. De dijkwoningen waarin een GLG-situatie de grondwaterstand mogelijk meer dan 5 cm verlaagd zijn in de figuur gemarkeerd met een cirkel en pijlen.

Zoals gezegd, door verdroging in een GLG-situatie nemen mogelijk risico's die samenhangen met verdroging (droogteschade, zettingen, veenoxidatie funderingen) toe. De berekende verdrogingen reiken soms tot aan de dijkwoningen (verlaging freatische stijghoogte > 5 cm). Het gaat om de woningen: Lekdijk Oost 4 (67 centimeter verdroging), Lekdijk West 14 (52 centimeter verdroging), 15 (28 centimeter verdroging), 17 (13 centimeter verdroging), 19 (25 centimeter verdroging), 19A (8 centimeter verdroging), 20 (8 centimeter verdroging), 24 (7 centimeter verdroging) en 83 (13 centimeter verdroging).



Figuur 4-6 Close-up van de berekende effecten op de freatische stijghoogte in de GLG-situatie.

Deze patronen zijn in alle situaties te zien (extreem hoog- en laagwatersituaties en alle GXG-situaties). Dit komt doordat het Lekpeil altijd hoger is dan het binnendijkse polderpeil. De nattere situaties (extreem hoogwater- en GHG-situatie) laten wel een grotere vernatting vóór het pipingscherm en grotere verdroging achter het pipingscherm zien. Dit komt doordat de gradiënt van het Lekpeil naar het binnendijkse grondwaterpeil groter is in nattere situaties. Verdrogingen in nattere situaties (extreem hoogwater- en GHG-situaties) zijn in principe niet ongunstig voor de aanwezige functies (bebouwing, landbouw).

Bij het bovenstaande moet wel bedacht worden dat in het rekenmodel de schermen in de constructiezone zo dicht mogelijk bij de woningen zijn geplaatst. Bij optimalisatie van de schermlocaties, of de keuze voor schermen met een hogere waterdoorlatendheid, zijn deze effecten naar verwachting kleiner.

#### 4.2.2 Effecten doorkijk eindsituatie - gebruiksfase

De eindsituatie verschilt met het planvoornemen doordat er in een aantal gebieden van het dijktraject nog taludverflauwing en aanleg van beheerstroken plaatsvindt. De taludverflauwing en aanleg van beheerstroken hebben niet of nauwelijks impact op het grondwatersysteem. 4.1.1 Het grondwatersysteem wordt wel beïnvloedt door de plaatsing van piping schermen (paragraaf 4.2.1). Met andere woorden: de beoordeling van de effecten van de maatregelen op het grondwatersysteem is in de eindsituatie gelijk aan de beoordeling van het planvoornemen.

## 4.3 Effect op KRW-relevant areaal

### 4.3.1 Effecten planvoornemen – gebruiksfase

#### **Willige Langerak en Polder de Wiel**

Het huidige ontwerp raakt het KRW-relevant areaal niet bij deze dijkzones. De maatregelen hebben geen permanent effect op de waterkwaliteitselementen. De beoordeling is hier daarom neutraal.

#### **Schoonhoven**

De aan te leggen beheerstrook en grasbekleding lijkt het KRW-relevant areaal te raken bij dijkpaal 185.

Mogelijke mitigerende maatregelen:

- Een kleine ontwerpaanpassing door in het ontwerp nog iets te schuiven met de taluds, waardoor er geen aantasting van het KRW-areaal meer plaatsvindt. Het is echter de vraag of hiermee ruimtebeslag binnen het KRW-relevant areaal volledig voorkomen kan worden.

Vanwege de geringe impact op de KRW is de beoordeling van dit traject dan ook een lichte aantasting t.o.v. referentiesituatie.

#### **Boerenlint**

De nieuw aan te leggen steenbekleding om erosie tegen te gaan raakt het KRW-relevant areaal bij dijkpalen 167-170. Daarnaast lijkt de aan te leggen grasbekleding/beheerstrook met KRW-relevant areaal en mogelijk één poel binnen het KRW-relevante areaal te raken bij dijkpalen 148-162. Beide ingrepen kunnen in potentie een negatief effect hebben op de daar aanwezige waterplanten en macrofauna. Hoewel het gebied qua beoordeling samen wordt genomen, worden de maatregelen hier voor het gemak los van elkaar beschouwd als steenbekleding (167-170) en grasbekleding (148-162).

#### Steenbekleding (167-170)

De steenbekleding wordt aangebracht om de dijkstabiliteit te borgen, omdat sprake is van erosie van de bestaande oever. Op dit moment liggen hier geen stortstenen. Het is echter onbekend wat voor habitat er wel ligt. Ook Topotijdreis laat geen eenduidig beeld zien. In de afgelopen 5 jaar lijkt er in het ene jaar sprake te zijn van begroeiing en het andere jaar van zand/kale grond.

In het ontwerp worden de stortstenen geplaatst, waarboven weer een bodemlaag wordt aangebracht (in het ontwerp wordt van een overlaging gesproken). Begroeiing van de oever is daardoor in de toekomst nog steeds mogelijk, waardoor de oorspronkelijke situatie hersteld kan worden onder de juiste omstandigheden.

Zolang de oorspronkelijke situatie hersteld kan worden hoeven in principe geen mitigerende maatregelen getroffen te worden. Wanneer de oorspronkelijke situatie niet herstelt of dat door erosie de bodem boven de stortstenen verdwijnt, kunnen de volgende mitigerende of vereffenende maatregelen overwogen worden (merk op dat dit voorbeelden zijn en dat andere maatregelen ook mogelijk zijn);

- Herintroductie van de nu aanwezige soorten.
- (Regelmatig) opnieuw aanbrengen van een bodemlaag boven op de stortstenen.
- Compenserende maatregelen elders treffen (bijvoorbeeld verwijderen van onnodige steenbestorting).

Voor nu wordt aangenomen dat de huidige situatie teruggebracht kan worden, eventueel met gebruikmaking van kleine aanvullende mitigerende maatregelen. Hierdoor komt de beoordeling uit op geen of weinig verandering tot een lichte aantasting t.o.v. de referentiesituatie.

#### Grasbekleding (148-162)

De grasbekleding is onderdeel van d14e beheerstrook die aan de buitenzijde van de dijk wordt aangelegd. De maatregel raakt op verschillende plekken echter het KRW-relevant areaal. De poel bij dijkpaal 148 leek in eerste instantie geraakt te worden, vanwege onduidelijke grenzen. Wanneer naar de insteek van de poel (veranderend talud en oeverbegroeiing) wordt gekeken dan is er geen raakvlak tussen de poel en het ontwerp. (zie onderstaande figuur) Daarmee blijft over dat het ontwerp wel het KRW-relevante areaal rond de poelen raakt.



*Figuur 4-7 Locatie grasbekleding i.r.t. KRW-relevant areaal*

Hoewel in geringe mate, is er sprake van aantasting van KRW-relevant areaal. Daardoor wordt ervan uitgegaan dat er mitigerende maatregelen getroffen moeten worden.

Mogelijke mitigerende of vereffenende maatregelen zijn:

- Aanpassing van de taluds in het ontwerp waardoor het ontwerp een aantal centimeters kan opschuiven. Het is echter de vraag in hoeverre deze maatregel voldoende is.
- Compenserende maatregelen elders treffen.

In de huidige fase is echter onbekend wat precies de mogelijkheden zijn. Maar ook hoe RWS denkt over dit knelpunt.

Hoewel de inspanning van de mitigerende maatregel op het moment van schrijven nog niet met zekerheid bepaald kan worden, is de impact op de KRW licht negatief. De beoordeling rond deze poelen is dan ook een lichte aantasting t.o.v. referentiesituatie.

#### **De Bol**

De aan te leggen beheerstrook en grasbekleding lijkt het KRW-relevant areaal te raken tussen dijkvakken 139-144.

Mogelijke mitigerende maatregelen:

- Een kleine ontwerpaanpassing door in het ontwerp nog iets te schuiven met de taluds, waardoor er geen aantasting van het KRW-areaal meer plaatsvindt. Het is echter de vraag of hiermee ruimtebeslag binnen het KRW-relevant areaal volledig voorkomen kan worden.

Vanwege de geringe impact op de KRW is de beoordeling van dit traject dan ook een lichte aantasting t.o.v. referentiesituatie.

### **Schaardijk**

De (op)nieuw aan te brengen steenbekleding om erosie tegen te gaan raakt het KRW-relevant areaal bij dijkpalen 130-136.

Door de overlap met het KRW-relevant areaal kan de ingreep een negatief effect hebben op de daar aanwezige waterplanten en macrofauna of heeft de potentie daarvoor. Hierbij spelen de volgende onzekerheden:

- Huidige ondergrond: Het gehele talud boven de waterlijn bestaat uit stortsteen. De verwachting is dat de steenbestorting ook onder de waterlijn doorloopt. Het is echter onbekend tot hoever het stortsteen doorloopt onder de waterlijn.

Zolang het gaat om onderhoud en vervanging van bestaande objecten door objecten van vergelijkbare aard en omvang en op dezelfde locatie valt deze maatregel onder vergunningsvrije activiteiten van ondergeschikt ecologisch belang.

Omdat het onbekend is in hoeverre de stortstenen onder de waterlijn doorlopen, is momenteel uitgegaan van een lichte aantasting van het openwater areaal. Op de oever en net onder de waterlijn wordt er van uitgegaan dat de huidige ecologische situatie hersteld kan worden, al dan niet met kleine mitigerende maatregelen.

Dat betekent dat er mogelijk mitigerende maatregelen getroffen moeten worden. Op dit moment zijn er nog geen mitigerende maatregelen gepland. Bij de mitigerende maatregelen kan men onder andere denken aan de volgende oplossingsrichtingen, die nog verder uitgewerkt en/of aangevuld dienen te worden:

- Huidige soorten terugplaatsen of herintroduceren (oevers en net onder de waterlijn).
- Habitat met dezelfde kwaliteit elders aanleggen om negatieve effecten te vereffenen (open water areaal).
- Holtes tussen de stortstenen opvullen met zand en grind om zo de habitat minder aantrekkelijk te maken voor exoten, die concurreren met inheemse (doel)soorten om ruimte en voedsel. Al zal dit regelmatig herhaald moeten worden in verband met wegspoelen.

Voor nu wordt aangenomen dat mitigerende maatregelen wel getroffen kunnen worden maar door de grootte van de potentiële mitigerende maatregelen komt de beoordeling uit op een lichte aantasting t.o.v. referentiesituatie.

### **Conclusie**

Op basis van bovenstaande bevindingen is de huidige beoordeling een lichte aantasting t.o.v. de referentiesituatie voor de dijkzones Schoonhoven, Boerenlint, De Bol en Schaardijk. En geen of weinig verandering t.o.v. de referentiesituatie voor Willige Langerak en Polder de Wiel.

### **4.3.2 Effecten planvoornemen – realisatiefase**

Voor de realisatie van het ontwerp zijn constructiezones, zoekgebieden, werkvakken en een werkgrens vastgesteld. In nagenoeg alle dijkzones overlappen de werkvakken en/of de werkgrenzen het KRW-relevante areaal:

- Polder de Wiel: geen overlap met KRW-relevant areaal.
- Schoonhoven, Boerenlint, de Bol en Schaardijk: overlapping van het KRW-relevant areaal vanwege werkzaamheden. Dit betreft geplande werkzaamheden die in 4.3.1. al zijn besproken: de beheerstroken en het aanbrengen van steenbestorting.

- Willige Langerak: een laad- en losvoorziening is voorzien in de Lek en daarmee in het KRW-relevant areaal. De oevers lijken op de luchtfoto begroeid met waterplanten waardoor het habitat en het open water langere tijd negatieve effecten ondervinden van de werkzaamheden. Daarnaast ligt nabij de voorziening een gerealiseerde KRW-maatregel.

Volgens het Toetsingskader waterkwaliteit zijn er activiteiten die altijd zijn toegestaan. Tijdens de realisatiefase zijn mogelijk de volgende vergunningsvrije activiteiten van onderschikt ecologisch belang van toepassing:

- Het voor een periode van ten hoogste zes maanden plaatsen en opslaan van bouwwerken, bouwborde, materiaal en materieel om een werk of onderhoud te kunnen uitvoeren in, op, boven, over of onder een oppervlaktewaterlichaam of een bijbehorend kunstwerk.
- Andere activiteiten die vanwege de aard, beperkte omvang of korte duur naar het oordeel van de beheerder geen nadelige invloed hebben op het waterstaatkundige beheer.

Mogelijk kan gebruik gemaakt worden van één van de vergunningsvrije activiteiten. Indien dat niet het geval is, bijvoorbeeld omdat de laad- en losvoorziening meer dan 6 maanden blijft liggen, dienen mitigerende maatregelen getroffen te worden.

### **Conclusie**

Op basis van bovenstaande bevindingen, uitgaande van het worst-case scenario en uitgaande van een lichte inspanning voor een potentiële mitigerende maatregel worden in dijkzones Schoonhoven en Polder de Wiel geen negatieve effecten verwacht. Voor Boerenlint, de Bol en Schaadijk beperkte negatieve effecten en voor Willige Langerak negatieve effecten.

### **4.3.3 Effecten doorkijk eindsituatie - gebruiksfase**

Naast de al beschreven plannen en beoordelingen in paragraaf 4.3.1. zullen ter aanvulling daarop later nog beheerstroken en taludverflauwingen aangelegd worden.

- Schoonhoven en Willige Langerak: Beheerstroken en/of taludverflauwingen buitendijks bij dijpalen 174-181 op ongeveer 10 meter van het waterlichaam en de uitgevoerde KRW-maatregel.
- Willige Langerak, de Bol en Polder de Wiel: Beheerstroken en/of taludverflauwingen buitendijks bij dijpalen 171-177, 143/144-147 en 113-119 raken het KRW-relevant areaal.

In deze dijkzones is sprake van overlap met het KRW-relevant areaal. De maatregelen overlappen niet met de rivier, geul en poelen zelf. De natuurwaarde van het overlappende gebied is echter onbekend, mogelijk is sprake van een beperkte impact ten aanzien van de KRW. Daarom is de beoordeling van deze trajecten dan ook een lichte aantasting t.o.v. referentiesituatie.

## 4.4 Cumulatieve effecten

### 4.4.1 KRW-relevant areaal

Op het moment van schrijven is nog niet geheel duidelijk wat de effecten van andere projecten precies zijn. Vanuit de dijkversterking Jaarsveld-Klaphek is bekend dat het KRW-relevant areaal licht beïnvloed wordt en dat er mitigerende maatregelen worden getroffen. In hoeverre de kwaliteit van het habitat gelijk blijft of minder achteruitgaat door de mitigerende maatregelen is op dit moment niet bekend. Wanneer dit bij meerdere projecten op dezelfde wijze gaat, is te verwachten dat het aandeel KRW-relevant areaal niet achteruitgaat, maar de kwaliteit van de aanwezige habitatten op meerdere plekken langs de Lek mogelijk wel.

Het uiterwaardproject van de provincie en Rijkswaterstaat, waarin KRW-maatregelen worden gerealiseerd, zal naar verwachting wel een positieve invloed hebben op de kwaliteit van het KRW-relevant habitat.

## 4.5 Mitigerende maatregelen

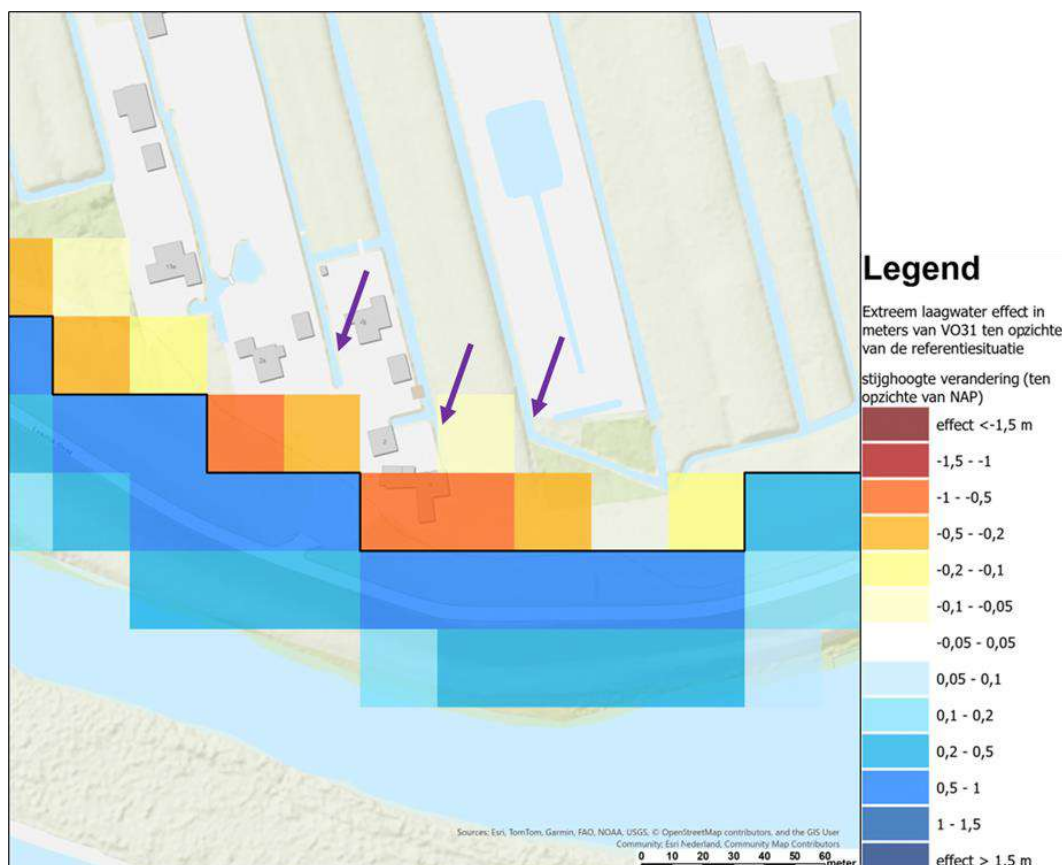
### 4.5.1 Invloed op grondwatersysteem

In paragraaf 4.2.1 is gebleken dat pipingschermen in principe zouden kunnen leiden tot (een toename van) risico's die samenhangen met verdroging (droogteschade, zettingen, veenoxidatie, funderingen).

*Nader onderzoek* zal moeten uitwijzen of door optimalisatie van de plaatsing van de schermen (m.n. verder van de woningen af) of uitvoeringswijze (doorlatende schermen in plaats van ondoorlatende schermen) deze risico's kunnen worden geminimaliseerd.

In alle gevallen is het wenselijk om met name ter plaatse van de woningen de grondwaterstanden te *monitoren*, zowel voor-, tijdens en na de uitvoering van de dijkversterkingsmaatregelen.

Als uit het nader onderzoek of de monitoring zou blijken dat in droge omstandigheden door de dijkversterkingsmaatregelen ter plaatse van de woningen inderdaad sprake is van een verlaging van de grondwaterstand, dan kunnen *mitigerende maatregelen* die effecten mogelijk verzachten. Gedacht kan worden aan het middels een gemaal opstuwen van de slootpeilen achter de dijkwoningen (paarse pijlen in Figuur 4-8).



Figuur 4-8 Locaties waar het omhoog brengen van slootpeilen in droge situaties kan worden overwogen

#### 4.5.2 KRW-relevant areaal

Wat betreft het KRW-relevant areaal kunnen de onderstaande oplossingsrichtingen voor mitigerende maatregelen in overweging genomen worden. Let op dat dit geen uitputtende lijst is, maar een lijst met ideeën omdat het nog onbekend is in hoeverre mitigerende maatregelen nodig zijn.

- Terugplaatsen of herintroduceren van huidige soorten.
- (Regelmatig) opnieuw aanbrengen van een bodemlaag boven op de stortstenen.
- Holtes tussen de stortstenen opvullen met zand en grind, om zo de habitat minder aantrekkelijk te maken voor exoten.
- Ontwerp van de taluds nog iets aanpassen, waardoor het ontwerp een aantal centimeters kan opschuiven en mogelijk geen aantasting van het KRW-relevant areaal meer plaatsvindt. Voor verschillende plekken is het echter de vraag of hiermee ruimtebeslag binnen het KRW-relevant areaal volledig voorkomen kan worden.

Daarnaast moeten mogelijk nog mitigerende maatregelen worden genomen om tijdelijke effecten van de realisatiefase te vereffen.

Indien mitigerende maatregelen niet voldoende zijn dan dient de volgende compenserende maatregel overwogen te worden:

- Oever/habitat met dezelfde kwaliteit elders aanleggen om negatieve effecten te vereffenen.

## 4.6 Leemten in kennis

### 4.6.1 Invloed op grondwatersysteem

In paragraaf 4.2.1 is gebleken dat de effecten van de dijkversterkingsmaatregelen op het grondwatersysteem ontstaan door het plaatsen verticale schermen. Om de effecten van de schermen op het grondwatersysteem te kunnen bepalen is kennis nodig van zowel de eigenschappen van de schermen zelf als van de samenstelling van de ondergrond:

- Eigenschappen van de schermen. Er worden twee soorten schermen overwogen: stalen of kunststof ondoorlatende 'Heaveschermen' en doorlatende schermen. Met name de mate van doorlatendheid van het tweede type scherm is onzeker, en daarmee het effect van deze schermen op de stijghoogten.
- Samenstelling van de ondergrond: door een groot aantal boringen en sonderingen is de samenstelling van de ondergrond in de zone langs de dijk goed bekend. Het gaat daarbij met name om het voorkomen en de dikte van klei- en zandlagen. De effecten van de verticale schermen zijn echter niet alleen hiervan afhankelijk, maar ook (en vooral) van de hydraulische eigenschappen van deze lagen. Deze hydraulische eigenschappen zijn in het model verwerkt op basis van expert-judgement en de vergelijking van de berekende stijghoogten met gemeten stijghoogten. Toch resteert met name op lokaal niveau onzekerheid in deze hydraulische eigenschappen van de bodemlagen (en daarmee in de berekende effecten van de plaatsing van de verticale schermen).

Uit het bovenstaande blijkt dat er een grens is aan de kennis over de invloed van het grondwatersysteem van de maatregelen. Mede om die reden raden wij aan om met name ter plaatse van de woningen de grondwaterstanden te monitoren, zowel voor-, tijdens en na de uitvoering van de dijkversterkingsmaatregelen.

### 4.6.2 KRW-relevant areaal

Wat betreft het bepalen van de effecten op het KRW-relevant areaal en het inschatten van de noodzaak van mitigerende of compenserende maatregelen is sprake van de volgende kennisleemtes:

- Ondergrond bij geplande stortstenen in Schaardijk.
- KRW waarde van de poelen bij Boerenlint, met name de poel bij dijkpaal 148-149.
- Duur van de werkzaamheden en benodigde laad- en losvoorziening.
- De mogelijkheid om mitigerende maatregelen uit te voeren. Voor nu is nog onduidelijk of en waar deze uitgevoerd moeten worden en, indien deze uitgevoerd moeten worden, of dit ook daadwerkelijk kan.
- Hoe RWS de geschetste effecten beoordeelt en hier in vergelijkbare projecten mee omgaat. Er is sprake van potentiële effecten die volgens het toetsingskader waterkwaliteit mogelijk niet voldoende worden gemitigeerd of vereffend. Op systeemniveau zijn de effecten echter zeer gering. Een laad- en losvoorziening zal vast vaker voor langere tijd naast een KRW-waterlichaam zijn ingezet. En daarnaast is het ook de vraag hoe RWS met mitigerende maatregelen omgaat in het KRW-relevante areaal rond de poelen.

Met name voor het laatste punt dient snel een gesprek gevoerd te worden met RWS. Dit gesprek dient richting te geven hoe met bepaalde zaken, zoals het raken van het KRW-relevant areaal, omgegaan dient te worden.

# Bijlage 1: Technische achtergrond rapportage geohydrologie

# Geohydrologische effecten van de maatregelen uit het voorkeursontwerp (VO3.1) op de omgeving van de Lekdijk

## 1 Inleiding

### 1.1 Achtergrond

Het programma Sterke Lekdijk is onderdeel van het Hoogwaterbeschermingsprogramma en betreft het versterken van de Lekdijk tussen Amerongen en Schoonhoven. Deze dijk met een totale lengte van 55 km is in het beheer van Hoogheemraadschap Stichtse Rijnlanden (HDSR) en kent een veiligheidsopgave.

Het programma Sterke Lekdijk is verdeeld in zes deelprojecten, waarvan Salmsteke-Schoonhoven (SAS) er één is. Het deelproject SAS ligt in het zuidwesten van het beheergebied van HDSR aan de noordzijde van de rivier de Lek.

Het deelproject loopt van dijkpaal 108+40 (ter hoogte van de Rolafweg Zuid, grenzend aan deelproject Salmsteke) tot dijkpaal 191+01 (ten westen van de N216 in Schoonhoven). Het deeltraject is ca. 8,3 km lang en is onderdeel van normtraject 15-1. De ligging van het deeltraject is weergegeven in figuur 1-1.



Figuur 1-1 Ligging van het deeltraject Schoonhoven – Ameide - Salmsteke (SAS).

Het dijkversterkingstraject ligt in een poldergebied met een binnendijks maaiveldniveau beneden NAP.

## 1.2 Doel en plaats in het proces

De planuitwerkingsfase is gestart met 'ontwerploop' 0. Daarin wordt de opgave vanuit de verkenningsfase nader geanalyseerd en geoptimaliseerd. De uitkomsten van ontwerploop 0 vormden de start van 'ontwerploop 1' als onderdeel van het VO. Dit ontwerpproces is opgeknipt in twee ontwerploops. (VO1 en VO2).

In ontwerploop 1 is het *ruimtebeslag* bepaald zodat op basis hiervan het traject van particuliere grondwerving kon starten. In VO1 zijn de eisen voor waterveiligheid en beheer beschouwd en is ingegaan op aspecten die relevant zijn voor het ruimtebeslag met het hiervoor benodigde detailniveau.

In VO2 is het voorkeursontwerp binnen het ruimtebeslag uitgediept. Het ontwerp van de uiterwaarden is reeds voltooid in VO1, terwijl het dijkontwerp in VO2 is aangescherpt.

Inmiddels is er een VO3 en een VO3.1. In VO3 zijn, ten opzichte van VO2, trajecten met maatregelen geschrapt. In het VO3.1 is de ligging verkleind van de zones die bestemd zijn voor piping schermen. Dat is gedaan omdat deze zones te dicht bij de binnendijkse woningen lagen.

Het doel van deze geohydrologische effectrapportage is het geven van inzicht in de *geohydrologische effecten van de maatregelen van VO3.1*. De effecten zijn bepaald door middel van modelberekeningen met een regionaal iMOD grondwatermodel. Daarbij is vooral aandacht besteed aan de berekende binnendijkse effecten.

## 1.3 Leeswijzer

Deze geohydrologische effectrapportage is als volgt opgebouwd:

- *Hoofdstuk 2* geeft een toelichting over het ontwerp van de maatregelen in VO3.1. Daarbij wordt onderscheid gemaakt tussen:
  - maatregelen die effect kunnen hebben op de grondwaterstroming en die daarom opgenomen moeten worden in het grondwatermodel en
  - maatregelen die naar verwachting géén invloed hebben op de grondwaterstroming (en daarom niet hoeven te worden verwerkt in het grondwatermodel)
- In *hoofdstuk 3* worden de berekende effecten van het VO3.1 getoond. Het gaat om:
  - de effecten bij extreem hoog- en laagwater (T=10 jaar)
  - de GXG effecten
  - de effecten op de kwel en infiltratie
  - de betekenis van de effecten voor verschillende functies
- *Hoofdstuk 4* beschrijft de conclusies over de geohydrologische effecten van het ontwerp.
- In *bijlage 1* en *bijlage 2* zijn de resultaten van resp. het referentiemodel en het scenariomodel (VO3.1) opgenomen. Het gaat om:
  - de grondwaterstanden bij extreem hoog- en laagwater (T=10 jaar)
  - de berekende GXG's ten opzichte van maaiveld
  - de berekende kwel en infiltratie.

## 2 Ontwerp VO3.1

In Tabel 2-1 is een overzicht te zien van de verschillende onderdelen van de dijkversterkingsmaatregelen. Niet alle onderdelen zijn van invloed op de grondwaterstroming. Die onderdelen hoeven dus niet te worden verwerkt in het grondwatermodel. Dat kan zijn omdat de maatregelen te kleinschalig zijn om te kunnen worden verwerkt in het rekengrid dat een resolutie heeft van 25x25 meter. Het kan ook zijn dat maatregelen uitsluitend betrekking hebben op het beheer, waardoor er geen effect mag worden verwacht op de grondwaterstroming.

Tabel 2-1 toont de verschillende onderdelen van de dijkversterkingsmaatregelen, waarbij tevens is aangegeven of de maatregelen relevant zijn voor de grondwatermodellering. Daaruit blijkt dat aanpassingen in het landgebruik niet in het grondwatermodel zijn verwerkt: die aanpassingen zijn naar verwachting niet van invloed op de grondwaterstroming en zijn daarom niet in het grondwatermodel verwerkt.

Tabel 2-1 Dijkversterkingsmaatregelen in het ontwerp uiterwaarden.

Maatregel	Relevant voor grondwatermodel
Heave piping schermen	Ja
Maaiveldaanpassingen	Ja
Landgebruiksaanpassingen op- en afritten	Nee

Figuur 2-1 toont de ligging van de piping schermen in VO3.1 die zijn voorzien in verband met de piping opgave. Uit deze figuur blijkt dat de piping opgave vier trajecten betreft. Eén traject ligt ten zuiden van Schoonhoven, één traject ligt ten zuidoosten van het buurtschap Willige Langerak en twee Piping trajecten liggen ten zuidwesten van Lopik.



Figuur 2-1 Locaties van de 'piping opgaves' in het Dijkversterkingstraject SAS.

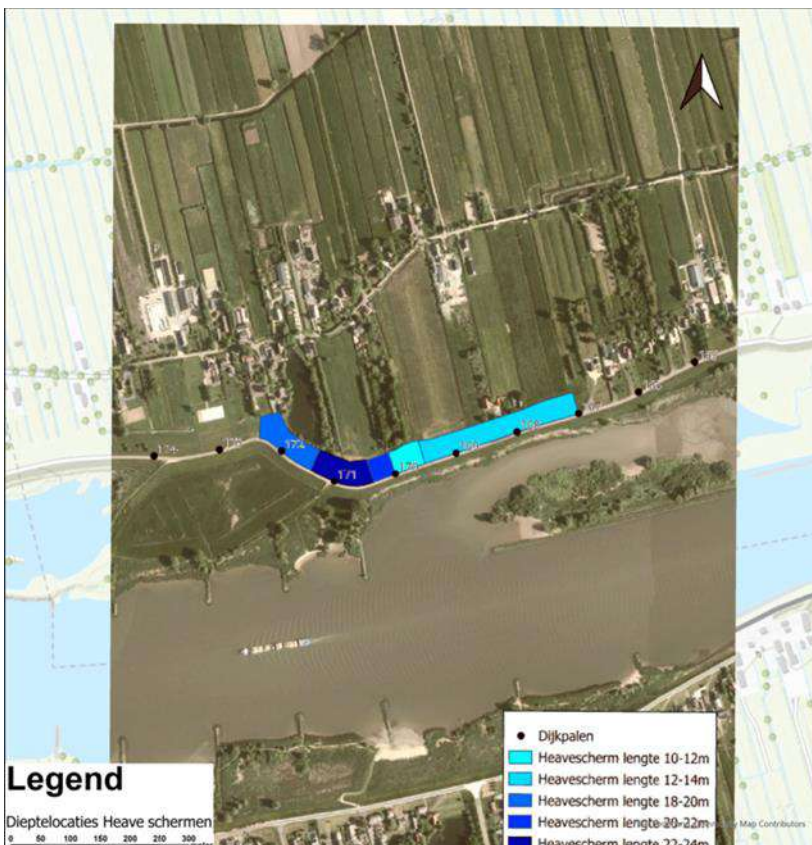
In het grondwatermodel worden piping schermen aan de celranden verwerkt, wat resulteert in een hoekig patroon, zie bijvoorbeeld figuur 2-2 (zwarte lijn in de roze gearceerde stroken).

De piping schermen hebben binnen elk individueel traject een diepte die samenhangt met de dikte van de zandbanen. Figuur 2-3 toont ter illustratie de dieptes van het piping scherm in het traject dat is weergegeven in figuur 2-2.

Figuur 2-4 toont een dwarsdoorsnede van dit traject. In het grondwatermodel zijn de piping schermen ingebracht vanaf het maaiveld tot en met de lengte van het scherm. De schermen zijn in het model voorzien met een grote hydraulische weerstand (100.000 dagen). Daardoor zijn de schermen in het model feitelijk ondoorlatend.

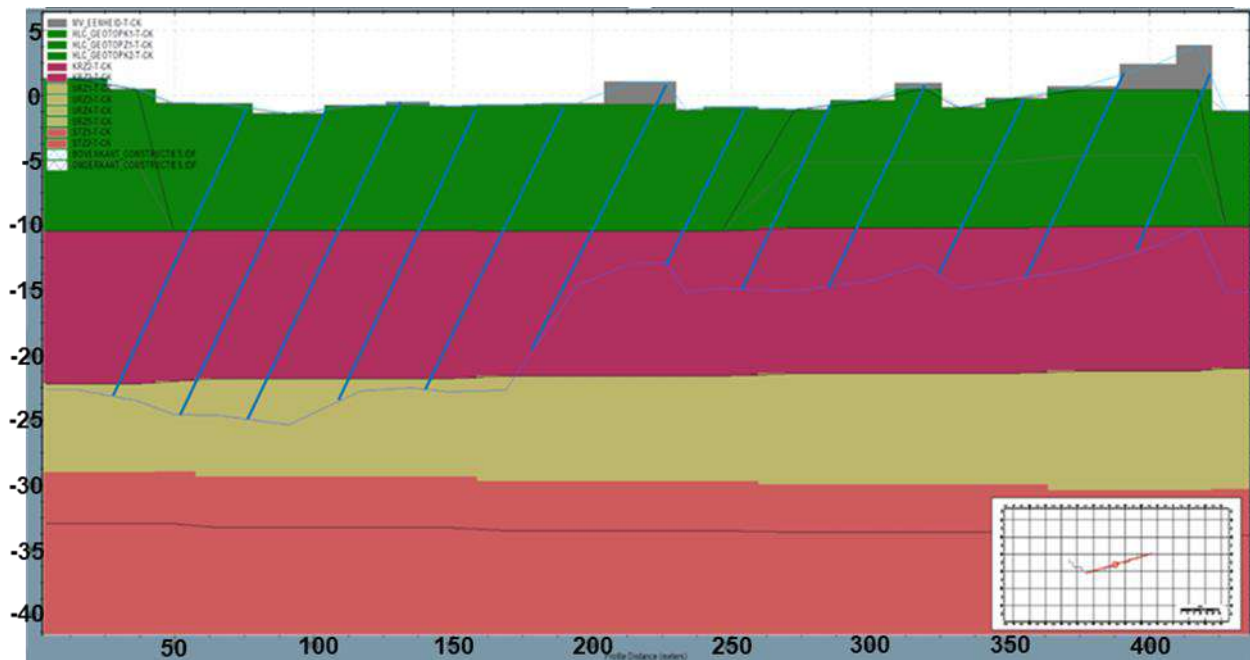


Figuur 2-2 Detail van de ligging van een piping scherm in het grondwatermodel (zwarte lijn) in het beoogde schermgebied (gearceerd gebied).



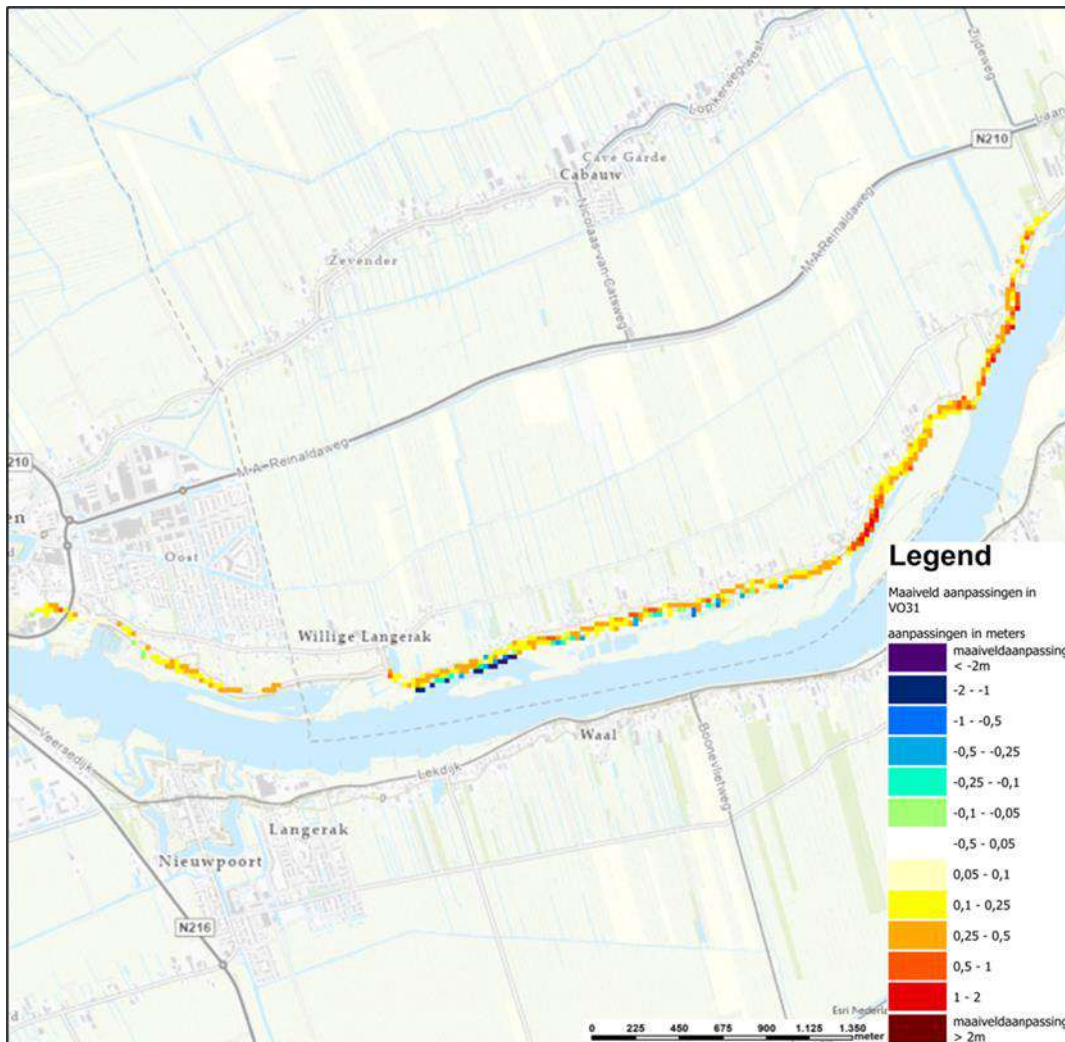
Figuur 2-3 Dieptes van het piping scherm in het traject zoals weergegeven in figuur 2-2.

Figuur 2-4 toont in een dwarsdoorsnede een deel van het piping scherm traject in figuur 2-2. Het piping scherm is in deze dwarsdoorsnede gearceerd van maaiveld tot de onderste blauwe lijn. In deze dwarsdoorsnede is goed te zien dat binnen de trajecten verschillende schermdieptes gehanteerd worden.



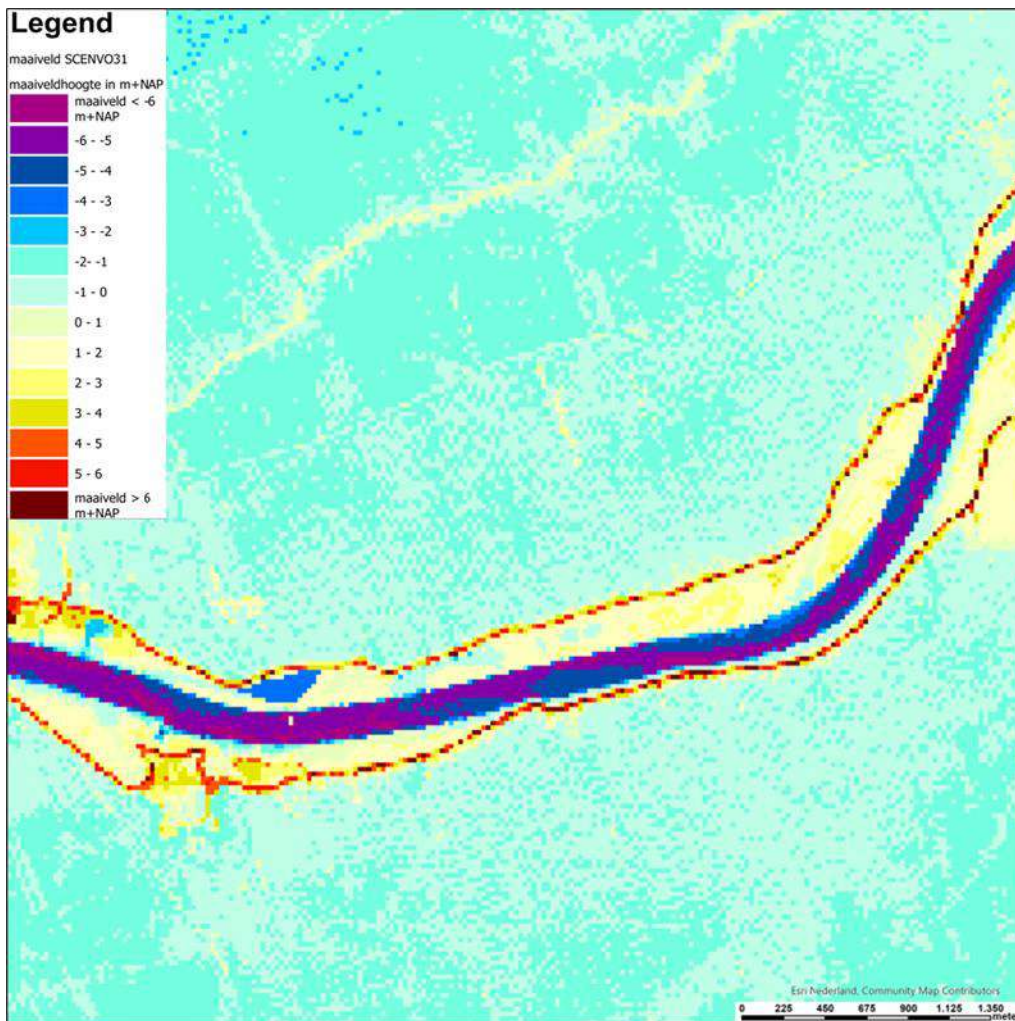
Figuur 2-4 Dwarsdoorsnede van een deel van het piping scherm traject in figuur 2 2. Het piping scherm is gearceerd weergegeven (van de onderste blauwe lijn tot aan het maaiveld. Groen: Holocene deklaag. Overige kleuren: zandige afzettingen.

In de dijkversterkingsmaatregelen zijn ook aanpassingen voorzien van de maaiveldhoogte. Vaak gaat het om maaiveldophogingen. Enkele plekken van het dijklichaam worden verlaagd. Deze verlagingen liggen in het buitendijkse dijklichaam. Figuur 2-5 toont de maaiveldaanpassingen in VO3.1.



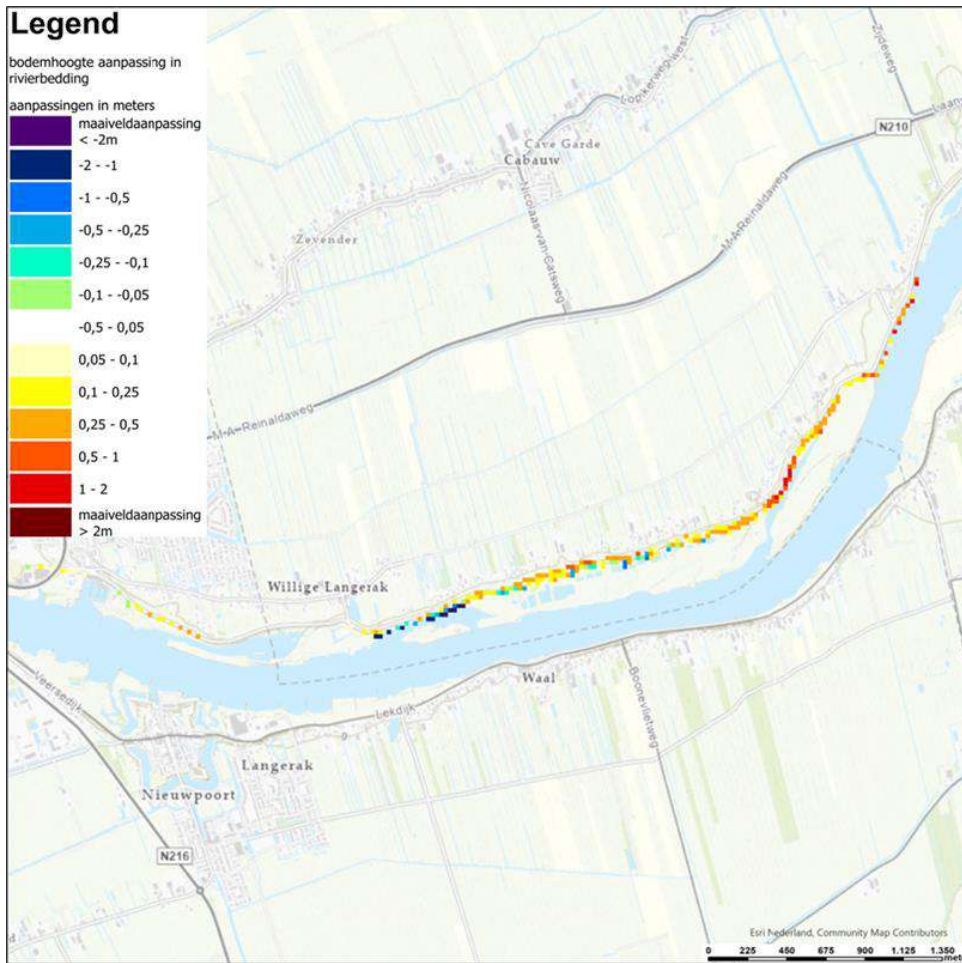
Figuur 2-5 Maaiveldaanpassingen in VO3.1. Geel/rode kleuren: ophogingen; blauw/paars/groene kleuren: verlagingen.

Deze maaiveldaanpassingen leiden tot een nieuw maaiveld in de berekeningen van het grondwatermodel (SCENVO3.1), figuur 2-6.

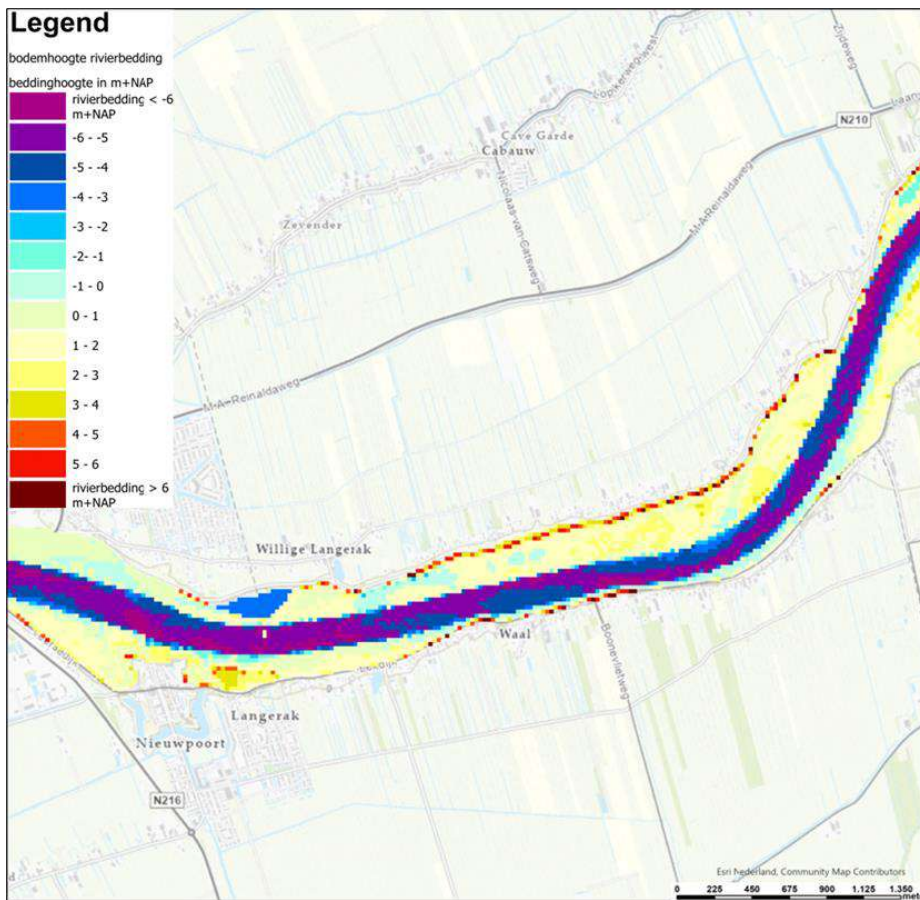


Figuur 2-6 Maaiveld SCENVO3.1 in m+NAP.

De maaiveldaanpassingen aan de buitenteen van de dijk raken de rivierbedding ook. Daarom is in het grondwatermodel ook de rivierbedding aangepast in SCENVO3.1, zie figuur 2-7 en figuur 2-8.



Figuur 2-7 Aanpassing in rivierbedding (in meters).



Figuur 2-8 Rivierbedding SCENVO3.1 (in m+NAP).

## 3 Resultaten

### 3.1 Effecten scenariomodel ten opzichte van referentiesituatie

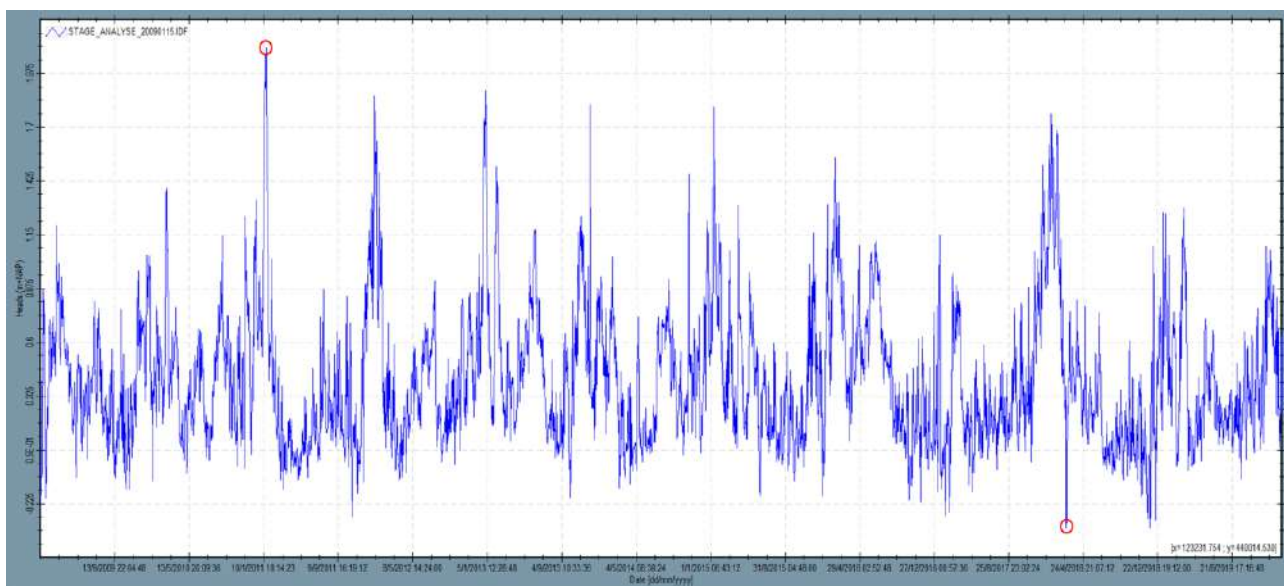
De relevante maatregelen voor het grondwatermodel zijn in het scenario van VO3.1 verwerkt zoals in het vorige hoofdstuk is beschreven.

De resultaten van het scenario zijn vergeleken met de referentiesituatie, met name de GXG- en kweleffecten. De figuren in dit hoofdstuk tonen deze effecten.

### 3.1 Effecten bij extreem hoog- en laagwater (T=10 jaar)

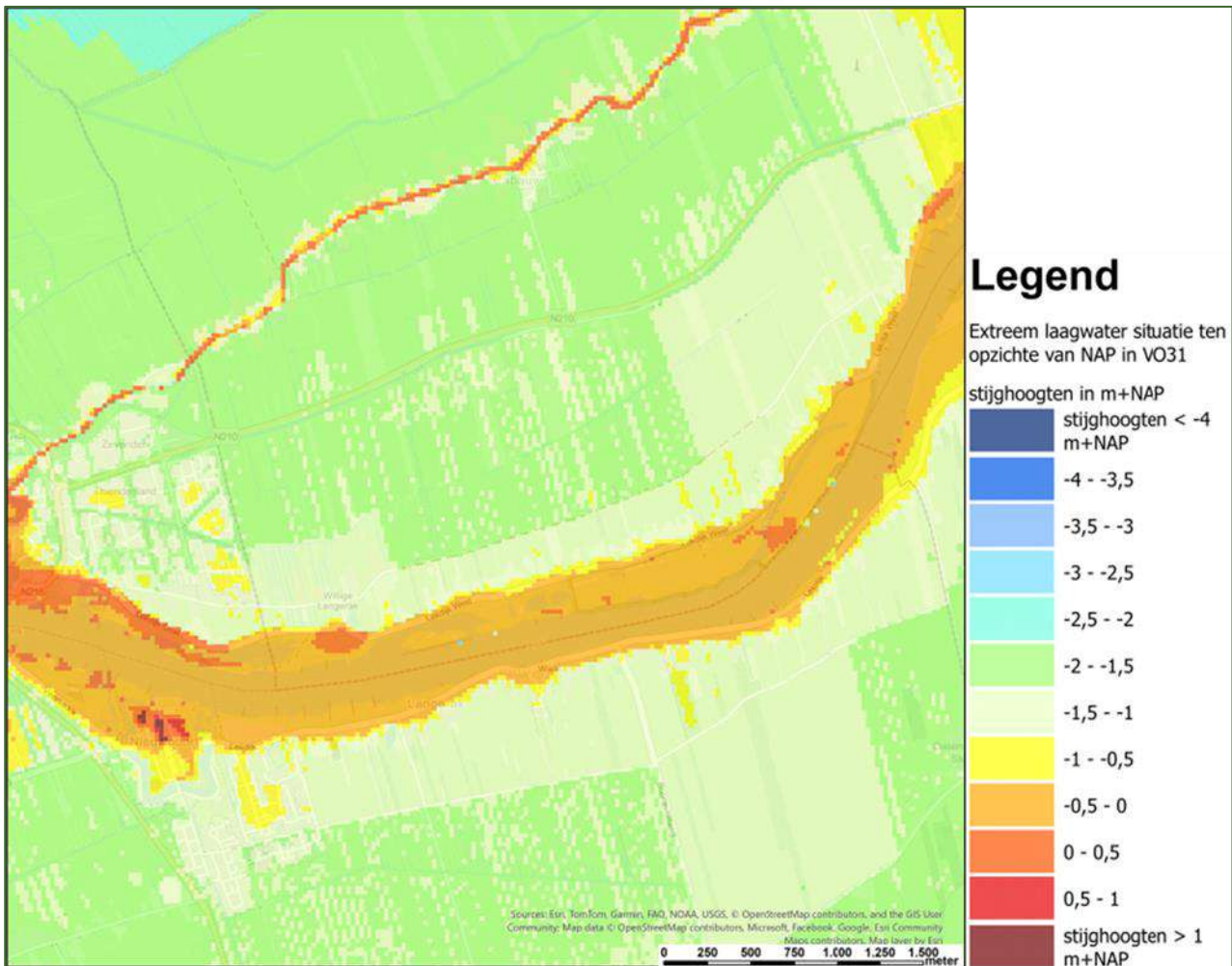
Als eerste zijn de effecten van de maatregelen in extreme situaties in bepaald. Het gaat om de extreem hoog- en laagwatersituatie.

Deze situaties zijn bepaald als de dagen met respectievelijk het maximum- en minimum rivierpeil van de Lek over de periode 2009-begin 2020 (figuur 3-1). De extreem hoogwatersituatie heeft plaatsgevonden op 18 januari 2011 en de extreem laagwatersituatie op 20 november 2018.



Figuur 3-1 Rivierwaterstanden in de Lek ter plekke van de dijkversterking over de rekenperiode 2009 tot begin 2020. De maximum- en minimumrivierpeilen over deze periode zijn rood omcirkeld.

Figuur 3-2 toont de berekende stijghoogten met het model waarin de dijkversterkingsmaatregelen zijn opgenomen volgens het VO3.1 *in de extreem laagwater situatie*. Zoals uit deze figuur blijkt infiltreert er zelfs in een extreem laagwater situatie water vanuit de Lek naar de omgeving.



Figuur 3-2 Berekende freatische stijghoogten tijdens een extreem laagwater situatie in het VO3.1.

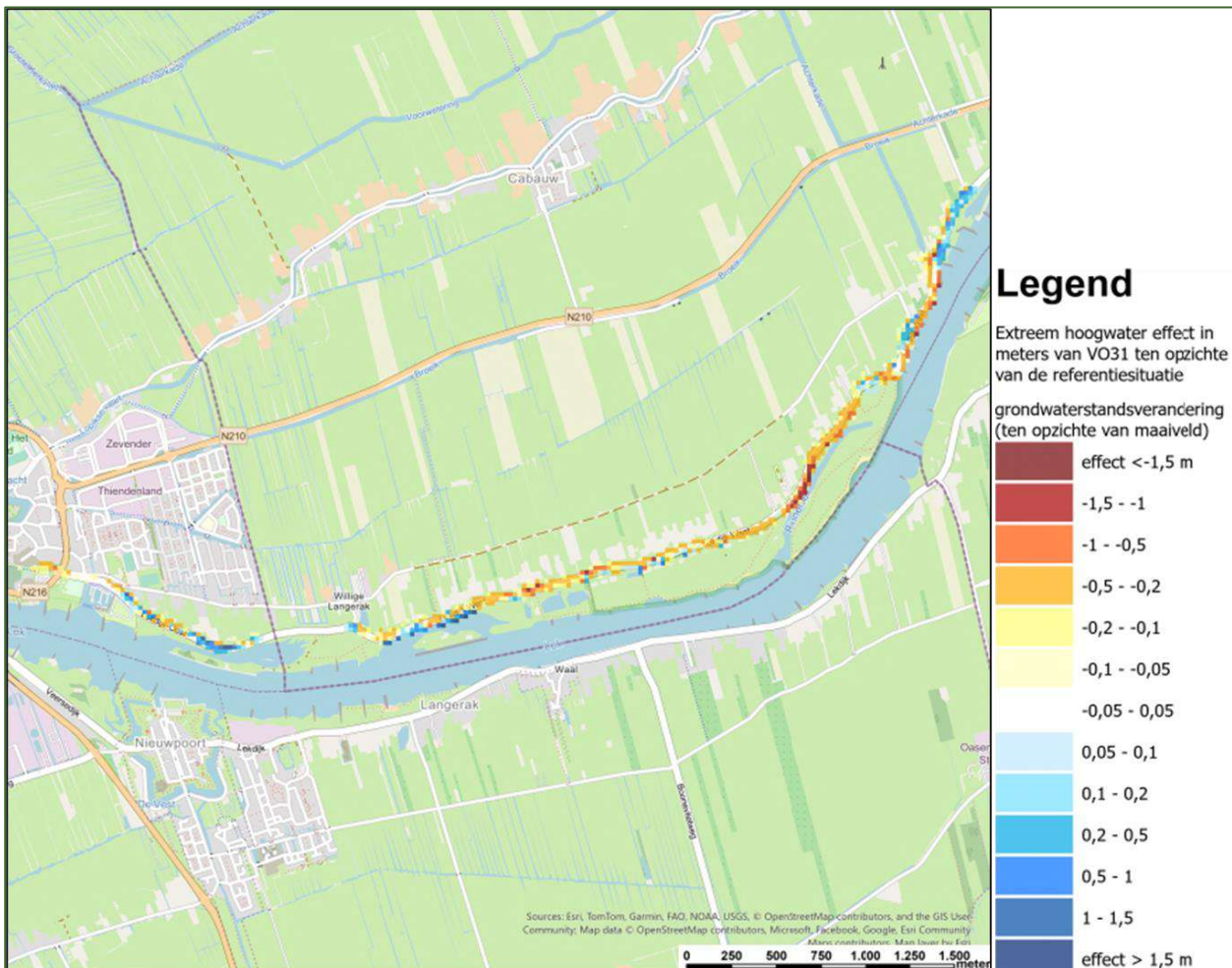
Figuur 3-3 toont de berekende effecten van de dijkversterkingsmaatregelen (VO3.1) op de ondiepe stijghoogten tijdens een extreem *hoogwater* gebeurtenis (T=10 jaar). Omdat de getoonde effecten zijn weergegeven in m-mv, bevat deze figuur ook de effecten van de maaiveldaanpassingen zoals die zijn voorzien in het VO3.1.

De extreem hoogwater effecten (*ten opzichte van maaiveld*) komen voor een groot deel overeen met het gebied waar maaiveldaanpassingen plaatsvinden (figuur 2-5). Buiten het aanpassingsgebied worden nauwelijks effecten berekend.

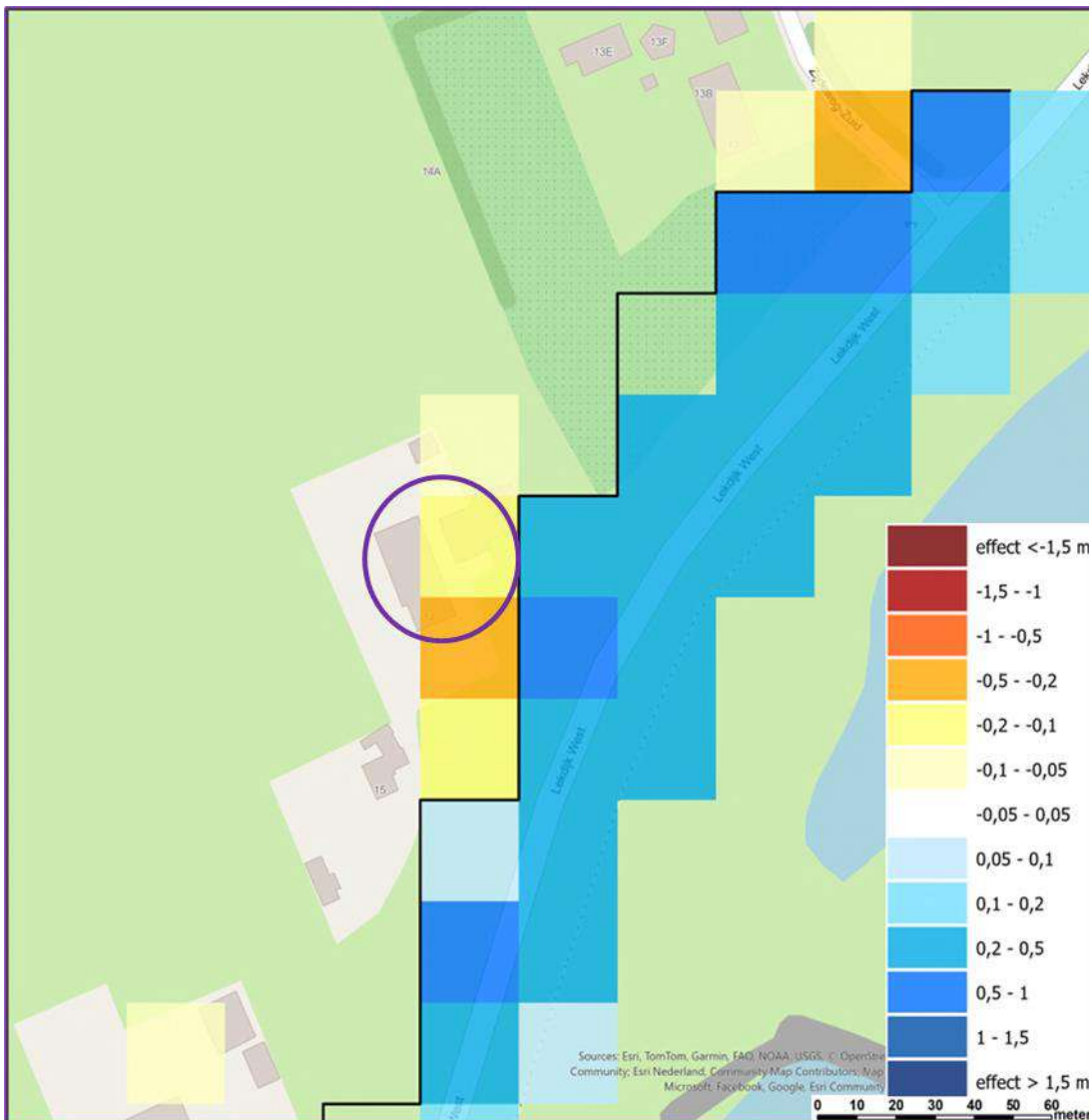
De berekende extreem hoogwater effecten zijn vooral ‘verdrogingen’, corresponderend met de locaties van maaiveld ophogingen.

Op enkele locaties waar het maaiveld verlaagd is komt ook vernatting voor in de extreem hoogwater situatie. Daarnaast ontstaat ook vernatting door de plaatsing van piping schermen. De schermen vormen een weerstand in de grondwaterstroming vanuit de Lek naar het lagere binnendijkse gebied. Dit zorgt vóór de piping schermen (buitendijks) voor vernatting en achter de piping schermen voor verdroging. Dit verschijnsel treedt ook op bij een extreem laagwater situatie omdat ook dan het Lekpeil hoger is dan de binnendijkse grondwaterpeilen (figuur 3-2).

Ter illustratie toont figuur 3-4 toont een detail van de berekende (buitendijkse) vernatting en de binnendijkse verdroging nabij een piping scherm. In deze figuur is het piping scherm weergegeven als een zwarte lijn. Uit deze figuur blijkt dat de berekende verdroging reikt tot aan de woningen langs de Lekdijk. De agrarische percelen die meer binnendijks liggen worden niet 'geraakt' door de berekende veranderingen van de grondwaterstand. Op basis hiervan wordt dan ook verwacht dat het piping scherm in hoogwatersituaties niet voor problemen gaat zorgen voor zowel de bebouwing als voor de landbouw.



Figuur 3-3 Effecten (m-mv) op de grondwaterstand van dijkversterking door maatregelen in het VO3.1 in een extreem hoogwater situatie.

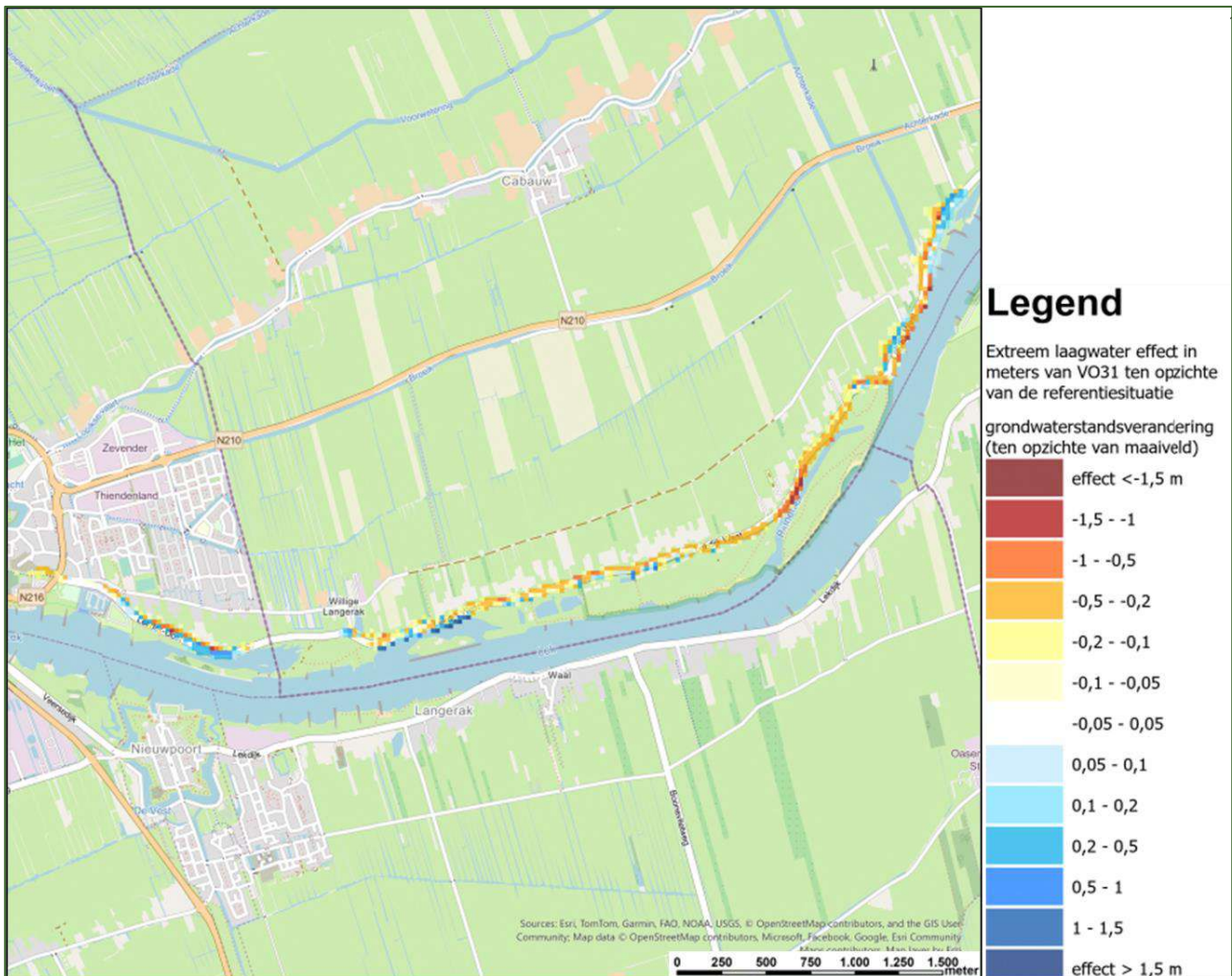


Figuur 3-4 Detail van een berekend effect op de stijghoogte nabij een piping scherm zoals dat in het model is opgenomen (zwarte lijn). Achter het piping scherm (vanaf de Lek gezien) wordt een verlaging van de grondwaterstand berekend; vóór het piping scherm worden juist hogere grondwaterstanden verwacht (vernatting).

De berekende effecten door de dijkversterkingsmaatregelen (VO3.1) op de grondwaterstanden in een extreem laagwater situatie is weergegeven in figuur 3-5. Het gaat weer om de effecten ten opzichte van het maaiveld niveau.

Het patroon in de getoonde effecten is hetzelfde als de effecten die optreden in een extreem hoogwater situatie. Dit kan worden verklaard doordat in beide situaties dezelfde maatregelen aan de orde zijn (maaiveldaanpassingen en de constructie van piping schermen), terwijl tevens de stromingsrichting hetzelfde is (namelijk vanuit de Lek naar het binnendijkse gebied). De reikwijdte van de effecten is eveneens ongeveer hetzelfde als bij de extreem hoogwatersituatie.

De grootte van de effecten is in de extreem laagwater situatie wat geringer dan in de extreem hoogwatersituatie, omdat het peilverschil tussen de Lek en het polderpeil in die situatie kleiner is.



Figuur 3-5 Effecten op de grondwaterstand (m-mv) van dijkversterking door maatregelen in het VO3.1 in een extreem laagwater situatie.

Ook de stijghoogte effecten *ten opzichte van NAP* zijn berekend. Dit zijn de “pure” effecten van de maatregelen van VO3.1 op de stijghoogten (dus zonder de effecten van de ophoging of verlaging van het maaiveld). Deze effecten zijn weergegeven in figuur 3-6 en figuur 3-7.

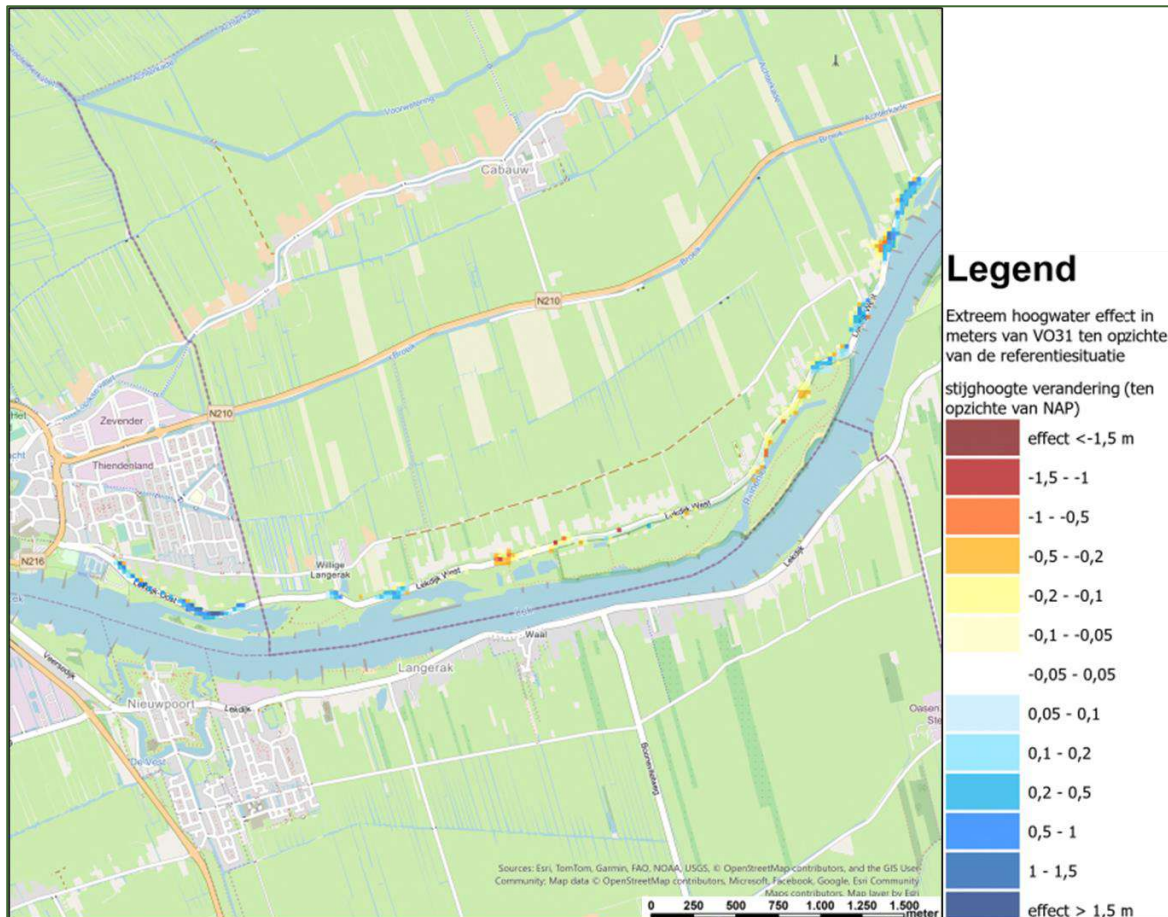
De stijghoogte effecten laten goed de impact van de piping schermen zien: grondwaterstroming wordt door de weerstand van de piping schermen ‘belemmerd’ en waardoor vernatting optreedt aan de buitendijkse zijde en verdroging aan de binnendijkse zijde.

Het valt op dat, in vergelijking met de eerder getoonde figuren waarin tevens de effecten van de verhogingen en verlagingen van het maaiveld zijn verwerkt, er in de figuren nauwelijks sprake is van verdroging.

Dit komt omdat er op veel plaatsen het maaiveld is verhoogd terwijl maar op een beperkt aantal plaatsen het maaiveld is verlaagd.

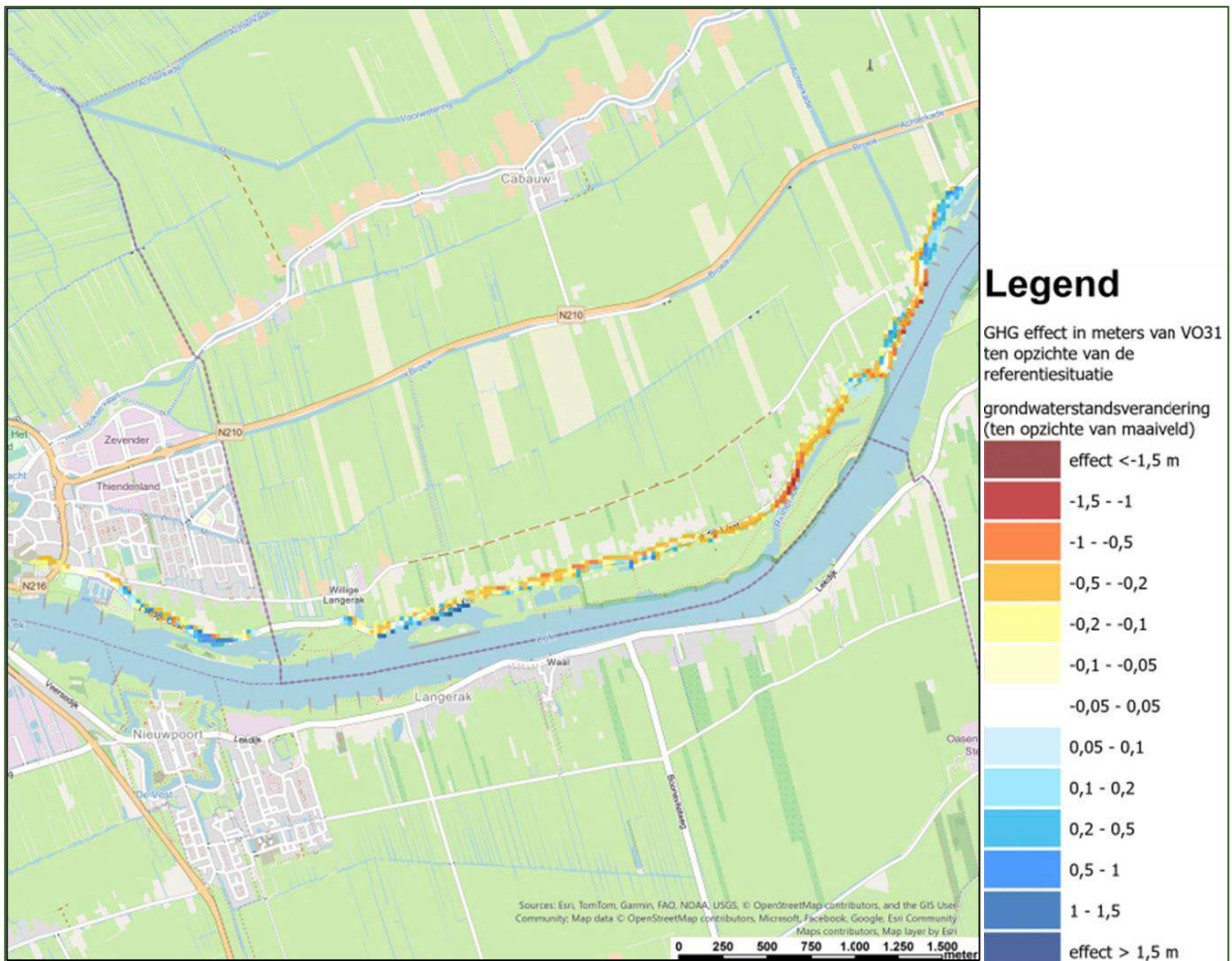
Op enkele locaties veroorzaken de dijkversterkingsmaatregelen in het VO3.1 een verlaging van de stijghoogte, ook zonder invloed van een piping scherm. Buitendijkse maaiveldophogingen kunnen er namelijk toe leiden dat het Lekwater bij hoogwater op grotere afstand van de dijk blijft (droogval). Dat heeft lokaal lagere grondwaterstanden tot gevolg.

Deze lokaal berekende binnendijkse verdroging door buitendijkse verhoging van het maaiveldniveau zijn alleen aan de orde in natte perioden en hebben daarom naar verwachting geen binnendijks geen nadelige invloed op binnendijkse functies (woningen, landbouw).

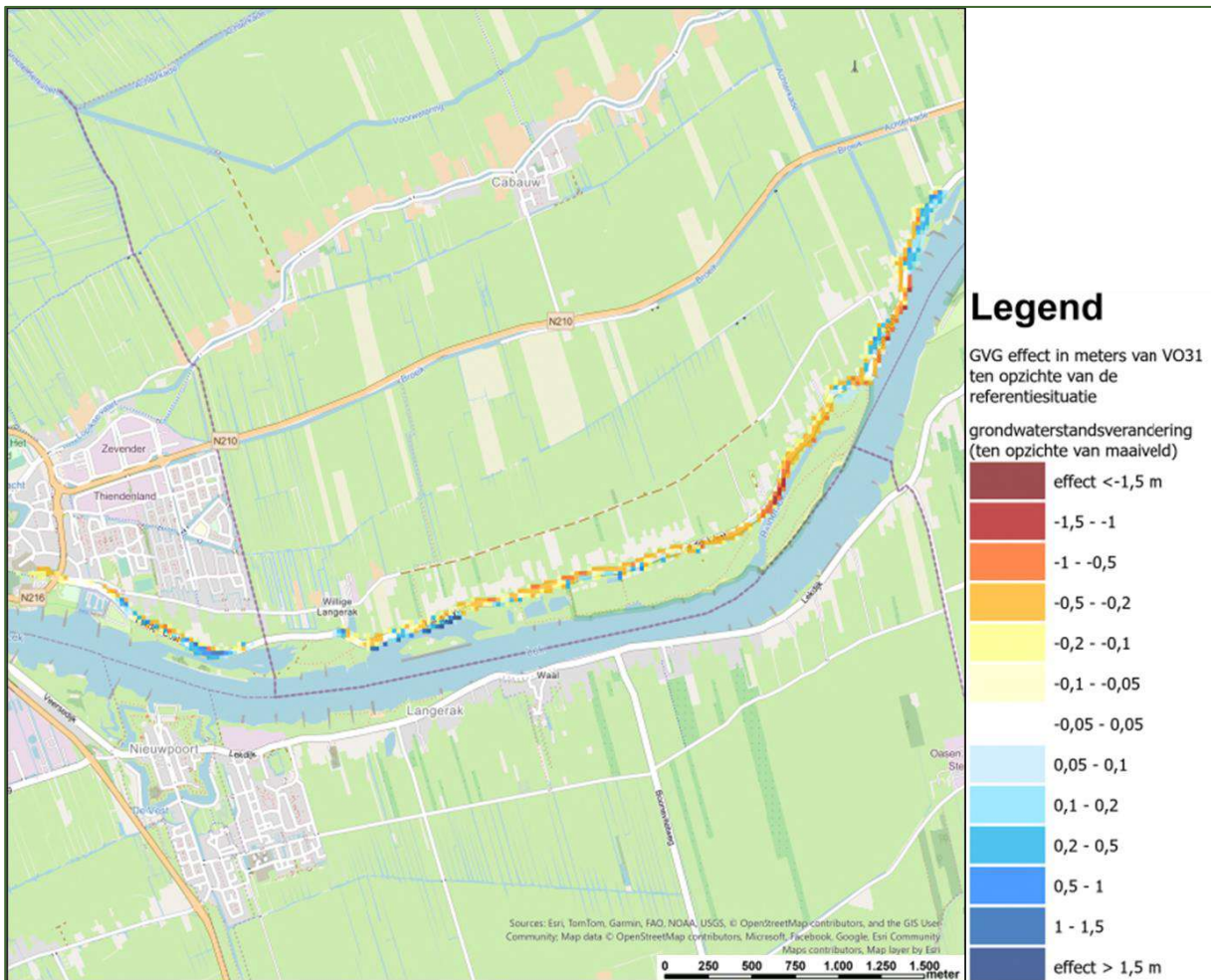


Figuur 3-6 Effecten (t.o.v. NAP) op de grondwaterstand van dijkversterking door maatregelen in het VO3.1 in een extreem hoogwater situatie.

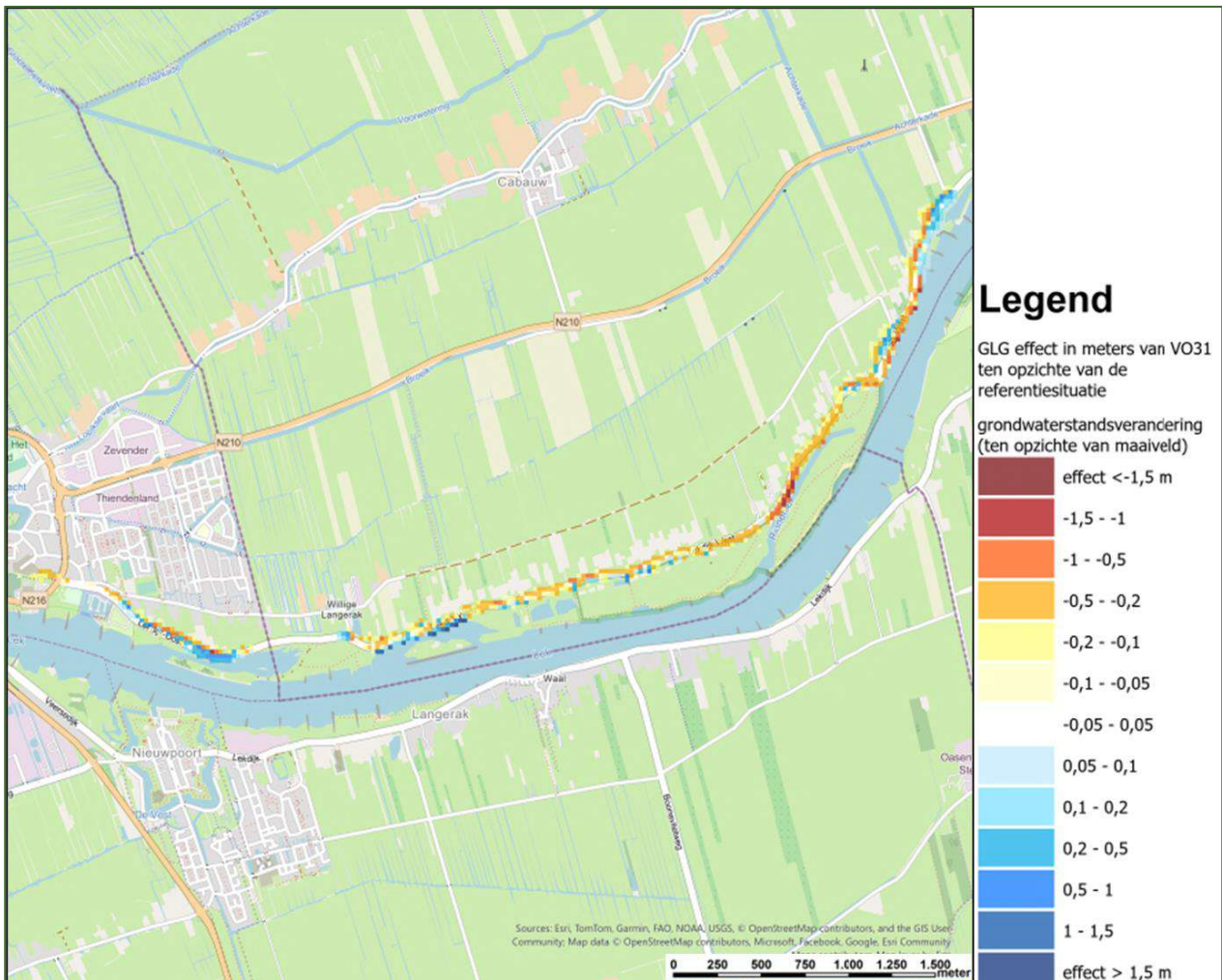




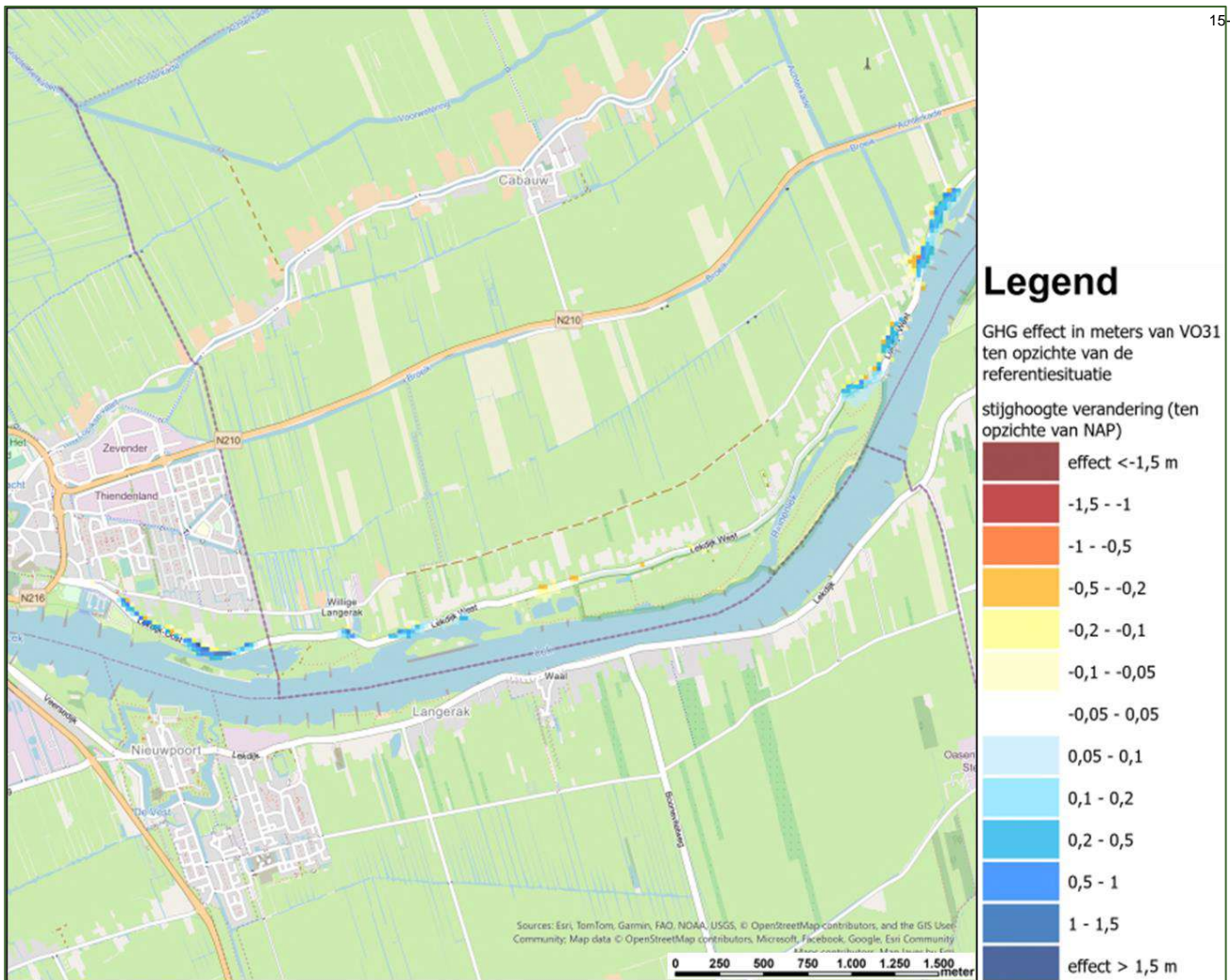
Figuur 3-8 GHG effecten in m-mv van maatregelen VO3.1.



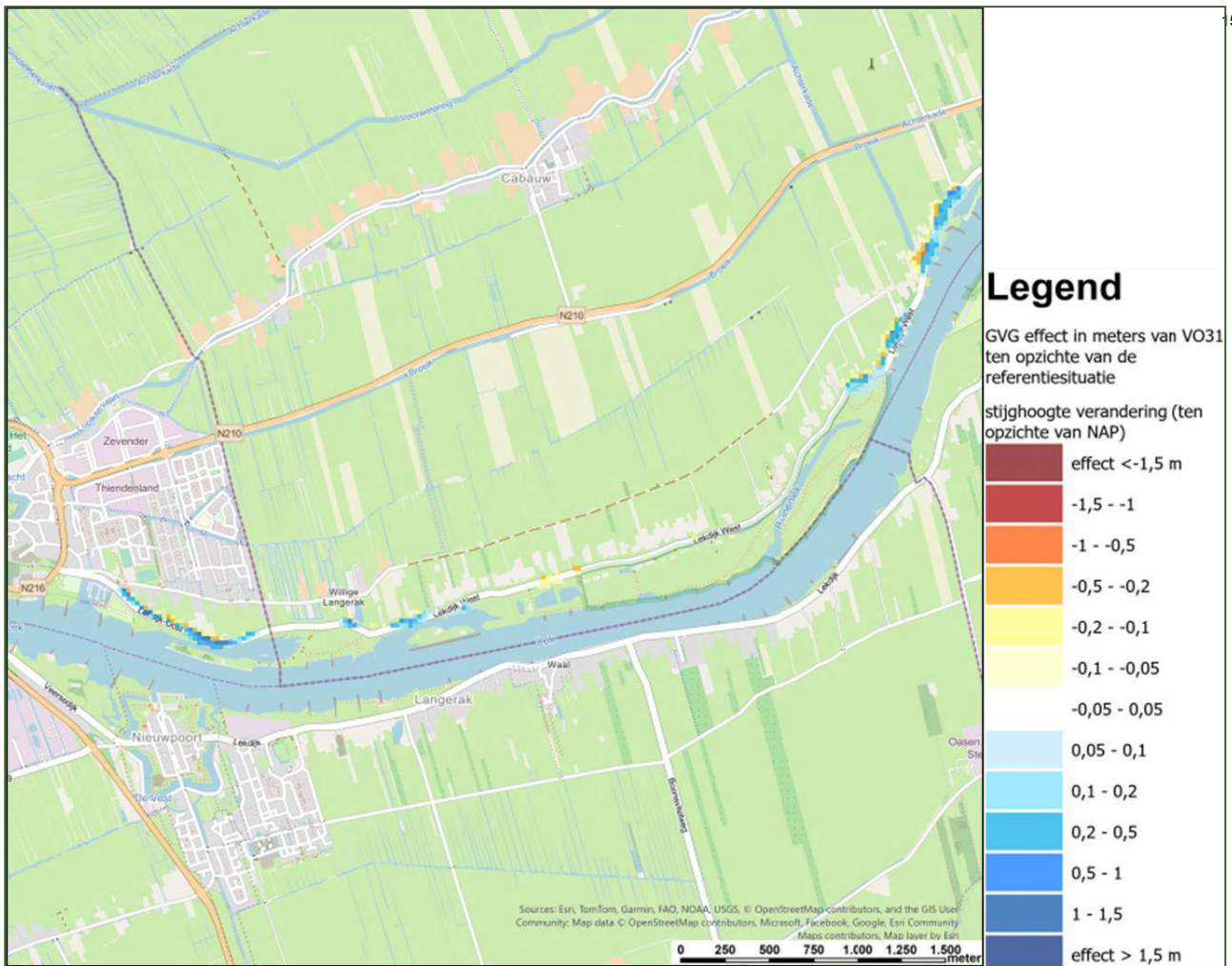
Figuur 3-9 GVG effecten in m-mv van maatregelen VO3.1.



