



Dijkversterking SAFE

Rivierkundige beoordeling vergunningenontwerp (VO)

Auteur: Rivierkundig adviseur

Status: Definitief

Versie: 2.2

Datum: 3 maart 2026

Document-ID: SAFE-1029454303-740

Besluitnummer: [B-257]		
Opgesteld: Rivierkundig adviseur	Gecontroleerd Manager planproducten	Geautoriseerd: Projectmanager
Datum: 03-03-2026	Datum: 03-03-2026	Datum: 03-03-2026

Wijzigingen

0.1	Conceptversie 28-11-2025
1.0	Interne review + feedback o.b.v. bespreking RWS rivierkunde 02-12-2025 verwerkt
2.0	Externe review RWS-ON en RWS-WNZ (ontvangen voor 15-12-2025) verwerkt
2.1	Externe review RWS-ON en RWS-WNZ (ontvangen op 16-12-2025) verwerkt
2.2	Aanvullende opmerkingen RWS-ON en RWS-WNZ bij aanvraag (ontvangen op 5-2-2026) verwerkt + tekstkader toegevoegd in H4 over vervallen compenserende maatregel Groot-Amers

Projectgegevens

Contactgegevens Opdrachtgever:
Waterschap Rivierenland
Postbus 599
4003 BX Tiel

Waterschap Rivierenland, Sweco B.V. en Arcadis B.V. werken samen met Dijkalliantie SAFE aan de dijkversterking tussen Streefkerk, Ameide en Fort Everdingen.

Dijkalliantie SAFE v.o.f. is een combinatie tussen: GMB Civiel B.V., Ploegam B.V. en Dura Vermeer Infra Landelijke Projecten B.V.

Inhoudsopgave

1	Inleiding	5
1.1	Aanleiding	5
1.2	Doelstelling	6
1.3	Leeswijzer	6
2	Uitgangspunten	7
2.1	Baseline-referentie	7
2.2	D-HYDRO-berekeningen	8
2.3	Software	9
3	Huidige situatie en autonome ontwikkeling	10
3.1	Huidige situatie	10
3.1.1	Huidige riviersysteem (referentiesituatie)	10
3.1.2	Beschrijving projectgebied	10
3.1.3	Lokale ondieptes in de vaargeul	11
3.2	Autonome ontwikkelingen	12
3.3	Relatie met overige projecten	12
4	Inrichtingsplan	13
4.1	Rivierwaartse dijkversterking	14
4.1.1	Methodiek voor modelleren rivierwaartse dijkversterking	15
4.1.2	Uitwerking methodiek voor SAFE	16
4.1.3	Op- en afritten	18
4.1.4	Aanpassing vegetatie op dijktafval	18
4.2	Compenserende maatregelen	20
4.2.1	Compensatie NNN bij Polder de Eendracht	20
4.2.2	Uiterwaardverlaging Groot-Ammers (De Dompelaar)	21
4.2.3	Landwaartse dijkverlegging Streefkerk	23
4.2.4	Uiterwaardverlaging Streefkerk (Perceel West)	24
4.3	Baseline-maatregelen en -varianten	25
5	Rivierkundige beoordeling	28
5.1	Hoogwaterveiligheid	28
5.1.1	Hoogwaterreferentie op de as van de rivier	28
5.1.2	Verandering van bergend volume	30
5.1.3	Hoogwaterreferentie buiten de as van de rivier	33
5.1.4	Afvoerverdeling	34
5.2	Hinder en schade door hydraulische effecten	34
5.2.1	Inundatiefrequentie	34
5.2.2	Stroombeeld in de uiterwaard	35
5.2.3	Stroombeeld in de vaarweg	36
5.2.4	Afvoerverdeling en onttrekking bij lage afvoeren	38
5.3	Morfologische effecten	38
5.3.1	Sedimentatie en erosie in het zomerbed	38
5.3.2	Sedimentatie en erosie in uiterwaard	39
6	Samenvatting	40

Referenties	43
Bijlage A Ondieptes in de vaargeul	44
Bijlage B Geometrie referentie en variant.....	63
<i>Dijkzone 2.....</i>	<i>64</i>
<i>Dijkzone 3.....</i>	<i>71</i>
<i>Dijkzone 4.....</i>	<i>78</i>
<i>Dijkzone 7.....</i>	<i>85</i>
<i>Dijkzone 10.....</i>	<i>92</i>
<i>Compenserende maatregel Groot-Ammers</i>	<i>99</i>
<i>Dijkzone 11 (oost)</i>	<i>106</i>
<i>Dijkzone 11 (midden)</i>	<i>113</i>
<i>Dijkzone 11 (west).....</i>	<i>120</i>
Bijlage C Waterstandsverschil hoogwaterreferentie buiten de rivieras.....	127
Bijlage D Stroomsnelheidsverschillen bij afvoer 16.000 m³/s.....	139
Bijlage E Stroomsnelheidsverschillen bij afvoer 6.000 m³/s.....	151
<i>Analyse stroomsnelheidsverschillen dijkzone 2.....</i>	<i>1</i>
Bijlage F Redeneerlijn buitendijks versterken	5

1 Inleiding

1.1 Aanleiding

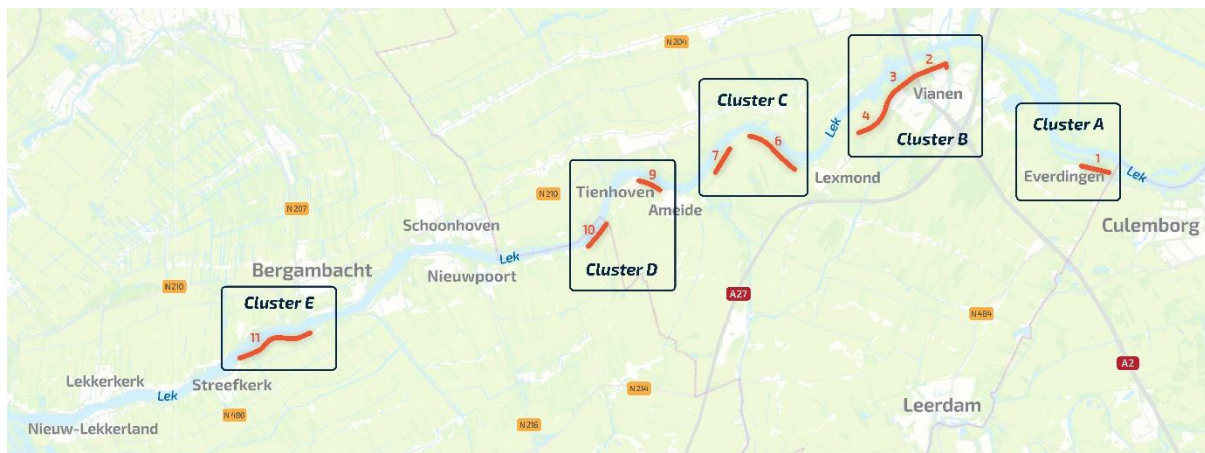
Waterschap Rivierenland (WSRL) werkt in het HWBP-project SAFE aan de versterking van de zuidelijke Lekdijk tussen Streefkerk, Ameide en Fort Everdingen. Dit zijn de normtrajecten 16-3 en 16-4. Op beide trajecten geldt sinds 2017 een veiligheidsnorm (ondergrens) van 1:10.000 jaar in het jaar 2050. Dat betekent dat in 2050 de kans op overstroming niet groter mag zijn dan één keer per 10.000 jaar.

Uit de toetsing bleek dat ongeveer 34 kilometer van de 40 kilometer lange dijk in meer of mindere mate niet voldoet aan de gestelde waterveiligheidsnorm. In de voorverkenning en verkenning is onderzocht welke delen van de dijk de meest urgente veiligheidsopgave hebben en versterkt moeten worden en is verkend welke alternatieven er zijn en welke de voorkeur hebben. Aan het begin van de planuitwerking zijn een aantal logische tussenstukken toegevoegd. De geografische scope is toen vastgesteld op 12,3 kilometer. Binnen deze scope is de veiligheidsopgave nog verder onderzocht en zijn waar relevant aanvullende ontwerpalternatieven uitgewerkt afgewogen. Het resultaat hiervan is dat over 10,7 kilometer daadwerkelijk versterkingsmaatregelen noodzakelijk zijn. Deze 10,7 kilometer is onderverdeeld in 9 dijkzones (zie Figuur 1-1).

In de dijkzones 2, 3, 4, 7, 10 en 11 vinden rivierwaartse versterkingen plaats. Deze zijn alleen toegestaan als de noodzaak is onderbouwd op basis van de redeneerlijn buitendijks versterken (zie 0). Daarom is voor deze dijkzones een rivierkundige beoordeling uitgevoerd voor de rivierkundige effecten en de benodigde compenserende maatregelen. Voor de rivierkundige beoordeling zijn dijkzones 1, 6 en 9 niet relevant, omdat hier geen buitendijkse (rivierwaartse) versterking plaatsvindt. De rivierkundige beoordeling richt zich daarom alleen op de overige zes dijkzones (2, 3, 4, 7, 10 en 11).

De meest benedenstroomse dijkzone (dijkzone 11) ligt in het beheergebied van Rijkswaterstaat West-Nederland Zuid (RWS-WNZ). De overige dijkzones liggen in het beheergebied van Rijkswaterstaat Oost-Nederland (RWS-ON). Rijkswaterstaat Oost-Nederland is het coördinerend bevoegd gezag.

Figuur 1-1 is alleen bedoeld om de ligging van de verschillende dijkzones inzichtelijk te maken. De maatregelen die per dijkzone worden genomen zijn uitgebreider toegelicht in hoofdstuk 4. Daarnaast zijn deze maatregelen gedetailleerd weergegeven in de ontwerptekeningen die los van deze rapportage worden opgeleverd als Bijlage B1 bij het Projectbesluit (B1 - Plankaarten - Dijkversterking SAFE.pdf).



Figuur 1-1: Geografische begrenzing van het project SAFE, met de 9 te versterken dijkzones. Dijkzones 5 en 8 zijn uit het project gehaald, omdat hier geen (urgente) veiligheidsopgave is.

De dijkversterking heeft een negatief effect op Natuurnetwerk Nederland (NNN), Kaderrichtlijn Water (KRW) en op het waterbergend vermogen van de rivier. Hiervoor zijn op een aantal locaties in de uiterwaarden compenserende maatregelen voorzien. Het betreft drie compenserende maatregelen voor NNN (bij dijkzone 3, tussen dijkzone 10 en 11 en bij dijkzone 11). De maatregel voor NNN-compensatie in dijkzone 11 vormt ook de compensatie voor waterberging en KRW.

Dit rapport beschrijft de integrale rivierkundige effectbepaling van de dijkversterking en de compenserende maatregelen.

1.2 Doelstelling

Dit rapport heeft als doel om de rivierkundige effecten van het VO1.0 van de dijkversterking SAFE - inclusief compenserende maatregelen - 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 6.0 (23-01-2023), om te bepalen of de ingrepen geen ongewenste rivierkundige effecten veroorzaken. Als sprake is van ongewenste effecten worden hiervoor de compenserende maatregelen beschreven om deze effecten te mitigeren.

1.3 Leeswijzer

Hoofdstuk 2 beschrijft de uitgangspunten voor het bepalen van de rivierkundige effecten, zoals afgesproken met de betrokken rivierkundig adviseurs van RWS-ON en RWS-WNZ. Dit omvat de Baseline-referentieschematisatie (paragraaf 2.1), de uitgangspunten en randvoorwaarden die gebruikt worden voor de hydraulische berekeningen (paragraaf 2.2) en de gebruikte software (paragraaf 2.3). Hoofdstuk 3 gaat in op de systeemwerking van de rivier op rivierniveau en in het projectgebied. Hoofdstuk 4 beschrijft het inrichtingsplan en de schematisatie daarvan in Baseline. De resultaten van de rivierkundige berekeningen en de daarop gebaseerde beoordeling worden besproken in hoofdstuk 5. De samenvatting van de effectbepaling en de belangrijkste conclusies worden beschreven in hoofdstuk 6.

2 Uitgangspunten

2.1 Baseline-referentie

Het Baseline-referentiemodel dat voor dit project is gebruikt, is aangeleverd door Rijkswaterstaat. Dit betreft het model baseline-rijn-beno19_6-v2, aangevuld met 14 maatregelen, die de stroming ter plaatse van het projectgebied beïnvloeden. Een groot deel van deze maatregelen bevatten noodzakelijke verbeteringen en actualisaties van de referentieschematisatie. Een aantal andere maatregelen bevatten verleende vergunningen en een klein deel van de maatregelen bevat een update van de vegetatielegger. Eén maatregel van de 14 maatregelen (le_saferef_b1) is door dijkalliantie SAFE zelf opgesteld in afstemming met Rijkswaterstaat ten behoeve van het doorrekenen van de landwaartse dijkverlegging bij Streefkerk. Tabel 2-1 geeft een overzicht en korte beschrijving van alle 14 maatregelen.