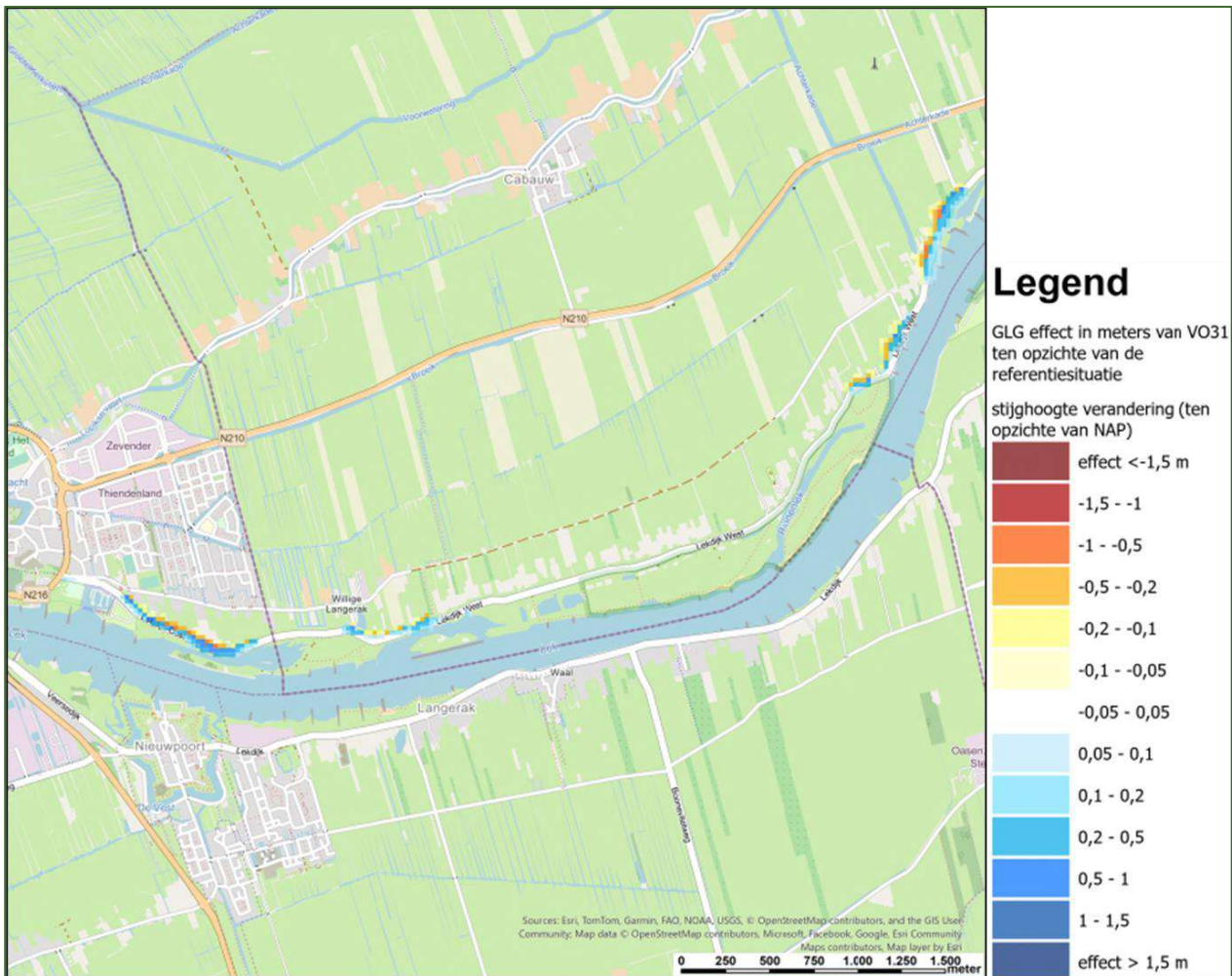
Figuur 3-10 GLG effecten in m-mv van maatregelen VO3.1.



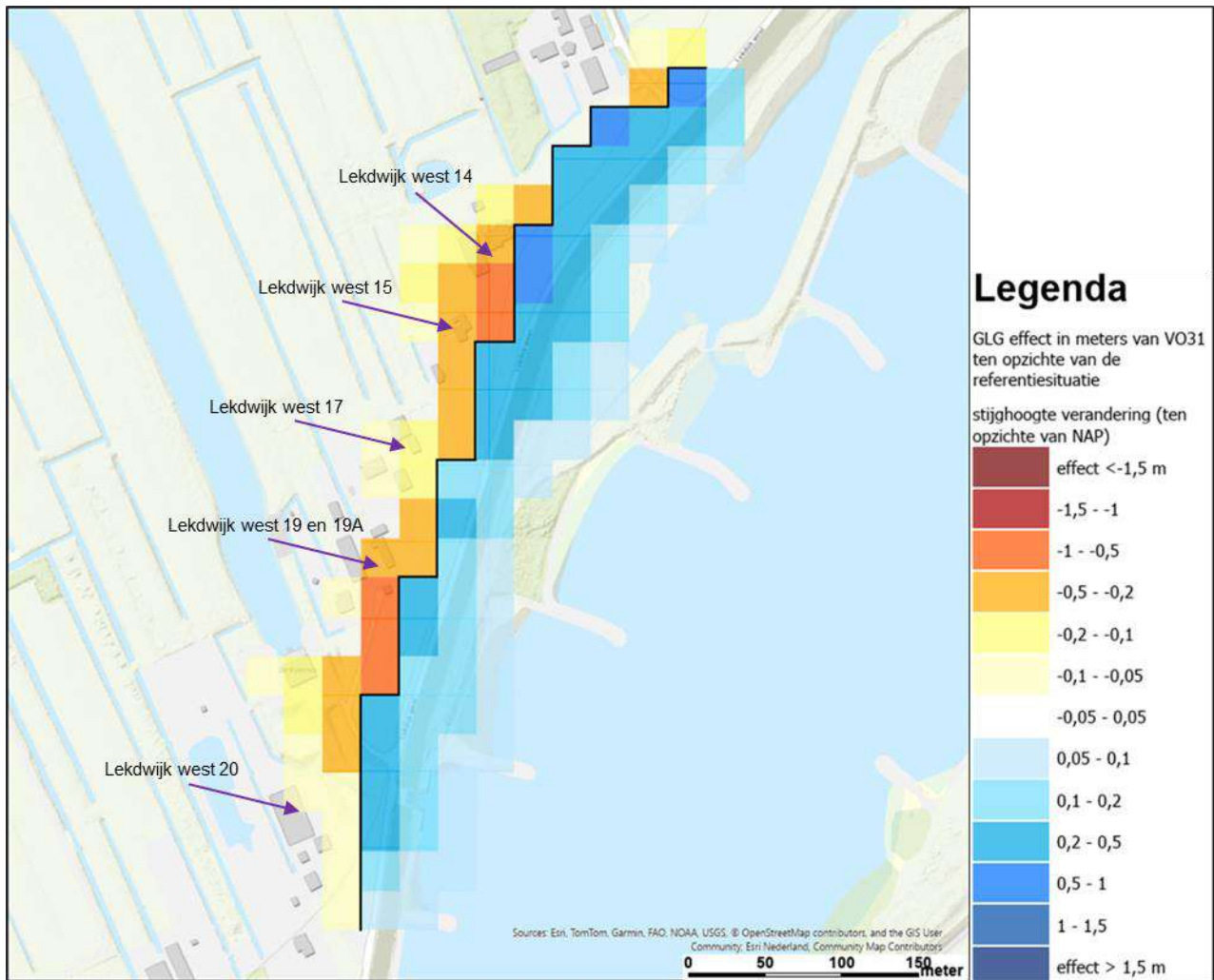
Figuur 3-11 GHG effecten in m+NAP van maatregelen VO31.



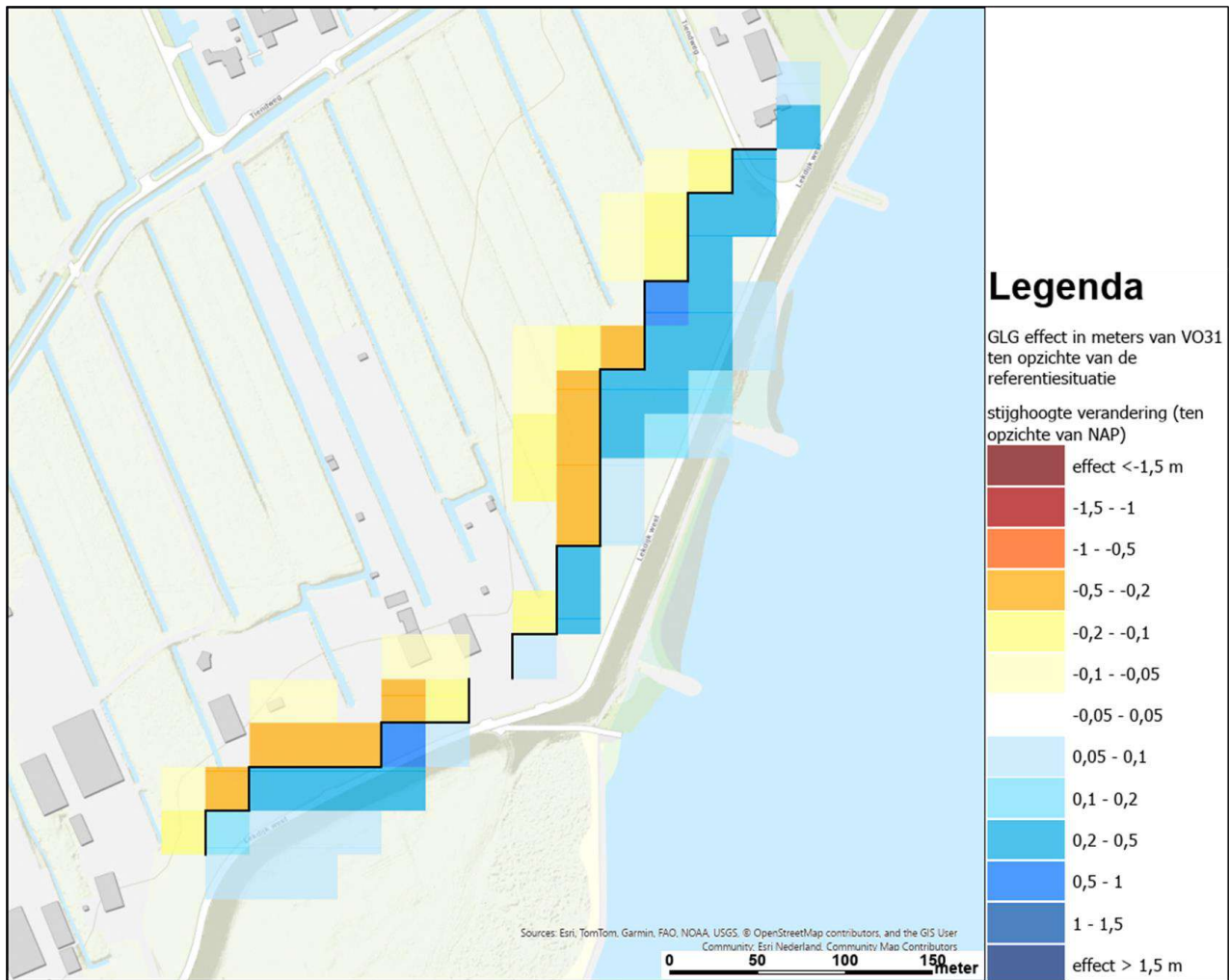
Figuur 3-12 GVG effecten in m+NAP van maatregelen VO3.1.



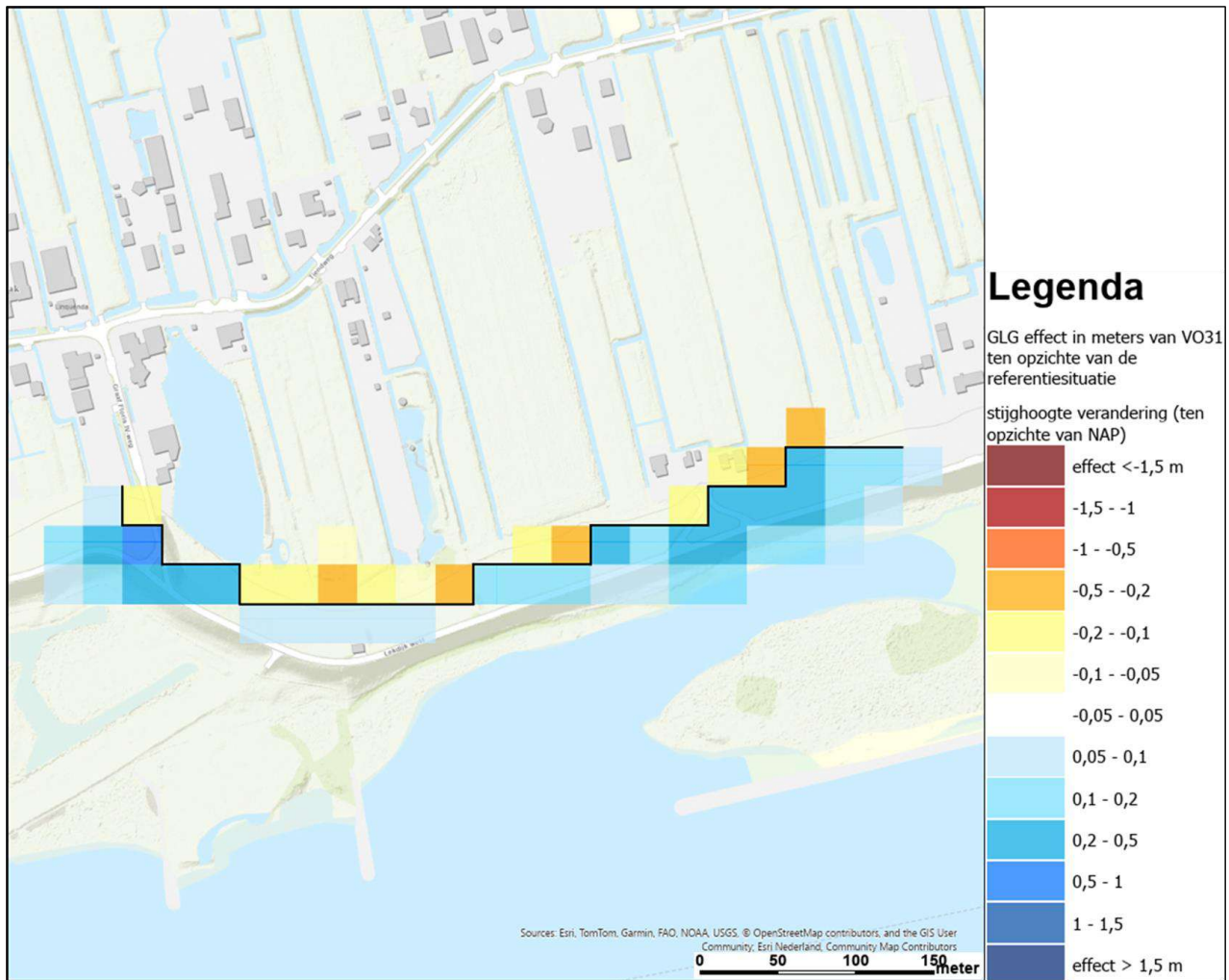
Figuur 3-13 GLG effecten in m+NAP van maatregelen VO3.1.



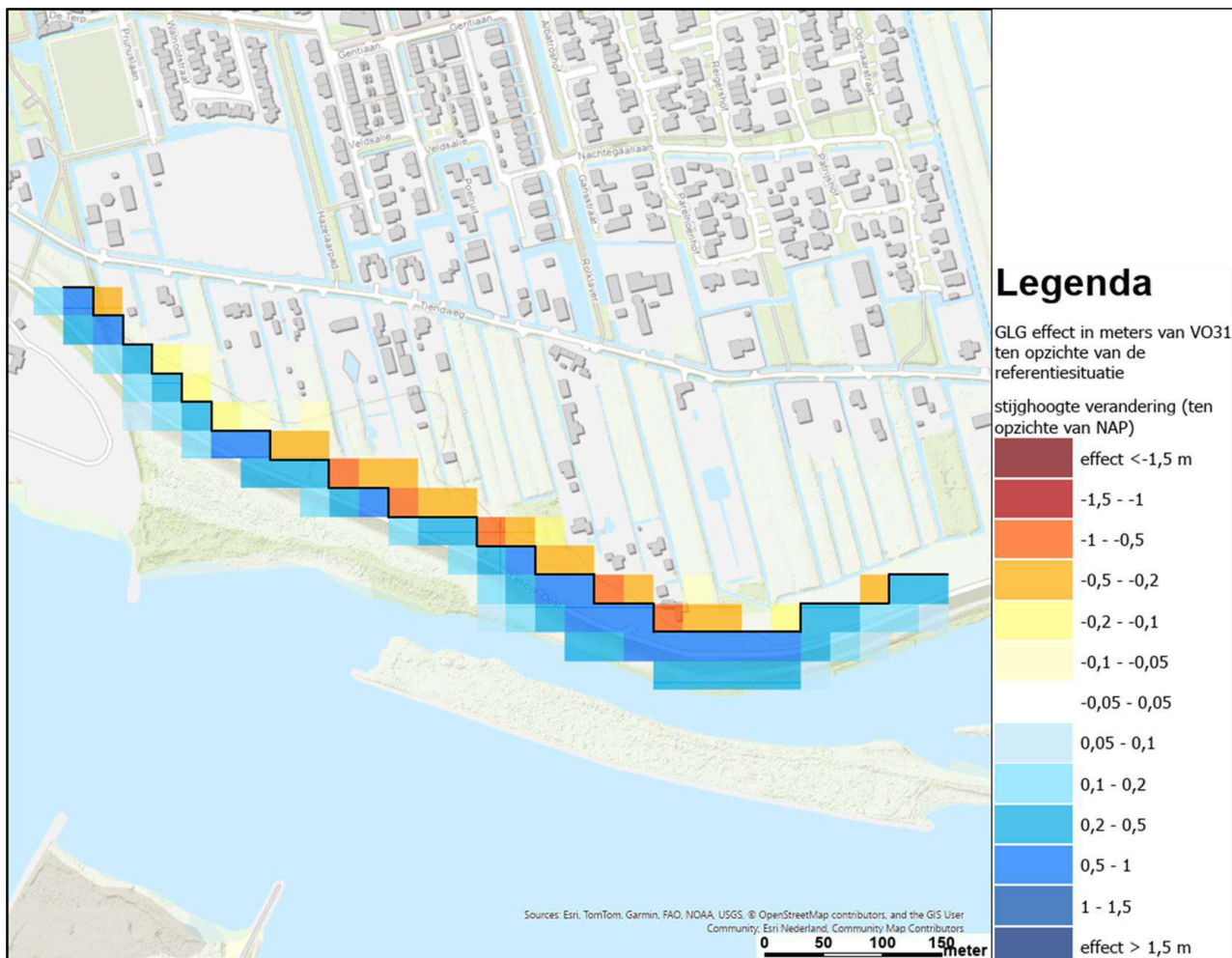
Figuur 3-14 GLG effecten in m+NAP van maatregelen VO3.1 (ingezoomd voor de piping zone A).



Figuur 3-15 GLG effecten in m+NAP van maatregelen VO3.1 (ingezoomd voor de piping zone B).



Figuur 3-16 GLG effecten in m+NAP van maatregelen VO3.1 (ingezoomd voor de piping zone C).



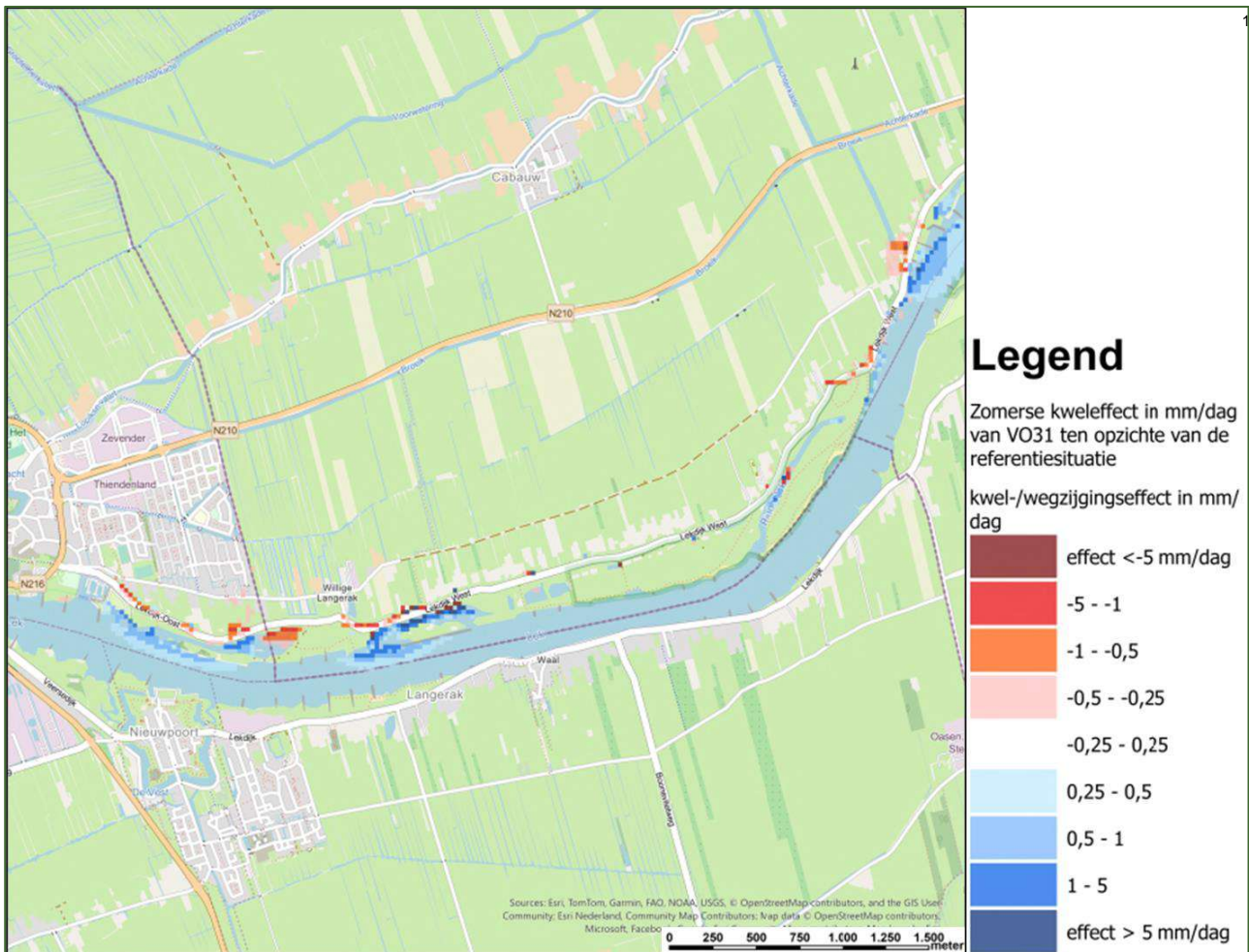
Figuur 3-17 GLG effecten in m+NAP van maatregelen VO3.1 (ingezoomd voor de piping zone D).

### 3.3 Effecten op de kwel en infiltratie

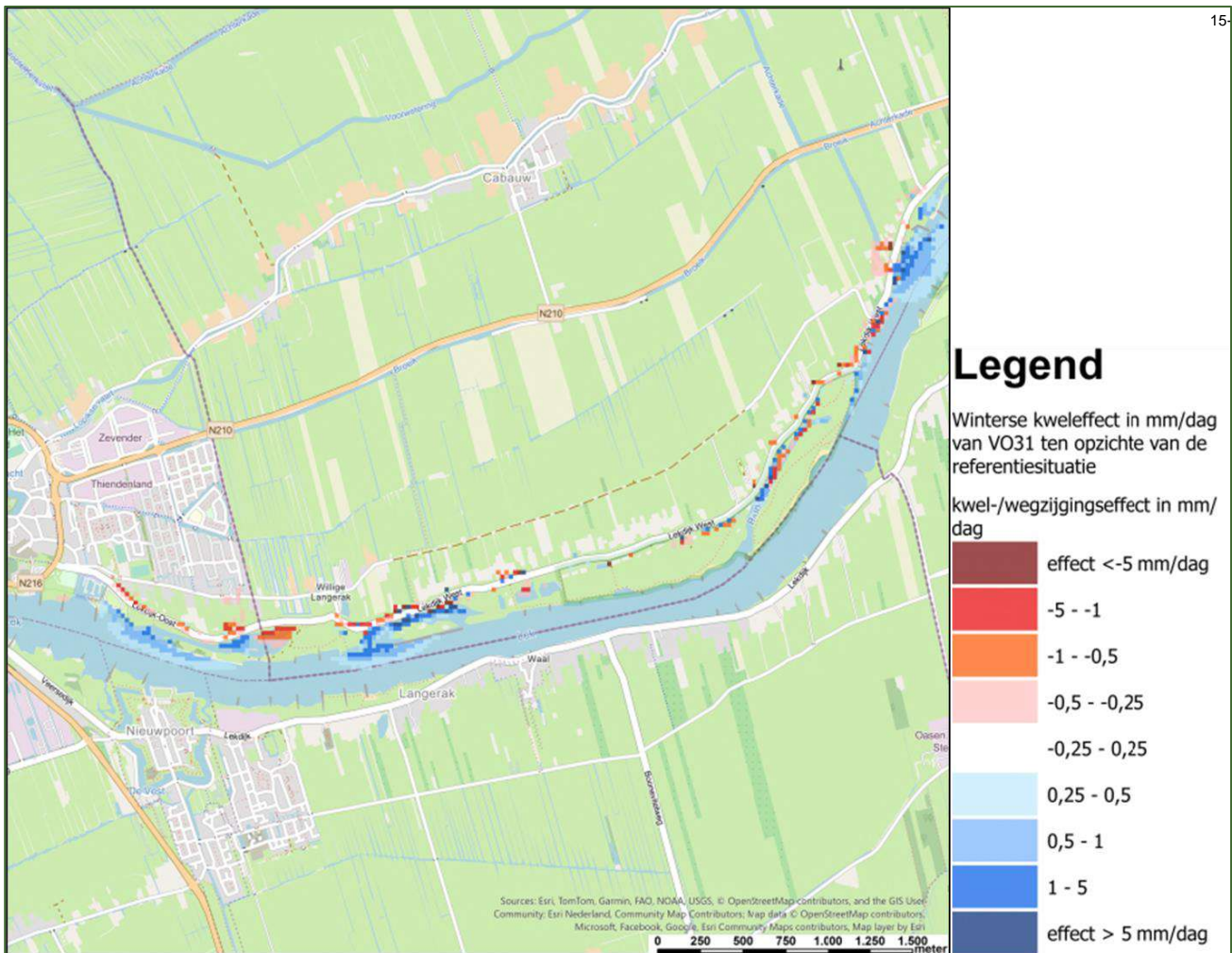
Het gemiddelde effect op de kwel in resp. de zomer en de winter als gevolg van de maatregelen van VO3.1 is te zien in resp. figuur 3-18 en figuur 3-19. De piping schermen zorgen ervoor dat er minder Lekwater kan infiltreren waardoor er achter de kwelschermen minder kwel optreedt.

Sommige stukken van de dijk zijn (sterk) opgehoogd. Deze locaties inunderen minder vaak, waardoor lokaal de infiltratie wordt vergroot.

Deze effecten op de kwel en infiltratie zijn lokaal en beperkt van omvang.



Figuur 3-18 Gemiddelde effect op de kwel in de zomer in mm/dag van de maatregelen in VO3.1. Blauw=minder infiltratie (of meer kwel); rood=meer infiltratie (of minder kwel).



Figuur 3-19 Gemiddelde effect op de kwel in de winter in mm/dag van de maatregelen in VO3.1

### 3.4 Betekenis voor functies

Achter de piping schermen is er in alle situaties een verdroging zichtbaar. Het dijkversterkingstraject ligt in een gebied waar veel ondiepe klei- en veenlagen voorkomen. Hier zou door de verdroging (extra) zetting door krimp en oxidatie kunnen optreden, met mogelijk nadelige gevolgen voor de aanwezige bebouwing.

De verlagingen van de grondwaterstand zouden daarnaast kunnen leiden tot (een versterking) van (bestaande) funderingsproblematiek, namelijk de aantasting van houten funderingspalen.

Volgens de modellering is die potentieel aan de orde bij de woningen Lekdijk Oost 4, Lekdijk West 14, 15, 17, 19, 19A & 83. Monitoring van de optredende grondwaterstanden is raadzaam om hier een vinger aan de pols te houden.

Hierbij moet wel aangetekend worden dat er bij het doorrekenen van de piping schermen uitgegaan is van een 'worst-case' scenario, waardoor maximale effecten worden berekend. Concreet:

- a) De plaatsing van de piping schermen zo dicht mogelijk tegen de binnendijkse woningen aan;
- b) Een 'lekvrij' piping scherm door het inbrengen van een hydraulische weerstand van 100.000 dagen;
- c) Het modelmatig *vergridden* van de piping schermen aan de celranden, hierdoor ontstaat er een zigzagpatroon. Dit zigzagpatroon zorgt voor extra veel effect in de "oksel" van een zigzag.

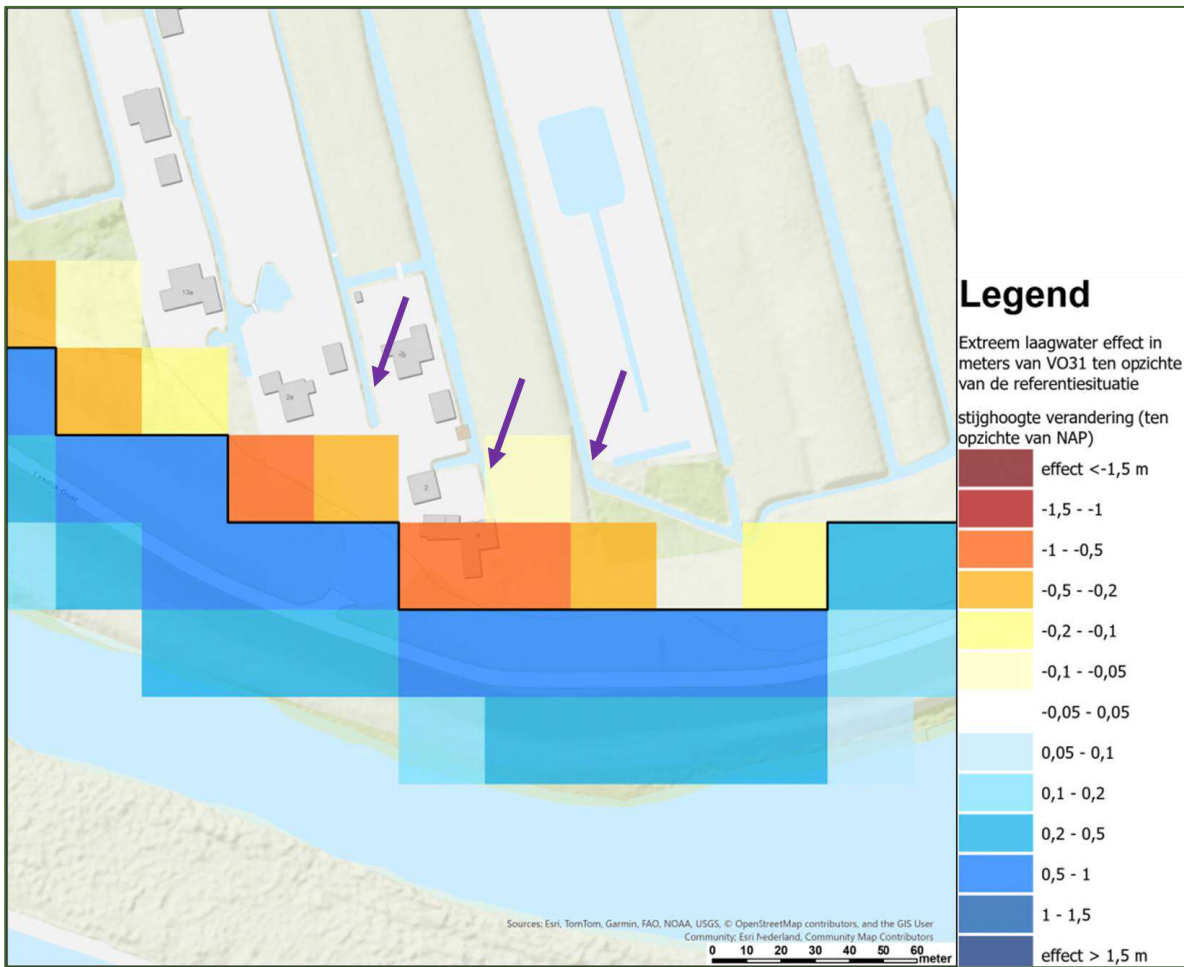
Ad a) De piping schermen moeten in een bepaald traject aangebracht worden tussen de Lekdijk en de binnendijkse woningen. Een detail van zo'n traject is te zien in figuur 2-2. Omdat de exacte locatie van de piping schermen nog niet bekend is, is ook hier uitgegaan van een worst-case benadering. Deze benadering houdt in dat de piping schermen in het model zo dicht mogelijk tegen de woningen aangezet zijn. Mogelijk worden deze piping schermen in werkelijkheid verder van de woningen afgezet, waardoor de berekende verdrogingen ter plekke van de woningen kleiner zijn dan berekend.

Ad b) Er zijn ook meerdere typen piping schermen. Bekend is dat een Prolock filterscherm een lagere weerstand heeft dan een stalen piping scherm. Door in de modellering een extreem hoge weerstand te gebruiken van 100.000 dagen worden relatief grote effecten berekend op de grondwaterstand. In werkelijkheid is de hydraulische weerstand van het scherm mogelijk geringer, waardoor de effecten ook kleiner zijn berekend.

Ad c) De piping schermen worden in het grondwatermodel "vergrid" aan de celranden. Hierdoor zitten de schermen niet recht in het grondwatermodel, maar vaak gehoekt (figuur 2-2). Wanneer een woning dichtbij 2 kanten van het modelmatige piping scherm zit, krijgt het een verzaamd effect. De piping schermen worden 'in het veld' recht en evenwijdig aan de dijk geplaatst, waardoor deze modelmatige extra effecten wegvallen.

In de praktijk zullen de verdrogende effecten achter de piping schermen dus naar verwachting geringer zijn dan nu berekend.

Mochten er compenserende maatregelen worden overwogen om de verlaging van de grondwaterstanden te mitigeren, dan kan worden gedacht aan het opstuwen van nabijgelegen sloten (zie pijltjes in figuur 3-20). Het opstuwen van nabijgelegen slootpeilen achter de woningen, met bijvoorbeeld een gemaal, zorgt voor een tegendruk. Deze kan ervoor zorgen dat de grondwaterstanden niet dieper uitzakken dan in de referentiesituatie.



Figuur 3-20 Mogelijk compenserende maatregel voor de lagere grondwaterstanden a.g.v. de piping schermen (VO3.1) in droge situaties: het opstuwten van nabijgelegen sloten (aangegeven met paarse pijlen).

## 4 Conclusies

- De effecten van de maatregelen in het VO3.1 op het grondwatersysteem zijn lokaal van aard en worden vooral veroorzaakt door de piping schermen.
- De schermen vormen een weerstand in de grondwaterstroming vanuit de Lek naar het lagere binnendijkse gebied. Dit zorgt buitendijks voor vernatting binnendijks verdroging. Dit geldt zowel bij hoge- Lekpeilen als bij lage Lekpeilen.
- Het dijkversterkingstraject ligt in een gebied waar veel ondiepe klei- en veenlagen voorkomen. Hier zou door de verdroging achter de piping schermen (extra) zetting door krimp en oxidatie kunnen optreden, met mogelijk nadelige gevolgen voor de aanwezige bebouwing.
- De verlagingen van de grondwaterstanden zouden daarnaast kunnen leiden tot (een versterking) van (mogelijk bestaande) funderingsproblematiek, namelijk de aantasting van houten funderingspalen.
- Daarbij moet worden opgemerkt dat de berekeningen 'worst-case' zijn ingevuld<sup>1</sup>, met andere woorden: in de praktijk zullen de verdrogende effecten achter de piping schermen naar verwachting geringer zijn dan nu berekend.
- Aangeraden wordt om de grondwaterstanden bij woningen te monitoren die in de directe nabijheid van de piping schermen liggen (voor en na de uitvoering van de maatregelen).
- Mochten er compenserende maatregelen worden overwogen om de verlaging van de grondwaterstanden te mitigeren, dan kan worden gedacht aan het opstuwen van nabijgelegen sloten.

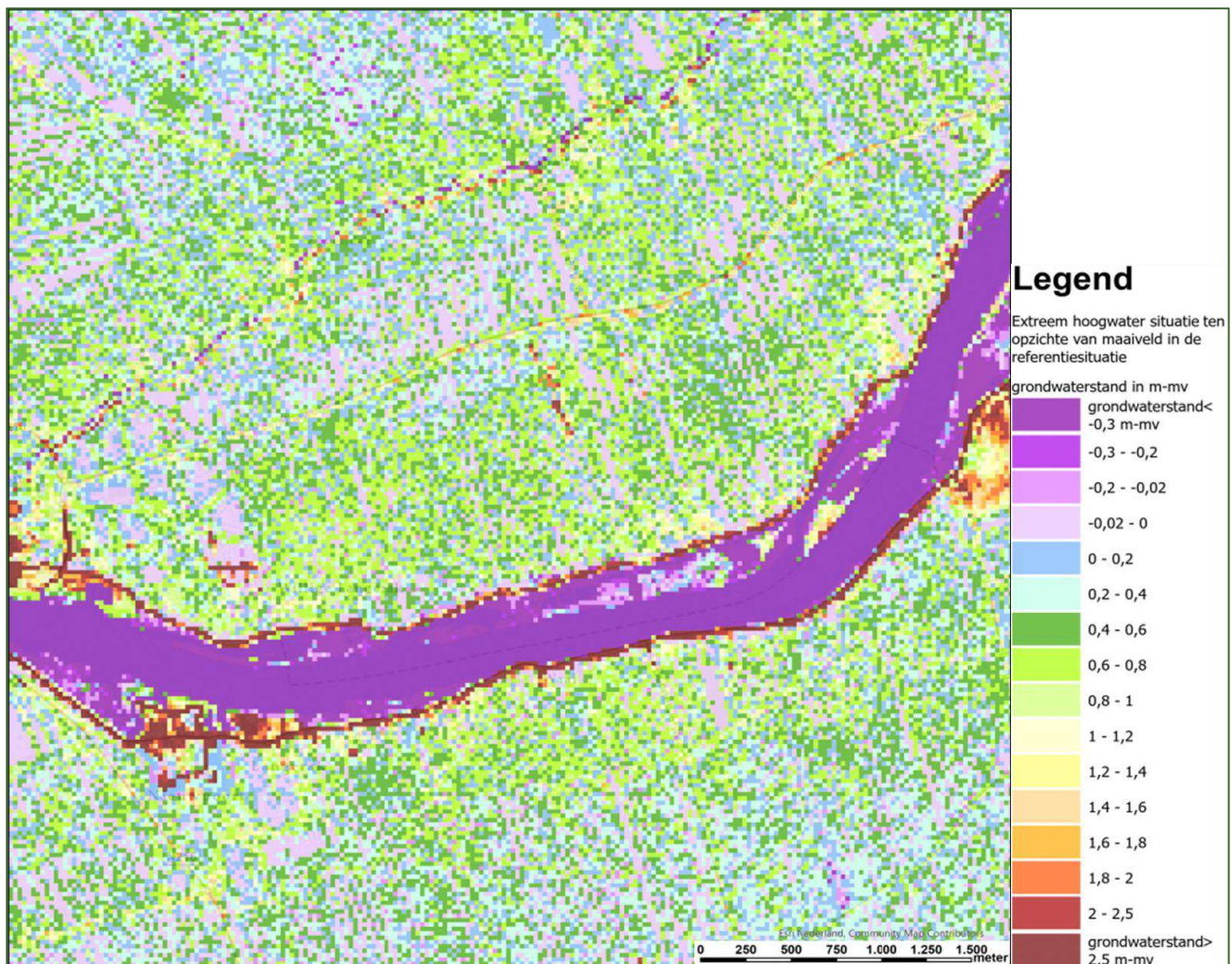
---

<sup>1</sup> 'lekvrije' stalen heaveschermen (grote hydraulische weerstand van 100.000 dagen) met een diepte die het *hele* Holocene pakket doorsnijdt en een plaatsingslocatie tegen de dijkwoningen aan.

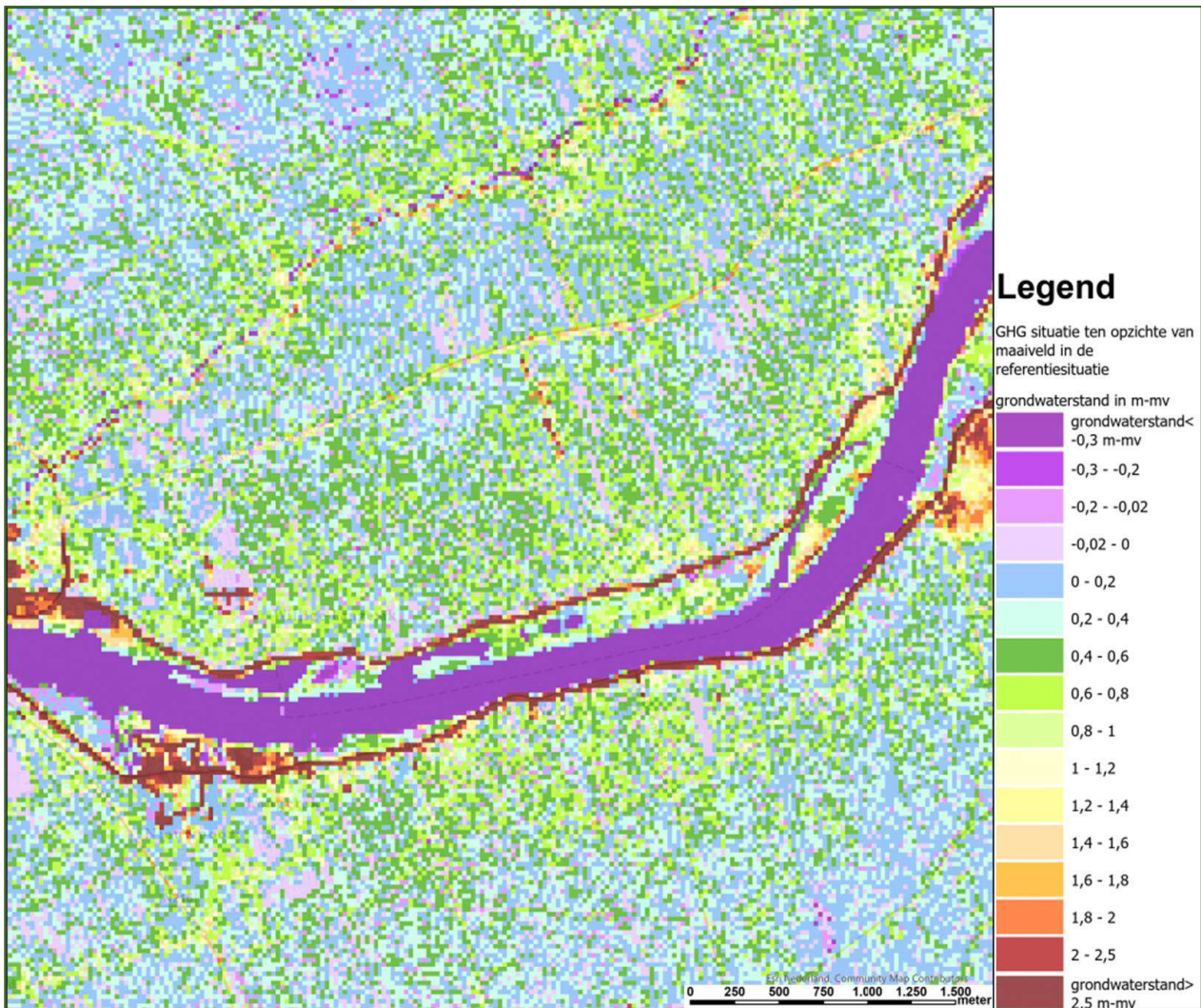
## Bijlage 1: Modelresultaten referentiemodel

In deze bijlage worden de grondwaterstanden en kwel/wegzijgingspatronen van het referentiemodel getoond.

Figuur B1- 1 toont de grondwaterstanden bij extreem hoogwater situatie zoals berekend met het referentiemodel. Zichtbaar in deze figuur is dat in deze situatie de grondwaterstand in delen van het gebied boven maaiveld kan staan. Gezien de aard van het gebied (relatief laaggelegen polder) is dit een plausibel resultaat.

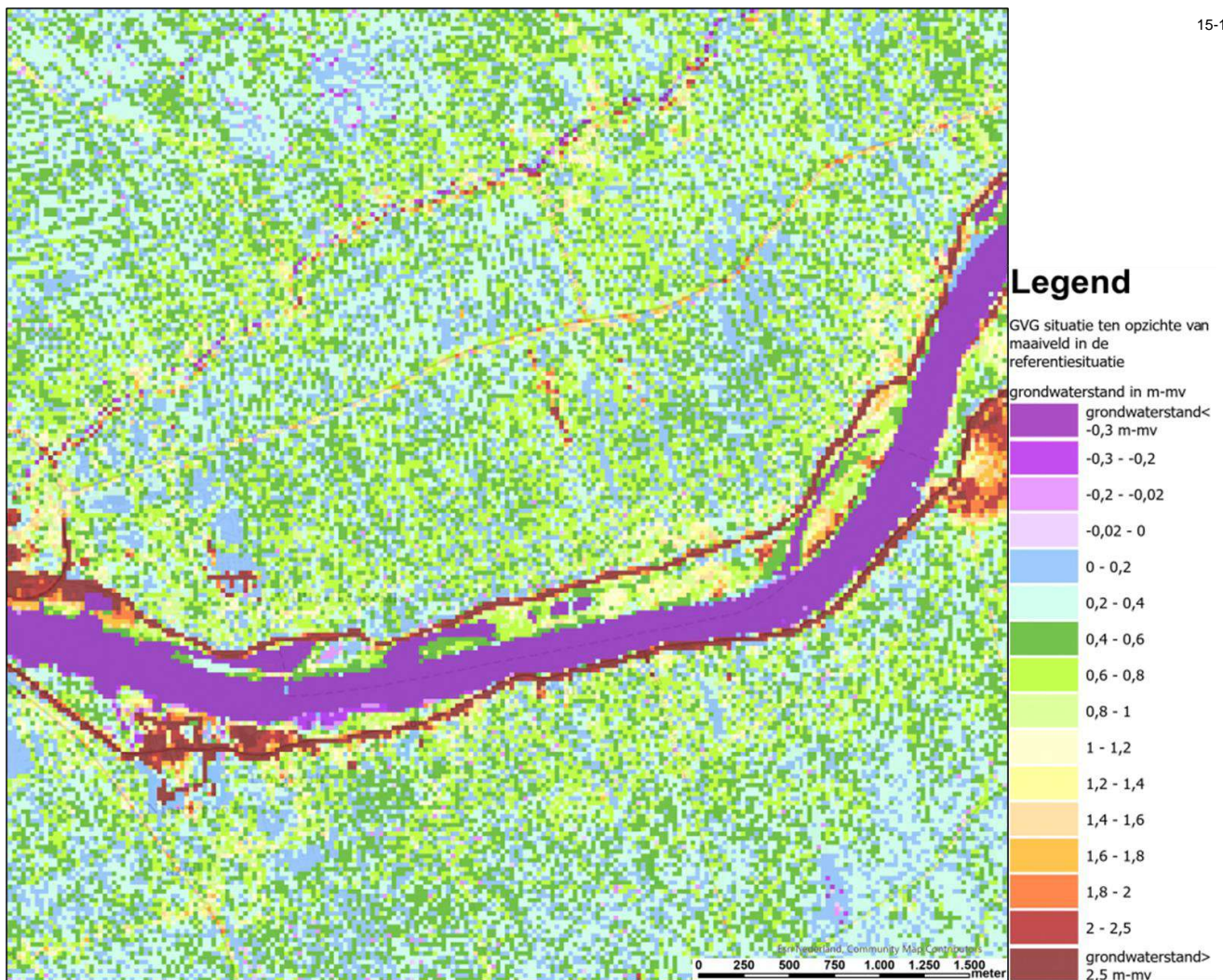


B1- 1: Referentiemodel: berekende grondwaterstanden in de extreem hoogwater situatie.



B1- 2: Referentiemodel: berekende GHG.

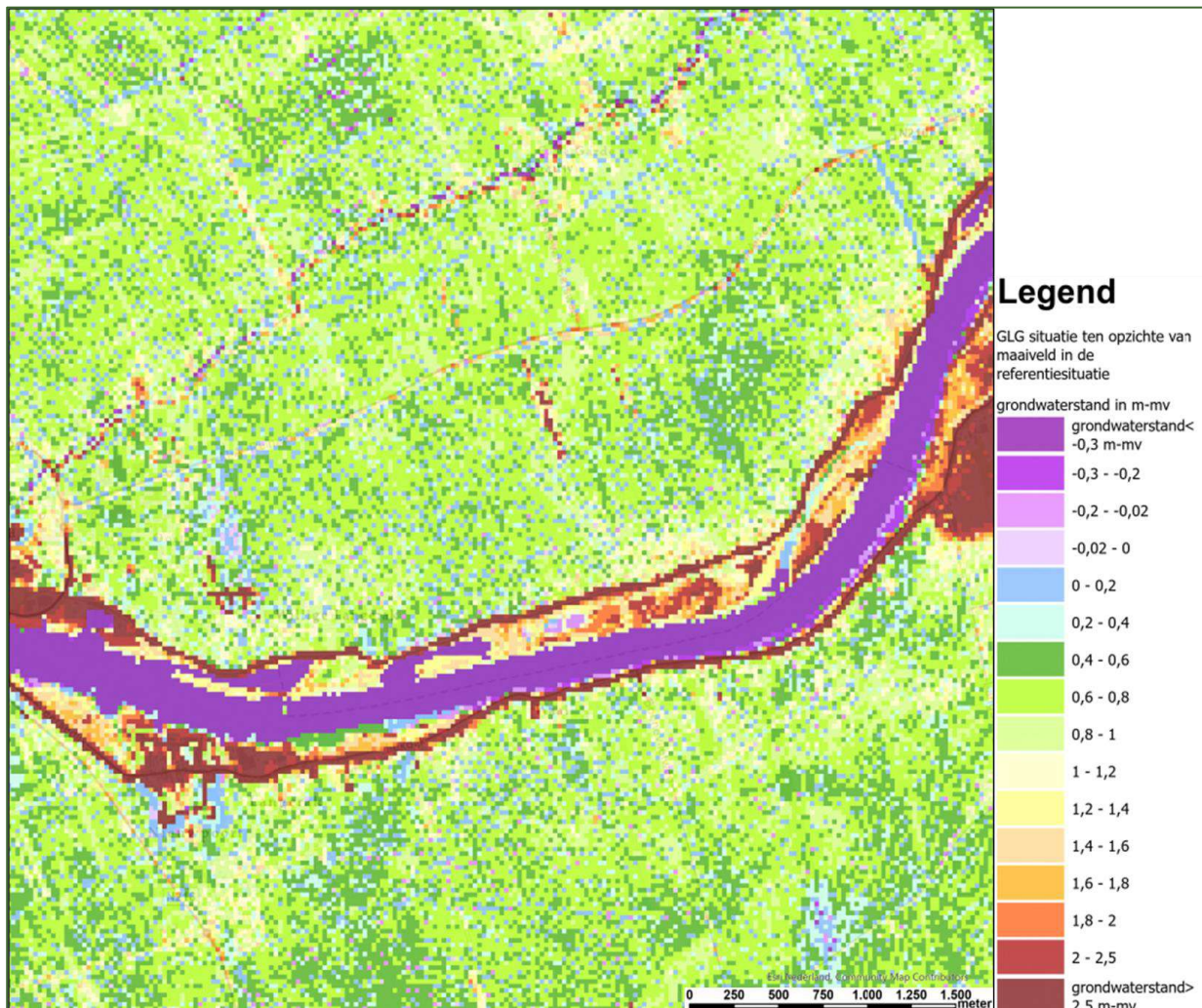
Figuur B1- 2 toont de GHG die is berekend met het referentiemodel. De GHG is buitendijks in de uiterwaarden lager dan de extreem hoogwater situatie; binnendijks zijn de verschillen gering.



B1- 3: Referentiemodel: berekende GVG.

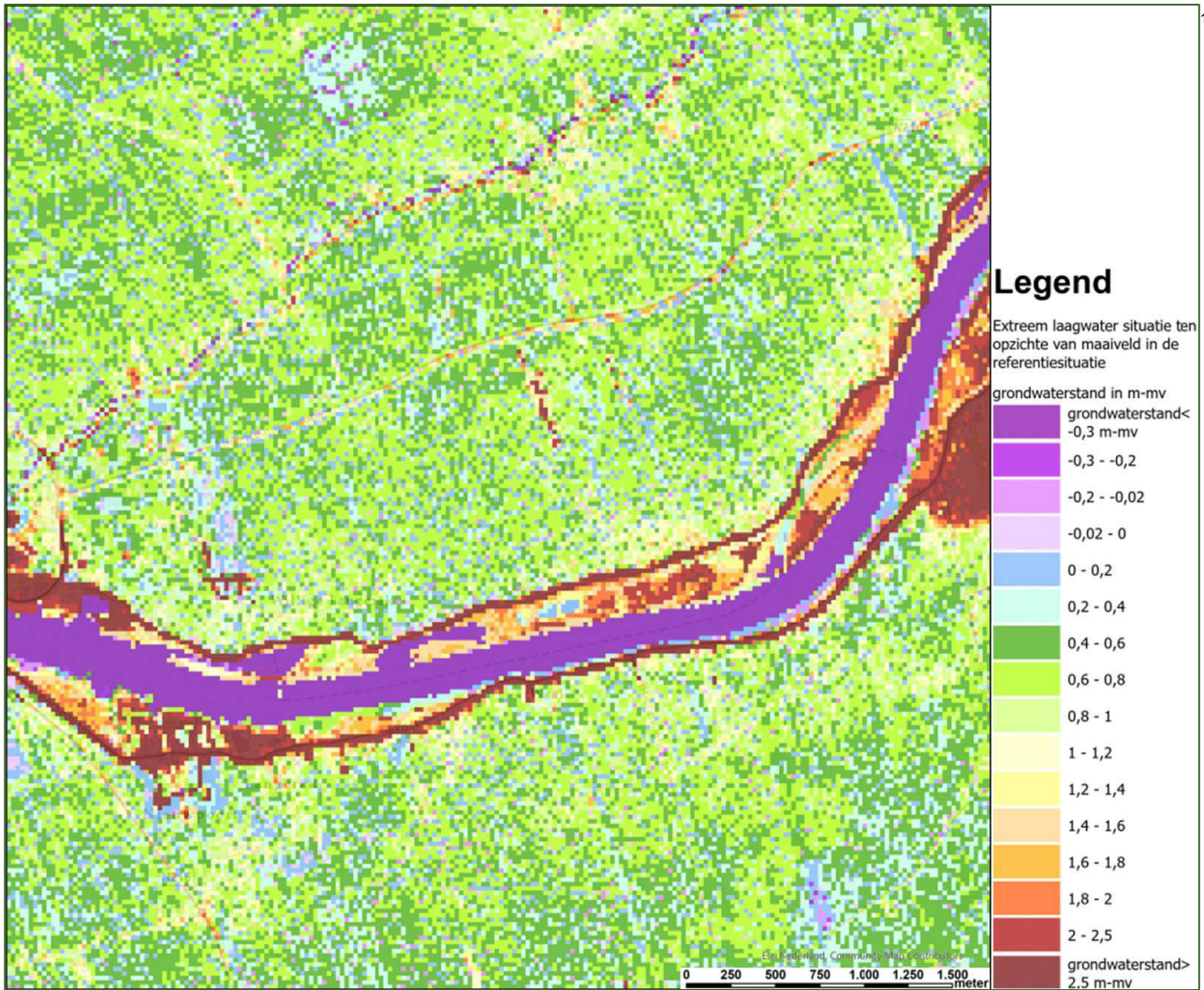
Figuur B1- 3Figuur toont de GVG die is berekend met het referentiemodel. Het beeld vertoont grote gelijkenissen met het beeld van de berekende GHG, maar over het algemeen zijn de grondwaterstanden wat dieper.

Figuur B1- 4B1- 5 toont de GLG die is berekend met het referentiemodel. In de polder zakken volgens het grondwatermodel de grondwaterstanden uit tot ca. 60-80 cm-mv.

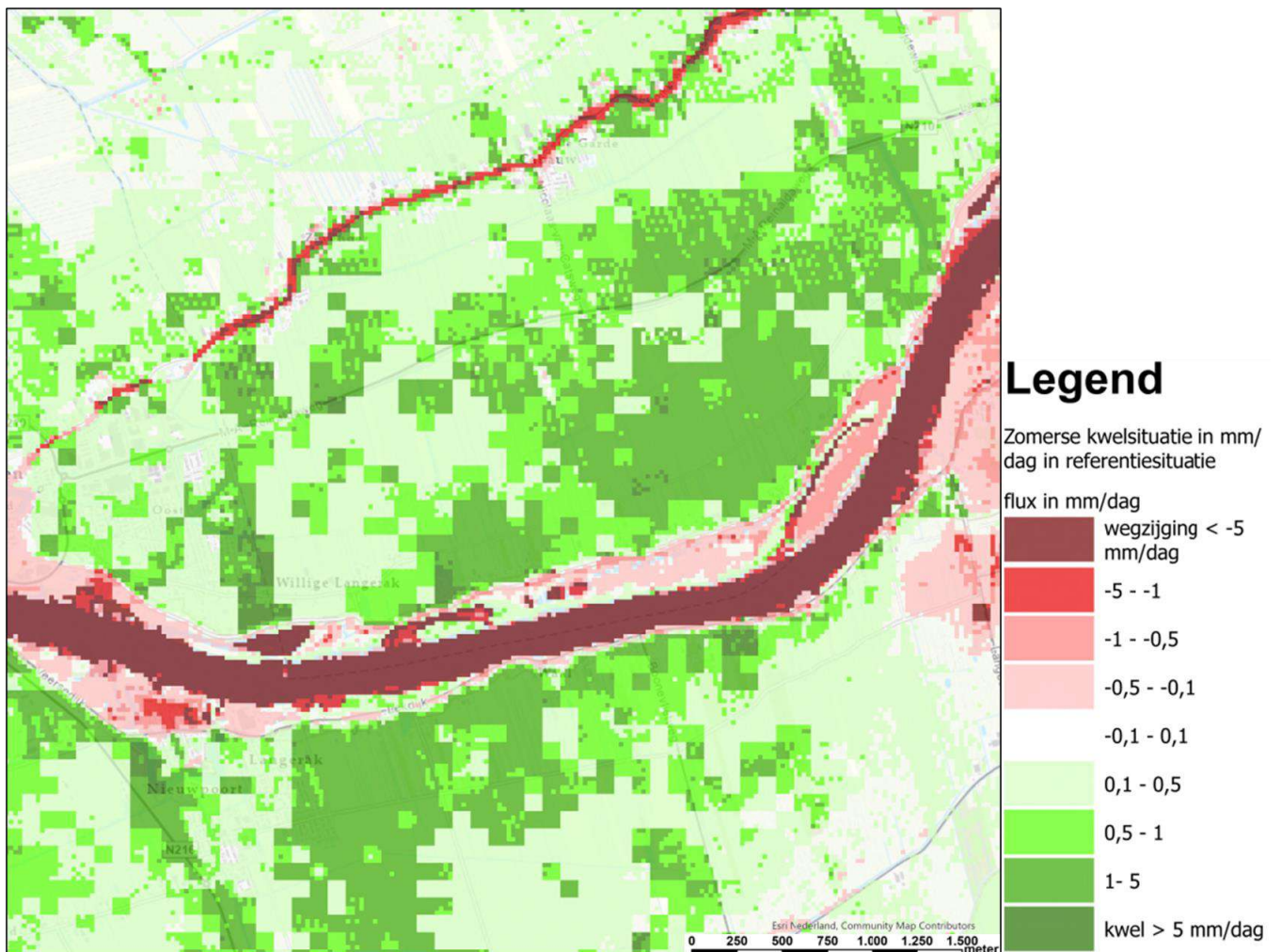


B1- 4: Referentiemodel: berekende GLG.

B1- 5 toont de -met het referentie model- berekende grondwaterstanden ten opzichte van maaiveld in de extreem laagwater situatie. Wanneer ingezoomd wordt op de uiterwaarden dan wordt duidelijk dat hier in de extreem laagwater situatie de grondwaterstand overwegend lager is dan in de GLG situatie. Binnendijks is dit andersom: in de GLG situatie is de grondwaterstand hier veelal dieper.

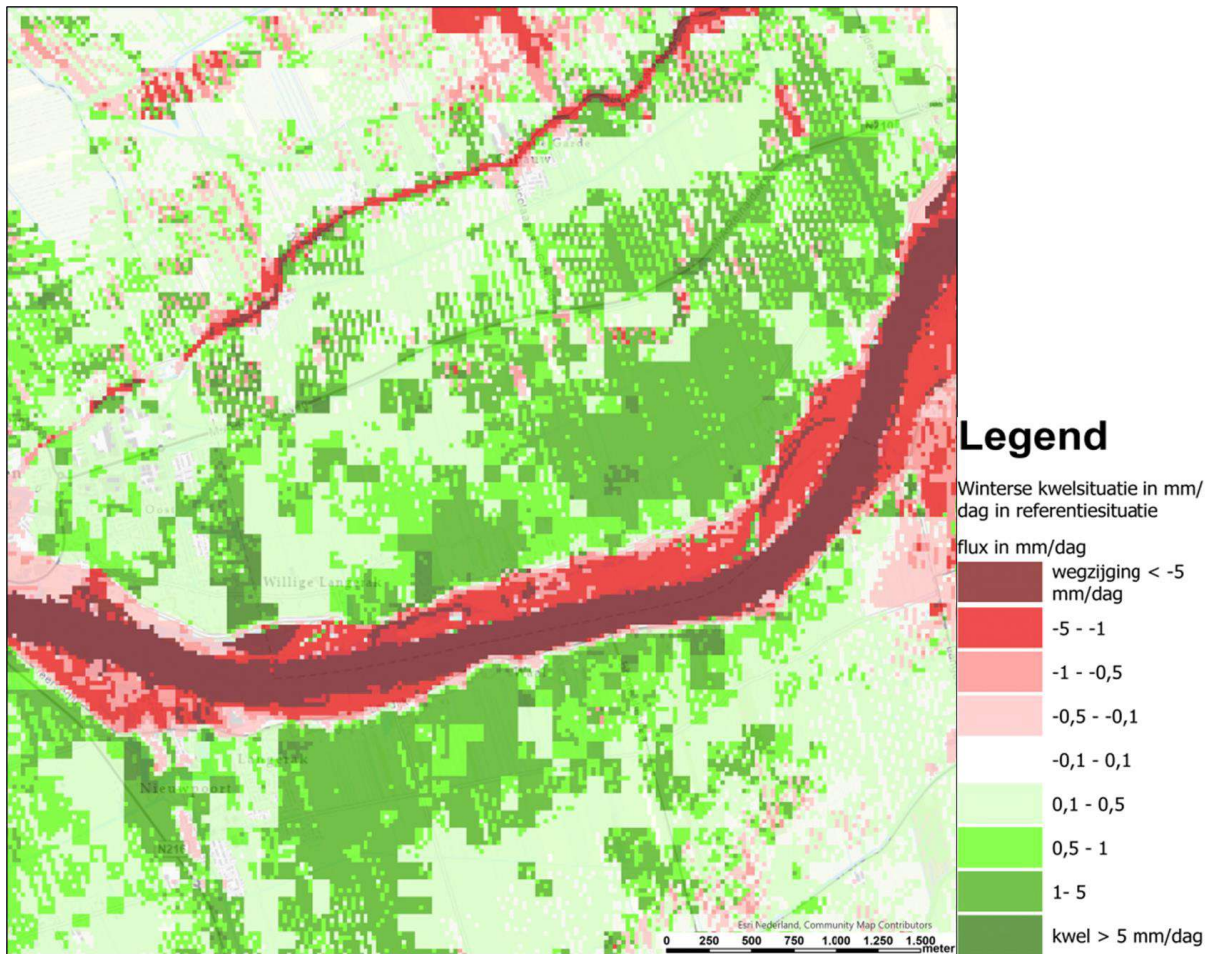


B1- 5: Referentiemodel: berekende grondwaterstanden in de extreem laagwater situatie.



B1- 6: Referentiemodel: zomerse kwel/wegzijingspatronen over deklaag.

Figuur B1- 6 Figuur B1- 6 toont de zomerse kwel/wegzijingspatronen over de deklaag in het referentiemodel. Zomers is het buitendijks vooral een wegzijingsgebied en binnendijks vooral een kwelgebied.



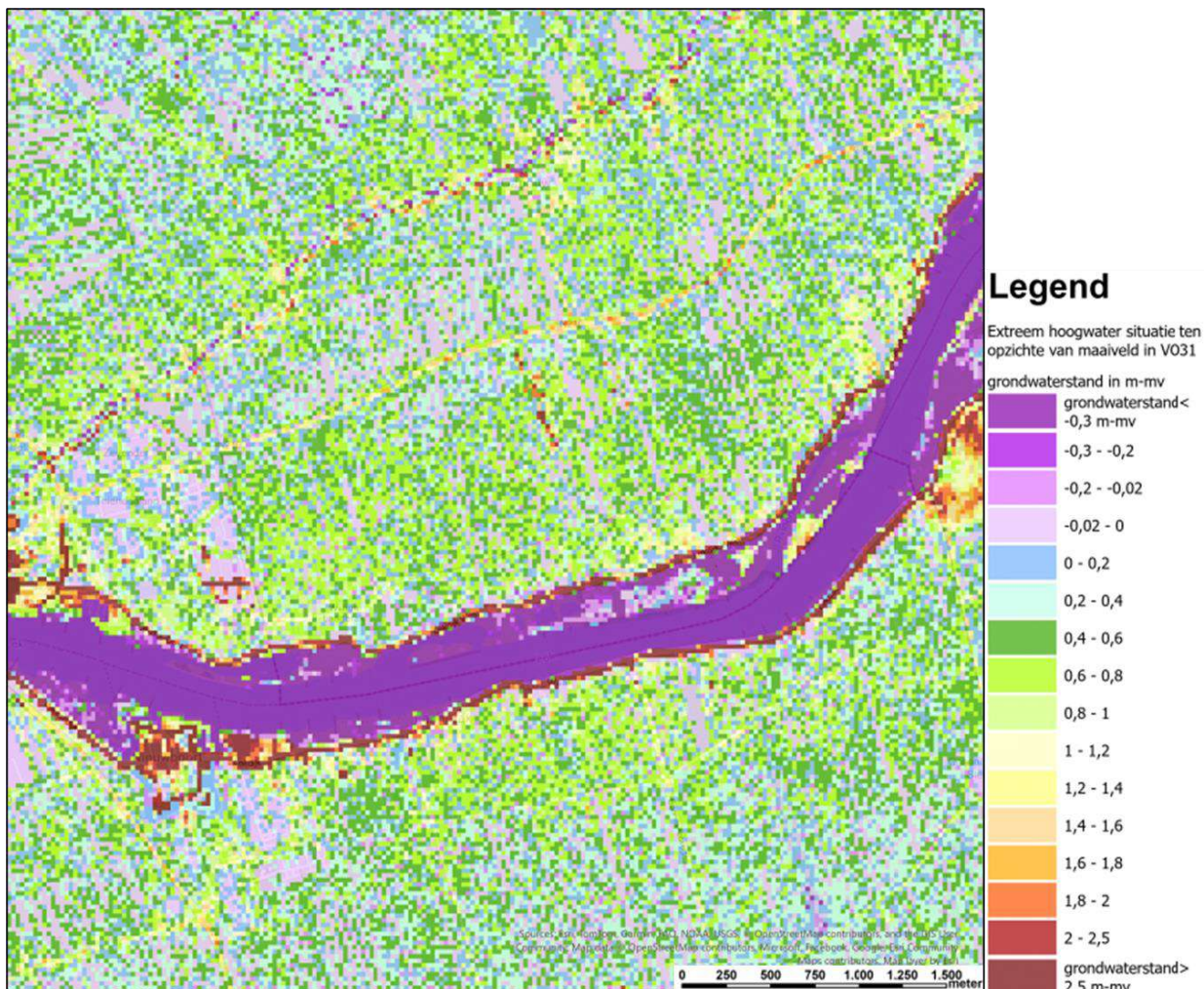
B1- 7: Referentiemodel: winterse kwel/wegzijgingspatronen over deklaag.

Figuur B1- 7 toont de winterse kwel/wegzijgingspatronen over de deklaag in het referentiemodel. De wegzijgingsflux is in de winter buitendijks groter dan in zomer.

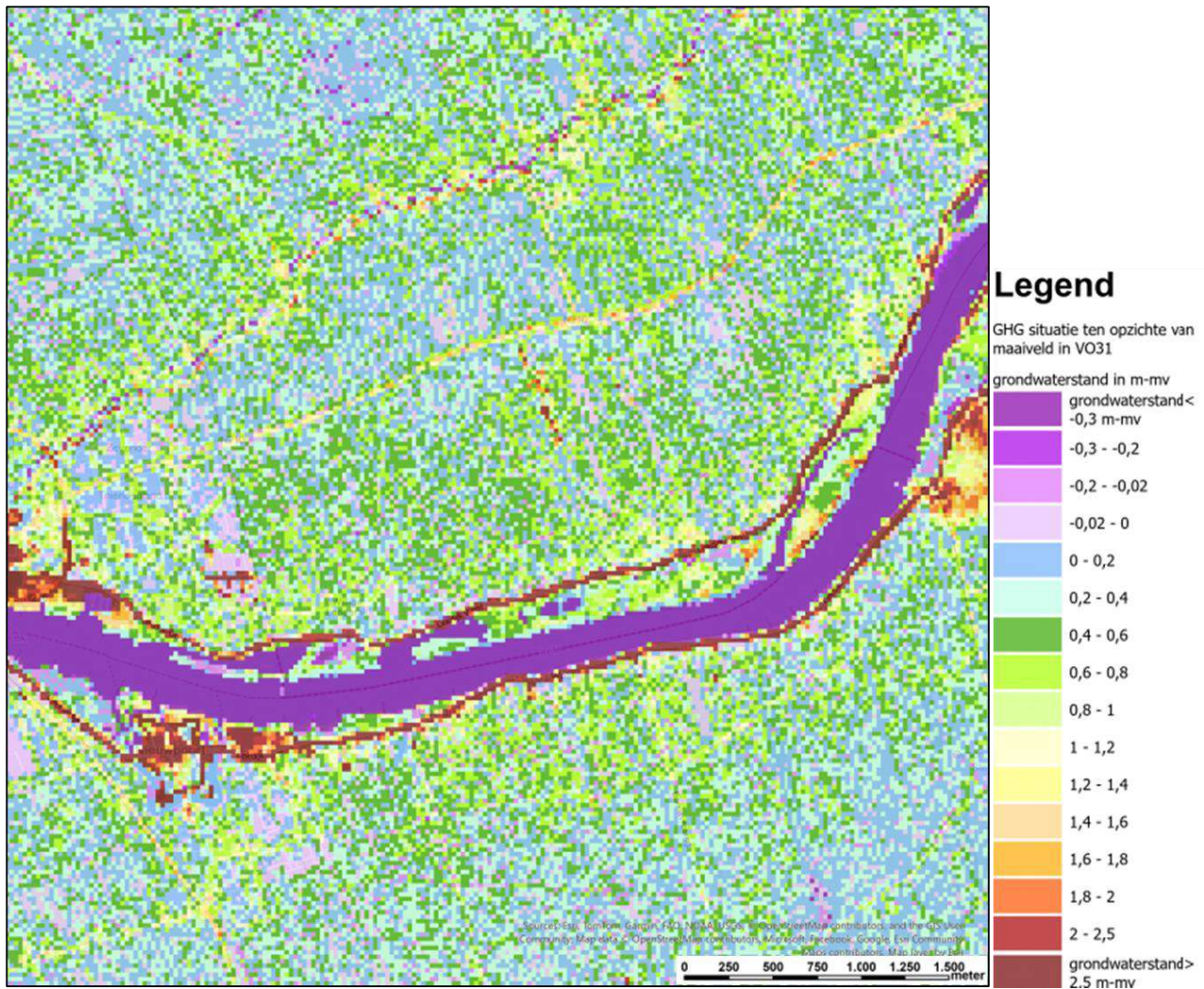
## Bijlage 2: Modelresultaten VO3.1

In deze bijlage worden de grondwaterstanden en kwel/wegzijgingspatronen van het scenario VO3.1 getoond.

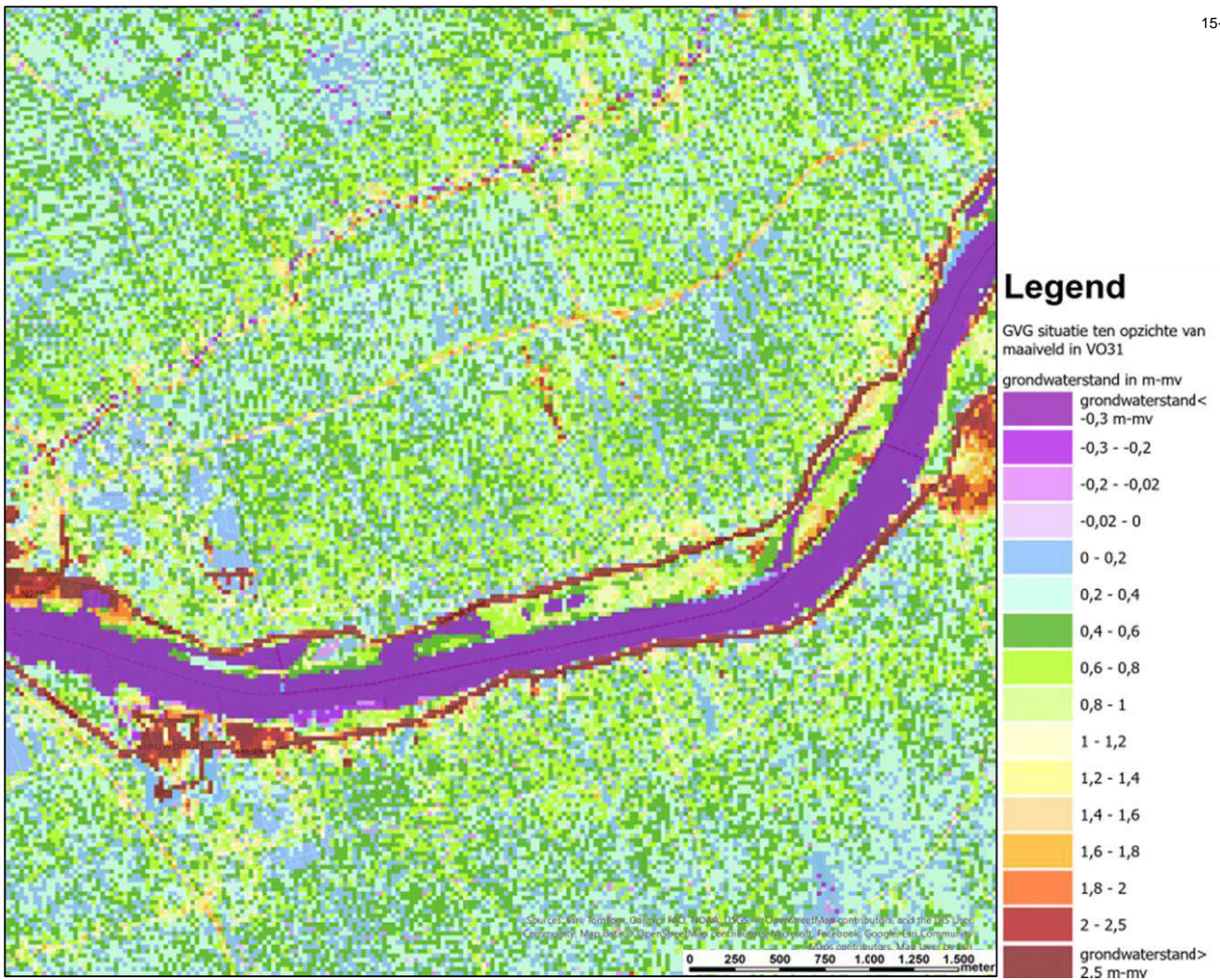
Vanwege het lokale karakter van de effecten van de dijkversterkingsmaatregelen vertonen deze figuren grote gelijkenissen met de grondwaterstanden en kwel/wegzijgingspatronen van het referentiemodel zoals deze zijn getoond in bijlage 1. De figuren zijn op deze plaats daarom zonder verder toelichting opgenomen.



B2- 1: Scenario VO3.1: berekende grondwaterstanden in de extreem hoogwater situatie.

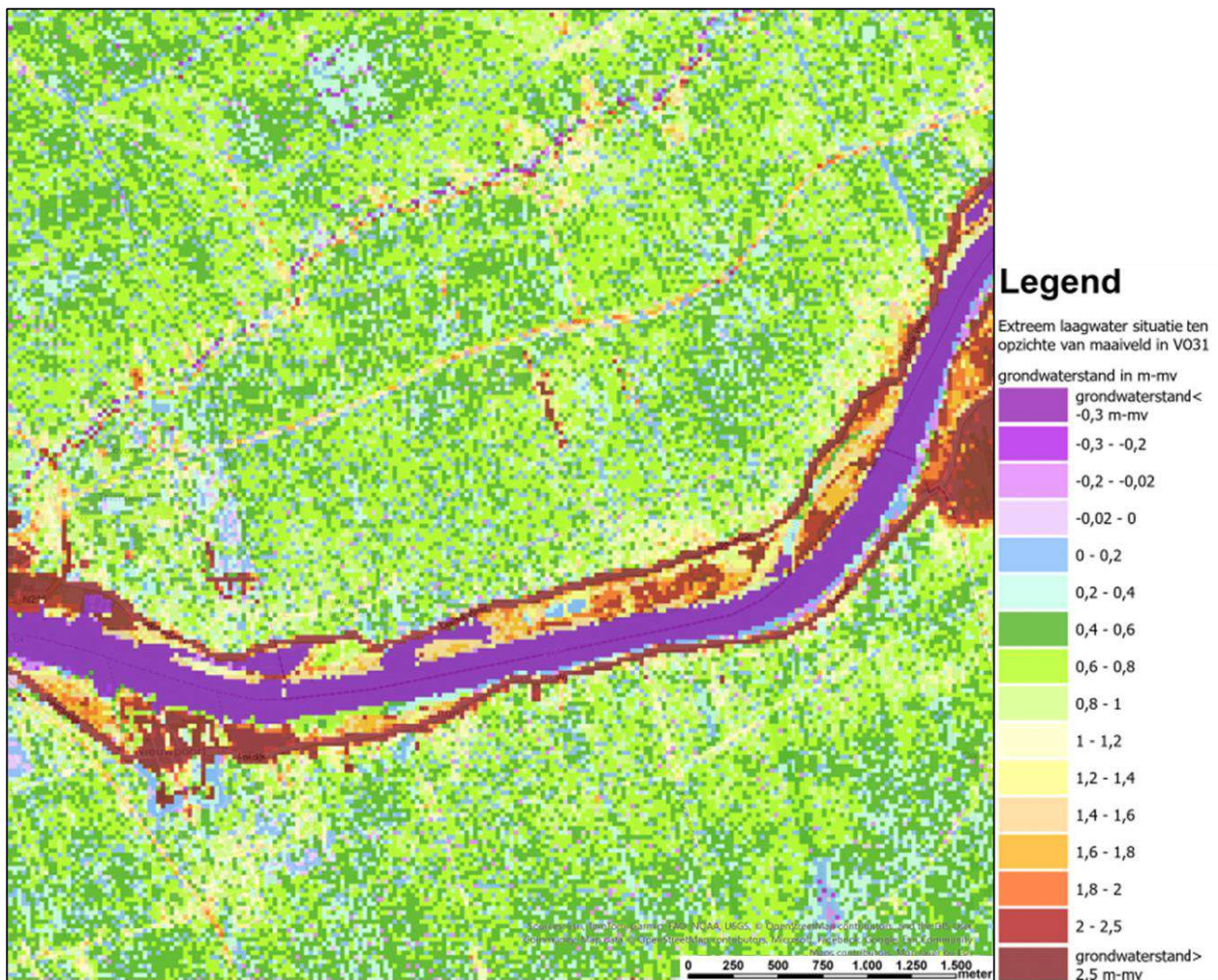


B2- 2: Scenario VO3.1: berekende GHG.

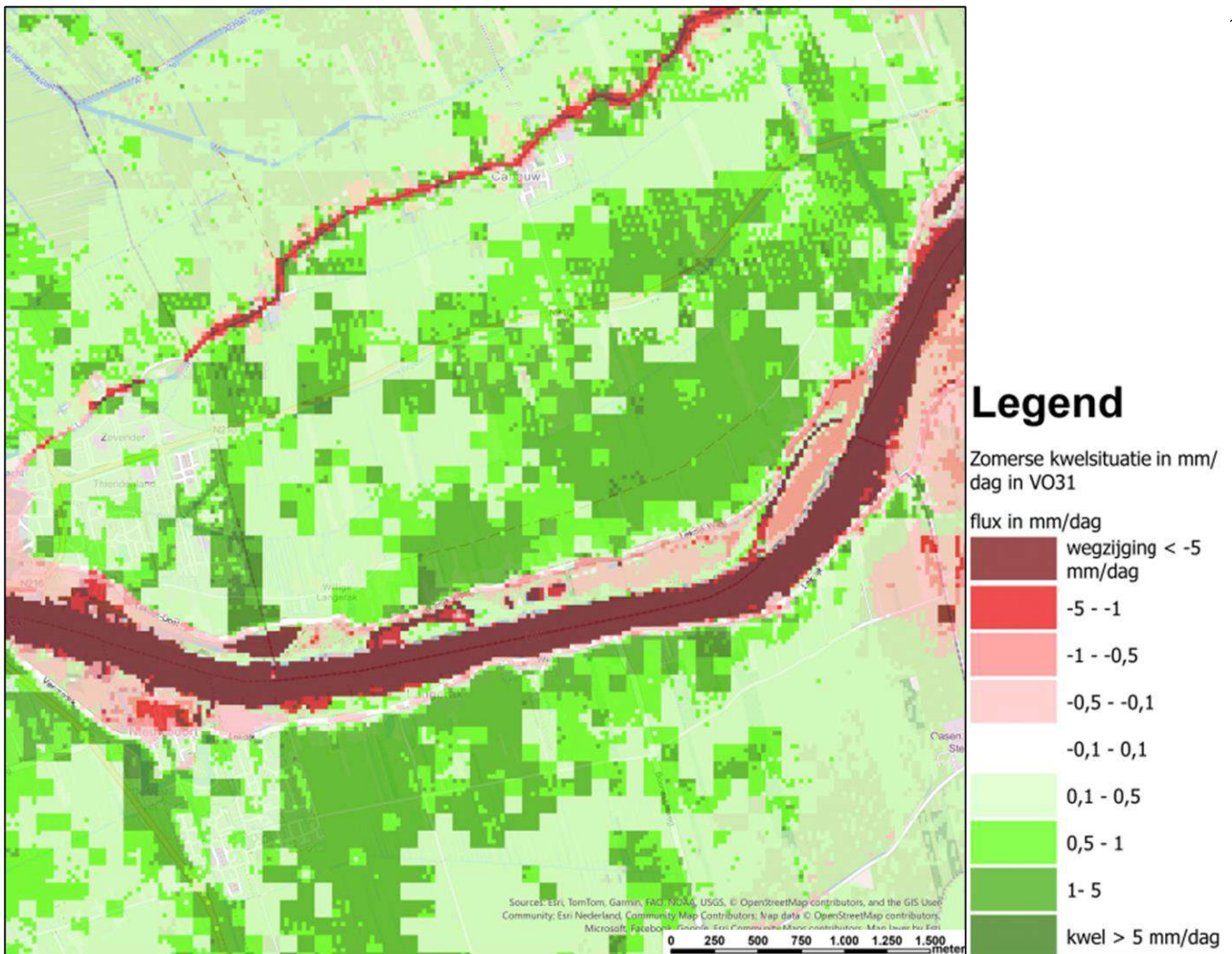


B2- 3: Scenario VO3.1: berekende GVG.

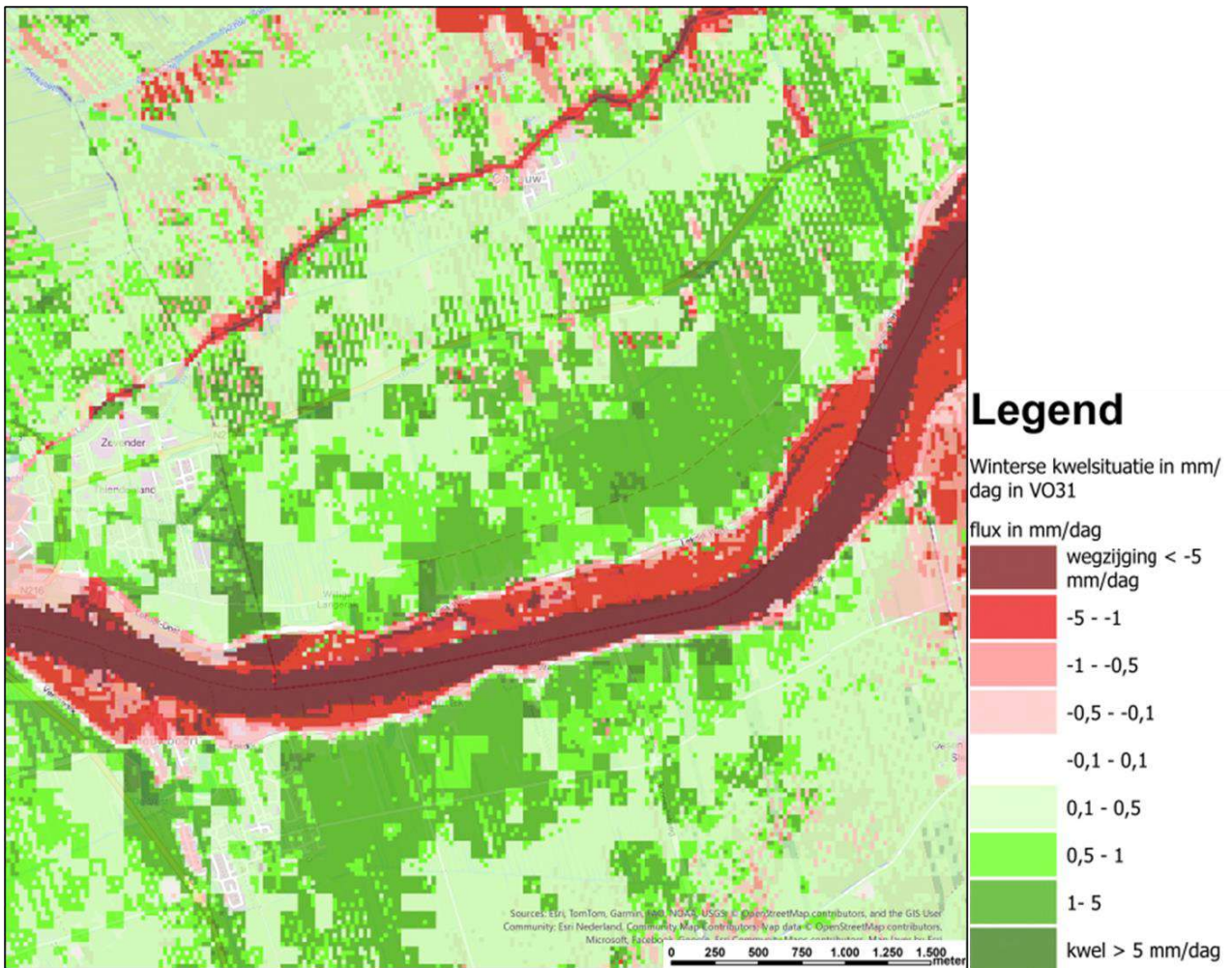




B2- 5: Scenario VO3.1: berekende grondwaterstanden in de extreem laagwater situatie.



B2- 6: Scenario VO3.1: zomerse kwel/wegzijgingspatronen over deklaag.



B2- 7: Scenario VO3.1: winterse kwel/wegzijingspatronen over deklaag.

## Bijlage 2: Rivierkundige beoordeling

# Rivierkundige beoordeling Dijkversterking VO 3.0



HOOGHEEMRAADSCHAP  
DE STICHTSE  
RIJNLANDEN

## Colofon

Rapportgegevens	
Rapporttitel	Rivierkundige beoordeling
Ondertitel	Dijkversterking VO 3.0
DMS nummer:	##
Versie:	1.1
Datum:	22 januari 2026

### Vrijgave:

Verantwoordelijkheid	Functie	Naam	Paraaf
Opsteller:	Rivierkundig adviseur	Bas van Dongen	
Verificateur:	Rivierkundig adviseur	Simone van Langen	
Autorisator	Manager Projectbeheersing	##	
Vrijgever	Projectmanager	Olga van Es	

### Documenthistorie:

Versie	Datum	Toelichting
V1.0	30 januari 2025	
V1.1	22 januari 2026	Review RWS-ON en RWS-WNZ verwerkt. Berekening bergend volume nog niet verwerkt.

Hoogheemraadschap De Stichtse Rijnlanden  
Poldermolen 2  
030 634 57 00 **T**  
sterkelekdijk@hdsr.nl **E**  
hdsr.nl/sterkelekdijk **W**

**STERKE  
LEKDIJK**

# Inhoudsopgave

<b>1</b>	<b>Inleiding</b>	<b>5</b>
1.1	Achtergrond	5
1.2	Doelstelling	5
1.3	Leeswijzer	5
1.4	Baseline-referentie	6
1.5	Uitgangspunten en randvoorwaarden WAQUA-berekeningen	6
1.6	Software	7
<b>2</b>	<b>Systeemwerking</b>	<b>8</b>
2.1	Systeemwerking op riviertak-niveau	8
2.2	Systeemwerking op uiterwaard-niveau	10
<b>3</b>	<b>Inrichtingsplan</b>	<b>15</b>
3.1	Beschrijving van het inrichtingsplan	15
3.2	Redeneerlijn buitendijks versterken	16
3.3	Dijkversterking in Baseline	17
3.4	Rivierwaartse dijkversterking: fictieve verschuiving buitenkruinlijn	17
3.5	Aanleg beheerstrook: aanpassing ruwheid	23
3.6	Aanpassing afritten: toevoegen en wijzigen van kades	25
3.7	Baseline-maatregel en variant	26
<b>4</b>	<b>Rivierkundige beoordeling</b>	<b>28</b>
4.1	Hoogwaterveiligheid	28
4.2	Hinder en schade door hydraulische effecten	32
4.3	Morfologische effecten	35
<b>5</b>	<b>Samenvatting</b>	<b>44</b>
<b>6</b>	<b>Referenties</b>	<b>47</b>
<b>Bijlage 1</b>	<b>Landgebruik referentie en variant</b>	
<b>Bijlage 2</b>	<b>Bodemhoogte en kades</b>	
<b>Bijlage 3</b>	<b>Fictieve verschuiving per dwarsprofiel</b>	
<b>Bijlage 4</b>	<b>Hoogwatervrije vlakken in WAQUA (schotjes)</b>	
<b>Bijlage 5</b>	<b>Hoogwaterreferentie buiten de as van de rivier</b>	
<b>Bijlage 6</b>	<b>Stroomsnelheden en stroomsnelheidsverschillen afvoer 6.000 m<sup>3</sup>/s bij Lobith</b>	
<b>Bijlage 7</b>	<b>Stroomsnelheden en stroomsnelheidsverschillen afvoer 8.000 m<sup>3</sup>/s bij Lobith</b>	
<b>Bijlage 8</b>	<b>Stroomsnelheden en stroomsnelheidsverschillen afvoer 10.000 m<sup>3</sup>/s bij Lobith</b>	

**Bijlage 9** Stroomsnelheden en stroomsnelheidsverschillen afvoer 16.000 m<sup>3</sup>/s bij Lobith

**Bijlage 10** Stroomsnelheden geul De Bol

**Bijlage 11** Dwarsstroming

**Bijlage 12** Theoretisch kader erosie geulen

# 1 Inleiding

## 1.1 Achtergrond

In het gebied tussen Salmsteke en Schoonhoven (SAS) komen verschillende opgaven bij elkaar. Het gebied is onderdeel van het dijkversterkingsproject Sterke Lekdijk, dat wordt uitgevoerd door Hoogheemraadschap De Stichtse Rijnlanden (HDSR). Daarnaast zijn er KRW-maatregelen in het gebied als onderdeel van het project KRW Oost-Nederland (KRW-ON) en natuurdoelen van de Provincie Utrecht (NNN en N2000).

De dijkversterkingsopgave en de opgaven in de uiterwaard (KRW en natuurdoelen) zijn door HDSR integraal opgepakt. Het oorspronkelijke doel was om voor de dijkversterking en de uiterwaarden gezamenlijk het proces te doorlopen van Schetsontwerp (SO) naar Voorlopig Ontwerp Fase 1 (VO1.0) en Voorlopig Ontwerp Fase 2 (VO2.0 of VO3.0). Aan het einde van VO Fase 2 zijn de ontwerpen definitief en worden de benodigde vergunningen aangevraagd. Tijdens het project is echter besloten dat de opgaven in de uiterwaarden na het VO1.0 niet meer door HDSR verder worden uitgewerkt. De verdere uitwerking van de uiterwaarden naar een VO2.0 wordt in een later stadium door andere partijen opgepakt. De dijkversterking wordt wel door HDSR verder uitgewerkt naar een definitief ontwerp (VO3.0). Dit betekent dat de dijkversterkingsopgave en de opgaven in de uiterwaarden inmiddels niet meer integraal worden uitgewerkt, maar beschouwd moeten worden als twee aparte projecten.

Dit rapport betreft de rivierkundige toetsing van het VO3.0 van de dijkversterking.

## 1.2 Doelstelling

De rivierkundige toetsing die in dit rapport wordt heeft als doel om de rivierkundige effecten van het VO3.0 inzichtelijk te maken. De rivierkundige toetsing van deze ingrepen is gedaan aan de hand van het Rivierkundig Beoordelingskader (RBK) voor ingrepen in de Grote Rivieren versie 5.0 [D 13], om te bepalen of de ingrepen geen ongewenste rivierkundige effecten veroorzaken<sup>1</sup>.

## 1.3 Leeswijzer

De volgende paragrafen in dit hoofdstuk beschrijven de uitgangspunten voor het bepalen van de rivierkundige effecten, zoals afgesproken met RWS. Dit omvat de Baseline-referentieschematisatie (paragraaf 1.4), de uitgangspunten en randvoorwaarden die gebruikt worden voor de hydraulische berekeningen (paragraaf 1.5) en de gebruikte software (paragraaf 1.6). Hoofdstuk 2 gaat in op de systeemwerking van de rivier op riviertak-niveau en in het projectgebied. Hoofdstuk 3 beschrijft de ingrepen uit het VO3.0 en de schematisatie daarvan in Baseline. De resultaten van de rivierkundige berekeningen en de daarop gebaseerde

---

<sup>1</sup> Inmiddels geldt voor de rivierkundige toetsing het RBK versie 6.0. Bij de start van het project was echter het RBK versie 5.0 nog de vigerende versie. Daarom is met Rijkswaterstaat Oost-Nederland afgestemd dat deze versie gedurende het hele project wordt gebruikt voor de rivierkundige beoordeling. Het verschil tussen versies 5.0 en 6.0 zit vooral in de modelsoftware die wordt gebruikt voor de rivierkundige berekeningen. De beoordelingsaspecten en -criteria zijn (nagenoeg) hetzelfde.

beoordeling worden besproken in hoofdstuk 4. De samenvatting van de toetsing en de belangrijkste conclusies worden beschreven in hoofdstuk 5.

## 1.4 Baseline-referentie

Het Baseline-referentiemodel dat voor dit onderzoek is gebruikt, is het model baseline-rijn-beno18\_5-v1, aangevuld met acht actualisatiemaatregelen, die de stroming ter plaatse van het projectgebied beïnvloeden:

- le\_nieuweg\_a1
- le\_lekwr\_d\_c1
- le\_rvdl\_a1
- le\_beatrix\_a1
- le\_hdsrrf\_a1
- le\_college\_a1
- le\_sasref\_a1
- le\_college\_b1

Deze zijn aangeleverd door Rijkswaterstaat Oost-Nederland (RWS ON). De referentievariant met deze actualisatiemaatregel heet sterkelekdijkensaskrw\_ref (afgekort naar saskrw\_ref).

## 1.5 Uitgangspunten en randvoorwaarden WAQUA-berekeningen

De WAQUA berekeningen zijn uitgevoerd met het deelmodel waqua-rijn-beno18\_5\_20m\_nrlk-v1. Door RWS ON zijn de volgende opmerkingen meegegeven over de opbouw van dit model:

- Het deelmodel waqua-rijn-beno18\_5\_20m\_splp-v1 is opgezet op basis van een vrije afvoerverdeling. Dit deelmodel dient uitsluitend gebruikt te worden voor het bepalen van effecten op de afvoerverdeling en voor het bepalen van op te leggen afvoeren per cel op de onttrekkingsrand(en), zie verderop.
- Het deelmodel waqua-rijn-beno18\_5\_20m\_nrlk-v1 is opgezet op basis van een vaste afvoerverdeling. Dit deelmodel dient gebruikt te worden voor het bepalen van alle andere effecten.
- Bij de deelmodellen is standaard invoer opgenomen voor acht afvoerniveaus. Indien er berekeningen nodig zijn met een ander afvoerniveau, dan dient hiervoor als basis de invoer gebruikt te worden van de lagere wel beschikbare afvoer. Hierbij dient aandacht besteed te worden aan de kunstwerken (keuze van de juiste sturing voor de betreffende afvoer) en aan de onttrekkingsrand(en). Op de onttrekkingsrand(en) dient een afvoer per cel te worden opgelegd, die gehaald dient te worden uit een run met het deelmodel waqua-rijn-beno18\_5\_20m\_splp-v1 en de betreffende afvoer bij Lobith. Let hierbij ook op de keuze van de juiste sturing voor de betreffende afvoer.
- Het is niet toegestaan de instelling van de in de deelmodellen aanwezige regelwerken aan te passen.
- In de headers van de siminps is aanvullende informatie opgenomen over de opbouw van de deelmodellen. Daarnaast zijn rapportages beschikbaar van de bouw van de referentieschematisatie en de bouw van de deelmodellen, deze kunnen op verzoek worden toegestuurd.
- Uitvoering van Stroomlijn is een uitgangspunt in de berekeningen voor Waterwetaanvragen. In de referentieschematisatie is de vegetatie opgenomen volgens de vegetatielegger inclusief Stroomlijn as built, aangevuld met vergunningen.

De uiterwaarden liggen benedenstrooms van stuw Hagestein in een 'overgangsgebied'; een riviertraject waar de dominante invloed van de rivierafvoer overgaat in een combinatie van belastingen. Voor de Rijn-Maasmonding wordt de waterstand bepaald door het samenspel van rivierafvoer, het direct daaraan gekoppelde lozingsprogramma van de Haringvlietsluizen, het al dan niet open zijn van de Maeslant-/Hartelkering, wind en getij. In de berekeningen is getij, in afstemming met RWS-ON en RWS-WNZ, niet meegenomen. Bij de maatgevende waterstanden (relevant voor de beoordeling van de hoogwaterveiligheid) is getij van ondergeschikt belang. Bij middelhoge afvoeren tussen 6.000 en 10.000 m<sup>3</sup>/s (voor de dijkversterking relevante afvoeren voor de beoordeling van dwarsstroming en morfologische effecten) is de invloed van getij groter, maar de rivierafvoeren zijn dan nog steeds in grote mate bepalend voor de effecten van de maatregelen. Afvoeren lager dan 6.000 m<sup>3</sup>/s bij Lobith zijn niet relevant voor de rivierkundige beoordeling van de dijkversterking, omdat de maatregelen dan niet of nauwelijks effect hebben op het stroombeeld.

## 1.6 Software

Voor het schematiseren van de maatregelen is het programma Baseline 5.3.4 gebruikt, in combinatie met ArcGIS versie 10.5. De rivierkundige berekeningen zijn uitgevoerd met WAQUA-versie SIMONA2021.

## 2 Stroomwerking

### 2.1 Stroomwerking op riviertak-niveau

#### 2.1.1 Stuwprogramma Nederrijn-Lek

De Nederrijn-Lek is een volledig vrij afstromende rivier vanaf afvoeren van 3.861 m<sup>3</sup>/s te Lobith<sup>2</sup>. Bij lagere afvoeren te Lobith wordt de Nederrijn-Lek in meer of mindere mate gestuwd door het stuwcomplex bij Driel, Amerongen en Hagestein. Het projectgebied ligt aan de Lek ongeveer 20 kilometer benedenstrooms van stuw Hagestein. De stuwen in de Nederrijn-Lek spelen een belangrijke rol in de rivierkundige effectbepaling en interpretatie van effecten, daarom volgt hieronder een korte beschrijving van het stuwprogramma (informatie is overgenomen uit [D 7]).

“Het stuwprogramma stuurt op de waterstand bij Lobith en lokale waterstanden (zie Tabel 3-1). In 2016 is er een nieuw stuwprogramma vastgesteld, waarbij de waarden voor Lobith gelijk zijn gebleven, maar de waarden van de lokale waterstanden deels zijn veranderd om aan te sluiten bij de actuele situatie. Hiermee wordt er dus meebewogen met de veranderingen in het systeem.

Bij lage rivierafvoeren is de riviersituatie óf volledig gestuwd óf heeft actieve stuwsturing. In de volledig gestuwde situatie daalt de waterstand bij de IJsselkop wanneer de afvoer verder afneemt (de stuwen kunnen immers niet verder gesloten worden). Wanneer actief gestuurd is, is de variatie in de waterstand bij de IJsselkop zeer beperkt.”

Stuw Driel (nabij rkm 891,5) wordt als eerste volledig getrokken (bij afvoeren > 2.735 m<sup>3</sup>/s te Lobith<sup>2</sup>) waardoor de rivierdynamiek op deeltraject “IJsselkop – stuwcomplex Driel” iets hoger is dan op de overige deeltrajecten van de Nederrijn-Lek. Er wordt gestreefd naar een minimale afvoer van 30 m<sup>3</sup>/s op Nederrijn-Lek, maar deze hoeveelheid wordt in de praktijk bij lage afvoeren (< 1.200 m<sup>3</sup>/s te Lobith) niet gehaald.

Als de Nederrijn-Lek gestuwd is, is de stroomsnelheid zeer laag [D 9], waardoor er nagenoeg geen sprake is van sedimenttransport en sedimentatie van (fijn) sediment plaatsvindt. Bij hogere afvoeren neemt het verhang en daarmee ook de stroomsnelheid en sedimenttransport toe. Bij hoge afvoeren neemt het verhang toe tot tussen de 12 en 14 cm/km over het riviertraject tot Culemborg. Het gaat dan om het gemiddelde verhang op basis van betrekkinglijnen, die uitgaan van vloedwaterstanden. Vanaf daar neemt het verhang vrij snel af tot ca. 5 cm bij Hagestein.

---

<sup>2</sup> Betrekkinglijnen 2022

Tabel 2-1: Stuwprogramma Nederrijn-Lek.

		StuwSluisComplex en bijbehorend stuwpeil		
	$h_{\text{Lobith}}$ [m +NAP]	Driel	Amerongen	Hagestein
volledig gestuwd	< 8,60	gesloten	gesloten	gesloten
stuwproces	8,60 ↕ 10,00	$h_{\text{IJsselkop}} =$ 8,1 m +NAP ↕ $h_{\text{Driel boven}} =$ 7,5 m +NAP	$h_{\text{Amerongen boven}} =$ 6,0 m +NAP ↕ $h_{\text{Amerongen boven}} =$ 5,5 m +NAP	$h_{\text{Hagestein boven}} =$ 3,0 m +NAP ↕ $h_{\text{Hagestein boven}} =$ 2,7 m +NAP
	11,40	open	open	open
open rivier	> 11,40		open	open

### 2.1.2 Ontwikkeling rivierbodem

De rivierbodem van de Nederrijn-Lek heeft vanaf ongeveer het jaar 2000 een licht sedimenterende trend van ca 0,3-0,6 cm/jaar [D 15]. Dat geldt voor alle stuwpannen en het ongestuwde deel benedenstrooms van stuw Hagestein. Door het steeds minder toestaan van zandwinning uit het zomerbed, in combinatie met zeespiegelstijging, is de verwachting dat deze trend zal doorzetten (in ieder geval niet zal kantelen naar een erosieve trend).

### 2.1.3 Afvoerdeling splitsingspunten

De geplande ingrepen zullen waarschijnlijk geen effect hebben op de afvoerdeling bij de splitsingspunten, omdat de maatregelen ver benedenstrooms van de splitsingspunten liggen. Bij de huidige maatgevende afvoer van 16.000 m<sup>3</sup>/s te Lobith is een afvoerdeling vastgesteld waarbij een afvoer van 3.880 m<sup>3</sup>/s naar de Nederrijn-Lek stroomt. Deze beleidsmatig vastgestelde afvoerdeling bij extreem hoogwater is op dit moment niet goed te realiseren. Er gaat te weinig afvoer naar de Nederrijn door de beperkte afvoercapaciteit ter hoogte van Arnhem, terwijl de Boven-IJssel juist water 'aanzuigt' [D 5]. De huidige riviermodellen voorspellen op dit moment dat bij de maatgevende hoogwatercondities ongeveer 40 m<sup>3</sup>/s meer afvoer naar de IJssel gaat ten opzichte van de beleidsmatig vastgestelde afvoerdeling. Aanvullend zullen in de nabije toekomst verschillende rivierverruimende maatregelen op de Boven-IJssel worden uitgevoerd in het kader van Klimaatpark IJsselpoort. Deze rivierverruimende maatregelen zullen nog meer afvoer naar de IJssel trekken. Vanwege deze trend in de ontwikkeling van de afvoerdeling, is het op dit moment niet gewenst dat er bij maatgevende afvoeren meer water naar de IJssel gaat als gevolg van maatregelen op de Nederrijn-Lek.

De gewenste afvoerdeling over de verschillende Rijntakken kan echter in de toekomst veranderen. Binnen het programma Ruimte voor de Rivier 2.0 wordt op dit moment onderzoek gedaan naar de gevolgen van klimaatverandering op de hoogwaterafvoeren en daarmee samenhangend de toekomstige afvoerdeling over de Rijntakken. Dit onderzoek moet uiteindelijk leiden tot een beslissing over de gewenste afvoerdeling over de Rijntakken als de hoogwaterafvoeren (o.a. door klimaatverandering) toenemen. Tot nu toe is altijd het beleid geweest om bij toenemende hoogwaterafvoeren de Lek te ontzien en het extra water te verdelen over de Waal en de IJssel. De redenen hiervoor zijn dat dijkverleggingen en -verzwaringen op de Lek technisch lastig, maatschappelijk ingrijpend en verhoudingsgewijs duur

zijn. Daarnaast zijn de potentiële gevolgen van een overstroming (schade en aantal getroffen) groot [D 5]. Dit zijn goede argumenten om ook bij toenemende hoogwaterafvoeren de Lek te blijven ontzien, maar zolang er geen beslissing over de afvoerverdeling is genomen kan hier niet vanuit worden gegaan.

## 2.2 **Stysteemwerking op uiterwaard-niveau**

### 2.2.1 **Geometrie en stroombepalende elementen huidige situatie**

Het projectgebied van de dijkversterking Salmsteke-Schoonhoven ligt aan de rechteroever van de Lek en loopt van rivierkilometer (rkm) 963 bij Lopik tot iets voorbij rkm 971 bij Schoonhoven. Het projectgebied omvat drie uiterwaarden: van boven- naar benedenstrooms zijn dat de Collegewaard, De Bol en Willige Langerak. In alle drie de uiterwaarden zijn maatregelen voorzien in het kader van KRW en Natura2000. Deze maatregelen worden in een apart project verder uitgewerkt (zie paragraaf 1.1).

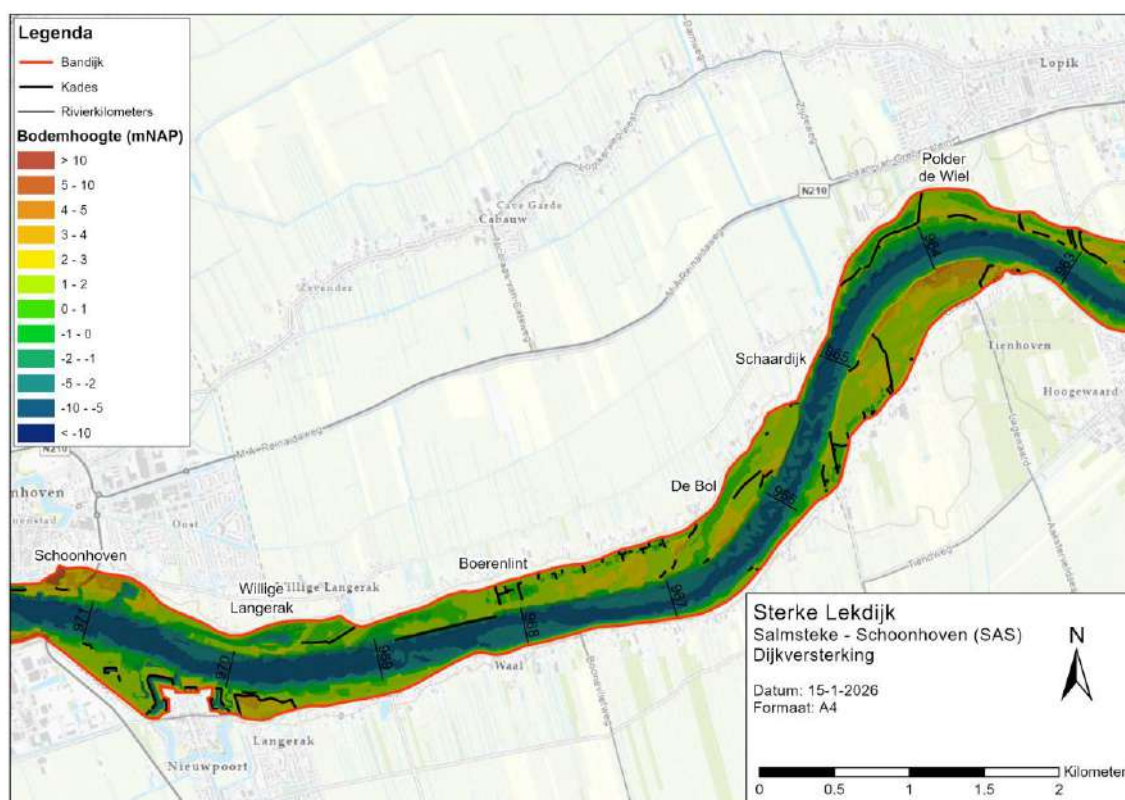
Voor de dijkversterking is het projectgebied niet opgedeeld in uiterwaarden, maar in dijkzones. In Figuur 2-1 is een overzichtkaart te zien van het projectgebied, met hierin de namen van de verschillende dijkzones. In de oorspronkelijke scope van de dijkversterking werd de dijk in al deze dijkzones versterkt, maar de dijkversterking in de dijkzones Polder de Wiel en Willige Langerak zijn later uit de scope gehaald.

Het gebied wordt gekenmerkt door uiterwaarden die op dit traject relatief smal zijn vergeleken met andere uiterwaarden verder bovenstrooms. De dijk aan de rechteroever (die wordt versterkt) ligt over het algemeen 150 tot 300 meter van het zomerbed vandaan. Tussen rkm 964,8 en 965,4 ligt een stukje schaaldijk en ligt de dijk vlak tegen het zomerbed aan.

Hieronder volgt een korte beschrijving van de belangrijkste stroombepalende elementen per dijkzone. De genoemde afvoeren waarbij bepaalde gebieden beginnen mee te stromen zijn gebaseerd op vloedwaterstanden. Voor de rivierkundige effectbepaling zijn de vloedwaterstanden het meest relevant, omdat het rivierkundig model (en dan specifiek de Qh-relatie op de benedenrand bij Krimpen a/d Lek) ook uitgaat van vloedwaterstanden. Bij eb stromen de gebieden pas bij hogere afvoeren mee (zie ook Figuur 2-2 voor het verschil tussen eb- en vloedwaterstanden bij verschillende afvoeren). De belangrijkste stroombepalende elementen zijn (van boven- naar benedenstrooms):

- Bij Polder de Wiel (in de Collegewaard) ligt een geïsoleerde geul tussen rkm 964,0 en 964,6 achter een kade. Deze kade overstroomt vanaf afvoeren tussen 7.000 en 7.500 m<sup>3</sup>/s bij Lobith.
- Tussen rkm 964,8 en 965,4 ligt de Schaaldijk. Aan de overzijde (linkeroever) ligt net voor rkm 965 een hoge dwarskade over de hele breedte van de uiterwaard. Deze dwarskade overstroomt pas bij afvoeren van bijna 10.000 m<sup>3</sup>/s bij Lobith. Hierdoor vormt dit stukje tussen rkm 964,7 en 965,0 bij afvoeren tot 10.000 m<sup>3</sup>/s een flessenhals waarbij al het water door een profiel van minder dan 300 m breed stroomt.
- Bij De Bol ligt een eenzijdig aangetakte (getijde)geul tussen rkm 965,8-966,8. De geul is aan de benedenstroomse zijde verbonden met de Lek. De geul begint vanaf afvoeren van ongeveer 3.500 m<sup>3</sup>/s bij Lobith ook vanaf de bovenstroomse zijde mee te stromen (tijdens vloed) vanwege een relatief laag gebied tussen de Lek en de geul ter hoogte van rkm 965,6. Benedenstrooms van dit laaggelegen gebied ligt tussen de geul en de Lek een hoog gebied, dat pas vanaf afvoeren van 10.000 m<sup>3</sup>/s bij Lobith volledig mee stroomt.

- Benedenstrooms van De Bol, in de dijkzone Boerenlint tussen rkm 966,8 en 968,2, wordt de uiterwaard gekenmerkt door een afwisseling tussen hoge gebieden en oude kleiputten (wat nu open water is) die tegen de dijk aan liggen. In dit gebied liggen relatief veel op- en afritten, die tussen de kleiputten door lopen en als korte dwarskades in Baseline zitten. Het gebied begint mee te stromen vanaf afvoeren van ongeveer 8.000 m<sup>3</sup>/s bij Lobith. Aan de overzijde ligt op dit traject een schaarndijk.
- Vanaf rkm 968,2 ligt de uiterwaard (en dijkzone) Willige Langerak. In deze uiterwaard liggen twee aangetakte geulen. Tussen rkm 968,4 en 969 ligt een tweezijdig aangetakte geul. Deze geul is vrij breed (> 40 m) en ligt bijna tegen de dijk aan. Aan de bovenstroomse kant ligt tussen rkm 968,2 en 968,9 een vooroever op een niveau van NAP + 1,1 m, net boven de vloedwaterstanden bij lage en gemiddelde afvoeren. Bij rkm 968,45, bij de bovenstroomse aantakking van de geul, is over een lengte van ongeveer 40 m een lager deel van NAP + 0,1 m in de vooroever gemaakt. Dit is enkele decimeters boven de ebwaterstand bij lage en gemiddelde afvoeren.
- De tweede geul in de uiterwaard bij Willige Langerak is een éézijdig aangetakte geul tussen rkm 969,6 en 970,5. Deze geul ligt ook voor een groot deel dicht bij de kering. Bovenstrooms van de geul ligt een kade die vanaf afvoeren van 6.000 m<sup>3</sup>/s bij Lobith overstroomt.
- In het laatste deel van het projectgebied liggen tussen rkm 970,5 en 971,1 een camping met een jachthaven. De camping zelf ligt op een hoogte van ongeveer NAP + 3,5 m en overstroomt pas bij Lobith-afvoeren van 13.000 m<sup>3</sup>/s. De omliggende terreinen liggen iets lager (NAP + 2,2 tot 2,5 m) en overstroomen vanaf 8.000 m<sup>3</sup>/s.

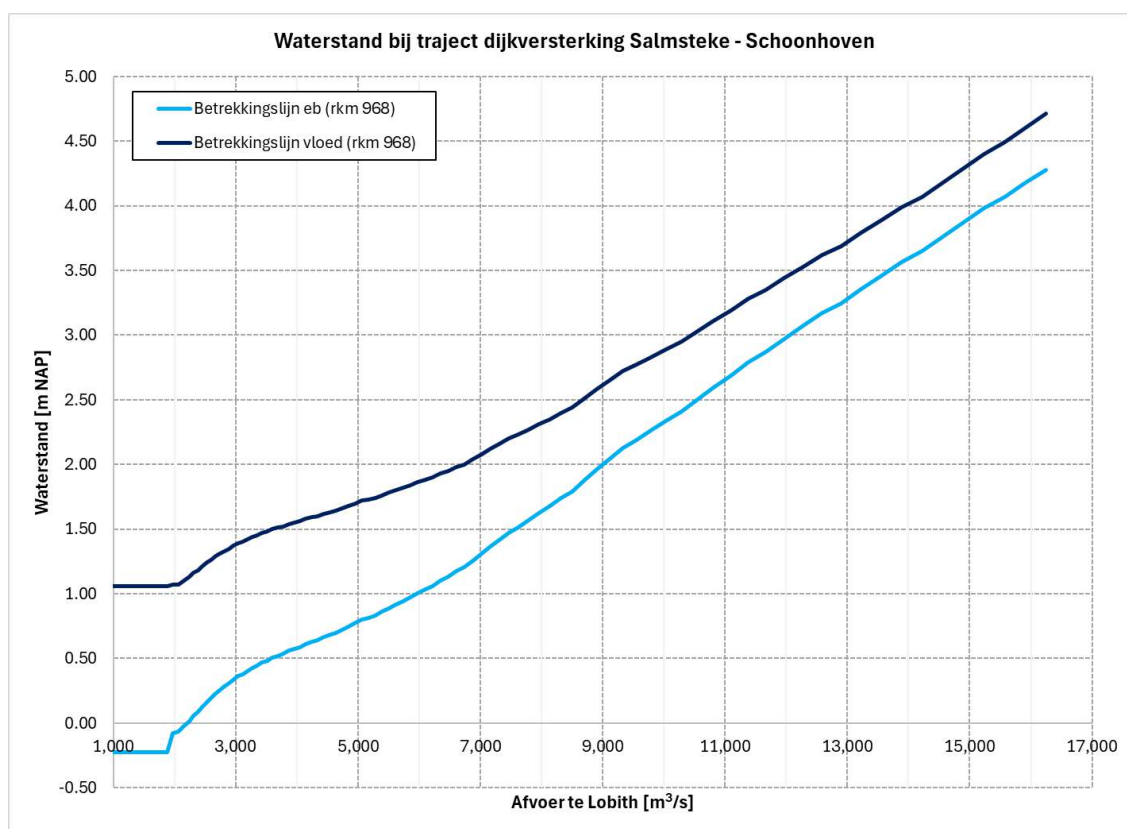


Figuur 2-1 Overzicht maatregelgebied met stroombepalende elementen en met de namen van de dijkzones zoals gedefinieerd in het project.

## 2.2.2 Waterstanden en getij

De uiterwaarden liggen benedenstrooms van stuw Hagestein in het deel van de Lek met getijde-invloed. De waterstandsfluctuatie vanwege het getij is bij lage afvoeren ruim een meter. De waterstanden bij eb en vloed zijn in Figuur 2-2 uitgezet tegen de afvoer bij Lobith voor ongeveer het midden van het projectgebied. Bij de Schaardijk (rkm 965) zijn de waterstanden bij de hogere afvoeren enkele decimeters hoger. Bij Schoonhoven (rkm 971) zijn de waterstanden enkele decimeters lager.

De uiterwaarden stromen mee bij een waterstand van NAP + 1,50 tot 2 m. Dit is bij vloed bij Lobith-afvoeren van 3.500 tot 5.500 m<sup>3</sup>/s en bij eb bij Lobith-afvoeren van 7.500 tot 9.000 m<sup>3</sup>/s. De teen van de dijk ligt in een groot deel van het gebied ook op een hoogte van NAP + 1,50 tot 2 m.



Figuur 2-2 Eb- en vloedwaterstanden bij rivierkilometer 968 op de Lek (bron: betrekkingslijnen 2022).

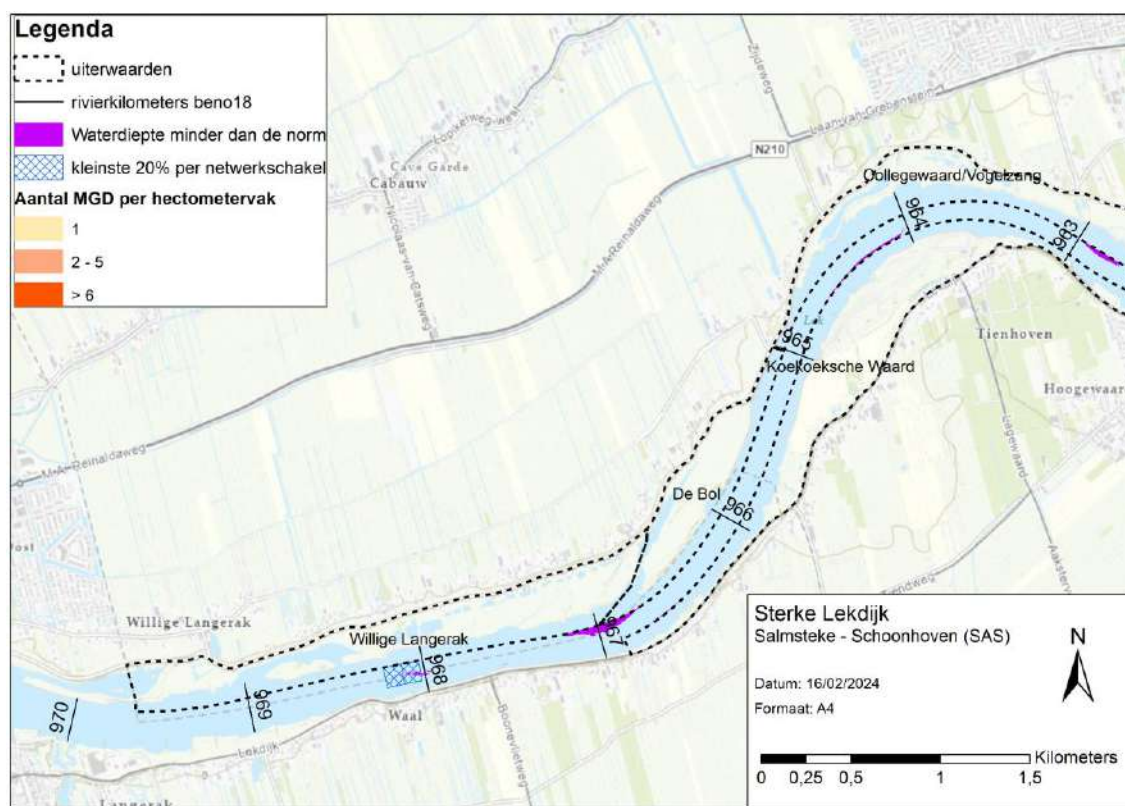
## 2.2.3 Lokale ondieptes in de vaargeul

Er liggen enkele scheepvaartknelpunten in het riviertraject tussen rkm 963 en 970 (Figuur 2-3). De gebieden waar de waterdiepte minder is dan de norm liggen tussen rkm 964 en 965 aan de linkerkant van de vaargeul, rond rkm 967 aan de rechteroever bij de uitstroomopening van Geul De Bol en rond rkm 968. Rond rkm 968 valt dit gebied samen met twee hectometervakken die vallen onder de 20% van de hectometervakken met de minste kielspeling (minste waterdiepte onder de normdiepte) binnen de netwerkschakel. Het gebied rond rkm 968 is een door de rivier aangesneden harde veenlaag, die nauwelijks erodeert, maar een vaste harde laag vormt. Ook een deel van het knelpunt net benedenstrooms van rkm 964 bestaat uit een harde laag, die waarschijnlijk bestaat uit veen (bron: email Michiel Reneerkens, d.d. 26-2-2024). Dit zijn plaatsvast bodemvormen die niet of nauwelijks veranderen in de tijd. Een verandering van de stroomsnelheden in het zomerbed (als gevolg van ingrepen in de uiterwaard) hebben hier minder invloed op de ligging van de bodem. Erosie van deze harde lagen vindt niet of

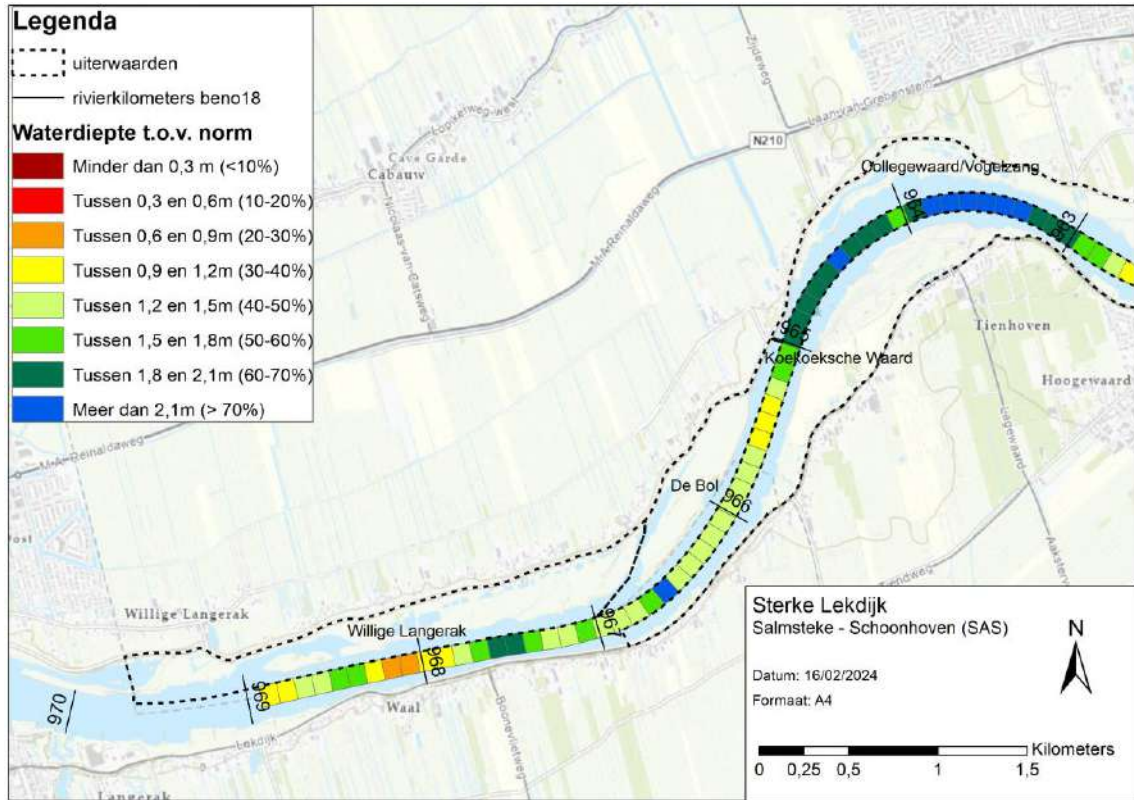
nauwelijks plaats, maar ook materiaal dat hier wordt afgezet blijft naar verwachting op termijn niet (allemaal) liggen.

De waterdiepte ten opzichte van de norm (gemiddeld per hectometervak) is weergegeven in Figuur 2-4. Hier is geen formele grenswaarde voor, maar over het algemeen wordt 40% als grens gebruikt. Bij Collegewaard is er hectometervak-gemiddeld ruime overdiepte te zien. Bij De Bol ligt de overdiepte langs de hele uiterwaard rond de 40%. Bij Willige Langerak zijn er rond rkm 968 en 969 gebieden waar de overdiepte tussen de 20% en 40% ligt. Er is bij De Bol en Willige Langerak dus weinig tot geen ruimte voor extra aanzanding.

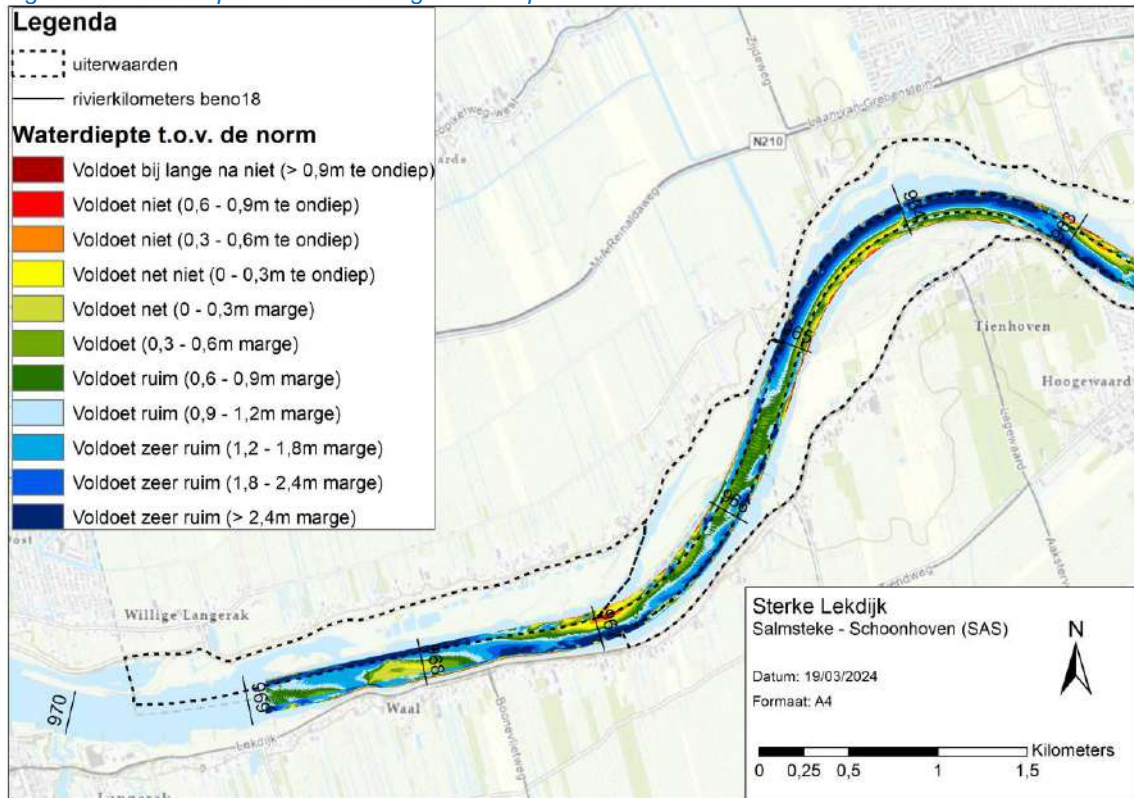
Figuur 2-5 laat de ruimtelijke variatie zien in de waterdiepte ten opzichte van de norm. Hierin is te zien dat er in de buitenbochten veel overruimte aanwezig is, terwijl er in de binnenbochten minder ruimte is. De knelpunten liggen daarom ook voornamelijk in de binnenbochten.



Figuur 2-3 Scheepvaartknelpunten



Figuur 2-4 Waterdiepte t.o.v. de norm gemiddeld per hectometervak



Figuur 2-5 Waterdiepte t.o.v. de norm

## 3 Inrichtingsplan

### 3.1 Beschrijving van het inrichtingsplan

Het VO3.0 van de dijkversterking bestaat enerzijds uit maatregelen vanuit waterveiligheid en anderzijds uit beheermaatregelen op basis van het Groot Onderhoudsplan Primaire keringen van HDSR. Figuur 3-1 laat zien op welke trajecten er waterveiligheidsmaatregelen, beheermaatregelen of geen maatregelen worden uitgevoerd. De figuur bevat zowel de binnendijkse als buitendijkse trajecten. Voor de rivierkundige toetsing zijn alleen de buitendijkse trajecten relevant. Tabel 3-1 geeft een kort overzicht van de dijkzones waar buitendijkse maatregelen worden genomen.

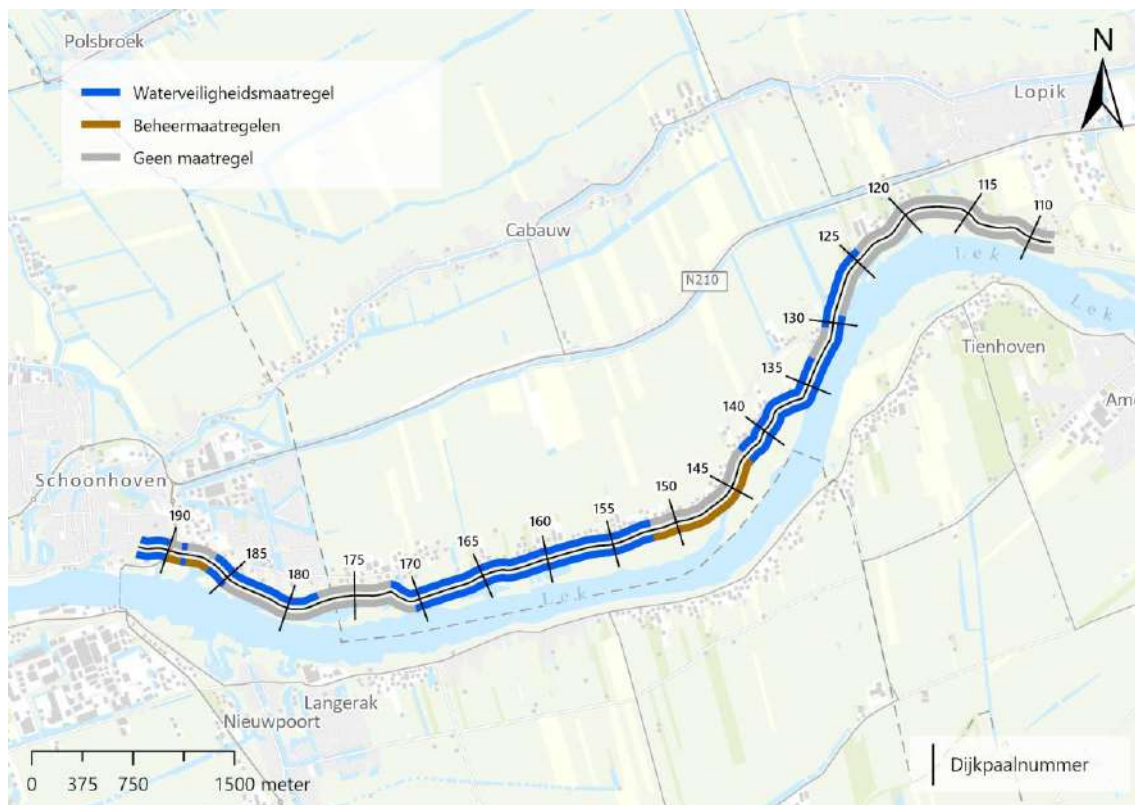
*Tabel 3-1 Overzicht dijkzones waar buitendijkse maatregelen plaatsvinden.*

Dijkzone	Dijkpalen	Rivierkilometer	Maatregelen (buitendijks)
Schaardijk	129-136	964,6-965,4	Waterveiligheid
De Bol	136-152	965,4-967,2	Waterveiligheid & beheer
Boerenlint	152-171	967,2-969,0	Waterveiligheid
Schoonhoven	185-191	970,6-971,1	Waterveiligheid & beheer

Zowel bij de waterveiligheidsmaatregelen als de beheermaatregelen worden de volgende maatregelen genomen:

- Taludverflauwing naar een talud van 1:3. In de huidige situatie is het talud over het algemeen steiler.
- Aanleg van een beheerstrook met een breedte van 5 meter. In de huidige situatie is geen beheerstrook aanwezig.
- Aanleg van afritten naar de beheerstrook of aanpassing van bestaande afritten.
- Waar nodig wordt de kruin ingericht met een weg van 4 m breed en een wegberm van 0,9 m breed.

Bij de waterveiligheidsmaatregelen vindt indien nodig ook een verhoging van de kruin plaats. Daarnaast bevatten de waterveiligheidsmaatregelen ook vaak aanpassingen in de dijk zelf, zoals een dikkere kleibekleding, steenbestorting of het plaatsen van een filterscherm. Deze maatregelen hebben geen invloed op de geometrie van de dijk en zijn daarom voor de rivierkundige toetsing niet van belang.



Figuur 3-1 Overzicht waterveiligheids- en beheermaatregelen.

### 3.2 Redeneerlijj buitendijks versterken

In het document Dijkversterkingen langs de grote rivieren – Redeneerlijj buitendijks (rivierwaarts) versterken (versie maart 2018) is een toetsingskader opgenomen voor de situatie dat een afweging moet worden gemaakt tussen binnendijkse of buitendijkse (rivierwaarts) versterking van de dijk.

Bij dijkversterking SAS is deze keuze niet aan de orde geweest. De maatregelen die nodig zijn voor het verbeteren van de waterveiligheid van de dijk worden voor een belangrijk deel aan de binnenzijde van de dijk gerealiseerd. Het gaat hierbij om verticale schermen om het pipingprobleem van de dijk op te lossen. Hiervoor worden geen buitendijkse maatregelen genomen.

De dijk moet in twee dijkzones worden verhoogd. In dijkzone Boerenlint is de ruimte voor deze verhoging (met een lengte van ongeveer 1300 m en een maximale ontwerp-ophoging van 0,5 m) binnendijks gevonden. Dit om het buitendijks gebied te ontzien. Een kleinere strekking van ongeveer 200 m waar een verhoging van max. 0,25 m nodig is (dijkzone Schoonhoven) wordt vierkant opgehoogd, vanwege het belang van de aanwonenden.

Er zijn twee locaties waar buitendijkse maatregelen worden genomen. Het gaat hierbij in de eerste plaats om het versterken van de buitendijkse steenbekleding van dijkzone Schaardijk. Deze steenbekleding voldoet niet aan de waterveiligheidseisen en moet worden verbeterd. Dit probleem is niet met een binnendijkse maatregel op te lossen. In de tweede plaats wordt een nieuwe buitendijkse steenbekleding gerealiseerd op een locatie waar een geul in de uiterwaard direct grenst aan de teen van de dijk. Hier vindt erosie plaats richting de dijk. Het is noodzakelijk om de ligging van de geul te stabiliseren door een steenbestorting. Dit probleem, de erosie van

de geul, is niet op te lossen met een binnendijkse verbreding of een andere binnendijkse maatregel. Daarom is dit ook niet overwogen.

Naast de waterveiligheidsmaatregelen zal HDSR op enkele locaties de buitentaluds herstellen en voorzien van een beheerstrook. Het herstel van de buitentaluds is noodzakelijk omdat de taluds zijn ingezakt tot een hol profiel. Dit zijn onderhoudswerkzaamheden aan de bestaande kering die niet op een andere locatie kunnen plaatsvinden. De redeneerlijn is hierop niet van toepassing.

HDSR heeft dus geen alternatieve opties voor de werkzaamheden die aan de buitenzijde van de dijk gaan plaatsvinden.

### 3.3 Dijkversterking in Baseline

De dijkversterking is in Baseline geschematiseerd als een combinatie van:

- Een (fictieve) verschuiving van de buitenkruinlijn om de buitendijkse taludaanvulling te modelleren. Dit is gedaan volgens de methodiek die door het RBK wordt voorgeschreven.
- Een verandering van de ruwheid op de toekomstige beheerstrook en het talud van de dijk. De geometrie van de beheerstrook wordt meegenomen in de fictieve verschuiving van de buitenkruinlijn (zie vorige punt).
- Een aanpassing van de afritten door het aanpassen van de kades in het rivierkundige model.

In de volgende paragrafen is de schematisatie van de dijkversterking in Baseline en WAQUA verder toegelicht.

### 3.4 Rivierwaartse dijkversterking: fictieve verschuiving buitenkruinlijn

#### 3.4.1 Voorgeschreven methodiek voor modelleren rivierwaartse dijkversterking

In het rivierkundige model (WAQUA) worden de dijken benaderd als een verticale wand en wordt de reductie van het doorstroomprofiel door het buitentalud van de dijk verwaarloosd. Om het effect van een rivierwaartse versterking toch te kunnen modelleren, wordt hiervoor in het RBK een specifieke methodiek voorgeschreven. In deze methode wordt het doorstroomoppervlak dat verloren gaat door de rivierwaartse versterking uitgedrukt in een rivierwaartse verplaatsing van de buitenkruinlijn. Deze verplaatsing bestaat uit twee componenten:

- De werkelijke verplaatsing van de buitenkruinlijn.
- Een fictieve verplaatsing van de buitenkruinlijn, om daarmee de vermindering van het doorstroomoppervlak door taludverflauwing of buitenbermen in rekening te brengen.

Bij de dijkversterking Salmsteke-Schoonhoven vindt er geen verplaatsing van de buitenkruinlijn plaats. Daarom is alleen het tweede punt relevant; de fictieve verschuiving van de buitenkruinlijn.

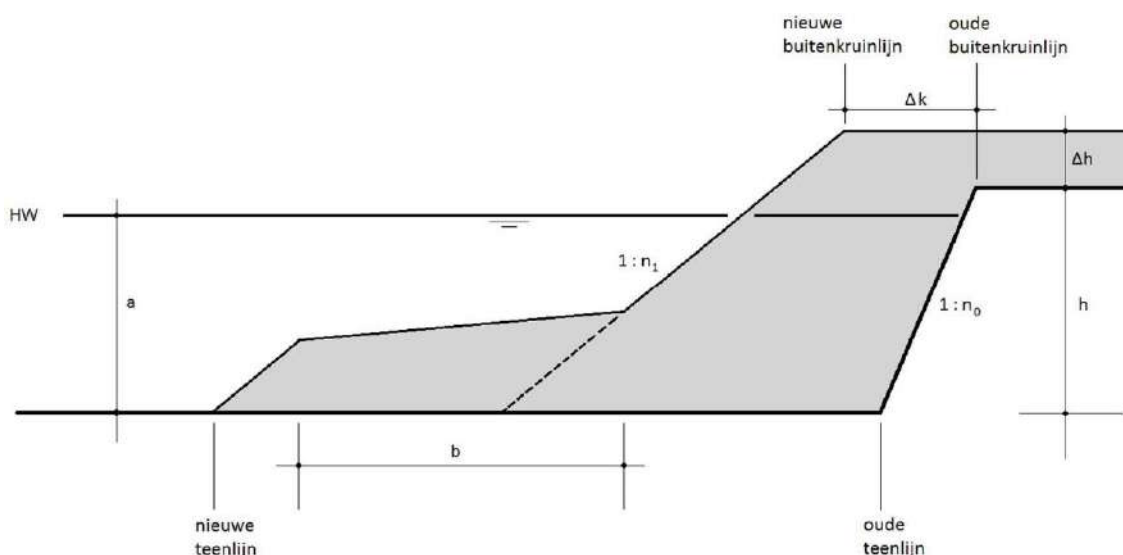
De fictieve verschuiving van de buitenkruinlijn moet als volgt worden bepaald (waarbij in verschillende stappen wordt verwezen naar Figuur 3-2):

1. Deel het projectgebied op in dijkvakken waarbinnen de afname van het doorstroomprofiel als uniform is te beschouwen.
2. Bepaal het grijze oppervlak links van de oude buitenkruinlijn.

3. Deel het oppervlak door de nieuwe hoogte van de dijk ten opzichte van het maaiveld ( $h + \Delta h$ ). Dit geeft een afstand  $\Delta x$  loodrecht op de dijk.
4. Verplaats de buitenkruinlijn over de afstand  $\Delta x$ .
5. Voeg in Baseline een hoogwatervrije lijn toe op de locatie van de nieuwe buitenkruinlijn.

Er vinden geen aanpassingen plaats aan het hoogtemodel, de ligging van de teenlijn of de teenhoogte.

In WAQUA worden de roostercellen waarvan het midden landwaarts van de verplaatste buitenkruinlijn liggen hoogwatervrij gemaakt. De (fictieve) verplaatsing van de buitenkruinlijn is vaak aanmerkelijk kleiner dan de breedte van de WAQUA-roostercellen. Het is daarmee van het rekenrooster (en enigszins van het toeval) afhankelijk of een cel wel of niet hoogwatervrij wordt gemaakt. Doordat een dijkversterking vaak over een lang traject wordt gedaan en daarmee een groot aantal cellen betrokken is, geeft dit toch een goede representatie van een rivierwaartse dijkversterking.



Figuur 3-2 Schematische weergave rivierwaartse dijkversterking (bron: RBK 5.0, Bijlage 15, Figuur F1).

### 3.4.2 Uitwerking methodiek voor SAS

Bij de dijkversterking SAS zijn in totaal 84 dwarsprofielen over de dijk opgesteld over het gehele traject, dat ruim 8 km beslaat. Niet op alle delen van dit traject vindt een rivierwaartse versterking plaats; bij Polder de Wiel en Willige Langerak worden geen buitendijkse taludaanvullingen gedaan (zie ook Figuur 3-1 waar op twee buitendijkse trajecten geen maatregelen worden genomen). Dit zat oorspronkelijk wel in de scope, maar de rivierwaartse versterkingen op deze trajecten zijn later afgefallen. Dit betekent dat er bij 48 van de in totaal 84 dwarsprofielen een rivierwaartse versterking plaatsvindt.

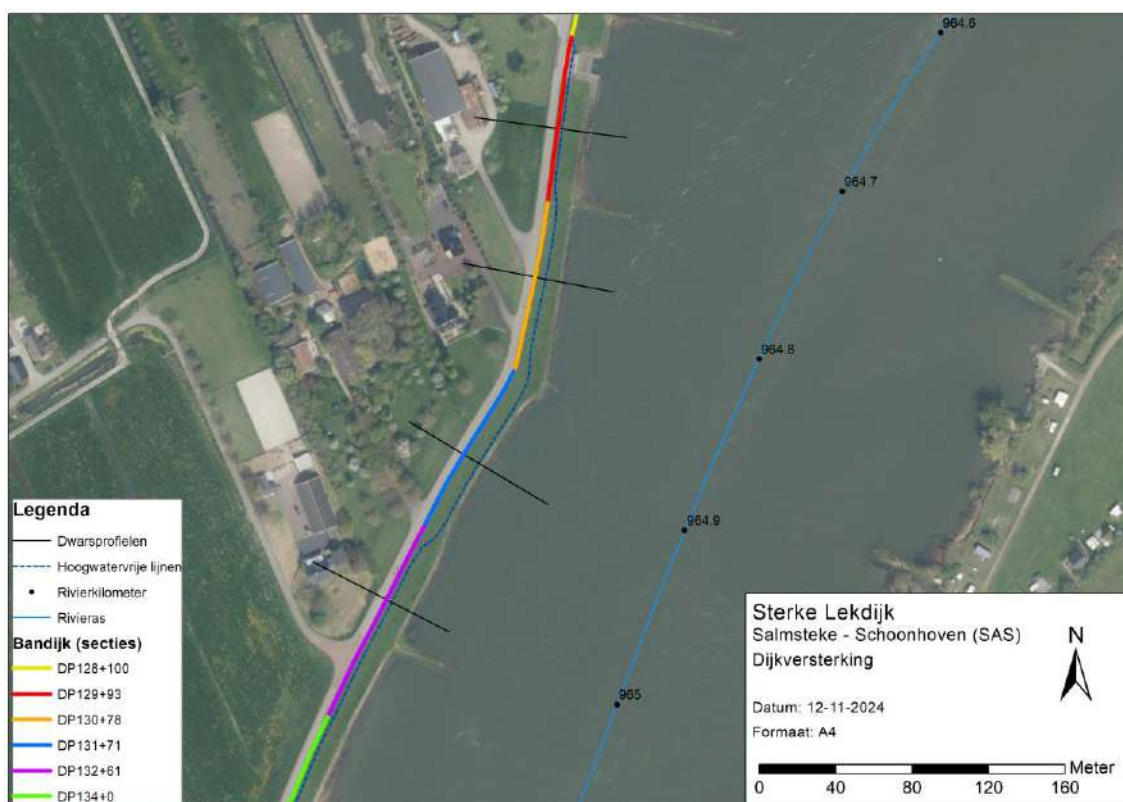
Voor ieder dwarsprofiel is bepaald wat de oppervlakte van de taludaanvulling is ten opzichte van de huidige situatie (zie Figuur 3-3 voor een voorbeeld) en indien van toepassing ook de ontgraving. Het verschil tussen de ontgraving en de aanvulling is de netto volumeverandering (het grijze oppervlak links van de oude buitenkruinlijn uit Figuur 3-2).



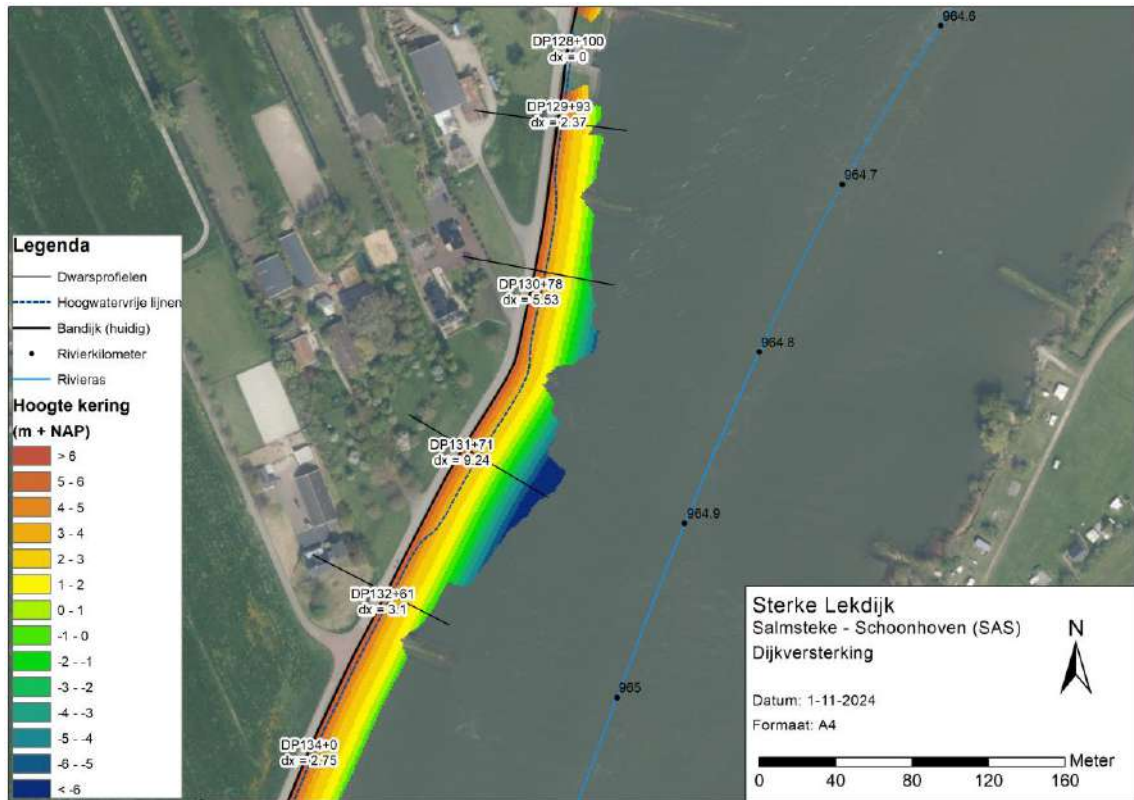
ongeveer 6% kleiner dan in Baseline. Bij de beoordeling van de effecten op hoogwaterveiligheid (in paragraaf 4.1.1) wordt hier kort op teruggekomen.

*Tabel 3-2 Oppervlaktes van hoogwatervrije gebieden per dijkzone in Baseline en WAQUA. In WAQUA worden in totaal 34 roosterzellen dichtgezet. Het oppervlak van een roostercel is gemiddeld ruim 200 m<sup>2</sup>.*

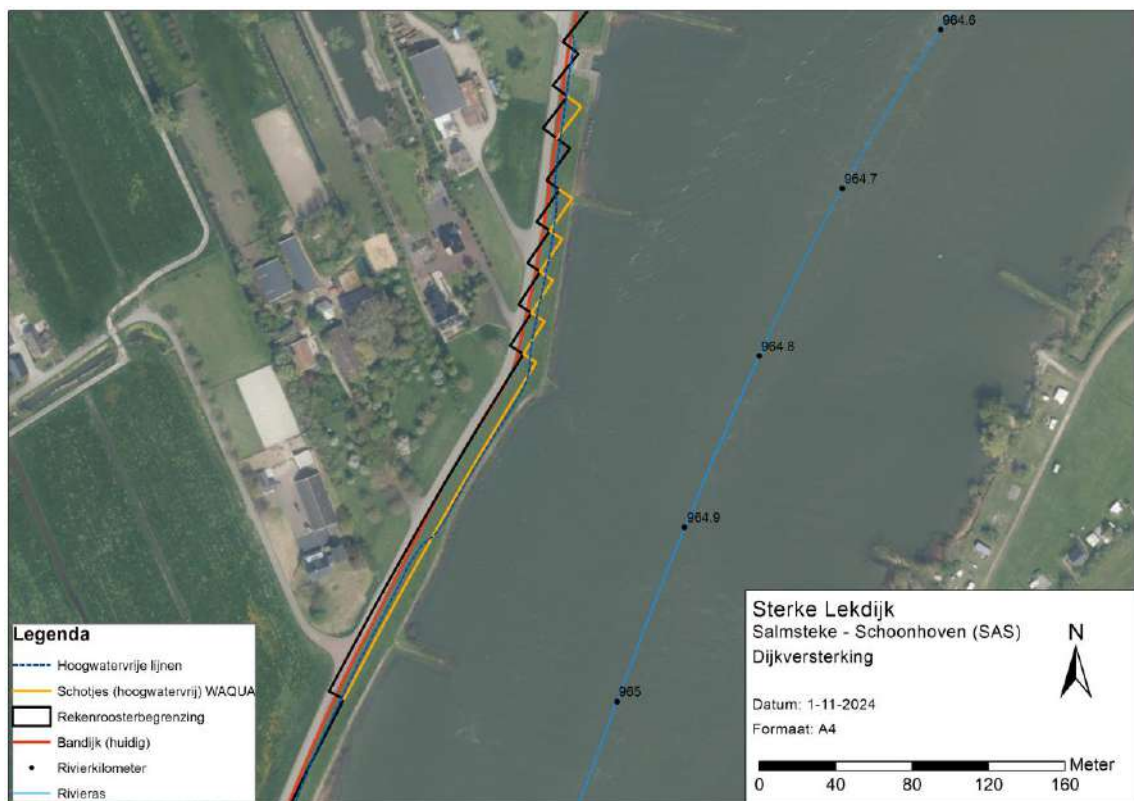
Dijkzone	Dijkpalen	Rivierkilometer	Oppervlak hoogwatervrij (m <sup>2</sup> )	
			Baseline	WAQUA
Schaardijk	129-136	964,6-965,4	2.508	3.078
De Bol	136-152	965,4-967,2	2.901	2.581
Boerenlint	152-171	967,2-969,0	1.695	1.319
Schoonhoven	185-191	970,6-971,1	309	0
<b>Totaal</b>			<b>7.413</b>	<b>6.978</b>



*Figuur 3-4 Opdelen van de bandijk in secties per dwarsprofiel bij de Schaardijk.*



Figuur 3-5 Ligging van de hoogwatervrije lijn op basis van de  $\Delta x$  per dwarsprofiel bij de Schaardijk.

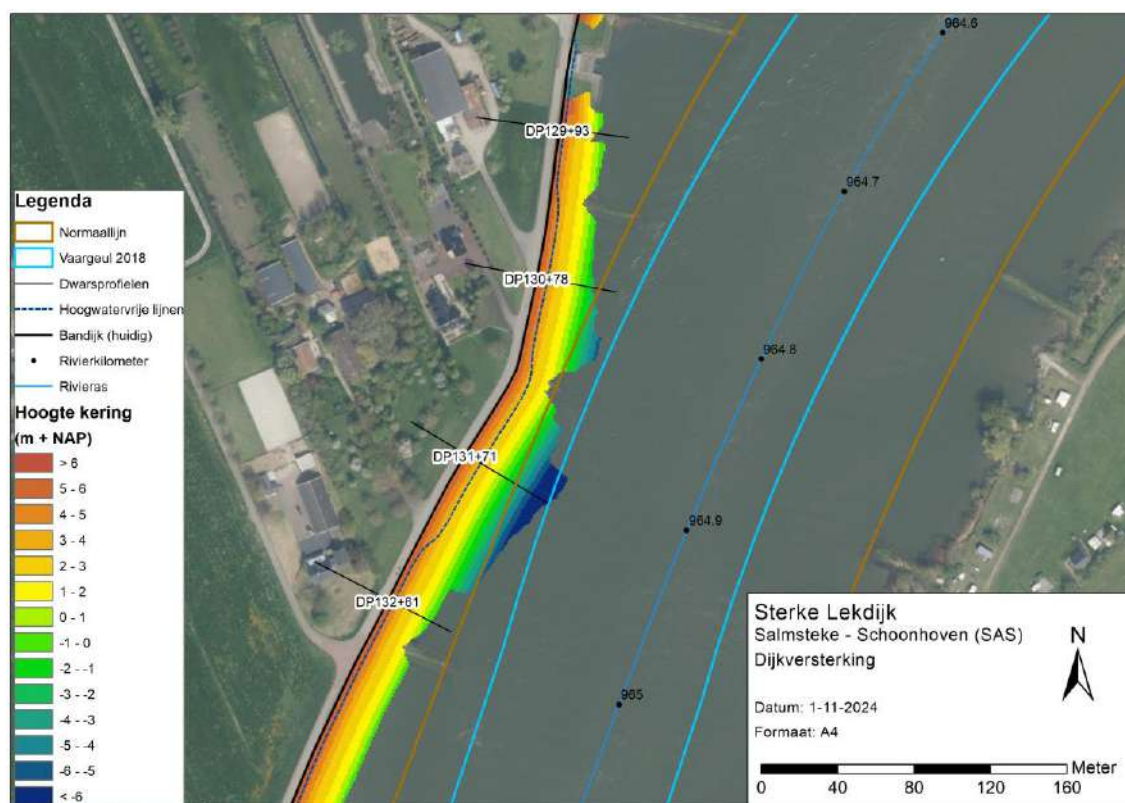


Figuur 3-6 Ligging van de hoogwatervrije schotjes in WAQUA bij de Schaardijk.

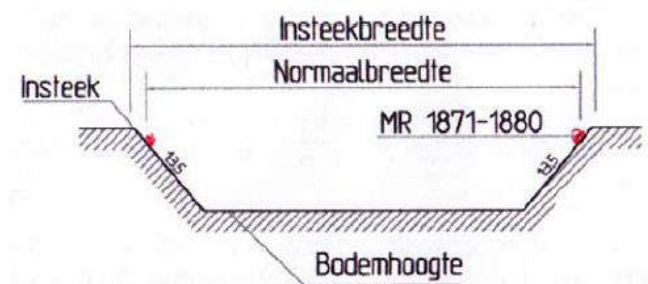
### 3.4.3 Taludverflauwing bij Schaardijk

Bij de Schaardijk hebben de uitgangspunten voor de dijkversterking (een talud van 1:3 en een beheerstrook) tot gevolg dat de taludverflauwing tot in het zomerbed doorloopt. Figuur 3-7 laat zien dat de aanvulling tot voorbij de normaallijn doorloopt en op een klein stukje bij rkm 964,90 zelfs tot in de vaargeul. Om te toetsen of het zomerbed nog steeds aan de vereiste afmetingen voldoet, is een dwarsprofiel opgesteld ter plaatse van het punt waar de dijkversterking het meest rivierwaarts komt, ter hoogte van rkm 964,9. Figuur 3-8 laat de vereiste afmetingen van het zomerbed van de Neder-Rijn en Lek zien. In Figuur 3-9 staan het dwarsprofiel van de referentie, gebaseerd op het Baseline-referentiemodel, en van het ontwerp. In deze figuur staan ook de locatie van de normaallijn en de rand van de vaargeul. Ter plaatse van de normaallijn mag de bodem volgens Figuur 3-8 op een niveau van maximaal NAP + 1,35 m liggen (gebaseerd op rkm 965). In het ontwerp ligt de bodem hier ver onder met een hoogte van ongeveer NAP – 2 m (zie Figuur 3-9). Ter plaatse van de rand van de vaargeul moet de bodem op een niveau van NAP – 4,80 m of dieper liggen. De bodem ligt hier in het ontwerp op ongeveer NAP – 8 m.

Ondanks de aanvulling van het talud onder de waterlijn, voldoet het profiel dus nog steeds ruimschoots aan de vereiste afmetingen van het zomerbed.

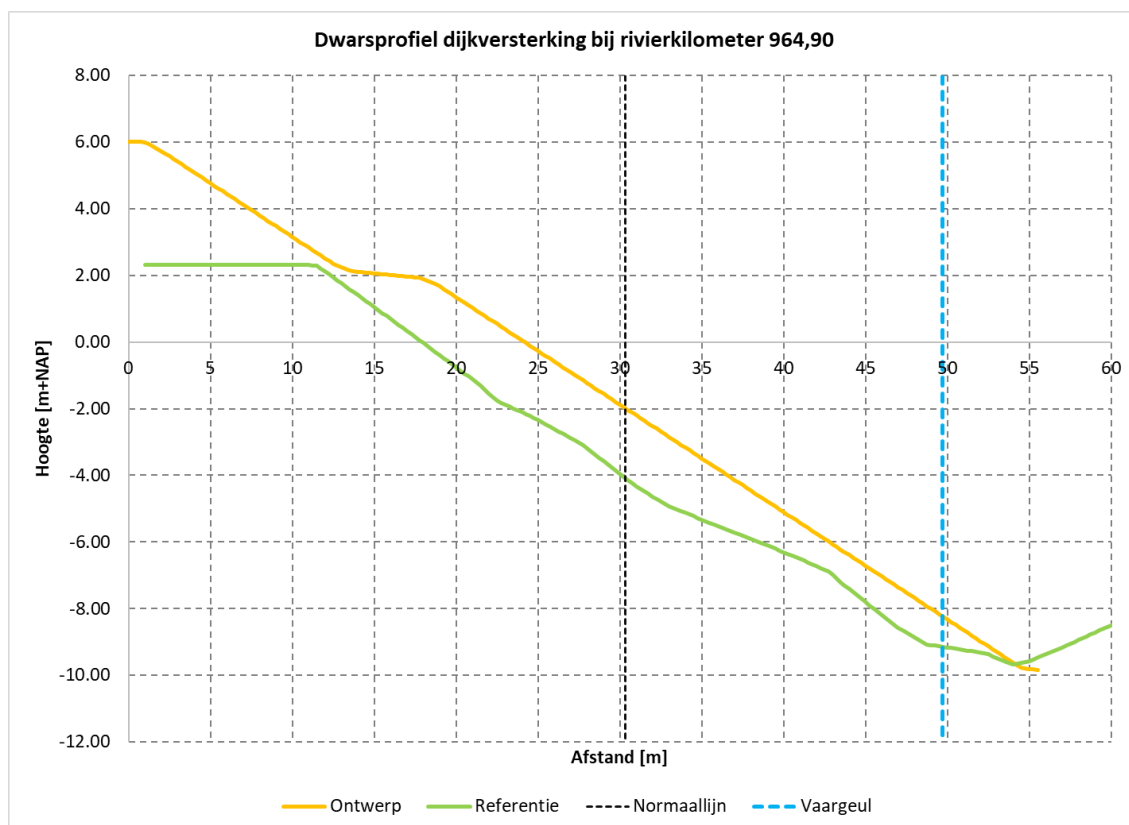


Figuur 3-7 Buitendijkse taludaanvulling bij de Schaardijk in relatie tot de ligging van de normaallijn en de vaargeul.



maatgevende hoogten en breedten, zoals in de 20 <sup>ste</sup> eeuw gehanteerd bij ontwerp van stroomgeleidingswerken langs de NEDER-RIJN en LEK blad 2							
maten in m en hoogten in m boven NAP							
Kmr	normaalhoogte	normaal-breedte	insteek-hoogte	insteek-breedte	bodem-hoogte	hoogst bekende stand	laagst bekende stand
964	1.41	182.65	1.67	184.47	-4.80	5.29	-0.82
965	1.35	184.17	1.58	185.78	-4.80	5.18	-0.88
966	1.13	185.70	1.48	188.15		5.07	-0.94

Figuur 3-8 Schematische weergave zomerbed en de maatgevende hoogten en breedten die gelden voor het zomerbed van de Neder-Rijn en Lek (bron: [D 10]).

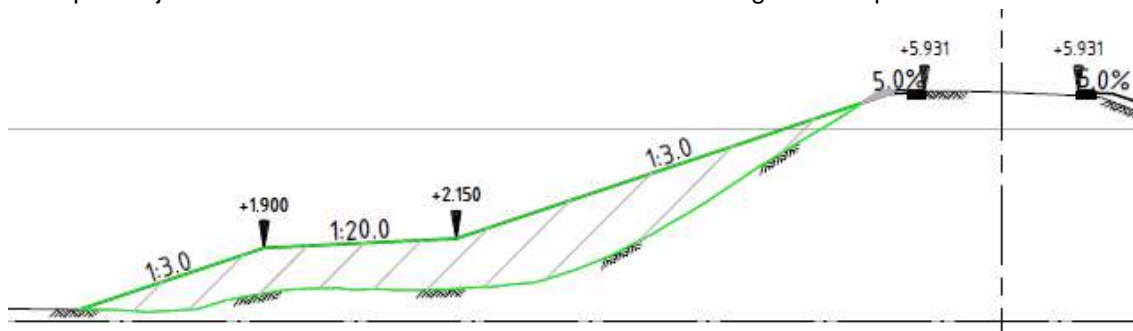


Figuur 3-9 Dwarsprofiel van het ontwerp en de (Baseline-)referentie bij rivierkilometer 964,9, waar de taludaanvulling bij de Schaardijk het verst de rivier in steekt.

### 3.5 Aanleg beheerstrook: aanpassing ruwheid

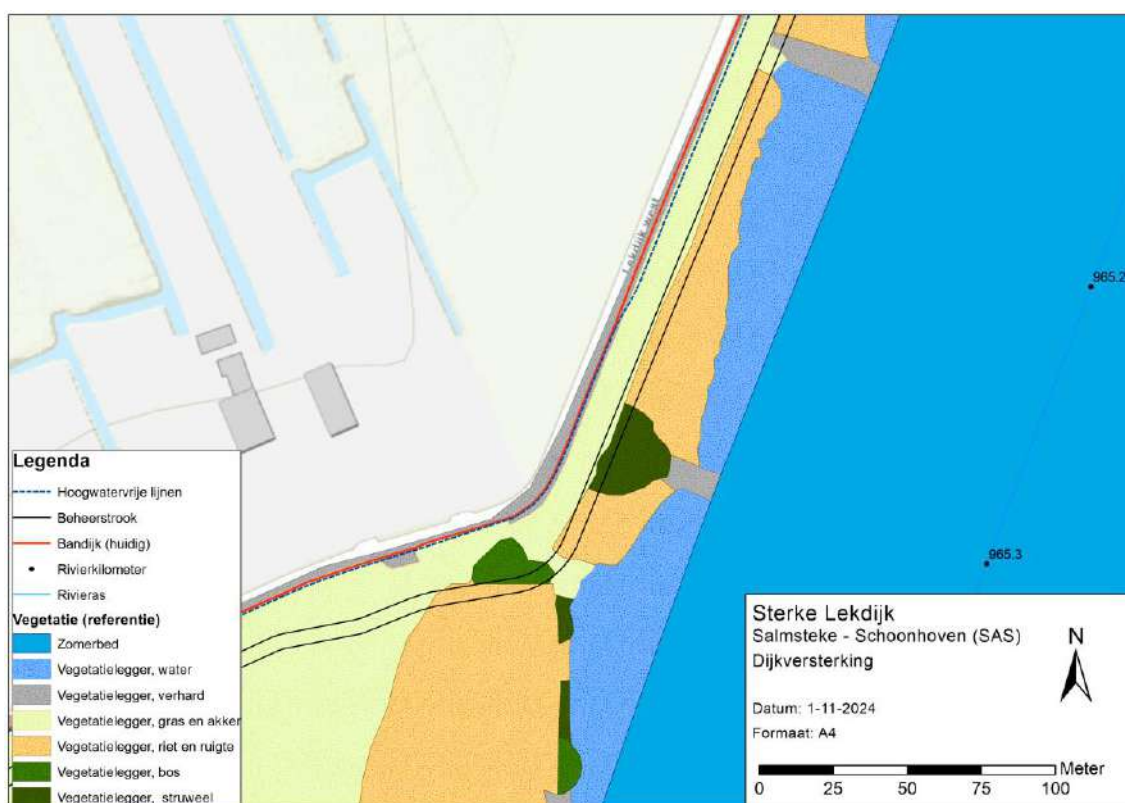
Op alle trajecten waar een rivierwaartse versterking plaatsvindt (dus zowel beheer- als waterveiligheidsmaatregelen, zie ook Tabel 3-1 en Figuur 3-1), wordt een beheerstrook aangelegd. Deze beheerstrook heeft een breedte van 5 m, een talud van 1:20 en ligt op een hoogte tussen NAP + 1,90 en NAP + 2,15 (zie Figuur 3-10). Dit is een hoogte die bij vloed

gemiddeld genomen slechts enkele dagen per jaar overstroomt. Bij eb overstroomt deze slechts eens per 10 jaar. De beheerstrook wordt met een 1:3 talud aangesloten op de uiterwaard.

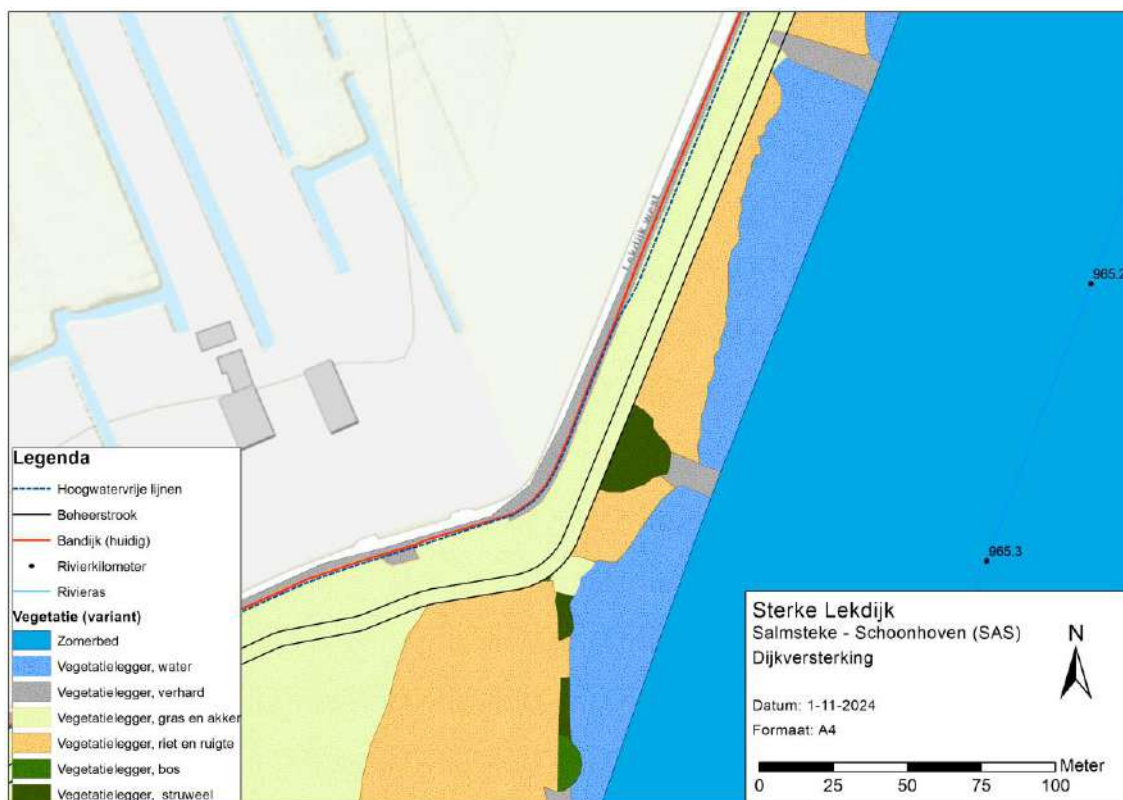


Figuur 3-10 Deel van dwarsprofiel DP145+88, ingezoomd op de beheerstrook.

De beheerstrook en het talud van de kering tussen de kruin en de beheerstrook worden vrijgehouden van opgaande begroeiing. Daarom is alle ruwe vegetatie (riet en ruigte, bos en struweel) op deze delen verwijderd en vervangen door gras en akker. Als voorbeeld laat Figuur 3-11 de vegetatie zien van de referentie bij de Schaardijk en Figuur 3-12 de vegetatie van de variant voor hetzelfde gebied. In Bijlage 1 staan kaarten van de vegetatie voor de referentie en de variant voor het hele projectgebied van SAS (inclusief de delen waar geen rivierwaartse versterking meer wordt uitgevoerd).



Figuur 3-11 Vegetatierutheid van de Baseline-referentie bij de Schaardijk.



Figuur 3-12 Vegetatieruimte van de Baseline-variant bij de Schaardijk.

### 3.6 Aanpassing afritten: toevoegen en wijzigen van kades

Bij de rivierwaartse versterking van de dijk worden ook een aantal buitendijkse afritten gewijzigd. Dit zijn allemaal bestaande afritten, die vanwege de buitendijkse taludaanvullingen worden aangepast. De nieuwe afritten komen allemaal vrijwel parallel aan de dijk te liggen, terwijl deze in de huidige situatie vaak dwars op de dijk zijn gelegen. Hierdoor vormen de nieuwe afritten een minder grote blokkade voor de stroming bij hoge afvoeren.

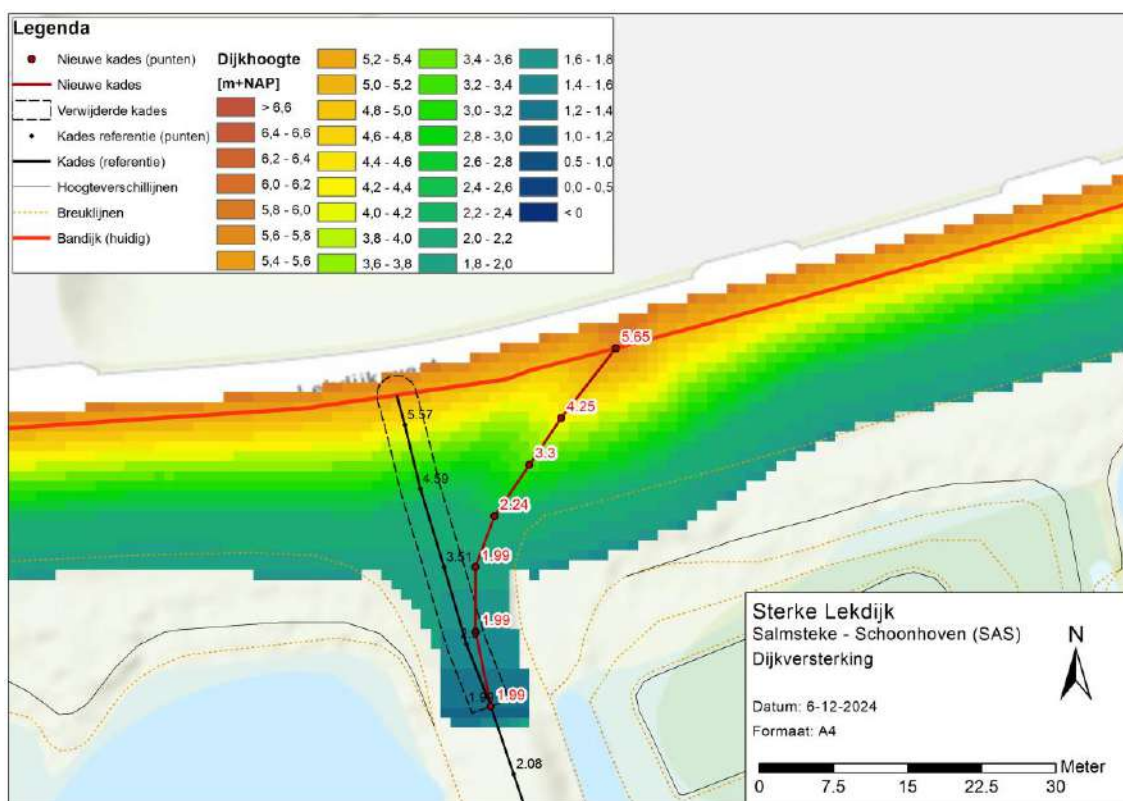
Figuur 3-13 laat een representatief voorbeeld zien van een gewijzigde afrit. In de huidige situatie ligt de afrit, die is gemodelleerd als kade, loodrecht op de kering. In de nieuwe situatie ligt deze meer parallel aan de kering. Hierdoor neemt de hoogte richting de uiterwaard – in de richting loodrecht op de dijk – veel sneller af. Omdat de stroming bij hoogwater vrijwel parallel aan de kering is, is het geblokkeerde oppervlak van de stroming in de nieuwe situatie kleiner.

In Figuur 3-13 is ook te zien dat de afrit aansluit op een verhoogde weg (of pad) die verder de uiterwaard in loopt. Waar de gewijzigde afrit weer aansluit op de bestaande kade, is de hoogte van de kade uit de referentie overgenomen. Als de afrit overgaat in het maaiveld van de uiterwaard, is voor dit laatste (en laagste) punt van de afrit de bodemhoogte uit het referentiemodel gebruikt.

Bij sommige afritten is de ontwerphoogte (in Figuur 3-13 wordt dit dijkhoogte genoemd) van het laagste deel van de afrit (bij de aansluiting op de bestaande situatie) lager dan de hoogte van de bestaande situatie in Baseline. Met de bestaande situatie in Baseline wordt de hoogte van de kade of de maaiveldhoogte van de Baseline-referentie bedoeld. Waar de ontwerphoogte van de afrit lager is dan de Baseline-hoogte, is de hoogte uit Baseline bij de aansluiting overgenomen als kruinhoogte van de nieuwe kade. Daarom hebben in Figuur 3-13 drie punten op de nieuwe kade een hoogte van NAP + 1,99 m; hier is de ontwerphoogte lager, maar in

werkelijkheid komt er geen lokale verlaging in de afrit voordat deze aansluit op de huidige situatie. Om een lokale verlaging (kuil) te voorkomen, is de ontwerphoogte aangepast.

Bij de afritten is de ruwheid niet gewijzigd in verhard oppervlak. De huidige afritten zitten ook niet als verhard oppervlak in de Baseline-referentie, dus bij de nieuwe afritten is dat ook niet gedaan om consistent te blijven. Op de afritten is zowel in de referentie als in de variant gras en akker toegepast. De ruwheid hiervan is overigens vrijwel gelijk aan verhard oppervlak, dus voor de rivierkundige effecten is dit ook minder relevant.



Figuur 3-13 Voorbeeld van een gewijzigde afrit.

### 3.7 Baseline-maatregel en variant

Alle onderdelen van de dijkversterking zijn geschematiseerd in één Baseline-maatregel (zie Tabel 3-3). Een deel van de brondata die in Tabel 4-1 zijn genoemd hebben betrekking op het VO2.0, maar de gebruikte brondata zijn niet gewijzigd in de uitwerking naar het VO3.0.

Tabel 3-3 Baseline-maatregel en variant van het VO3.0, inclusief gebruikte brondata. In sommige gevallen is dezelfde brondata gebruikt als voor het VO2.0, omdat deze bestanden niet zijn gewijzigd.

Ontwerp	Baseline-maatregel	Brondata	Baseline-referentie	Baseline-variant
VO3.0	le_sasdijk_b1	<ul style="list-style-type: none"> <li>Beheerstrook buitenzijde.shp (shapefile met ligging beheerstrook)</li> <li>Dijkontwerp SAS VO2.0 buitenzijde.tif (hoogte van buitendijkse talud van de kering)</li> </ul>	saskrw_ref	sas_dijk_vo2_b1

Ontwerp	Baseline-maatregel	Brondata	Baseline-referentie	Baseline-variant
		<ul style="list-style-type: none"><li>Hoeveelheden rivierkunde VO2.0-1011.pdf t/m Hoeveelheden rivierkunde VO2.0-1021.pdf (dwarsprofielen met oppervlak buitendijkse taludaanvulling)</li></ul>		

## 4 Rivierkundige beoordeling

### 4.1 Hoogwaterveiligheid

#### 4.1.1 Hoogwaterreferentie op de as van de rivier

In Figuur 4-1 worden de waterstandseffecten op de as van de rivier bij maatgevend hoogwater (MHW, 16.000 m<sup>3</sup>/s bij Lobith) weergegeven ter hoogte van het projectgebied. Figuur 4-2 laat dezelfde effecten zien, maar dan voor een groot deel van de Nederrijn en Lek, om te kunnen zien hoe het waterstandseffect in bovenstroomse richting doorwerkt.

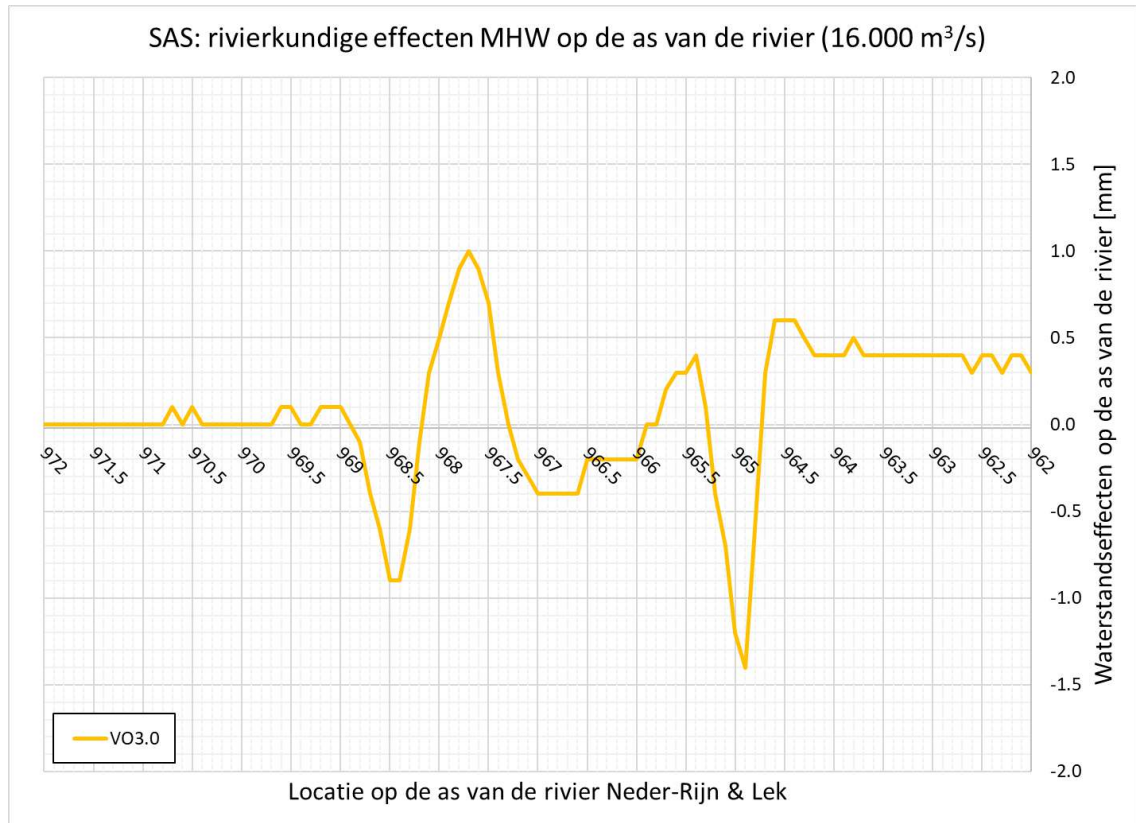
Het effect van de dijkversterking dat doorwerkt in bovenstroomse richting is een opstuwing van maximaal 0,6 mm. In bovenstroomse richting neemt deze opstuwing af tot (vrijwel) nul bij rkm 950 (zie Figuur 4-2). De opstuwing wordt veroorzaakt door een combinatie van:

- Een waterstandsverhoging door de rivierwaartse versterking, gemodelleerd als een fictieve verschuiving van de buitenkruinlijn;
- Een (beperkte) waterstandsdaling vanwege de verwijdering van ruwe vegetatie op de beheerstrook en het talud van de kering;
- Een (beperkte) waterstandsdaling als gevolg van de gewijzigde afritten, die meer parallel aan de dijk komen te liggen.

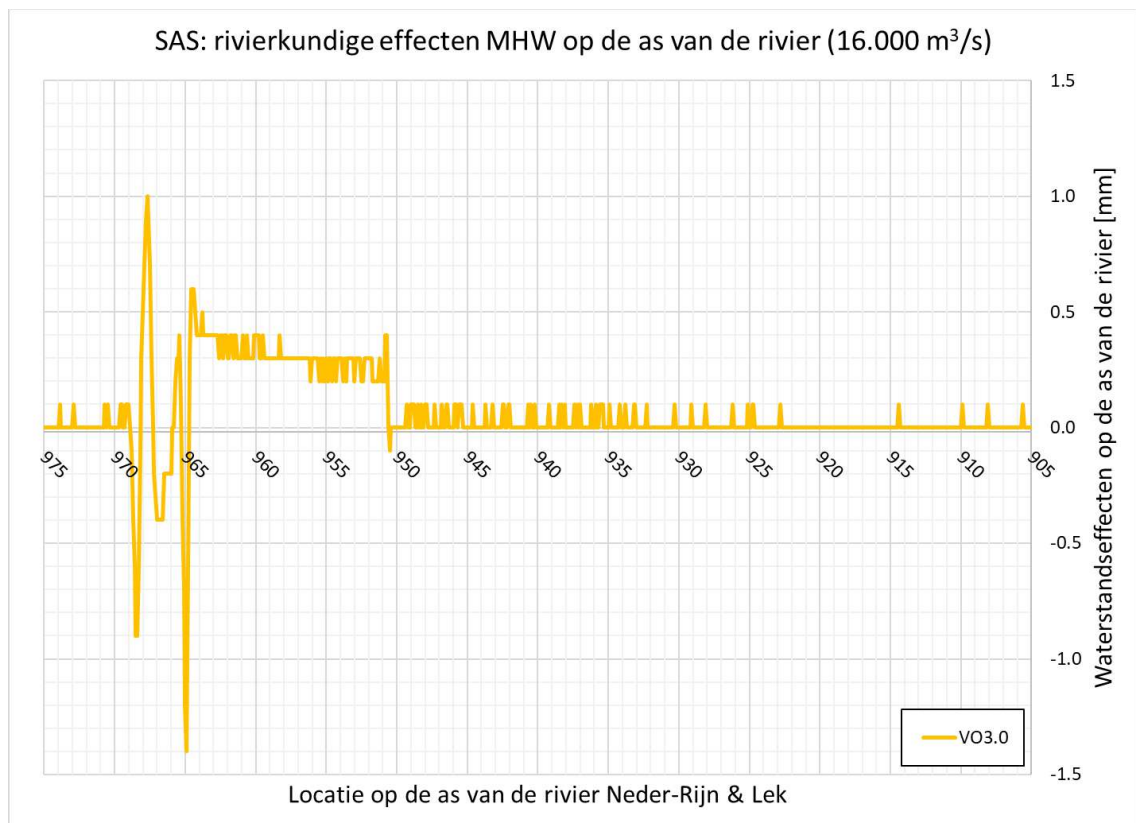
In het projectgebied zelf is een afwisseling van waterstandsdalingen en -stijgingen te zien. De waterstandsdaling bij de Schaardijk (bij rkm 965) is een gevolg van een stroomsnelheidseffect. Door een versmalling van het doorstroomprofiel vanwege de verschuiving van de buitenkruinlijn, neemt de stroomsnelheid hier toe. Deze toename van de stroomsnelheid zorgt voor een plaatselijke daling van de waterstanden.

De maximale waterstandsverhoging vindt plaats bij rkm 967,7 en is precies 1 mm. Dit wordt veroorzaakt door een aantal gewijzigde afritten die hier op korte afstand van elkaar liggen. Deze afritten zorgen voor een waterstandsverlaging in bovenstroomse richting, maar door een verandering van het stromingspatroon langs de dijk leiden deze ook tot lokale waterstandsverhogingen. Vermoedelijk komt dit doordat de lagere afritten zorgen voor een iets hoger debiet en hogere stroomsnelheid direct langs de dijk, waardoor direct na iedere afrit een lokale waterstandsverhoging ontstaat. Dit zijn een soort benedenstroomse piekjes direct langs de kering, die in sommige gevallen doorwerken tot de as van de rivier. Dit is ook terug te zien in de kaarten in Bijlage 5, bijvoorbeeld bij rkm 967,5 en 968,2, waar bij de afritten waterstandsverhogingen tot meer dan een centimeter ontstaan.

In paragraaf 3.4.2 is beschreven dat het totale oppervlak dat in WAQUA wordt dichtgezet met schotjes ongeveer 6% kleiner is dan in Baseline. Dit zou in theorie kunnen leiden tot een onderschatting van de opstuwing. De opstuwing wordt echter in belangrijke mate bepaald door de dijkversterking bij de Schaardijk. In deze dijkzone is het oppervlak van de hoogwatervrije gebieden in WAQUA juist substantieel groter dan in Baseline. Vermoedelijk is daarom van een onderschatting van de opstuwing in dit geval geen sprake.



Figuur 4-1 Waterstandseffecten VO3.0 bij maatgevend hoogwater (MHW) ter plaatse van het projectgebied.

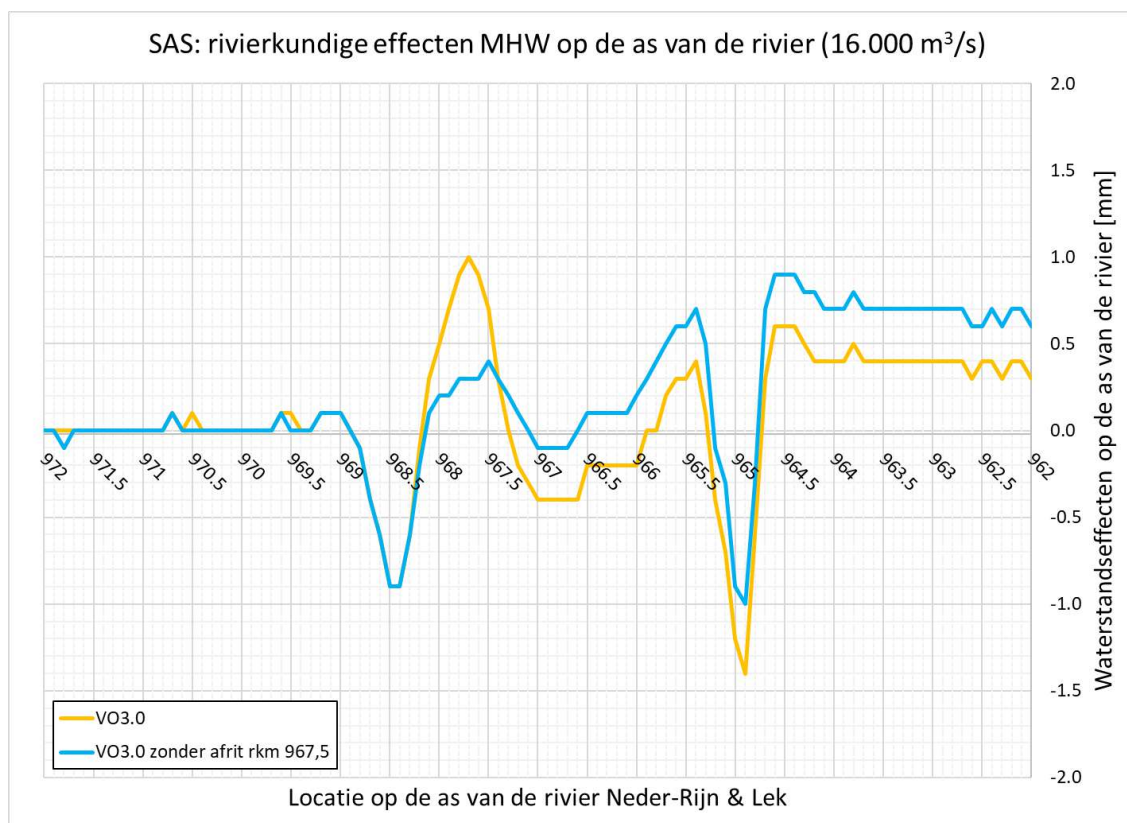


Figuur 4-2 Waterstandseffecten VO3.0 bij maatgevend hoogwater (MHW) op de Nederrijn-Lek.