Tabel 2-1: Overzicht van maatregelen voor de verbetering en actualisatie van het referentiemodel.

Baseline-maatregel	Beschrijving
le_ameide_a1	Verbetering en actualisatie van een deel van de Kersbergse- en Achthovensche uiterwaarden en de Koekoeksche waard bij Ameide langs de Lek bij km-raai 962.
le_eendrag_c1	Actualisatie van een gedeelte van Polder de Eendracht langs de Lek bij km-raai 953.
le_hwbpsc_a2	Aanpassing van de ligging van de bandijklijn (en secties) naar de buitenkruinlijn van de dijk voor het projectgebied van SAFE. De maatregel bevat ook aanpassingen van aansluitingen tussen de dijk en kades en de teenlijn van de dijk.
le_eendref_a1	Verbeteringen in Polder de Eendracht in de strang en haven en overschrijven van mengklassen.
le_saferef_a1	Vervangen van mengklassen rond het projectgebied van SAFE door vegetatieleggerklassen gebaseerd op de ecotopenkaart van 2022.
le_ameide_v01	Vergunning ten name van de gemeente Ameide voor het behouden van een verhoogd gebied, behouden oeververdediging en maken van een loopbrug.
le_eendrag_v01	Vergunning voor het ontwikkelen van vegetatie in de uiterwaard Lexmond-West aan de linkeroever van de Lek tussen km-raai 956 en 968.
le_hagest_v02	Vergunning voor het maken van watervrije ophogingen, gebouwen en verdere werken bij Hagestein.
le_salmkrw_a1	KRW-geul in Salmsteke, op basis van het Projectplan Waterwet en data uit de planstudie.
rm_le_howavrij_a2	geen metadata
le_saferef_b1	Landwaartse uitbreiding van het referentiemodel, als voorbereiding op de geplande landwaartse dijkverlegging bij Streefkerk tussen km-raai 977,96 en 978,34.
rm_bathymetrie_2024_a1	Actualisatie van de bodemhoogtes in de Rijn-Maasmonding op basis van lodingen uit 2024.
rm_le_act_973_979_a1	Actualisatie van de uiterwaarden in de Lek aan beide zijden van de rivier tussen km-raai 973 en 979.
rm_leg24_a1	Actualisatie van de vegetatielegger in de Rijn-Maasmonding binnen het beheergebied van RWS-WNZ.

2.2 D-HYDRO-berekeningen

Voor de modelberekeningen is gebruik gemaakt van het deelmodel dflowfm2d-rijn-beno19_6_20m_nrlek-v2d. Door RWS-ON zijn de volgende opmerkingen meegegeven over de opbouw van dit deelmodel:

- Het deelmodel dflowfm2d-rijn-beno19_6_20m_nrlek-v2d is opgezet op basis van een vaste afvoerverdeling.
- Bij het deelmodel is standaard invoer opgenomen voor twaalf afvoerniveaus. Het is niet toegestaan zelf aanvullende afvoerniveaus af te leiden.
- De instelling van de regelwerken is bepaald in een berekening zonder lateralen met een afvoer van 16.000 m³/s op de bovenrand (conform standaard werkwijze). In een berekening met lateralen leidt dit tot een iets andere afvoerverdeling op de splitsingspunten dan de beleidsmatige verdeling. Effecten op de afvoerverdeling kunnen relatief bepaald worden.

Door RWS-ON zijn ook een aantal eisen gesteld over het gebruik van het D-HYDRO model. Op basis van deze eisen is het model op de volgende manier gebruikt:

- Bij de conversie van BASELINE naar D-FLOW FM dient de meegeleverde modelboundary (onder geometry\grid) gebruikt te worden. Als er ingrepen gemodelleerd worden die de modelrand wijzigen (bijvoorbeeld bij een dijkverlegging) is handmatige aanpassing nodig van de modelboundary. Voor de referentieschematisatie zijn er meegeleverde maatregelen die de modelrand wijzigen. Daarom is een aangepaste modelboundary polygoon voor het deelmodel dflowfm2d-rijn-beno19_6_20m_nrlek-v2d door RWS-ON aangeleverd. Deze aangeleverde modelboundary is na de uitlevering door RWS-ON (nogmaals) aangepast, vanwege de landwaartse dijkverlegging bij Streefkerk. De aanpassing van de modelboundary is consistent met de uitbreiding van het model door de Baseline-maatregel 'le_saferef_b1'. De definitieve modelboundary heeft de naam 'model_boundary_rijn_beno19_6_20m_nrlek_v2_safe_ref3'.
- Voor de partitionering zijn standaard polygonen beschikbaar (onder general\partition_polygons). Het gebruik hiervan is verplicht. Voor de Rijntakken kan gekozen worden uit 8, 12 of 16 partities. Geadviseerd wordt om vooraf uit te testen welk aantal partities de voorkeur heeft; meer partities betekent niet altijd sneller resultaat. Het gekozen aantal partities per deelmodel dient binnen een project constant te blijven. In dit project is gebruik gemaakt van 8 partities.
- Voor de effectbepaling op de rivieras is gebruik gemaakt van de 20 m observation points. De 2D effecten (waterstanden, snelheden, debiet) zijn beoordeeld m.b.v. de Fourier-maps die D-FLOW FM maakt. Overige 2D informatie is ontleend aan de laatste map-uitvoer in de berekening.
- Alle berekeningen moeten op evenwicht zijn. Indien nodig moet de rekenduur worden verlengd. De rekenduur is in dit project niet aangepast, omdat de uitgevoerde berekeningen op evenwicht zijn binnen de modeltijd van vijf dagen.

Het projectgebied ligt benedenstrooms van stuw Hagestein in het deel van de Lek met getijde-invloed. In de berekeningen is getij niet meegenomen. Voor de beoordeling van de rivierkundige aspecten die in dit rapport zijn beschreven, zijn namelijk met name de hoge en middelhoge afvoeren van belang. Dit zijn afvoergedomineerde situaties, waarbij getij van ondergeschikt belang is.

2.3 Software

Voor het schematiseren van de maatregelen is het programma Baseline 7.0.2 gebruikt, in combinatie met ArcGIS Pro versie 3.3.2. De rivierkundige berekeningen zijn uitgevoerd met D-Hydro versie 2025.01.

3 Huidige situatie en autonome ontwikkeling

3.1 Huidige situatie

Onderstaand volgt een algemene rivierkundige beschrijving van de riviertak de Lek waarin het projectgebied van SAFE zich bevindt. Dit geeft inzicht in hoe het riviersysteem lokaal (ter plaatse van een maatregel) én in het riviertraject waarin deze ligt, functioneert. Dit is relevante context voor de rivierkundige effectbepaling van de geplande ingrepen langs de Lek.

3.1.1 Huidige riviersysteem (referentiesituatie)

De riviertak Lek is onderdeel van het riviersysteem de Rijntakken en loopt van de Nederrijn bij Wijk bij Duurstede (rkm 928) naar de Nieuwe Maas bij Krimpen aan de Lek (rkm 988). Op het gehele traject Nederrijn-Lek bevinden zich drie stuwcomplexen en in stroomafwaartse richting betreft dit stuw Driel (rkm 891,5), stuw Amerongen (rkm 922) en stuw Hagestein (rkm 947). Onder normale omstandigheden reguleren deze stuwen de waterstanden op dit traject ten behoeve van de scheepvaart.

Het projectgebied van de dijkverbetering SAFE bevindt zich aan de linkerzijde (zuidzijde) van de Lek parallel aan Streefkerk – Ameide – Fort Everdingen tussen rivierkilometers 940 en 981. Bij Schoonhoven (rkm 971) ligt het overgangsgebied tussen de beheerdistricten van Rijkswaterstaat Oost – Nederland (RWS-ON) en Rijkswaterstaat West - Nederland Zuid (RWS-WNZ). Op dit traject worden de waterstanden op de Lek beïnvloed door een samenspel van rivierafvoer, getij, wind en de werking van stormvloedkeringen. In het algemeen kan gesteld worden dat de invloed van hoge rivierafvoeren op de maatgevende hoogwaterstand afneemt vanaf Culemborg (bij rkm 940), maar dominant blijft tot aan ongeveer Schoonhoven (rkm 970).

Voor de rivierkundige beoordeling zijn de effecten op maatgevende waterstanden ingeschat met de reguliere toetsingsmethode, waarbij de waterstanden tot stand komen door alleen de rivierafvoer. Bij een maximale toelaatbare overstromingskans van 1/10.000 per jaar (ondergrens) hoort een maatgevende (rivier)afvoer van 16.000 m³/s te Lobith. Rekening houdend met de afvoerdelingen op splitsingspunten wordt de Nederrijn-Lek onder deze omstandigheden belast met een maatgevende deelafvoer van 3.380 m³/s. Bij nog extremere omstandigheden wordt de Nederrijn-Lek ontzien, waardoor de maatgevende afvoer niet verder toeneemt.

3.1.2 Beschrijving projectgebied

Op het overgrote deel van het dijktraject ligt een weg met een belangrijke ontsluitingsfunctie voor het gebied. Langs het hele traject zijn kleine dorpen, bebouwingslinten, solitaire woningen aan de dijk, uiterwaarden met natuur, landbouw en bedrijven aanwezig. In het oosten bij Vianen bevindt zich bebouwing en vele kruisingen van grote infrastructuur, zoals de Rijksweg A2 en het Merwedekanaal. In dijkzone 2, 3, 4, 7 vormt Polder de Eendracht de zuidelijke uiterwaard van de Lek met een breedte ter plaatse van de dijkversterking die varieert tussen 370 m (ter plaatse van dijkzone 7) tot 1 kilometer (ter plaatse van dijkzone 4). Meer benedenstrooms volgt de dijk de kromming van de rivier. De dijk is hier een duidelijk ontginningslint. De dijk vormt hier in delen van

dijkzones 10 en 11 een schaardijk. In dijkzone 11 zijn twee bredere uiterwaarden aanwezig, met een breedte van ca. 130 meter.

3.1.3 Lokale ondieptes in de vaargeul

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 aanzanding kan scheepvaartknelpunten verergeren of nieuwe scheepvaartknelpunten veroorzaken.

De Waterdieptekaarten Rijntakken van RWS Oost-Nederland geven aan in welke mate de vaardiepte in de Rijntakken voldoet aan de scheepvaartnormen. In Bijlage A zijn kaarten voor het projectgebied van SAFE opgenomen met hierin de belangrijkste informatie uit deze waterdieptekaarten. In het eerste deel van het projectgebied, vanaf stuw Hagestein (rkm 947) tot Lexmond (rkm 956-957) is de vaargeul erg ondiep. Grote delen van de vaargeul voldoen niet aan de norm voor minimale waterdiepte, met name in de binnenbochten. Meer dan de helft van de hectometervakken in dit traject behoort tot de meest ondiepe delen van de vaarweg (MODV), oftewel de 20% meest ondiepe hectometervakken in dit traject (netwerkschakel). Gemiddeld per hectometer voldoen slechts enkele vakken in dit traject aan de streefdiepte (met een marge van 1,2 m oftewel 40% t.o.v. de norm voor minimale waterdiepte). Sommige hectometervakken, tussen rkm 952 en 953, voldoen zelfs gemiddeld per hectometer niet aan de norm voor minimale waterdiepte en hebben dus een negatieve marge ($< 0\%$).

Vanaf Lexmond (rkm 957) tot Langerak (rkm 969,5) is de vaargeul dieper. Er liggen hier alleen nog ondieptes (delen van de vaarweg die niet aan de norm voor minimale waterdiepte voldoen) in enkele binnenbochten. Er zijn slechts twee hectometervakken die behoren tot de meest ondiepe delen van de vaarweg (MODV), bij rkm 968. De meeste hectometervakken zijn dieper dan de streefdiepte, en de hectometervakken die de streefdiepte niet halen hebben vrijwel allemaal een marge van 30 tot 40% ten opzichte van de minimaal vereiste waterdiepte.

Het traject benedenstrooms van Langerak (rkm 969,5) ligt in het beheergebied van RWS WNZ en valt buiten het bereik van de waterdieptekaarten van RWS ON. Er is voor dit deel minder gedetailleerde informatie beschikbaar over de diepte van de vaargeul t.o.v. de norm, zoals voor het beheergebied van RWS ON. Volgens het RBK versie 6.0 is de morfologische dynamiek van de Rijn-Maasmonding kleiner dan van de Rijntakken. Op de Lek is vooral van belang dat ingrepen geen erosie veroorzaken, die kan leiden tot problemen in verband met stabiliteit van waterkeringen en kunstwerken (kribben, oevers, brugpijlers, etc.) en de kruisingen van leidingen, kabels en tunnels. Maar ook sedimentatie in ondiepe delen van de vaargeul is ongewenst. In dit rapport is een inschatting gemaakt van de morfologische effecten op basis van de (verandering van) stroomsnelheden in het zomerbed.