Het criterium uit het Rivierkundig Beoordelingskader (RBK) is dat een opstuwung van 1 mm of meer niet is toegestaan, tenzij hier veel waterstandsvaling tegenover staat. Dat laatste is hier niet het geval. Daarom is op advies van Rijkswaterstaat Oost-Nederland gekeken of met een kleine aanpassing van het ontwerp de opstuwung (net) onder 1 mm gehouden kan worden. Hiervoor is een berekening uitgevoerd, waarbij de afrit die het meeste opstuwung veroorzaakt niet is aangepast ten opzichte van de referentie. Dit is de afrit ter hoogte van rkm 967,5. Uit de kaarten met waterstandseffecten buiten de as van de rivier (zie Bijlage 5) blijkt dat deze afrit voor een groot deel verantwoordelijk is voor de lokale waterstandspiek van 1 mm bij rkm 967,7.

Ook uit de berekening zonder deze afrit blijkt dit (zie Figuur 4-3). Als deze afrit niet wordt aangepast (meer parallel aan de dijk wordt gelegd), dan neemt de lokale opstuwung af van 1 mm naar 0,4 mm. De waterstandsverhogung in bovenstroomse richting neemt echter ook toe met 0,3 mm tot een maximale waterstandsverhogung van 0,9 mm. Met andere woorden: het aanpassen (meer parallel leggen) van de afrit volgens het VO3.0-ontwerp zorgt voor een waterstandsverlagung van 0,3 mm in bovenstroomse richting.

Strikt genomen voldoet deze variant zonder de afrit bij rkm 967,5 wel aan het RBK, omdat de waterstandsverhogung overal kleiner is dan 1 mm. De totale waterstandsverhogung als over het hele traject van de Lek wordt gekeken (de oppervlakte van de grafiek boven de nullijn) is echter bij deze variant een stuk groter dan bij het VO3.0. Over het hele traject beschouwd is deze variant dus minder gunstig voor de hoogwaterveiligung dan het VO3.0.



Figuur 4-3 Waterstandseffecten bij maatgevend hoogwater (MHW) ter plaatse van het projectgebied van het VO3.0 en een variant waarbij de afrit ter hoogte van rivierkilometer 967,5 niet is aangepast. Voor de rest is deze variant gelijk aan het VO3.0.

Er zijn uiteraard ook tussenvarianten mogelijk, waarbij de afrit iets minder parallel aan de dijk komt te liggen dan in het VO3.0, maar meer parallel dan in de huidige situatie. Het argument dat het effect op de hoogwaterveiligheid, beschouwd over een langer traject, minder gunstig is dan bij het VO3.0 geldt echter ook voor mogelijke tussenvarianten.

Omdat een afrit minder parallel aan de dijk leggen rivierkundig gezien altijd minder gunstig is (en ook niet logisch), zijn er geen aanpassingen gemaakt aan het VO3.0 om de lokale waterstandsverhoging bij rkm 967,7 te verminderen.

#### 4.1.2 Verandering van bergend volume

De dijkversterking zorgt voor een afname van het bergend volume van de rivier. In het beheergebied van RWS-ON is deze afname toegestaan (mits onderbouwd met de redeneerlijn buitendijks versterken), maar in het beheergebied van RWS-WNZ moet dit worden gecompenseerd. Dit betreft de dijkversterking in het traject bij Schoonhoven, tussen dijkpalen 185 (bij de camping) en 191 (einde van het projectgebied). In de Rijn-Maasmonding is de afname van het bergend volume gedefinieerd als het volume dat zich bevindt tussen gemiddeld hoogwater (GHW) en de hoogste waterstand uit de Hoogwaterreferentie. In Tabel 4-1 staan deze waterstanden (aangeleverd door RWS-WNZ) voor de betreffende rivierkilometers bij Schoonhoven.

*Tabel 4-1 Waterstanden per kilometerraai voor de berekening van het bergend volume.*

Rivierkilometerraai	GHW (mNAP)	Hoogwaterreferentie (mNAP)
970	1,14	4,45
971	1,14	4,34
972	1,14	4,19

De verandering van het bergend volume en de compensatie daarvan wordt op dit moment nog uitgewerkt in afstemming met HDSR en RWS-WNZ en is (nog) geen onderdeel van deze rivierkundige toetsing.

#### 4.1.3 Hoogwaterreferentie buiten de as van de rivier

Naast de waterstandseffecten op de as van de rivier moeten ook de waterstandseffecten bij de hoogwaterreferentie buiten de as van de rivier (in het 2D-vlak) worden beoordeeld. Hierbij moet worden gekeken of er geen belangen van derden worden geschaad. Dit kan bijvoorbeeld een waterstandsverhoging bij bebouwing zijn, maar ook een verhoging tegen kades of dijken. Een waterstandsverhoging bij de kering moet zoveel mogelijk worden voorkomen. In de praktijk is het vaak niet mogelijk om waterstandsverhogingen bij de kering helemaal te voorkomen. In dat geval geldt dat de verhoging van de waterstand bij een kering (of hoge grond) slechts is toegestaan na acceptatie door de betreffende beheerder van de waterkering (in dit geval HDSR).

In Bijlage 5 staan kaarten waarin de waterstandseffecten ruimtelijk zijn weergegeven. Tabel 4-2 geeft een samenvatting van de trajecten waar een waterstandsverhoging langs de dijk plaatsvindt, met hierbij de maximale opstuwing en de lengte langs de dijk waar de opstuwing groter is dan 1 mm.

De waterstandsverhogingen worden gedeeltelijk veroorzaakt door de verschuiving van de buitenkruinlijn en deels door lokale piekjes als gevolg van de afritten (zie paragraaf 4.1.1 voor een toelichting). Bij de fictieve verschuiving moet bedacht worden dat het mede afhankelijk is

van het toeval of roostercellen wel of niet dichtgezet worden (zie paragraaf 3.4). Dit betekent dat de werkelijke waterstandseffecten van de fictieve verschuiving iets meer geleidelijk verlopen (“uitgesmeerd” zijn) dan berekend.

*Tabel 4-2 Trajecten langs de kering waar de waterstandsverhoging groter is dan 1 mm. Soms is de waterstandsdaling niet over het hele traject groter dan 1 mm en is de trajectlengte in de laatste kolom kleiner dan op basis van de rivierkilometers in de eerste kolom.*

Rkm	Locatie	Maximale opstuwing [mm]	Trajectlengte opstuwing > 1 mm [m]
964,6 – 964,8	Schaardijk	6	150
965,0 – 965,25	Schaardijk	13	280
965,3 – 965,6	De Bol	7	290
965,8 – 966,5	De Bol	9	400
967,0 – 967,1	De Bol	7	60
967,35 – 967,45	Boerenlint	7	60
967,55 – 967,85	Boerenlint	12	200
968,1 – 968,3	Boerenlint	20	140
968.7 – 969,0	Boerenlint	4	240

De opstuwing bij de kering is over het algemeen kleiner dan een centimeter. De grootste opstuwing vindt plaats bij de afrit ter hoogte van rkm 968,1 en is ruim 20 mm. Deze opstuwing vindt echter maar in één roostercel plaats en komt doordat de ligging van de afrit in WAQUA (overlaten) is veranderd. In de rest van de roostercellen bij deze afrit is de opstuwing aanmerkelijk kleiner.

#### 4.1.4 Afvoerverdeling

Grote ingrepen stroomafwaarts van de splitsingspunten, met een groot bovenstrooms waterstandseffect, kunnen de afvoerverdeling veranderen. Ook kleinere ingrepen in de nabijheid van splitsingspunten kunnen ertoe leiden dat het water zich anders over de riviertakken verdeelt. Dit kan leiden tot afvoeren die uitkomen boven de maatgevende afvoer van een bepaalde Rijntak. Om negatieve gevolgen voor de hoogwaterveiligheid te voorkomen, mag de afvoerverdeling bij de Pannerdensche Kop (rkm 868) en IJsselkop (rkm 878) bij de hoogwaterreferentie (afvoer 16.000 m<sup>3</sup>/s bij Lobith) niet meer dan 5 m<sup>3</sup>/s veranderen door de ingreep.

Vanwege de locatie van het traject Salmsteke-Schoonhoven, ver benedenstrooms van de splitsingspunten en benedenstrooms van de stuwen, is dit beoordelingsaspect niet van belang. Het waterstandseffect is al bij rkm 950, ongeveer 15 kilometer bovenstrooms van het projectgebied, volledig uitgedempt. Dit betekent dat de dijkversterking geen effect heeft op de afvoerverdeling.

## 4.2 Hinder en schade door hydraulische effecten

### 4.2.1 Inundatiefrequentie

Als gevolg van een ingreep kan de frequentie van instromen van (delen van) de uiterwaard(en) veranderen. Als gebieden vaker overstroomd, kan dat betekenen dat wegen of agrarische gronden in de uiterwaard vaker onder water komen te staan, waardoor (bedrijfs-)

terreinen minder goed bereikbaar en bewerkbaar zijn. Als gebieden minder vaak overstromen, kan dat daarentegen nadelig zijn voor de natuur. Daarom moet de verandering van de inundatiefrequentie inzichtelijk worden gemaakt.

De dijkversterking heeft geen invloed op de inundatiefrequentie van de uiterwaarden. Er worden geen delen van de uiterwaard verlaagd of opgehoogd en er worden ook geen ingrepen gedaan aan kades, wegen of andere objecten. Alleen in het talud van de dijk worden veranderingen gedaan, waardoor de inundatiefrequentie alleen hier verandert. Dit levert geen hinder of schade op.

#### 4.2.2 Stroombeeld in de uiterwaard

Door ingrepen in het winterbed kunnen stroomsnelheden in de uiterwaard veranderen. Dit kan resulteren in lokale erosie bij constructies als kribben, gebouwen, kades/dijken, wegen maar ook langs randen van plassen en geulen. De mate van (verwachte) erosie wordt ingeschat door het beoordelen van (de verandering van) het stroombeeld in het gebied. De verandering van stroomsnelheden moet bepaald worden voor omstandigheden die representatief zijn voor de lokale situatie en afhankelijk van de situatie waarin de hydraulische veranderingen hinder of schade veroorzaken [D 13].

Het stroombeeld, en de verandering van de stroomsnelheden, is beoordeeld voor afvoeren van 6.000, 8.000 en 10.000 m<sup>3</sup>/s. De combinatie van deze afvoeren is representatief voor de effecten van de dijkversterking, omdat deze pas vanaf afvoeren van 6.000 m<sup>3</sup>/s significante effecten heeft op het stroombeeld. De teen van de dijk ligt vrijwel overal hoger dan NAP + 1,5 m. Bij vloed begint deze mee te stromen vanaf afvoeren van 4.000 m<sup>3</sup>/s. De afvoer van 4.000 m<sup>3</sup>/s is daarom beschouwd, omdat de dijkversterking dan nog geen invloed heeft op het stroombeeld. Kaarten met stroomsnelheden en stroomsnelheidsverschillen per afvoerniveau zijn opgenomen in Bijlage 6, Bijlage 7 en Bijlage 8. Bij het beoordelen van de stroomsnelheidsverschillen is vooral gekeken naar de gebieden waar de stroomsnelheid toeneemt, omdat alleen in deze gebieden mogelijk een verhoogde kans op erosie is.

Voor de verandering van het stroombeeld geldt dat hoe hoger de Rijnafvoer is, hoe hoger de stroomsnelheden en hoe groter ook de stroomsnelheidsverschillen als gevolg van de dijkversterking. Bij een afvoer van 6.000 m<sup>3</sup>/s zijn de stroomsnelheidsverschillen zeer beperkt. De stroomsnelheden nemen maximaal met 0,03 m/s toe en overal waar de stroomsnelheid toeneemt (met meer dan 0,001 m/s) zijn de stroomsnelheden lager dan 0,50 m/s.

Bij een afvoer van 8.000 m<sup>3</sup>/s zijn de verschillen wat groter en nemen de stroomsnelheden op een aantal locaties - vooral bij de aangepaste afritten en de Schaardijk - toe met 0,05 tot 0,10 m/s. Op enkele locaties in het zomerbed is een zeer beperkte toename van de stroomsnelheid te zien (< 0,01 m/s). Als deze locaties buiten beschouwing worden gelaten, zijn de maximale stroomsnelheden in de gebieden waar de stroomsnelheid toeneemt ongeveer 0,60 m/s.

Bij een afvoer van 10.000 m<sup>3</sup>/s komen toenames van de stroomsnelheid voor tot 0,16 m/s (met uitzondering van twee roostercellen waar de toename groter is maar de absolute stroomsnelheden in de variant kleiner dan 0,30 m/s). De absolute stroomsnelheden zijn op deze locaties vrijwel overal lager dan 0,80 m/s.

De hierboven genoemde stroomsnelheidsverschillen leveren naar verwachting geen hinder of schade op vanwege een verhoogde kans op erosie. Ten eerste zijn de stroomsnelheidsverschillen over het algemeen zeer beperkt en zijn de absolute stroomsnelheden relatief laag.

De hoogste stroomsnelheden komen voor bij de Schaardijk en bij de geul bij De Bol (rkm 965,8 tot 966,8). Bij de Schaardijk zijn deze stroomsnelheden geen probleem, omdat deze plaatsvinden op het (nieuwe) talud van de dijk, dat hierop berekend is. Bij de geul bij De Bol kan er mogelijk (extra) erosie plaatsvinden van de geul. Omdat de geul hier onderdeel is van een Natura2000-gebied, is hiervoor een aparte analyse gedaan naar de kans op erosie van de geul. Deze analyse is beschreven in paragraaf 4.3.2 bij het aspect 'sedimentatie en erosie uiterwaard en nevengeulen'.

#### 4.2.3 Stroombeeld in de vaarweg

In de vaarweg is er een risico op dwarsstroming die hinder of onveiligheid kan veroorzaken voor scheepvaart. Hierbij hoort het RBK-criterium dat de dwarsstroming niet groter mag zijn dan 0,15 m/s bij een geconcentreerde dwarsstroming met een dwarsdebiet groter dan 50 m<sup>3</sup>/s. Als het debiet kleiner is dan 50 m<sup>3</sup>/s mag de dwarsstroming maximaal 0,3 m/s zijn.

##### *Dwarsstroming in het beheergebied van Rijkswaterstaat Oost-Nederland*

De dwarsstroming in het beheergebied van Rijkswaterstaat Oost-Nederland (tot rkm 969,6) is getoetst bij afvoeren van 6.000, 8.000 en 10.000 m<sup>3</sup>/s bij Lobith. Bij lagere afvoeren heeft de dijkversterking geen invloed op de stroomsnelheden in het zomerbed en dus ook niet op de dwarsstroming. De dwarsstroming is getoetst op de normaallijn aan de rechterkant van het zomerbed. In Bijlage 11 staan figuren met de absolute dwarsstroming en het verschil in dwarsstroming t.o.v. de huidige situatie.

De verschillen in dwarsstroming als gevolg van de dijkversterking zijn minimaal. Alleen bij de Schaardijk (rond rkm 964,7 – 964,8) komen verschillen voor van ongeveer 0,02 m/s. In de rest van het projectgebied zijn de verschillen bij alle getoetste afvoeren ruimschoots kleiner dan 0,01 m/s.

De absolute dwarsstroming is in de referentie op enkele locaties net iets groter dan 0,15 m/s. Bij geen enkele van deze locaties wordt de dwarsstroming als gevolg van de dijkversterking groter bij de drie getoetste afvoeren. Dit betekent dat, nog ongeacht het dwarsdebiet, dat er geen negatieve effecten zijn op dwarsstroming en dat wordt voldaan aan de criteria uit het RBK.

##### *Dwarsstroming in het beheergebied van Rijkswaterstaat West-Nederland Zuid*

Het laatste deel van het projectgebied (de dijkversterking in de dijkzone Schoonhoven) ligt in het beheergebied van Rijkswaterstaat West-Nederland Zuid. Voor dit traject is geen berekening van de dwarsstroming uitgevoerd zoals voor de overige dijkzones, maar is het effect op de dwarsstroming kwalitatief beoordeeld op basis van stroomsnelheden en stroomsnelheidsverschillen. Uit de figuren in Bijlage 6, Bijlage 7 en Bijlage 8 blijkt dat er vanaf rkm 969,1 geen stroomsnelheidsverschillen (groter dan 0,001 m/s) op de rand van de vaargeul zijn bij de afvoeren van 6.000, 8.000 en 10.000 m<sup>3</sup>/s. Ook de grafieken met verschillen in dwarsstroming (zie Bijlage 11) laten vanaf rkm 969,1 geen verschillen meer in dwarsstroming zien. Dit betekent dat er geen effecten op de dwarsstroming zijn in dit laatste stuk van het projectgebied, het beheergebied van Rijkswaterstaat West-Nederland Zuid. Daarom is besloten geen aanvullende analyse te doen naar de effecten op dwarsstroming voor dit laatste stuk van het projectgebied.

#### 4.2.4 Afvoerverdeling en onttrekking bij lage afvoeren

De dijkversterking zorgt niet voor een onttrekking of voor een verruiming van het zomerbed bij lage en mediane afvoeren. De maatregelen zorgen daarom niet voor een afname van de waterdiepte bij deze afvoeren.

## 4.3 Morfologische effecten

### 4.3.1 Sedimentatie en erosie zomerbed

Als gevolg van ingrepen in het winterbed kunnen de stroomsnelheden in het zomerbed veranderen. Dit heeft effect op de aanzanding en erosie in het zomerbed en kan scheepvaartknelpunten verergeren of nieuwe scheepvaartknelpunten veroorzaken. De huidige scheepvaartknelpunten zijn beschreven in paragraaf 2.2.3. Als ingrepen de stroomsnelheden in het zomerbed significant beïnvloeden, wordt over het algemeen een morfologische analyse uitgevoerd met het programma WAQMORF. Uit de beoordeling van de stroomsnelheidsverschillen (zie paragraaf 4.2.2 en 4.2.3) blijkt dat de dijkversterking niet of nauwelijks leidt tot stroomsnelheidsverschillen in het zomerbed. Daarom is in overleg met Rijkswaterstaat Oost-Nederland geen analyse met WAQMORF uitgevoerd, maar is de sedimentatie en erosie in het zomerbed beoordeeld op basis van de stroomsnelheden.

Volgens de Richtlijn morfologische effectbepaling binnen RWS ON [D 11] kan een eerste grove schatting van de bodemveranderingen o.b.v. stroomsnelheden worden verkregen door toepassing van eenvoudige vuistregels. Hierbij is het uitgangspunt dat de aanzanding of erosie recht evenredig is met de verandering van de stroomsnelheid als gevolg van de ingreep. De aanzanding of erosie kan in een grove benadering rechtstreeks worden vertaald naar een verandering van de waterdiepte, omdat de verandering van de waterstand door lokale ingrepen (op uiterwaardniveau) ondergeschikt is aan de verandering van de bodemligging. Zo geeft stroomsnelheidsvermindering van 1% bij morfologische actieve afvoeren een vermindering van de waterdiepte van ongeveer 1% in evenwichtsligging. Bij een waterdiepte van 7 m resulteert dit in een 7 cm hogere evenwichtsligging van de bodem. Deze eenvoudige vuistregel is hieronder toegepast voor de dijkversterking.

De verschillen in stroomsnelheden zijn (zoals in paragraaf 4.2.2 en 4.2.3) geanalyseerd voor afvoeren van 6.000, 8.000 en 10.000 m<sup>3</sup>/s. Dit zijn de morfologisch relevante afvoeren voor de dijkversterking. Bij afvoeren lager dan 6.000 m<sup>3</sup>/s is het effect van de dijkversterking op de stroomsnelheden in het zomerbed verwaarloosbaar. Afvoeren hoger dan 10.000 m<sup>3</sup>/s komen weinig voor en zijn hierdoor van (zeer) beperkte invloed op de morfologie. Er is met name gekeken naar stroomsnelheidsverschillen groter dan 0,001 m/s; kleinere verschillen zijn niet of nauwelijks van invloed op de bodemligging. Daarnaast is vooral gekeken naar locaties waar de stroomsnelheid afneemt, omdat een afname leidt tot sedimentatie. Een kleine sedimentatie kan al ongewenst zijn als dit bij een scheepvaartknelpunt ligt. Grootschalige erosie in het zomerbed kan ook ongewenst zijn, maar hiervoor zijn de stroomsnelheidsverschillen als gevolg van de dijkversterking te klein.

Op de volgende locaties komt een afname van de stroomsnelheid in de vaargeul voor (groter dan 0,001 m/s):

- Bij de Schaardijk, tussen rkm 964,8 en 965,2, neemt de stroomsnelheid af, vooral bij een afvoer van 8.000 m<sup>3</sup>/s. Bij deze afvoer is de afname over het algemeen 0,002 tot 0,003 m/s met een uitschieter naar 0,005 m/s. De stroomsnelheid is ongeveer 1,2 m/s en de waterdiepte in het zomerbed 7 á 8 m. Op basis van de vuistregels leidt dit tot ongeveer 2 of 3 cm sedimentatie. Bij een afvoer van 6.000 m<sup>3</sup>/s neemt de stroomsnelheid ook iets af, maar dit is zeer beperkt en vooral te zien aan de uiterste rand van de vaargeul. Bij een afvoer van 10.000 m<sup>3</sup>/s neemt de stroomsnelheid juist toe, waarbij de toename vergelijkbaar is met de afname bij 8.000 m<sup>3</sup>/s. Dit leidt tot erosie, maar omdat de afvoer van 10.000 m<sup>3</sup>/s minder vaak voorkomt werkt dit minder hard door op de uiteindelijke evenwichtsligging van de bodem. De verwachting is dat op

deze locatie de bodem uiteindelijk 1 of 2 cm hoger komt te liggen. Op deze locatie is de vaargeul alleen helemaal aan de linkerkant ondiep. Aan de rechterkant is de vaargeul erg diep en ook hectometer-gemiddeld is de vaargeul vrij diep. Een beperkte sedimentatie leidt hier tot weinig of geen problemen voor de scheepvaart.

- Een klein stukje stroomafwaarts van de Schaardijk, tussen rkm 965,2 en 965,6, neemt de stroomsnelheid bij een afvoer van 10.000 m<sup>3</sup>/s iets af aan de linkerkant van de vaargeul. De afname is 0,001 tot 0,002 m/s en zou volgens de vuistregels leiden tot een sedimentatie van 1 cm. Bij een afvoer van 8.000 m<sup>3</sup>/s is de afname hier 0,0005 tot 0,001 m/s (en hierdoor niet te zien op de kaarten) en is de sedimentatie ongeveer 0,5 cm. Bij een afvoer van 6.000 m<sup>3</sup>/s zijn de verschillen nog veel kleiner en daarmee verwaarloosbaar. De bodem ligt hier op een redelijk uniforme diepte, zonder knelpunten voor de scheepvaart. Gemiddeld per hectometervak ligt de marge ten opzichte van de norm rond de 40%. De sedimentatie is hier dusdanig klein, dat het geen probleem vormt voor de scheepvaart.
- Tussen rkm 967,2 en 967,9 is de afname van de stroomsnelheid bij een afvoer van 10.000 m<sup>3</sup>/s 0,002 tot 0,003 m/s. Bij een afvoer van 8.000 m<sup>3</sup>/s is de afname 0,0005 m/s (hierdoor niet te zien in de kaarten). Bij een afvoer van 6.000 m<sup>3</sup>/s is er geen afname van de stroomsnelheid. Op basis van de vuistregels is de sedimentatie bij een afvoer van 10.000 m<sup>3</sup>/s 1,5 tot 2 cm en bij een afvoer van 8.000 m<sup>3</sup>/s een aantal millimeters. Omdat de afvoer van 10.000 m<sup>3</sup>/s zo weinig voorkomt, is de uiteindelijke sedimentatie waarschijnlijk minder dan een centimeter. Net boven- en benedenstrooms van dit gebied liggen wel scheepvaartknelpunten, maar waar de stroomsnelheid toeneemt is dat niet het geval. Ook hectometer-gemiddeld is er een marge van 40 tot 50% ten opzichte van de norm. De zeer beperkte sedimentatie die hier verwacht wordt, vormt daarmee geen probleem voor de scheepvaart.
- Het laatste traject waar de stroomsnelheid afneemt is tussen rkm 968,8 en 969,1. De afname is bij 6.000 m<sup>3</sup>/s minder dan 0,0005 m/s (niet zichtbaar op de kaarten), bij 8.000 m<sup>3</sup>/s 0,0005 tot 0,001 m/s (niet zichtbaar op de kaarten) en bij 10.000 m<sup>3</sup>/s 0,001 tot 0,0015 m/s. De sedimentatie is naar verwachting maximaal een centimeter. Er zijn geen scheepvaartknelpunten aanwezig en deze minimale sedimentatie leidt niet tot problemen voor de scheepvaart.

De conclusie is dat op een aantal locaties een zeer beperkte sedimentatie wordt verwacht van één tot maximaal enkele centimeters. Deze locaties liggen niet bij bestaande scheepvaartknelpunten en leiden niet tot hinder of problemen voor de scheepvaart.

#### 4.3.2 Sedimentatie en erosie uiterwaard en nevengeulen

De dijkversterking leidt op de meeste locaties niet tot sedimentatie of erosie in de geulen of uiterwaarden, omdat de stroomsnelheidseffecten als gevolg van de dijkversterking zeer beperkt zijn. Alleen vlak bij de dijk komen kleine stroomsnelheidsverschillen voor, vaak niet groter dan enkele centimeters per seconde.

Er zijn twee uitzonderingen, locaties waar de dijkversterking mogelijk wel kan leiden tot erosie:

- De geul bij De Bol (het deel tussen rkm 966,1 en 966,4);
- De geul bij Willige Langerak (het deel tussen rkm 968,5 en 969,0).

Beide genoemde delen van de geulen liggen dicht tegen de dijk, waardoor de dijkversterking zorgt voor een (kleine) afname van het doorstroomprofiel van de geulen. Door de afname van het doorstroomprofiel kunnen de stroomsnelheden hoger worden. Dit is vooral het geval bij hoogwater, wanneer de geulen volledig mee stromen. Erosie en sedimentatie kunnen ook

worden veroorzaakt door het getij, maar dat is voor de genoemde delen van de geulen niet te verwachten. In Bijlage 12 is een theoretisch kader opgenomen, waarin wordt ingegaan op de processen die van invloed zijn op (oever)erosie van geulen. Hierin is kort toegelicht dat erosie door het getij vooral een risico is bij smalle delen van de geul die relatief dicht bij de aantakking op de rivier liggen. Hier gaat iedere getijcyclus een groot volume water door een smal doorstroomprofiel, wat relatief hoge stroomsnelheden tot gevolg heeft. Het smalle deel van geul De Bol ter hoogte van rkm 966,6 (waar de geul bijna dwars op de rivier en dijk is georiënteerd) is typisch zo'n locatie. De dijkversterking heeft echter geen invloed op dit deel van de geul, en in de rest van de geul en ook bij de geul bij Willige Langerak is erosie door getij niet te verwachten. Daarom is in deze paragraaf vooral gekeken naar de situaties waarbij de geulen volledig mee stromen.

Voor de geul bij Willige Langerak is op basis van stroomsnelheden en stroomsnelheidsverschillen een inschatting gemaakt van het risico op erosie van de geul. Voor geul De Bol geldt dat erosie van de oevers aan de zuidkant een aantasting van het Natura2000-gebied dat daar ligt tot gevolg heeft. Vanwege deze mogelijke aantasting van Natura2000-gebied, is voor geul De Bol een uitgebreidere analyse uitgevoerd op basis van de verandering van het profiel van de geul, waarin wordt ingegaan op het risico dat er na de dijkversterking erosie van de geul plaatsvindt.

#### *Geul De Bol*

Ter hoogte van rkm 966,1 tot 966,4 ligt de bestaande geul tegen de dijk aan. De geul is aan de benedenstroomse kant, bij rkm 966,8 aangetakt op de rivier. Vanaf de bovenstroomse kant gaat deze geul meestromen bij afvoeren vanaf ongeveer 2.800 m<sup>3</sup>/s bij Lobith. Deze afvoer wordt gemiddeld ongeveer 70 dagen per jaar overschreden. In de huidige situatie lijkt de geul, op basis van luchtfoto's door de jaren heen ([www.topotijdreis.nl](http://www.topotijdreis.nl)), niet te eroderen. Door de buitendijkse grondaanvullingen bij de dijk wordt het doorstroomprofiel van de geul bij De Bol kleiner. Dat leidt tot hogere stroomsnelheden en daarmee mogelijk wel tot erosie van de geul. Deze erosie kan zowel in verticale richting (verdieping van de geul) als in horizontale richting (oevererosie oftewel zijdelingse erosie) plaatsvinden.

Om het risico op erosie van de geul in te schatten, is de volgende aanpak gebruikt:

- Als eerste is gekeken naar de stroomsnelheid in de geul in de huidige situatie. Dit is gedaan bij verschillende afvoersituaties, voor afvoeren waarbij de geul vanaf de bovenstroomse kant mee stroomt. Bij deze afvoeren vinden de hoogste stroomsnelheden plaats.
- Vervolgens is een inschatting gemaakt van de verandering van de stroomsnelheden als gevolg van de dijkversterking. Dit is gedaan op basis van de verandering van het doorstroomprofiel van de geul, als gevolg van de dijkversterking. Er zijn dus geen modelberekeningen gedaan om dit te bepalen.

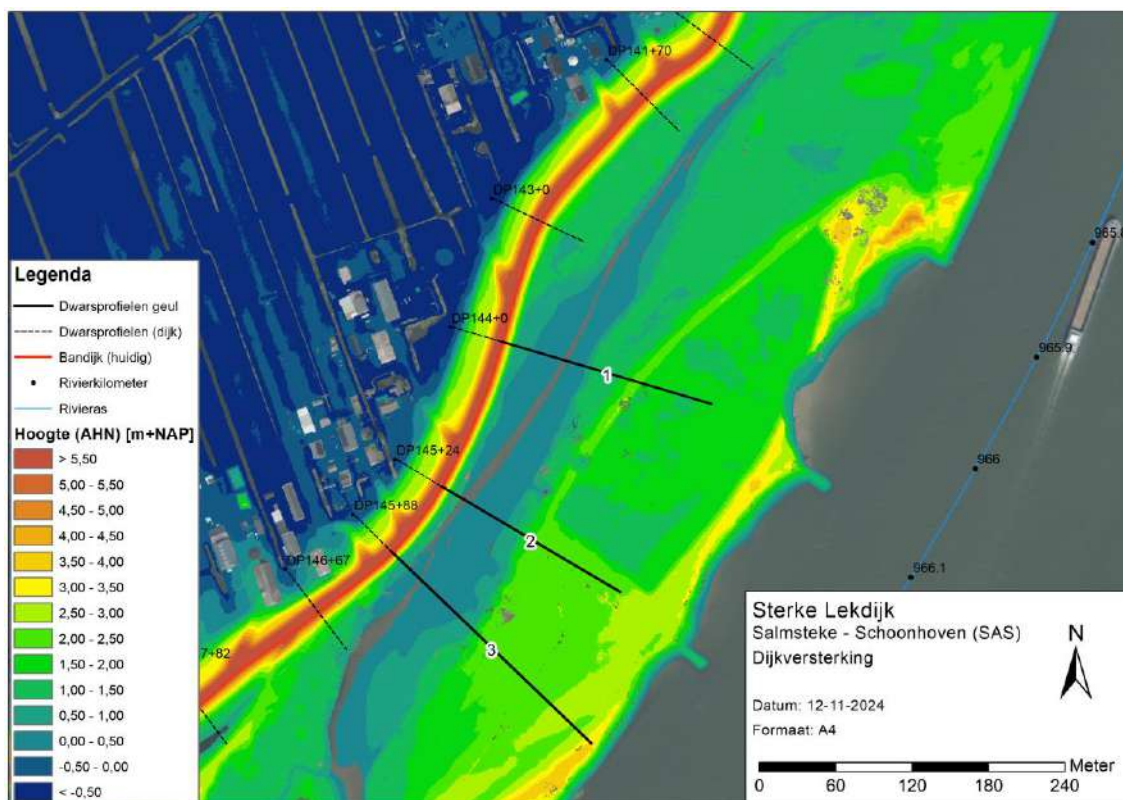
Er is ook gekeken of er boringen beschikbaar zijn in dit gebied. In het DINO-loket (Data en Informatie van de Nederlandse Ondergrond van TNO, Geologische Dienst Nederland) zijn alleen boringen beschikbaar in het talud van de dijk en niet in de uiterwaard zelf. Het talud van de dijk is niet representatief voor de ondergrond van de uiterwaard. Direct stroomafwaarts van De Bol, bij Willige Langerak, liggen meerdere kleiputten in de uiterwaard vlak bij de dijk. Dit zijn plassen die in het verleden zijn afgegraven om klei te winnen. Het is daarom niet onwaarschijnlijk dat er bij De Bol ook klei in de ondergrond zit, maar dit is zonder verder onderzoek niet met zekerheid te zeggen.

De stroomsnelheden in de huidige situatie zijn bepaald op basis van de WAQUA-berekeningen van de referentiesituatie voor afvoeren van 4.000, 6.000, 8.000 en 10.000 m<sup>3</sup>/s bij Lobith. In Bijlage 10 zijn kaarten opgenomen van de stroomsnelheden. Kort samengevat zijn dit de stroomsnelheden in de huidige situatie voor het deel van de geul dat grenst aan de dijk:

- Bij een afvoer van 4.000 m<sup>3</sup>/s zijn de stroomsnelheden slechts 0,01 of 0,02 m/s.
- Bij een afvoer van 6.000 m<sup>3</sup>/s zijn de stroomsnelheden in de geul ongeveer 0,12 of 0,13 m/s.
- Bij een afvoer van 8.000 m<sup>3</sup>/s zijn de stroomsnelheden het hoogst bij dwarsprofiel 145+24 (zie Bijlage 10). De stroomsnelheden zijn hier 0,40 tot 0,45 m/s.
- Bij een afvoer van 10.000 m<sup>3</sup>/s zijn de stroomsnelheden maximaal 0,60 tot 0,65 m/s.

Uit Figuur 6-3 (in Bijlage 12) blijkt dat bij stroomsnelheden lager dan 0,30 m/s geen (of nauwelijks) erosie plaatsvindt, ongeacht het type sediment in de geul. De stroomsnelheden bij afvoeren van 4.000 en 6.000 m<sup>3</sup>/s zijn in de huidige situatie veel te laag om erosie te veroorzaken. Ook na de dijkversterking zal dit het geval zijn. Bij de afvoeren van 8.000 en 10.000 m<sup>3</sup>/s zijn de stroomsnelheden, afhankelijk van de bodemopbouw van de geul, mogelijk wel hoog genoeg om voor erosie te zorgen. Een afvoer van 10.000 m<sup>3</sup>/s is voor de morfologische ontwikkeling van de geul wat minder relevant, omdat deze afvoer gemiddeld slechts eens per 15 tot 20 jaar voorkomt. Daarmee komt deze afvoer te weinig voor om van grote invloed te zijn op de morfologische processen in de geul. Voor de morfologische ontwikkeling van de geul bij De Bol is de afvoer van 8.000 m<sup>3</sup>/s, die gemiddeld eens per 5 jaar voorkomt, daarom het meest relevant. Voor deze afvoer is een inschatting gemaakt van de verandering van de stroomsnelheden als gevolg van de dijkversterking.

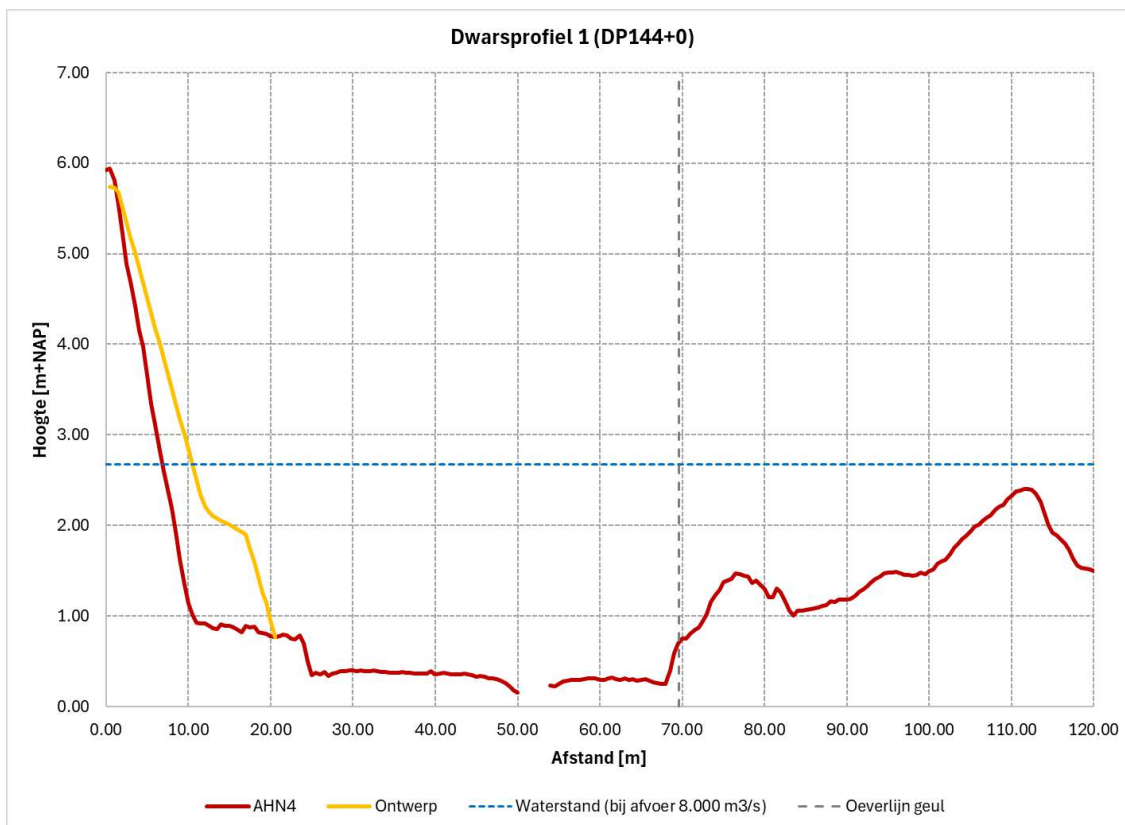
De verandering van stroomsnelheden is ingeschat op basis van de verandering van het doorstroomprofiel van de geul bij een afvoer van 8.000 m<sup>3</sup>/s. Hiervoor is op drie locaties een dwarsprofiel over de geul getrokken, op het traject waar de geul grenst aan de dijk (zie Figuur 4-4). Deze dwarsprofielen zijn op de locaties gelegd waar ook de dwarsprofielen DP144+0, DP145+24 en DP145+88 liggen uit de ontwerptekeningen van de dijkversterking, maar de profielen voor deze analyse lopen verder de uiterwaard in.



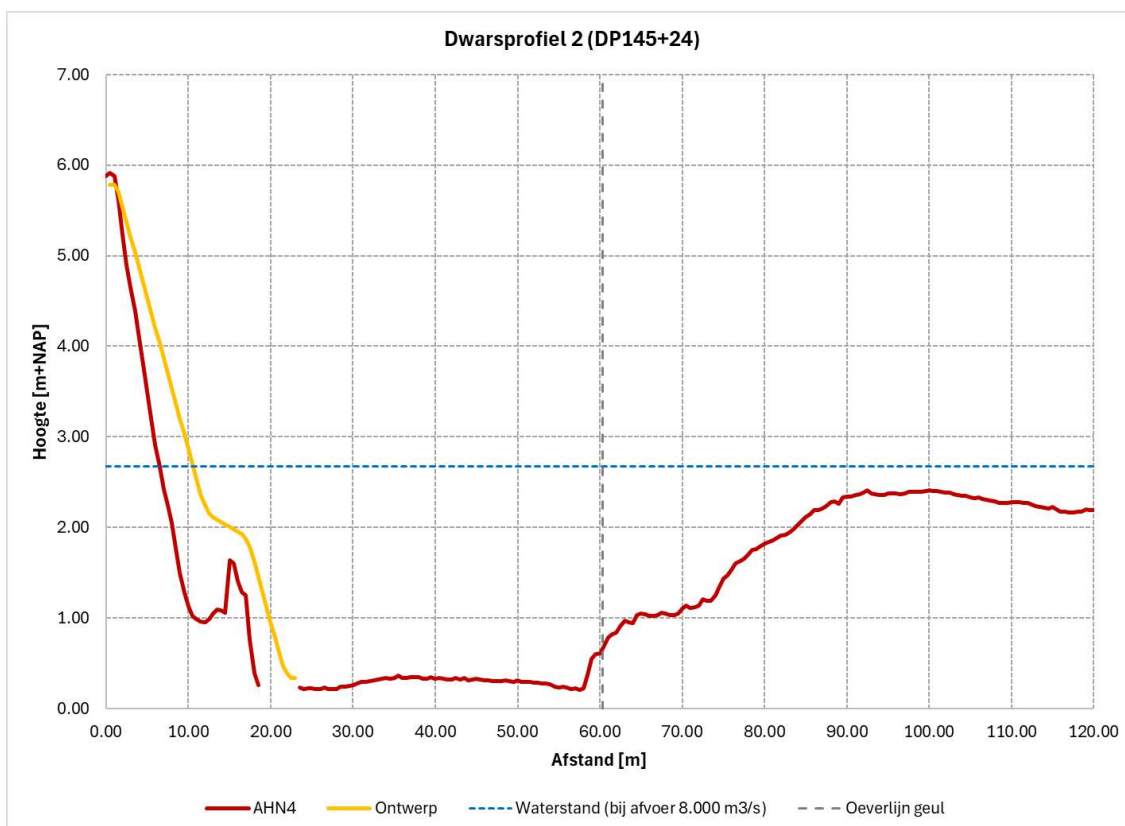
Figuur 4-4 Dwarsprofielen bij geul De Bol voor analyse verandering doorstroomprofiel.

Voor ieder dwarsprofiel is de hoogte uit het AHN4 bepaald en is de buitendijkse aanvulling inzichtelijk gemaakt (zie Figuur 4-5, Figuur 4-6 en Figuur 4-7). De waterstand bij een afvoer van  $8.000 \text{ m}^3/\text{s}$  is ook in de dwarsprofielen weergegeven, evenals de oeverlijn van de geul bij normale (dagelijkse) omstandigheden. De locatie van de oeverlijn is gebaseerd op het Baseline-referentiemodel, waarbij de grens tussen open water en land is gebruikt als oeverlijn.

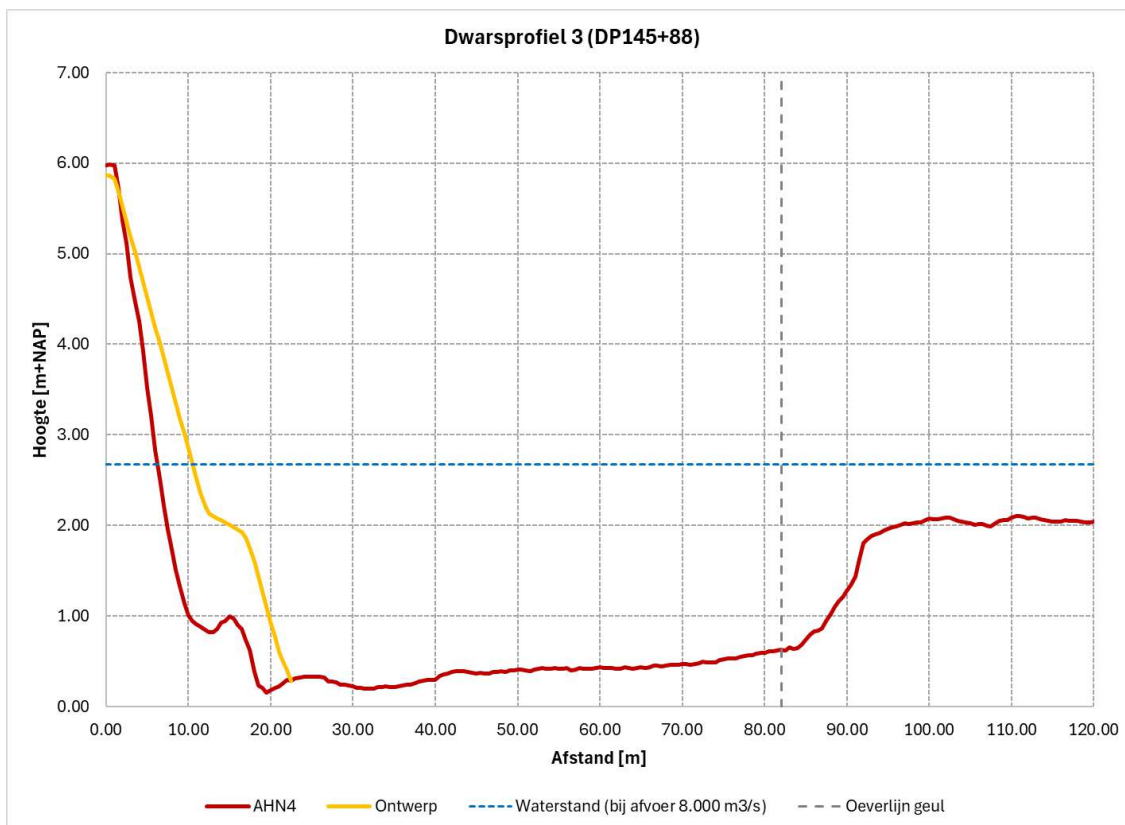
Voor ieder dwarsprofiel is bepaald wat het doorstroomprofiel is bij een afvoer van  $8.000 \text{ m}^3/\text{s}$  in de huidige situatie en na uitvoering van de dijkversterking. Dit is alleen gedaan voor het deel van de geul dat onder normale omstandigheden watervoerend is, dus tot aan de oeverlijn van de geul. Op de laagste delen van de geul heeft het AHN soms geen data; in dat geval is een hoogte van NAP + 0 m aangenomen als bodemhoogte van de geul.



Figuur 4-5 Hoogte van het AHN4 en het ontwerp bij dwarsprofiel 1



Figuur 4-6 Hoogte van het AHN4 en het ontwerp bij dwarsprofiel 2



*Figuur 4-7 Hoogte van het AHN4 en het ontwerp bij dwarsprofiel 3*

Uit Tabel 4-3 blijkt dat de afname van het doorstroomprofiel (bij een afvoer van 8.000 m<sup>3</sup>/s) bij profielen 1 en 3 ongeveer 11% is en bij profiel 2 bijna 15%. Als het debiet door de geul gelijk blijft, leidt dit tot een vergelijkbare toename van de stroomsnelheid. Bij profiel 2, waar de stroomsnelheid hoger is dan bij de andere twee profielen, zou dit leiden tot een toename van de maximale stroomsnelheid van bijna 0,44 m/s in de huidige situatie tot 0,50 m/s na de dijkversterking. Deze stroomsnelheid vindt in het midden van de geul plaats. Bij de oeverlijn is de stroomsnelheid in de huidige situatie ongeveer 0,3 m/s. Deze zou dan stijgen naar ongeveer 0,35 m/s. Bij profiel 1 nemen de maximale stroomsnelheden toe tot 0,33 m/s en bij de oever tot 0,25 m/s. Bij profiel 3 is dit respectievelijk ruim 0,4 m/s en 0,20 tot 0,25 m/s.

*Tabel 4-3 Verandering van het doorstroomprofiel van geul De Bol als gevolg van de dijkversterking bij een afvoer van 8.000 m<sup>3</sup>/s.*

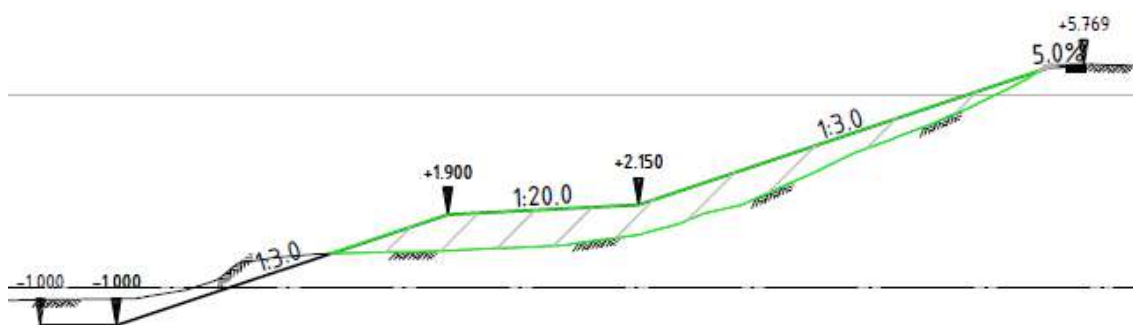
Profielnr.	Naam	Doorstroomprofiel huidig [m <sup>2</sup> ]	Doorstroomprofiel na dijkversterking [m <sup>2</sup> ]	Afname doorstroomprofiel (%)
1	DP144+0	135,6	122,5	10,6%
2	DP145+24	166,6	101,8	14,6%
3	DP145+88	165,1	148,6	11,1%

De toename van de stroomsnelheden in de geul is beperkt en de absolute stroomsnelheden blijven laag, zelfs in een situatie (bij een afvoer van 8.000 m<sup>3</sup>/s) die gemiddeld maar eens per 5 jaar voorkomt. In het midden van de geul komt de stroomsnelheid op sommige locaties boven de kritieke stroomsnelheid voor transport van zand uit van 0,30 m/s. Hier kan tijdens een hoogwater in theorie iets meer erosie plaatsvinden dan in de huidige situatie.

Bij de zuidelijke oever neemt de stroomsnelheid in de geul toe tot waarden die in de buurt liggen van de kritieke stroomsnelheid voor zand. Hier kan mogelijk enige erosie van de oevers optreden bij afvoeren van 8.000 m<sup>3</sup>/s en hoger. De mate van oevererosie is naar verwachting zeer beperkt en bovendien komen deze hoogwaters ook heel weinig voor. Het risico op grootschalige erosie van de oever als gevolg van de dijkversterking is zeer klein.

#### Geul bij Willige Langerak

Bij de geul bij Willige Langerak (het deel tussen rkm 968,5 en 969,0) vindt de dijkversterking direct naast de geul plaats. Het smalste deel van de geul ligt ter hoogte van rkm 968,7. Volgens de WAQUA-berekeningen vindt hier ook de grootste toename van de stroomsnelheid plaats. Dit is bij dwarsprofiel DP167+75 (zie Figuur 4-8), waar een rivierwaartse versterking met een oppervlak van ruim 12 m<sup>2</sup> (en een bijbehorende fictieve asverschuiving van 2,6 m) plaatsvindt.



Figuur 4-8 Uitsnede uit dwarsprofiel DP167+75 bij geul Willige Langerak (ter hoogte van rkm 968,7).

De stroomsnelheden en stroomsnelheidsverschillen zijn bepaald op basis van de WAQUA-berekeningen. Van de doorgerekende afvoeren zijn vooral de Lobith-afvoeren van 6.000, 8.000 en 10.000 m<sup>3</sup>/s relevant voor eventuele erosie van de geul. Bij een afvoer van 4.000 m<sup>3</sup>/s zijn de stroomsnelheden in de geul veel te laag om erosie te kunnen veroorzaken en afvoeren hoger dan 10.000 m<sup>3</sup>/s komen te weinig voor om van grote invloed te zijn op de morfologische processen in de geul. Bij de morfologisch relevante afvoeren zijn de stroomsnelheden en stroomsnelheidsverschillen in de geul (zie ook Bijlage 6, Bijlage 7 en Bijlage 8):

- Bij een afvoer van 6.000 m<sup>3</sup>/s zijn de stroomsnelheden in het midden van de geul maximaal 0,23 m/s. In het midden van de geul neemt de stroomsnelheid vrijwel niet toe als gevolg van de dijkversterking. In het smalle deel tussen de dijk en de geul nemen de stroomsnelheden toe met maximaal 0,04 m/s. De absolute stroomsnelheden zijn hier 0,1 tot 0,2 m/s.
- Bij een afvoer van 8.000 m<sup>3</sup>/s zijn de stroomsnelheden in het midden van de geul maximaal 0,35 – 0,40 m/s en in de oeverzone 0,2 – 0,3 m/s. In het midden van de geul is de toename van de stroomsnelheid minder dan 0,01 m/s. In de oeverzone is dit 0,02 tot 0,05 m/s.
- Bij een afvoer van 10.000 m<sup>3</sup>/s zijn de stroomsnelheden in het midden van de geul maximaal 0,50 – 0,55 m/s en in de oeverzone 0,3 – 0,4 m/s. In het midden van de geul

is de toename van de stroomsnelheid minder dan 0,01 m/s. In de oeverzone is dit 0,03 tot 0,07 m/s.

Uit Figuur 6-3 (in Bijlage 12) blijkt dat bij stroomsnelheden lager dan 0,30 m/s geen (of nauwelijks) erosie plaatsvindt, ongeacht het type sediment in de geul. De stroomsnelheden bij afvoeren van 6.000 m<sup>3</sup>/s zijn in de huidige situatie te laag om erosie te veroorzaken. Ook na de dijkversterking zal dit het geval zijn. Bij de afvoeren van 8.000 m<sup>3</sup>/s zijn de stroomsnelheden in de oeverzone, waar de dijkversterking plaatsvindt, ook na de dijkversterking 0,30 m/s of lager en in het midden van de geul neemt de stroomsnelheid nauwelijks toe. Daarom is bij deze afvoer ook geen extra erosie van de geul te verwachten. Bij een afvoer van 10.000 m<sup>3</sup>/s kan de dijkversterking wel zorgen voor enige extra erosie van de geul(oevers). De stroomsnelheden in de oeverzone zijn echter niet veel hoger dan de kritieke stroomsnelheid van 0,30 m/s. Daarnaast is een afvoer van 10.000 m<sup>3</sup>/s voor de morfologische ontwikkeling van de geul wat minder relevant, omdat deze afvoer gemiddeld slechts eens per 15 tot 20 jaar voorkomt. Daarmee komt deze afvoer te weinig voor om van grote invloed te zijn op de morfologische ontwikkeling van de geul. De verwachting is daarom dat de dijkversterking niet of nauwelijks zal leiden tot een toename van de erosie in de geul bij Willige Langerak.

## 5 Samenvatting

In Tabel 5-1 is een samenvatting gegeven van de rivierkundige beoordeling. Er is geen sprake van grote negatieve effecten. De zeer beperkte negatieve effecten als gevolg van de dijkversterking betreffen vooral de waterstandseffecten bij de hoogwaterreferentie. De dijkversterking wordt echter uitgevoerd om de hoogwaterveiligheid te vergroten en kan niet worden uitgevoerd zonder enige waterstandsverhoging te veroorzaken.

Tabel 5-1: Samenvatting van de rivierkundige beoordeling.

Thema	Beoordelingsaspect	Beoordeling
Hoogwaterveiligheid	Hoogwaterreferentie op de as van de rivier	De dijkversterking zorgt voor een waterstandsverhoging van 0,6 mm die doorwerkt in bovenstroomse richting. Daarnaast is er een lokale waterstandsverhoging te zien van precies 1 mm bij rkm 967,7. Dit is een soort lokale benedenstroomse piek die wordt veroorzaakt doordat de afrit hier meer parallel aan de dijk komt te liggen. Er is geprobeerd om de piek van 1 mm te verminderen, maar dit leidt tot meer opstuwing bovenstrooms van het projectgebied. Over het hele traject van de Lek beschouwd is dat minder gunstig voor de hoogwaterveiligheid. Daarom is deze piek niet verder geoptimaliseerd.
	Hoogwaterreferentie buiten de as van de rivier	Op meerdere locaties langs de kering is de opstuwing groter dan 1 mm. De opstuwing is hier over het algemeen kleiner dan een centimeter. De grootste opstuwing vindt plaats bij de afrit ter hoogte van rkm 968,1 en is ruim 20 mm. De grootste opstuwings zijn zeer lokaal.
	Afvoerverdeling bij Pannerdensche Kop en IJsselkop	Het waterstandseffect bij de hoogwaterreferentie is al bij rkm 950, ongeveer 15 kilometer bovenstrooms van het projectgebied, volledig uitgedempt. Dit betekent dat de dijkversterking geen effect heeft op de afvoerverdeling over de Rijntakken.
Hinder of schade door hydraulische effecten	Inundatiefrequentie van de uiterwaard	De dijkversterking heeft geen invloed op de inundatiefrequentie van de uiterwaarden. Alleen in het talud van de dijk worden veranderingen gedaan, waardoor de inundatiefrequentie alleen hier verandert. Dit levert geen hinder of schade op.
	Stroombeeld in de uiterwaard	De stroomsnelheden en stroomsnelheidsverschillen zijn beoordeeld bij een aantal hoge afvoeren en bij de hoogwaterreferentie. De stroomsnelheidsverschillen en absolute stroomsnelheden zijn beperkt en vormen geen risico voor de bandijk of hinder of schade voor derden.

Stroombeeld in de vaarweg	<p>De absolute dwarsstroming is in de referentie op enkele locaties net iets groter dan 0,15 m/s. Bij geen enkele van deze locaties wordt de dwarsstroming als gevolg van de dijkversterking groter bij de drie getoetste afvoeren. Dit betekent dat er geen negatieve effecten zijn op dwarsstroming en dat wordt voldaan aan de criteria uit het RBK.</p> <p>In het beheergebied van Rijkswaterstaat West-Nederland Zuid (RWS WNZ) is de dwarsstroming kwalitatief beoordeeld (in plaats van exact berekend). Op basis van de stroomsnelheidsverschillen kan worden geconcludeerd dat er in het beheergebied van RWS WNZ geen effecten op de dwarsstroming zijn.</p>	
Afvoerverdeling en onttrekking bij laagwater	<p>De ingrepen zorgen niet voor een onttrekking of voor een verruiming van het zomerbed bij lage en mediane afvoeren. De maatregelen zorgen daarom niet voor een afname van de waterdiepte bij deze afvoeren.</p>	
Morfologische effecten	Sedimentatie en erosie in het zomerbed	<p>De sedimentatie en erosie in het zomerbed is beoordeeld op basis van de stroomsnelheden en aan de hand van de vuistregel die is beschreven in de Richtlijn morfologische effectbepaling binnen RWS ON [D 11]. Op een aantal locaties wordt een zeer beperkte sedimentatie verwacht van één tot maximaal enkele centimeters. Deze locaties liggen niet bij bestaande scheepvaartknelpunten en leiden niet tot hinder of problemen voor de scheepvaart.</p>

---

De verandering van de stroomsnelheden als gevolg van de dijkversterking leveren naar verwachting geen hinder of schade op vanwege een verhoogde kans op erosie. De stroomsnelheidsverschillen zijn over het algemeen zeer beperkt en de absolute stroomsnelheden relatief laag. De hoogste stroomsnelheden komen voor bij de Schaardijk en bij de geul bij De Bol (rkm 965,8 tot 966,8). Bij de Schaardijk zijn deze stroomsnelheden geen probleem, omdat deze plaatsvinden op het (nieuwe) talud van de dijk, dat hierop berekend is.

Sedimentatie en erosie  
uiterwaard en nevengeulen

Bij de bestaande geul bij De Bol wordt het doorstroomprofiel door de dijkversterking iets kleiner. Hierdoor kan er mogelijk (extra) erosie plaatsvinden van de geul. Uit een kwalitatieve analyse blijkt dat er mogelijk enige erosie van de oevers kan plaatsvinden bij afvoeren van 8.000 m<sup>3</sup>/s en hoger. De mate van oevererosie is naar verwachting zeer beperkt en bovendien komen deze hoogwaters ook weinig voor. Het risico op grootschalige erosie van de oevers van geul De Bol als gevolg van de dijkversterking is zeer klein.

Ook bij de bestaande geul bij Willige Langerak (tussen rkm 968,5 en 969) wordt het doorstroomprofiel door de dijkversterking iets kleiner. Uit een kwalitatieve analyse blijkt dat er mogelijk enige erosie van de oevers kan plaatsvinden bij afvoeren van 10.000 m<sup>3</sup>/s en hoger. Deze hoogwaters komen zeer weinig voor, waardoor de verwachting is dat de dijkversterking hier niet of nauwelijks zal leiden tot een toename van de erosie van de geul(oevers).

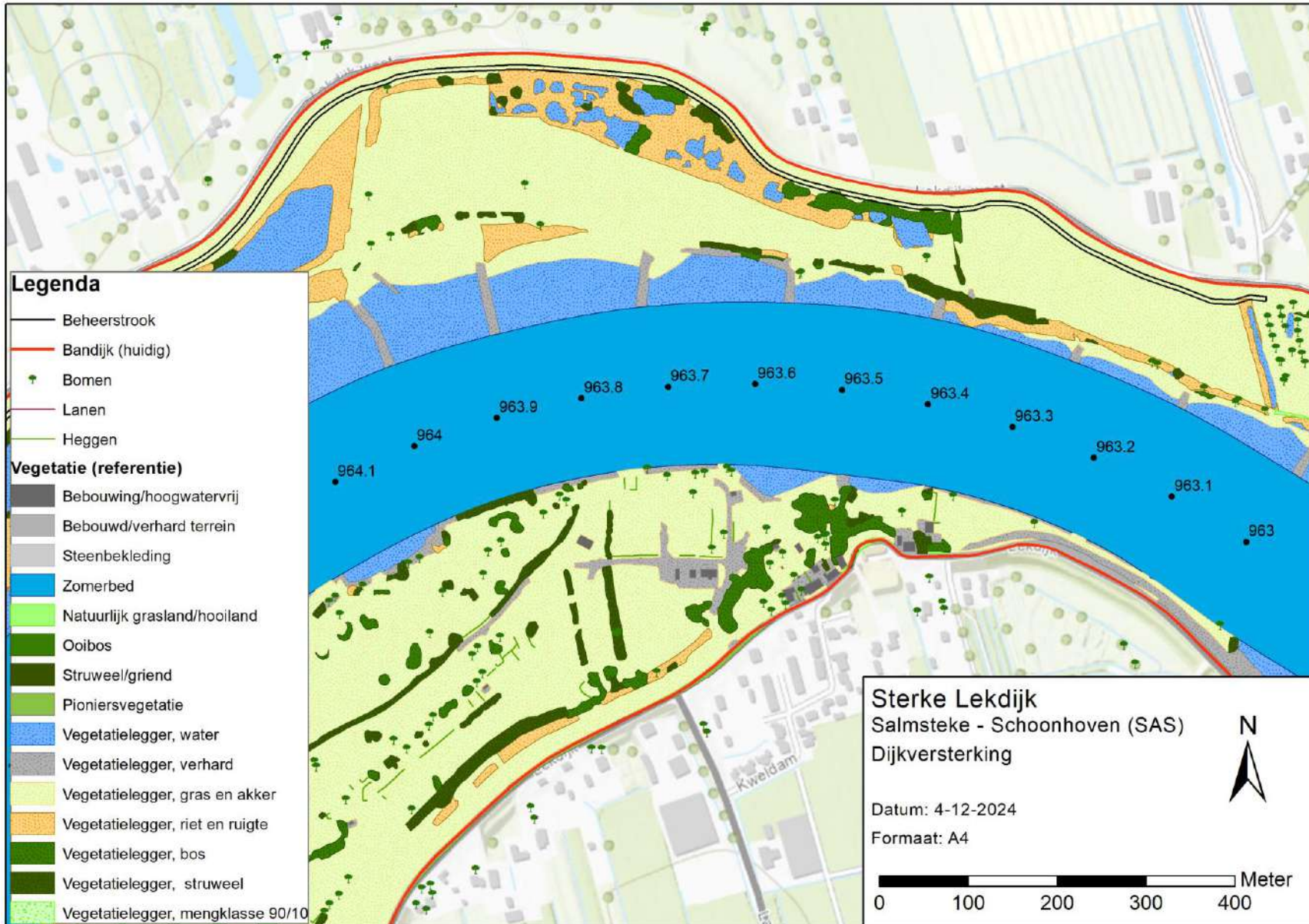
---

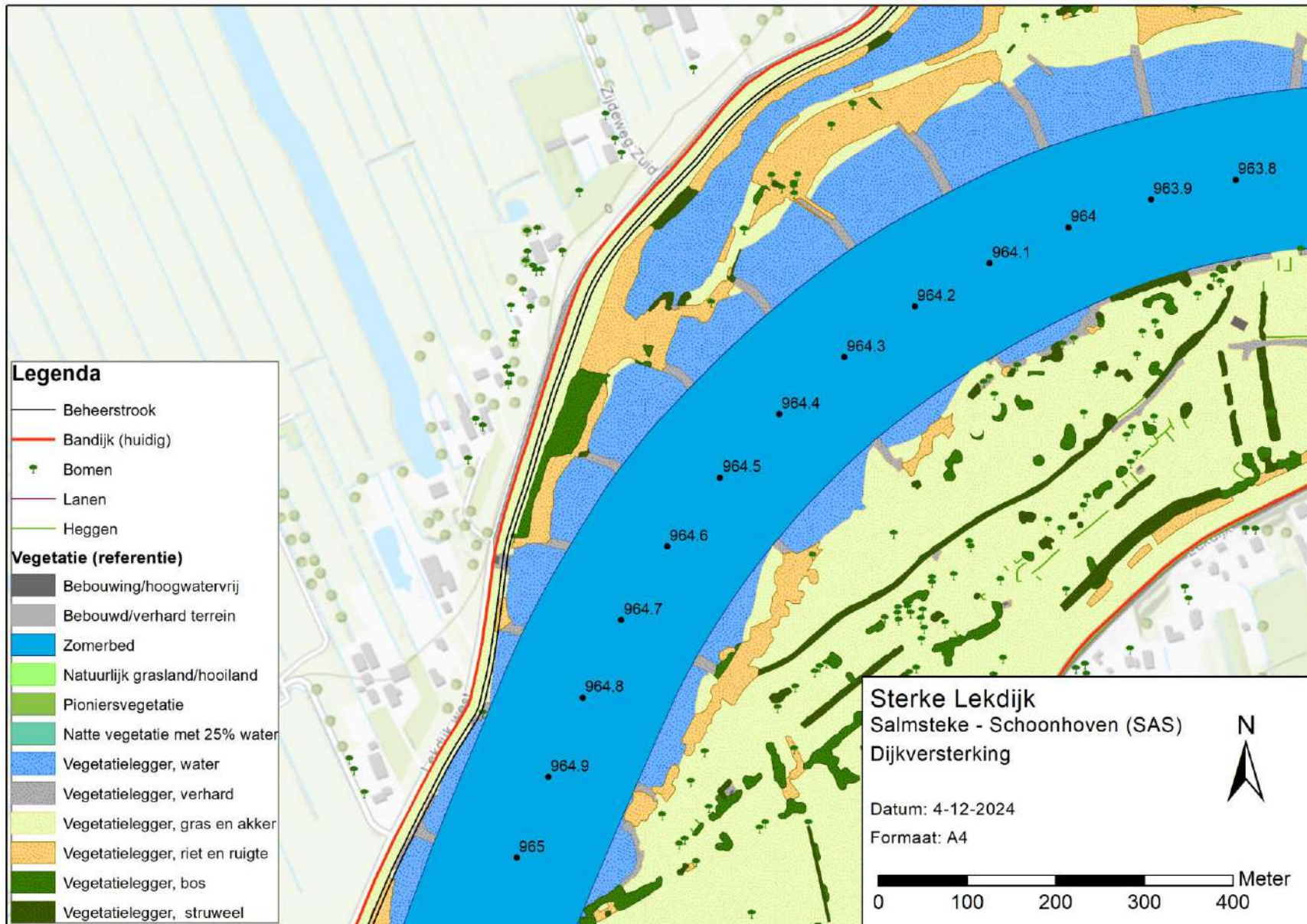
## 6 Referenties

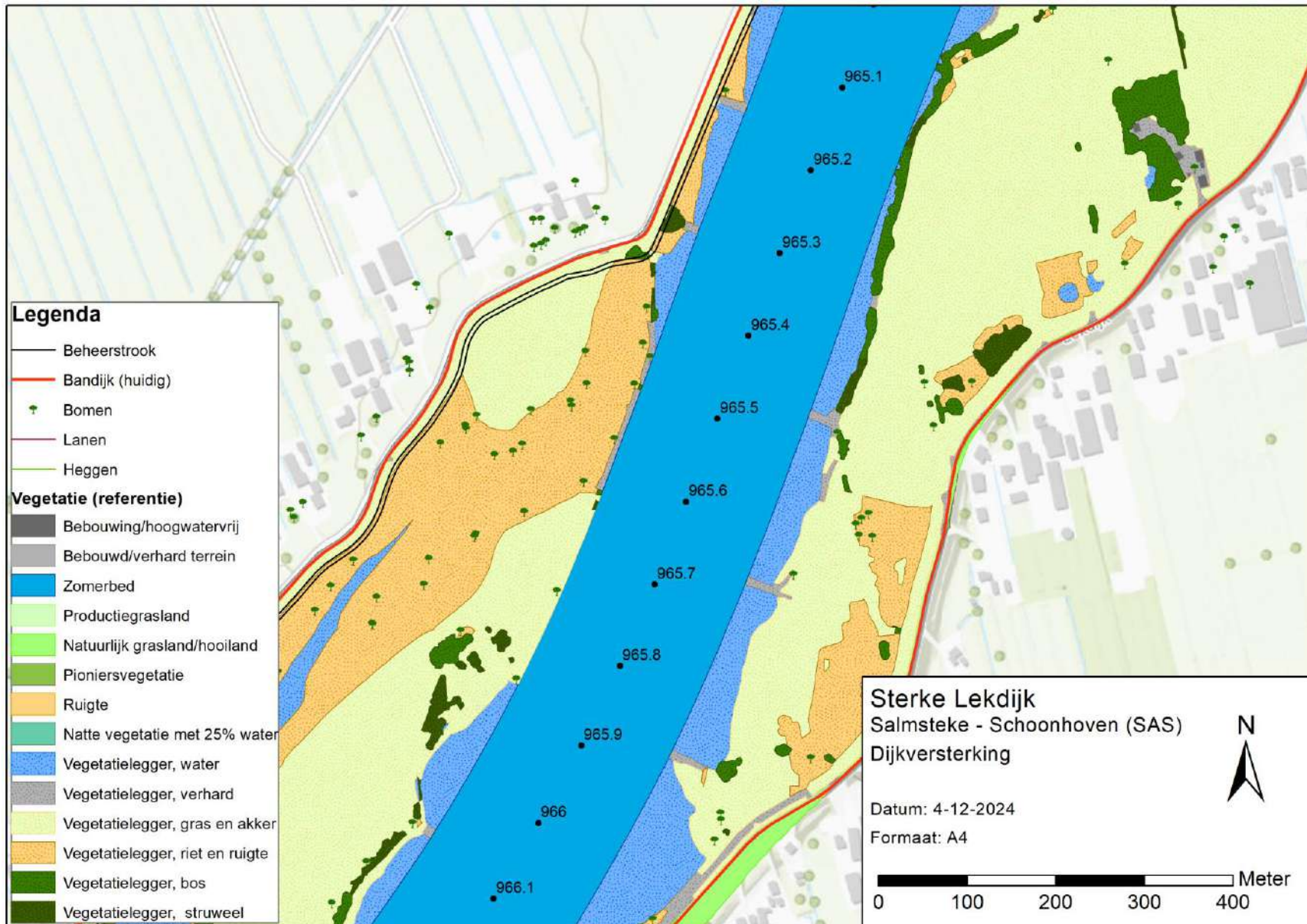
- [D 1] Barneveld, H.J. & Mosselman, E. (1993). Oevererosie nevengeulen, Verslag bureaustudie, Waterloopkundig Laboratorium, Q1674.01, opdrachtgever Rijkswaterstaat Directie Gelderland en RIZA, november 1993.
- [D 2] CUR (1999). Natuurvriendelijke oevers: Belasting en sterkte, opdrachtgever Ministerie van Verkeer en Waterstaat, Directoraat-Generaal Rijkswaterstaat, Dienst Weg- en Waterbouwkunde, ISBN 90 376 04706, mei 1999.
- [D 3] Geilen, N., Schropp, M., Snippen, E. & Sieben, A. (2001). Eerste vuistregels voor inpassing en ontwerp geulen in Rijn-Maasmonding, RIZA werkdocument, versie 5 september 2001.
- [D 4] Integraal Riviermanagement (IRM) (2021). Informatiebladen Rijn Integraal Riviermanagement (IRM), juni 2021, versie 2.1.
- [D 5] Klijn, F., Leushuis, H., Treurniet, M., Van Heusden, W. & Van Vuren, S. (2022). Systeembeschouwing Rijn en Maas ten behoeve van ontwerp en besluitvorming. Programma Integraal Riviermanagement, ministerie van Infrastructuur en Water, Den Haag.
- [D 6] Kragten (2020). Morfologische ontwikkeling van nevengeulen, Building with Nature – Verkennend onderzoek naar de morfologische ontwikkeling van nevengeulen, Projectnummer RWS188, Rapportnummer 1.4, 2 april 2020.
- [D 7] Paarlberg & Quartel (2017). Verkenning ontwikkeling laagwaterstanden Pannerdensch Kanaal en Boven IJssel, RWS-memo, 17 mei 2017.
- [D 8] Paarlberg, Van Denderen, Vieira da Silva (2021). Memo rivierkunde: kwalitatieve beschouwing schetsontwerpen Collegewaard / De Bol / Willige Langerak, documentnummer KRWOGROW-876124512-1300, 19 maart 2021.
- [D 9] Reeze, Van Winden, Postma, Pot, Hop & Liefveld (2017). Watersysteemrapportage Rijntakken 1990-2015, 5 april 2017, definitief.
- [D 10] Rijkswaterstaat Dienst Oost-Nederland (2012). Rivierwaterbouw, tips en info voor ontwerpers in het bovenriviereengebied, RWS Oost-Nederland afdeling realisatie infrastructuur, 29 augustus 2012.
- [D 11] Rijkswaterstaat Oost-Nederland (2023). Richtlijn morfologische effectbepaling RWS ON, afdeling NOV / Rivierkunde, versie 3.0, Definitief, maart 2023.
- [D 12] Rijkswaterstaat Waterdienst (2010). Handreiking sedimentbeheer nevengeulen, Versienummer 1, 8 februari 2010.
- [D 13] Rijkswaterstaat Water, Verkeer en Leefomgeving (2019). Rivierkundig Beoordelingskader voor ingrepen in de Grote Rivieren, versie 5.0, 4 juni 2019.
- [D 14] Royal HaskoningDHV (2019). Grip op nevengeulen, Pilot voor programmeringsmethodiek beheer en onderhoud van nevengeulen, Referentie BF9237-101\_Grip op nevengeulen\_04032019\_d6.0, Status 6.0/Finale versie, 19 maart 2019.
- [D 15] Sloff (2019). Prognose bodemligging Rijntakken 2020-2050, Deltares, december 2019, definitief.

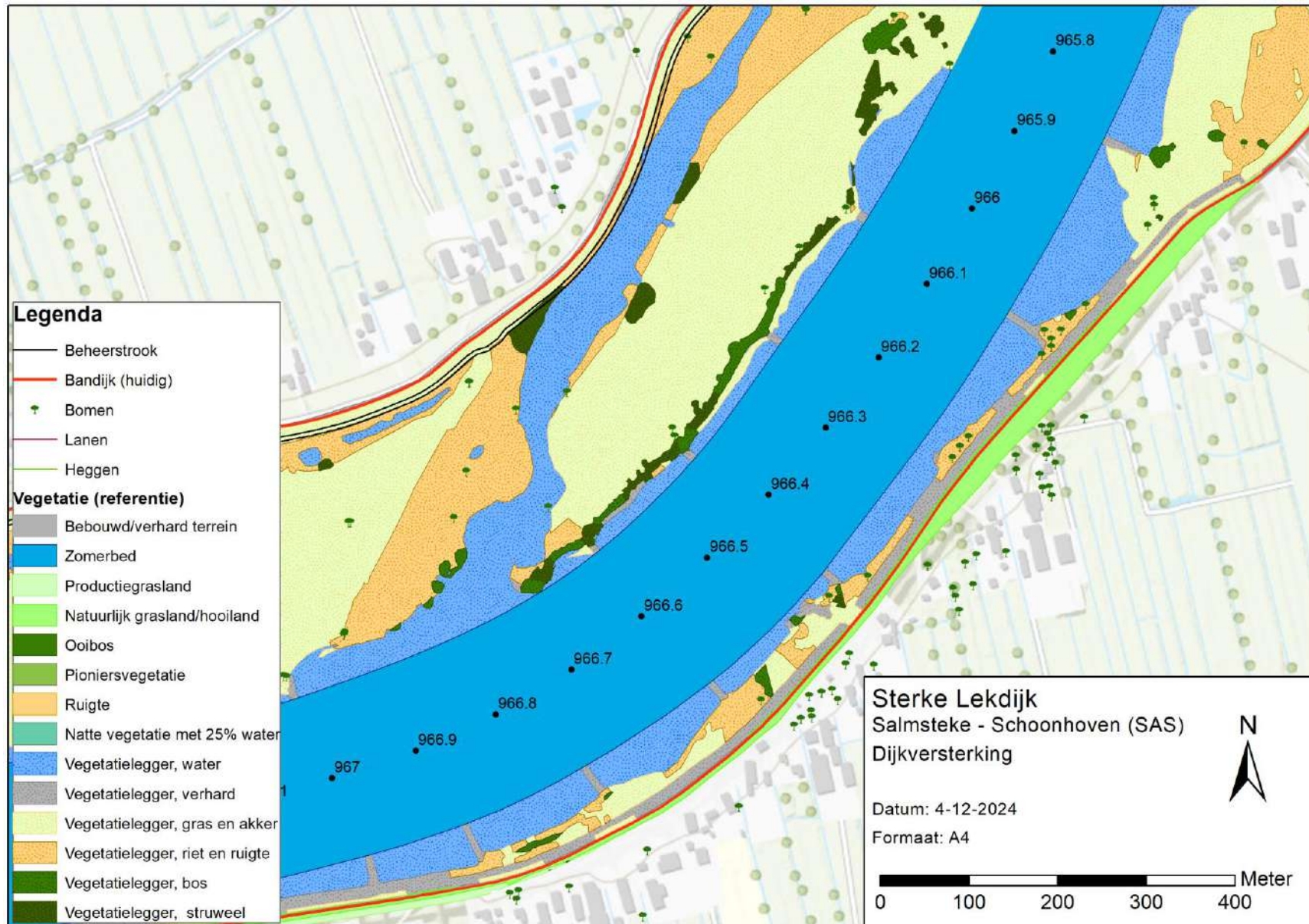
- [D 16] Sweco & Arcadis (2021). Rivierkundige berekeningen VKA SAS. Projectnummer 363285, DM1795867, 21 juli 2021.
- [D 17] Sweco & Arcadis (2022). Rivierkundige berekeningen planuitwerking SAS. Projectnummer 30087663, 23 maart 2023

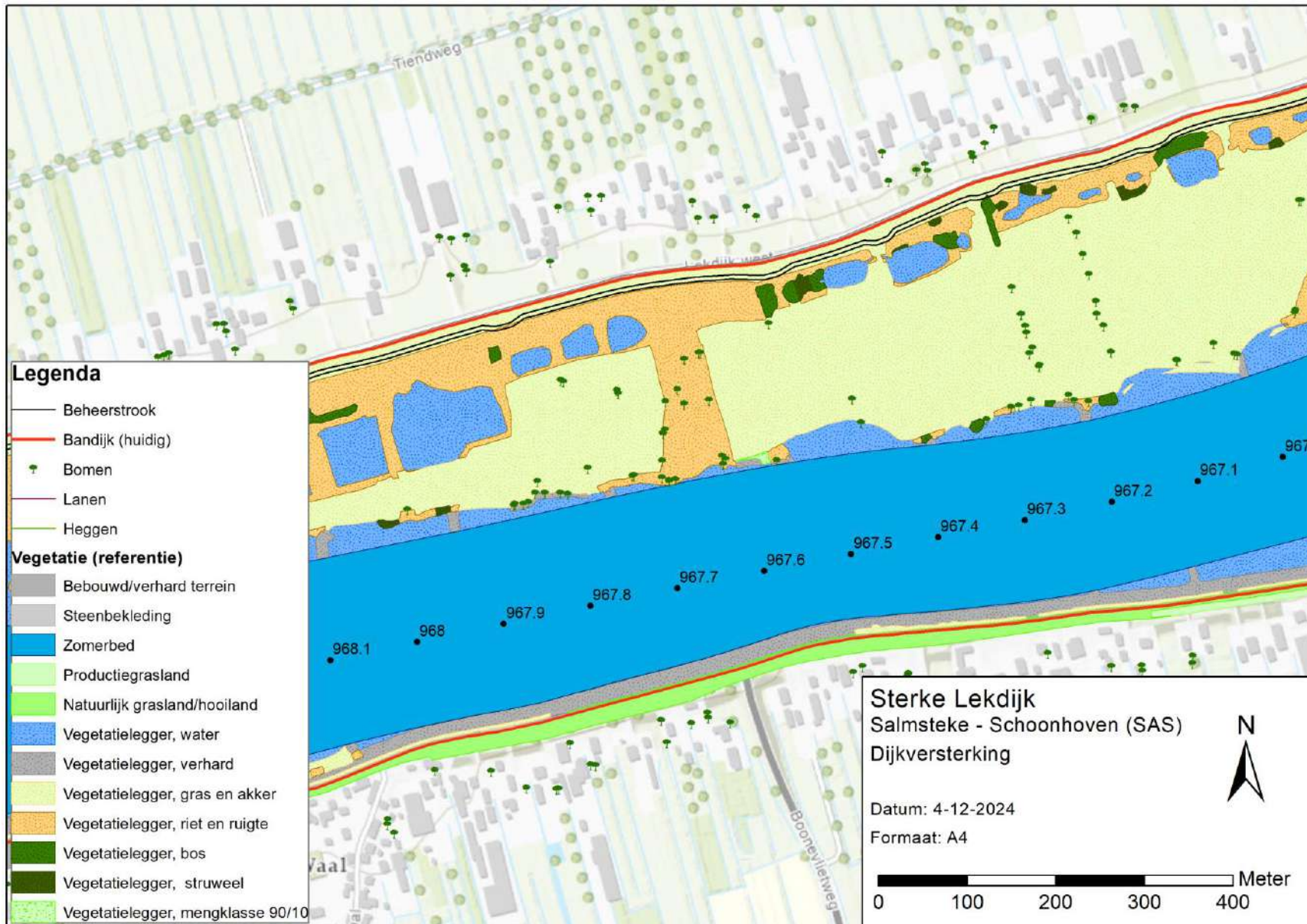
## **Bijlage 1 Landgebruik referentie en variant**

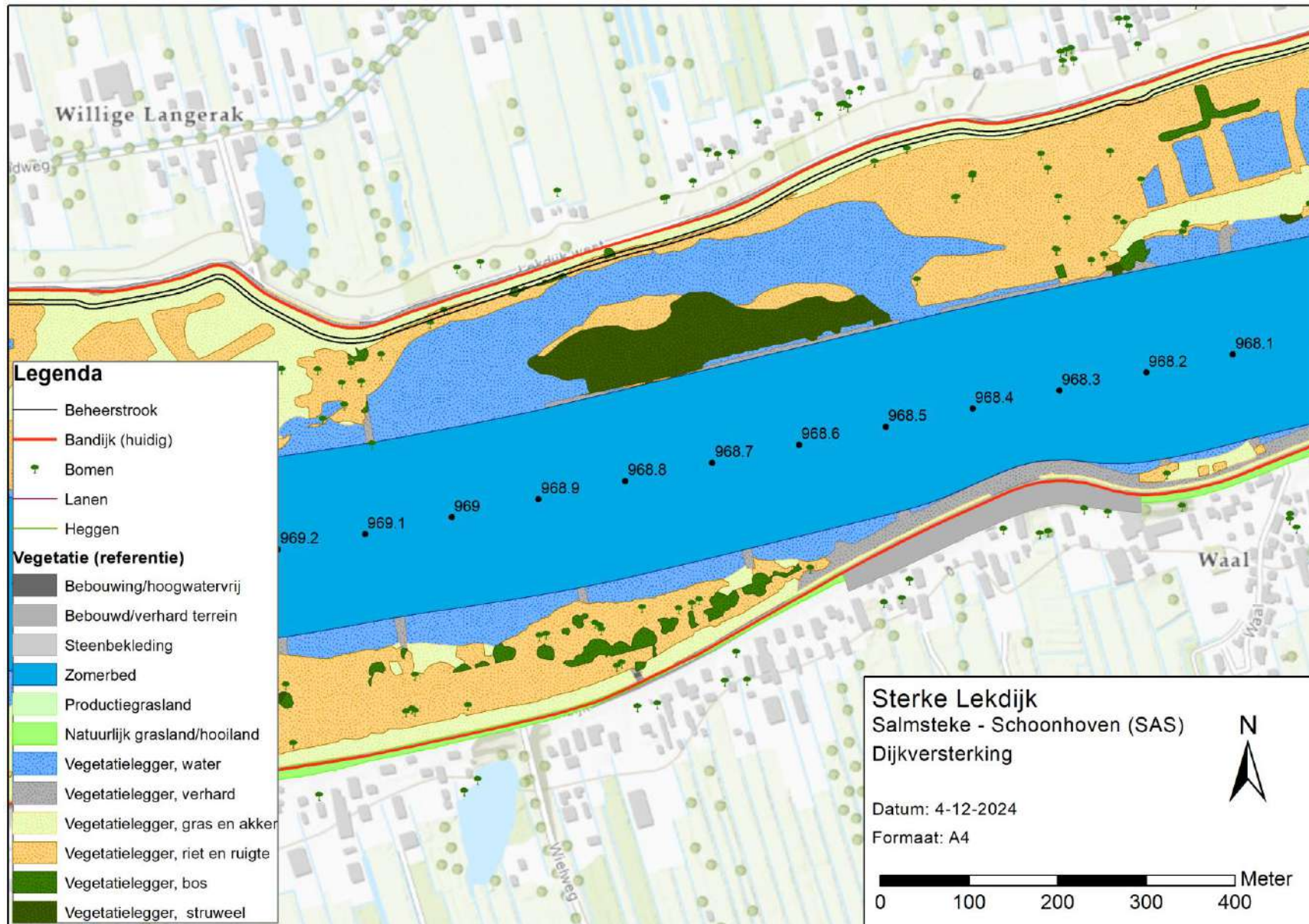


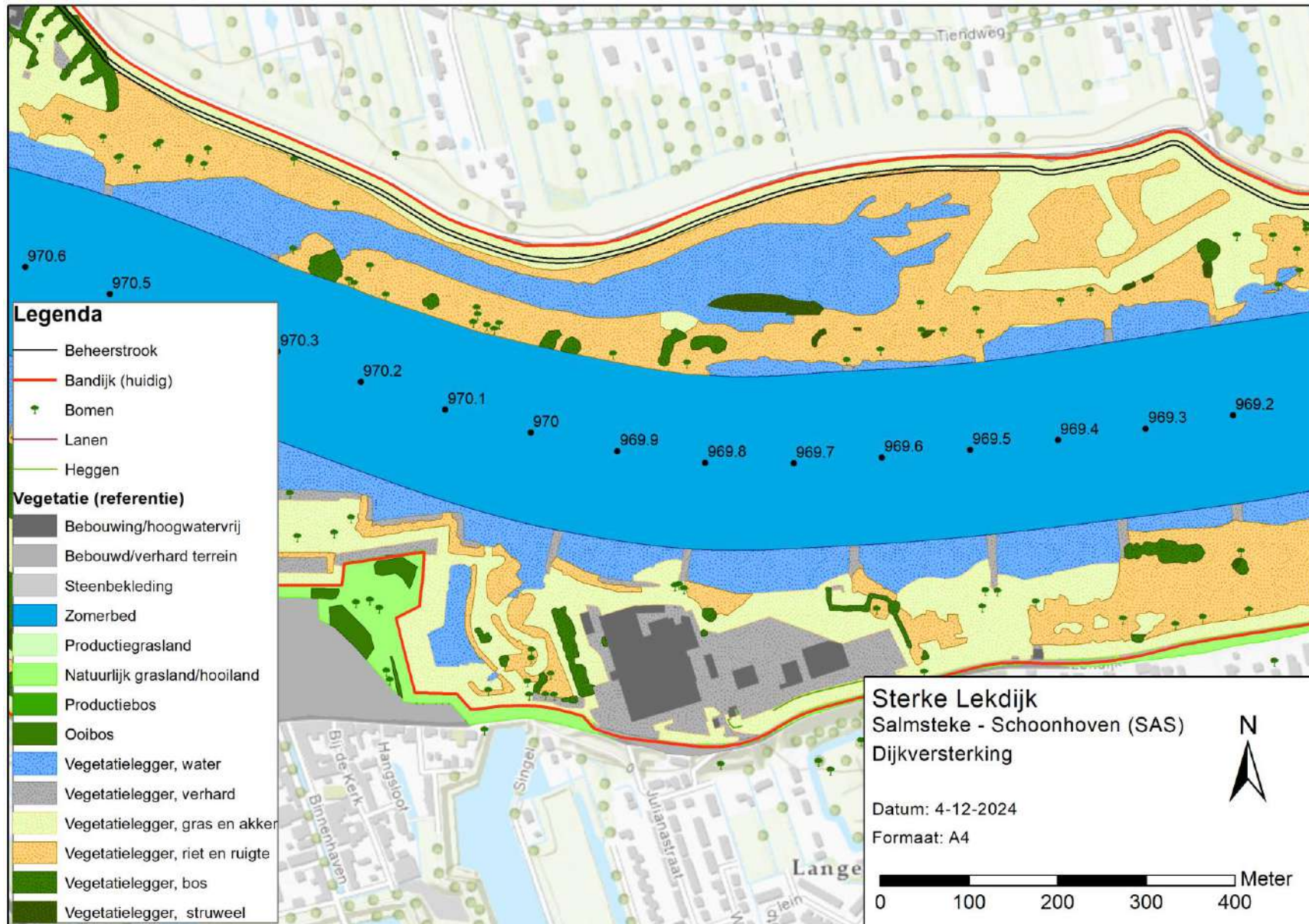


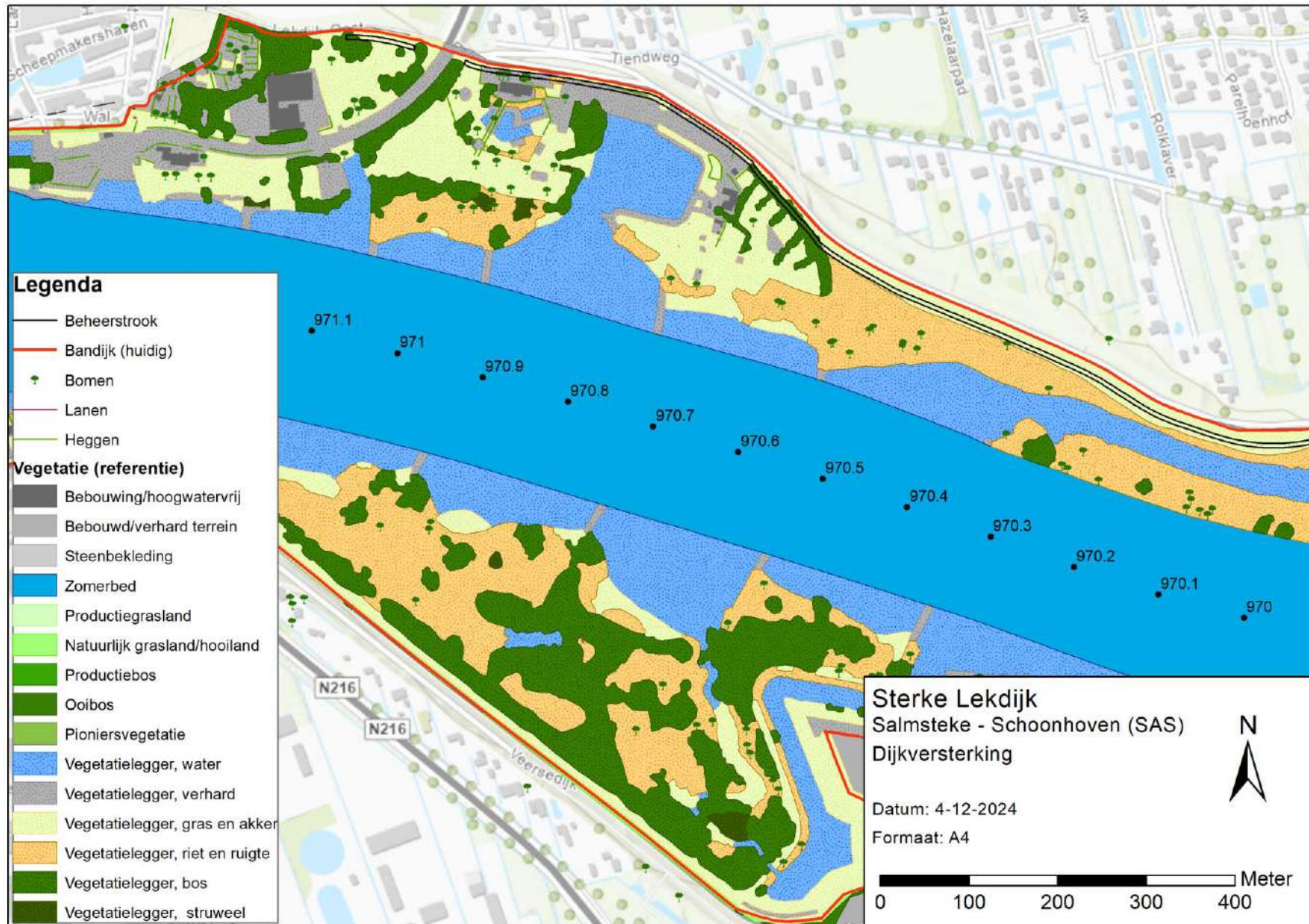


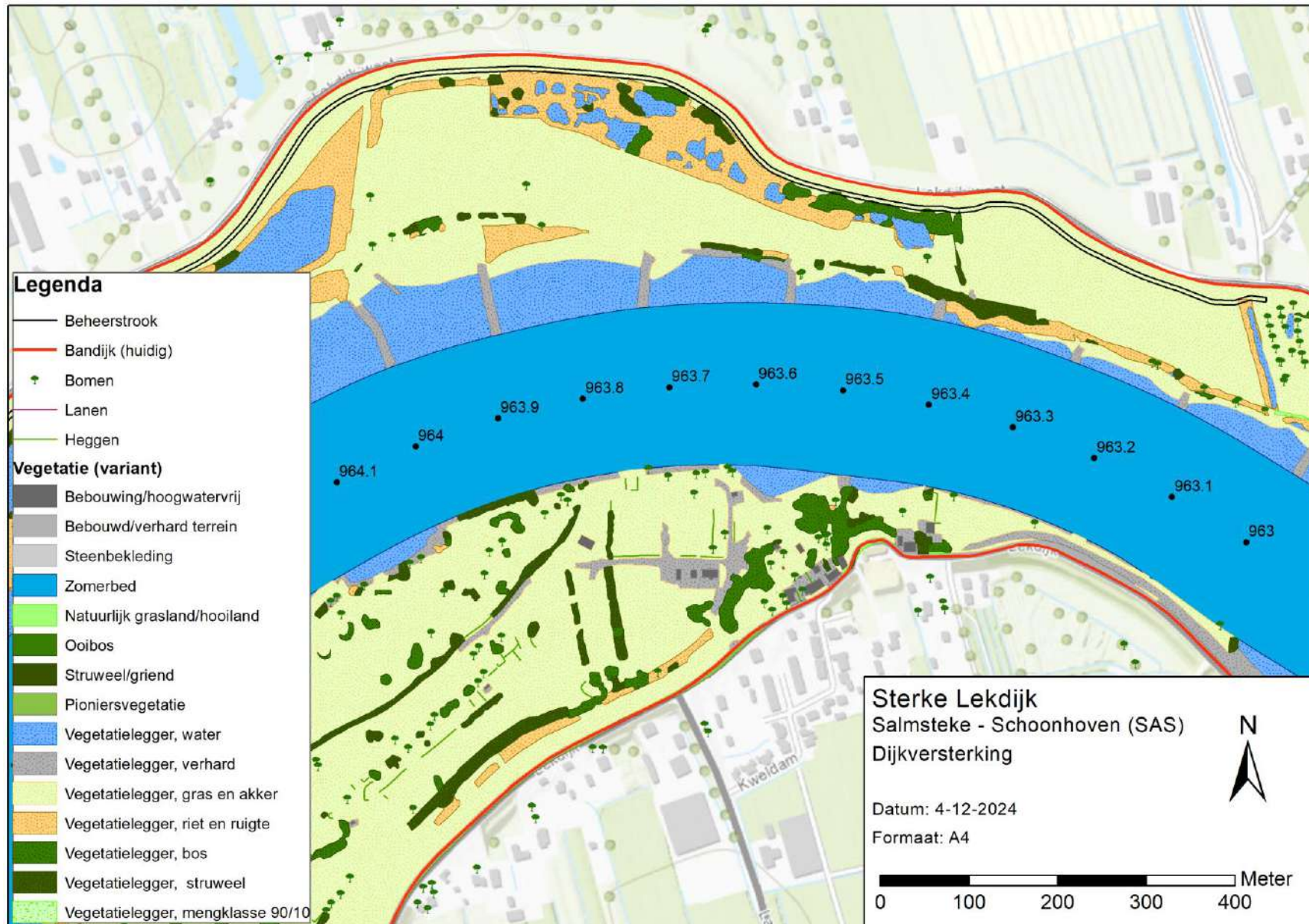


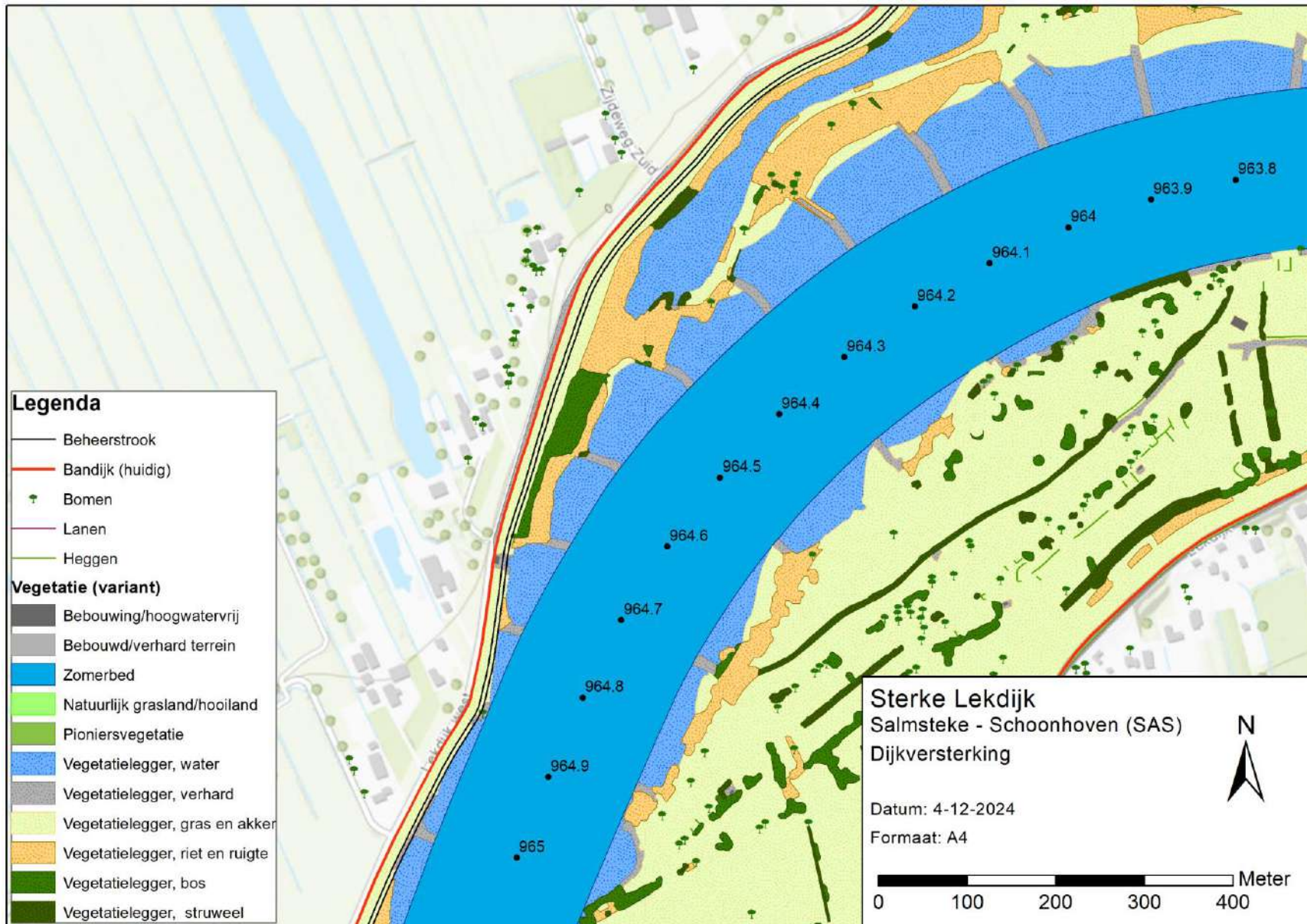


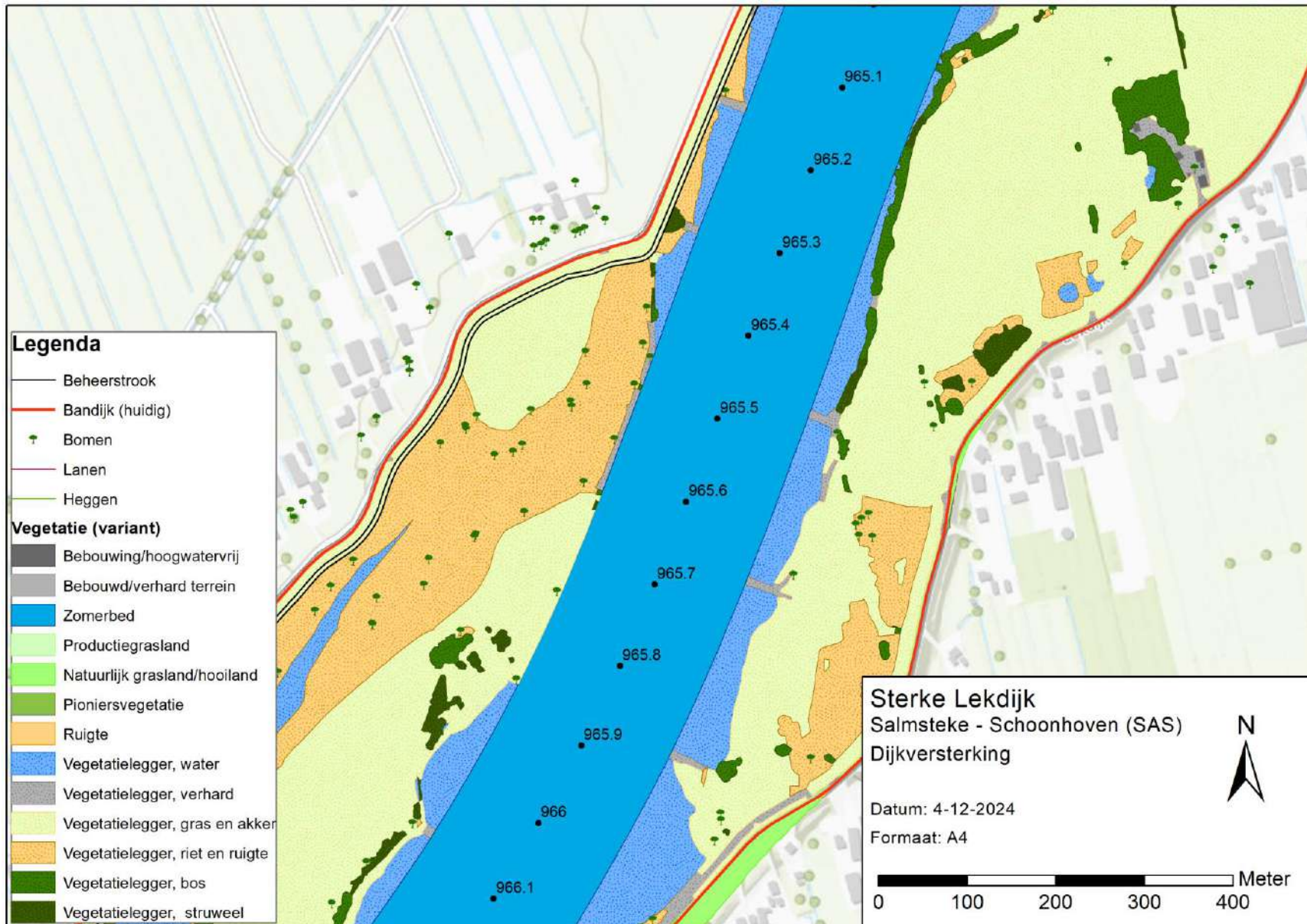


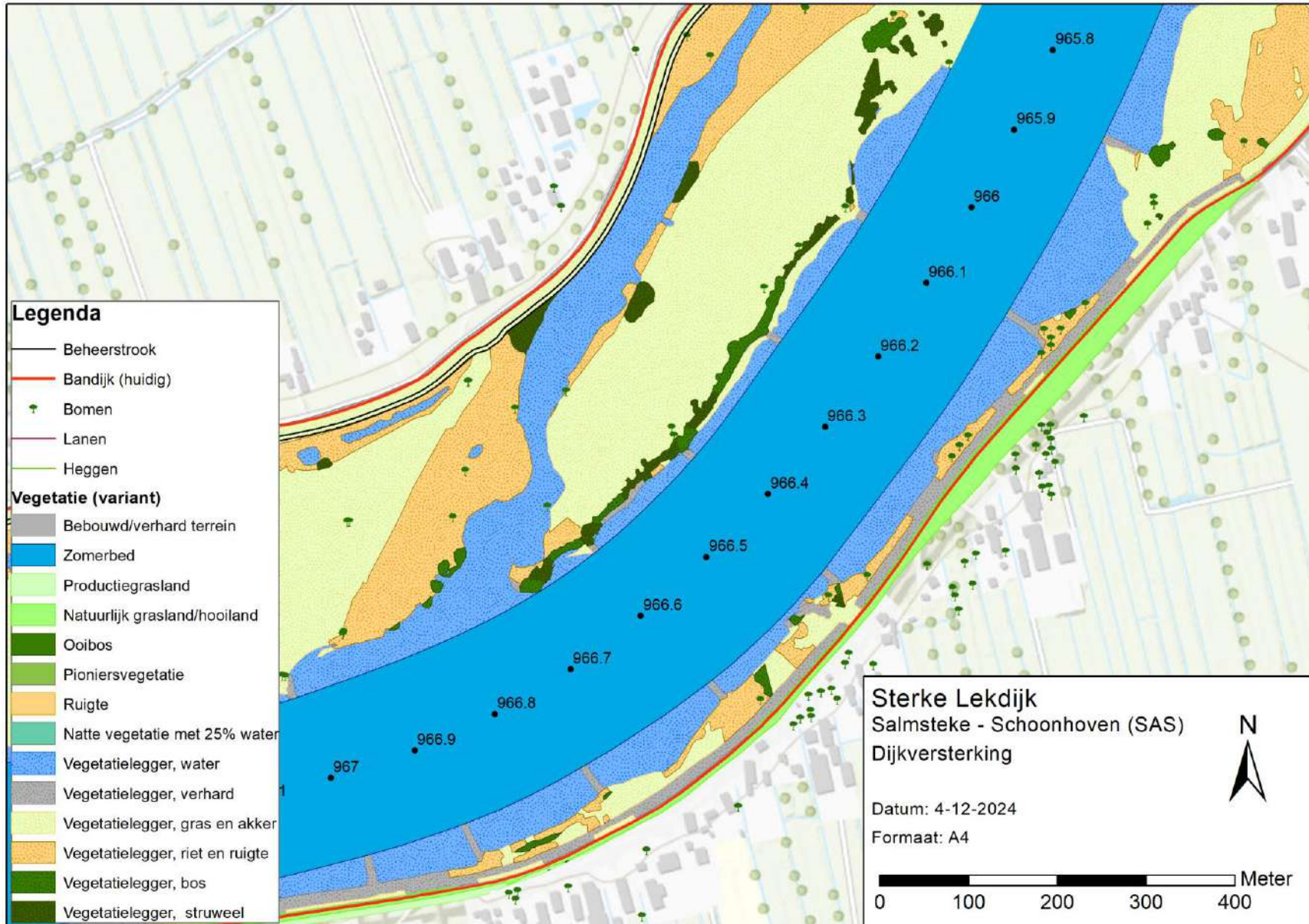


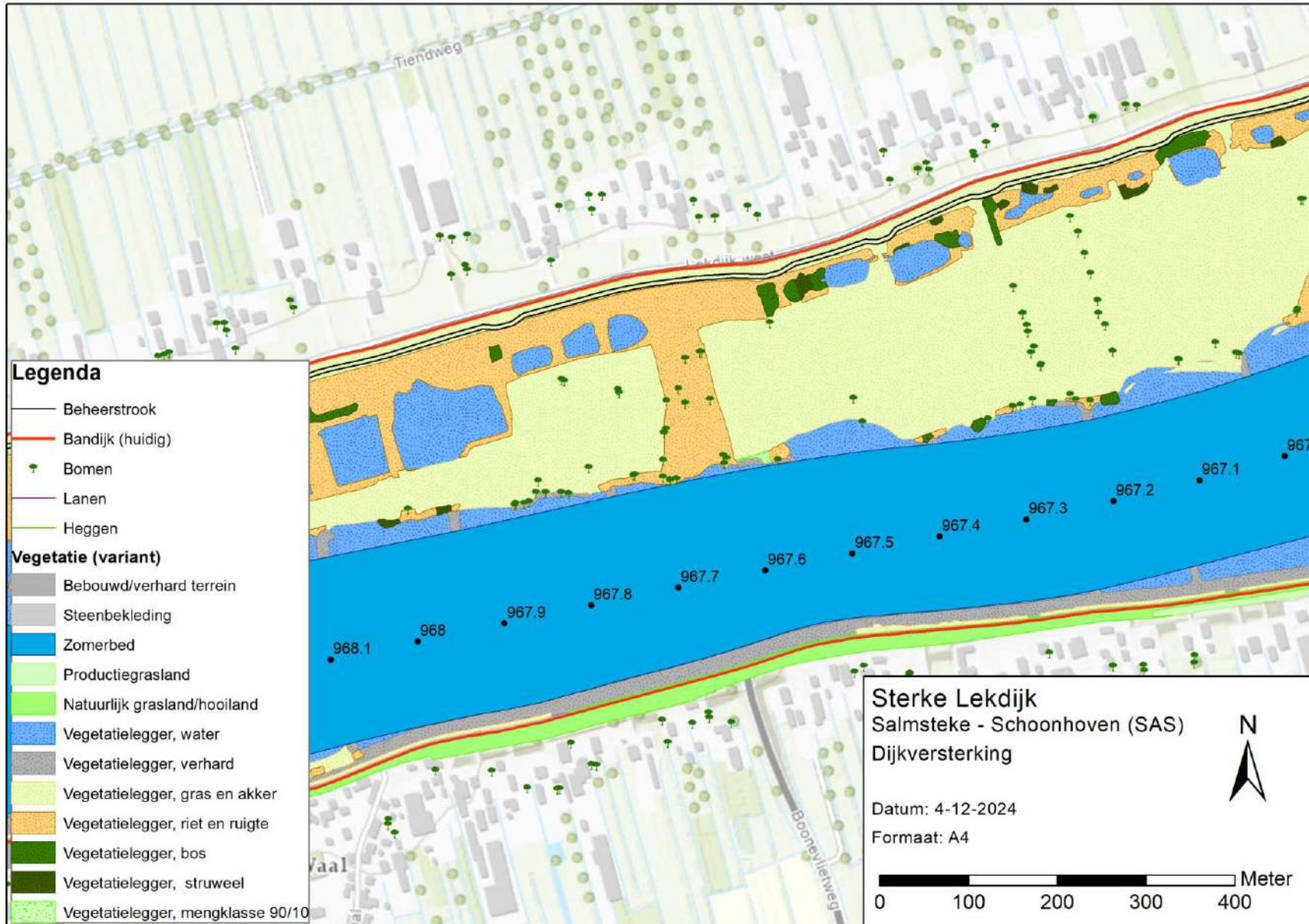


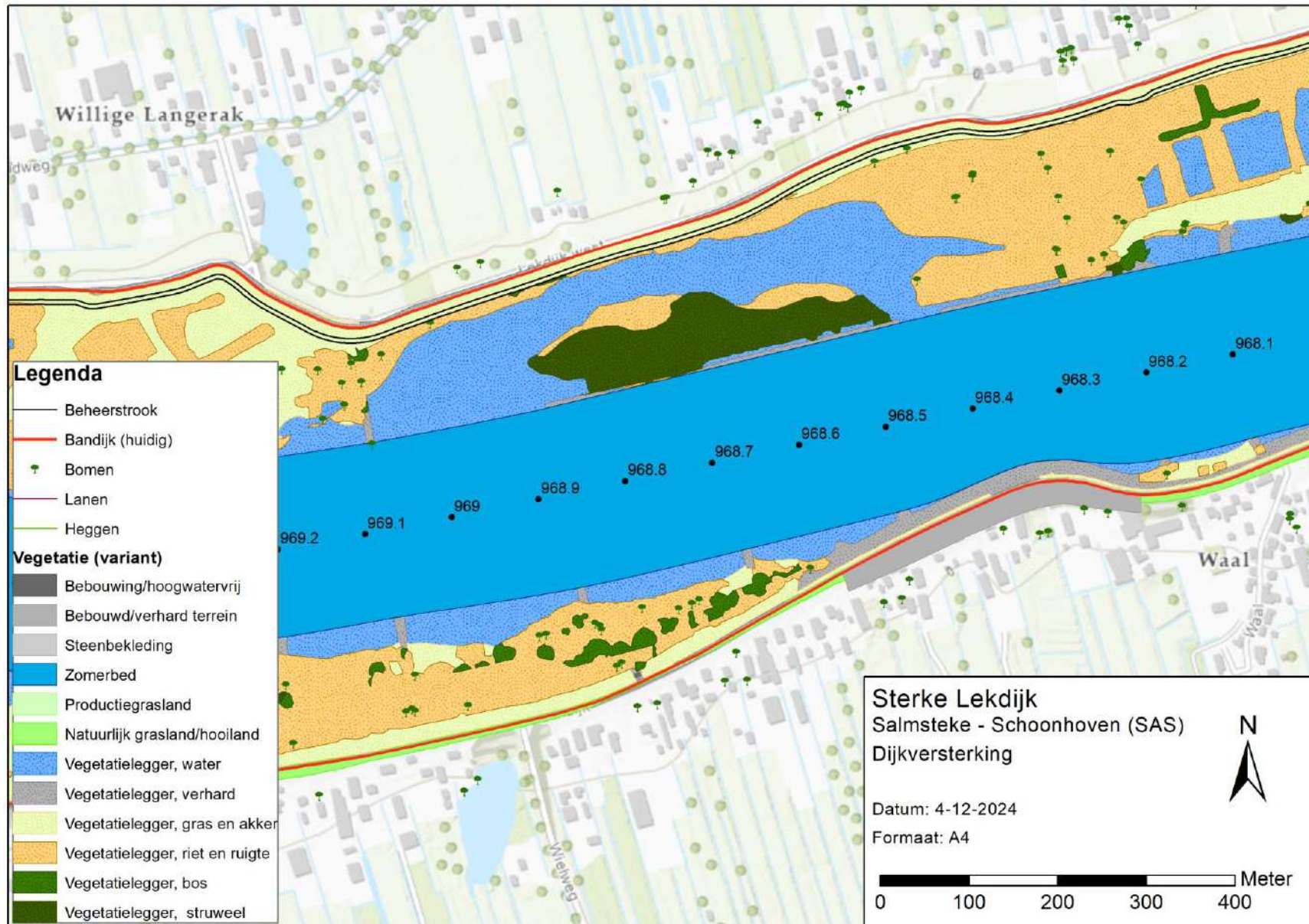


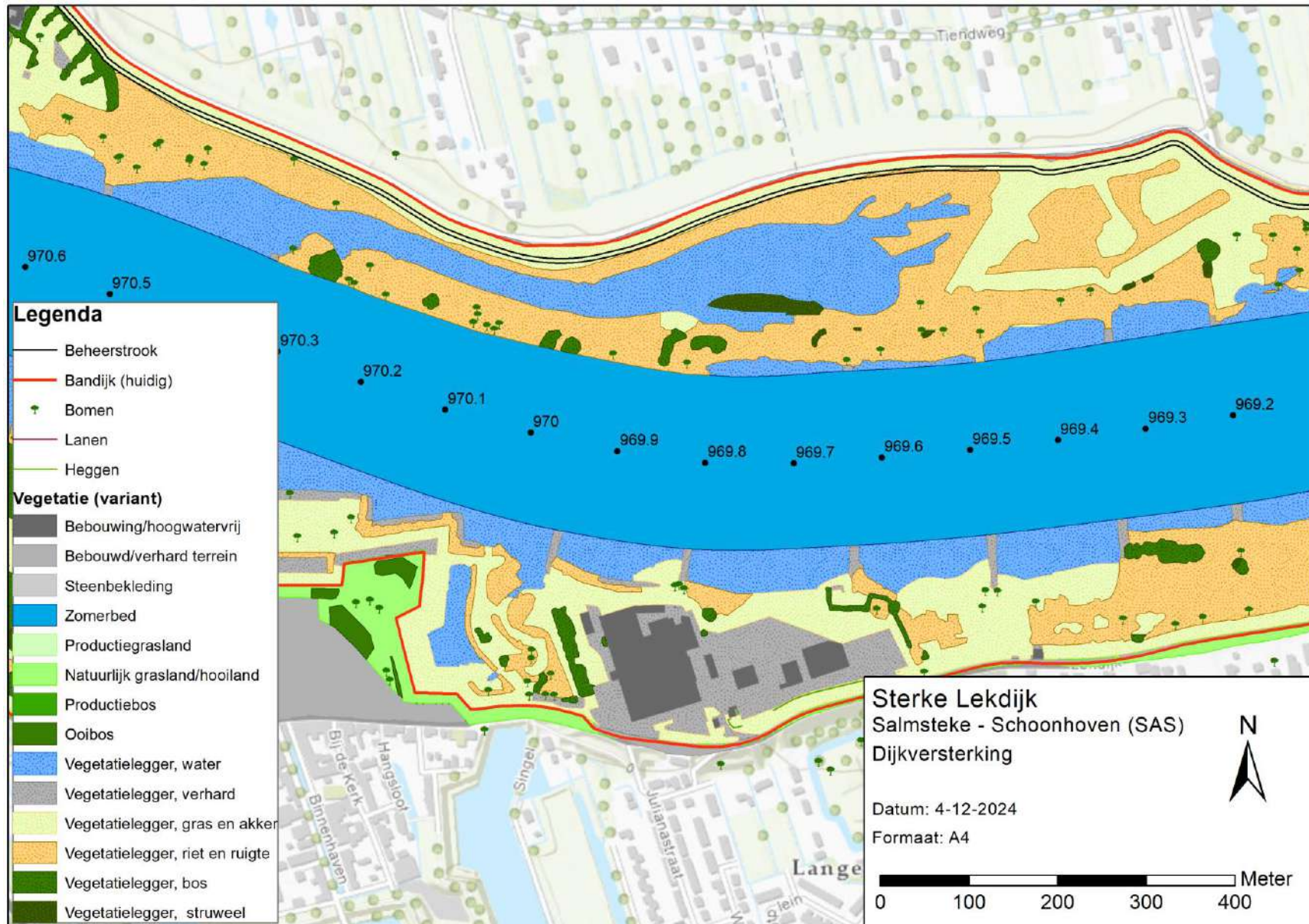


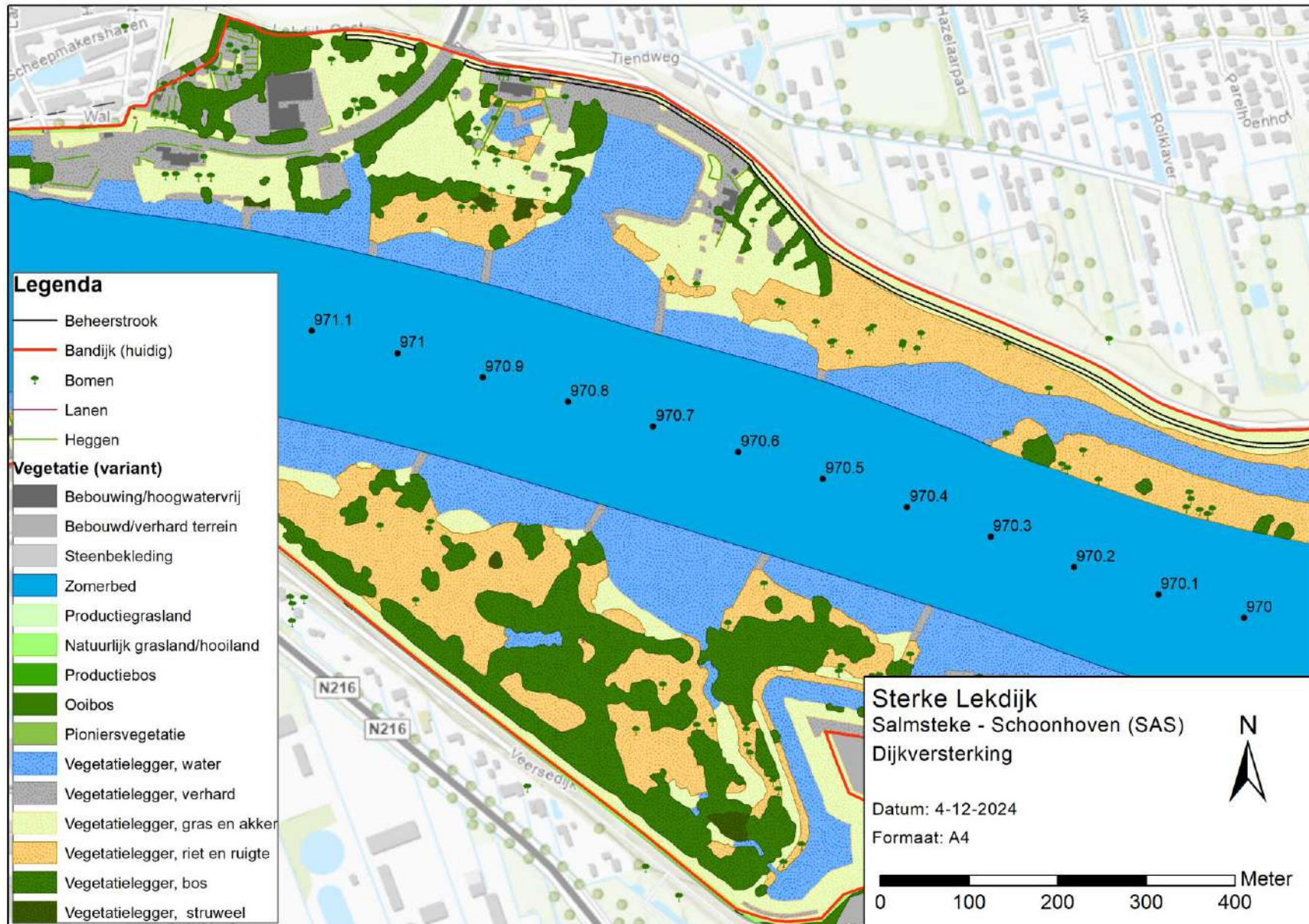












## Bijlage 2 Bodemhoogte en kades

In deze bijlage staan kaarten voor de bodemhoogte en de kades. De bodemhoogte is niet gewijzigd ten opzichte van de referentie. De afritten zijn als kades gemodelleerd. De kaarten zoomen in op de gewijzigde afritten.









## Bijlage 3 Fictieve verschuiving per dwarsprofiel

In onderstaande tabel staat de fictieve verschuiving per dwarsprofiel, plus de parameters die gebruikt zijn voor de berekening hiervan, waarbij geldt:

$$\Delta x = \frac{\text{nieuwe kruinhoogte} - \text{maaieldhoogte}}{\text{netto oppervlakte versterking}}$$

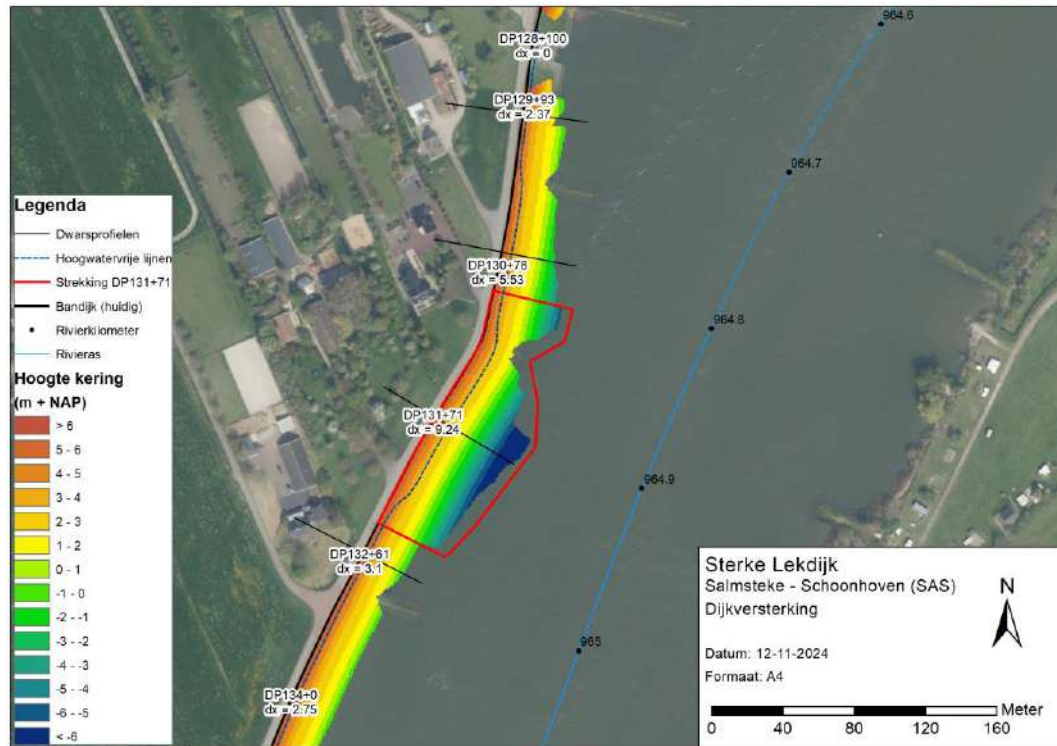
De afstand in de tweede kolom is de afstand langs de primaire kering, gemeten vanaf het begin van het projectgebied. Omdat het eerste deel (Polder de Wiel) is komen te vervallen, begint deze afstand niet op nul.

Profiel	Afstand [km]	Nieuwe kruinhoogte [mNAP]	Maaiveldhoogte [mNAP]	Opp. ontgraven [m <sup>2</sup> ]	Opp. aanvullen [m <sup>2</sup> ]	Netto opp. [m <sup>2</sup> ]	$\Delta x$ [m]
DP129+93	2,18	6,09	2,29	0,65	9,65	9,00	2,37
DP130+78	2,27	6,14	2,24	0,00	21,52	21,52	5,53
DP131+71	2,36	6,09	2,35	0,00	57,54	57,54	15,38 <sup>1)</sup>
DP132+61	2,47	6,15	2,67	0,95	11,73	10,78	3,10
DP134+0	2,59	6,31	3,21	0,00	8,52	8,52	2,75
DP135+0	2,67	6,18	2,43	0,00	10,07	10,07	2,68
DP135+67	2,77	6,10	2,65	0,35	2,39	2,04	0,59
DP137+0	2,91	6,22	2,13	0,00	3,73	3,73	0,91
DP138+42	3,03	5,98	1,82	0,00	3,08	3,08	0,74
DP139+40	3,11	6,05	1,43	0,00	3,64	3,64	0,79
DP140+0	3,19	5,93	1,57	0,00	4,90	4,90	1,12
DP141+0	3,27	5,92	1,24	0,00	7,21	7,21	1,54
DP141+70	3,37	5,92	1,41	0,00	6,12	6,12	1,36
DP143+0	3,48	6,08	1,70	0,02	8,32	8,30	1,90
DP144+0	3,60	5,89	0,75	0,05	17,57	17,52	3,41
DP145+24	3,69	5,92	0,84	0,09	20,32	20,23	3,99
DP145+88	3,76	5,93	1,51	0,07	22,51	22,44	5,07
DP146+67	3,86	6,39	1,91	0,00	9,35	9,35	2,09
DP147+82	3,97	6,16	1,52	0,00	9,19	9,19	1,98
DP149+0	4,08	6,13	1,35	0,00	8,02	8,02	1,68
DP150+0	4,19	6,03	0,94	0,00	7,05	7,05	1,39
DP151+13	4,29	6,08	1,28	0,00	6,53	6,53	1,36
DP152+0	4,39	5,94	1,78	1,25	1,80	0,55	0,13
DP153+24	4,50	5,96	1,50	0,66	2,34	1,68	0,38
DP154+13	4,59	5,92	1,62	1,46	0,94	-0,52	0,00
DP155+14	4,69	5,91	1,49	1,02	14,34	13,32	3,01
DP156+0	4,78	5,91	1,91	0,67	1,05	0,38	0,09
DP157+4	4,88	5,91	1,72	2,84	0,37	-2,47	0,00

Profiel	Afstand [km]	Nieuwe kruinhoogte [mNAP]	Maaiveldhoogte [mNAP]	Opp. ontgraven [m <sup>2</sup> ]	Opp. aanvullen [m <sup>2</sup> ]	Netto opp. [m <sup>2</sup> ]	$\Delta x$ [m]
DP158+0	4,98	5,89	1,54	1,35	0,94	-0,41	0,00
DP159+0	5,08	5,87	1,51	0,09	3,22	3,13	0,72
DP159+100	5,16	5,85	1,43	0,18	3,93	3,75	0,85
DP160+67	5,27	5,84	1,43	0,50	3,32	2,82	0,64
DP162+11	5,38	5,80	1,39	3,80	0,79	-3,01	0,00
DP163+0	5,48	5,79	1,47	1,04	1,64	0,60	0,14
DP164+0	5,58	5,73	1,48	0,00	5,81	5,81	1,37
DP165+0	5,67	5,78	1,43	0,00	5,97	5,97	1,37
DP165+88	5,75	5,91	1,53	0,00	6,32	6,32	1,44
DP166+63	5,84	6,06	1,43	0,00	7,23	7,23	1,56
DP167+74	5,96	5,77	1,06	0,02	12,27	12,25	2,60
DP169+0	6,07	5,79	1,81	0,04	3,75	3,71	0,93
DP170+0	6,15	5,83	1,19	0,00	11,92	11,92	2,57
DP185+0	7,70	5,67	2,31	0,16	0,97	0,81	0,24
DP186+0	7,81	5,57	3,04	0,08	0,97	0,89	0,35
DP187+25	7,90	5,50	4,01	0,01	0,60	0,59	0,39
DP187+79	7,99	5,47	3,71	0,02	0,78	0,76	0,43
DP189+3	8,11	5,45	3,61	0,00	2,24	2,24	1,21
DP190+25	8,21	5,38	3,41	0,04	0,90	0,86	0,44
DP191+0	8,25	5,35	2,55	0,00	0,00	0,00	0,00

1) Voor dit dwarsprofiel is later nog een correctie gemaakt en is een  $\Delta x$  van 9,24 gebruikt.

Voor dwarsprofiel 131+71 is nog een correctie gemaakt voor het oppervlak van de buitendijkse taludaanvulling. Bij dit dwarsprofiel, ter hoogte van de schaarlijk (zie Figuur 6-1), varieert de taludaanvulling sterk op korte afstand. Daarom is hier een gemiddelde aanvulling bepaald binnen de rode begrenzing uit Figuur 6-1, door het volume binnen deze strekking te delen door de lengte langs de bandijk van dit stuk. Uit gevoeligheidsberekeningen is gebleken dat dit leidt tot 0,1 mm minder opstuwing in bovenstroomse richting.



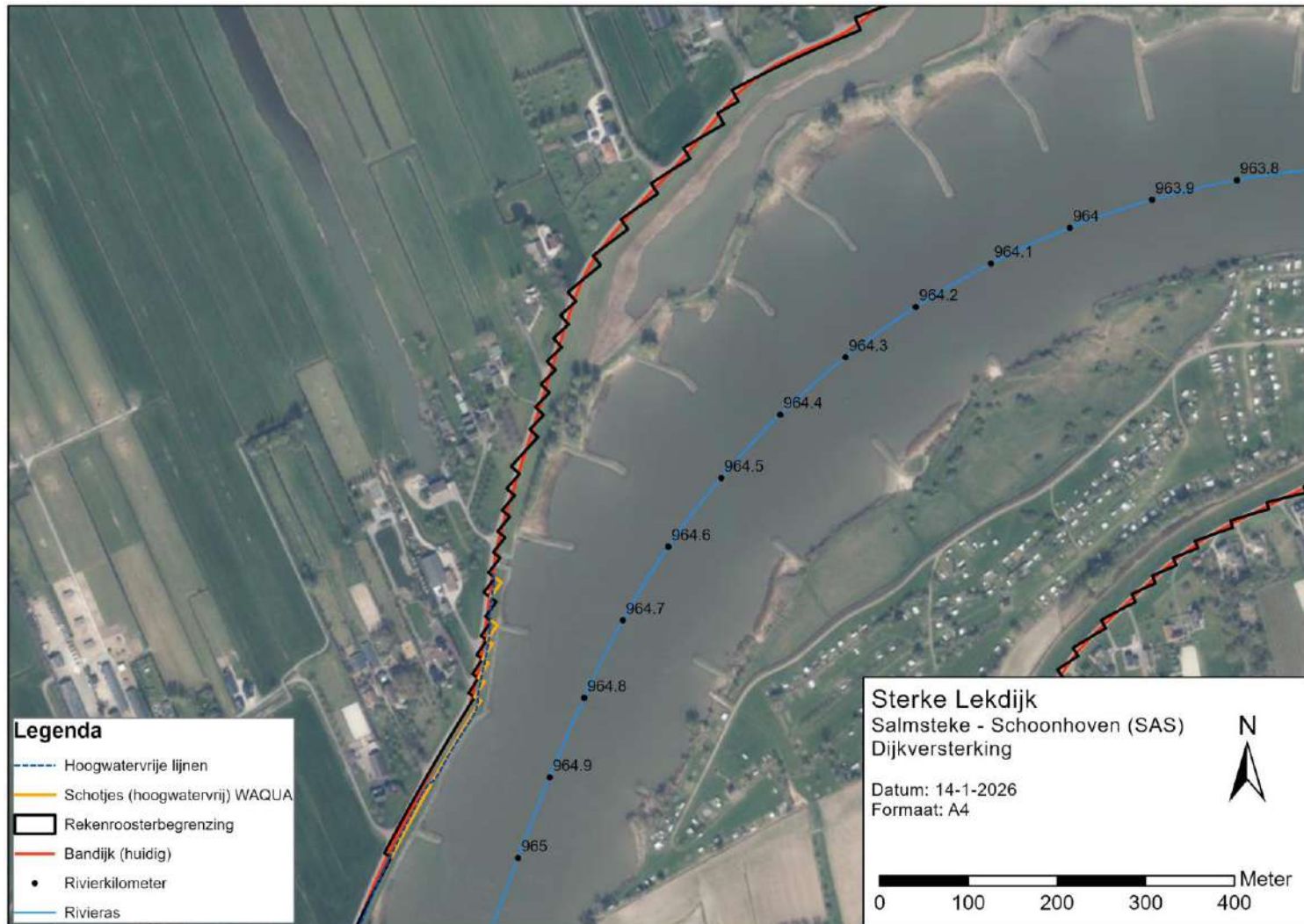
Figuur 6-1 Binnen de strekking van DP131+71 (weergegeven met de rode lijn) is het gemiddelde oppervlak bepaald van de taludaanvulling.

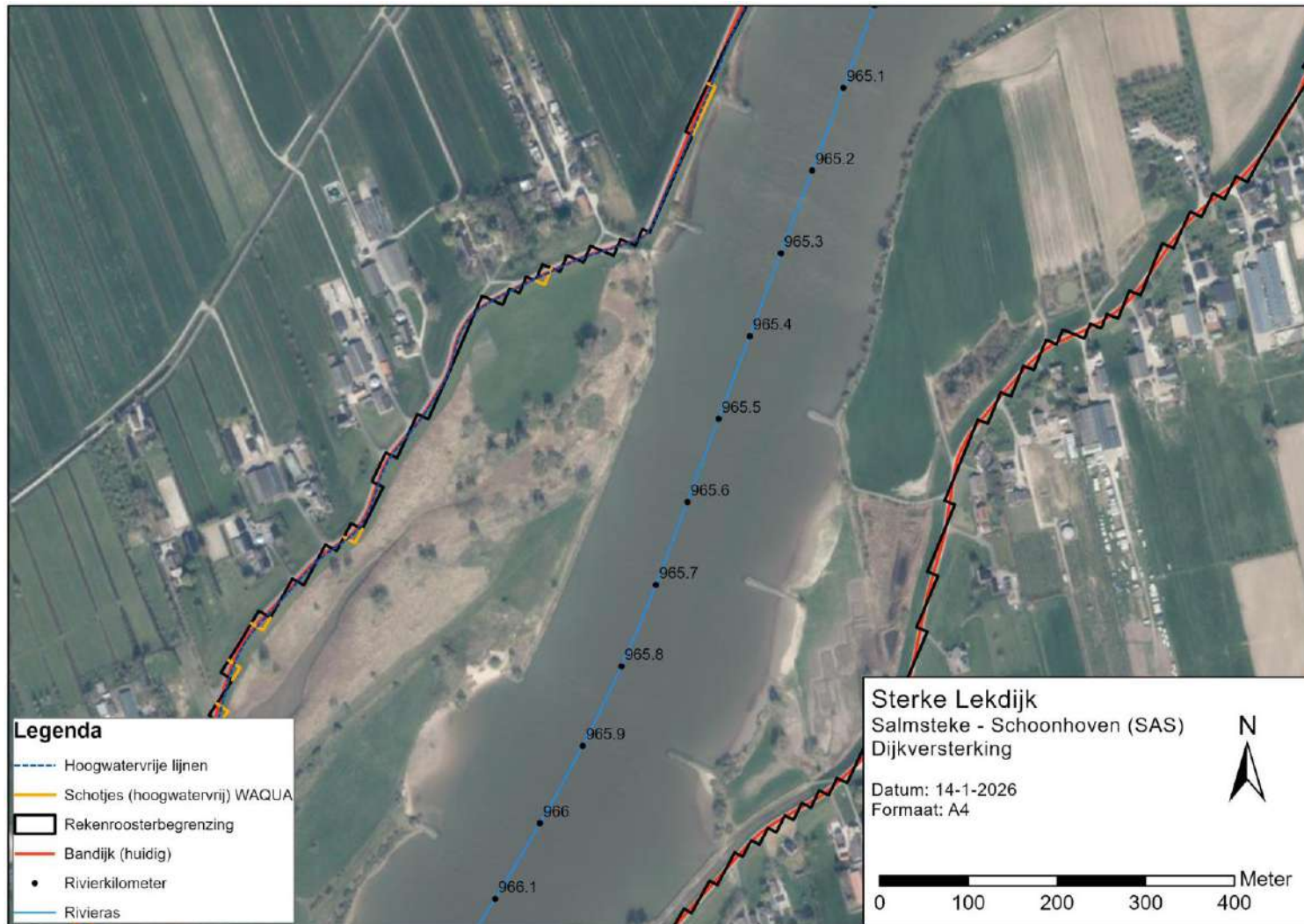
## Bijlage 4 Hoogwatervrije vlakken in WAQUA (schotjes)

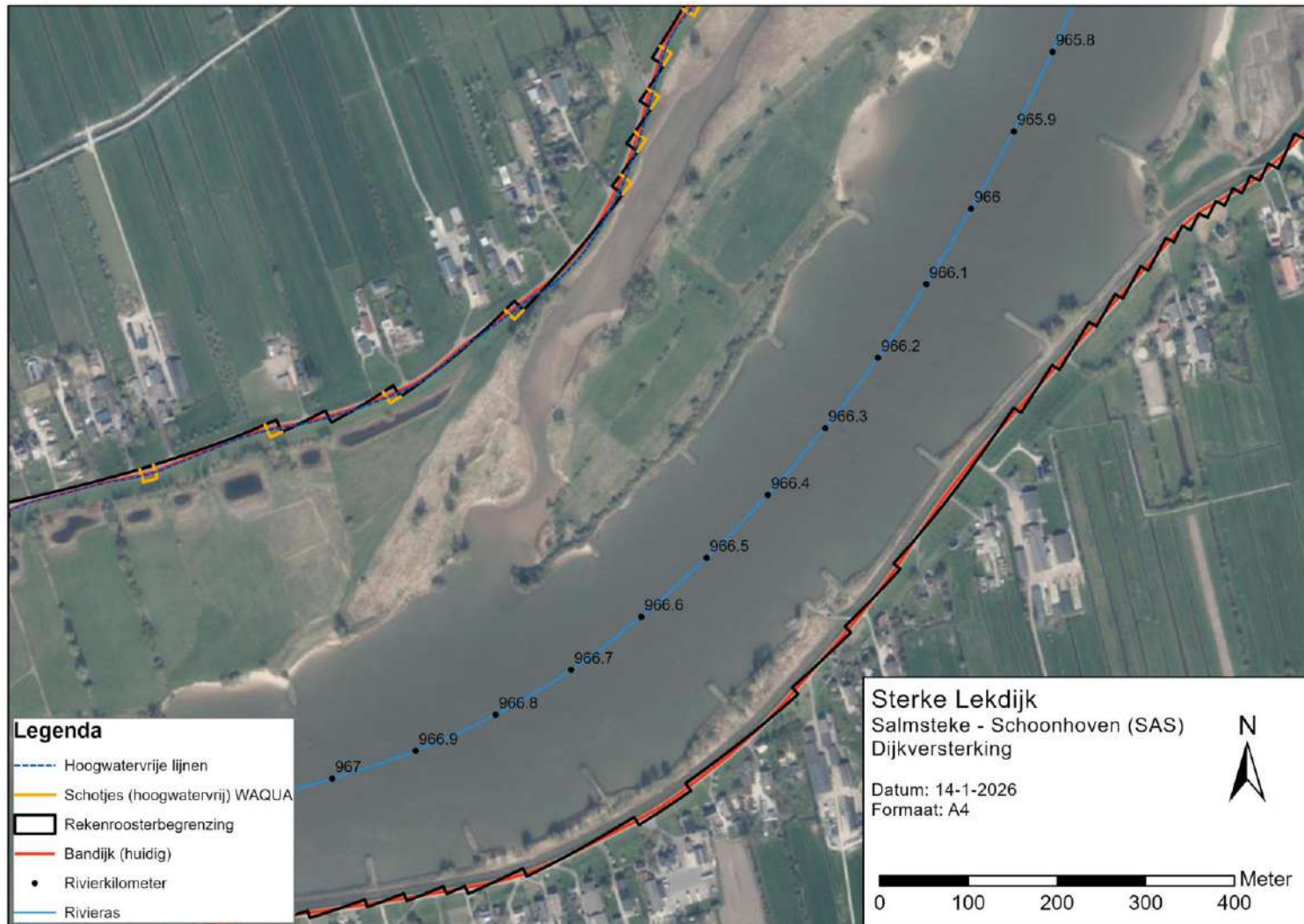
In de kaarten in deze bijlage is de volgende informatie weergegeven:

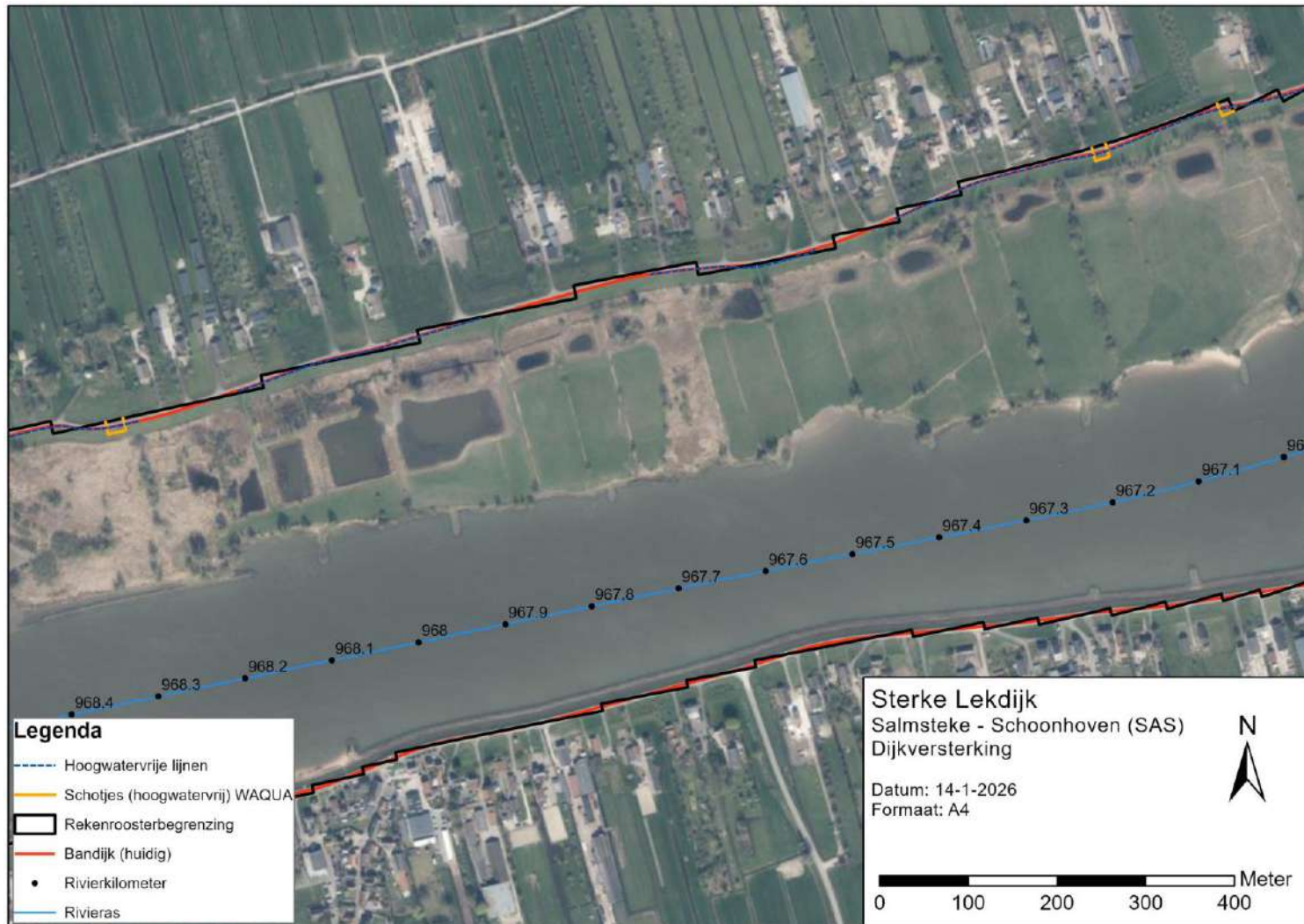
- De ligging van de hoogwatervrije lijnen in Baseline ten opzichte van de huidige buitenkruinlijn. De hoogwatervrije lijnen liggen per dwarsprofiel op een afstand van  $\Delta x$  van de huidige buitenkruinlijn.
- De locatie van de roostercellen die op basis van de hoogwatervrije lijnen worden dichtgezet met schotjes.

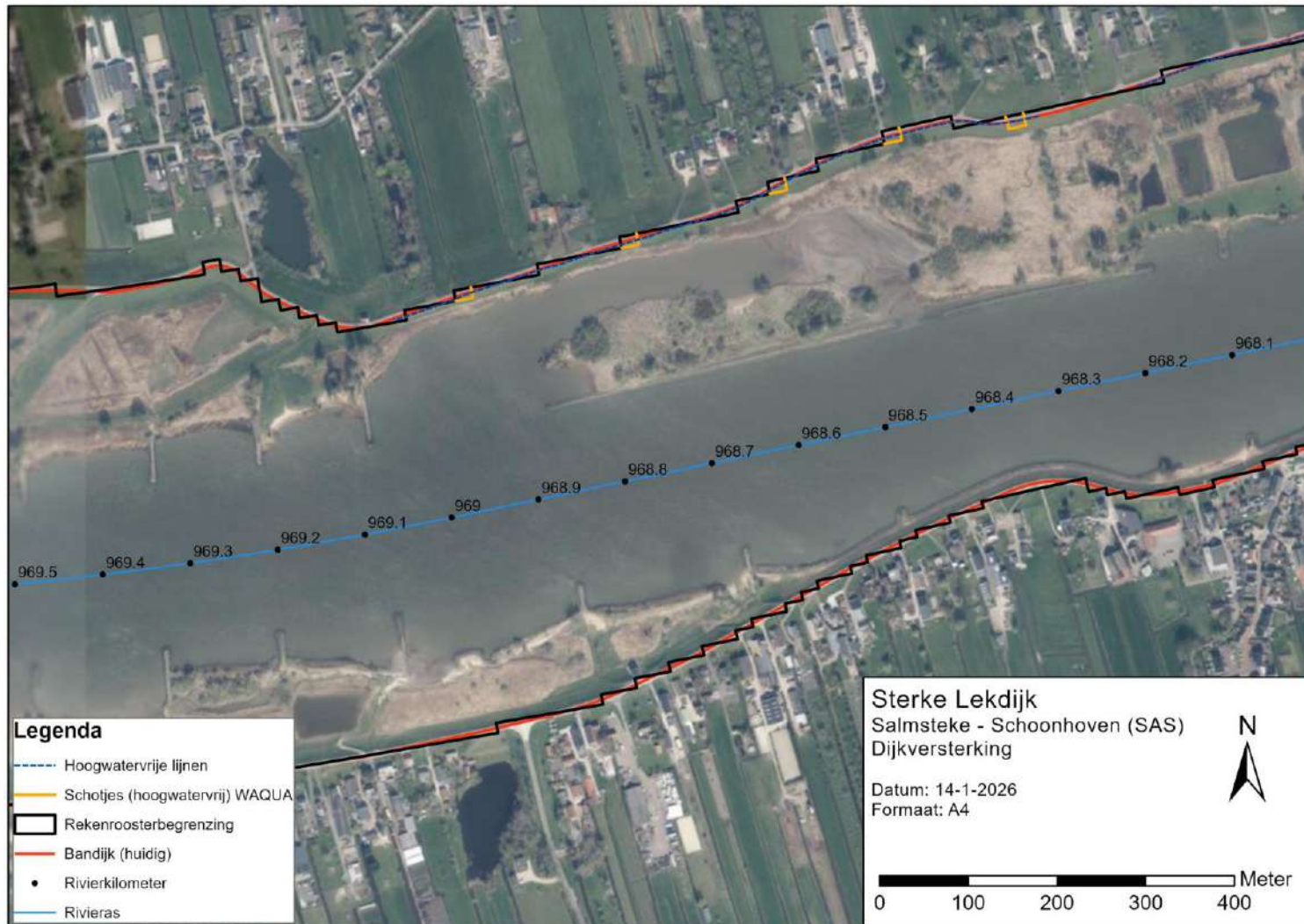
Het dichtzetten van roostercellen met schotjes is afhankelijk van de grootte van  $\Delta x$ , maar ook in zekere mate van het toeval door de ligging van de roostercellen ten opzichte van de hoogwatervrije lijnen. De kaarten in deze bijlage geven inzicht in de projectie van de hoogwatervrije lijnen op het WAQUA-rekenrooster.

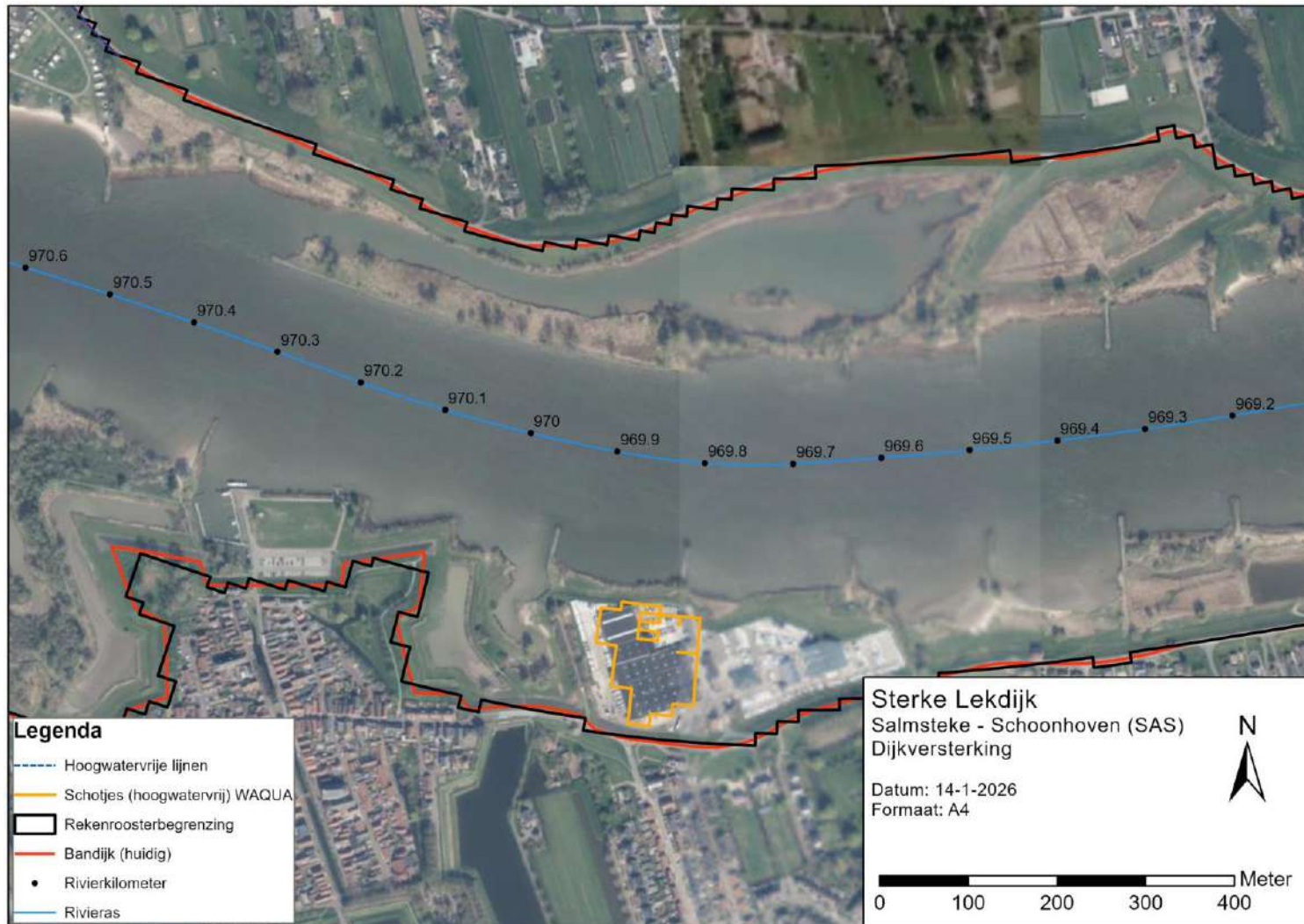


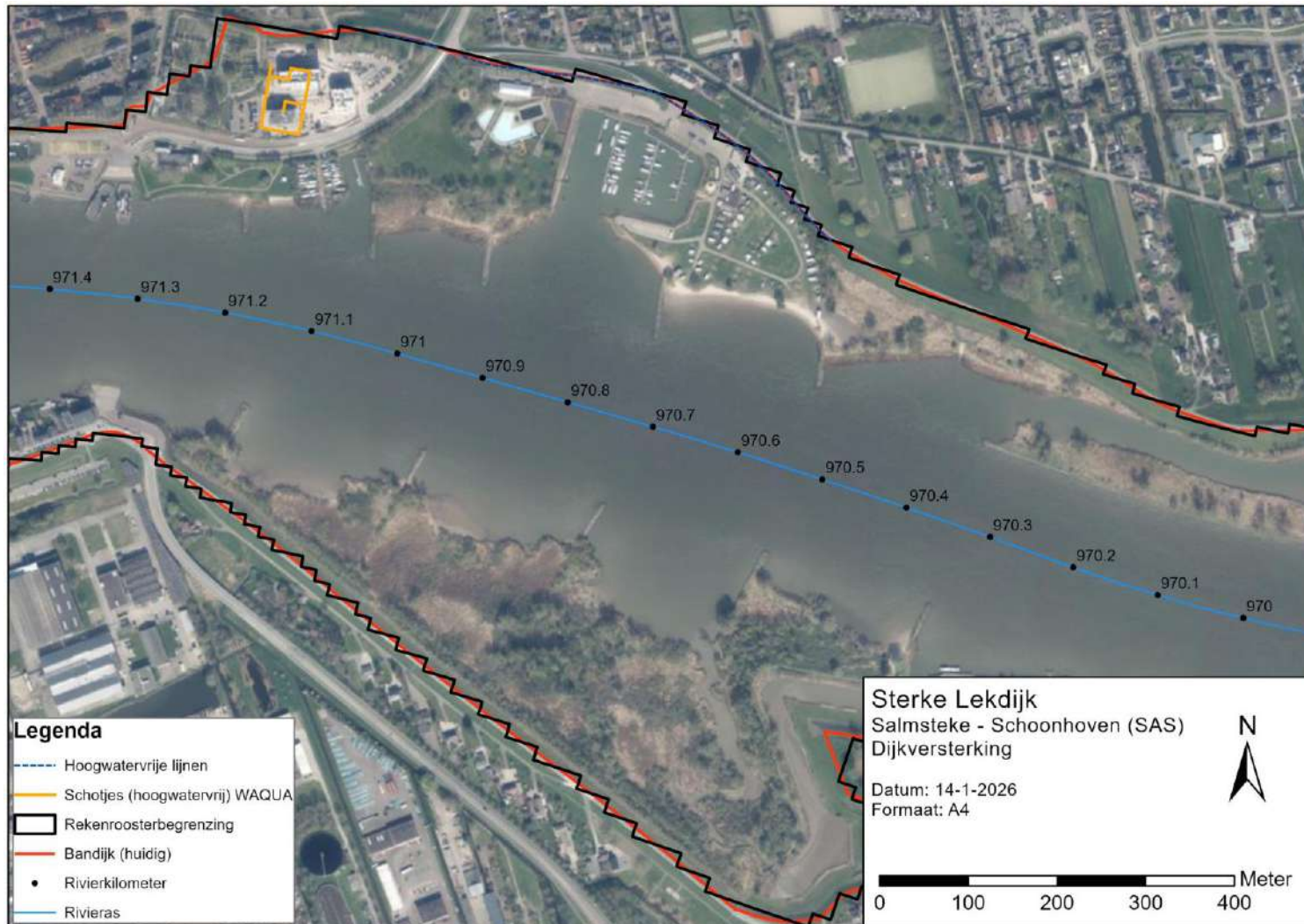




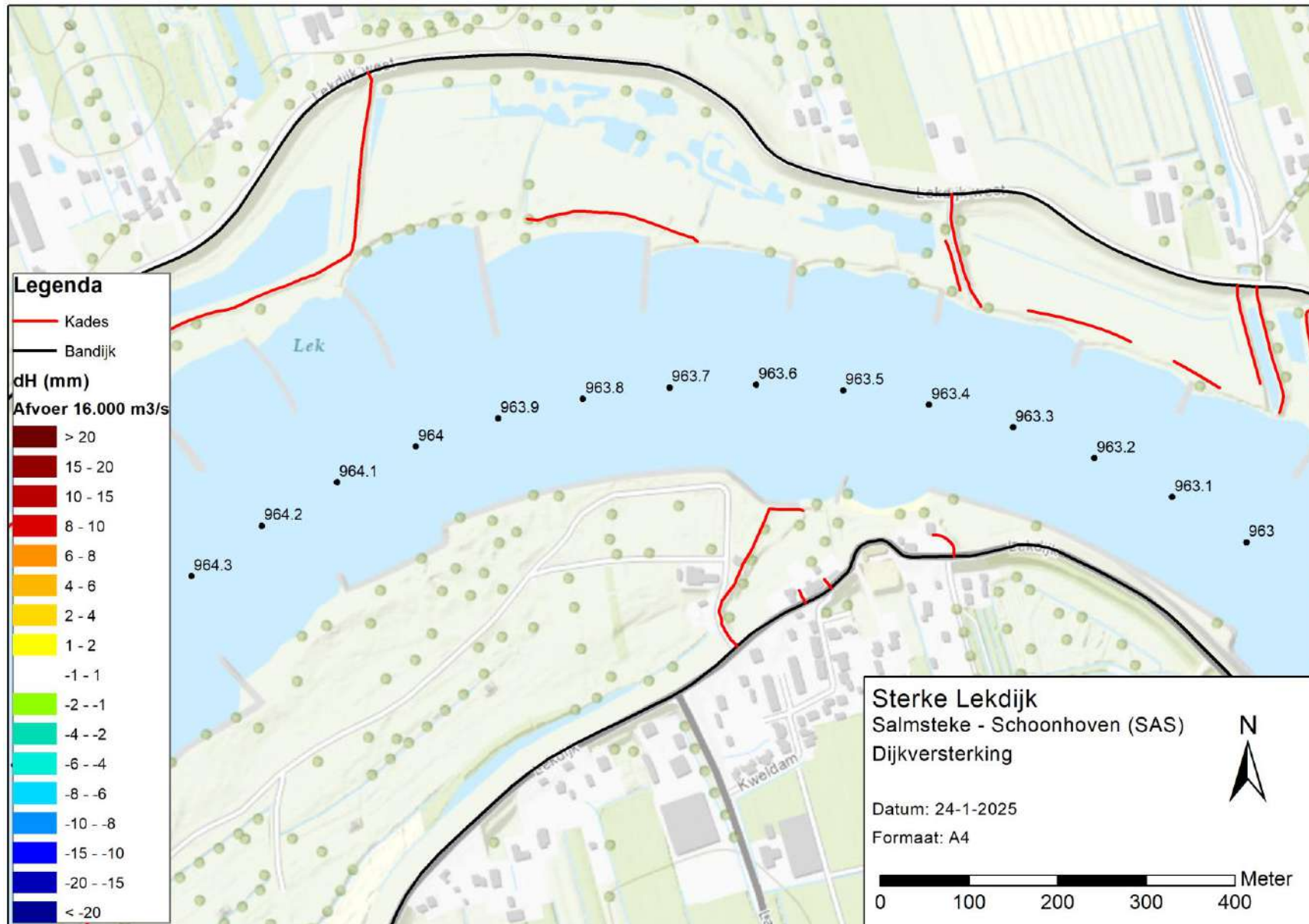


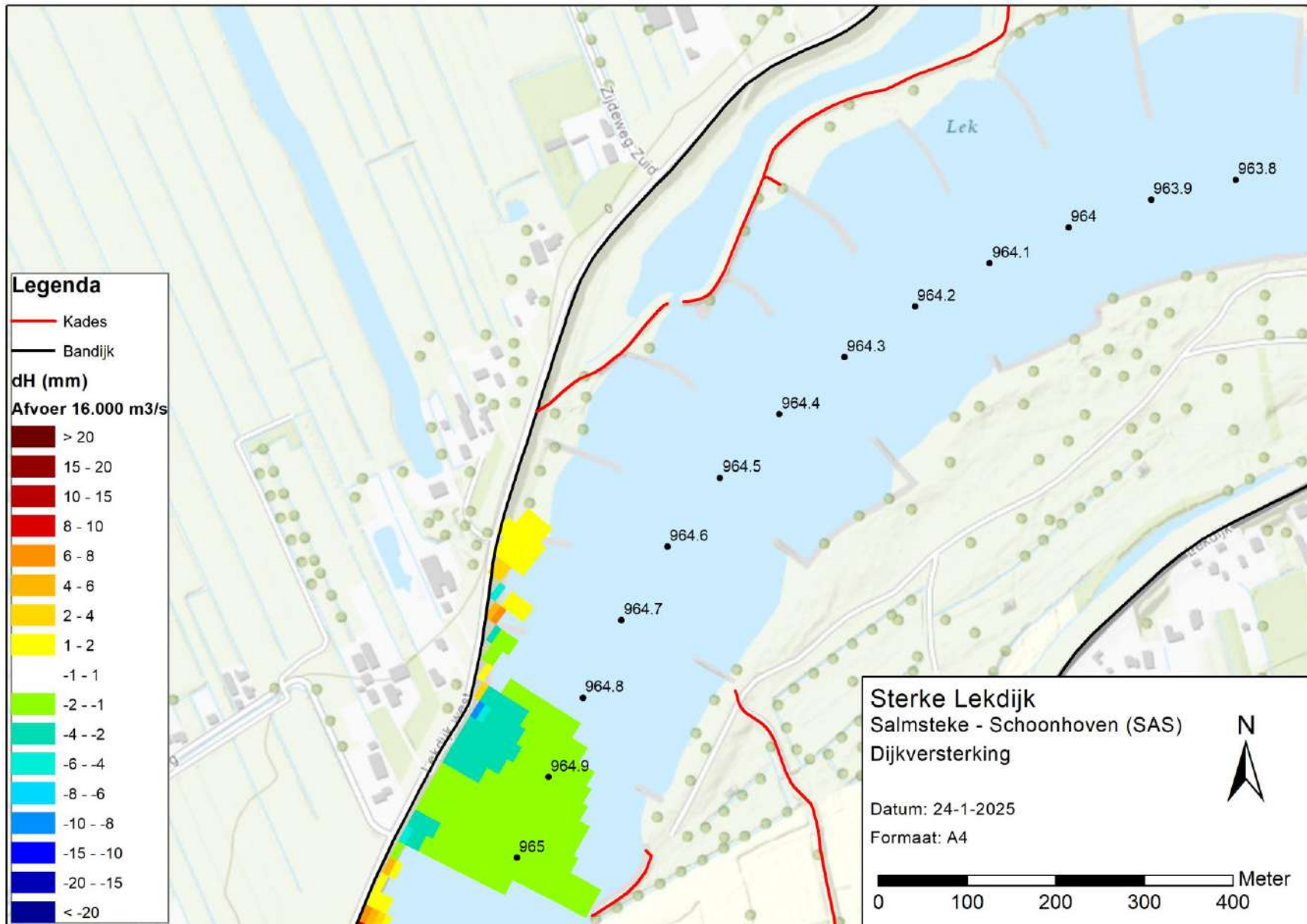


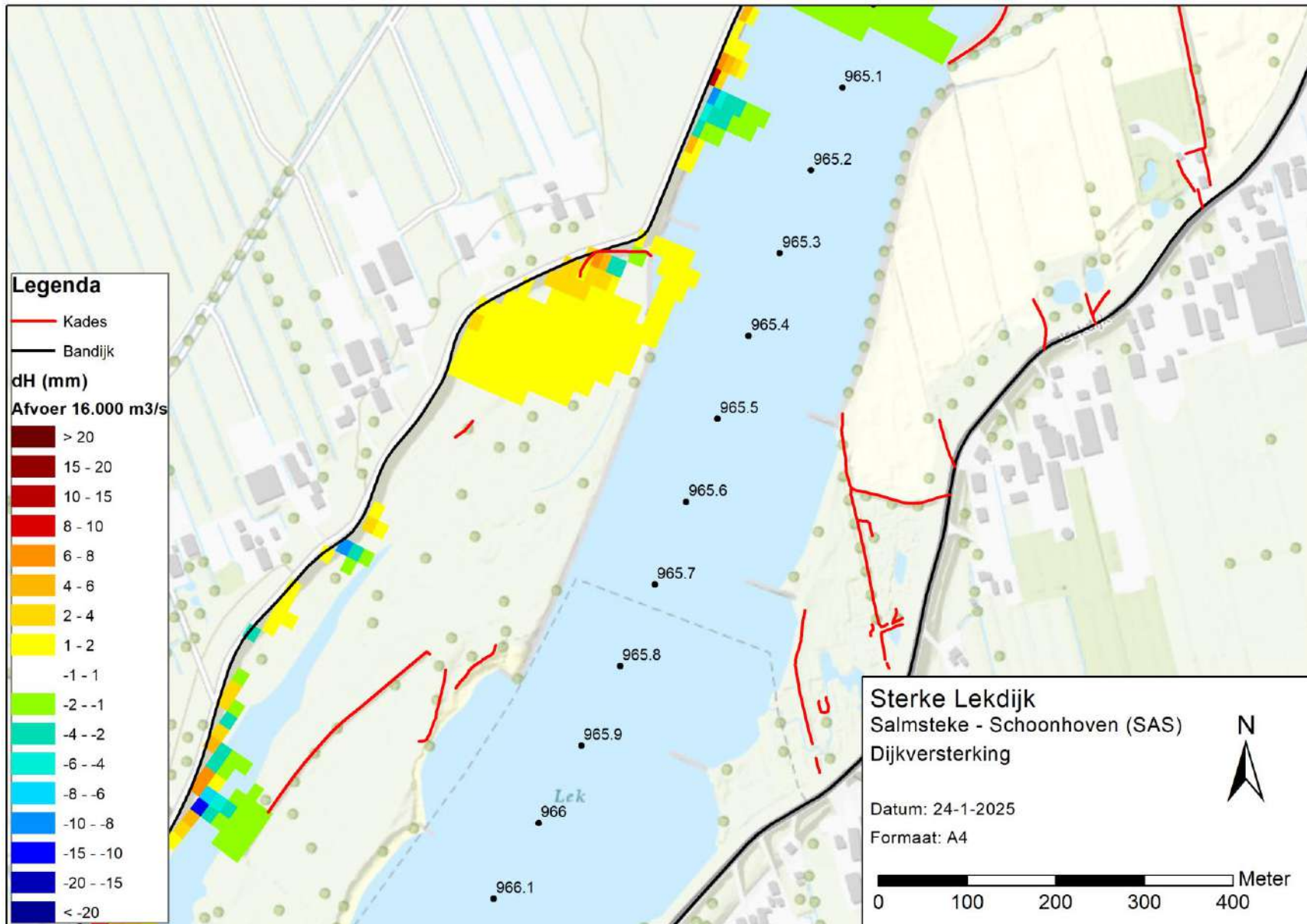


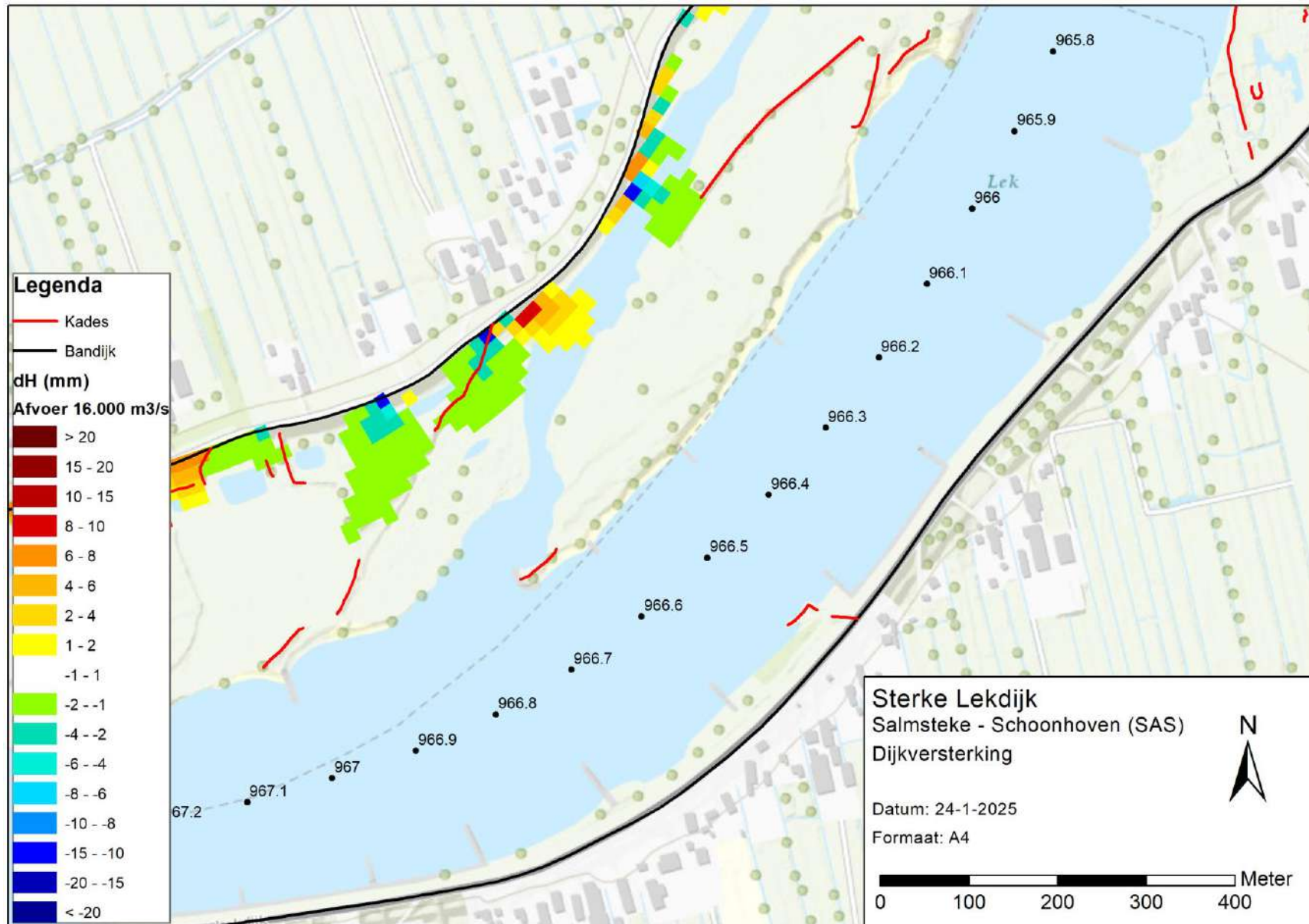


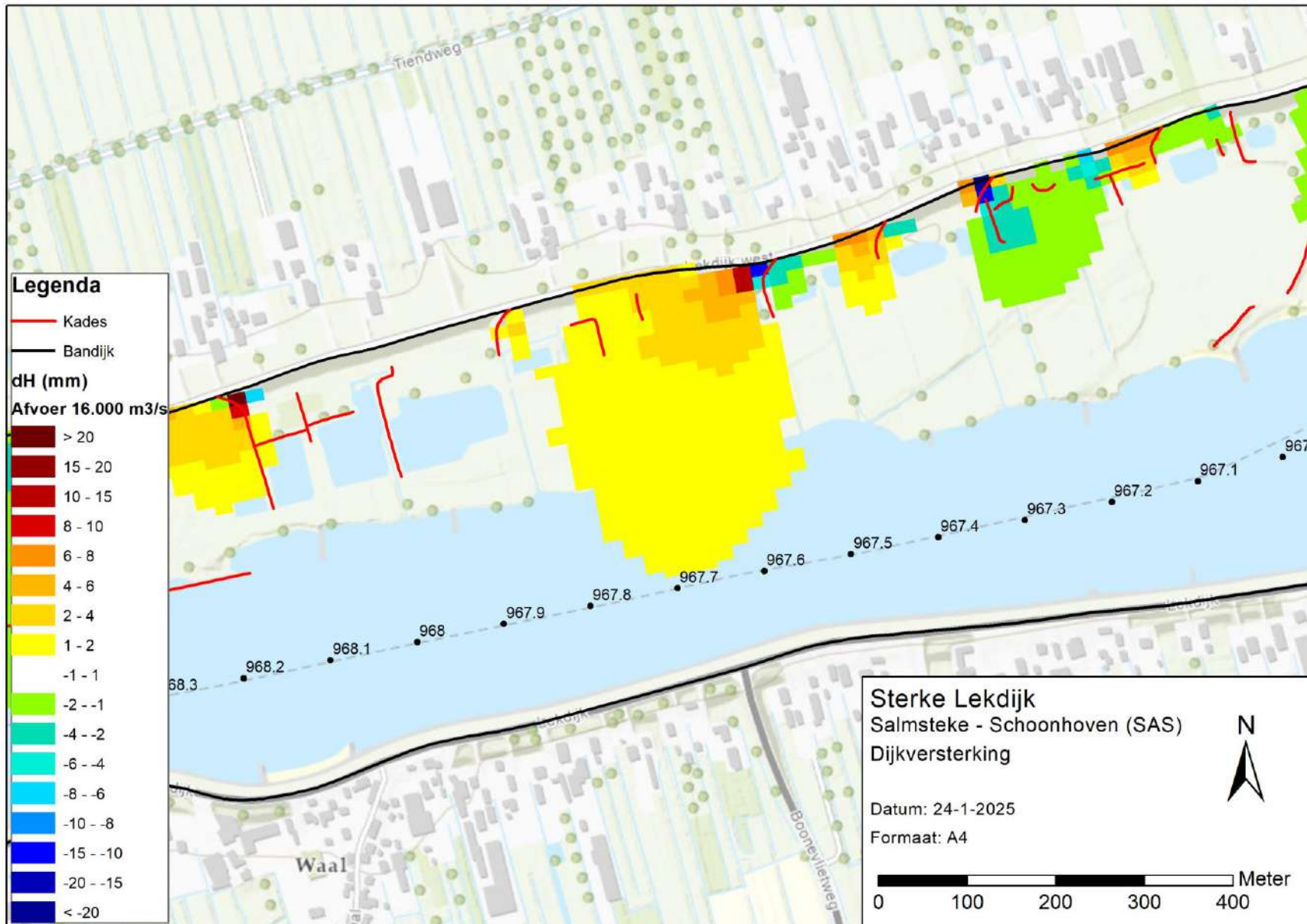
## **Bijlage 5 Hoogwaterreferentie buiten de as van de rivier**