3.2 Autonome ontwikkelingen

In het algemeen is er sprake van autonome bodemdaling (i.e. erosie) op de Nederlandse bovenrivieren. Op de langere termijn komt hierdoor de rivierbodem steeds lager te liggen. Dit proces verloopt zeer langzaam en is nog niet eenduidig te voorspellen. Voor de Lek is dit minder relevant, omdat dit verder benedenstrooms ligt en hier geen sprake is van autonome bodemdaling.

Een andere ontwikkeling is klimaatverandering, waardoor de (piek)afvoeren op de rivier steeds hoger worden. Bij de rivierkundige beoordeling van het voorlopig vergunningenontwerp wordt hiermee niet direct rekening gehouden.

3.3 Relatie met overige projecten

Parallel aan het dijkversterkingsproject SAFE langs de linkeroever van de Lek vinden er momenteel diverse verkenningen plaats van andere projecten in het rivierengebied. Aan de rechteroever van de Nederrijn-Lek vinden verkenningen plaats naar dijkverbeteringen in het kader van het Hoogwaterbeschermingsprogramma (HWBP), waaronder het project SAS (Sterke Lekdijk Salmsteke-Schoonhoven). Daarnaast worden er in het kader van de Kaderrichtlijn Water (KRW) veel ontwerpen uitgewerkt voor maatregelen om de ecologische waterkwaliteit van de rivier te verbeteren. Deze worden voor een groot deel uitgewerkt binnen het project Kaderrichtlijn Water Oost-Nederland (KRW-ON), bijvoorbeeld 'Polder de Eendracht/Bolswaard' bij dijkzone 3. Binnen dit project zullen de KRW-maatregelen gefaseerd worden uitgevoerd op o.a. de Nederrijn-Lek. Daarnaast worden enkele KRW-maatregelen losstaand uitgewerkt in het projectgebied van HWBP-project SAS: 'Collegewaard' bij dijkzone 9, 'De Bol' bij dijkzone 10 en 'Willige Langerak' bij Schoonhoven tussen dijkzone 10 en 11. Binnen het projectgebied van Dijkversterking SAS zijn er ook gebieden met een Natura-2000 opgave waarbij de wens is om een ander type vegetatie tot ontwikkeling te laten komen.

In de beoordeling van de rivierkundige effecten van het voorlopig vergunningenontwerp van HWBP SAFE zijn alleen projecten waar al een vergunning voor afgegeven is meegenomen. In het door Rijkswaterstaat aangeleverde rivierkundig model zijn deze vergunningen opgenomen in de referentiesituatie zoals aangeleverd in november 2024.

Overige binnendijkse ontwikkelingen zijn voor de rivierkundige beoordeling niet relevant.

4 Inrichtingsplan

Het dijkversterkingsproject SAFE bestaat uit de dijkversterking zelf, inclusief aanpassing van op- en afritten, en een aantal compenserende maatregelen voor Natuurnetwerk Nederland (NNN), Kaderrichtlijn water (KRW) en waterberging. Dit betreft de volgende maatregelen:

- Compensatie voor NNN in Polder de Eendracht (tussen Vianen en Lexmond in het beheergebied van RWS-ON nabij dijkzone 3);
- Compensatie voor NNN bij Groot-Ammers (in het beheergebied van RWS-WNZ). Deze compenserende maatregel is wel onderdeel van deze rivierkundige effectbeoordeling, maar na het uitvoeren van de effectbeoordeling is deze maatregel afgefallen (zie toelichting in het tekstblok onder deze opsomming);
- Compensatie voor KRW en waterberging in de uiterwaard tussen Bergambacht en Streefkerk (hierna Streefkerk Perceel West) binnen dijkzone 11;
- Compensatie voor waterberging en NNN door een landwaartse dijkverlegging tussen Bergambacht en Streefkerk binnen dijkzone 11.

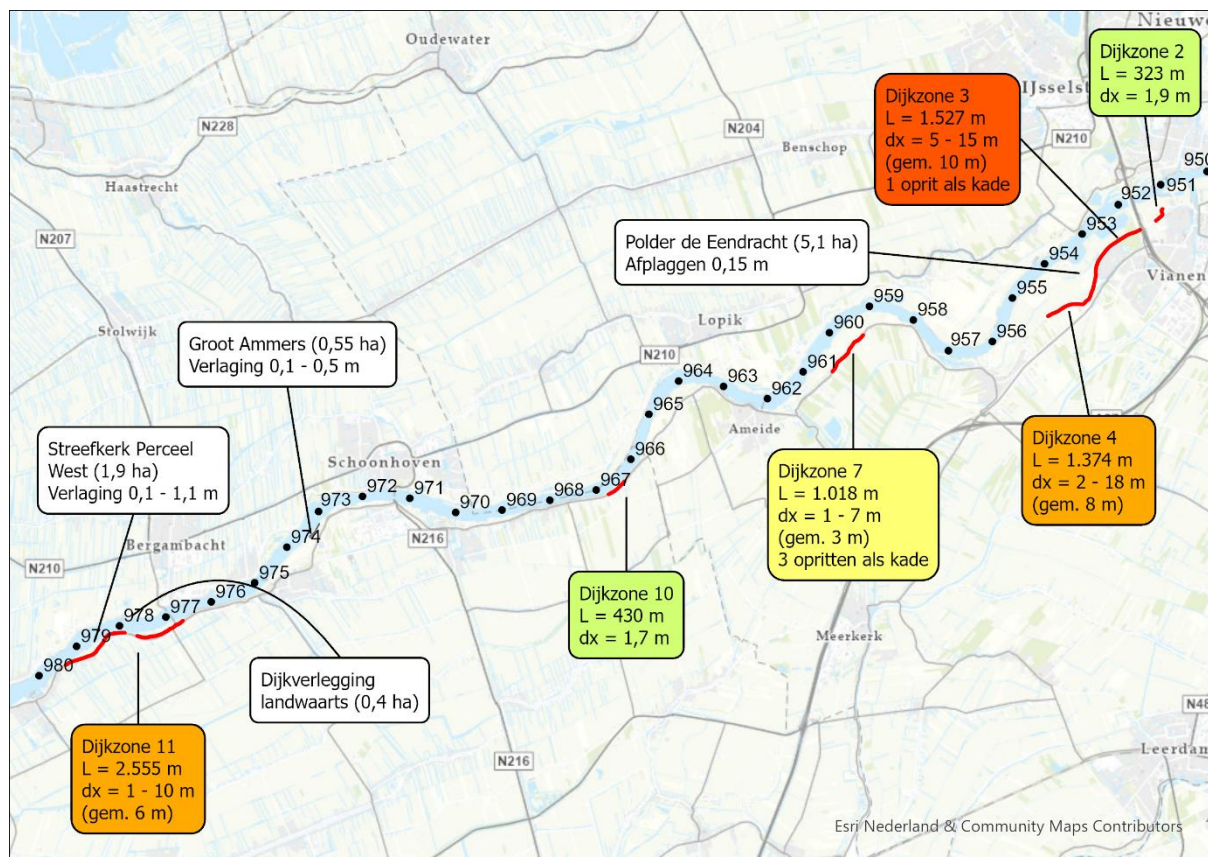
Vervallen van compensatie NNN bij Groot-Ammers

De compenserende maatregel bij Groot-Ammers is onderdeel van de voorliggende rivierkundige effectbeoordeling, maar deze maatregel is begin 2026 afgefallen uit het integrale project dijkversterking SAFE. In plaats van NNN-compensatie bij Groot-Ammers wordt de compensatie voor NNN binnendijs gezocht. Er komt dus geen vervangende compenserende maatregel in de uiterwaarden.

Uit de rivierkundige beoordeling blijkt dat deze maatregel bij de hoogwaterreferentie (maatgevend hoogwater) niet leidt tot effecten op de waterstand die doorwerken in bovenstroomse richting (zie paragraaf 5.1.1). Direct benedenstrooms van de maatregel vindt wel een waterstandsverlaging plaats (zie Figuur 5-1), maar dit is een lokale verlaging die niet doorwerkt over een langer traject. Afgezien van deze lokale waterstandsval wordt de stuwkromme niet beïnvloed door de maatregel bij Groot-Ammers. De effecten op het RBK-aspect hoogwaterveiligheid veranderen daarom niet.

Op de beoordeling van de overige rivierkundige aspecten, zoals dwarsstroming en morfologie, heeft het vervallen van de maatregel bij Groot-Ammers ook geen invloed. De rivierkundige effectbeoordeling zoals beschreven in dit rapport is daarom ook geldig voor het dijkversterkingsproject SAFE zonder de maatregel bij Groot-Ammers.

Tijdens het onderzoek zijn eerder ook compenserende maatregelen bij Hagestein (voor NNN), een ander perceel bij Polder de Eendracht en Streefkerk Perceel Oost onderzocht. Deze zijn echter afgefallen en geen onderdeel meer van het project SAFE (en zijn ook niet meegenomen in de rivierkundige berekeningen). Figuur 4-1 geeft een overzicht van de dijkversterking en compenserende maatregelen.



Figuur 4-1: Overzicht van locaties waar de dijk rivierwaarts wordt versterkt (in kleur) en van de compenserende maatregelen (in wit). Bij de dijkversterking is de lengte (L) van het traject aangegeven en een indicatie van de fictieve asverschuiving zoals opgenomen in het rivierkundig model (dx). De fictieve asverschuiving is toegelicht in paragraaf 4.1.1. De dijkzones met de grootste fictieve asverschuiving zijn weergegeven in oranje en rode kleuren.

In de volgende paragrafen worden dijkversterking en de compenserende maatregelen nader toegelicht.

4.1 Rivierwaartse dijkversterking

De huidige scope van de dijkverbetering op het traject tussen Streefkerk – Ameide – Fort Everdingen (SAFE) bestaat uit negen dijkzones. Langs zes dijkzones wordt rivierwaarts versterkt in het voorlopig vergunningenontwerp. Hierbij wordt de kruin verhoogd, de buitenkruinlijn rivierwaarts verlegd, de buitenberm versterkt en/of het buitentalud verflauwd. Dit betreft de volgende dijkzones:

- Dijkzone 2 – Vianen-Oost
- Dijkzone 3 – Vianen-West
- Dijkzone 4 – Helsdingen
- Dijkzone 7 – Achthoven-west
- Dijkzone 10 – Langerak
- Dijkzone 11 – Veer Bergstoep – Streefkerk

In dijkzone 1, 6 en 9 wordt niet rivierwaarts versterkt. De ontwerptekeningen van elke dijkzone zijn los van deze rapportage opgeleverd als Bijlage B1 bij het Projectbesluit (B1 - Plankaarten - Dijkversterking SAFE.pdf).

De dijkvakken met rivierwaartse versterking hebben een effect op het riviersysteem, omdat de rivierwaartse versterking in meer of mindere mate zorgt voor een afname van het doorstroomprofiel van de rivier. Om de rivierkundige effecten van deze rivierwaartse versterkingen met D-HYDRO te kunnen berekenen, wordt de verandering van het doorstroomprofiel van de rivier uitgedrukt in een verschuiving van de buitenkruinlijn volgens Bijlage 15 van het RBK 6.0. Dit is nader toegelicht in §4.1.1. Vervolgens is in §4.1.2 beschreven hoe deze methodiek is toegepast voor de dijkversterking SAFE.

4.1.1 Methodiek voor modelleren rivierwaartse dijkversterking

In het rivierkundige model (D-HYDRO) 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 te 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:

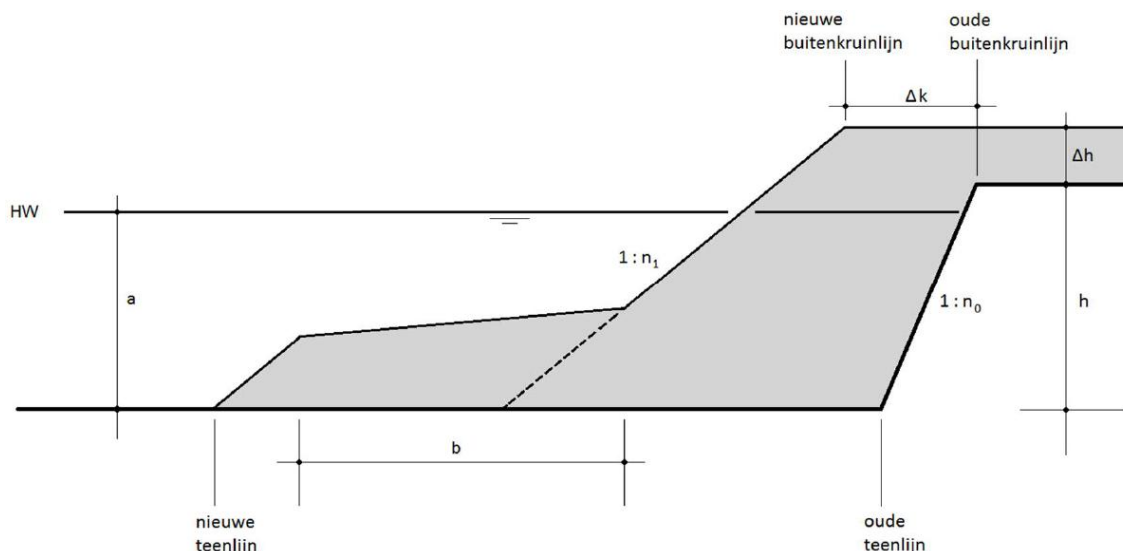
- De werkelijke verplaatsing van de buitenkruinlijn.
- Een fictieve verplaatsing van de buitenkruinlijn, om daarmee de vermindering van het doorstroomoppervlak door taludverflauwing of buitenbermen in rekening te brengen.