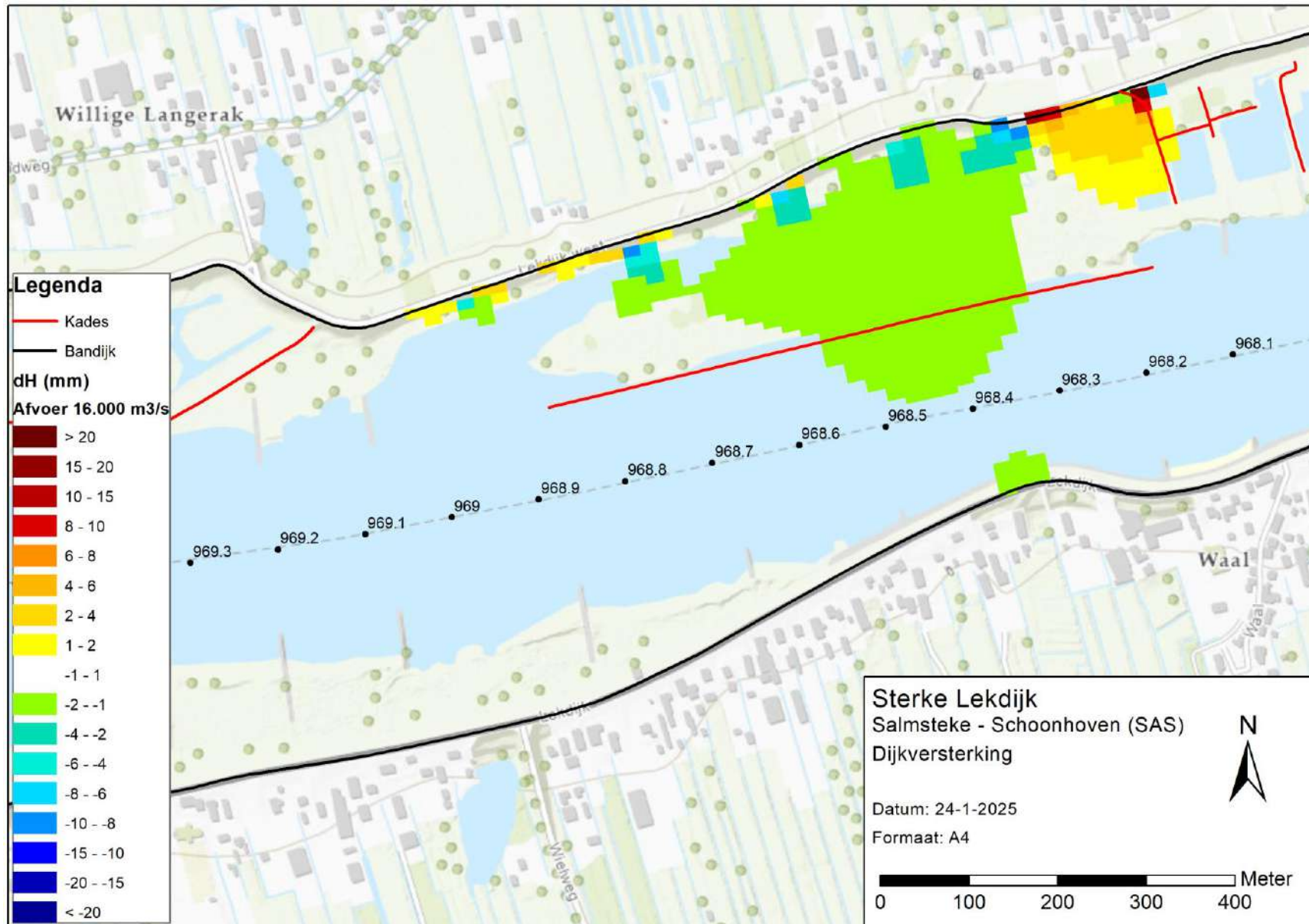


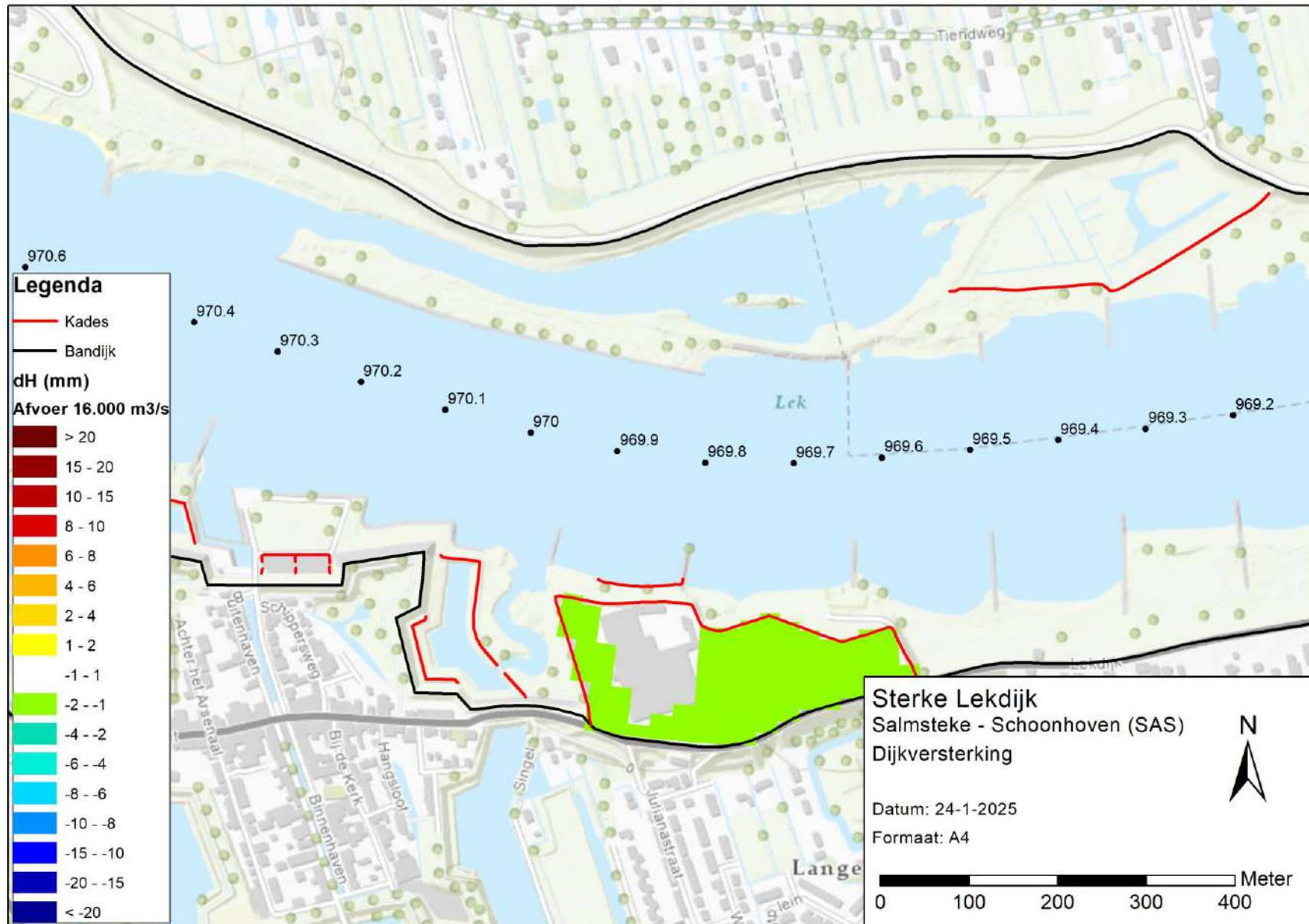


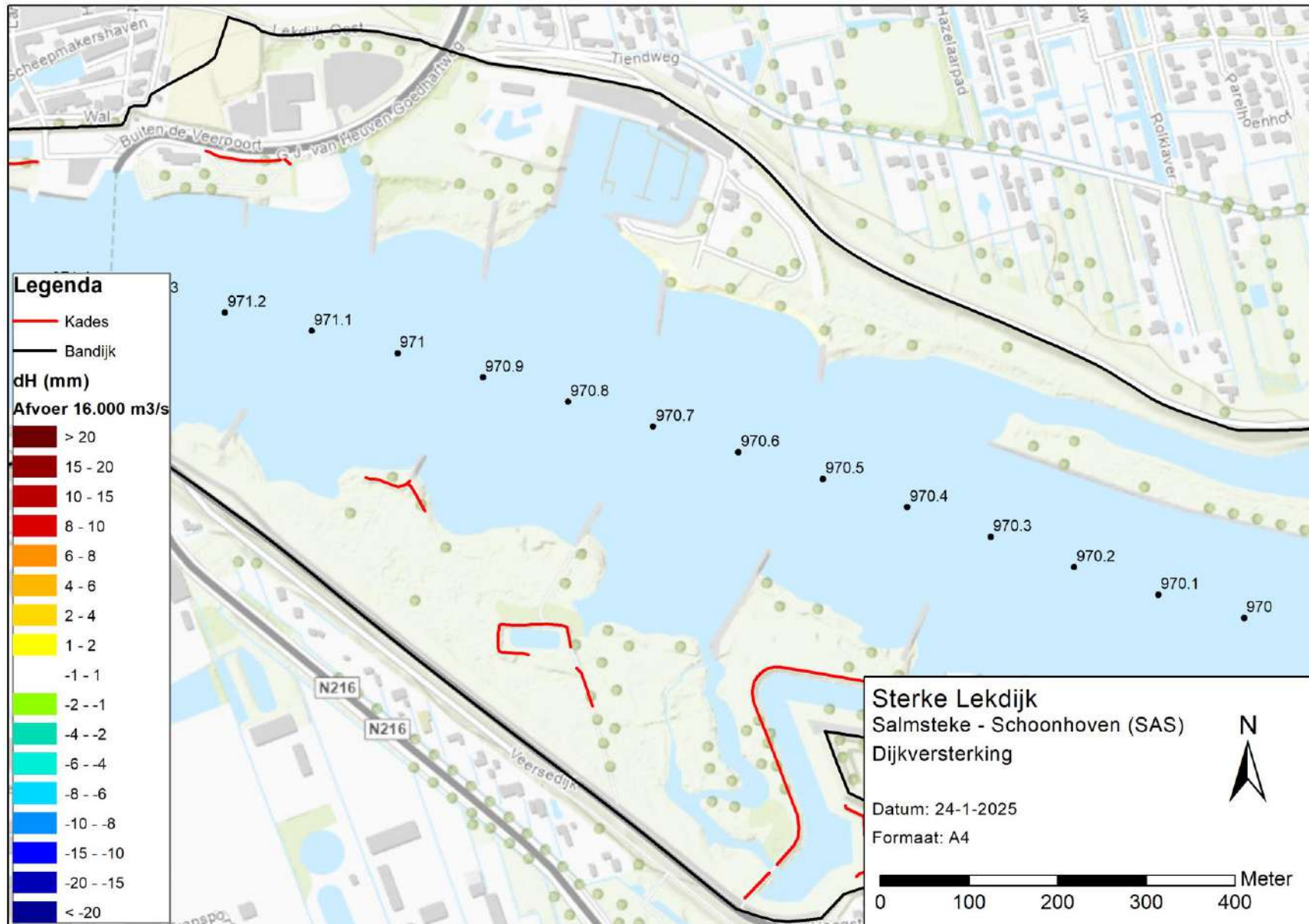




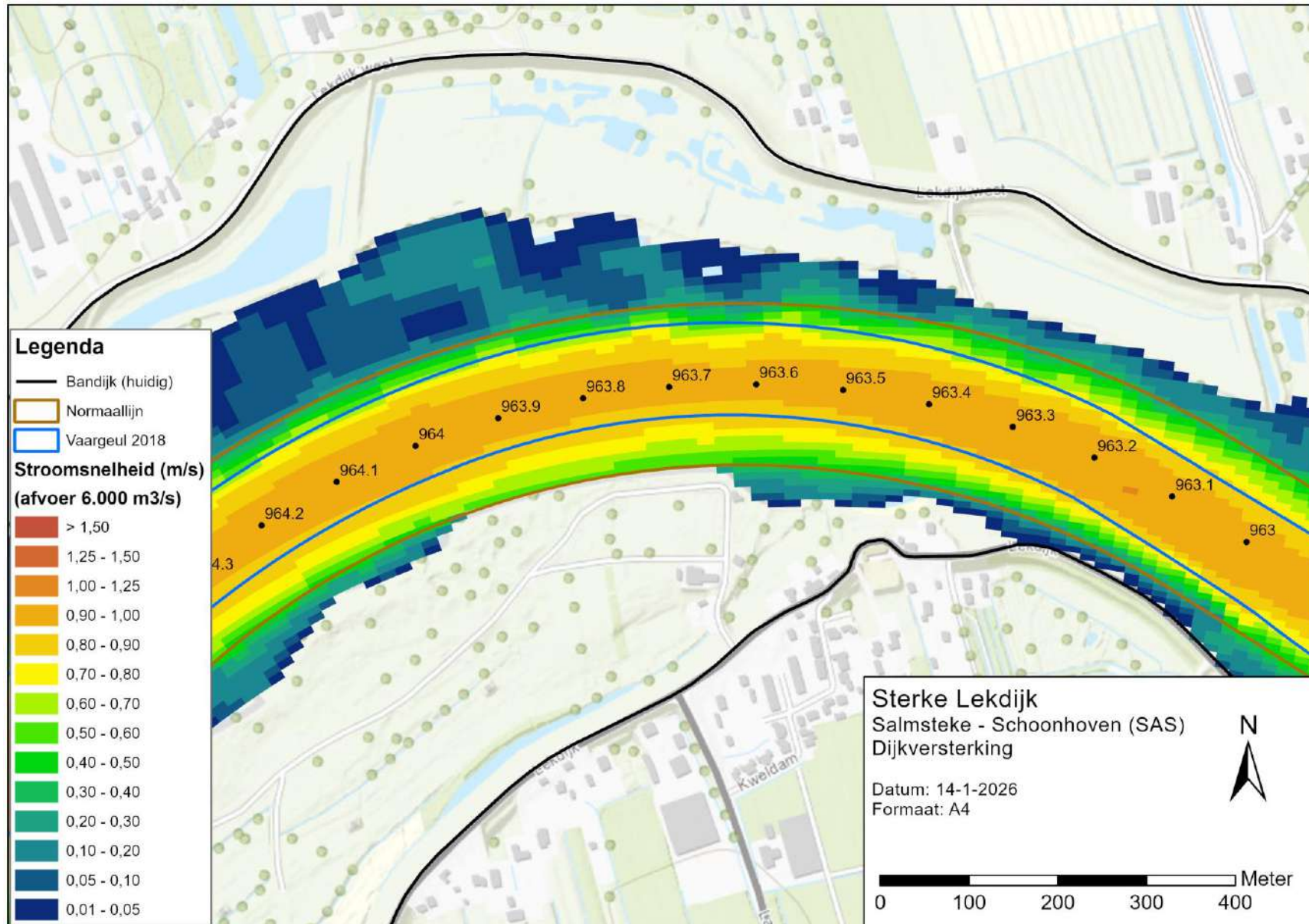


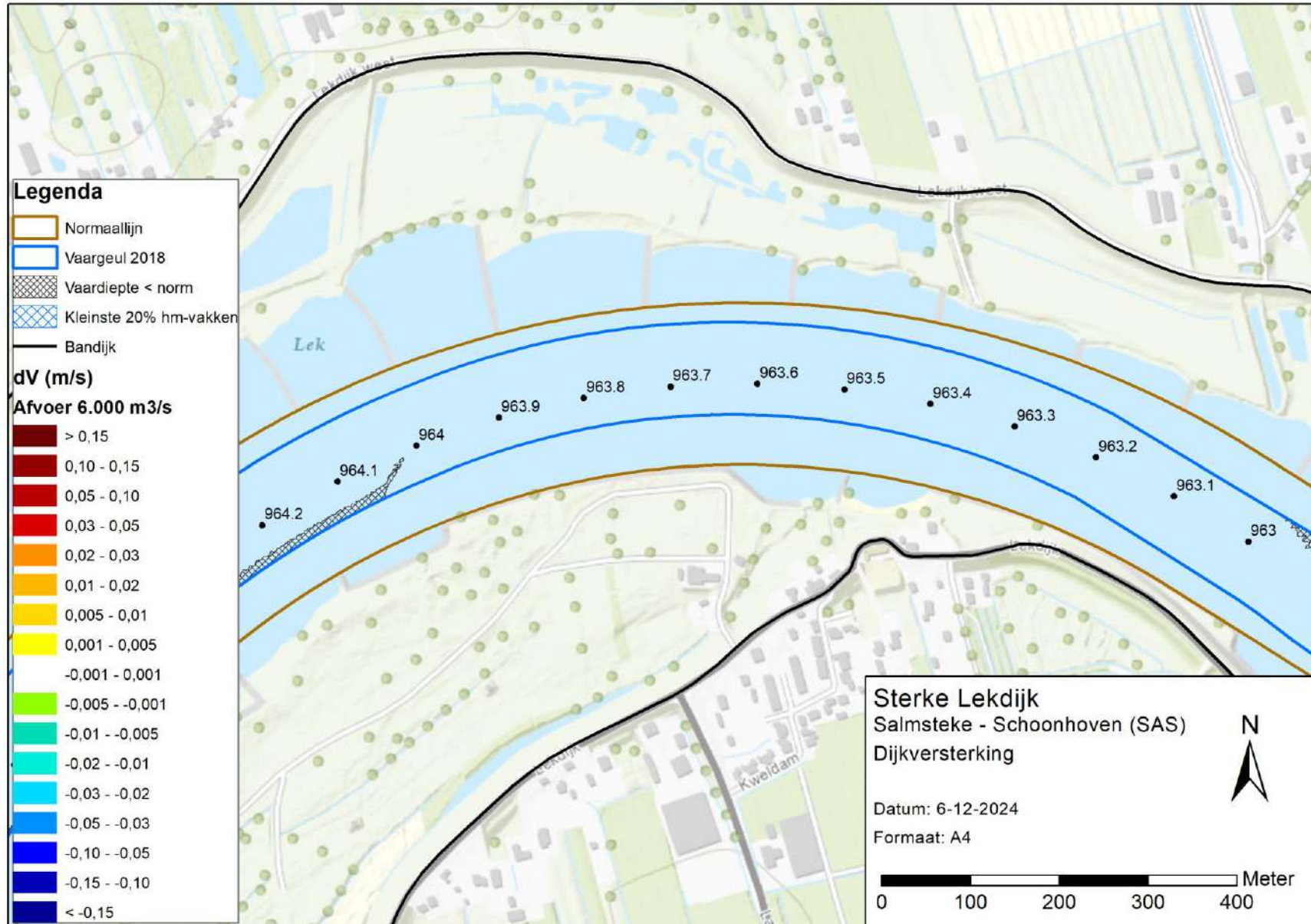


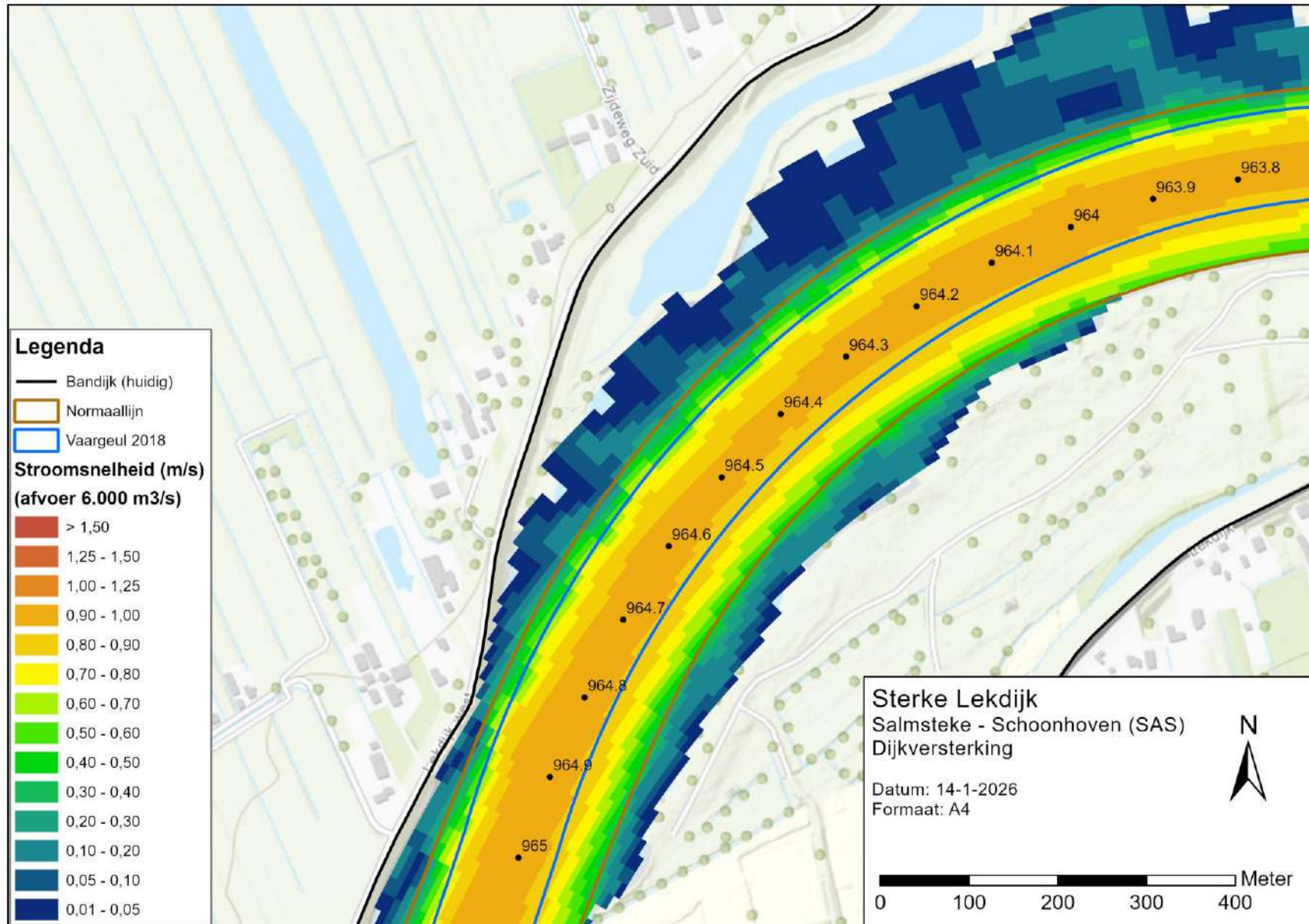


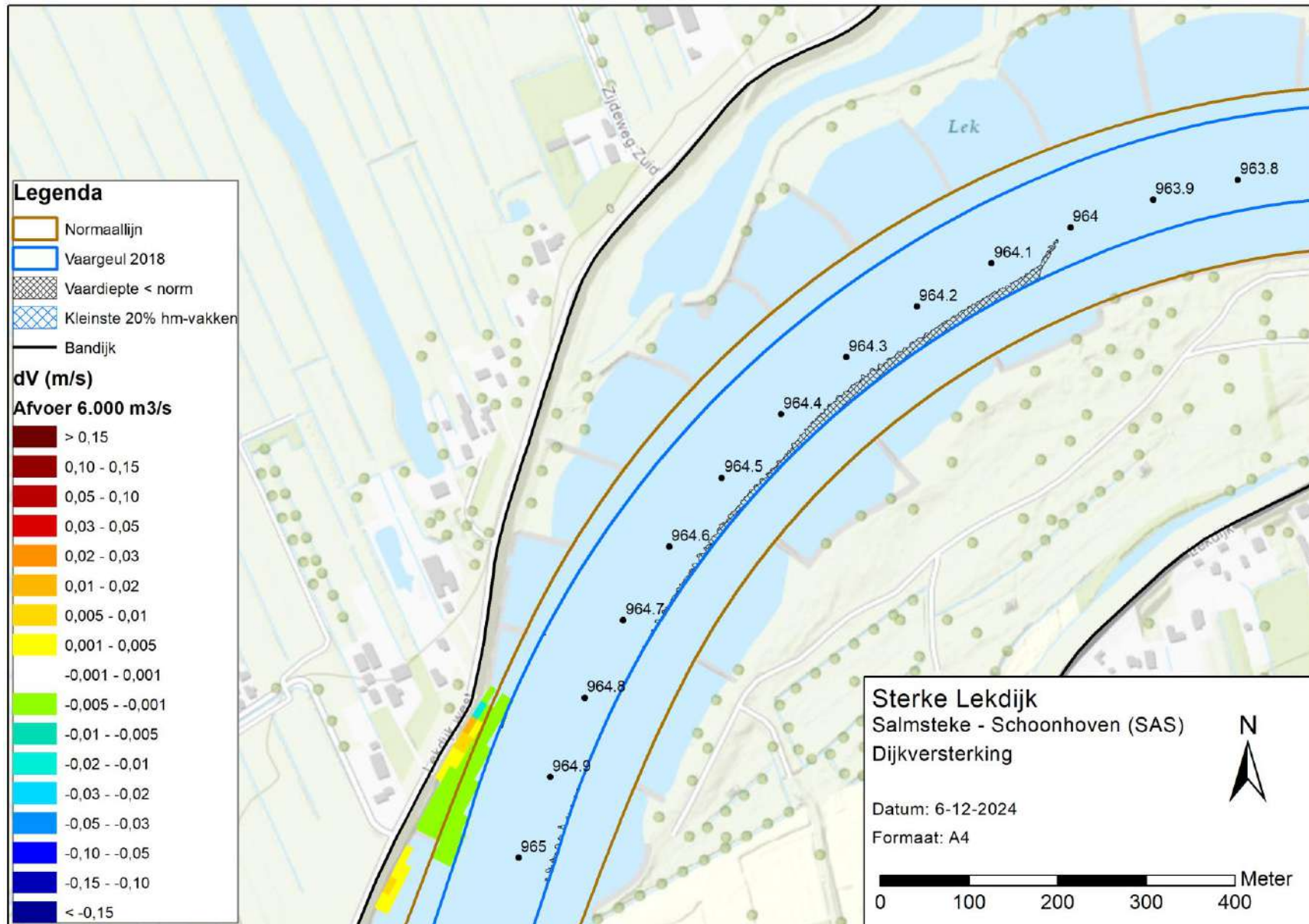


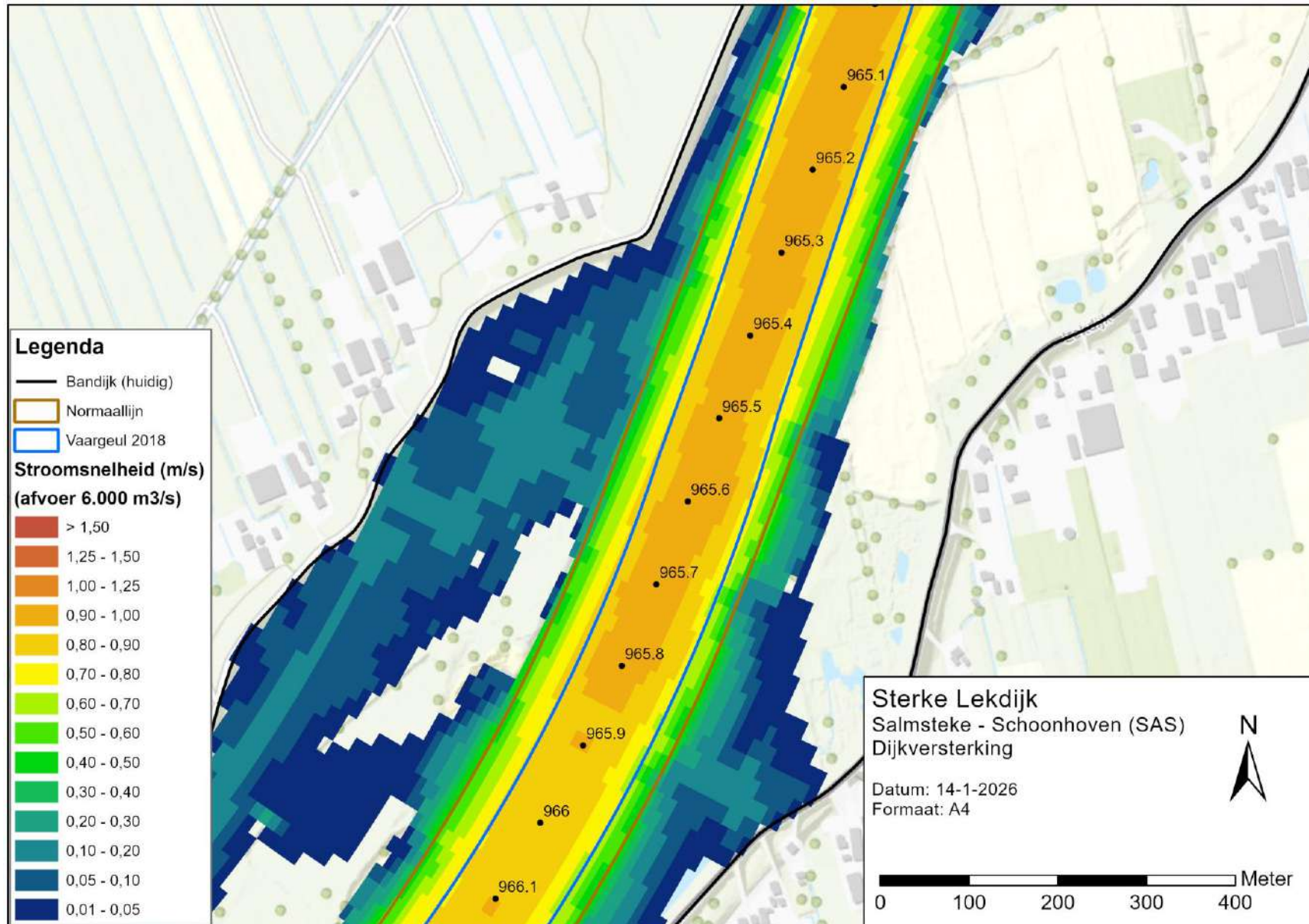
## **Bijlage 6 Stroomsnelheden en stroomsnelheidsverschillen afvoer 6.000 m<sup>3</sup>/s bij Lobith**

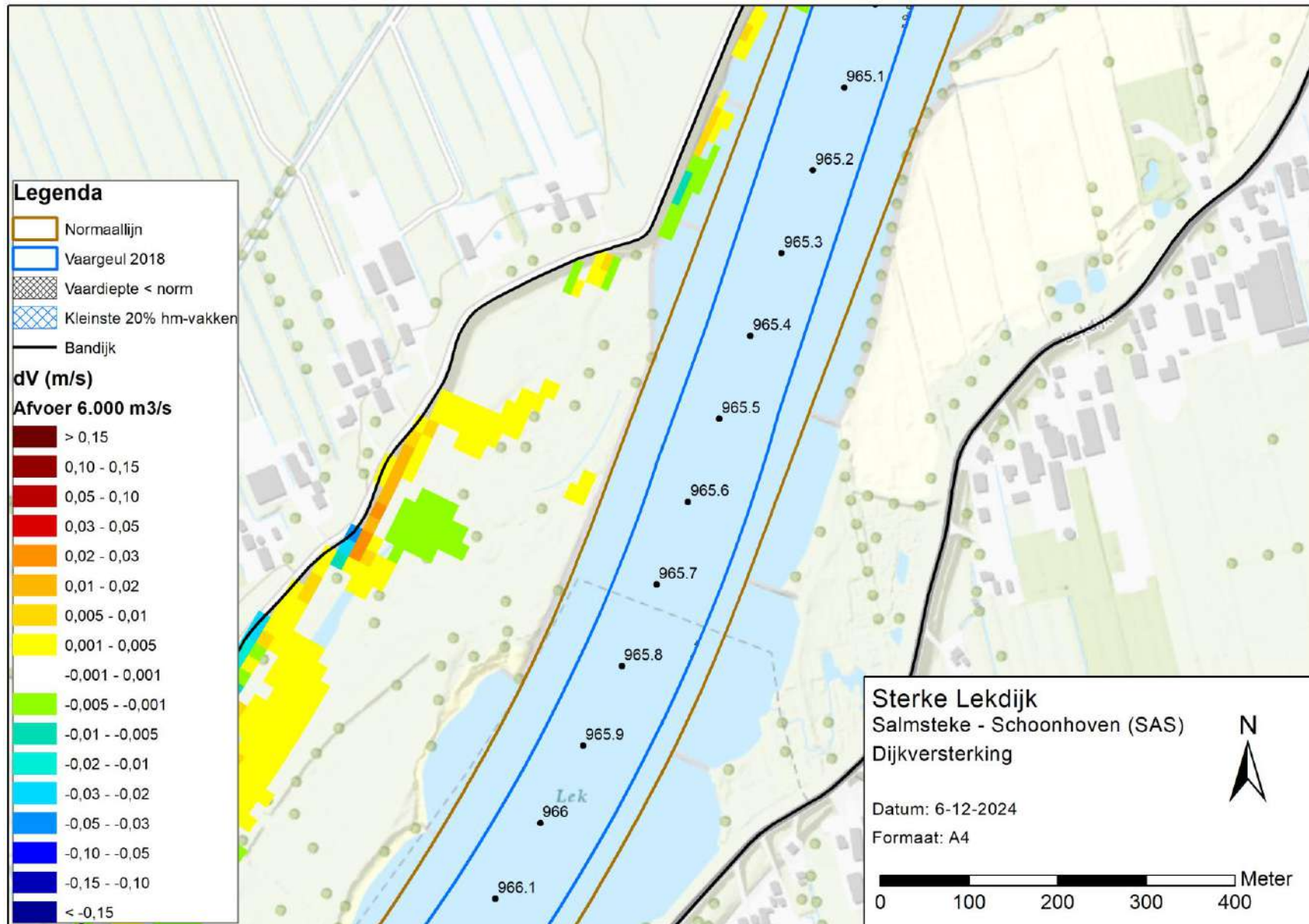


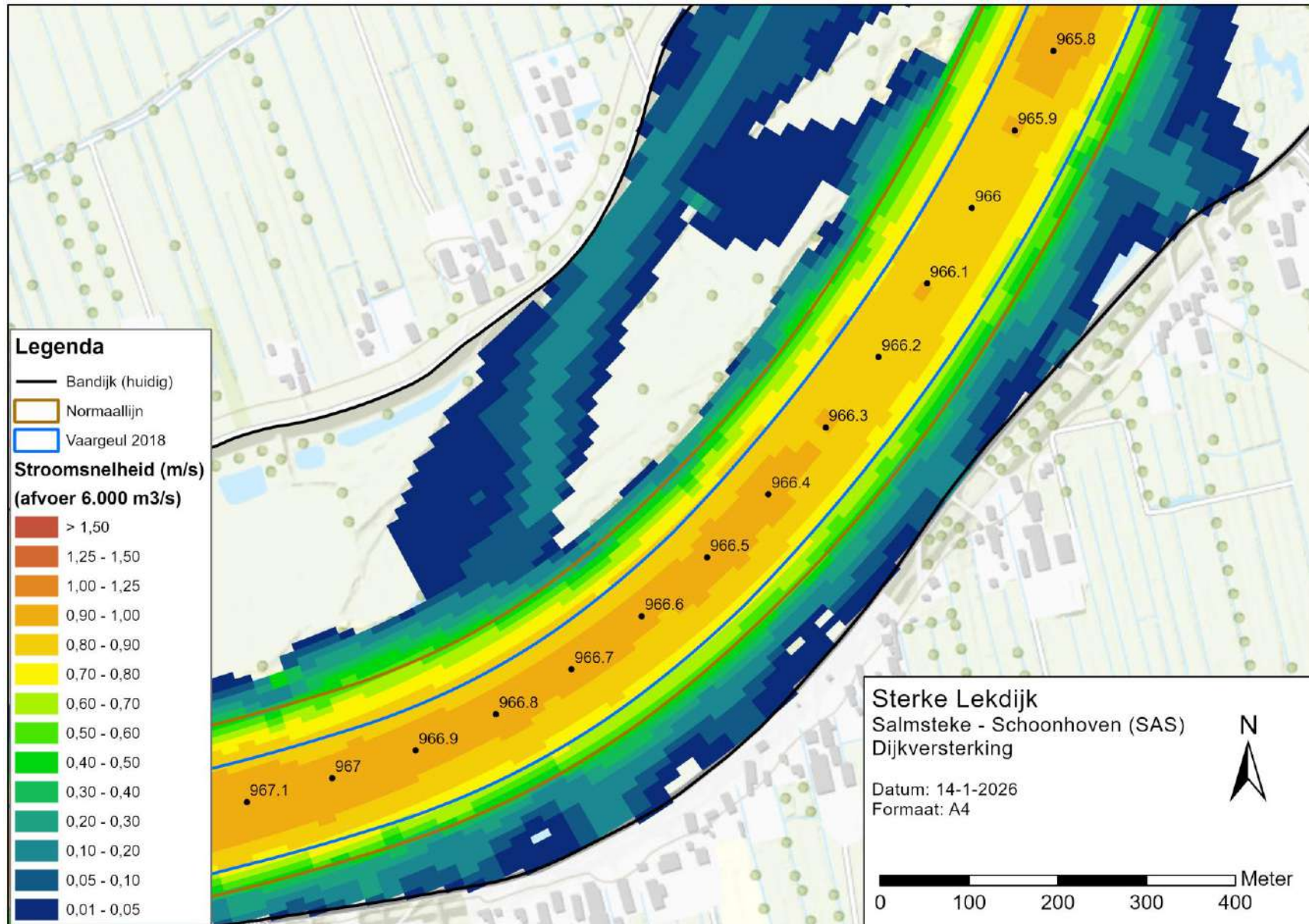


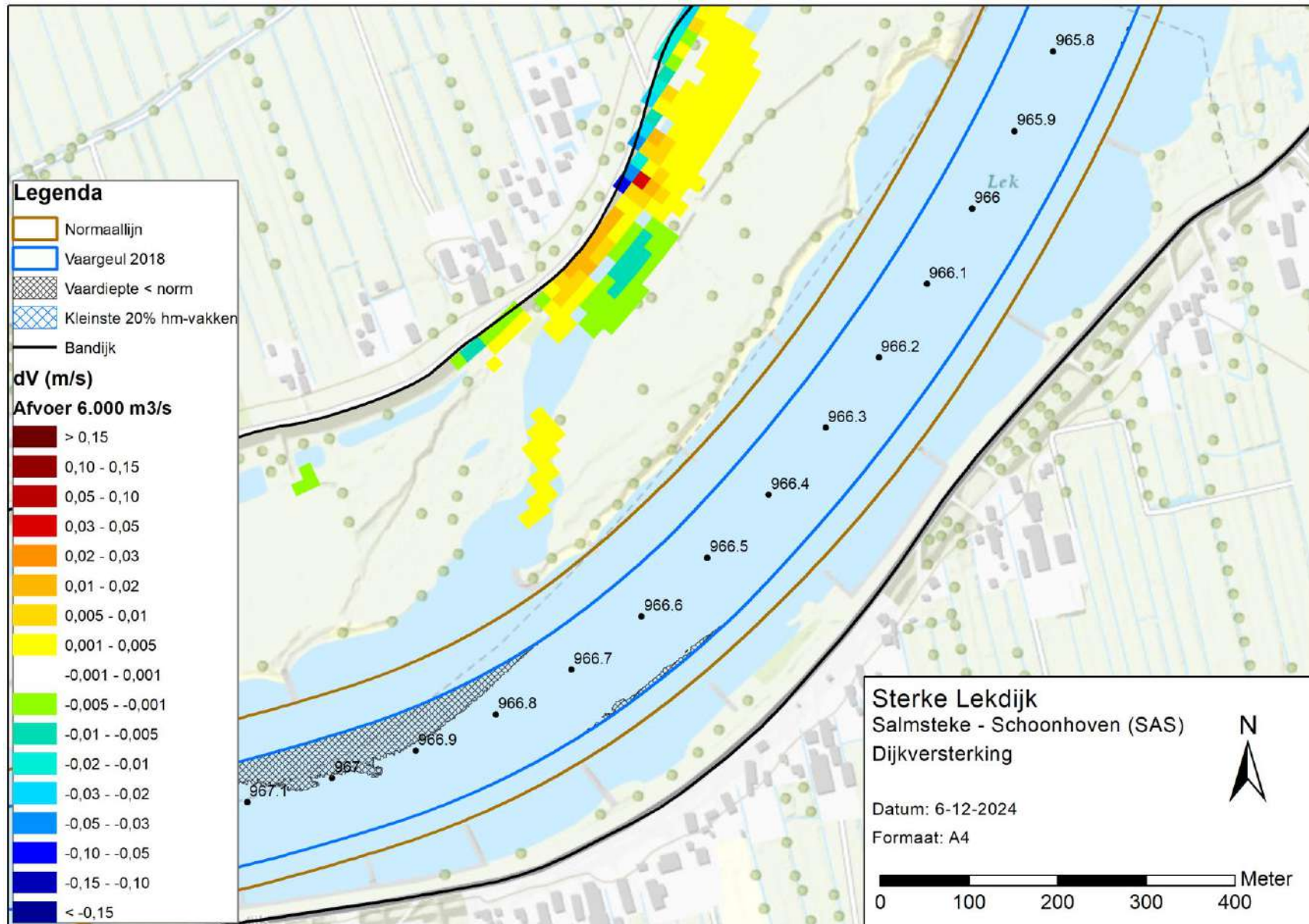


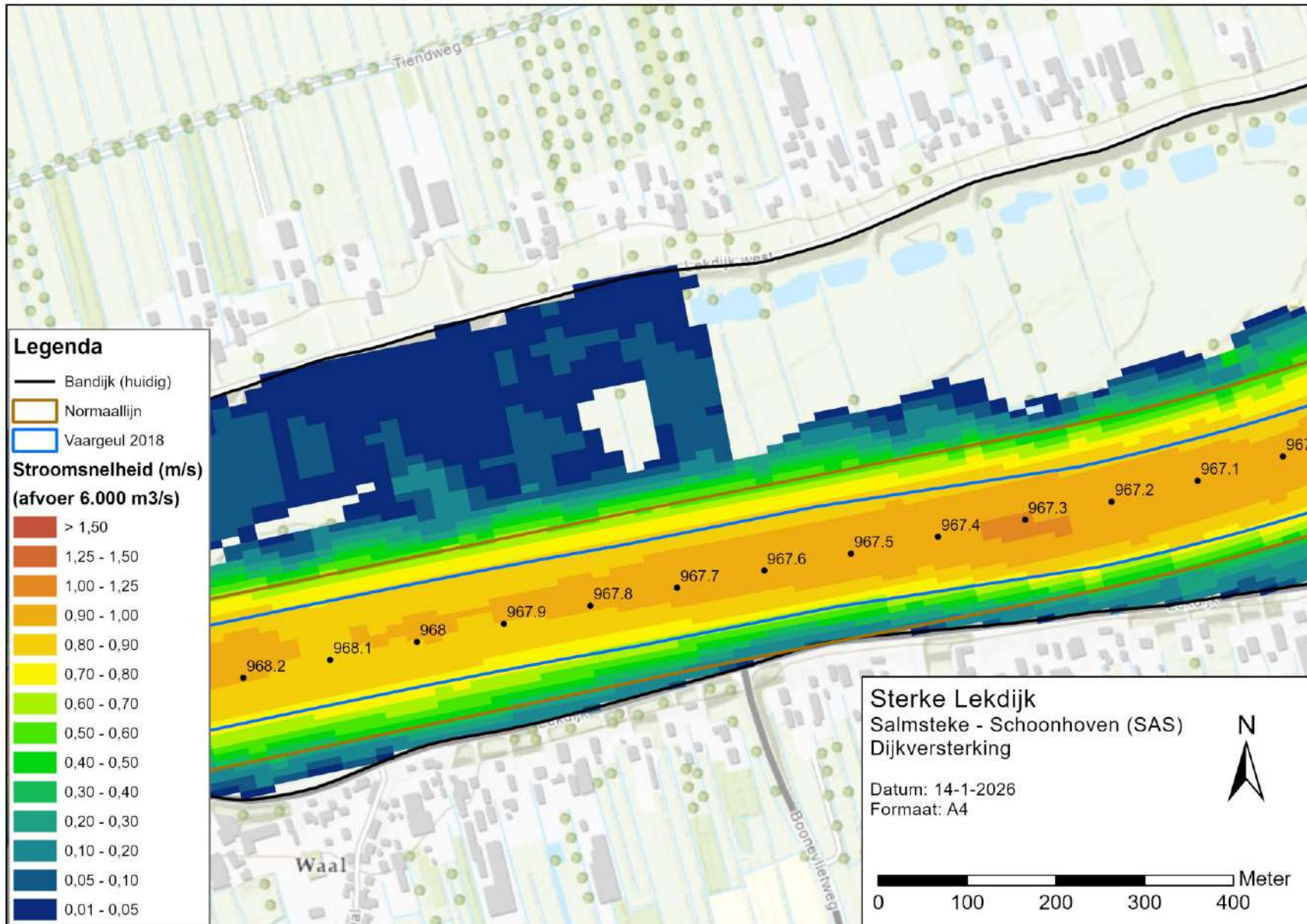


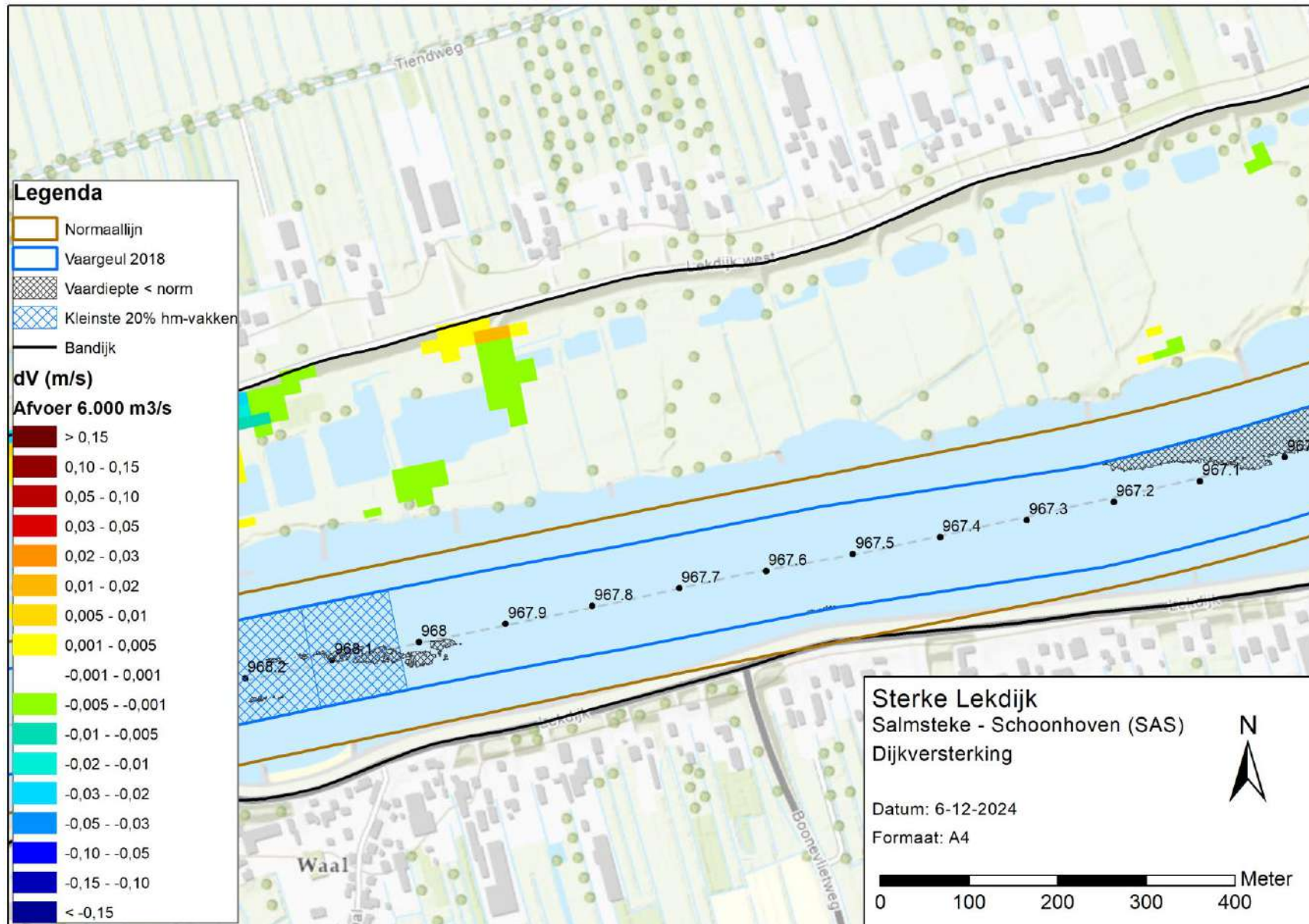


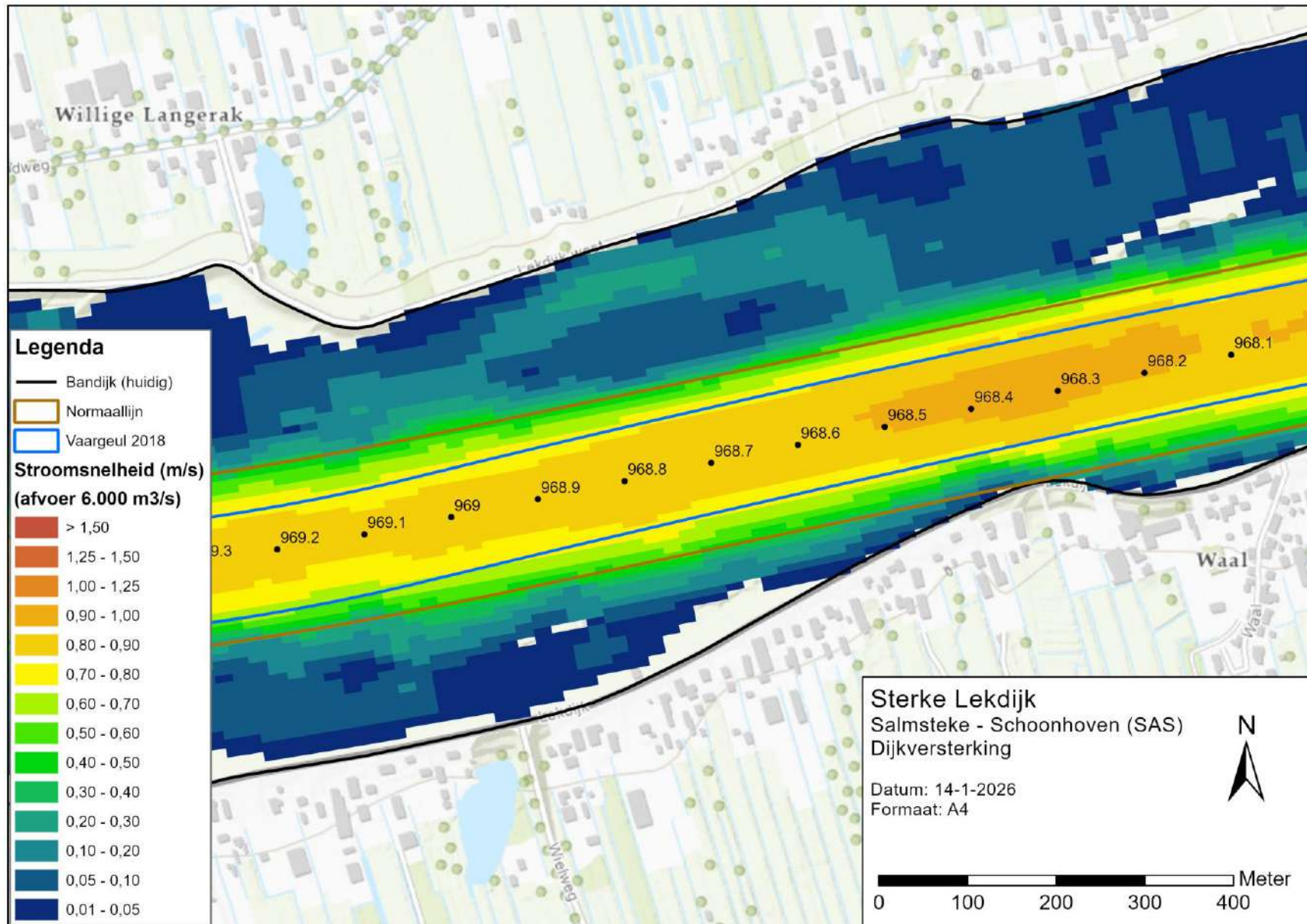


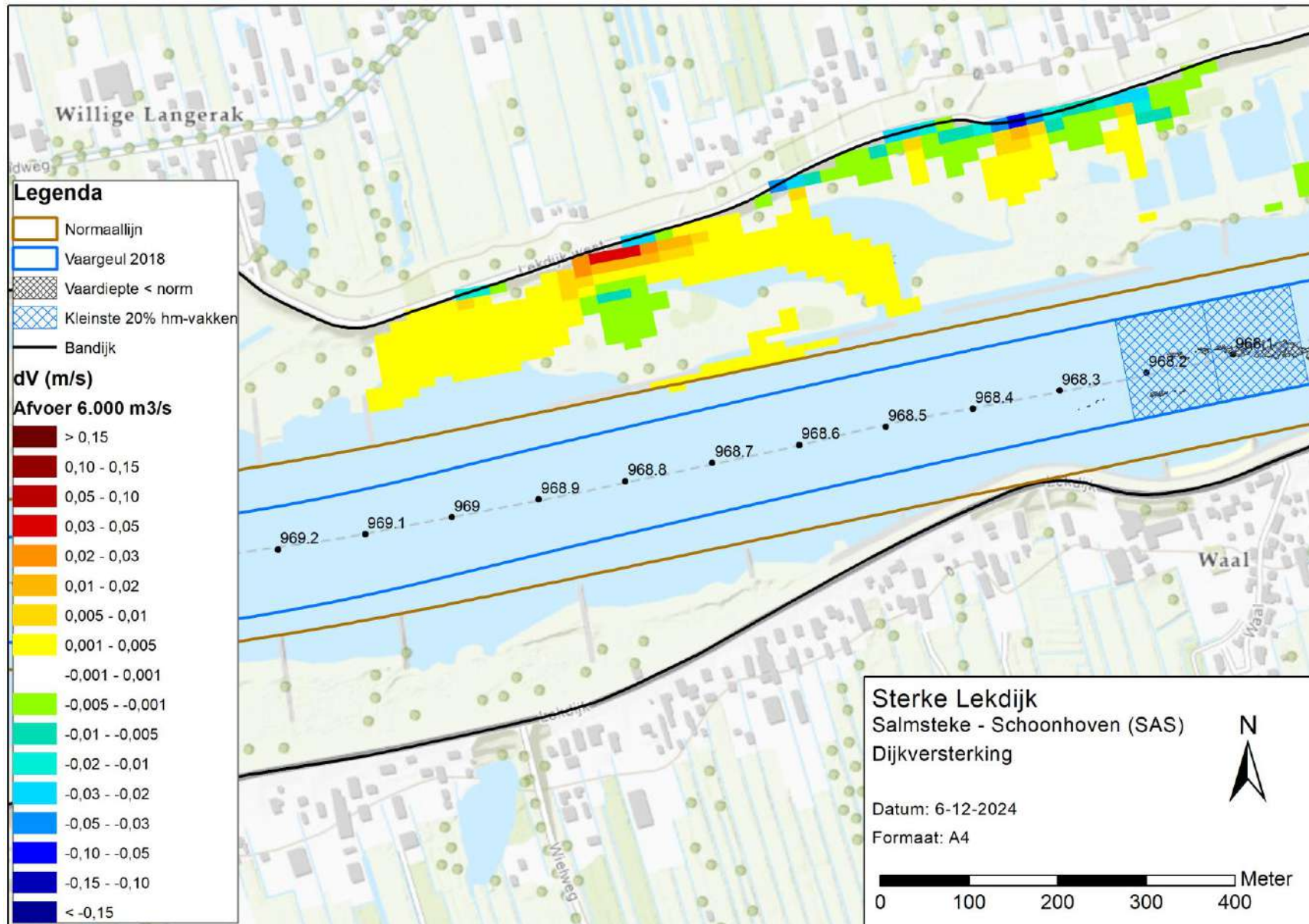


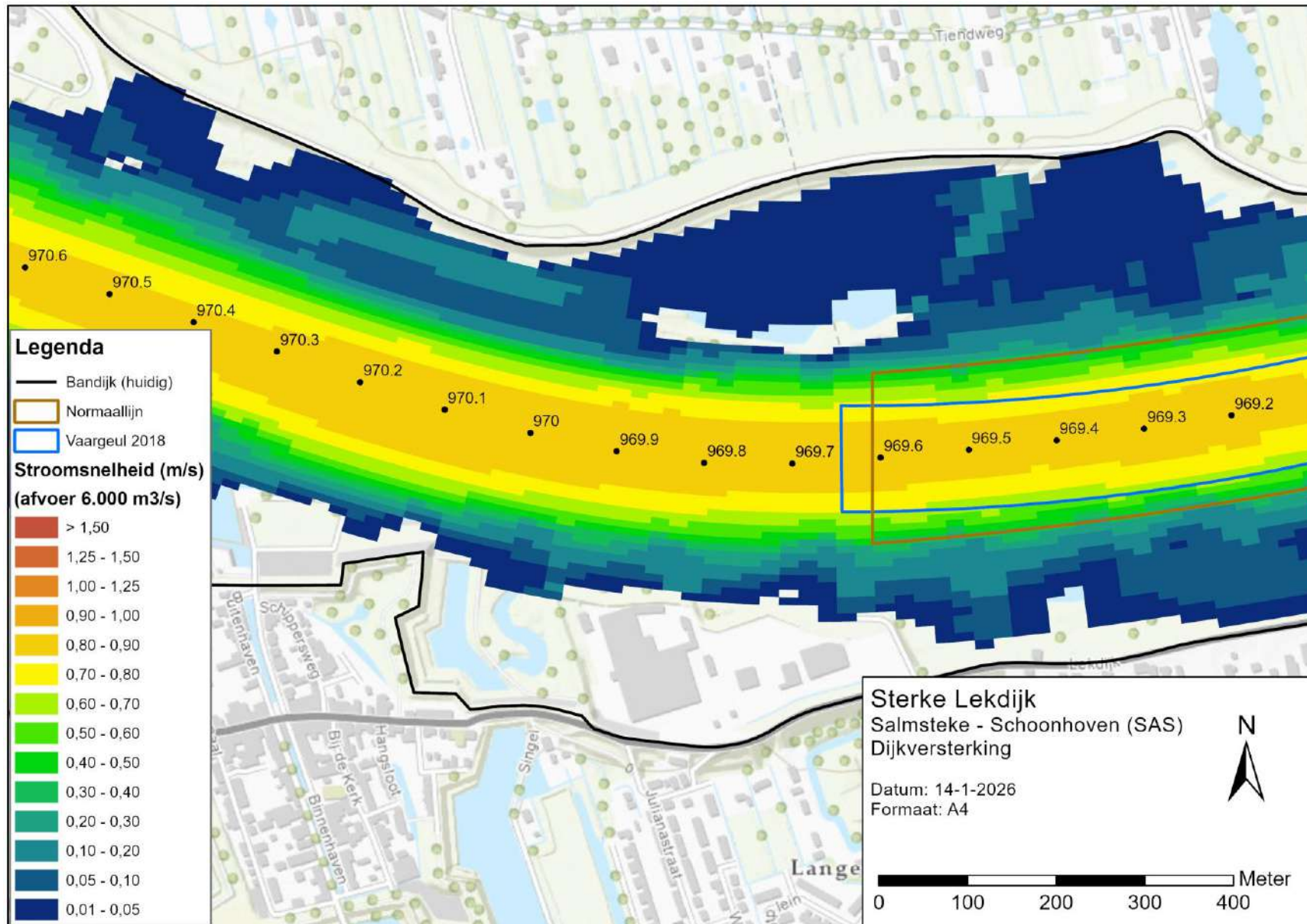


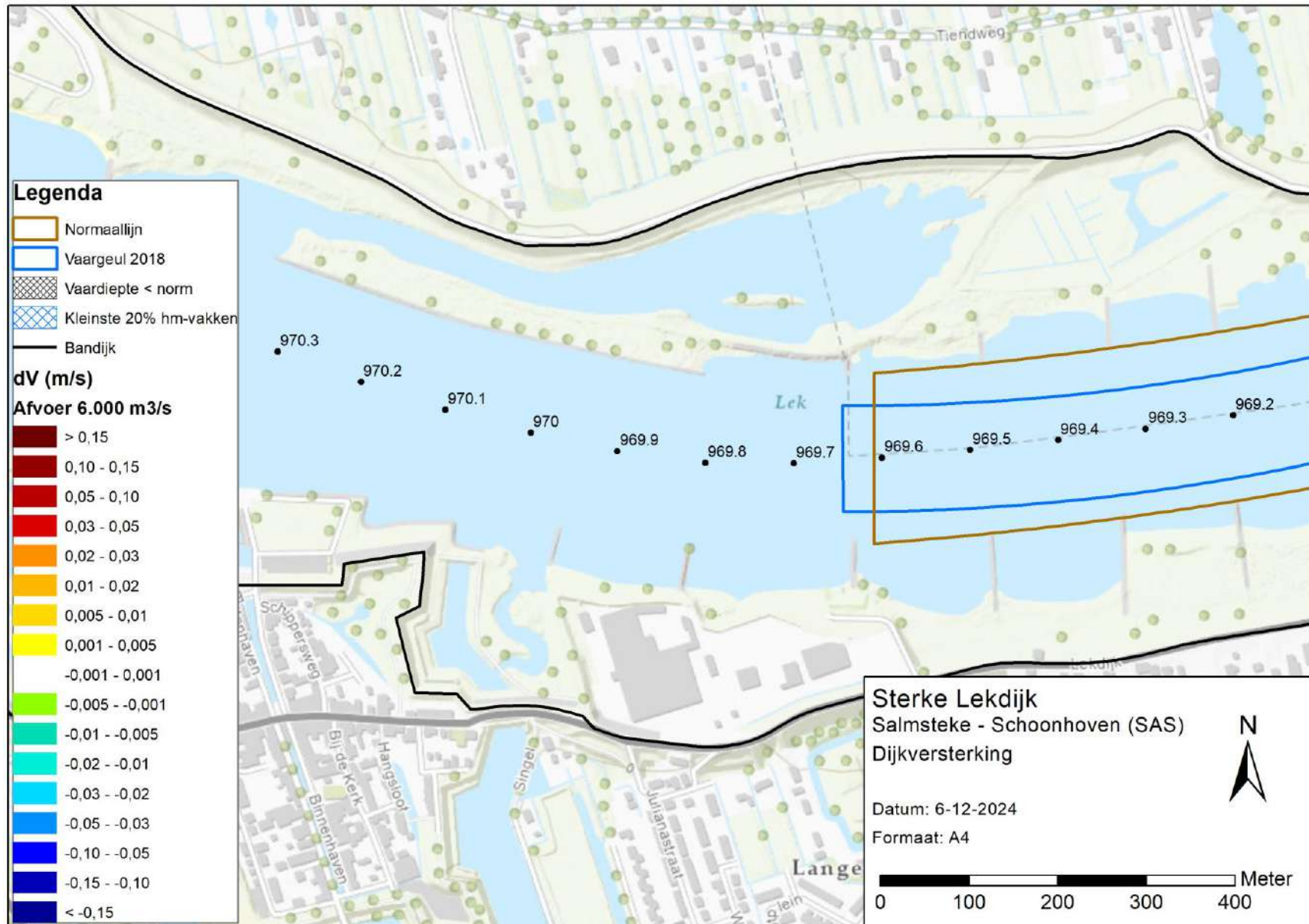


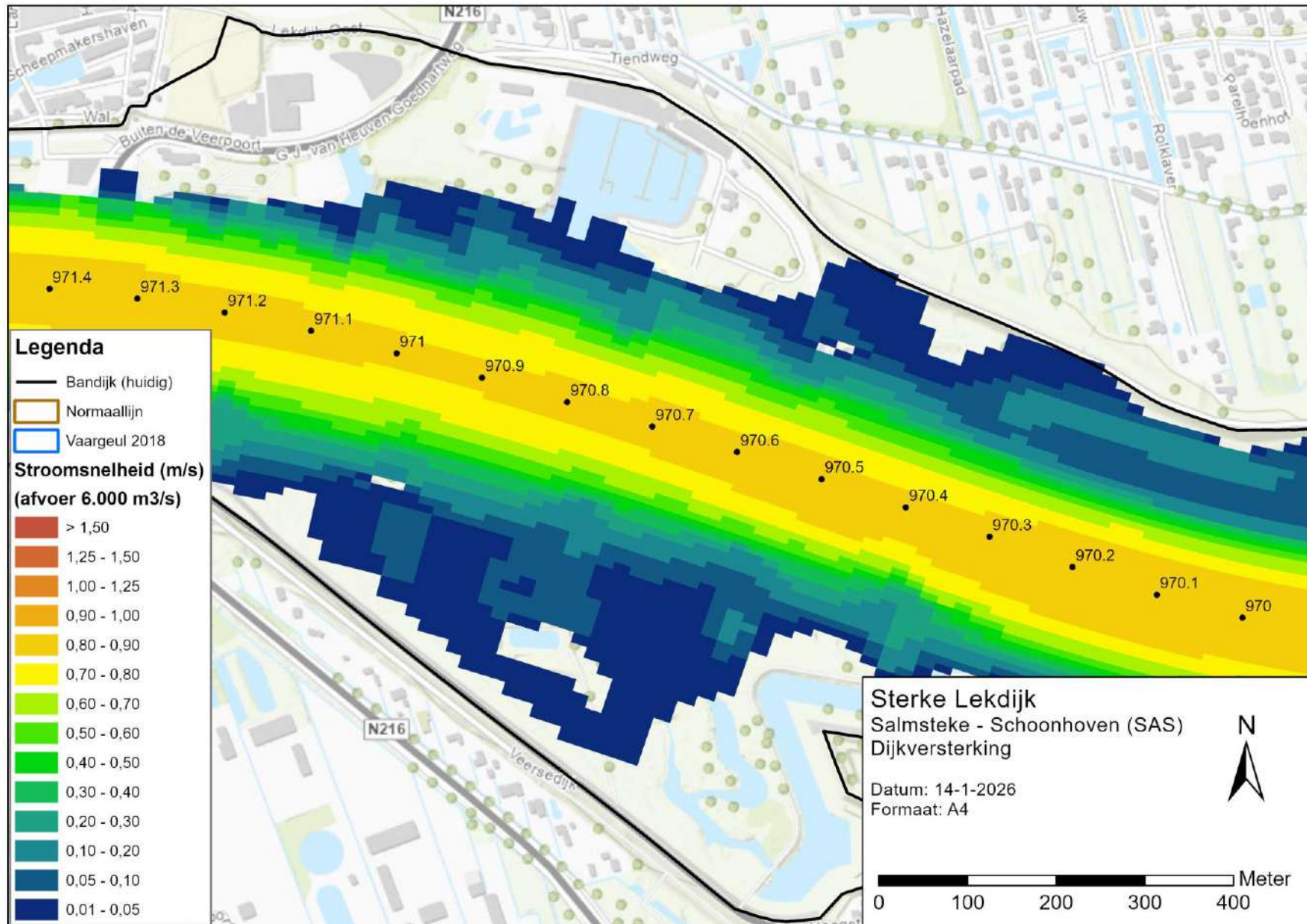








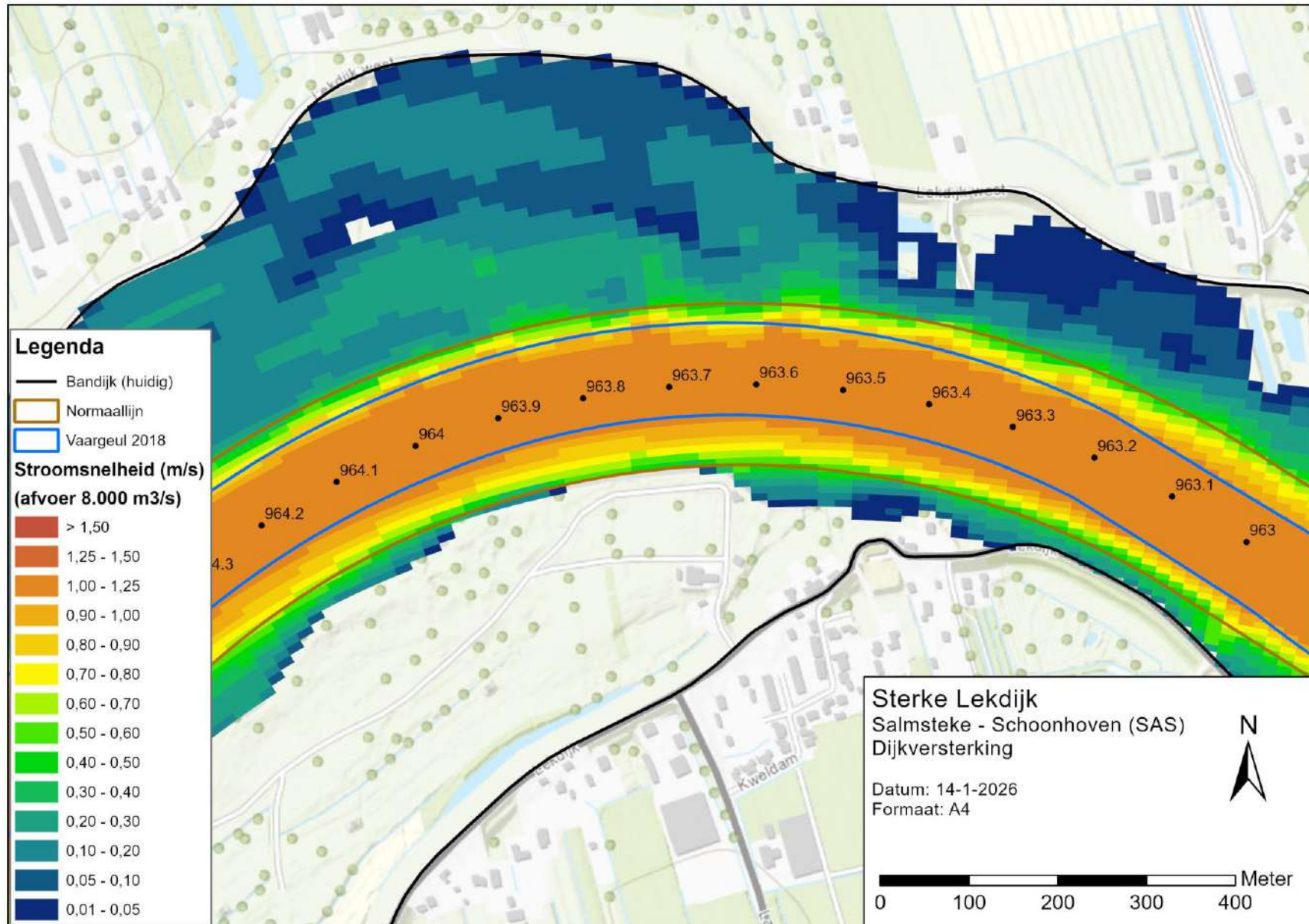


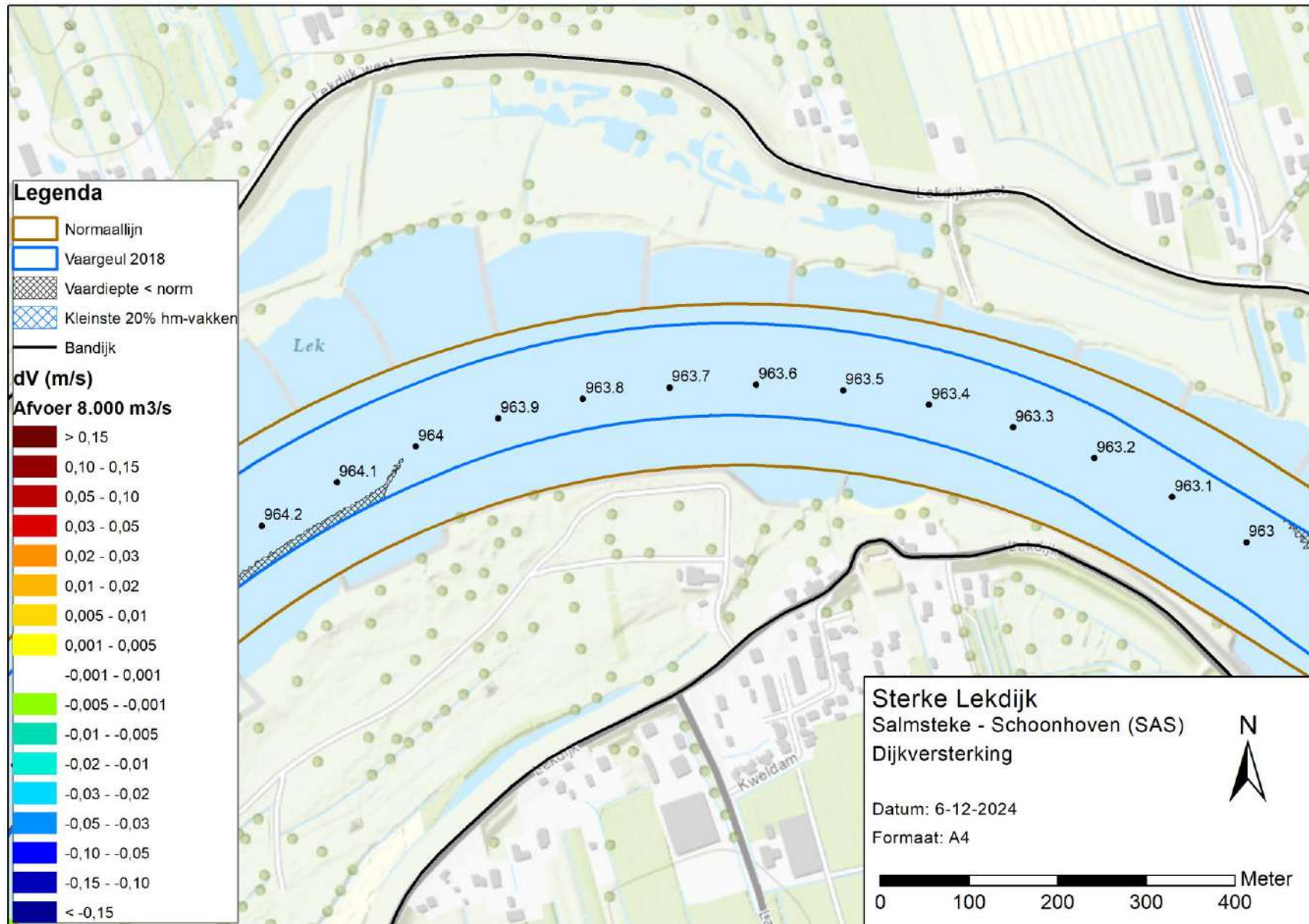


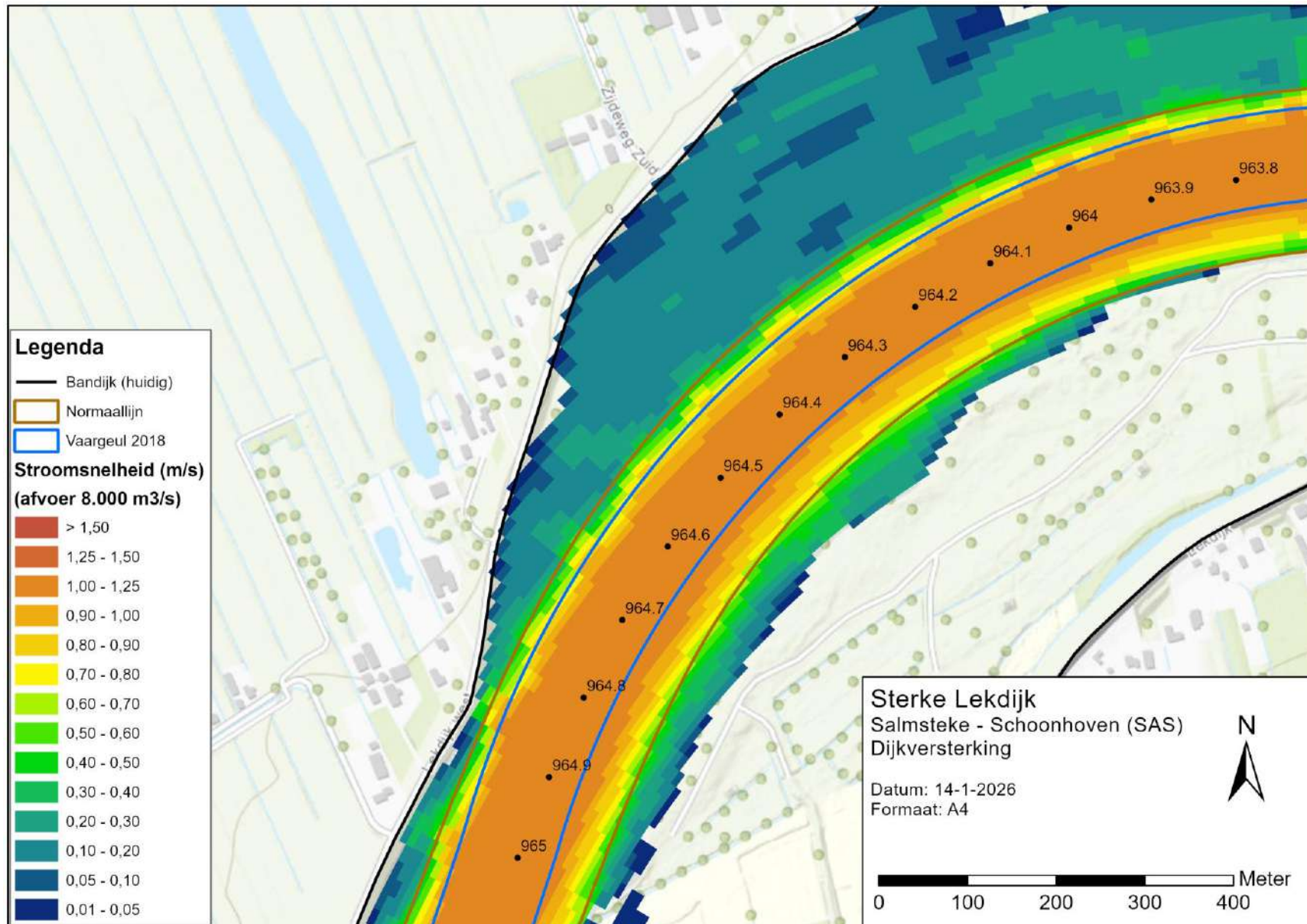


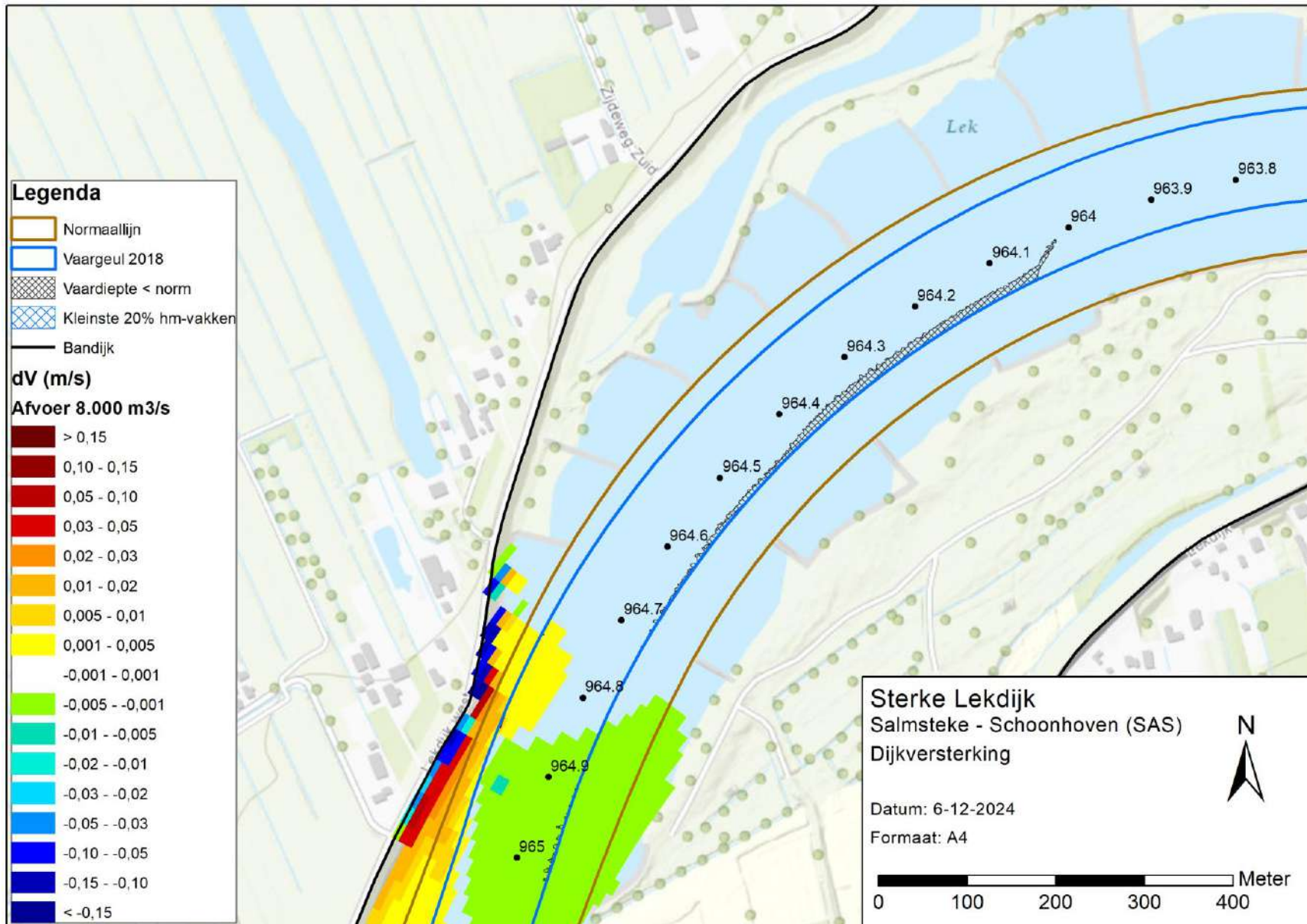


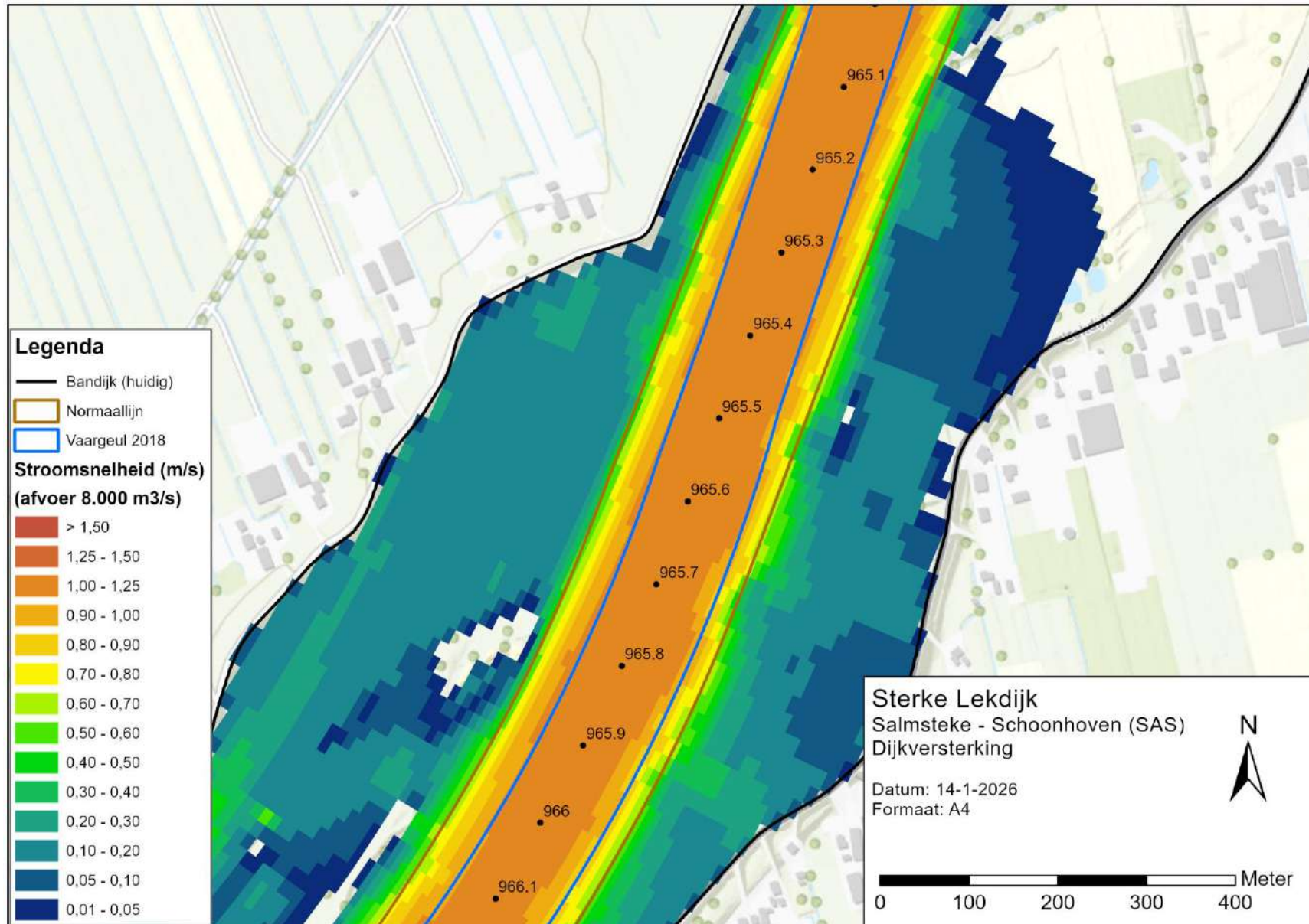
## **Bijlage 7    Stroomsnelheden en stroomsnelheidsverschillen afvoer 8.000 m<sup>3</sup>/s bij Lobith**

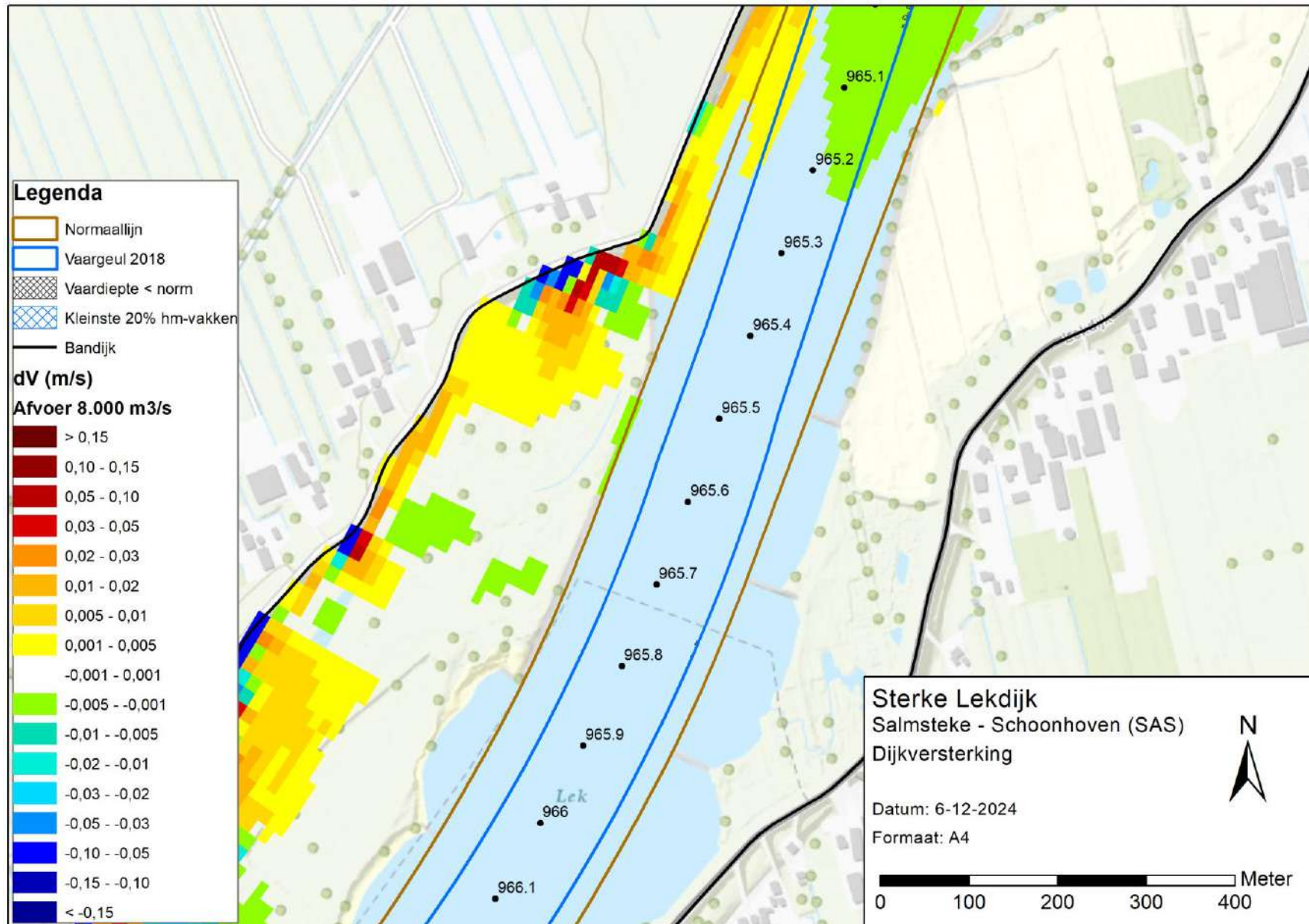


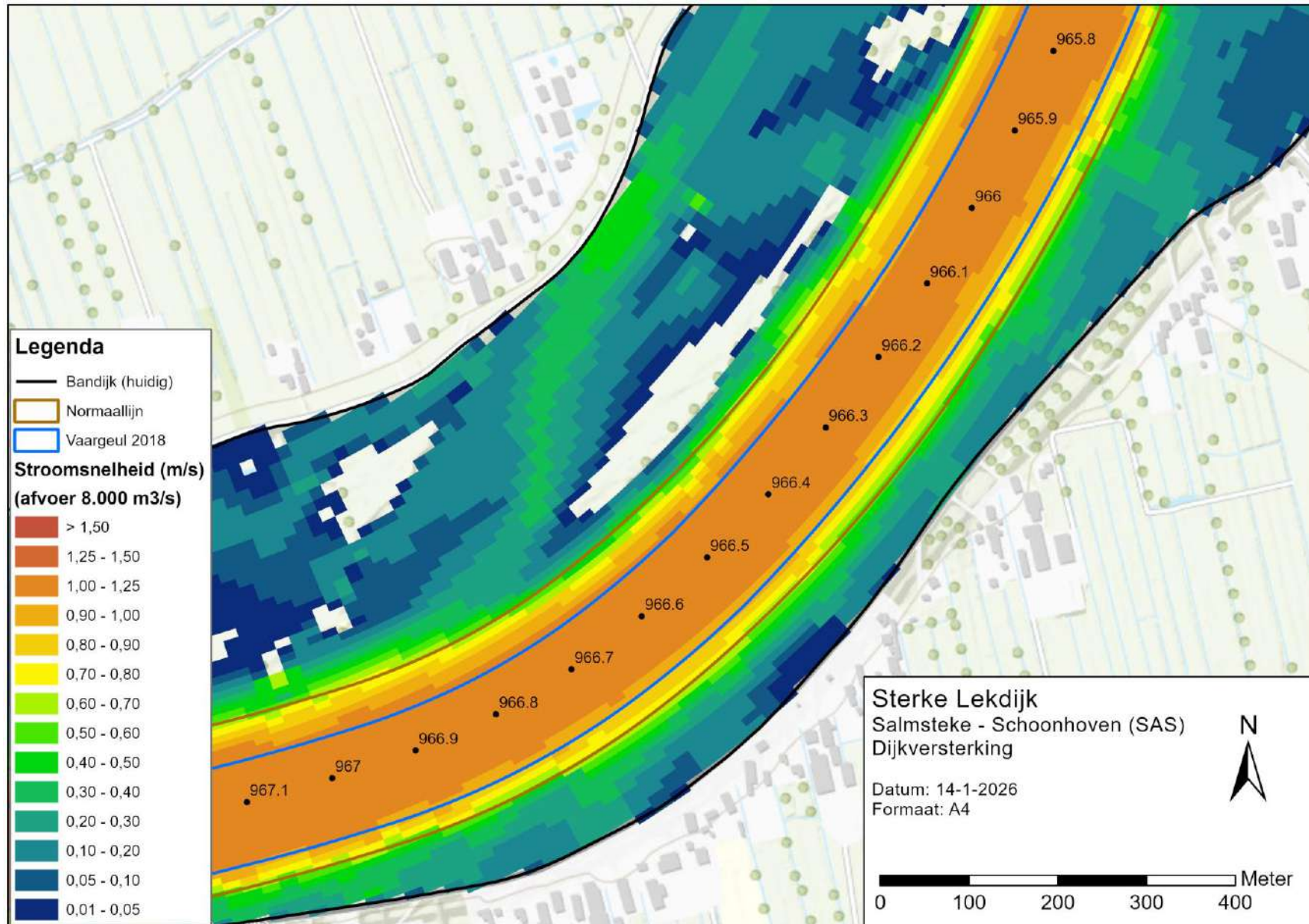


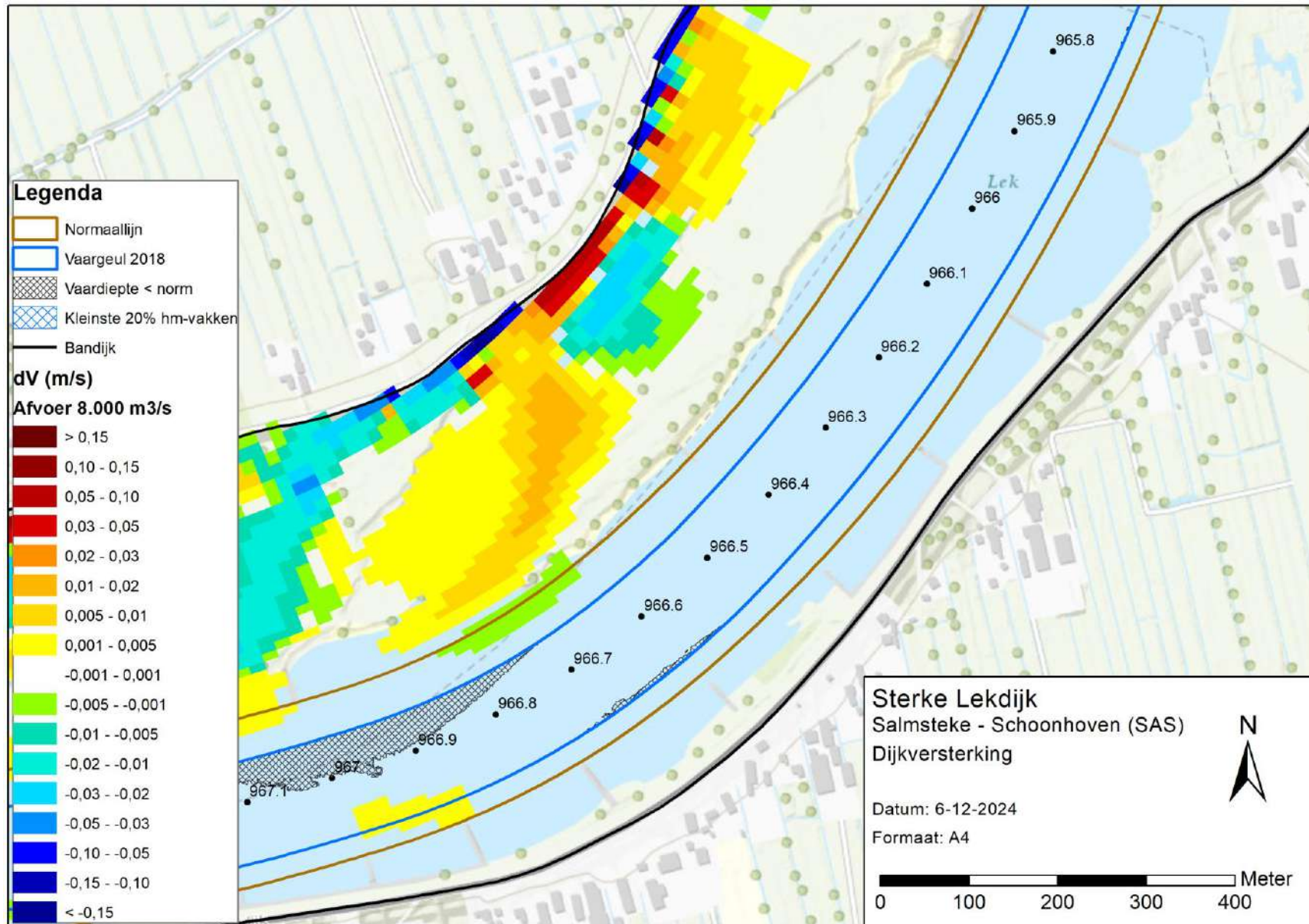


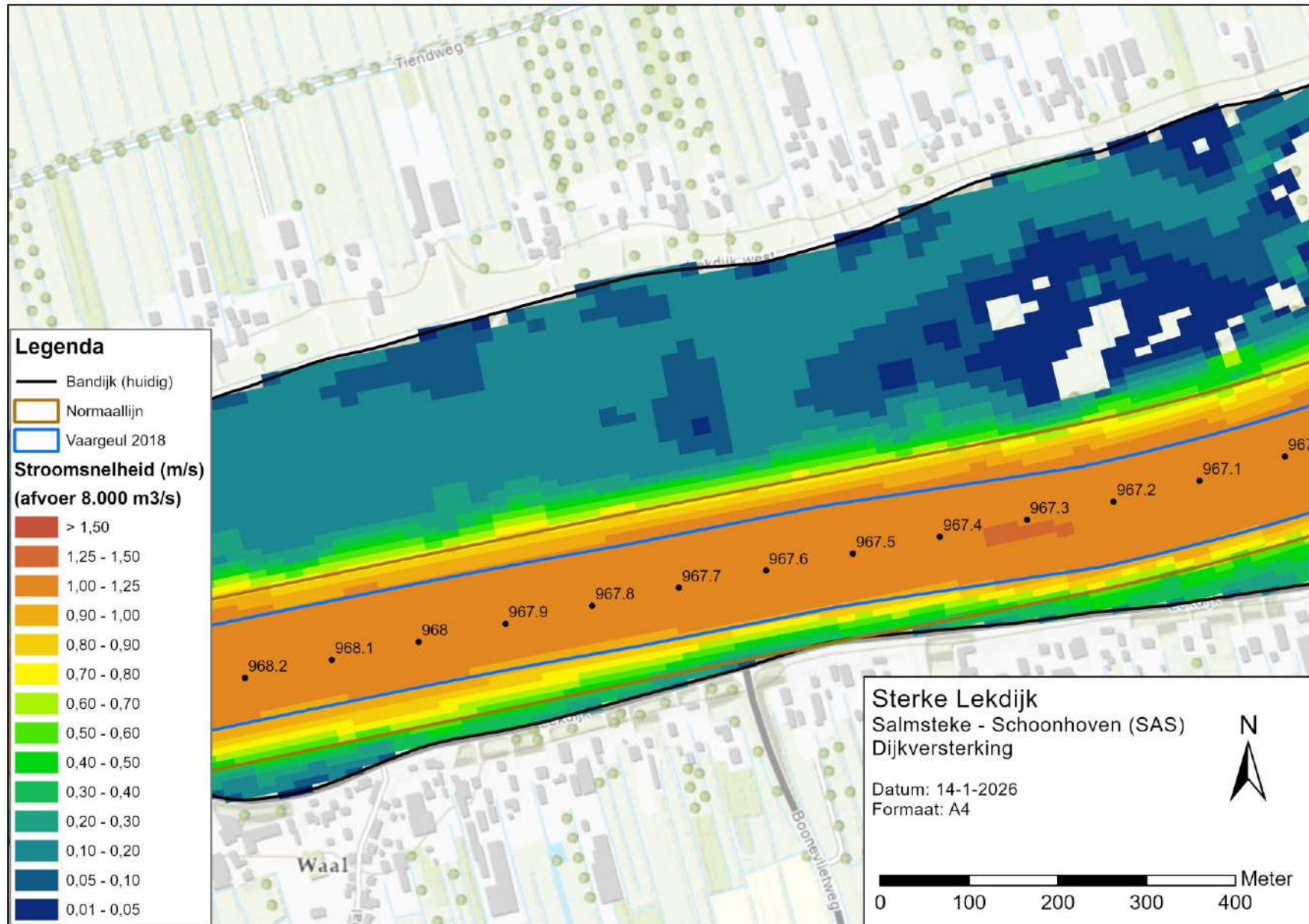


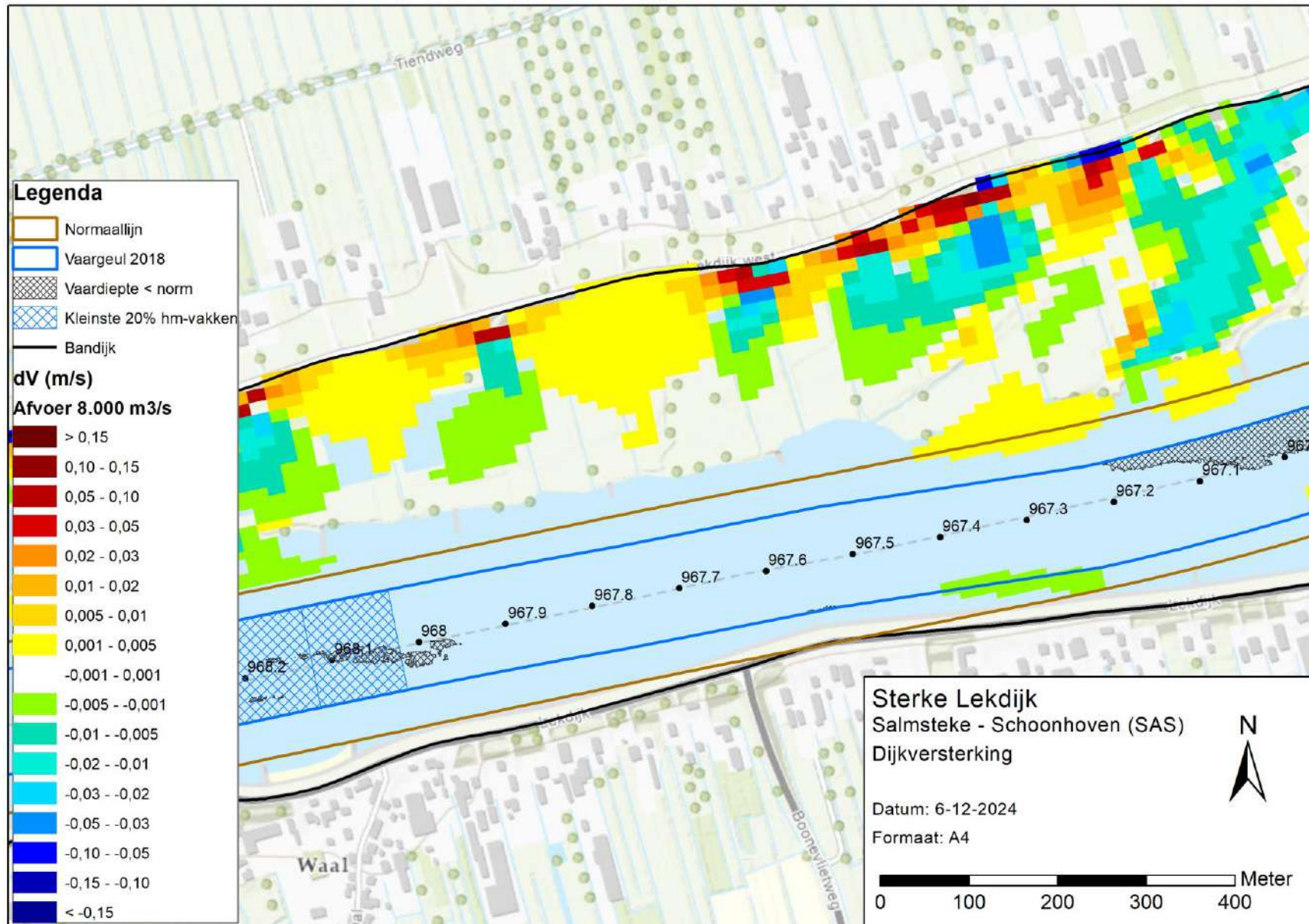


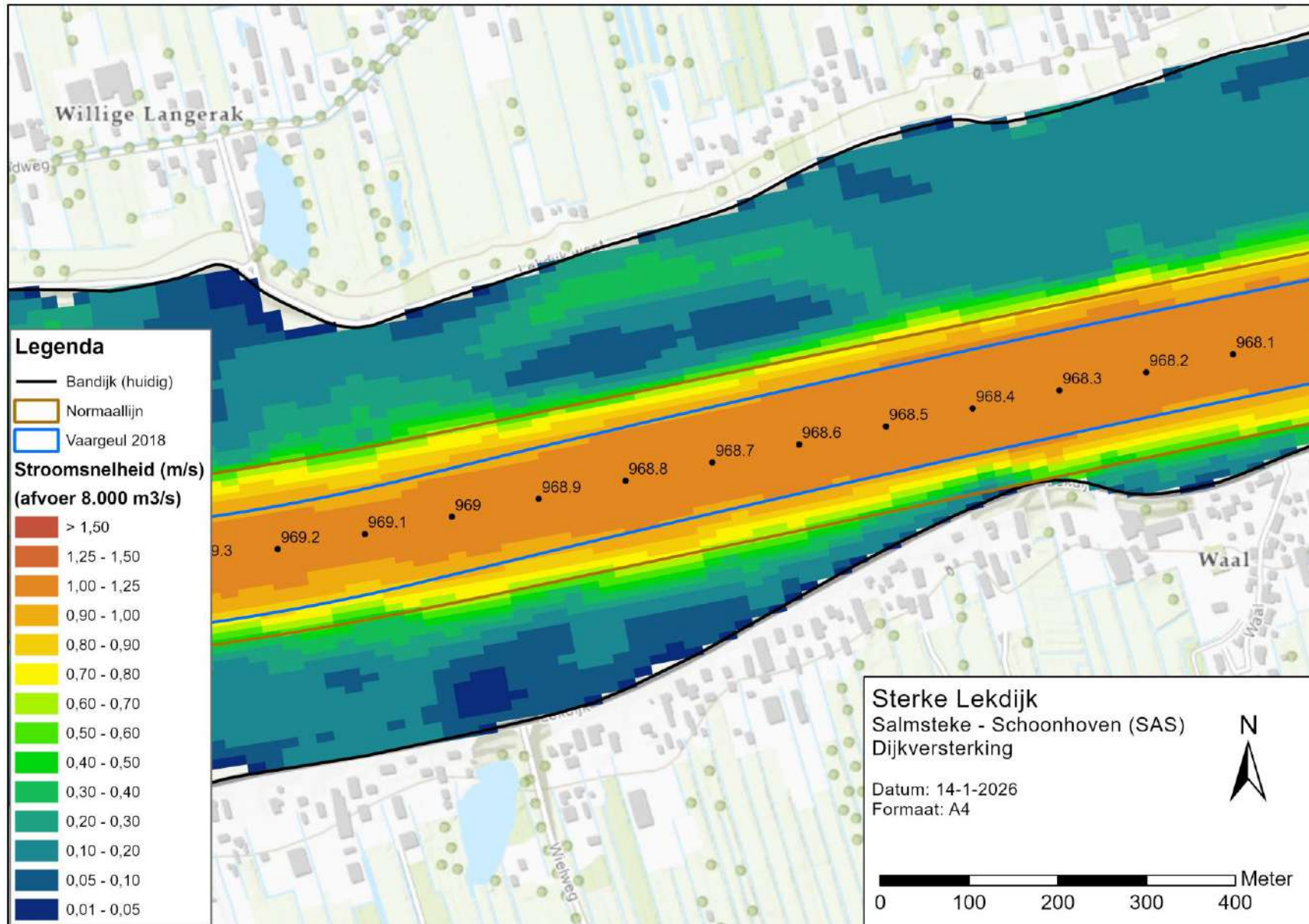


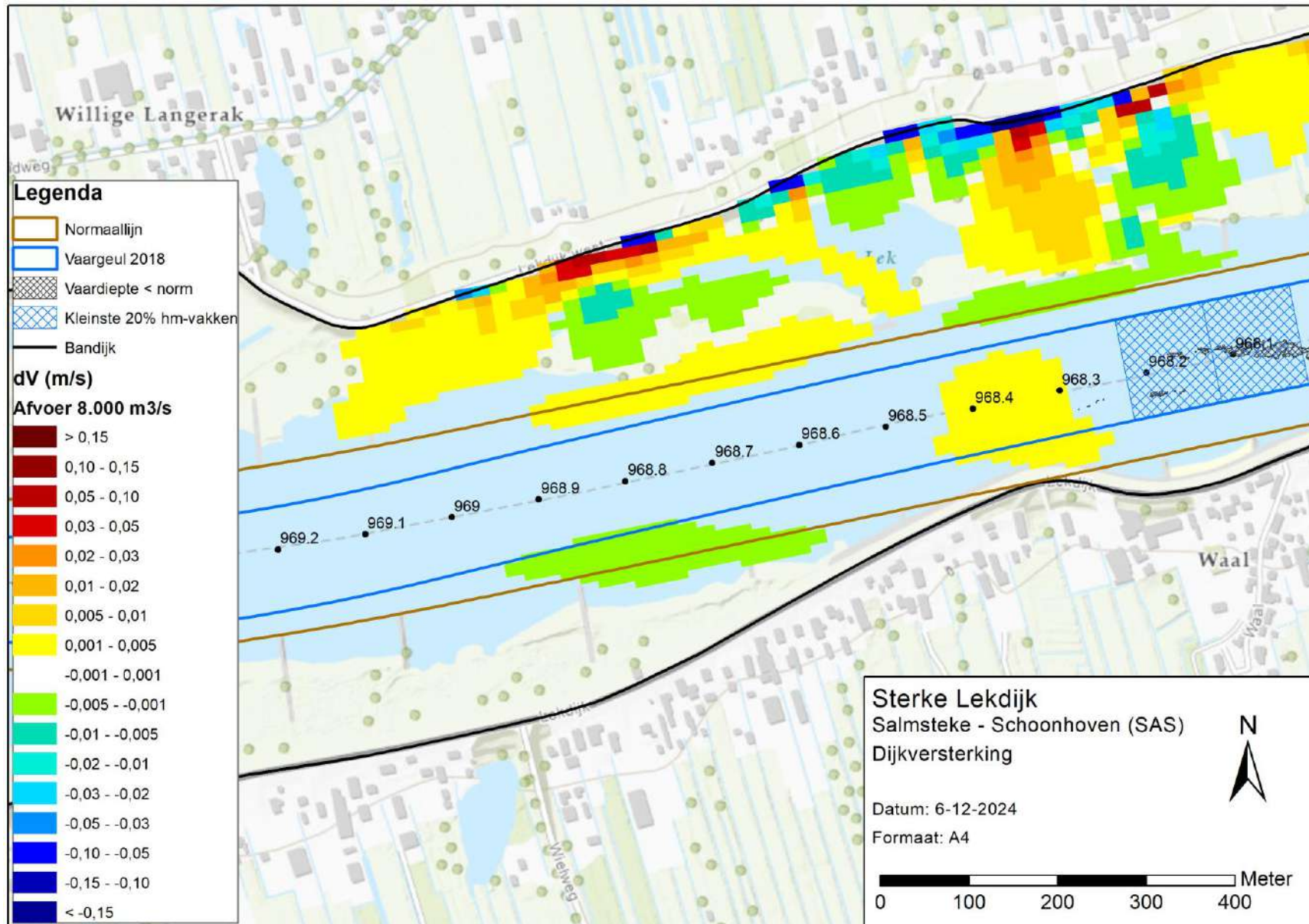


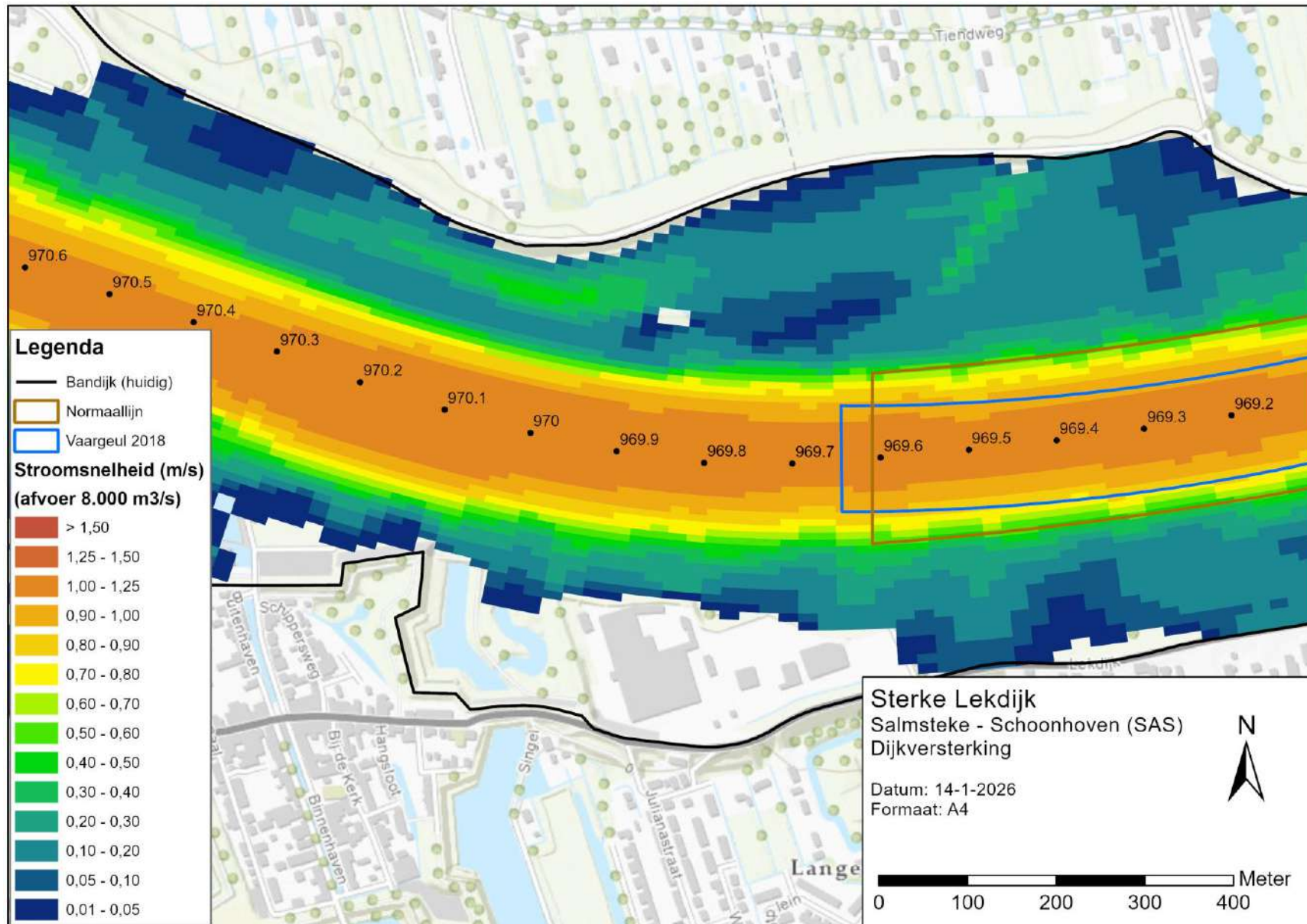


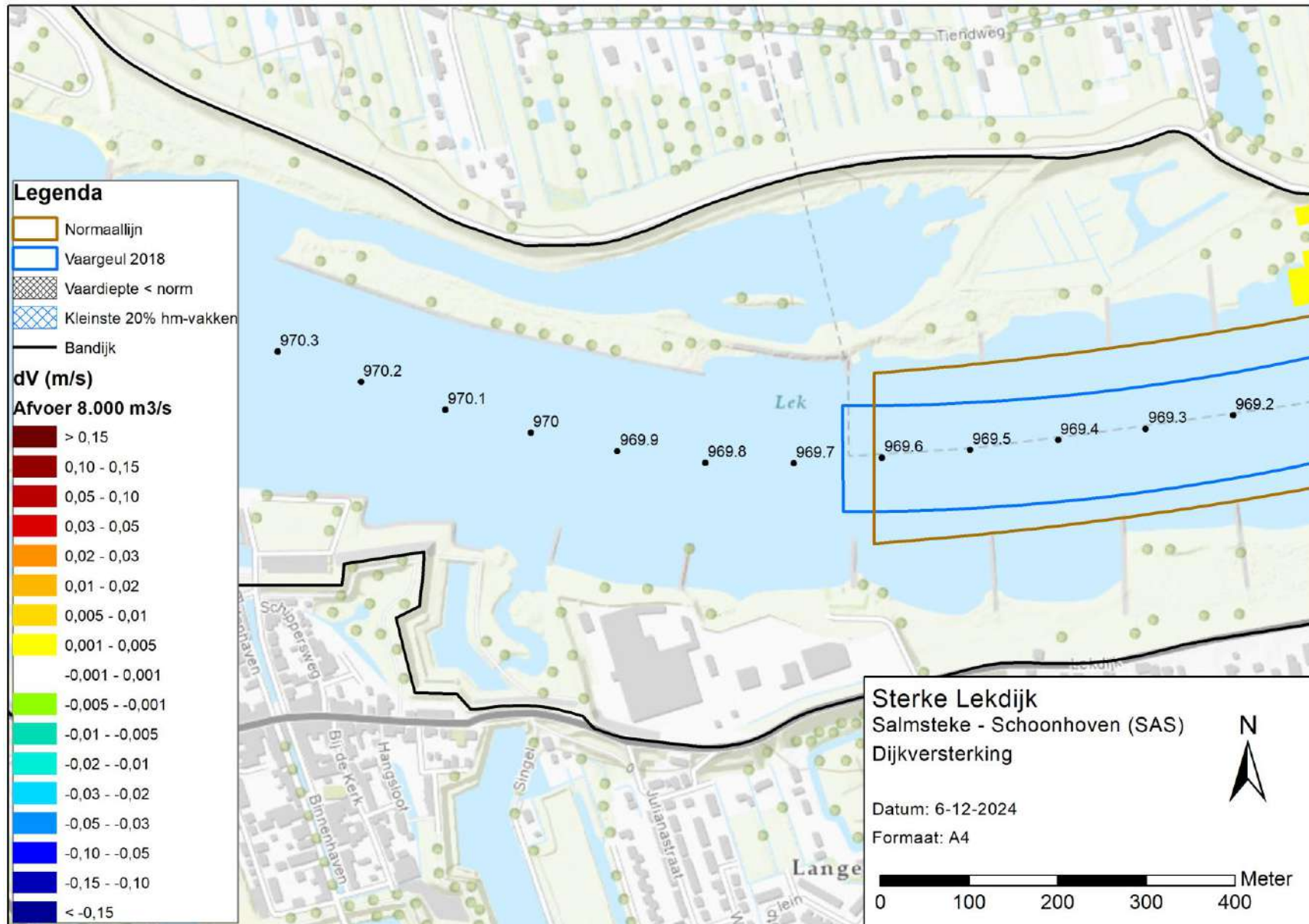


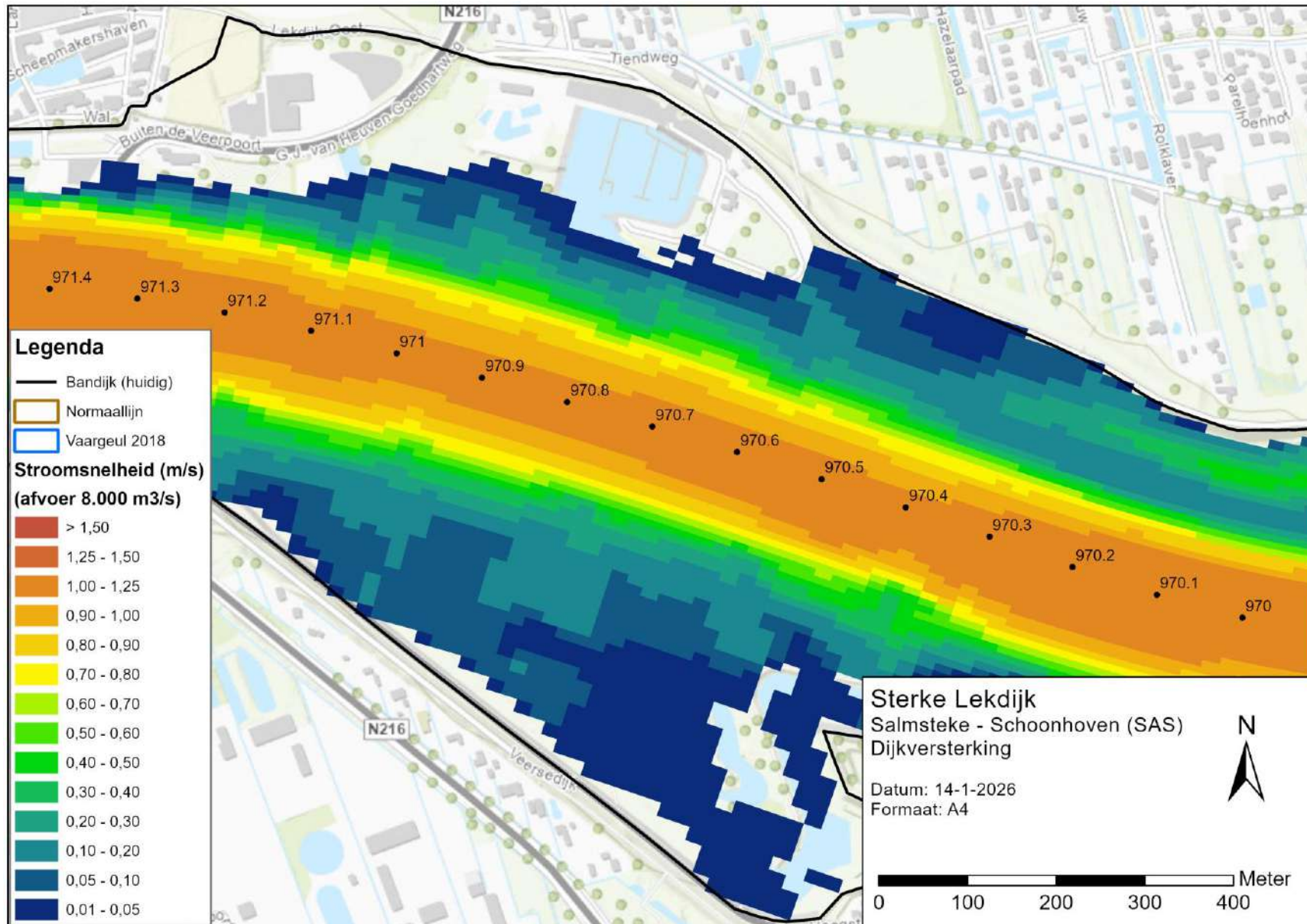


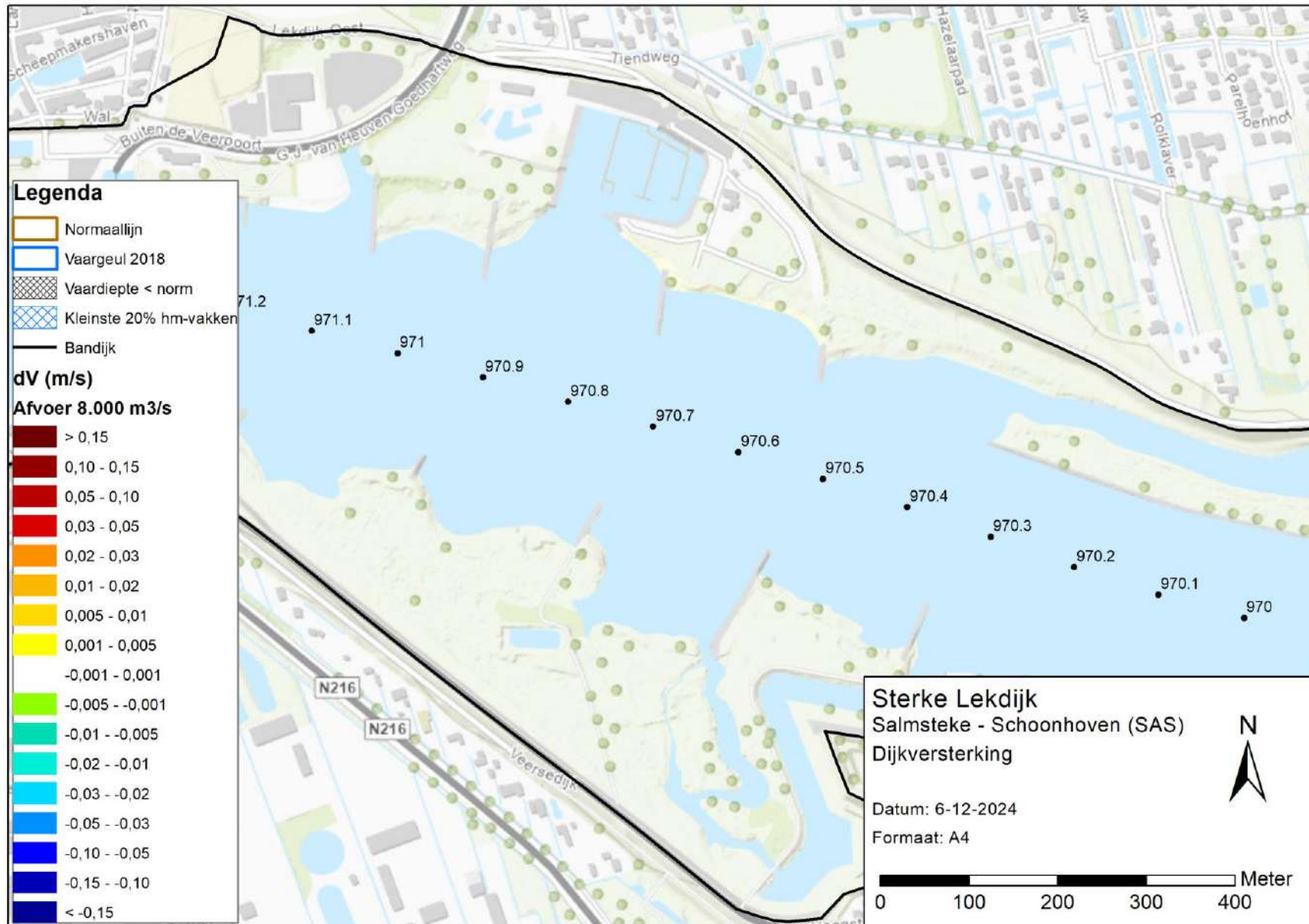




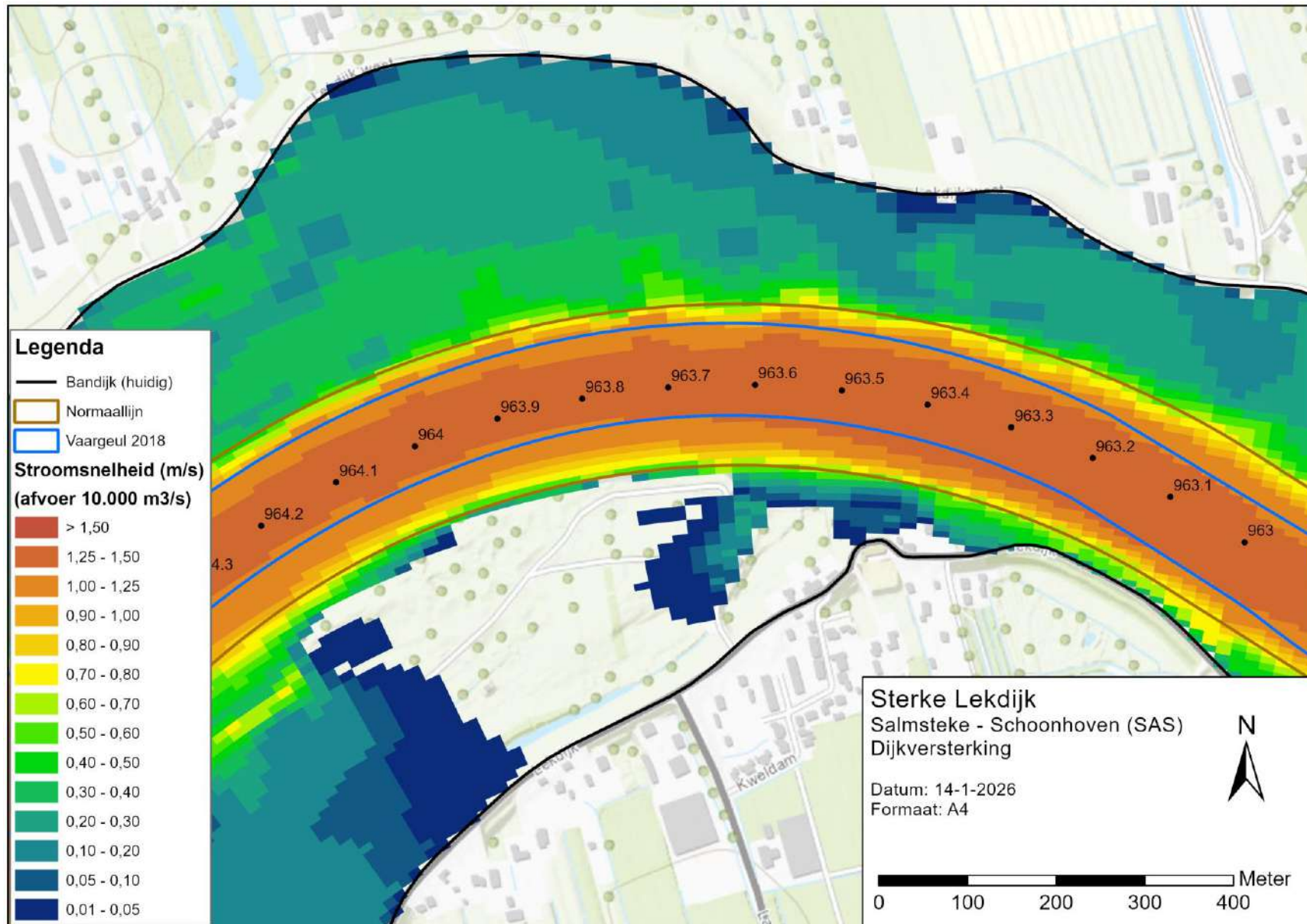


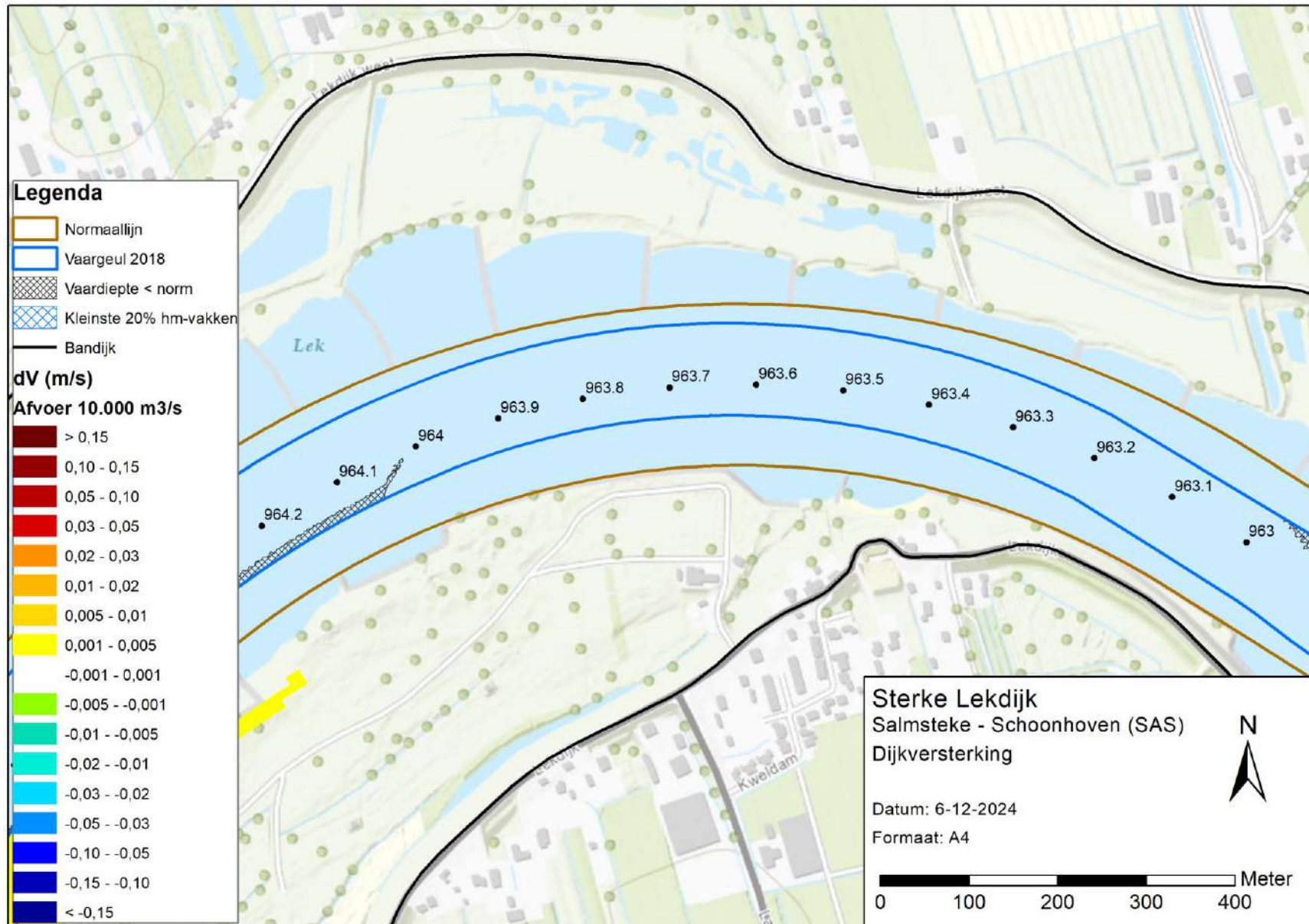


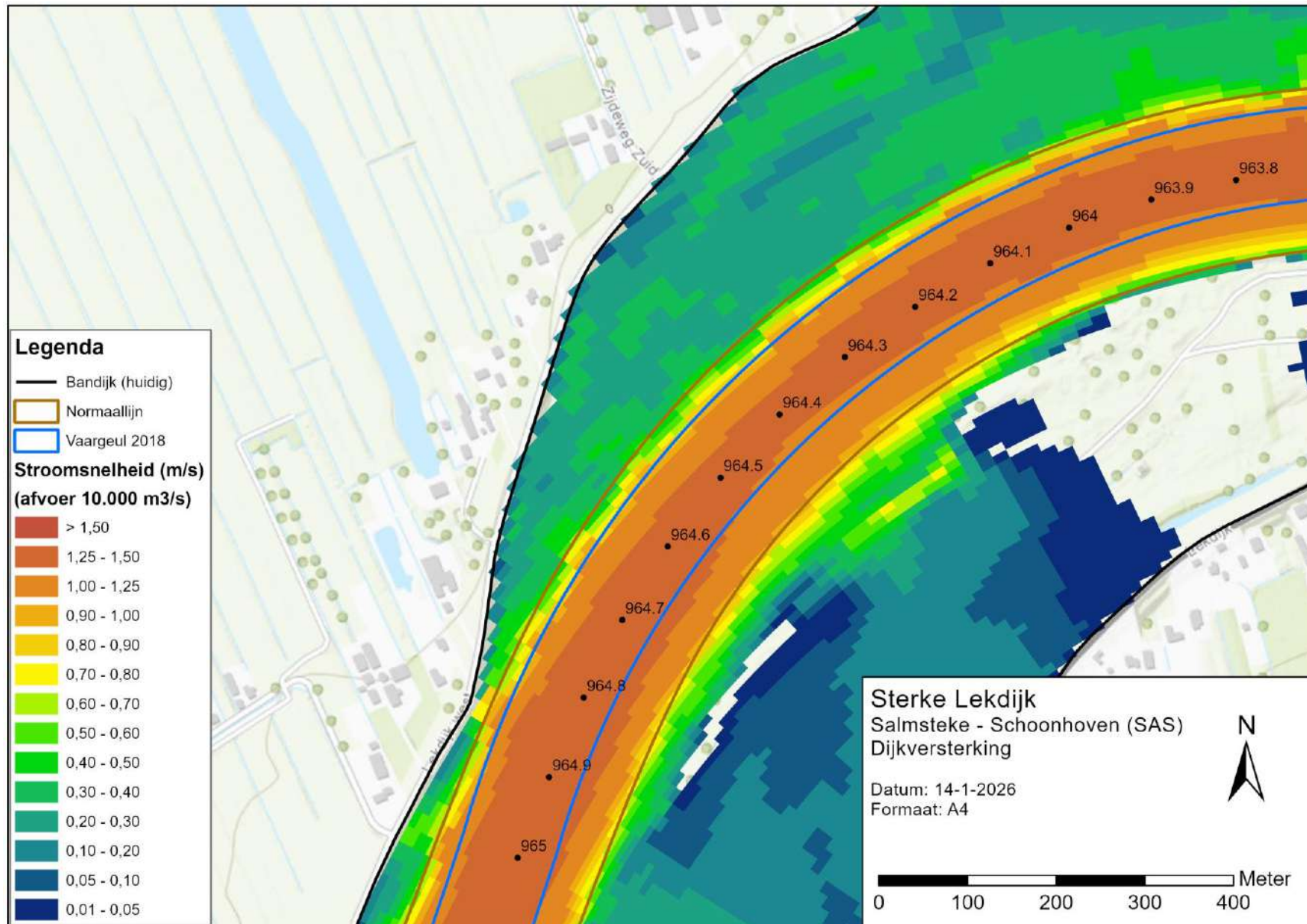


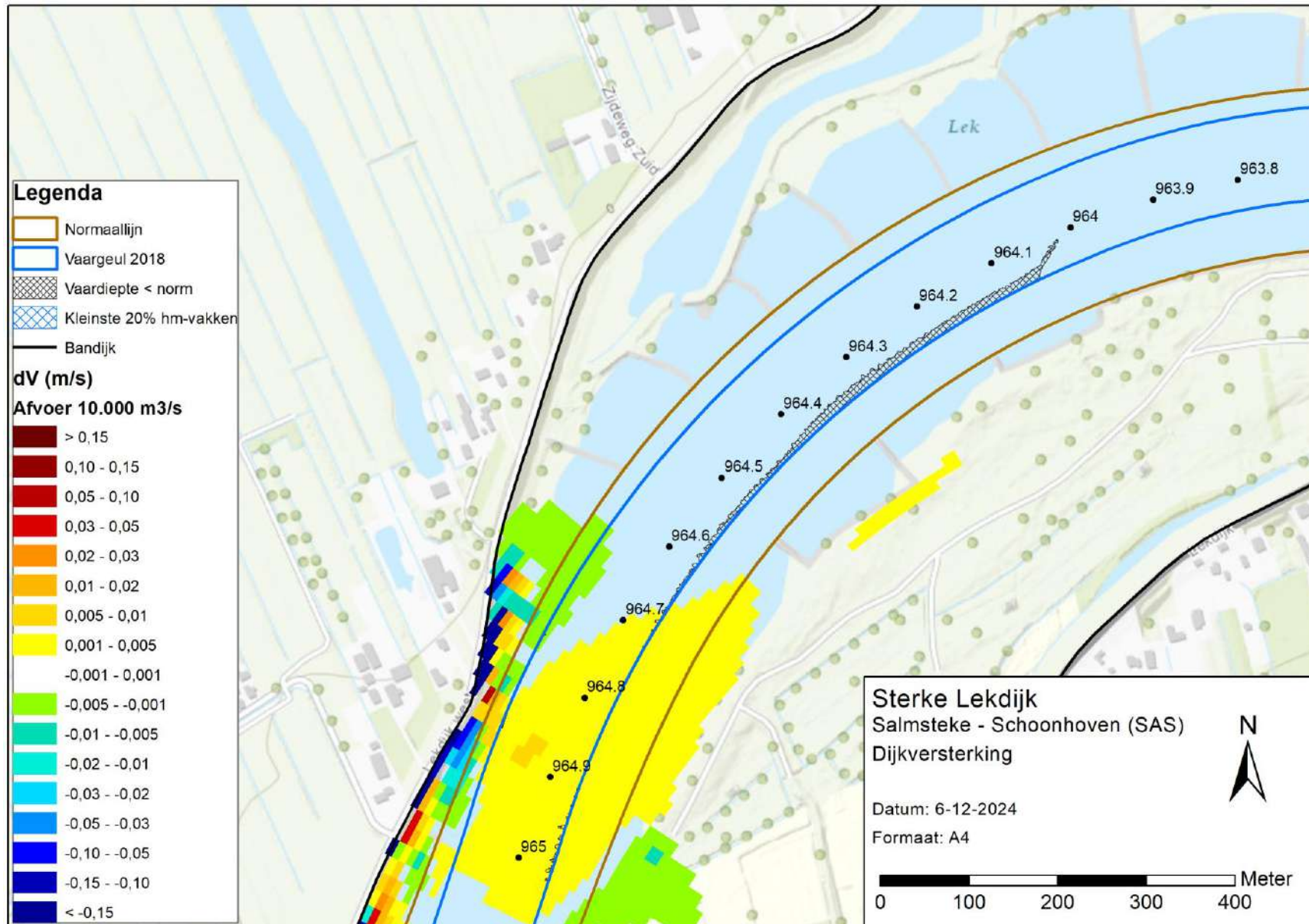


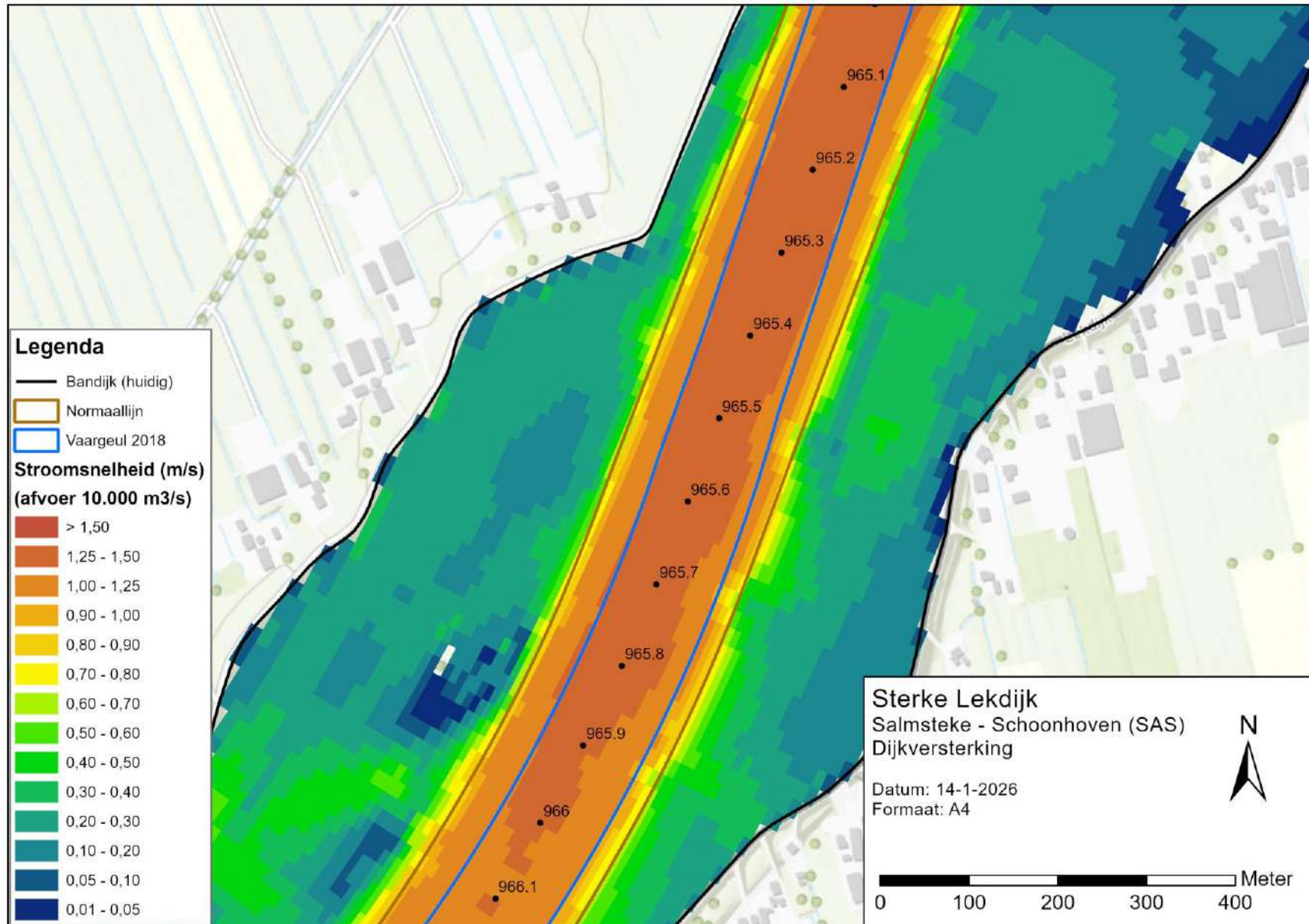
## **Bijlage 8    Stroomsnelheden en stroomsnelheidsverschillen afvoer 10.000 m<sup>3</sup>/s bij Lobith**

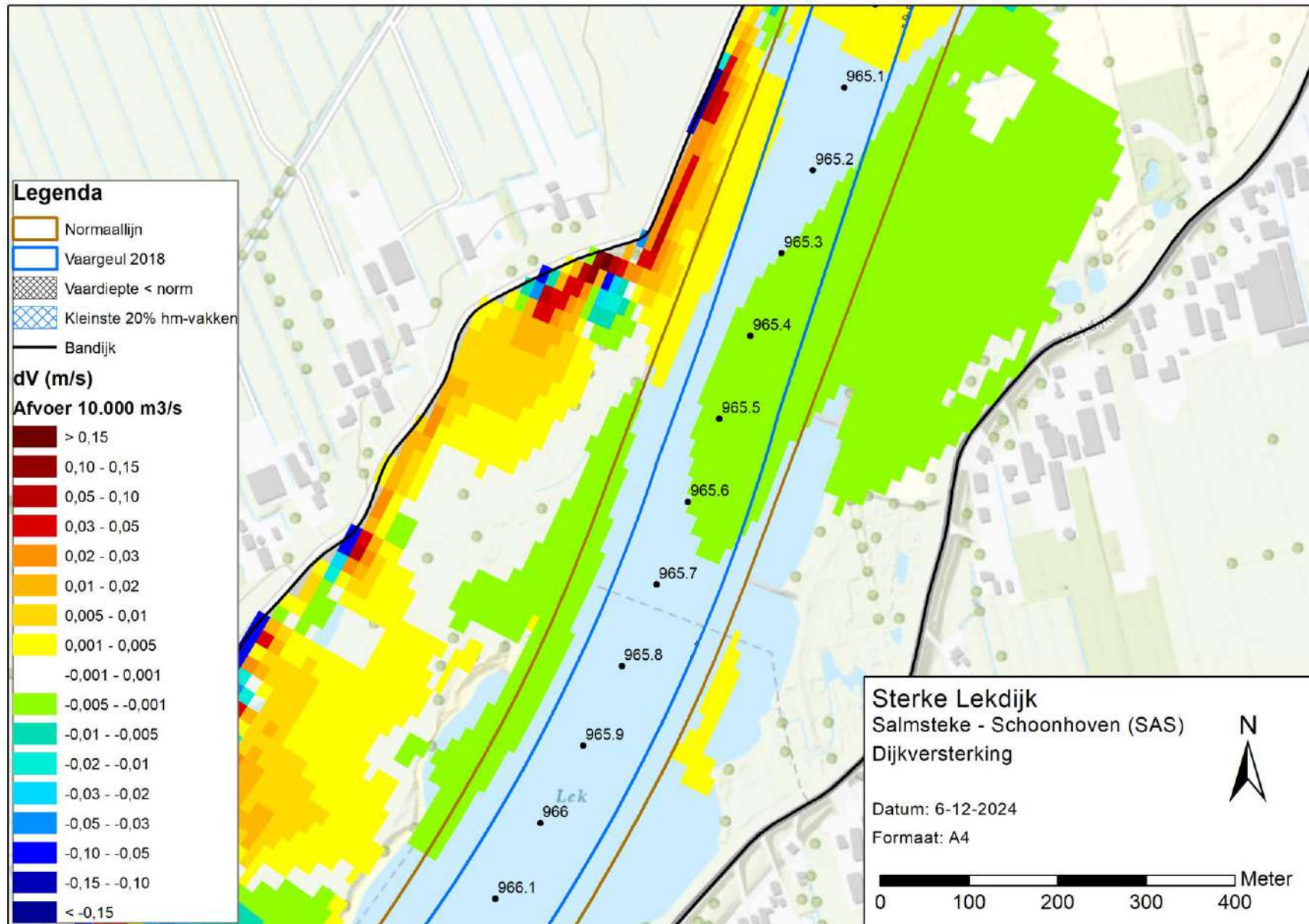


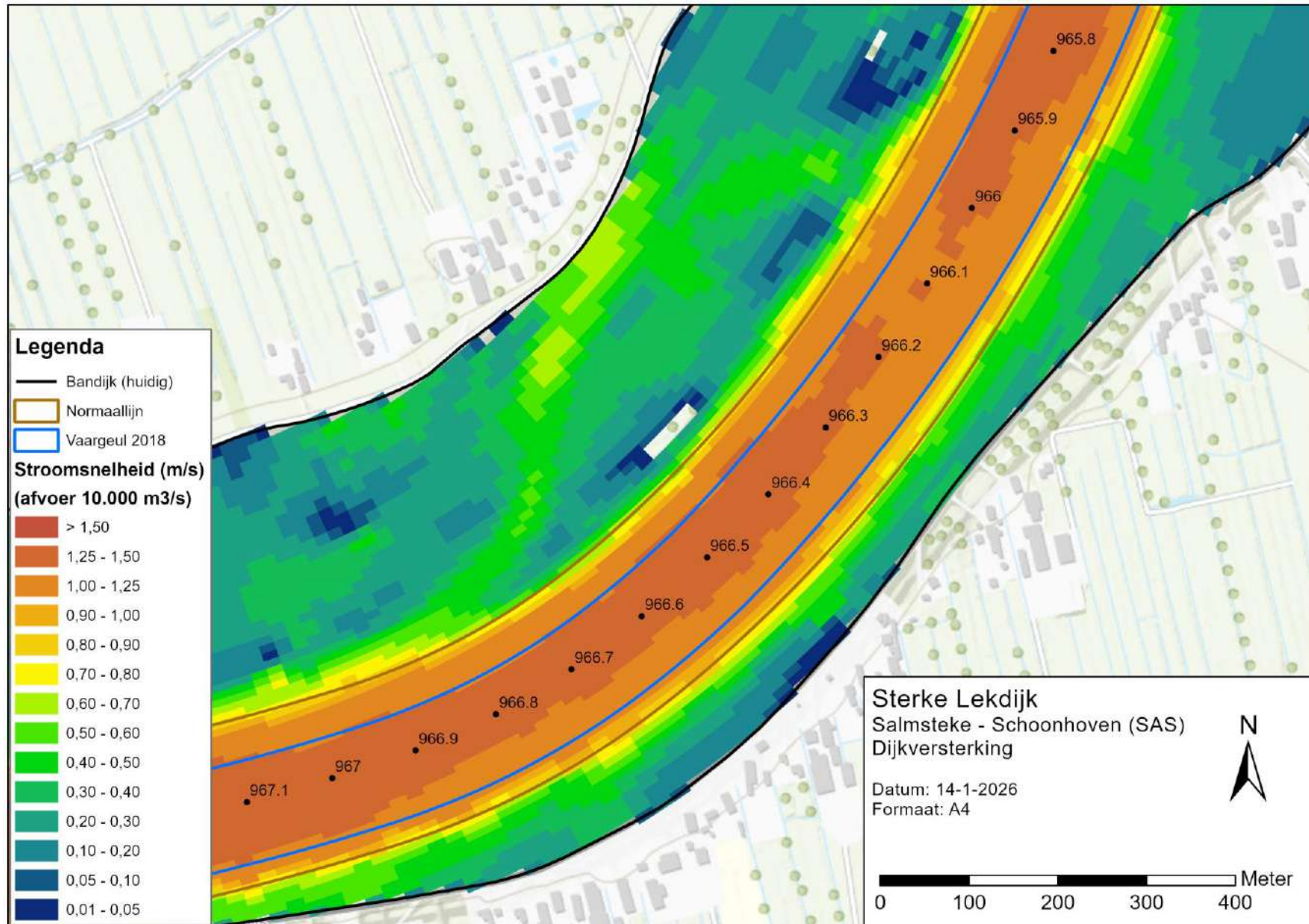


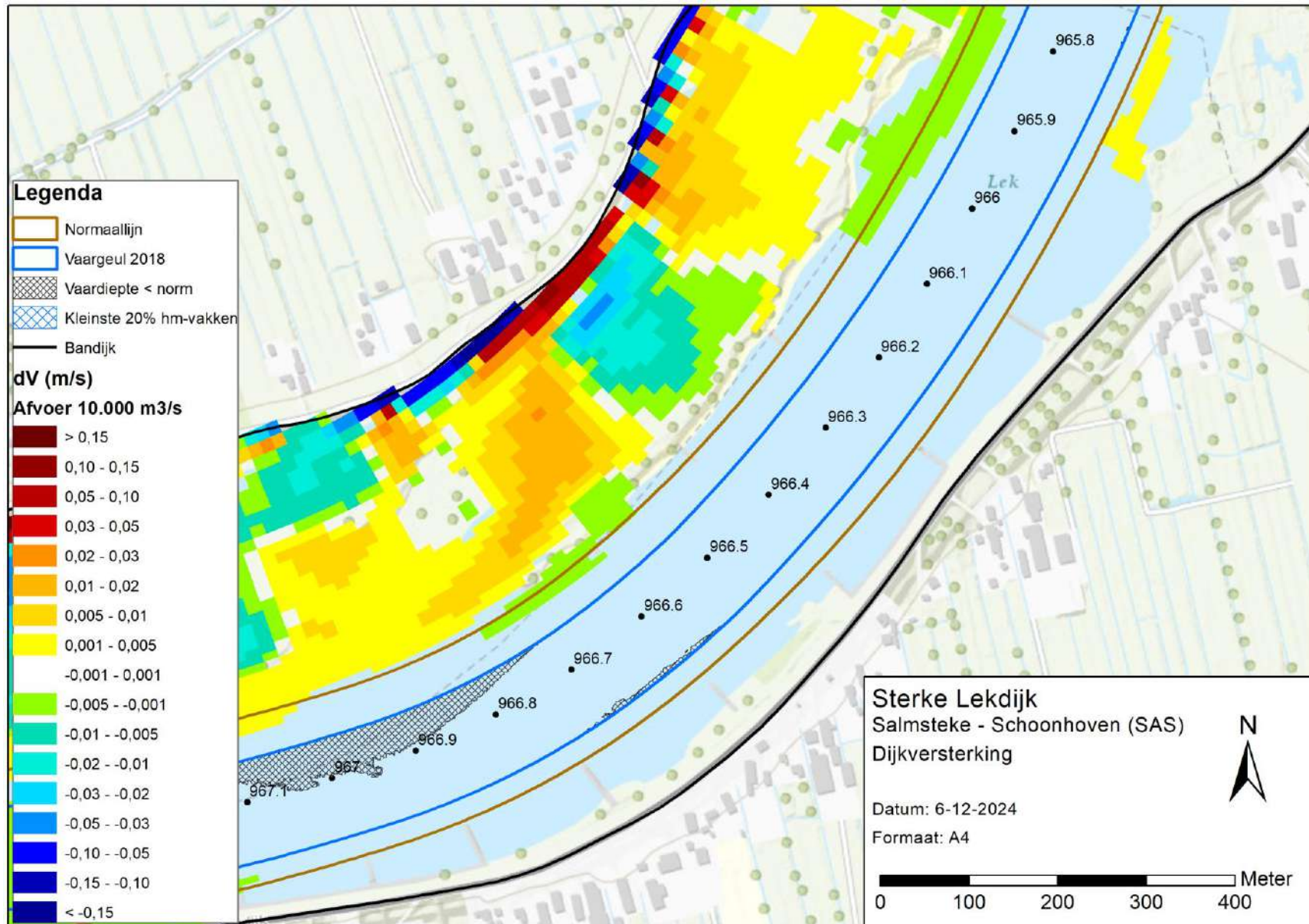


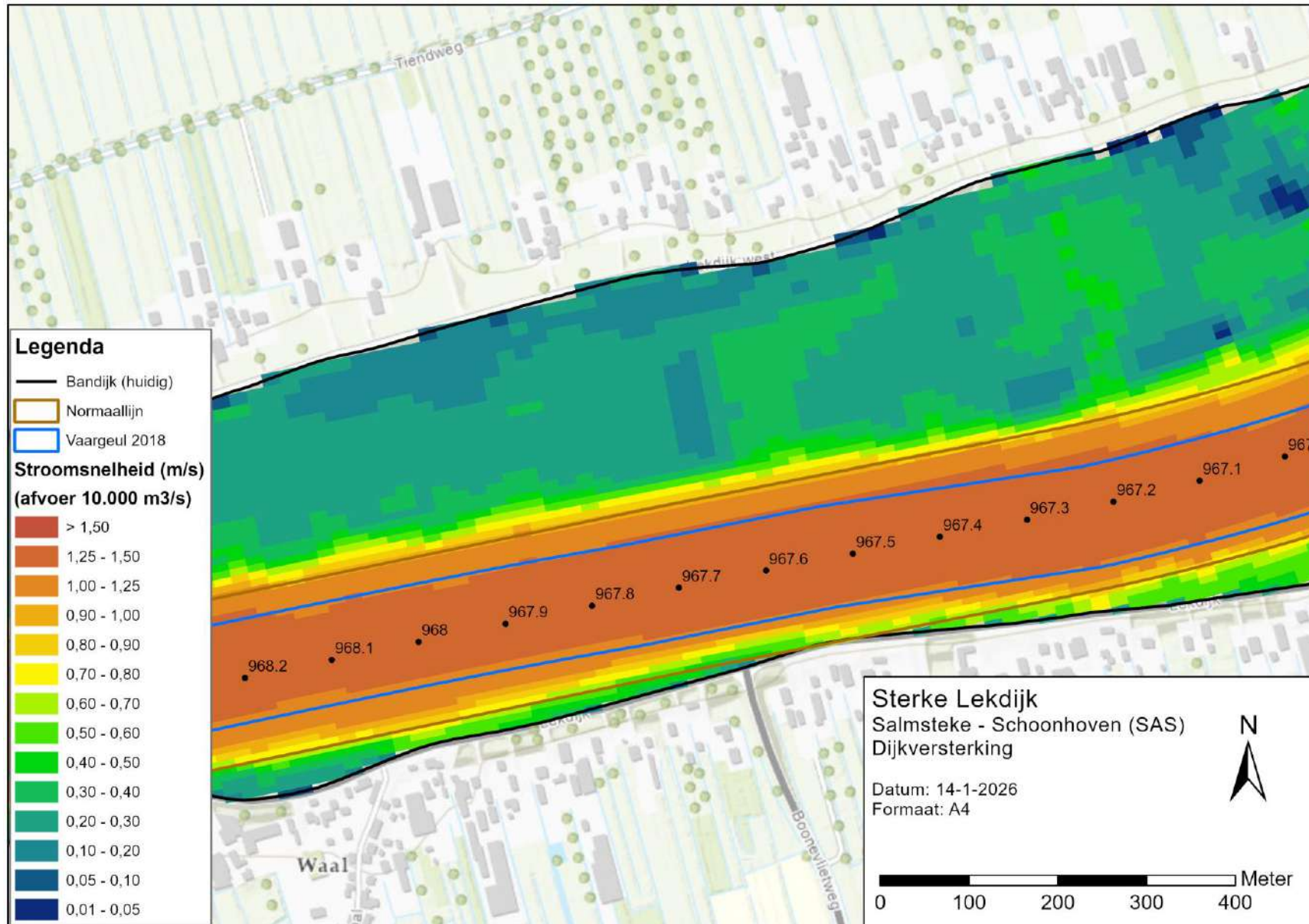


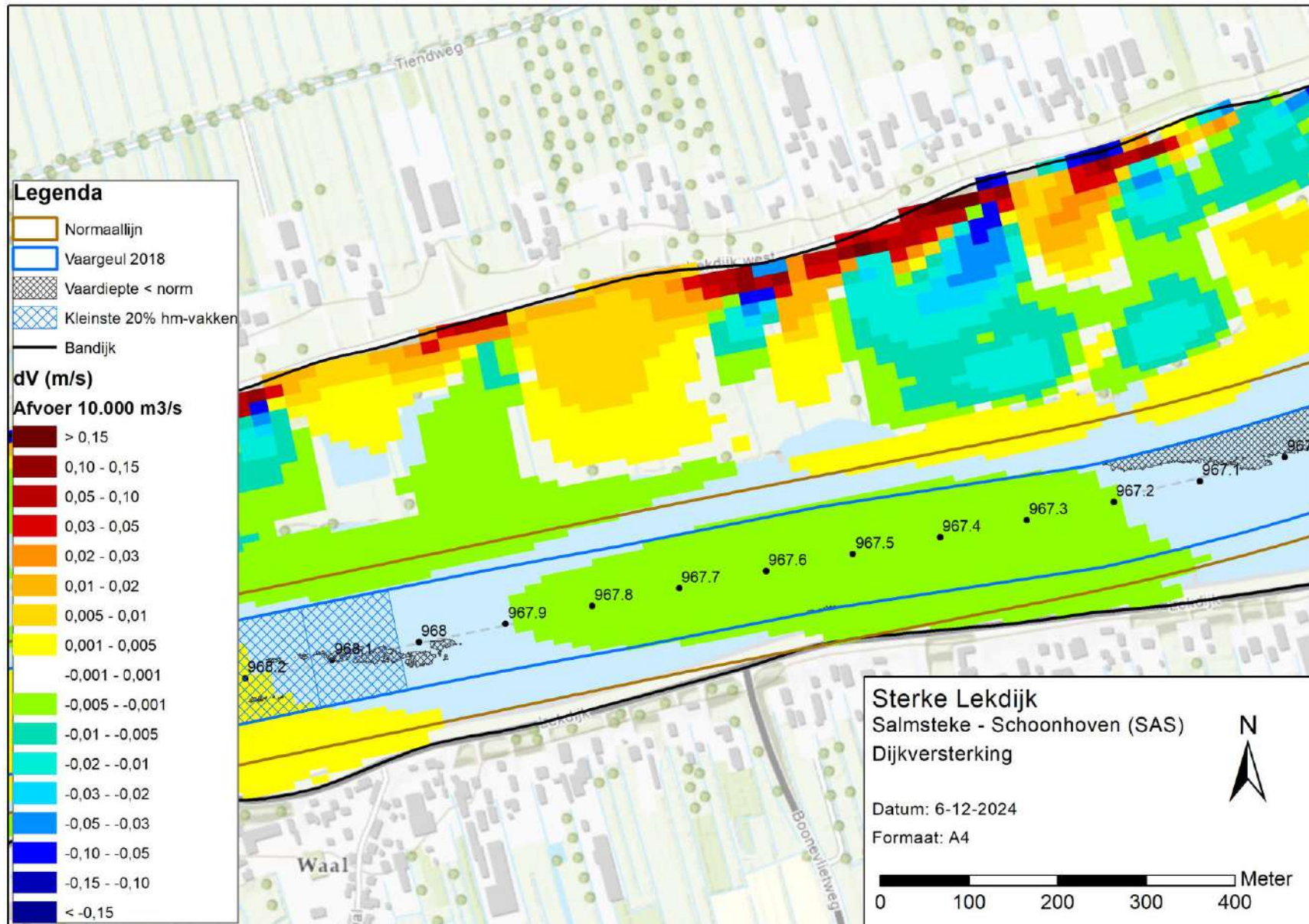


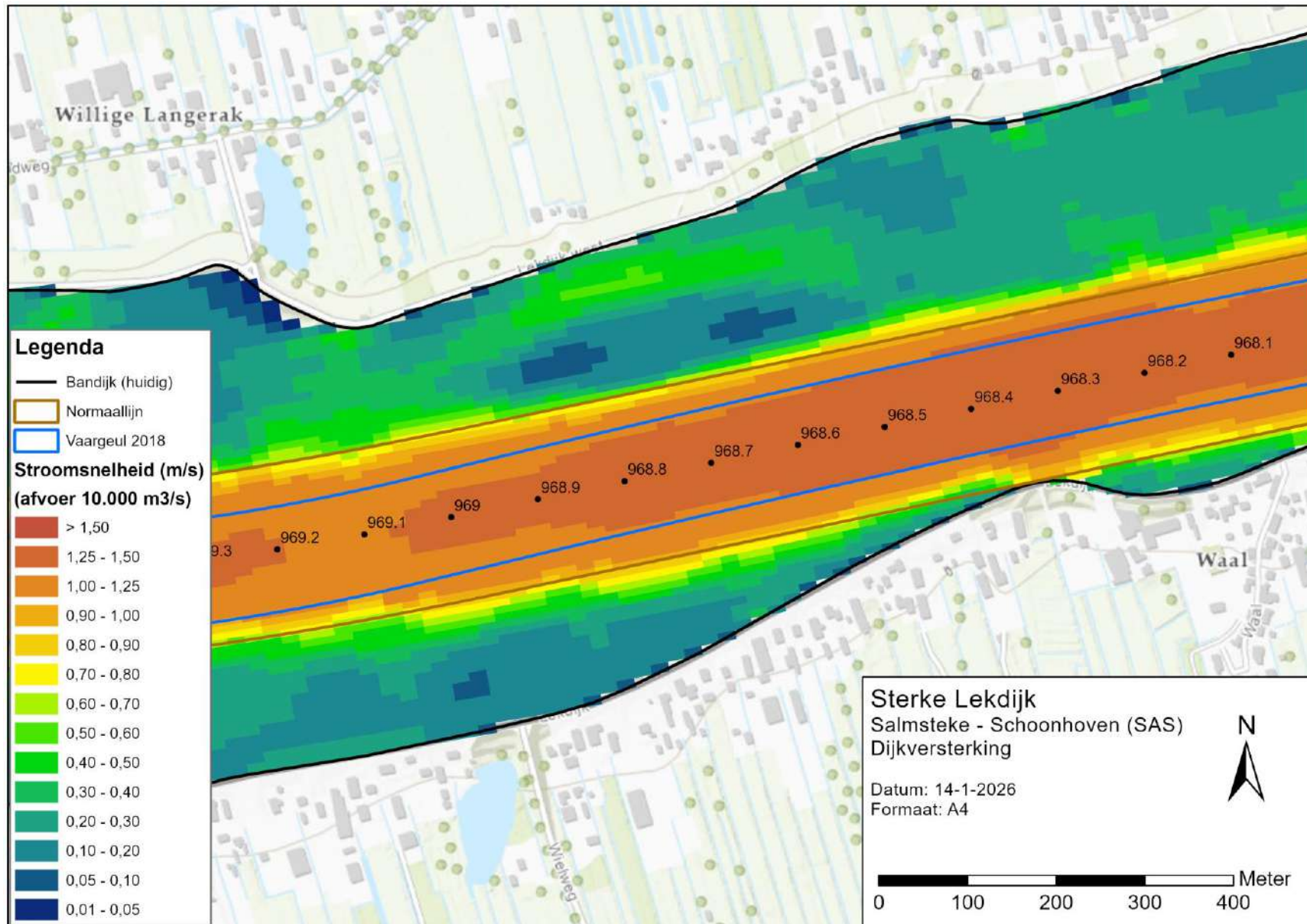


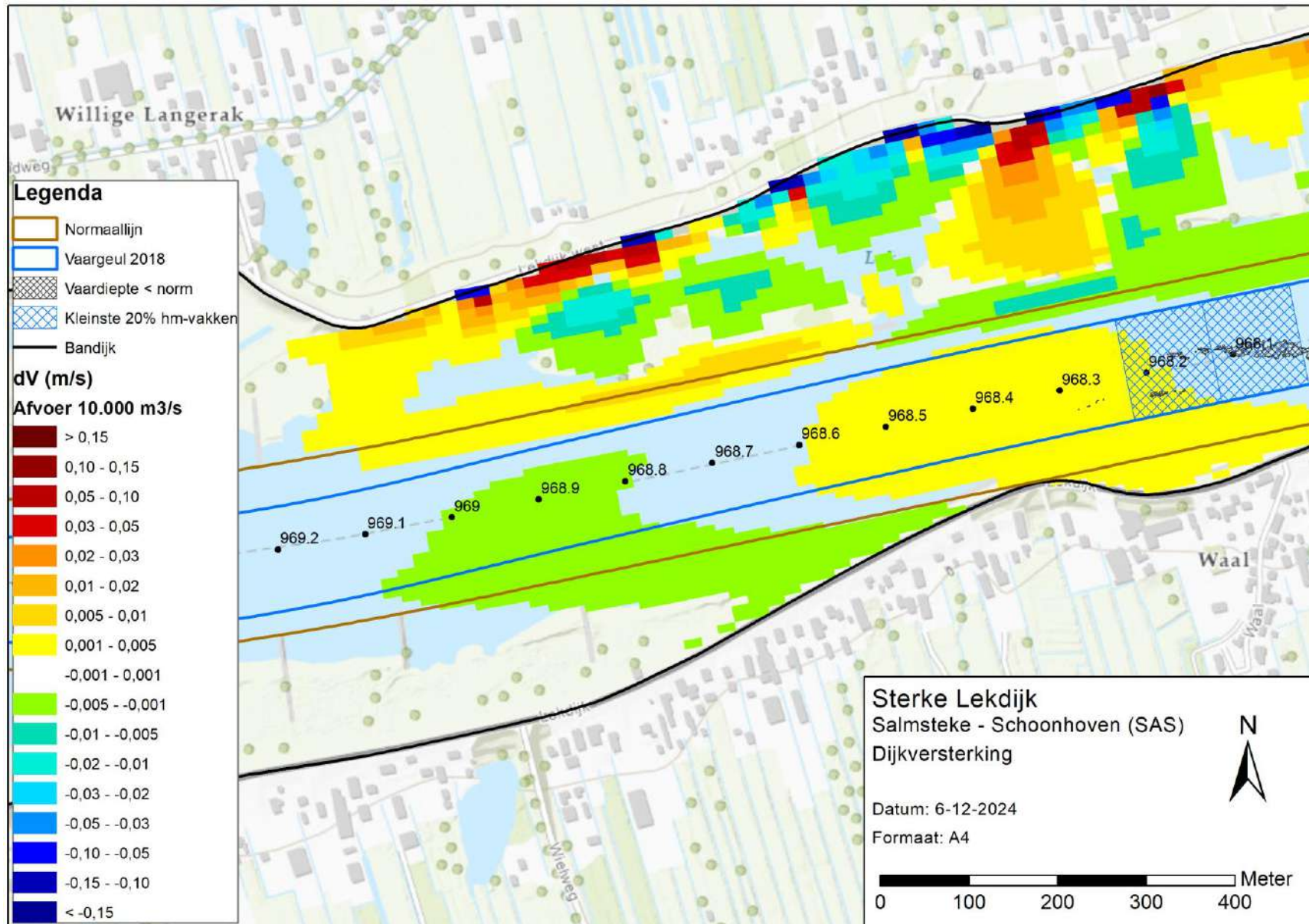


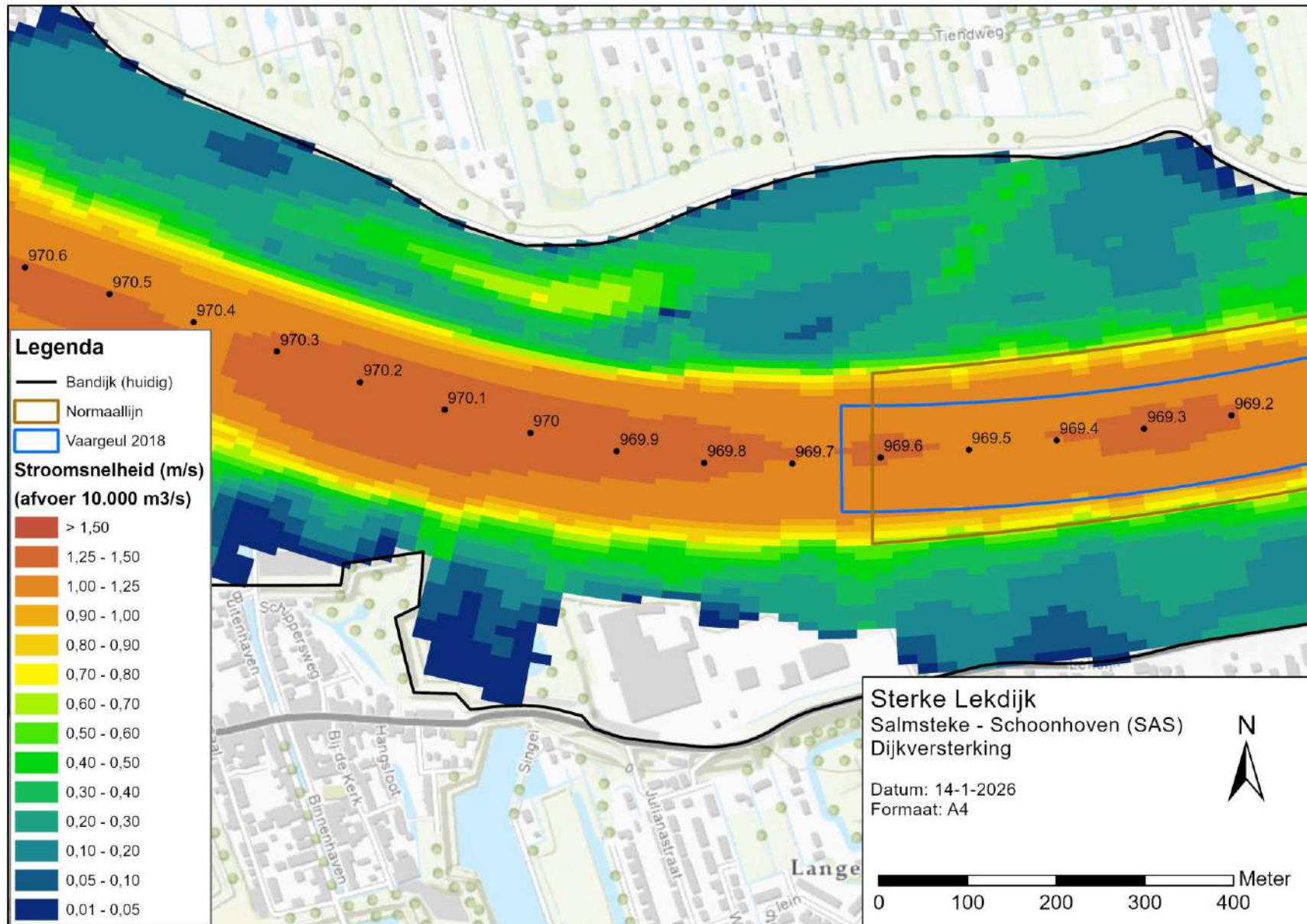


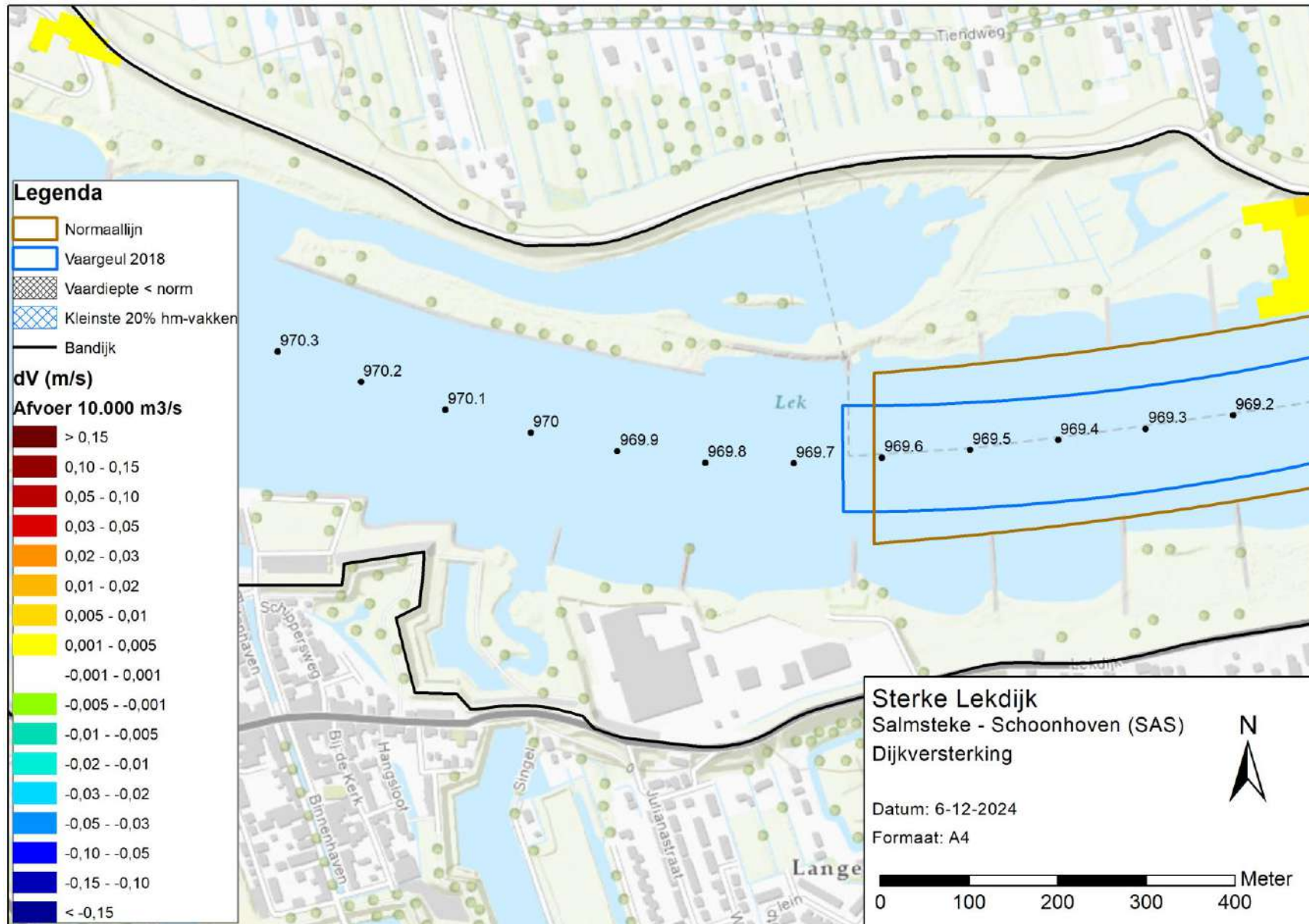


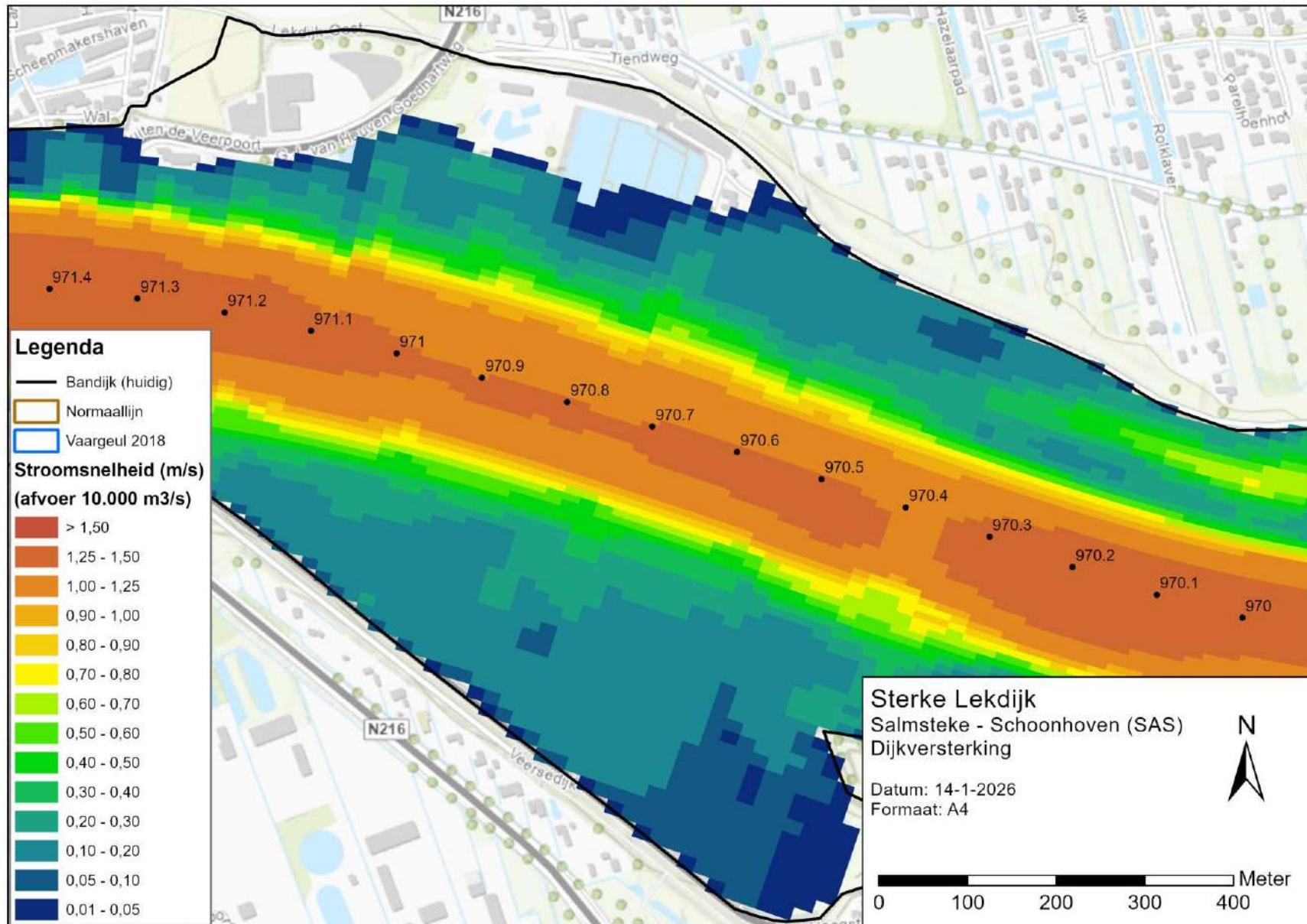


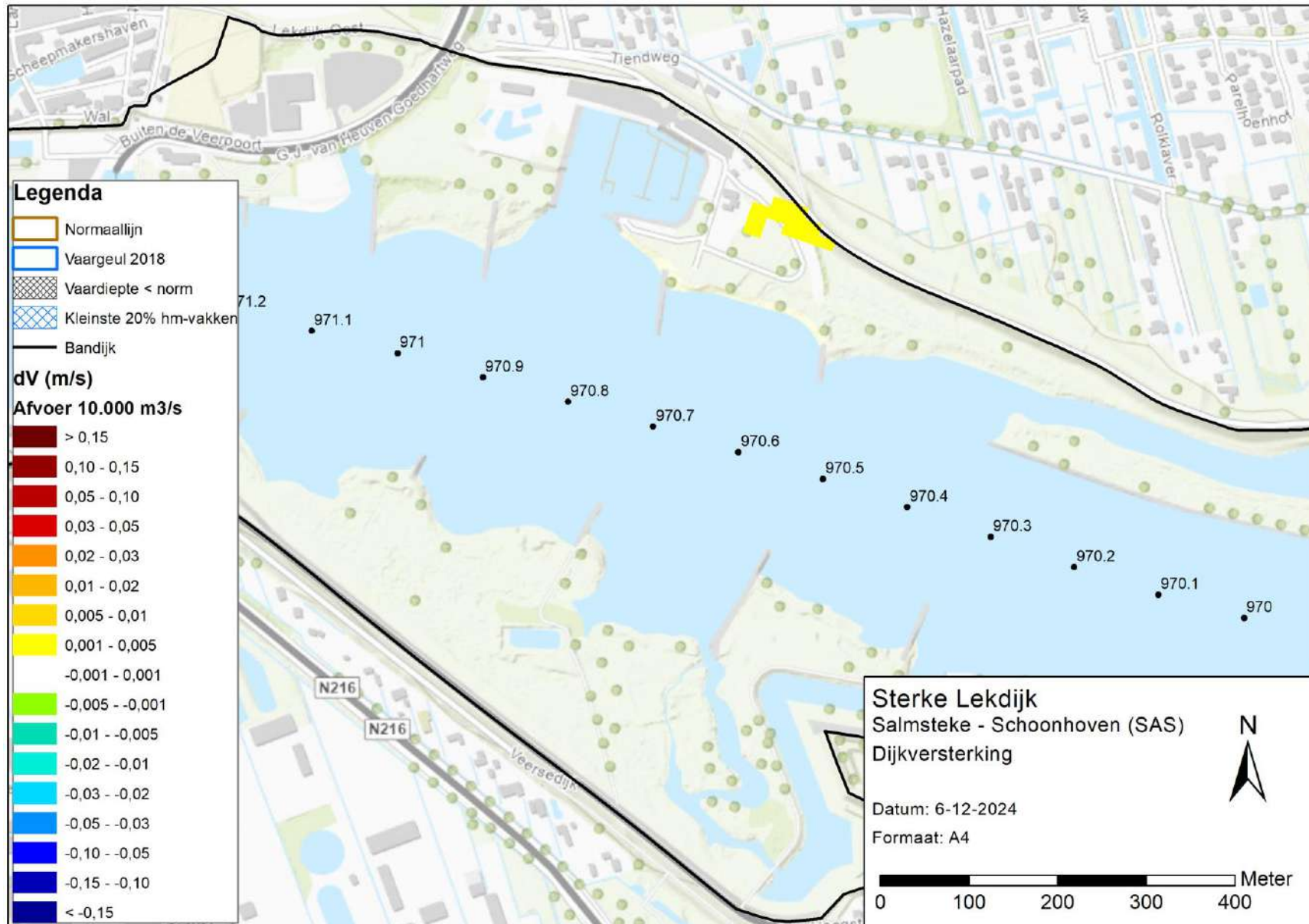




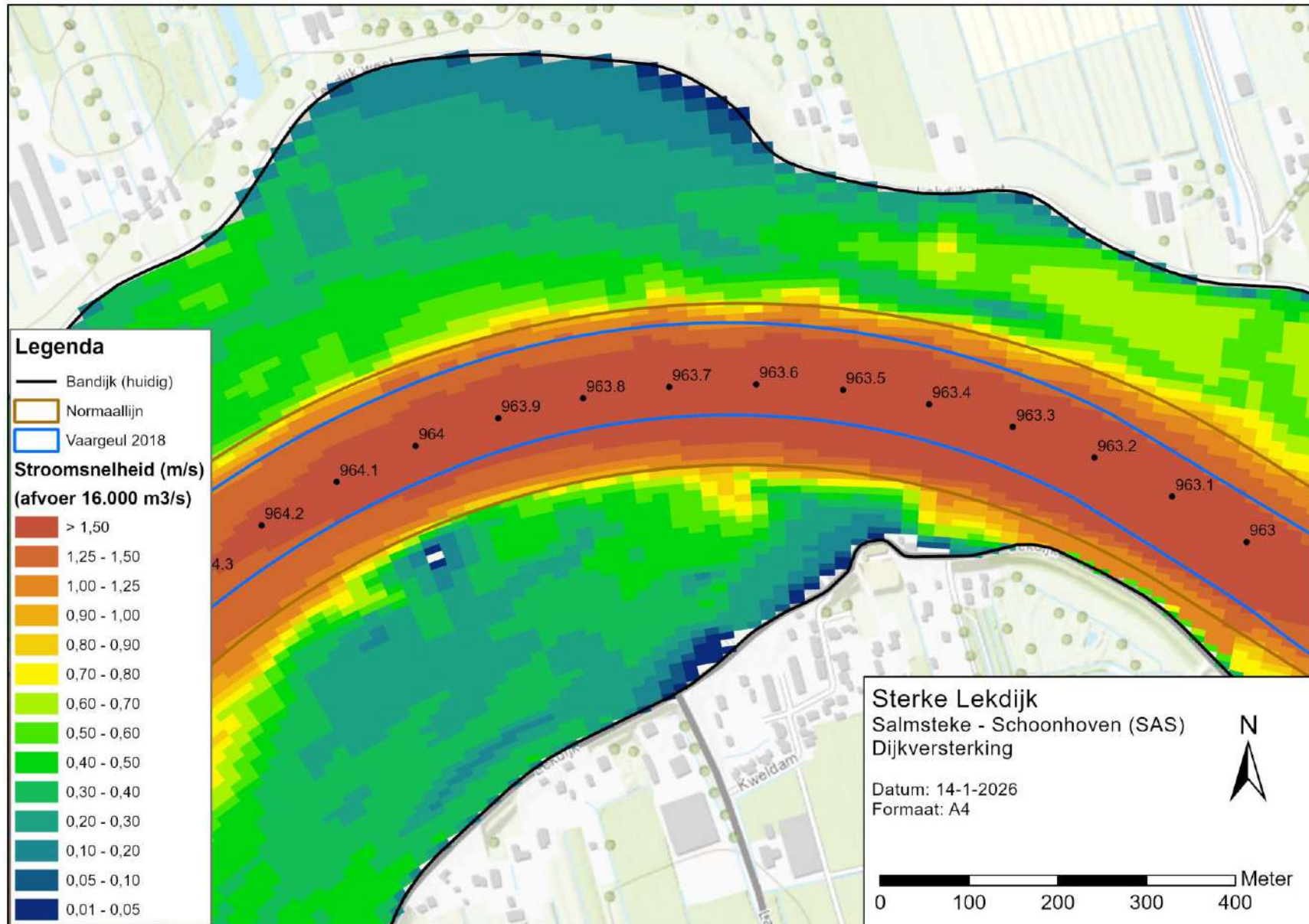


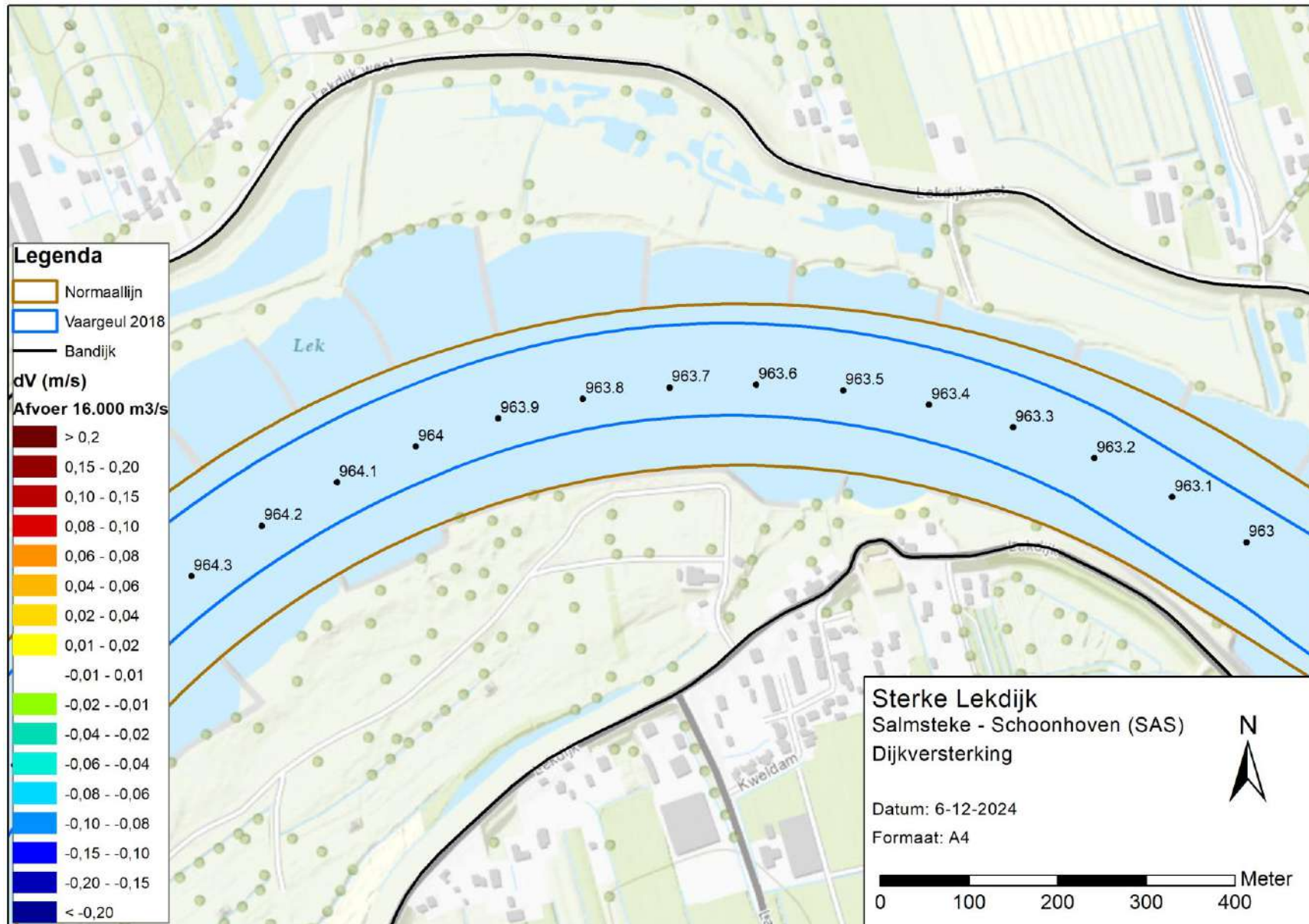


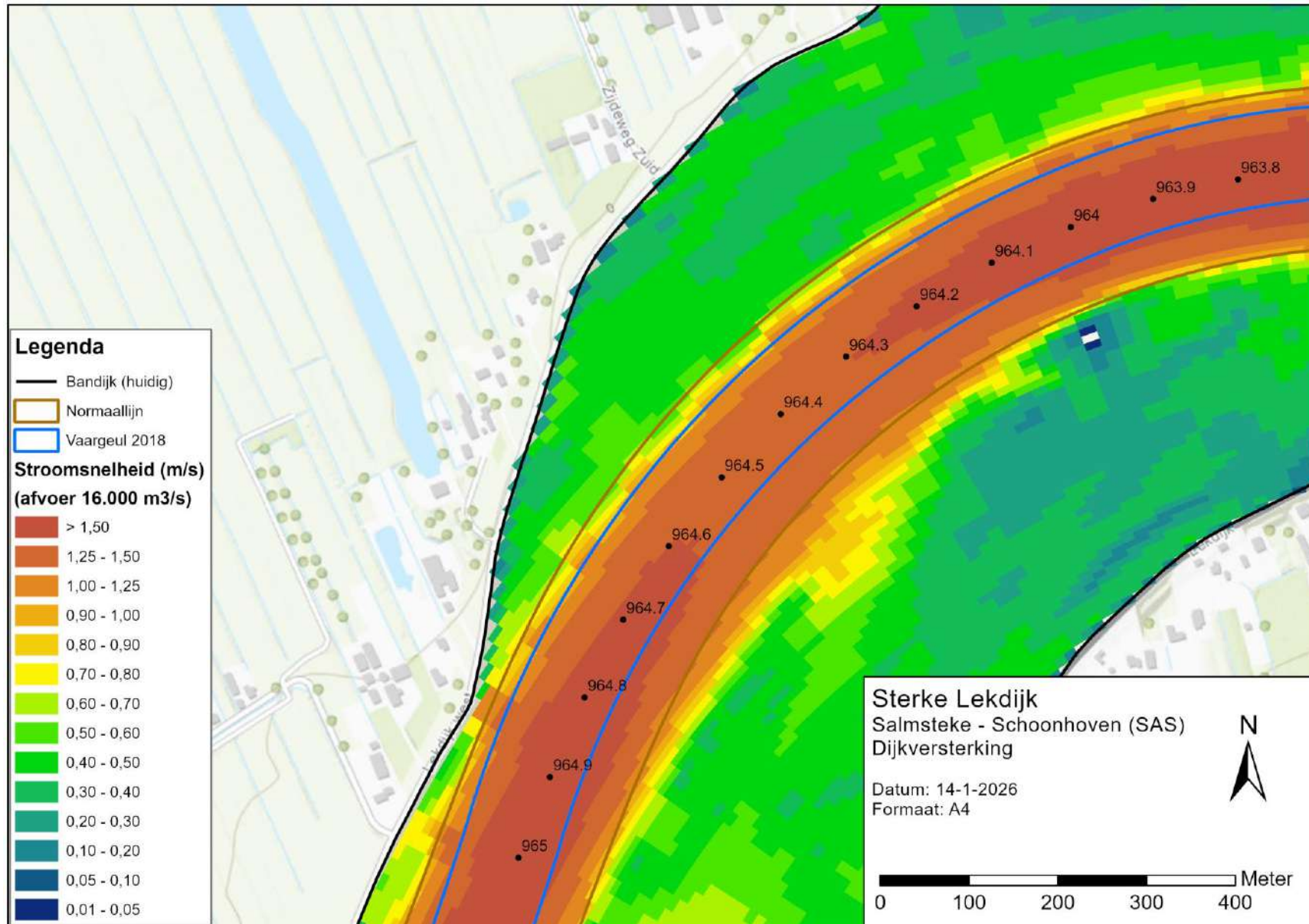


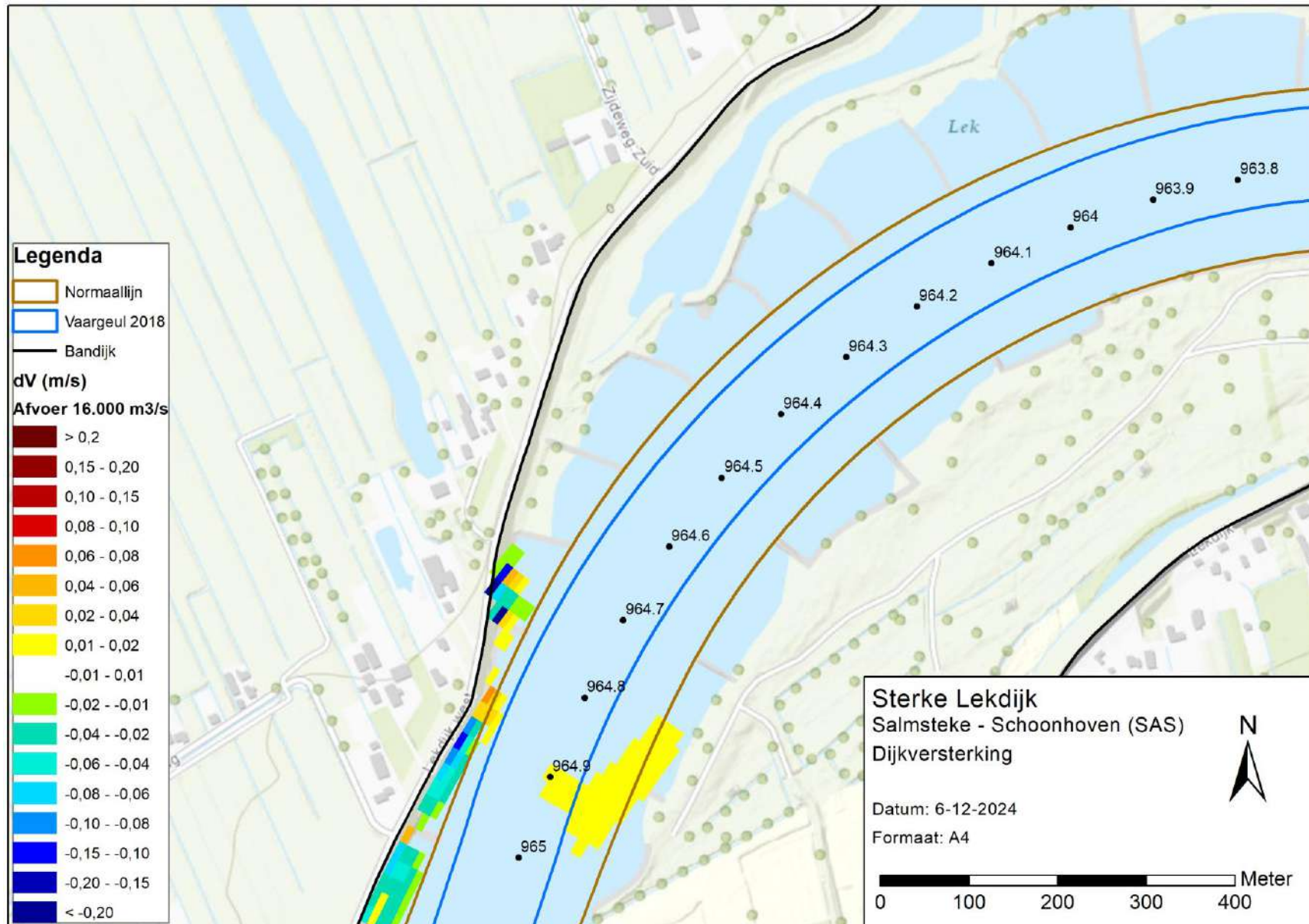


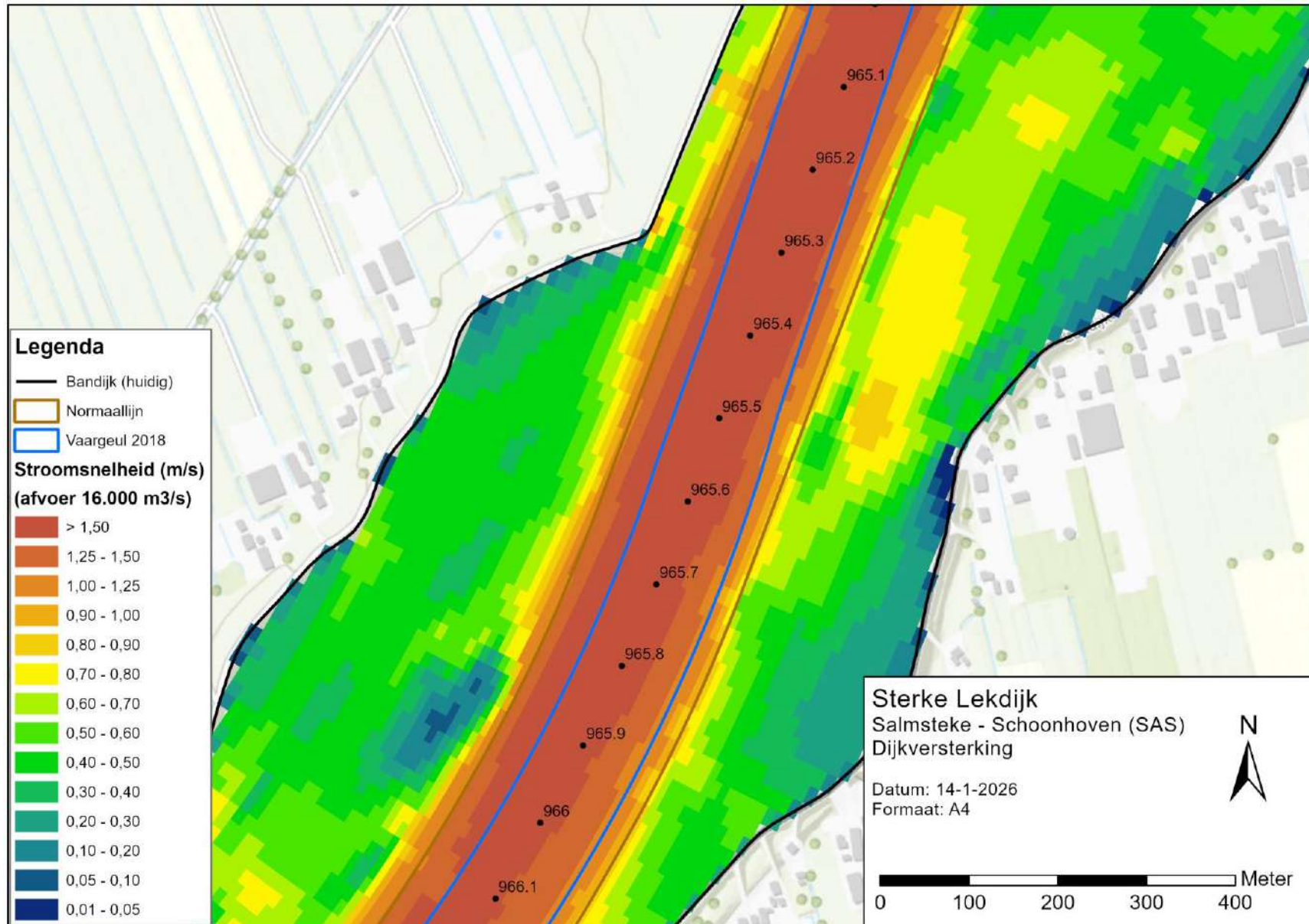
## **Bijlage 9    Stroomsnelheden en stroomsnelheidsverschillen afvoer 16.000 m<sup>3</sup>/s bij Lobith**