De fictieve verschuiving van de buitenkruinlijn moet als volgt worden bepaald (waarbij in verschillende stappen wordt verwezen naar Figuur 4-2):

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 Δx loodrecht op de dijk.
4. Verplaats de buitenkruinlijn over de afstand Δx .
5. Voeg in Baseline een hoogwatervrije lijn toe op de locatie van de nieuwe buitenkruinlijn.

Het hoogtemodel, de ligging van de teenlijn of de teenhoogte worden niet aangepast.

In D-HYDRO 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.

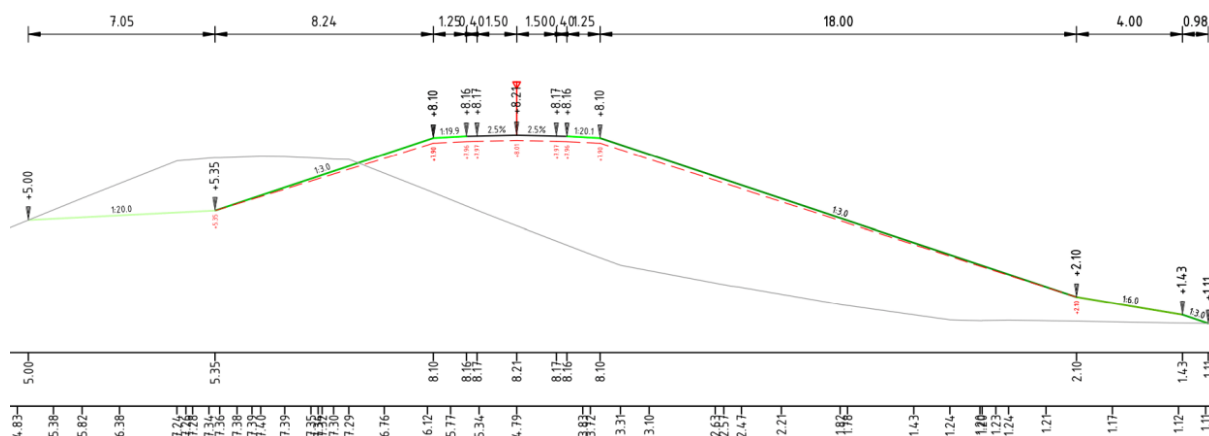


Figuur 4-2: Schematische weergave rivierwaartse dijkversterking (bron: RBK 6.0, Bijlage 15, Figuur F1).

4.1.2 Uitwerking methodiek voor SAFE

Voor de dijkversterking SAFE zijn om de 50 meter dwarsprofielen opgesteld met het huidige en toekomstige dijkprofiel (na versterking). Voor ieder dwarsprofiel is bepaald wat de oppervlakte van de buitendijkse aanvulling is ten opzichte van de huidige situatie (zie Figuur 4-3 voor een voorbeeld). Voor ieder dwarsprofiel is ook de toekomstige kruinhoogte bepaald, op basis van het verschil tussen de kruin- en teenhoogte. Vervolgens is het ontwerp van alle dijkvakken ingedeeld in zones met een vergelijkbare mate van rivierwaartse versterking (vergelijkbare oppervlakte van buitendijkse aanvulling). Voor elke zone is op basis van het gemiddelde oppervlakte van de buitendijkse aanvulling en de gemiddelde kruinhoogte in deze zone de fictieve verschuiving Δx bepaald. Tabel 4-1 bevat informatie over de indeling in zones, oppervlaktes van buitendijkse aanvulling, kruinhoogtes en fictieve asverschuiving. In deze tabel geldt:

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



Tabel 4-1: Fictieve verschuiving per dwarsprofiel, plus de parameters die gebruikt zijn voor de berekening hiervan.

Dijkzone	Dijkvak	Dwarsprofielen	Kruinhoogte [m]	Oppervlak versterking [m ²]	Asverschuiving (Δx) [m]
2	17, 18, 19		4,8	9	1,9
3	21, 22	DP 000-450	5,7	62	10,8
	22	DP 500-550	6,1	81	13,3
	22, 23	DP 600-900	6,0	67	11,3
	23	DP 1000-1100	6,5	35	5,3
	24	DP 1150-1200	6,4	86	13,5
	24	DP 1250-1300	6,2	94	15,2
	24	DP 1350-1400	7,5	88	11,8
	25a	DP 1400-1500	-	-	overgangszone
4	25b	DP 1500 (zone 3) - DP 250 (zone 4)	6,3	9	1,5
	25b	DP 300-350	7,0	76	10,8
	25b	DP 400-600	7,1	77	10,8
	26a	DP 600-690	7,5	140	18,6
	26b, 27a	DP 750-1050	6,7	15	2,3
	27a	DP 1100	6,6	24	3,6
	27b	DP 1150-1450	6,7	16	2,4
	27b	DP 1500	6,3	9	1,5
7	39	tot DP 70	-	-	overgangszone
	39	DP 70-170	6,4	42	6,6
	39	DP 170-240	-	-	overgangszone
	39	DP 300-350	6,7	22	3,3
	39	DP 420-470	6,3	36	5,6
	40a	DP 500-625	6,0	10	1,6
	40a	DP 625-700	-	-	overgangszone
	40a, 40b	DP 700-950	5,6	6	1,1
	40b	Bij DP 980	-	-	overgangszone
10	60	DP 700-1050	4,6	8	1,7
11	81b, 81c	DP 300-350 + DP 2530-2750	5,1	32	6,3
	82	DP 2800-2900	5,0	19	3,9
	82, 83b	DP 2950-3050	4,9	33	6,8
	83b	DP 3100	4,6	8	1,8
	84b	DP 5150-5400	-	-	landwaartse dijkverlegging
	85	DP 5450	4,2	12	2,8
	85	DP 7550-7750	4,2	30	7,0
	86a	DP 7800-8250	4,6	45	9,7
	86b	DP 8300	4,6	24	5,2
	86b	DP 8350	4,7	12	2,5
	86c	DP 8400	4,5	6	1,3

Figuur 4-3: Voorbeeld van een deel van een dwarsprofiel (DP-900 in dijkzone 3), met in grijs de huidige kering en in groen de nieuwe, toekomstige kering. Links in het dwarsprofiel is binnendijks en rechts is buitendijks.

In Baseline is een ‘flow blocking line’ (hoogwatervrije lijn) gemaakt die voor de verschillende zones op een afstand van Δx van de huidige buitenkruinlijn van de kering ligt. Bij de overgangen tussen de zones is deze lijn handmatig wat vloeiender gemaakt om de geleidelijke overgang die er ook in werkelijkheid is beter weer te geven. Bij de begin- en eindpunten is de hoogwatervrije lijn aangesloten op de huidige primaire kering in Baseline.

Bij de omzetting van Baseline naar D-HYDRO wordt de hoogwatervrije lijn geprojecteerd op het rekenrooster van D-HYDRO als ‘thin dams’ (niet overstroombare lijnelementen). De fictieve

asverschuiving is over het algemeen aanmerkelijk kleiner dan de breedte van de D-HYDRO-roostercellen, die 20 tot 25 m breed zijn nabij de kering. Dat betekent dat er af en toe een roostercel wordt 'dichtgezet' ten opzichte van de referentie, mede afhankelijk van de ligging van het rooster. Bij zones met een kleine fictieve asverschuiving, zoals dijkzone 10, worden bijna geen roostercellen dichtgezet. In de kaarten per dijkzone in Bijlage B zijn kaarten opgenomen voor alle dijkzones met hierin de locatie van de hoogwatervrije lijn t.o.v. de huidige kering en hoe dit uitpakt op het rooster van D-HYDRO.

4.1.3 Op- en afritten

Op enkele locaties worden op- en afritten aangepast die dwars op de dijk liggen en doorlopen buiten het dijktaalud. Deze op- en afritten zitten in het rivierkundig referentiemodel als een lijnelement (kade) dwars op de dijk. Op- en afritten die (vrijwel) parallel aan de dijk lopen zijn onderdeel van het dijktaalud en worden niet als lijnelement (kade) in het rivierkundig model opgenomen. De op- en afritten dwars op de dijk zijn aangepast op basis van het 3D-ontwerp. In de meeste gevallen betekent dit een verhoging van de kades ten opzichte van de huidige situatie, omdat de kruin van de nieuwe dijk hoger is en soms de helling van de op-/afrit ook minder steil wordt dan in de huidige situatie.

Ter plaatse van de op- en afritten is, naast een aanpassing van de kades, ook een fictieve asverschuiving toegepast. Dit is gedaan op basis van de fictieve asverschuivingen direct boven- en benedenstrooms van deze op- en afritten, zodat er een geleidelijke overgang in asverschuiving tussen de boven- en benedenstroomse zones ontstaat. Er is geen aanvullende fictieve asverschuiving toegepast op basis van het volume van de op- en afritten, omdat deze al als verhoogd lijnelement (kade) worden meegenomen.

De op- en afritten die zijn aangepast zijn:

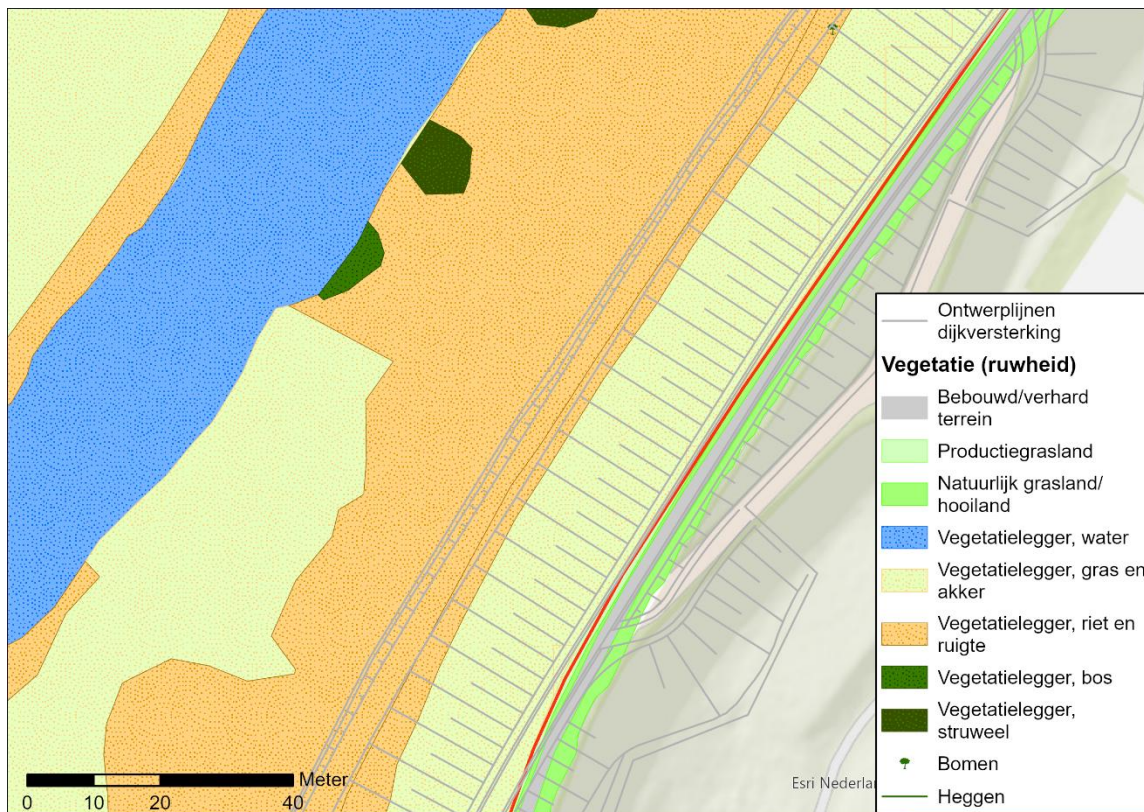
- Dijkzone 3 tussen DP-1250 en DP-1300, ter hoogte van rkm 953,3;
- Dijkzone 7, dubbele op- en afrit tussen DP-00 en DP-70 ter hoogte van rkm 959,5;
- Dijkzone 7 bij DP-210, ter hoogte van rkm 959,7;
- Dijkzone 7 bij DP-655, ter hoogte van rkm 960,3.

Daarnaast is ook de toegangsweg naar de veerpont bij dijkzone 11 in Baseline aangepast (bij rkm 976,9). Deze toegangsweg is verhoogd vanwege de hogere nieuwe dijk.

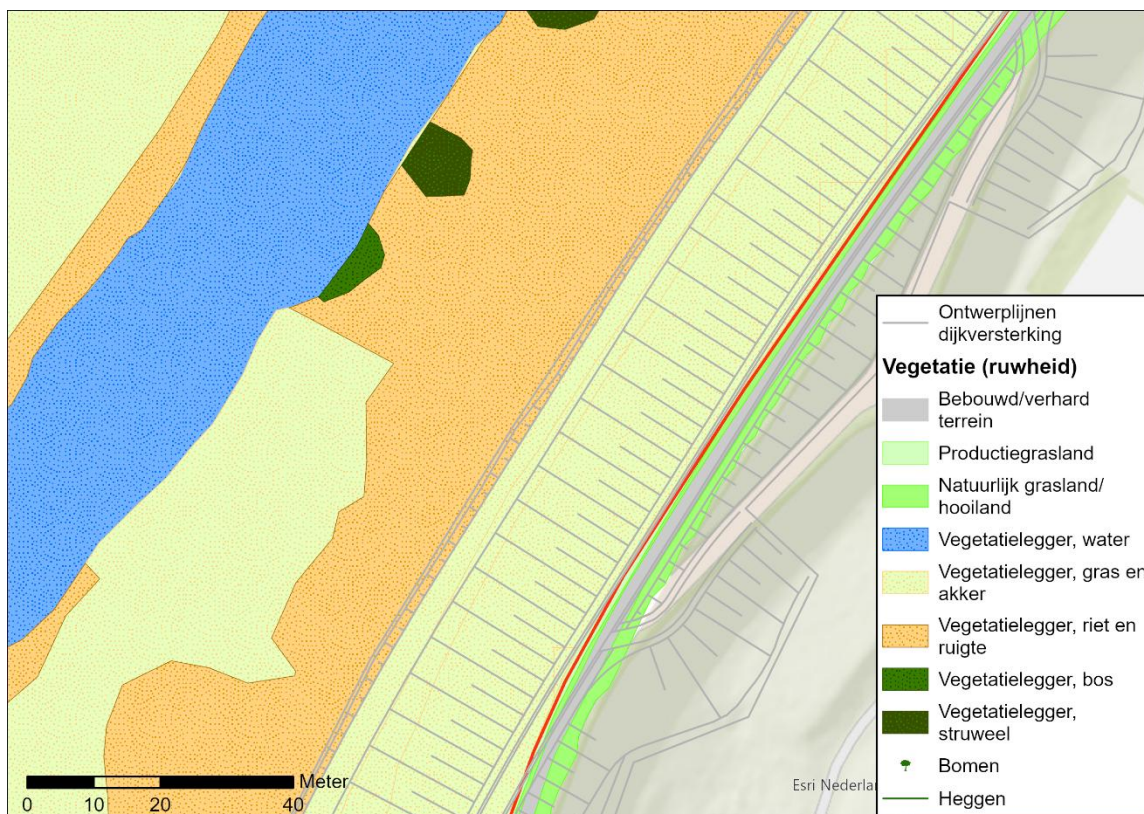
De aanpassingen in de op- en afritten en de toegangsweg naar de veerweg zijn terug te zien in de kaarten in Bijlage B.

4.1.4 Aanpassing vegetatie op dijktaalud

In de berekeningen is als uitgangspunt gehanteerd dat op de beheerstrook en het talud van de dijk (tussen de beheerstrook en de kruin) geen begroeiing (ruwe vegetatie) aanwezig is in de gebruiksfase. Waar er in de huidige situatie in dit gebied wel ruwe vegetatie aanwezig is in het rivierkundig model, is dit vervangen door de vegetatieklasse 'gras en akker'. Als voorbeeld laat Figuur 4-4 de vegetatie zien van de referentie voor een deel van dijkzone 3 en Figuur 4-5 de vegetatie van de variant voor hetzelfde gebied. In Bijlage B staan kaarten van de vegetatie voor de referentie en de variant voor alle dijkzones waar een rivierwaartse versterking plaatsvindt.



Figuur 4-4: Vegetatieruwheid van de Baseline-referentie bij dijkzone 3.



Figuur 4-5: Vegetatieruwheid van de Baseline-variant bij dijkzone 3.

4.2 Compenserende maatregelen

De compensatie voor Natuurnetwerk Nederland (NNN) wordt gedaan in de volgende gebieden:

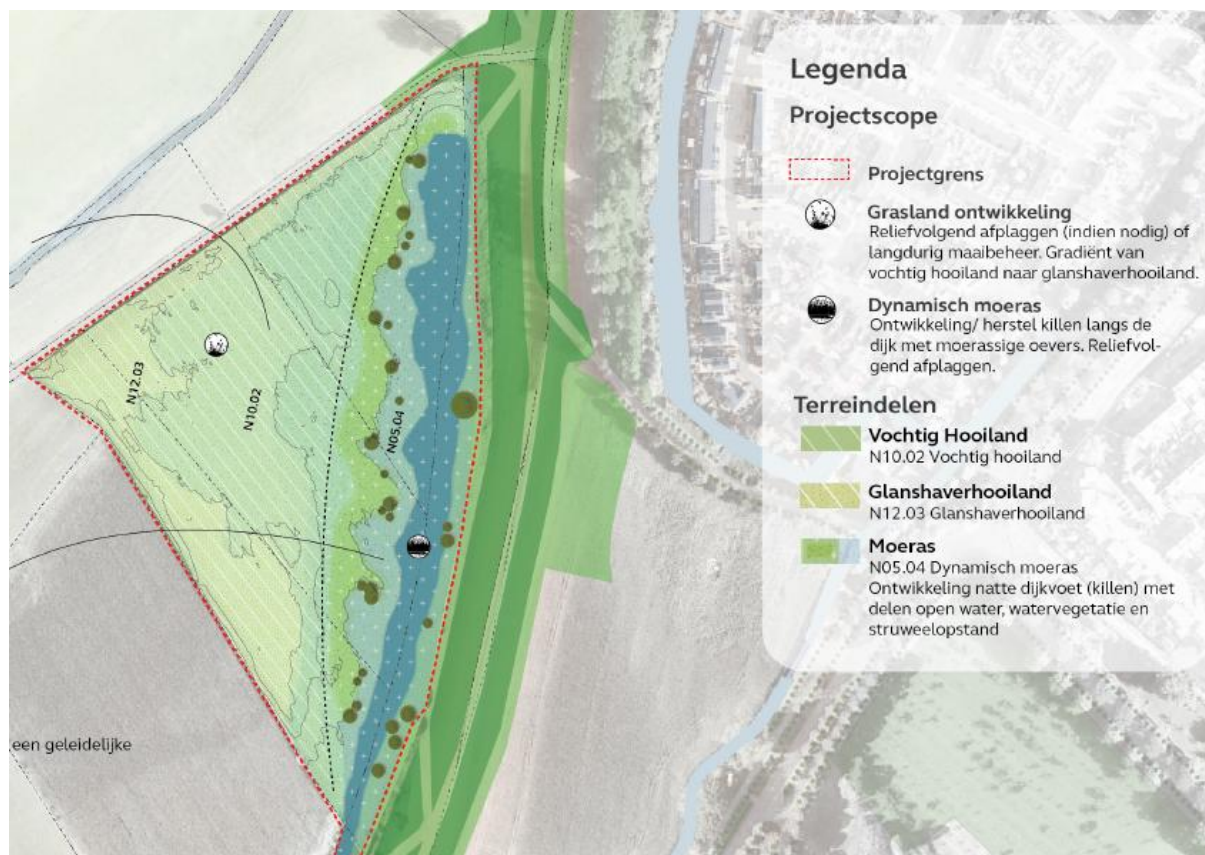
- De compensatie-opgave in de provincie Utrecht voor NNN is in totaal 4,75 hectare. In het Vergunningenontwerp wordt de NNN-compensatie voor de provincie Utrecht gerealiseerd in de uiterwaarden van Polder de Eendracht. Deze compensatie is niet meegenomen in de rivierkundige berekeningen, maar is kwalitatief beoordeeld.
- De compensatie-opgave voor NNN in de provincie Zuid-Holland is in totaal 3,52 hectare. In het Vergunningenontwerp wordt de NNN-compensatie voor de provincie Zuid-Holland gerealiseerd in de uiterwaarden bij Streefkerk en ter plaatse van zwembad de Dompelaar in Groot-Ammers. Deze compenserende maatregelen zijn wel meegenomen in de rivierkundige berekeningen.

Met de betrokken rivierkundig adviseurs van Rijkswaterstaat is afgesproken dat het verlies aan waterberging alleen gecompenseerd hoeft te worden in het beheergebied van RWS-WNZ, en dus niet in het beheergebied van RWS-ON. De compensatie-opgave voor waterberging in het beheergebied van RWS-WNZ bedraagt op basis van het vergunningenontwerp ruim 20.600 m³ (zie §5.1.2). Het uitgangspunt hierbij is dat compensatie waterberging noodzakelijk is voor het verlies aan waterbergend volume tussen de door RWS-WNZ opgegeven grenzen NAP +1,13 m en NAP + 3,82 m. Deze compensatie-opgave wordt ingevuld door een binnenwaartse asverschuiving van de schaaldijk ter plaatse van boerderij de Morgenster in combinatie met uiterwaardvergraving van de hoog gelegen delen van de uiterwaard in Streefkerk.

In de volgende paragrafen worden de compenserende maatregelen verder toegelicht.

4.2.1 Compensatie NNN bij Polder de Eendracht

De NNN-compensatie voor de provincie Utrecht vindt plaats in Polder de Eendracht, ten zuidwesten van de weg de Middelwaard. Hier wordt een terrein van 5,1 hectare grenzend aan de waterkering, dat momenteel in agrarisch gebruik is, heringericht (Figuur 4-6). De kil grenzend aan de dijk wordt verbreed, met een nieuw te graven talud tussen maaiveld en de bodem van de kil met een helling tussen 1:10 en 1:15. De natte dijkvoet wordt hierdoor verbreed en fungeert als dynamisch moeras. Aansluitend worden de killen in westelijke richting na uitvoering hersteld, met een wisselende helling van de oever aan rivierzijde tussen 1:3 en 1:10. Met deze flauwe oever wordt een geleidelijke overgang gecreëerd naar vochtig hooiland en glanshaverhooiland. De ontwikkeling van dit habitat wordt gestimuleerd door het maaiveld reliëfvolgend met ca. 15 cm af te graven, om zo de nutriëntenrijke toplaag te verwijderen. Het compensatiegebied sluit aan de noordoostzijde aan op bestaand NNN-habitat.

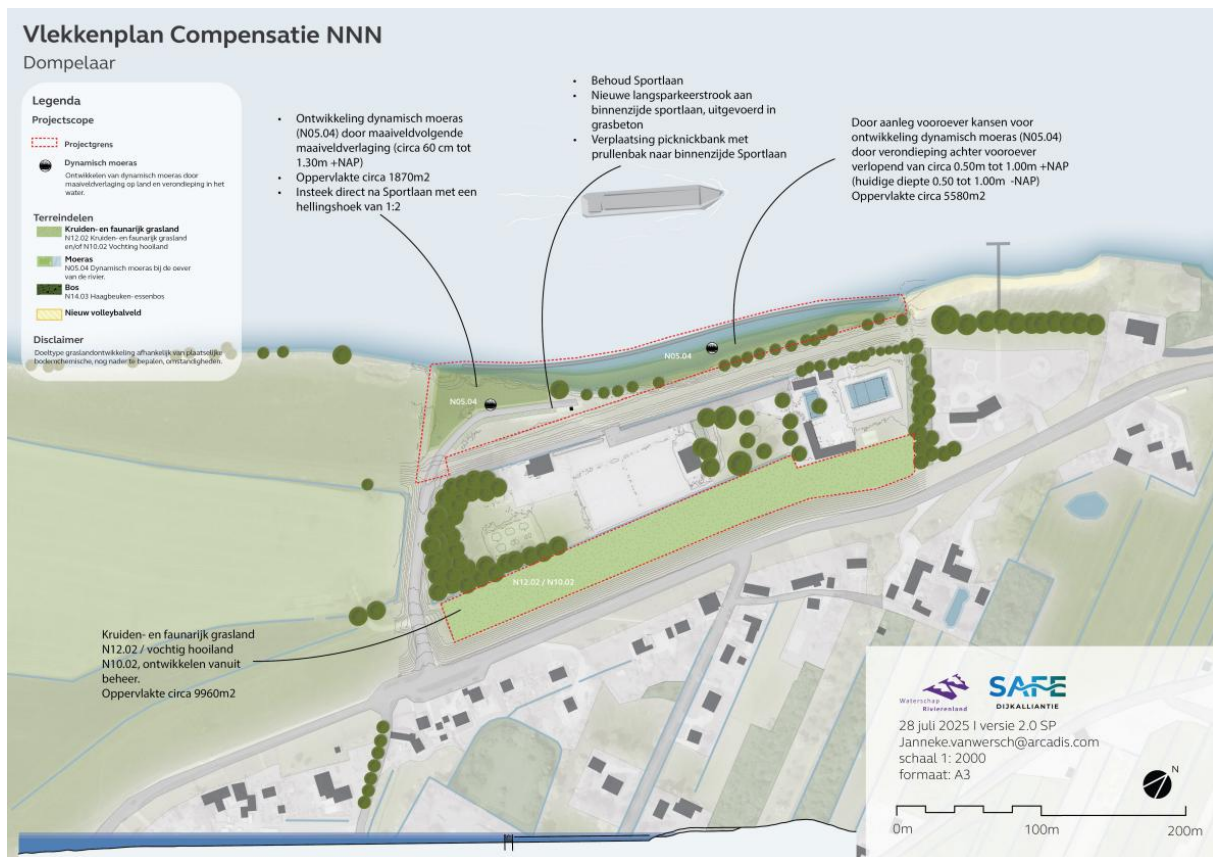


Figuur 4-6: Uitsnede uit Vlekkenplan Compensatie NNN Dijkzone 3 & 4 (versie 1.0, 28 oktober 2025).