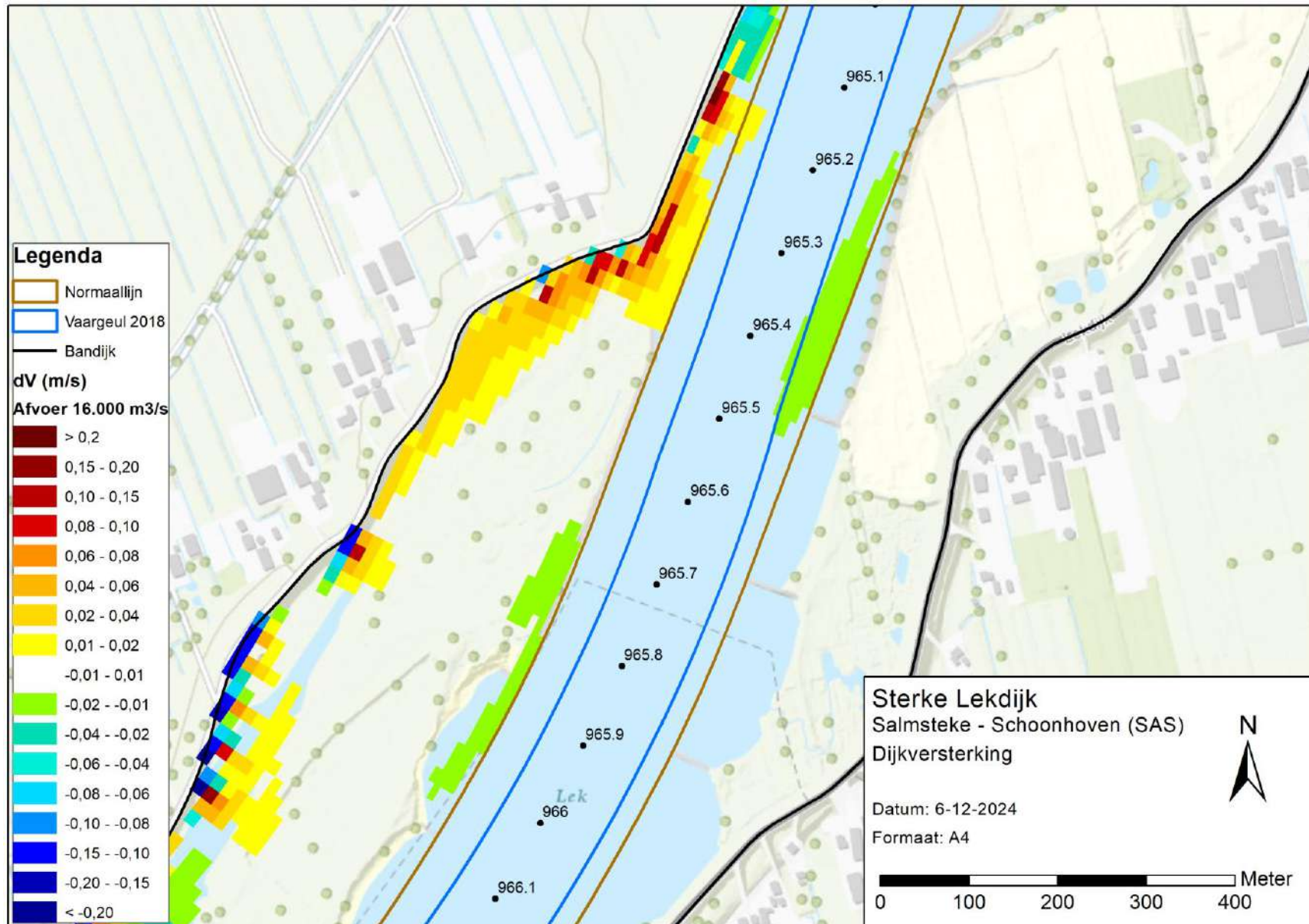


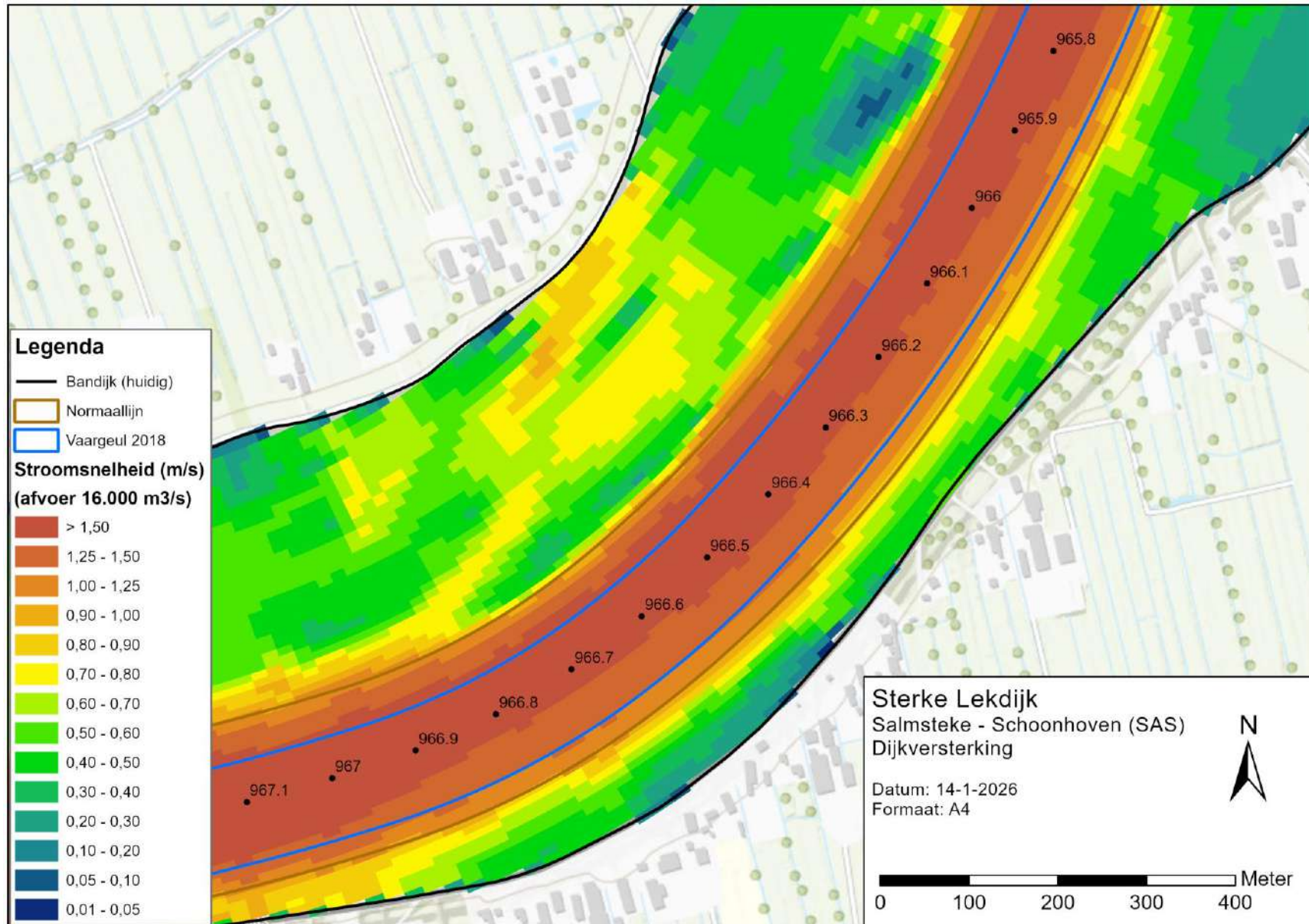


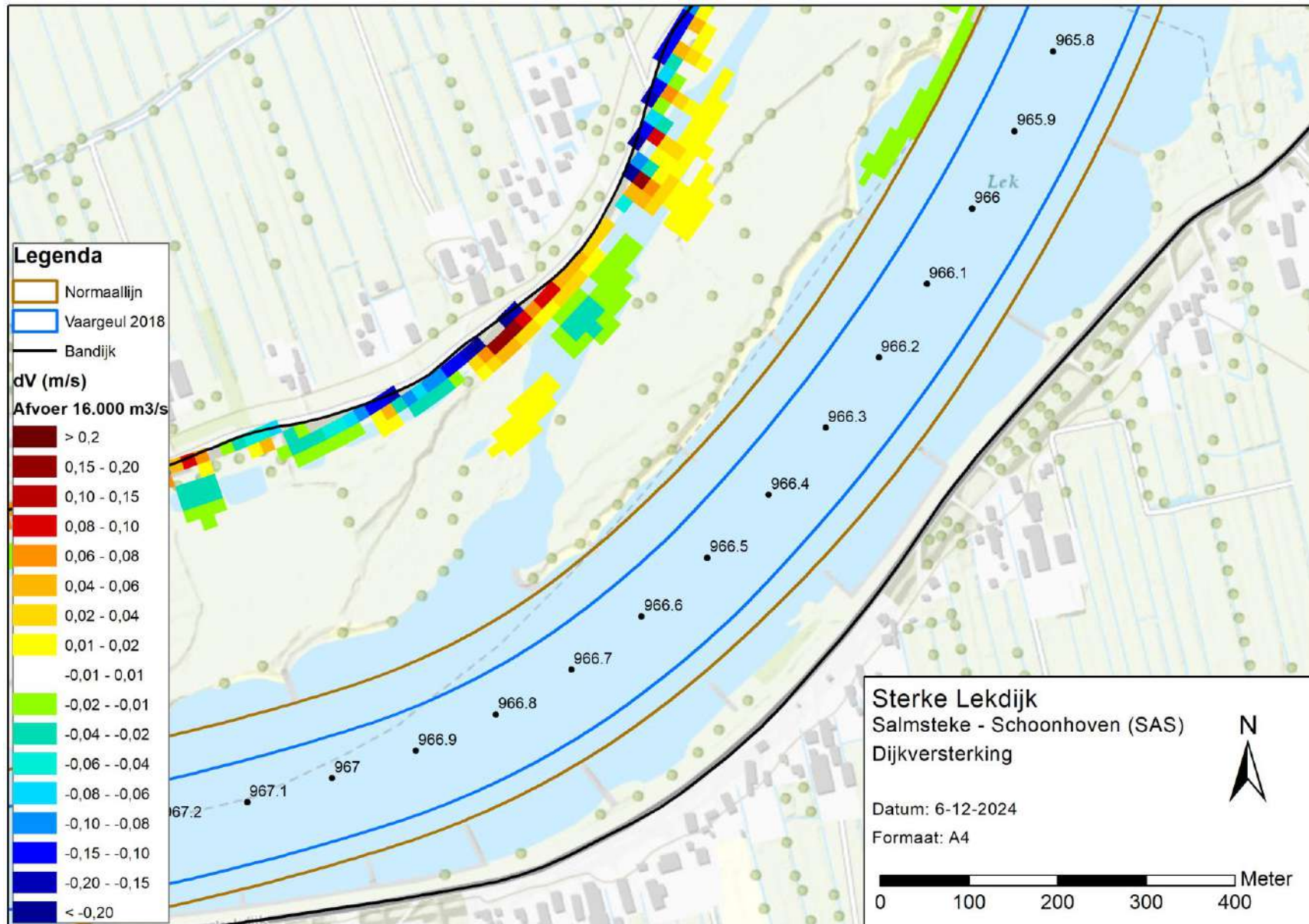


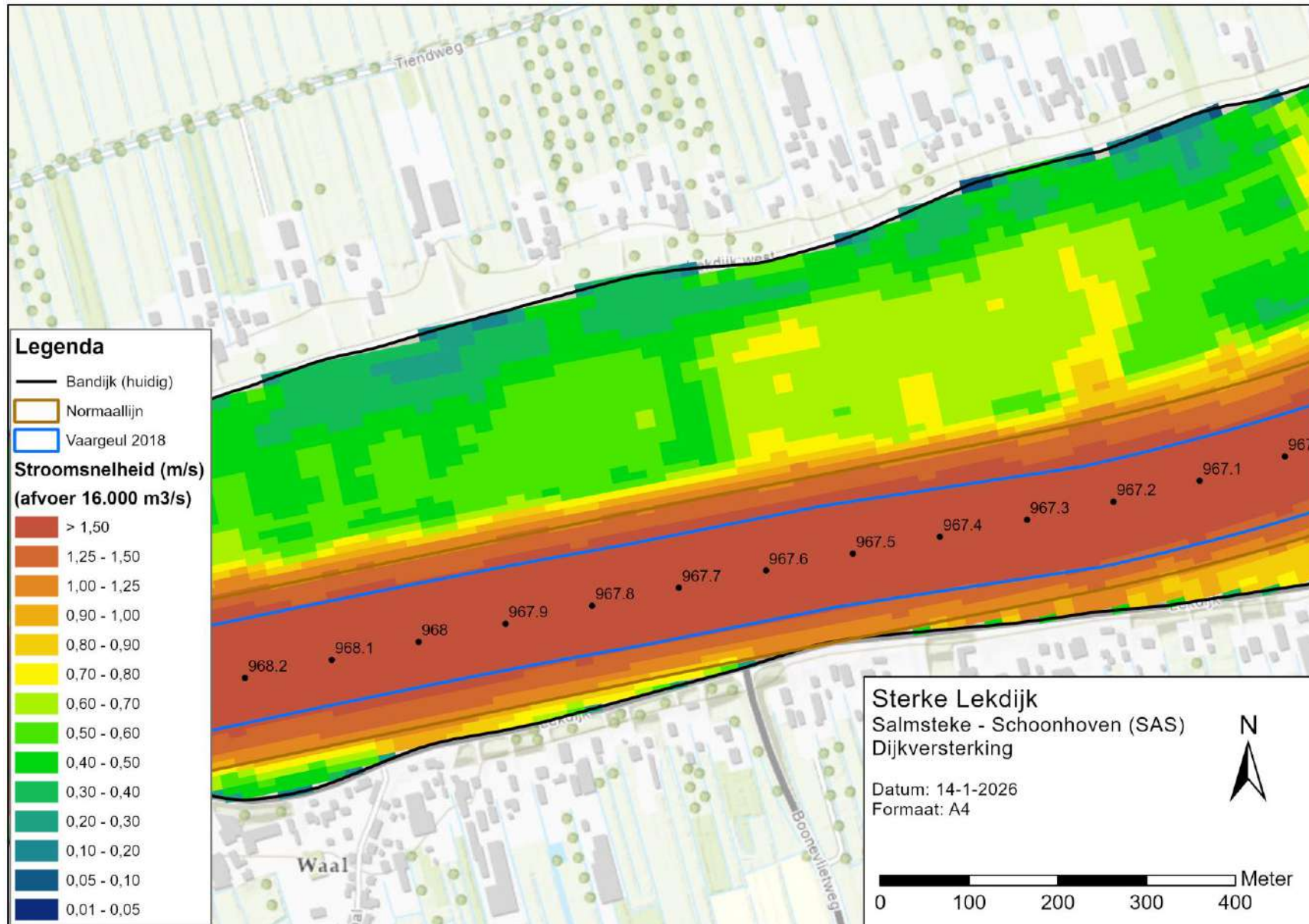


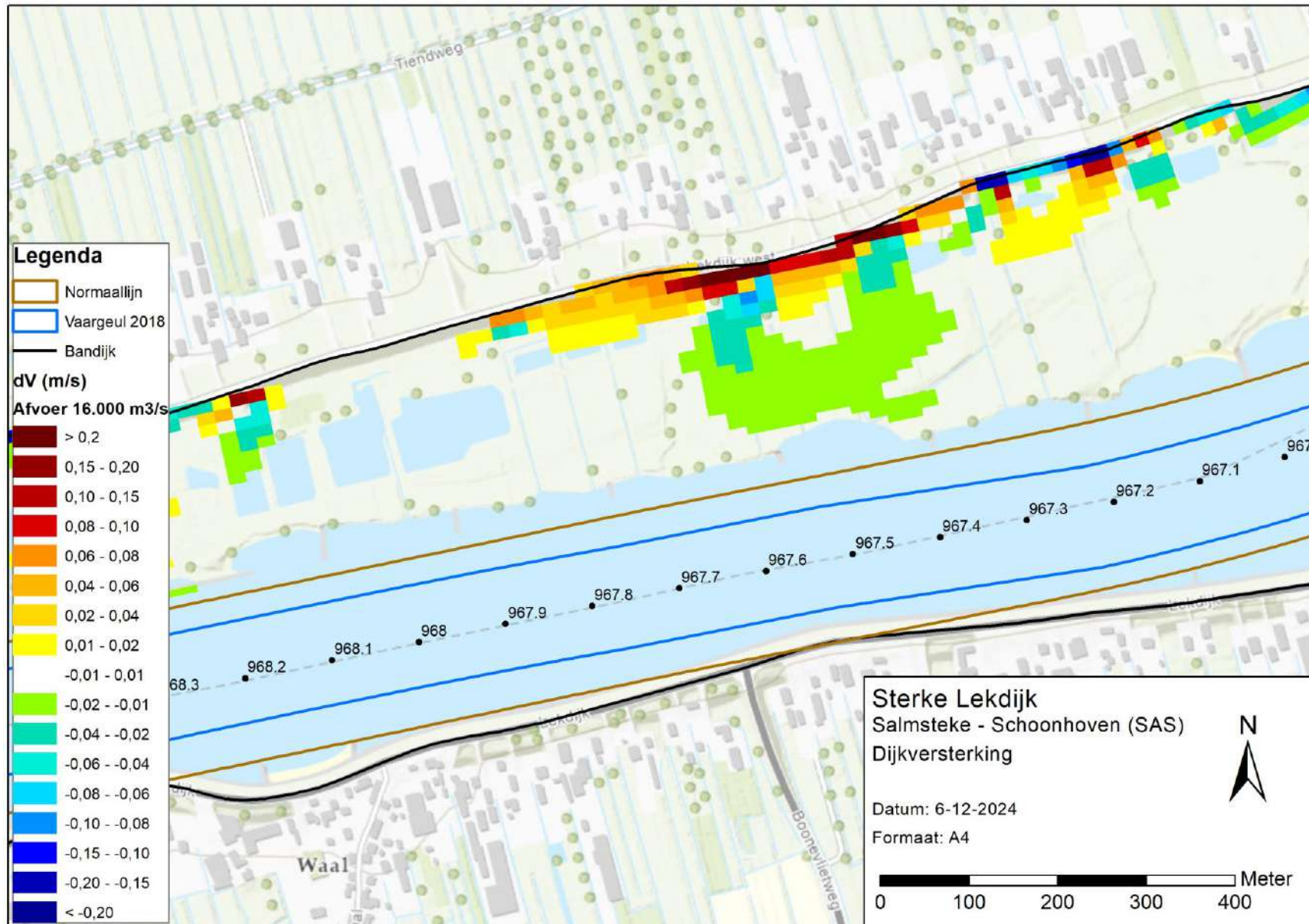


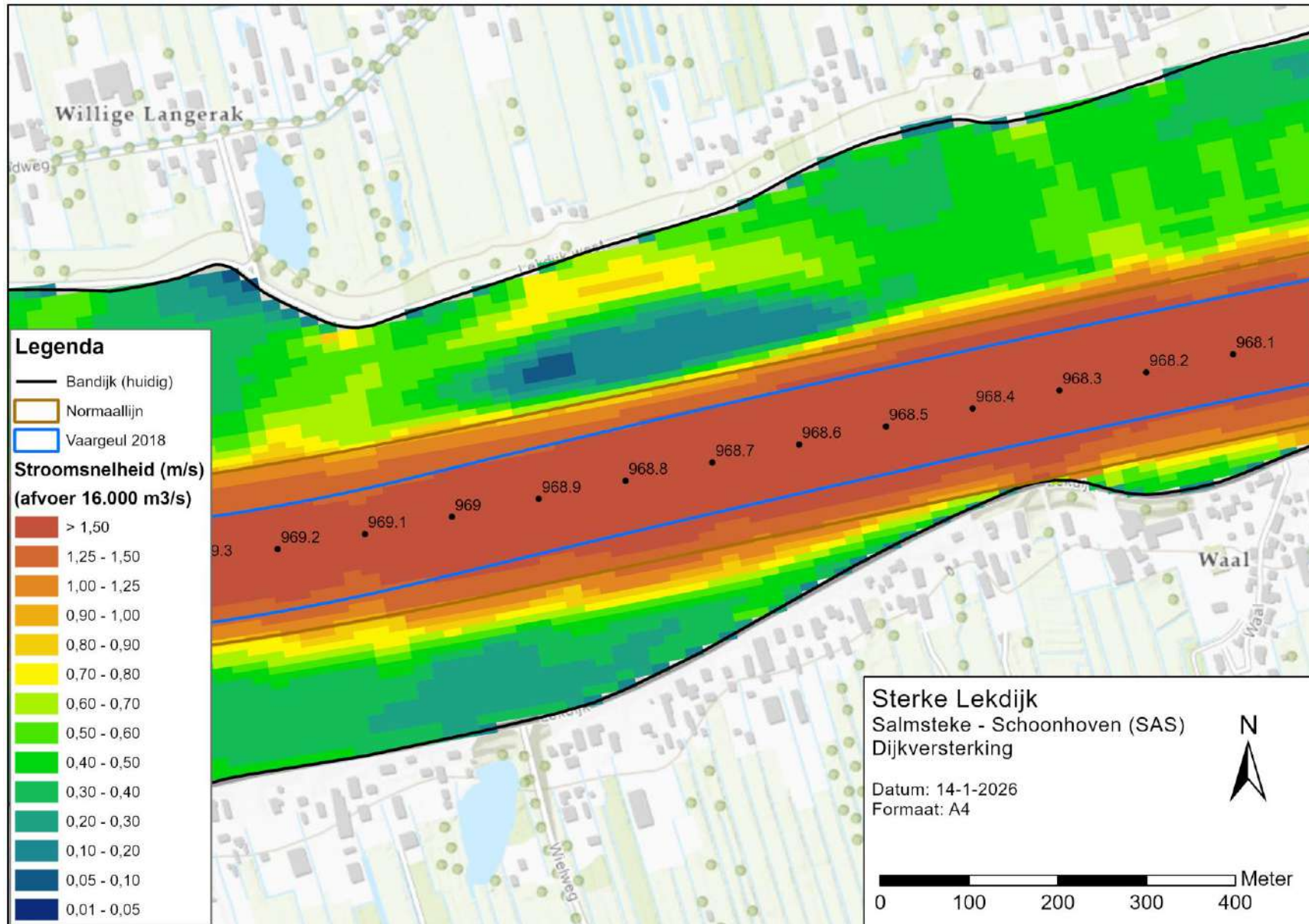


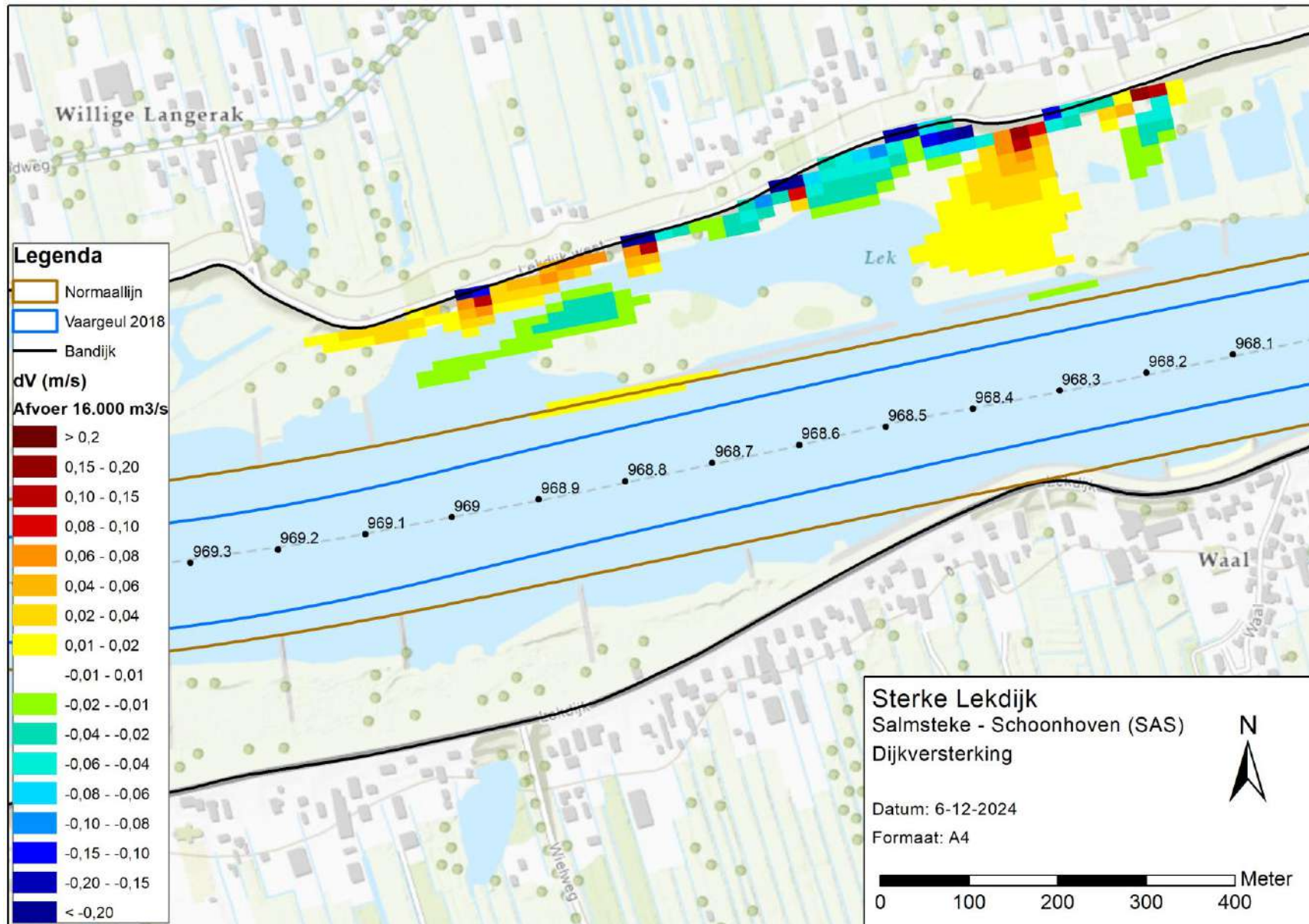


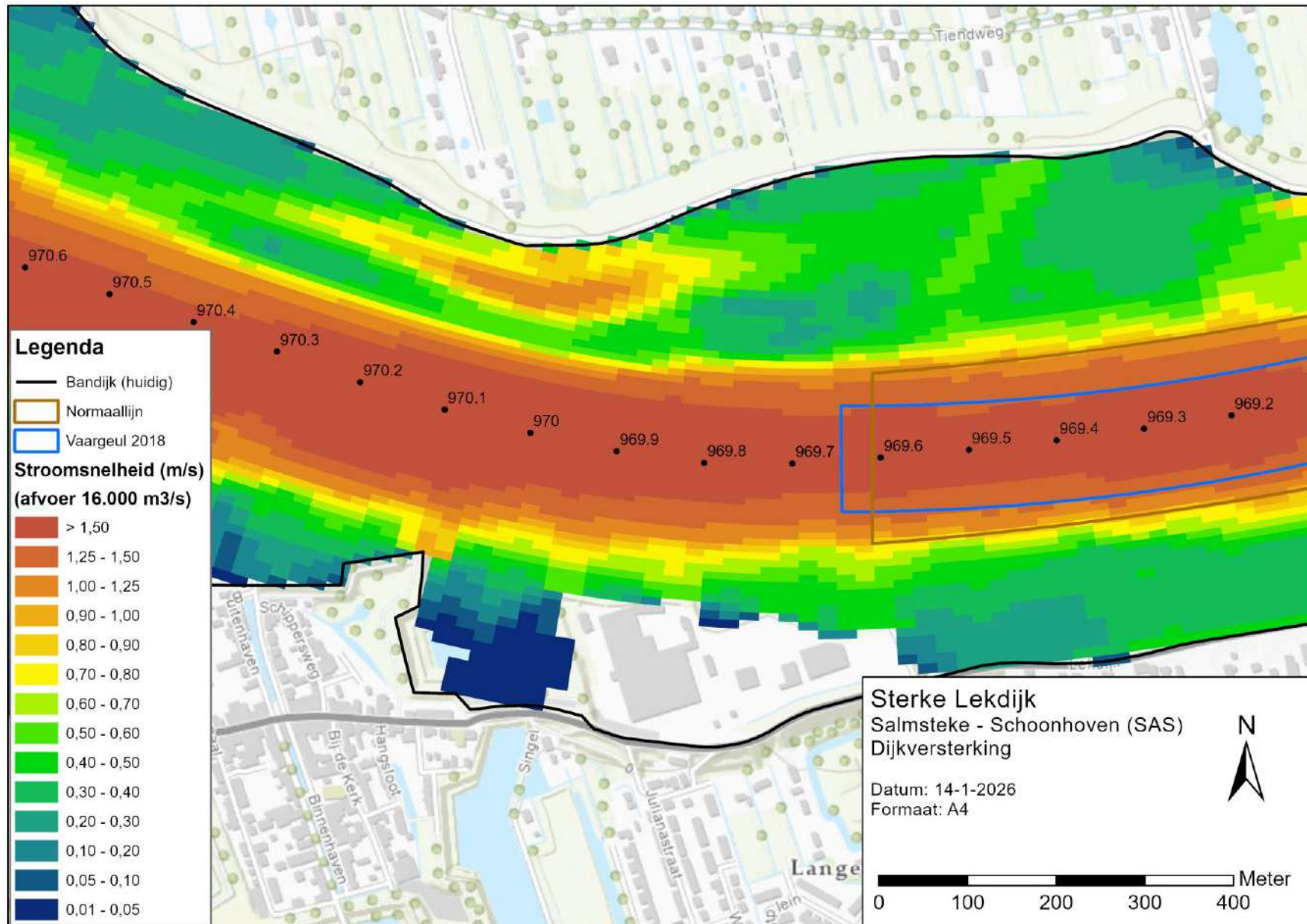


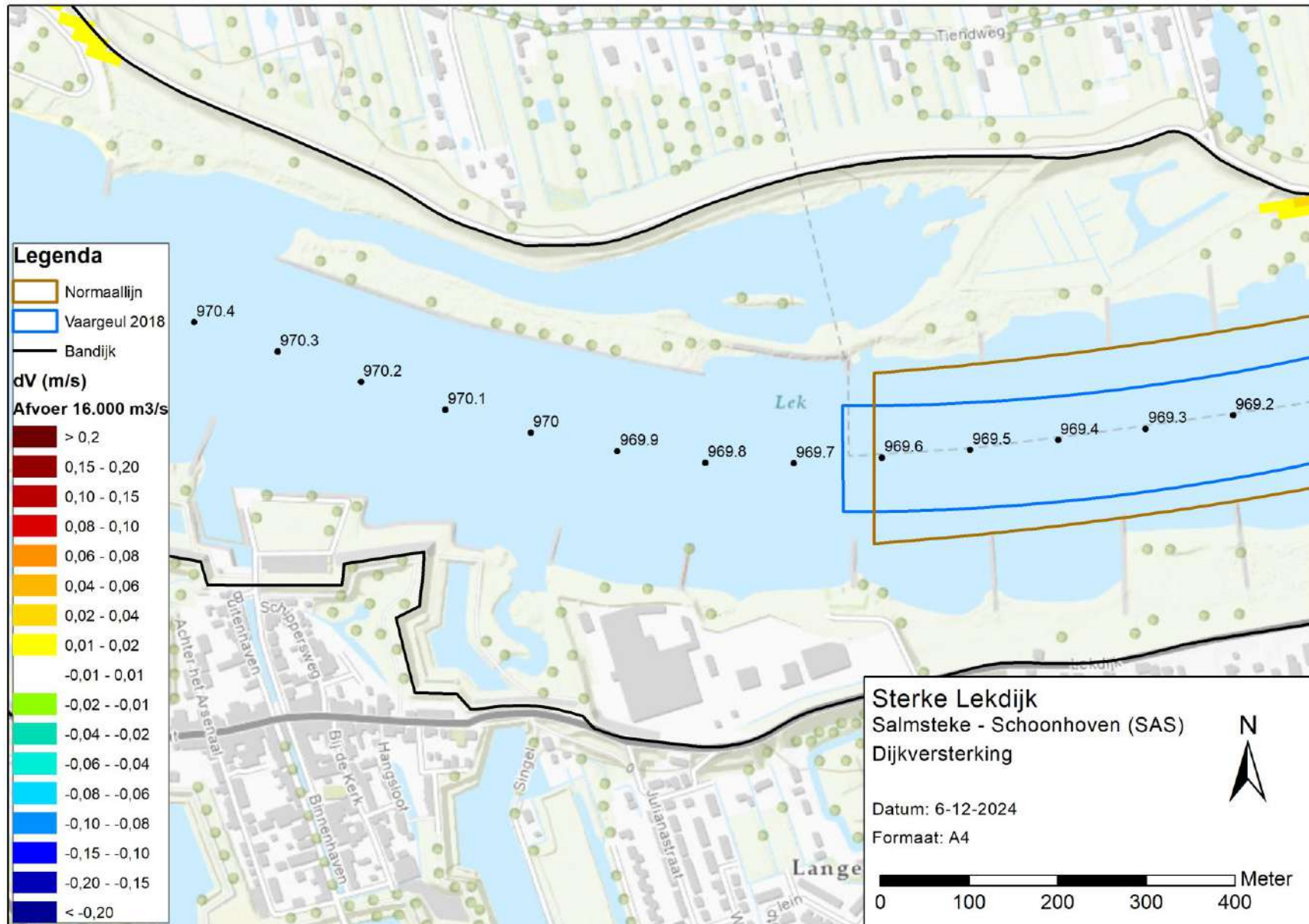


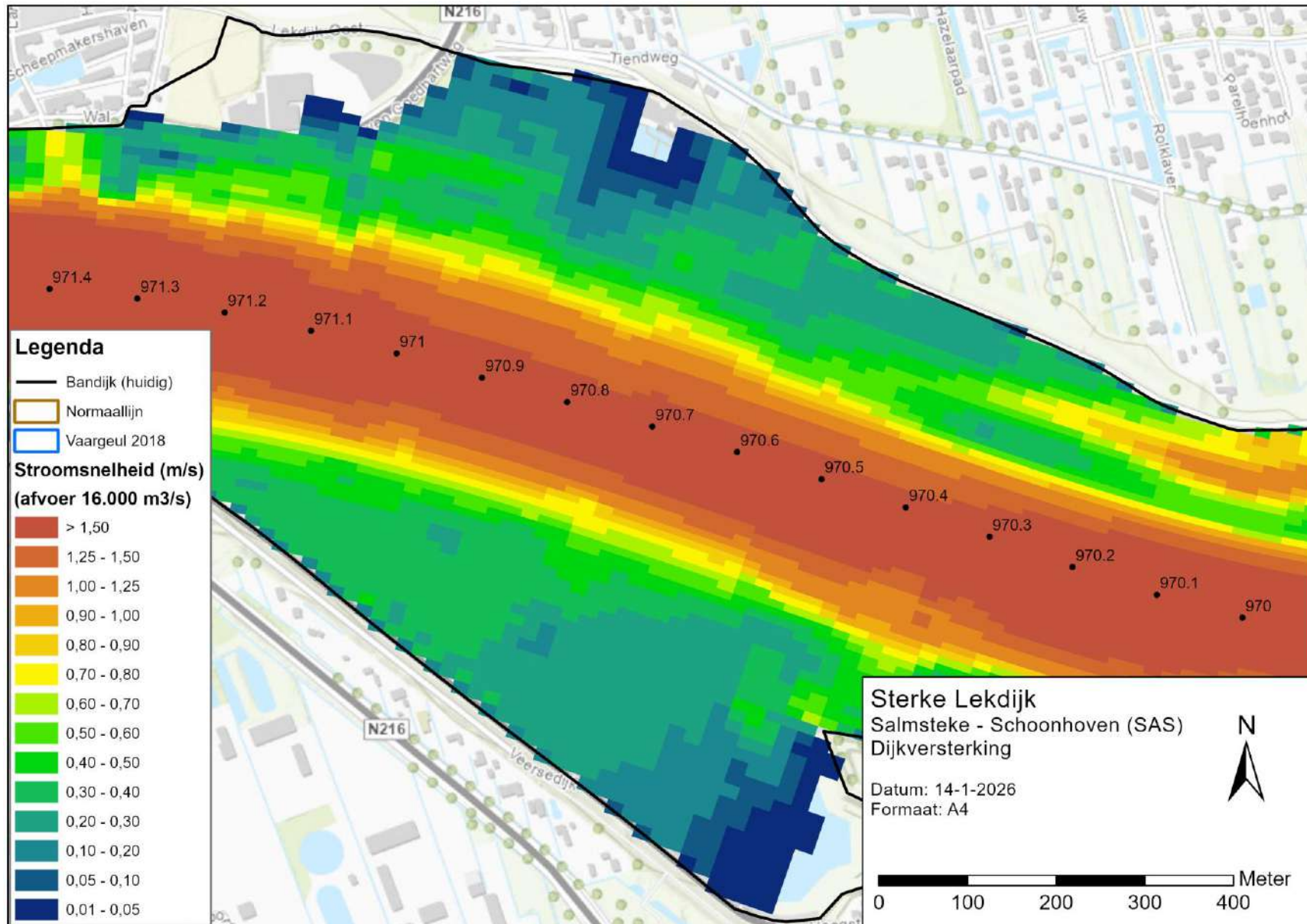


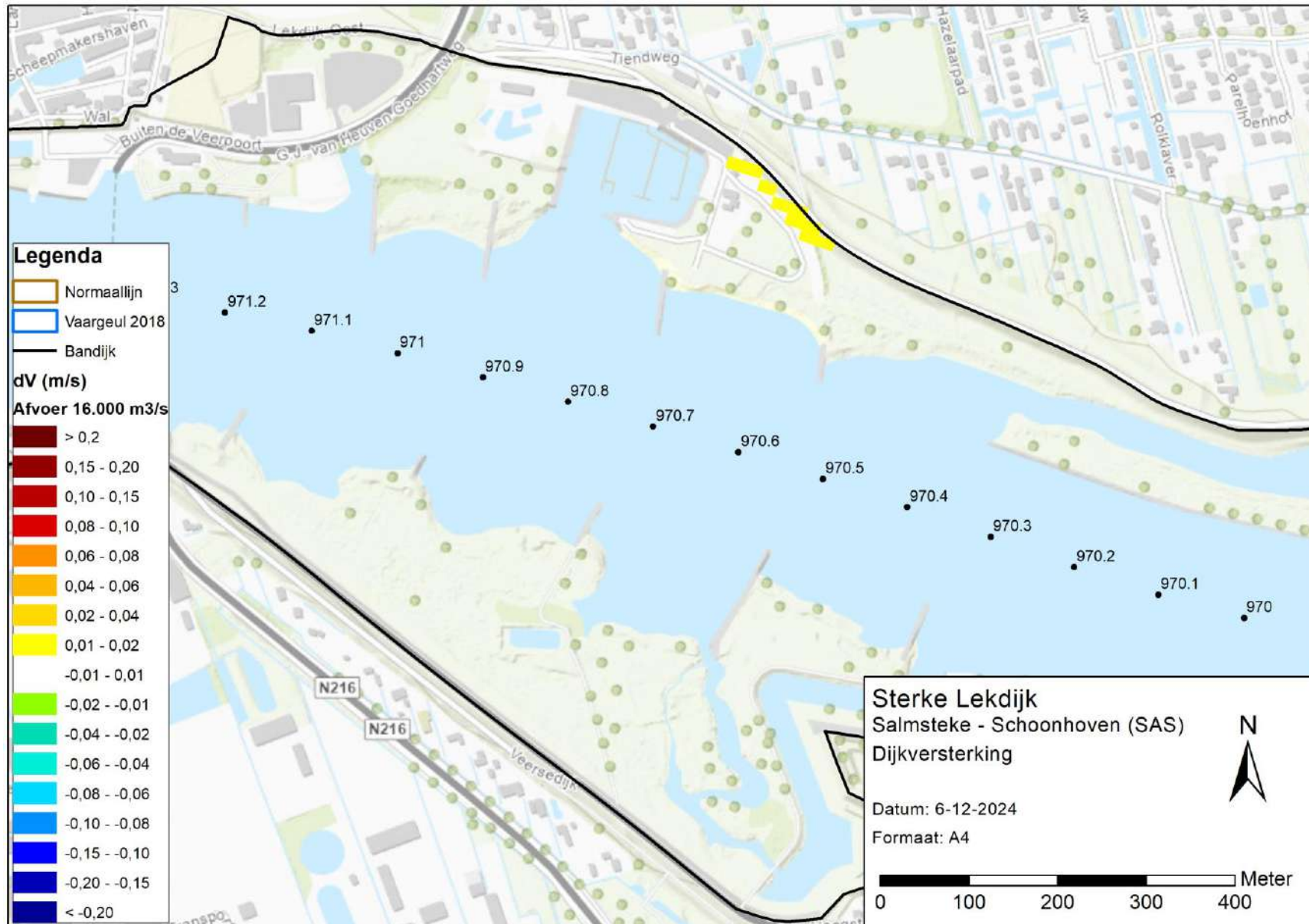




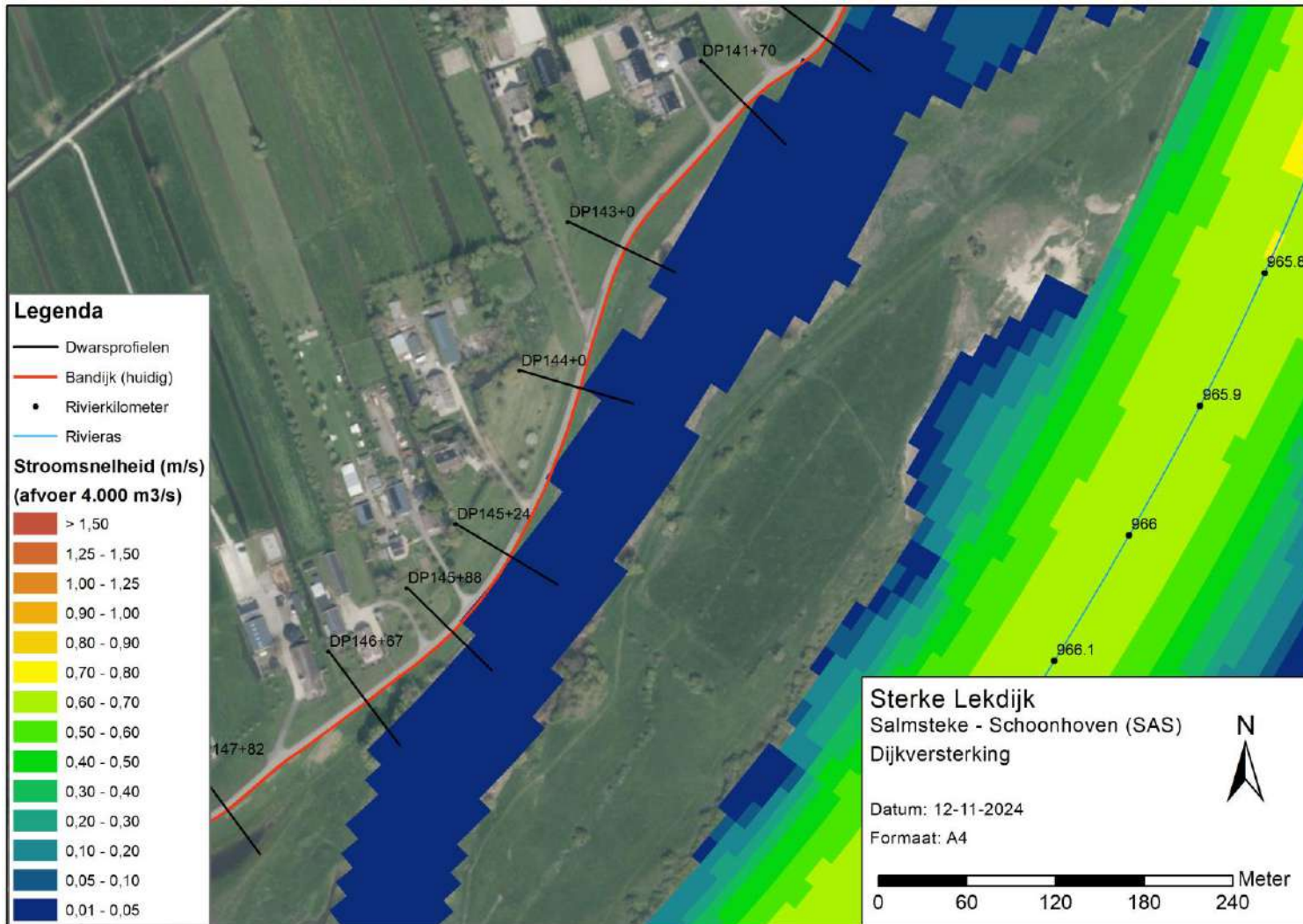


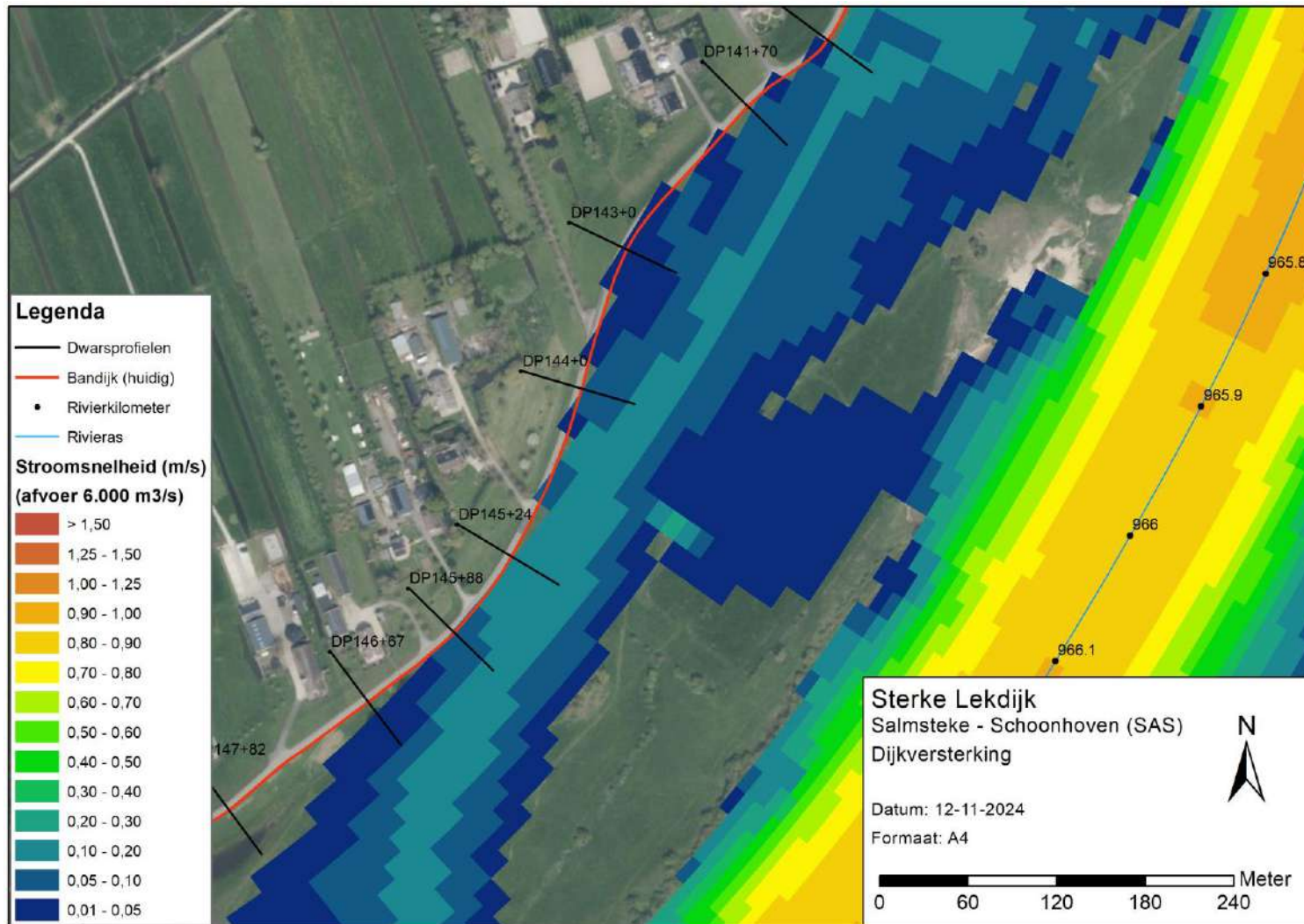


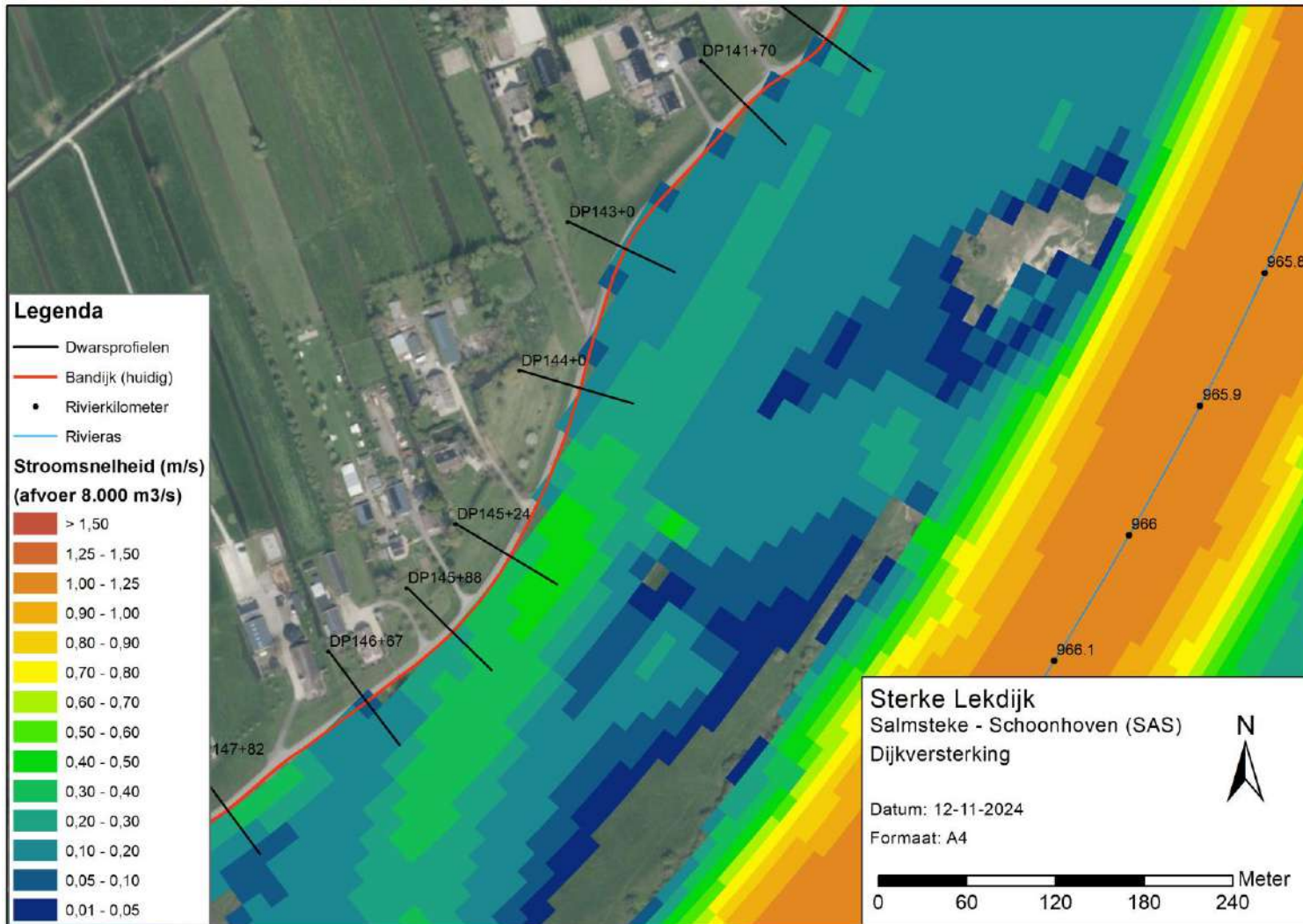


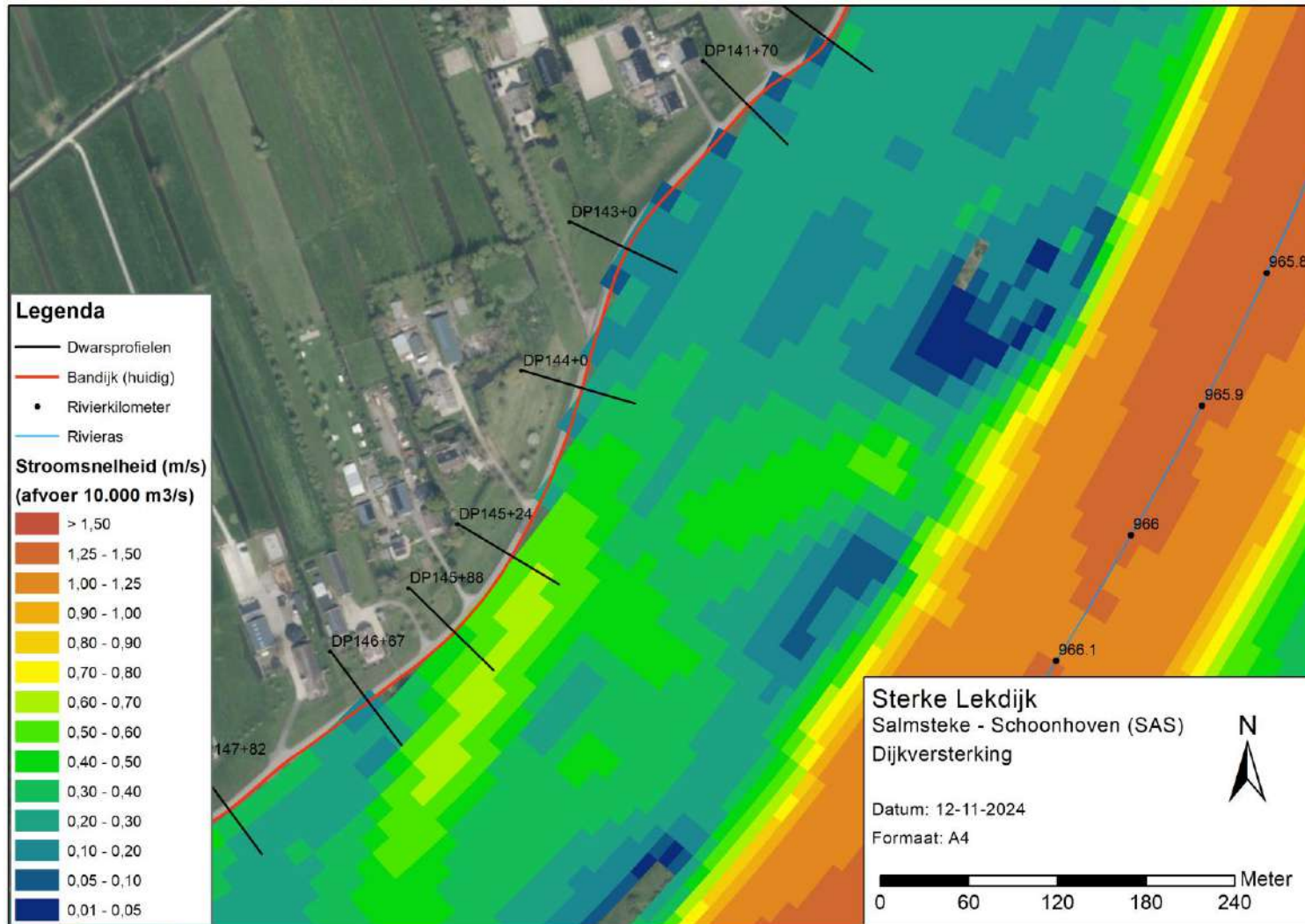


## Bijlage 10 Stroomsnelheden geul De Bol



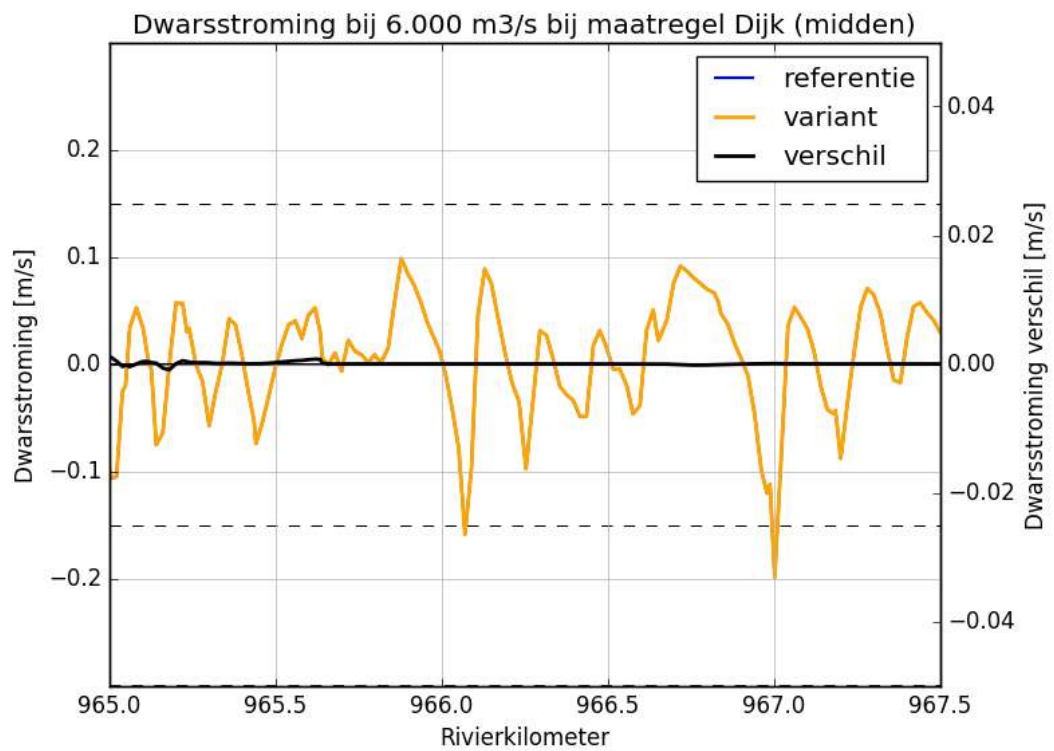
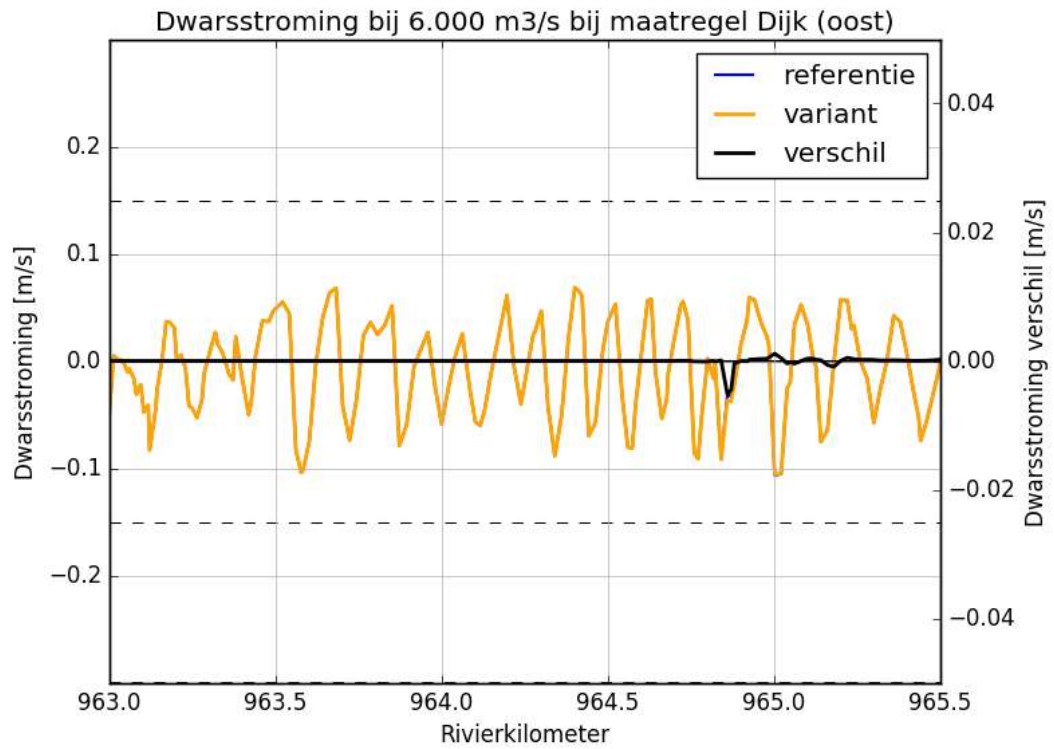


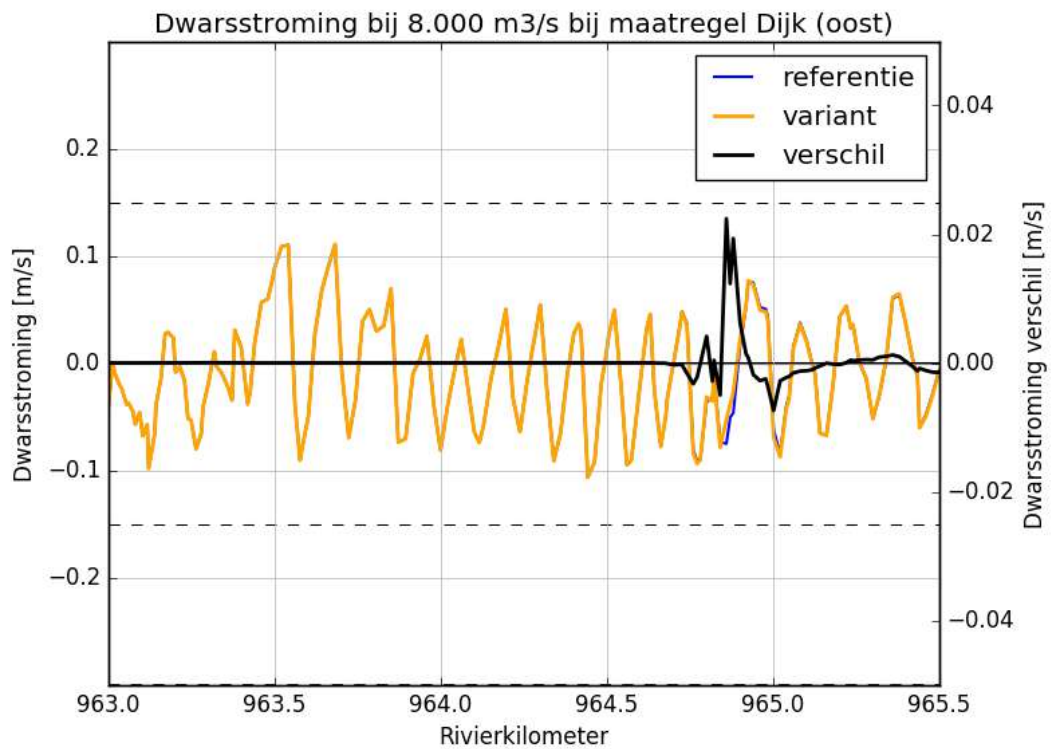
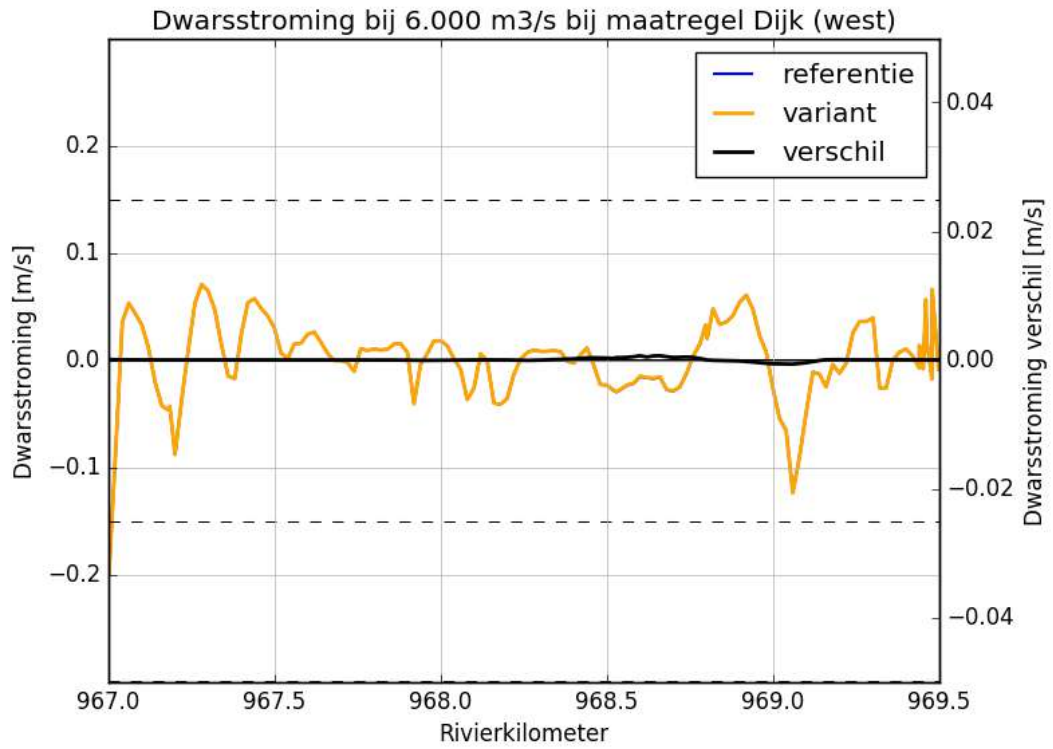


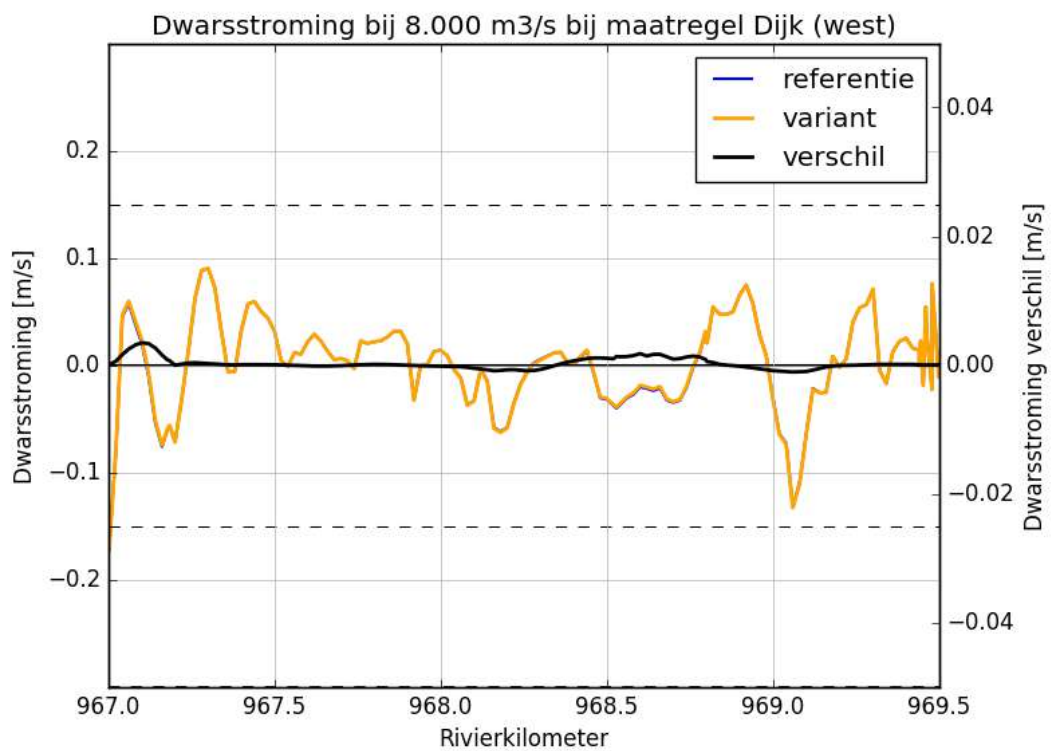
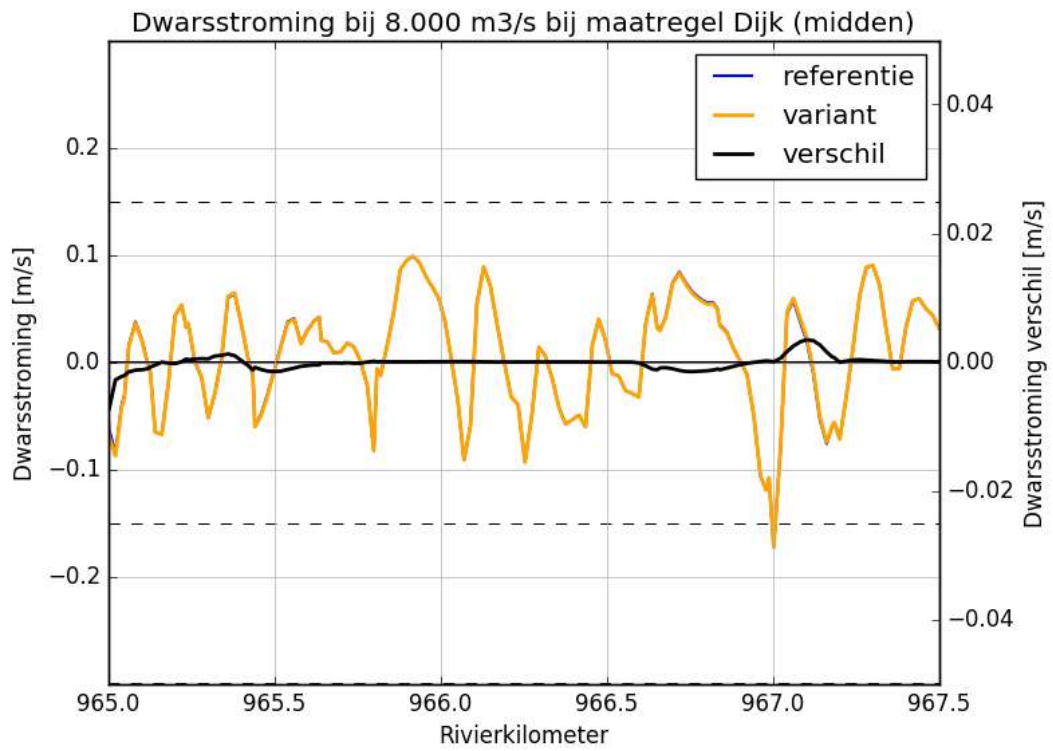


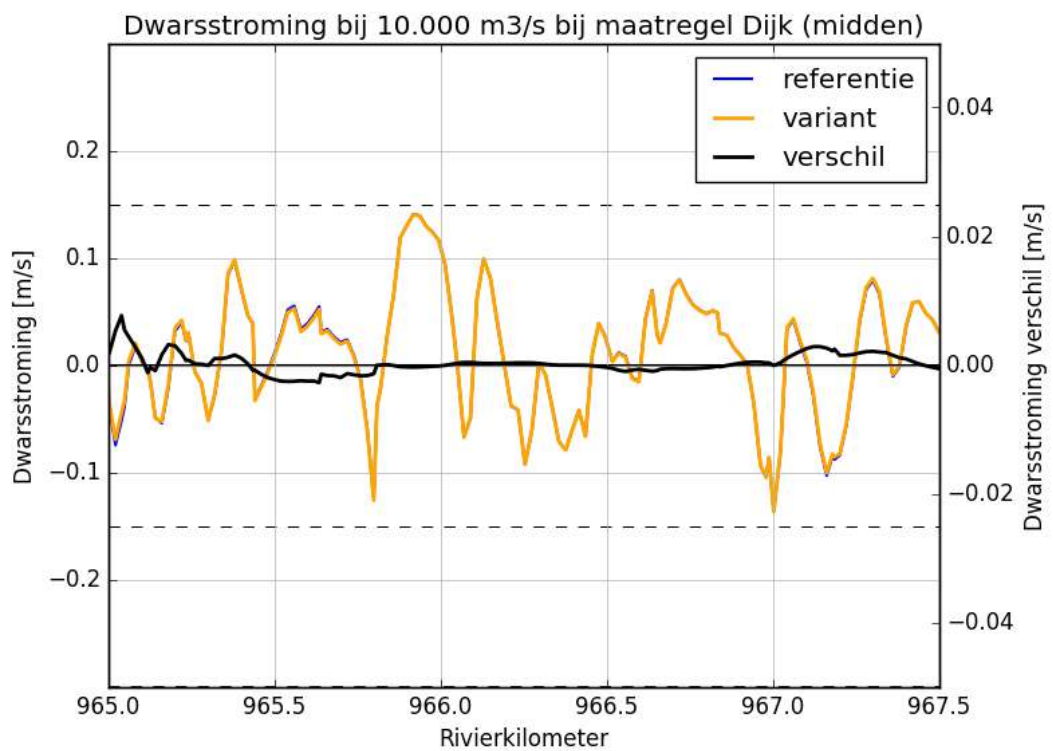
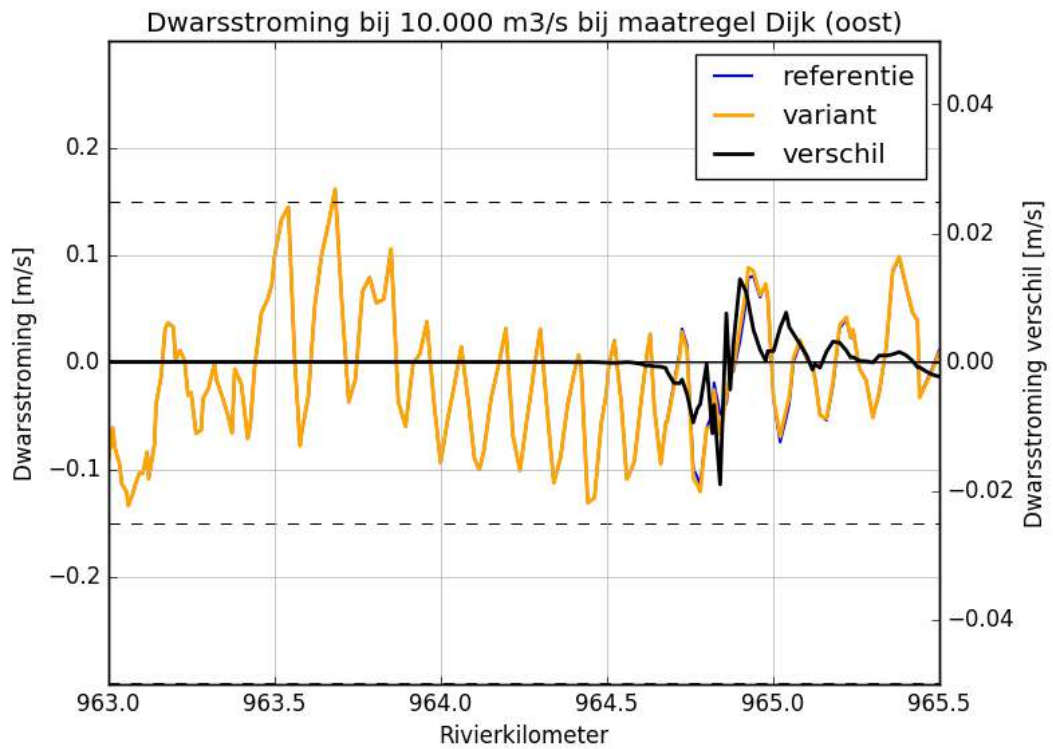


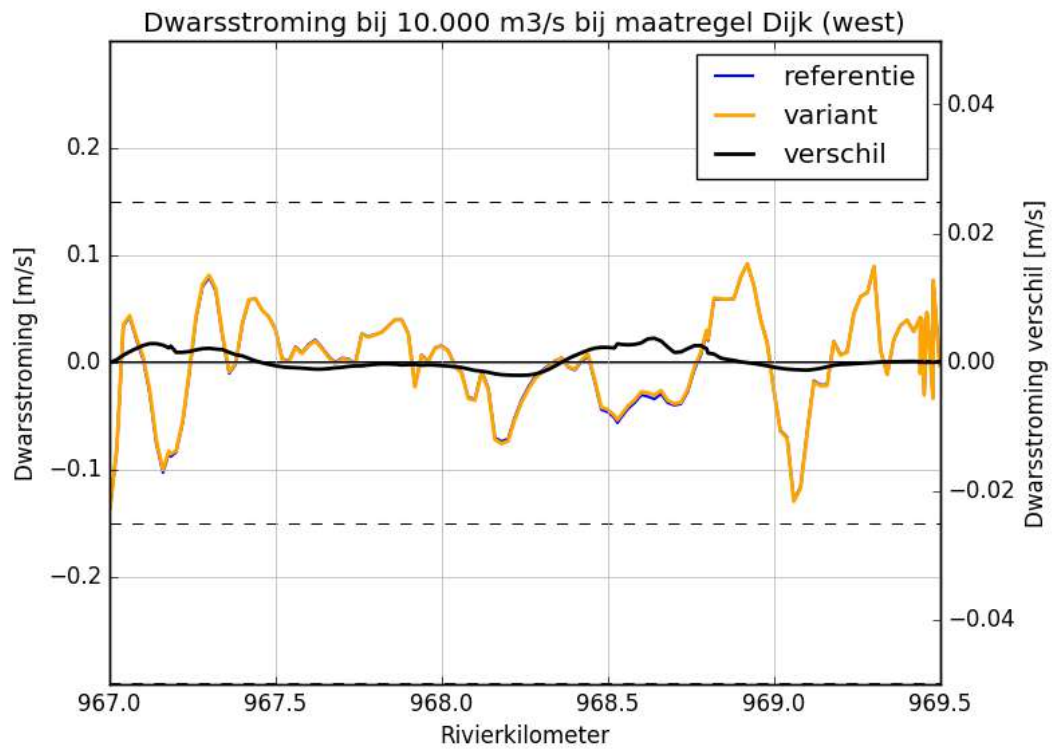
## Bijlage 11 Dwarsstroming





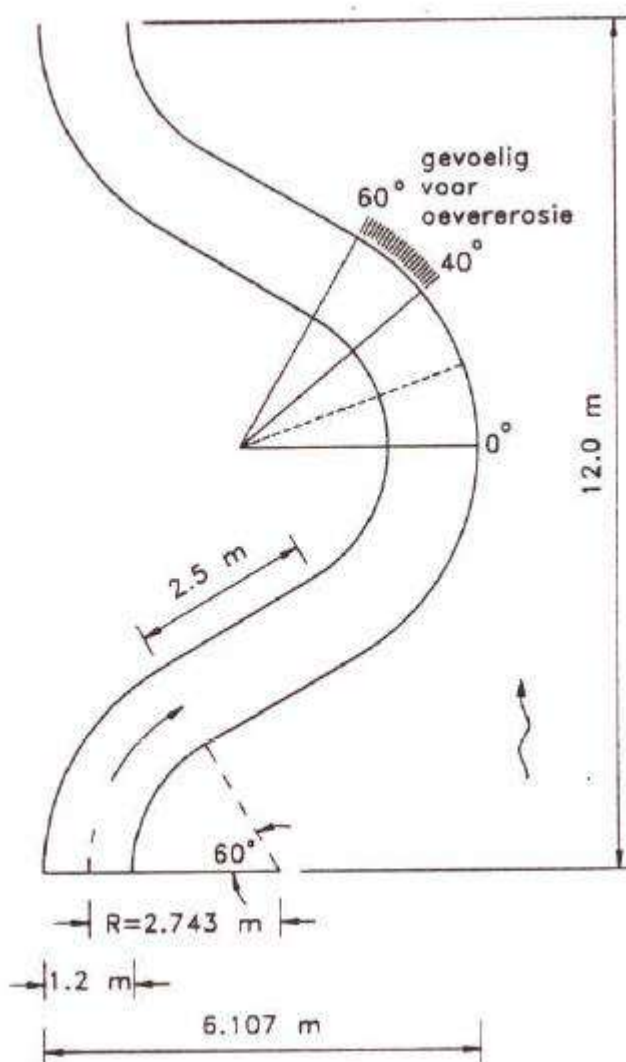






## Bijlage 12 Theoretisch kader erosie geulen

Oevererosie van geulen kan zowel tijdens hoge als lage afvoeren optreden. De processen tijdens hoge afvoeren, waarbij de uiterwaarden meestromen, zijn anders dan bij lage afvoeren, waarbij het water niet buiten de geul komt. Tijdens hoge afvoerniveaus stroomt de hele uiterwaard mee, inclusief de geul. Bij een meanderende geul zal eventuele oevererosie voornamelijk optreden aan de benedenstroomse zijde (de tweede helft) van de buitenbocht (zie Figuur 6-2) voor de zone die dan het meest gevoelig is voor erosie). Het tracé van de geul kan zich hierdoor in benedenstroomse richting verplaatsen [D 1]. In Figuur 6-2 wordt ervan uitgegaan dat de stromingsrichting tijdens hoogwater hetzelfde is als de (gemiddelde) richting van de geul. Dit hoeft echter niet zo te zijn; een (neven)geul heeft slechts een beperkte invloed op de stroming tijdens hoogwater, zeker als deze relatief smal is. Als de stroomlijnen bij hoogwater een hoek maken met (een deel van) het tracé van de nevengeul, leidt dit tot oevererosie en verondieping van de nevengeul [D 12]. In dat geval kunnen ook rechte delen van de geul (zonder meanders) onderhevig zijn aan oevererosie. Bij erosie tijdens een hoogwater zal de geul de neiging hebben om zich in de richting van de stroomlijnen te verplaatsen.



Figuur 6-2 Meanderende geul in schaalmodel (bron: [D 1])

Bij lagere afvoeren, als de geul nog niet vanaf de bovenstroomse zijde meestroomt, worden de stroomsnelheden in de geul veroorzaakt door het getij. In [D 3] is voor een aantal locaties in het benedenrivierengebied gekeken naar het snelheidsverloop bij een gemiddelde getijsituatie en rivierafvoer. De stroomsnelheden zijn vergeleken met de kritische stroomsnelheden voor erosie en sedimentatie. Eén van de locaties die is beschouwd is Schoonhoven. De conclusie uit dit onderzoek is dat op de Lek bij gemiddelde omstandigheden vooral sedimentatie wordt verwacht en geen erosie. Er zijn echter ook praktijkvoorbeelden bekend op het ongestuwde deel van de Lek, waar het getij tot significante erosie en sedimentatie heeft geleid in aangetakte (getijde)geulen. De kans op erosie door het getij is vooral groot bij smalle delen van de geul die relatief dicht bij de aantakking op de rivier liggen. Hier gaat tijdens een getij een groot volume water door een klein doorstroomprofiel.

Of er in een geul oevererosie optreedt hangt af van een combinatie van factoren. Hieronder worden de belangrijkste factoren kort toegelicht:

- De stroomsnelheid in de geul; hoe hoger de stroomsnelheid, hoe groter de kans op oevererosie. De maximale stroomsnelheden in een nevengeul treden op in het midden (diepe deel) van de geul. De stroomsnelheden bij de oevers zijn lager [D 1].
- De bodemopbouw van de oevers van de geul is van groot belang voor de kans op oevererosie. Met bodemopbouw worden de sedimentkarakteristieken en gelaagdheid bedoeld. In Figuur 6-3 is voor verschillende soorten sediment de kritische stroomsnelheid weergegeven. Bij deze stroomsnelheden begint het sediment te bewegen. Dat betekent nog niet dat er significant sedimenttransport plaatsvindt. Het sedimenttransport neemt exponentieel toe met de toename van de stroomsnelheid, dus als deze stroomsnelheden net worden overschreden is er nog weinig erosie te verwachten. Voor zand geldt dat al vanaf stroomsnelheden van ongeveer 0,30 m/s erosie kan plaatsvinden. Voor klei zijn deze stroomsnelheden hoger, vooral als de klei cohesief (compact) is. De stabiliteit van cohesief materiaal is veel moeilijker te voorspellen dan de stabiliteit van niet-cohesief materiaal, omdat de weerstand tegen erosie afhangt van chemofysische bindingskrachten die het gevolg zijn van elektrische ladingen aan het oppervlak van de plaatvormige kleideeltjes [D 1]. In het algemeen wordt er bij een kleiige oever weinig of geen oevererosie verwacht bij bankfull of lagere afvoeren. Als er sprake is van een samengestelde oever, met een kleilaag en daaronder een zandlaag, is de zandlaag maatgevend voor de oevererosie. De erosie van zand kan de kleilaag dan ondermijnen, waardoor deze instabiel wordt en bezwijkt [D 1]. Dit speelt met name als het zandige gedeelte van de oever steil is.
- De aanwezigheid van vegetatie op de oevers zorgt voor meer weerstand tegen erosie. Zeker als de begroeiing een groot deel of de hele oever bedekt, is de kans op erosie zeer klein.
- Scheepvaartgolven kunnen zorgen voor oevererosie. Oevers van nevengeulen die zo georiënteerd zijn dat de golfslag van de scheepvaart op rivier ze kan bereiken, zijn blijvend onderhevig aan erosie [D 3]. Dit is een bekend verschijnsel en daarom worden vrijwel alle mondingen van nevengeulen al tijdens de aanleg, of kort daarna van oeverbescherming voorzien. De golfaanval kan echter ook verder stroomopwaarts in de geul plaatsvinden en in verschillende geulen is waargenomen dat scheepvaartgolven tot meer dan 1 km diep een nevengeul in kunnen dringen. De mate van erosie van de oever hangt van een aantal factoren af. Zo maakt de vorm van de monding van de nevengeul uit: hoe breder, hoe

meer erosie [D 6]. Als geulen een smalle instroom en uitstroom hebben of er ligt hier een drempel, dan is de kans klein dat scheepsgolven de geul binnendringen.

- De hoek van de geul met de stroomlijnen bij hoogwater is van invloed is op de oevererosie. Om oevererosie te minimaliseren, moet het geultracé daarom zo veel mogelijk parallel lopen met de stroomlijnen bij hoogwater. Dit betekent dat een nevengeul slechts flauw kan meanderen in de uiterwaard, omdat anders de stroomlijnen het geultracé niet kunnen volgen [D 12].
- De overstromingsfrequentie van de geulen tijdens hoogwater (vooral bij éézijdig aangetakte en geïsoleerde geulen). Geulen die relatief vaak overstromen hebben een dynamischer karakter en een grotere kans op significante oevererosie. Bij geulen die zelden overstromen is de kans ook groter dat zich vegetatie heeft ontwikkeld op de oevers als deze overstromen.
- Het talud van de oevers heeft ook enige invloed op de oevererosie. Bij steile taluds ligt de kritische stroomsnelheid voor erosie iets lager dan bij flauwe taluds. Bij een talud van 1:4,5 is de kritische stroomsnelheid ongeveer 5% kleiner dan bij een horizontale bodem [D 1].

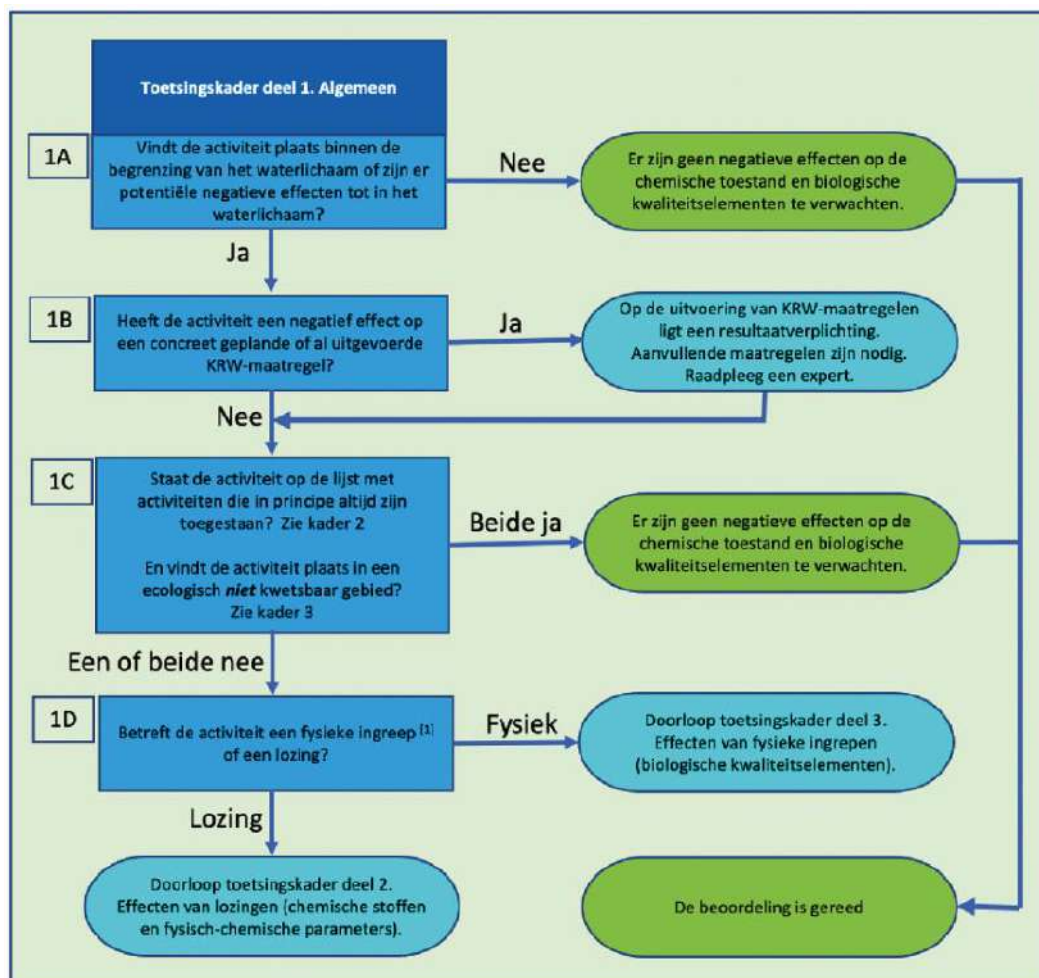
Grondsoort	$u_{\text{veel}}$ (m/s)
Zand	0,30
Veen	0,50
Zandige klei	0,40
Slappe klei	0,60
Redelijk vaste klei	0,80 (1,0 bij kortdurende belastingen)
Vaste klei	1,20 (1,5 bij kortdurende belastingen)

Figuur 6-3 Kritische stroomsnelheden voor verschillende typen sediment (bron: [D 2])

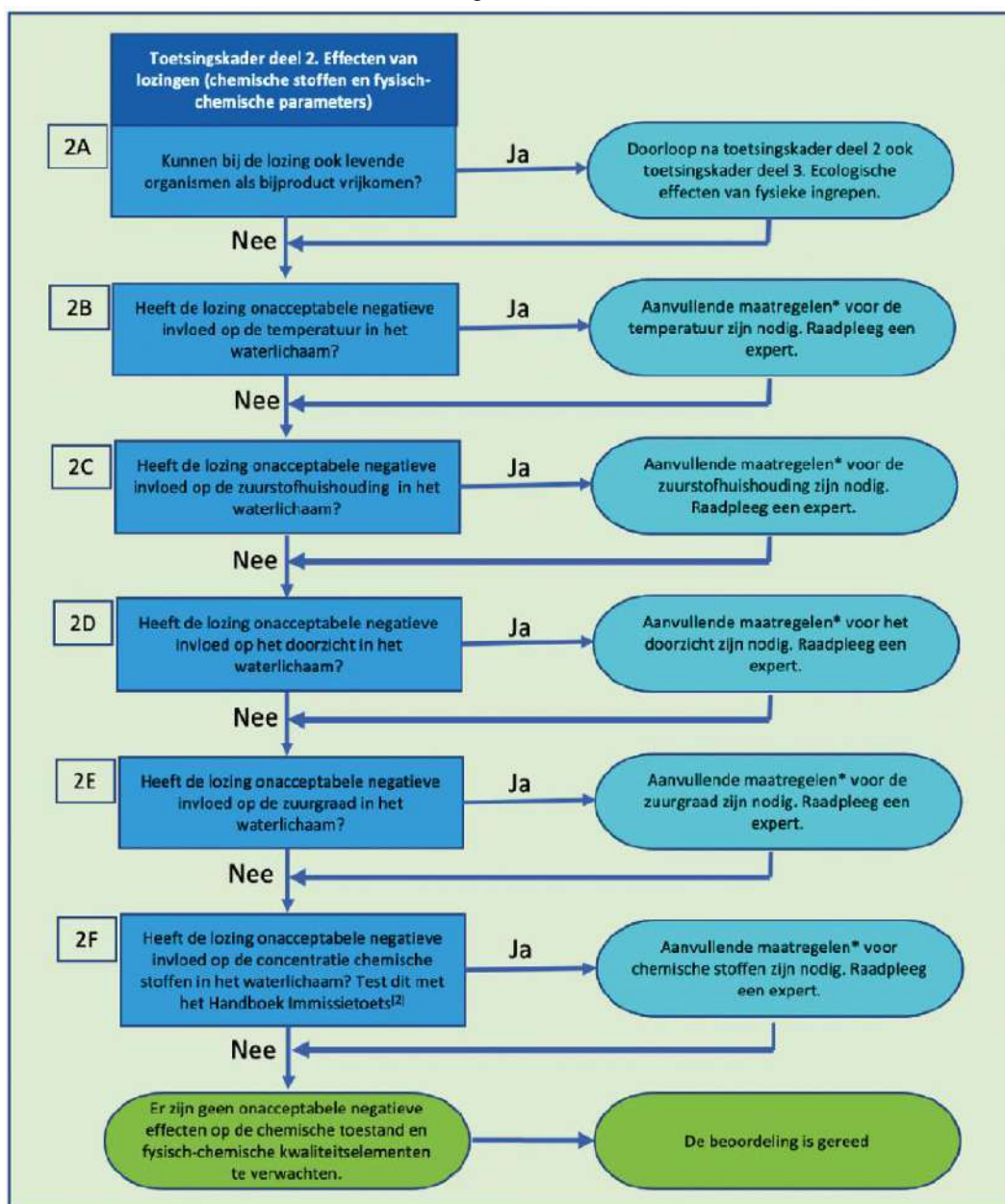
## Bijlage 3: Beslisschema's beleidsregels toetsingskader waterkwaliteit

Hieronder staan de gebruikte beslisschema's voor het toetsingskader waterkwaliteit. Voor verdere uitleg en tekstkaders zie: [wetten.nl - Regeling - Beleidsregel toetsingskader waterkwaliteit - BWBR0046422](https://wetten.nl - Regeling - Beleidsregel toetsingskader waterkwaliteit - BWBR0046422)

### Stroomschema deel 1. Algemeen



Stroomschema deel 2. Effecten van lozingen.



### Stroomschema deel 3. Effecten van fysieke ingrepen