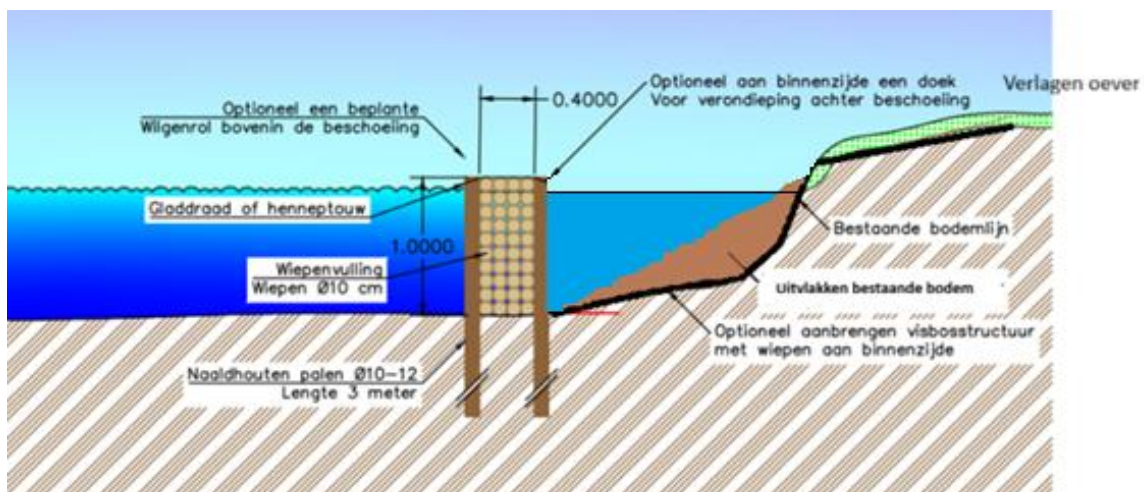
4.2.2 Uiterwaardverlaging Groot-Ammers (De Dompelaar)

De compensatie voor NNN in de provincie Zuid-Holland bij Groot-Ammers (bij zwembad De Dompelaar) omvat de ontwikkeling van dynamisch moeras (N05.04) door maaiveldvolgende maaiveldverlaging (0,19 ha), met daarop aansluitend de ontwikkeling van dynamisch moeras (N05.04) door het uitvlakken van de bestaande oeverzone (Figuur 4-7). In Figuur 4-7 wordt dit een verondieping genoemd, maar in werkelijkheid is het afhankelijk van de lokale geometrie van de oever hoe dit wordt uitgewerkt. Er kan plaatselijk wel een kleine verondieping ontstaan, maar dit zit in de marge. Het uitvlakken van de oever is daarom niet meegenomen in de rivierkundige berekeningen. Het uitvlakken van de oever vindt plaats achter een aan te leggen vooroeverconstructie. Dit betreft een palenrij met wiepen, waarbij de palen 4 m uit elkaar staan, afwisselend tussen de binnen- en buitenzijde (in een diehoekstramien). De afmetingen van de rij staan vermeld in het principe-profiel in Figuur 4-8.

Langs de waterkering is er kans voor de ontwikkeling van vochtig hooiland (1,0 ha). Dat is een ander natuurtype dan kruiden- en faunarijk grasland en zilt- en overstromingsgrasland welke SAFE dient te compenseren, maar heeft een kwalitatief hogere natuurwaarde.



Figuur 4-7: NNN-compensatie in de provincie Zuid-Holland bij zwembad De Dompelaar bij Groot-Amers bij dijkzone 11.



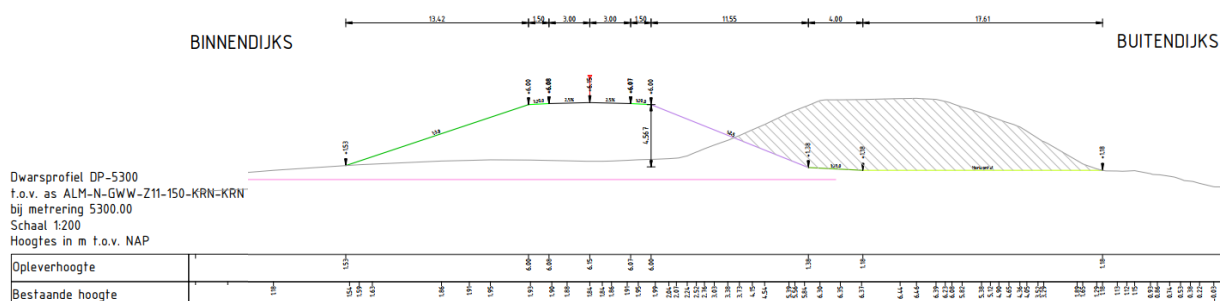
Figuur 4-8: Principeprofiel van de palenrij bij Groot-Amers. Het uitvlakken van de bestaande oever is niet in de rivierkundige berekeningen opgenomen.

4.2.3 Landwaartse dijkverlegging Streefkerk

Ter plaatse van Streefkerk (Boerderij de Morgenster) wordt de as van de schaaldijk naar binnen toe verplaatst (Figuur 4-9 en Figuur 4-10). Hierdoor ontstaat een nieuwe uiterwaard door het afgraven van de dijk tot een hoogte van NAP +1,13 m. Dit maakt het gebied geschikt om de ontwikkeling van rietoevers in een dynamisch moeras te bevorderen, aangezien het gebied gemiddeld drie maanden per jaar onder water staat. Het maaiveld krijgt lichte gradiënten en een voedselrijke onderlaag wordt onder een schrale bovenlaag aangebracht. Dit levert ca. 0,3 hectare aan NNN-compensatie op. Daarnaast levert deze dijkverlegging een groot deel van de compensatie van het verlies van bergend volume.



Figuur 4-9: Bergingscompensatie door binnenwaartse asverschuiving in dijkvak 84.

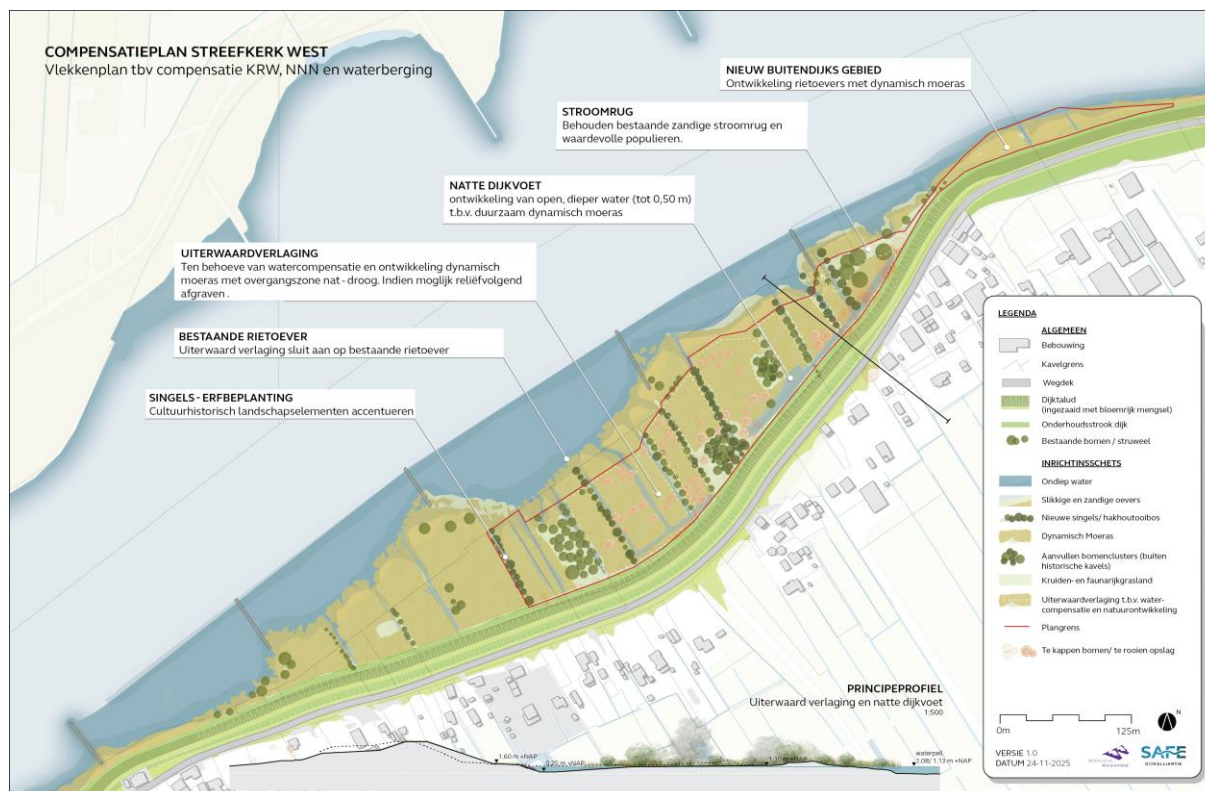


Figuur 4-10: Dwarsdoorsnede van de maximale binnenwaartse asverschuiving in dijkvak 84 (DP-5300, halverwege dijkvak 84b). Het gearceerde deel betreft het deel van de huidige dijk dat wordt verwijderd.

4.2.4 Uiterwaardverlaging Streefkerk (Perceel West)

De compensatie-opgave voor NNN, KRW en waterberging bij Streefkerk betreft de herinrichting van in totaal 3,8 hectare aan uiterwaard (Figuur 4-11). Deze compensatie voor dijkversterking SAFE wordt uitgevoerd door herinrichting van de uiterwaarden gelegen aan de Nieuwe Veer in Streefkerk, tussen rivierkilometer 978,3 en 978,9, in het KRW-waterlichaam Oude Maas. In deze uiterwaard bij Streefkerk wordt in het oostelijk deel een natte dijkvoet gecreëerd door achter de bestaande rietoever (rivierzijde) het bestaande maaiveld geleidelijk te verlagen in een flauw talud. Het diepste punt van de maaiveldverlaging ligt op NAP +0,25m. Hiermee ontstaat een natte dijkvoet met een permanente waterdiepte van circa 50 cm ondiep water. Het bestaande maaiveld wordt verlaagd met 0,1 m tot 1,1 m ten opzichte van de huidige maaiveldhoogte. De oever van de natte dijkvoet aan rivierzijde heeft een flauw talud, met een helling tussen 1 op 8 en 1 op 15. De oever van de natte dijkvoet aan de dijkzijde heeft een helling van 1 op 3 en is voorzien van steenbestorting (tegen graafschade). De beheerstrook aan de buitenzijde komt op een niveau van NAP +1,60 m te liggen en vormt de verbinding tussen het oostelijk en westelijk deel van de uiterwaard, waarmee beheer plaats kan vinden. In het westelijk deel wordt de bodemhoogte van bestaande sloten verlaagd met ca. 0,5 meter en worden de oevers verflauwd, naar een helling tussen 1:3 en 1:5. Het omliggende maaiveld wordt licht verlaagd met ca. 10 tot 25 cm om de voedselrijke toplaag te verwijderen.

Hiervoor wordt minimaal 3,8 hectare heringericht door de uiterwaarden met 20 tot 80 centimeter te vergraven (afhankelijk van de locatie). De uiterwaard is grotendeels aangeduid als NNN-habitat dynamisch moeras, maar functioneert door de hoge maaiveldligging en lage overstromingsfrequentie niet als zodanig. Ook de bossen hebben niet overal hoge kwaliteit; enkele bomen in de uiterwaarden leiden aan de essentakziekte. Het stroomdalgrasland is vanwege het extensieve agrarisch gebruik erg voedselrijk. De hoger gelegen delen van de uiterwaard overstromen op dit moment eenmaal per jaar tot eenmaal maal per drie jaar. Door reliëfvolgende maaiveldverlaging wordt de overstromingsfrequentie verhoogd naar enkele maanden per jaar. Ook wordt de vermeste toplaag afgegraven. Hierdoor ontstaat in de uiterwaarden een wisselend waterpeil onder invloed van getijde. Waardevolle en gezonde bomen en bomenrijen worden behouden en waar nodig versterkt door aanplant om de historische kavelstructuur te accentueren. Ter plaatse van de maaiveldverlaging zullen voornamelijk rietvegetaties ontwikkelen, afgewisseld met moerasbosjes.



Figuur 4-11: Compensatie voor KRW en waterberging bij Streefkerk perceel west.

4.3 Baseline-maatregelen en -varianten

De dijkversterking, inclusief aanpassingen van de vegetatie langs het te versterken deel van de dijk en de op- en afritten, is geschematiseerd in één Baseline-maatregel. Voor de compenserende maatregelen is voor iedere maatregel een aparte Baseline-maatregel gemaakt (behalve voor de compensatie bij Polder de Eendracht, die alleen kwalitatief is beoordeeld). In Tabel 4-2 staat een overzicht van de Baseline-maatregelen. De Baseline-maatregelen zijn gemaakt volgens de Dienstsificaties Invoer Baseline versie 7.

De palenrij bij Groot-Ammers is in afstemming met RWS gemodelleerd als een kade (elevated_line type local embankment) met een kruinhoogte op NAP + 1,1 m (net iets boven het normale waterniveau). Hiervoor is gekozen omdat het een smalle en vrij dichte constructie betreft, waar weinig water doorheen kan stromen. De inschatting is dat de schematisatie als een kade om deze redenen conservatief is; de stroming wordt volledig geblokkeerd (terwijl er in werkelijkheid wel wat water doorheen kan stromen) en het volume dat de palenrij inneemt is door de smalle breedte van ondergeschikt belang. Een andere optie om de palenrij te modelleren is als een dichte heg. Een heg wordt meegenomen in de ruwheid (trachytopen-bestand) en niet als een lijnelement, waardoor deze veel breder uitvalt dan de dikte van de palenrij van 40 cm. Als de palenrij als heg geschematiseerd wordt, geeft dit naar verwachting een minder realistisch effect op de stroming dan schematisatie als een kade. De keuze voor een heg of kade heeft naar verwachting geen effect op de conclusies van de effectbepaling: zo voldoet het MHW-effect hier ruim voldoende aan de 1 mm-norm (zie paragraaf 5.1.1) en zal een kleine wijziging in het MHW-effect door deze schematisatiekeuze dit niet veranderen.

Tabel 4-2: Baseline-maatregelen voor de integrale variant van SAFE VO1.

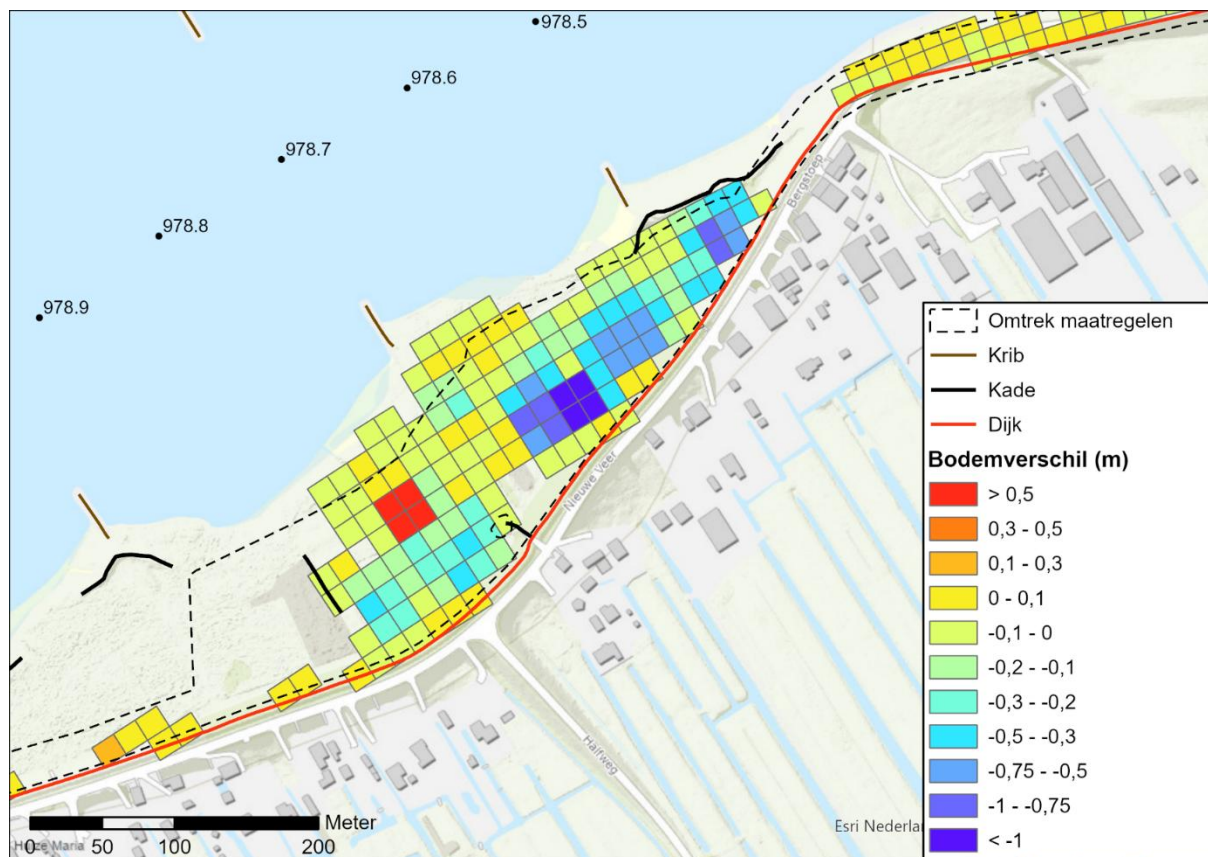
Maatregel	Baseline-maatregel	Locatie
Dijkversterking (incl. op-/afritten en aanpassing weg naar veerstoep bij dijkzone 11)	le_safevo1_dijk_b1	Dijkzones 2, 3, 4, 7, 10 en 11
Uiterwaardverlaging Groot-Ammers	le_safe_gr_amm_a2	Groot-Ammers (rkm 973,2–973,6)
Landwaartse dijkverlegging Streefkerk	le_safe_dijkverl_dz11_a1	Streefkerk (rkm 977,9-978,3)
Uiterwaardverlaging Streefkerk (perceel West)	le_safe_streefk_west_a1	Streefkerk (rkm 978,4-979,0)

De Baseline-maatregelen zijn ingemixt in het Baseline-referentiemodel om de variant 'hwbp_safe_vo1_v6' op te bouwen. In Bijlage B staan per deelgebied kaarten met bodemhoogtes, landgebruik en bodemhoogteverschillen van de referentie en de variant. De dijkversterking leidt in principe niet tot bodemhoogteverschillen, maar in D-HYDRO zijn hier soms toch beperkte bodemverschillen te zien. Dat komt doordat D-HYDRO de bodemhoogte van rekencellen waar een hoogwatervrij lijn (flow blocking line) loopt op een iets andere manier bepaald. Verreweg de meeste roostercellen waar een bodemhoogteverschil plaatsvindt, liggen achter een 'thin dam' in D-HYDRO (de projectie van de flow blocking line op het rooster) en stromen niet mee. Bodemverschillen bij roostercellen die wel meestromen komen zo weinig voor en zijn zeer beperkt (enkele centimeters) en hebben geen invloed op de rivierkundige effecten. Bij de gewijzigde op- en afritten komen ook bodemhoogteverschillen voor. Deze zijn het gevolg van de gewijzigde teenlijnen (geschematiseerd als terrain_edge_3d_lines).

Bij de landwaartse dijkverlegging bij Streefkerk zijn de getoonde bodemhoogteverschillen niet representatief voor de werkelijke verschillen. In werkelijkheid wordt in het nieuwe buitendijkse gebied namelijk de huidige dijk afgegraven, maar de huidige dijk zit niet in het Baseline-hoogtemodel.

Bij Streefkerk (perceel West) valt op dat er vier rekencellen zijn ter hoogte van rkm 978,75 waar de bodem ruim een halve meter hoger ligt dan in de referentie (zie Figuur 4-12). Dat komt omdat hier in de referentie een smalle watergang met een bodembreedte van ongeveer 1 m in de bodemhoogte is opgenomen. De randen van de roostercellen van D-HYDRO, die hier ongeveer 17 m breed zijn, vallen hier net in de bodem van deze watergang, waardoor deze cellen in zijn geheel een lage bodemhoogte hebben. Dit is ongewenst en ook de reden dat de bodem van dergelijke smalle watergangen eigenlijk niet in het rivierkundig model meegenomen moeten worden. In de variant is de bodem van de watergang (volgens Baseline-protocol) niet meegenomen en liggen deze cellen dus een stuk hoger. Dit bodemverschil in de berekeningen is er in werkelijkheid dus niet, maar dit heeft geen significante invloed op de rivierkundige effectbepaling en is daarom niet aangepast.

Verder zijn er in de rest van dit gebied ook beperkte bodemverhogingen te zien (tot enkele decimeters). Dat komt omdat het ontwerp uitgaat van een bepaalde bodemverlaging ten opzichte van het AHN. De bodemhoogte in Baseline komt niet altijd overeen met de hoogte van het AHN. In gebieden waar het AHN hoger is dan de Baseline-hoogte, kan een verlaging hierdoor uitpakken als een verhoging.



Figuur 4-12: Bodemhoogteverschillen in D-HYDRO bij compenserende maatregel Streefkerk perceel west.

5 Rivierkundige beoordeling

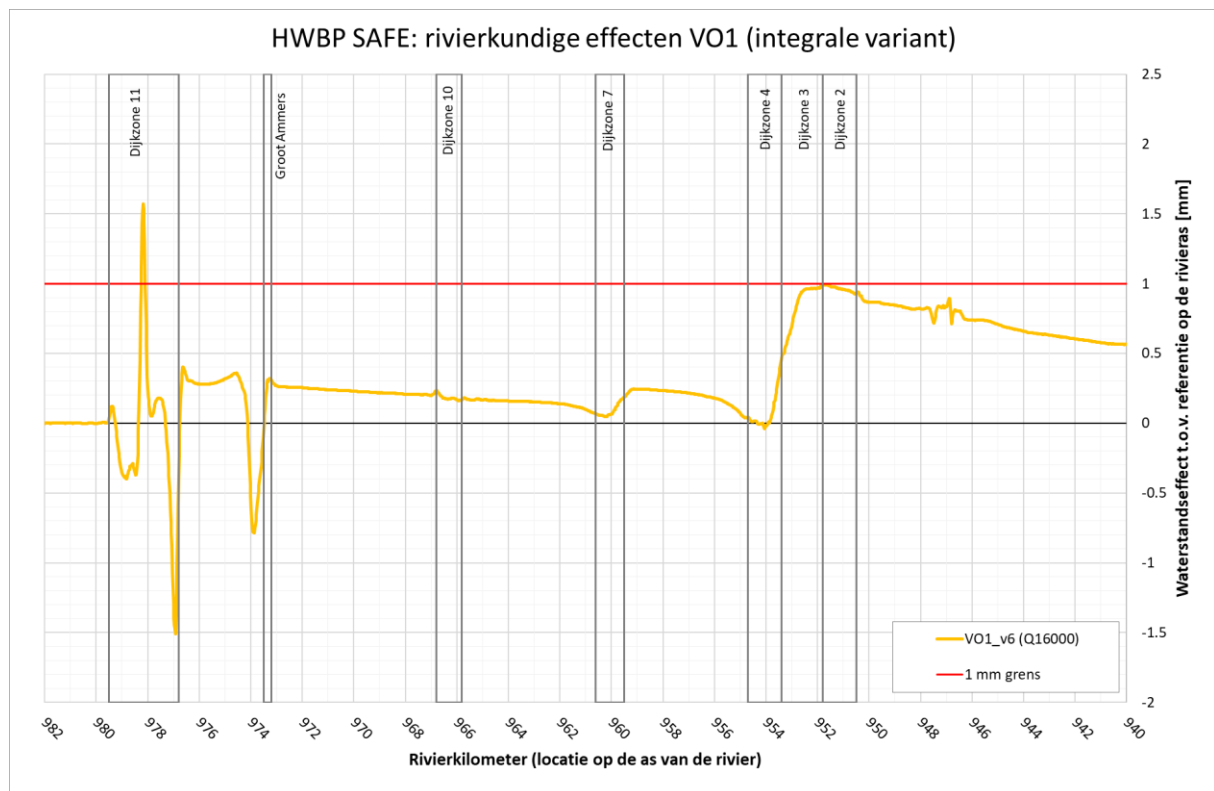
5.1 Hoogwaterveiligheid

5.1.1 Hoogwaterreferentie op de as van de rivier

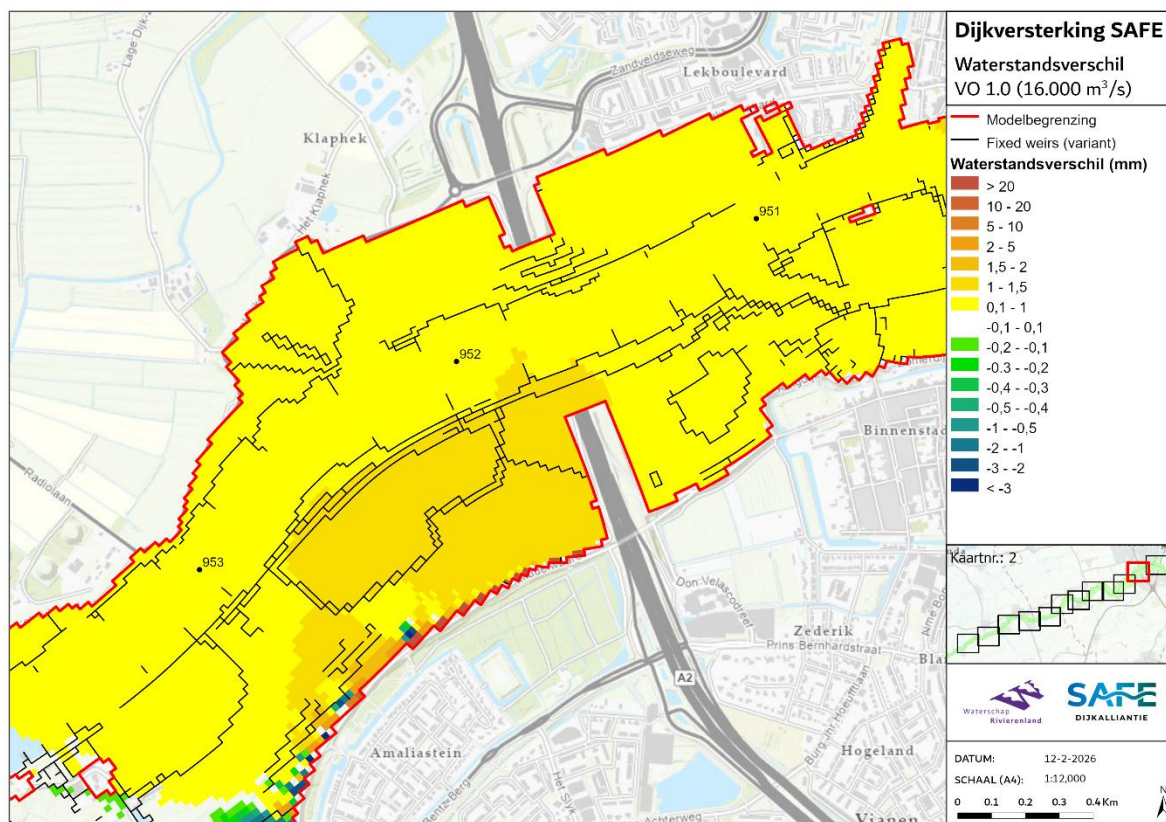
Het waterstandseffect op de as van de rivier bij de hoogwaterreferentie is te zien in Figuur 5-1. De rivierwaartse dijkversterkingen leiden tot een waterstandsverhoging, die doorwerkt in bovenstroomse richting.

Bij dijkzone 2 en 3 (bij rkm 952) is de waterstandsverhoging bijna (maar niet gelijk aan) 1 mm op de rivieras (Figuur 5-1). Figuur 5-2 laat zien dat de waterstandsverhoging in de uiterwaard tussen rkm 952 en 953 groter is dan 1 mm; bij rkm 951,8 komt de opstuwing groter dan 1 mm bijna tot aan de rivieras, maar bereikt deze net niet. Deze waterstandsverhoging bij dijkzone 2 en 3 komt vooral door de dijkversterking in dijkzone 3. Het volume van de rivierwaartse versterking en daarmee ook de fictieve asverschuiving is hier relatief groot. Daarnaast heeft de aanpassing van de op-/afrit tussen DP-1250 en DP-1300, ter hoogte van rkm 953,3, een groot aandeel in de waterstandsverhoging. Deze op-/afrit is tijdens de uitwerking van het VO1 aangepast om de waterstandsverhoging te verminderen; in eerdere berekeningen was de waterstandsverhoging hier groter dan 1 mm.

De dijkversterking in de overige dijkzones leiden niet tot grote waterstandsverhogingen.



Figuur 5-1: Waterstandseffect op de as van de rivier van het VO1 (dijkversterking en compenserende maatregelen) bij de hoogwaterreferentie (afvoer bij Lobith van 16.000 m³/s).

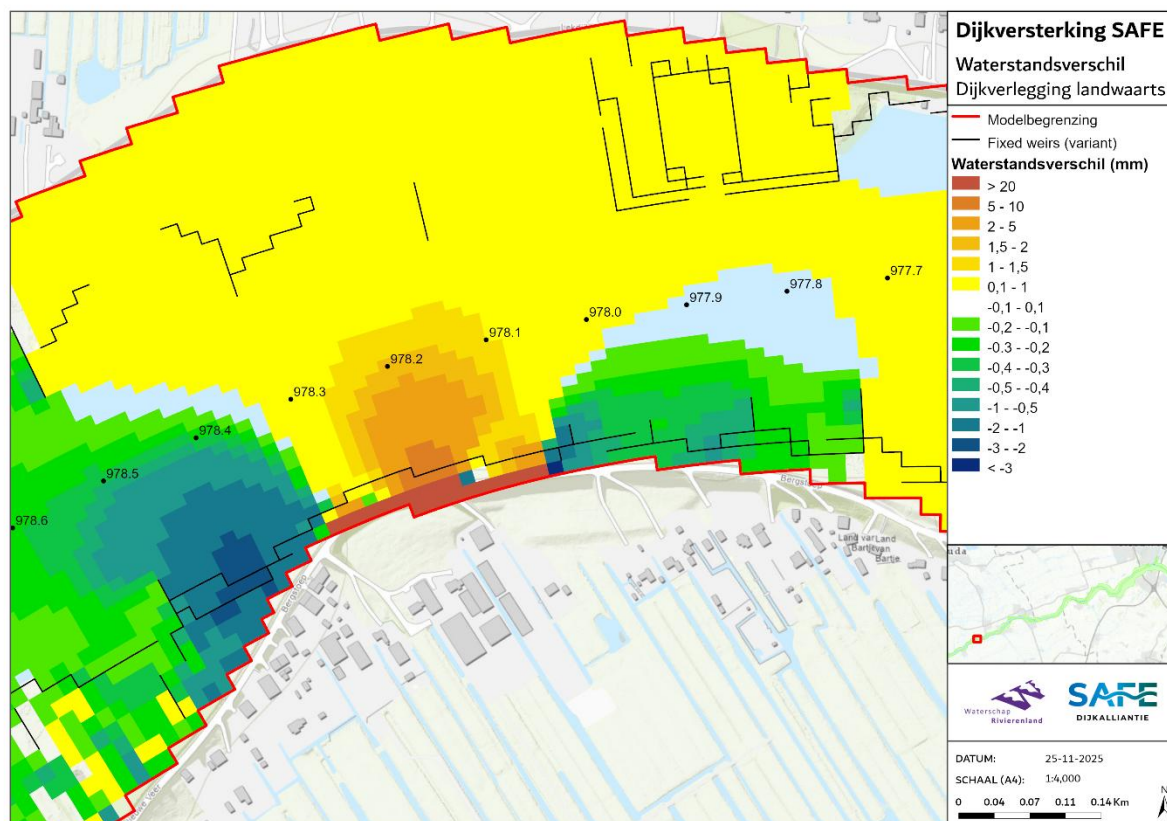


Figuur 5-2: Waterstandsverschil bij dijkzone 3 bij een afvoer van 16.000 m³/s bij Lobith.

Bij dijkzone 11, bij rkm 978, is een lokale piek (waterstandsverhoging) te zien van 1,6 mm. Deze piek wordt veroorzaakt door de landwaartse dijkverlegging bij Streefkerk. Een landwaartse verlegging heeft – zeker bij een schaadijk – in principe een positief effect op de waterstanden (verlaging). De lokale piek die hier is berekend is dus geen logisch effect. In de waterstandseffecten buiten de rivieras is te zien dat deze piek ontstaat bij de dijk – waar deze wordt verlegd – en doorwerkt richting de rivieras (zie Figuur 5-3). Om deze piek verder te onderzoeken, is een berekening gedaan met alleen deze landwaartse dijkverlegging (en niet de dijkversterking en overige compenserende maatregelen). Uit deze testberekening blijkt dat de berekende waterstandsverhoging inderdaad het gevolg is van de landwaartse dijkverlegging in het model.

Uit een nadere analyse van het stromingspatroon blijkt dat de waterstandspiek een modeleffect is. Uit het waterstandseffect en de stroombanen blijkt dat de piek precies op de plek ontstaat waar de dijkverlegging een cel rivierwaarts verspringt op het rekenrooster van D-HYDRO (ter hoogte van rkm 978,22, zie de rode lijnen van de modelbegrenzing in Figuur 5-3). In werkelijkheid loopt de nieuwe dijk vloeiend en is deze verspringing er niet. De dijkverlegging is ook erg kleinschalig ten opzichte van het rekenrooster; de dijk wordt 1 of 2 rekencellen landwaarts verlegd. Het D-HYDRO model is hier te grof om deze dijkverlegging goed te kunnen modelleren en daarom is er in werkelijkheid zeer waarschijnlijk geen of een veel kleinere waterstandsverhoging. Met RWS-ON

en RWS-WNZ is afgestemd dat het berekende effect hier niet realistisch is en daarom wordt geaccepteerd.



Figuur 5-3: Waterstandsverschil bij de landwaartse dijkverlegging bij Streefkerk (tussen rkm 978,0 en 978,3).

De compenserende maatregel bij Polder de Eendracht is niet in de berekeningen opgenomen, maar kwalitatief beoordeeld. In de huidige situatie is er in dit gebied vrijwel alleen maar gras en akker aanwezig in het rivierkundig model, met daarnaast zeer kleine oppervlaktes open water, riet en ruigte en bos. Door de ontwikkeling van een smalle strook dynamisch moeras is de verwachting dat het gebied in zijn geheel genomen mogelijk iets ruwer wordt. Dit kan zorgen voor een (beperkte) opstuwing. Het gaat echter om een kleine toename van de ruwheid in relatief stroomluw gebied (met stroomsnelheden van 0,2 – 0,3 m/s bij de hoogwaterreferentie), dus deze opstuwing is verwaarloosbaar klein. Het afplaggen zorgt juist voor een (beperkte) waterstandsdeling. Deze waterstandsdeling is naar schatting even groot of misschien net iets groter dan de waterstandsverhoging door ruwere vegetatie. De verwachting is dan ook dat de maatregel min of meer waterstandsneutraal is of zorgt voor een zeer beperkte waterstandsdeling.

5.1.2 Verandering van bergend volume

De rivierwaartse 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. De onderbouwing redeneerlijn buitendijks versterken is opgenomen in Bijlage F0.

Dijkzone 11 ligt in het beheergebied van RWS-WNZ. In het vergunningenontwerp is voor deze dijkzone een buitenwaartse asverschuiving opgenomen in de dijkvakken 82 en 86a en het aan de buitenzijde ophogen van de oprit naar de veerstoep in dijkvak 81. Hierdoor gaat er bergend volume verloren op de Lek. De afname van het bergend volume door een activiteit moet worden gecompenseerd ter plekke van de activiteit. Het uitgangspunt is dat compensatie waterberging noodzakelijk is voor de afname bergend volume tussen de door RWS-WNZ opgegeven grenzen van NAP + 1,13 m (de lokale gemiddeld hoogwaterstand (GHW)) en NAP + 3,82 m (de waterstand op deze locatie die hoort bij de Hoogwaterreferentie). De totale afname in bergend volume door de dijkversterking binnen deze grenzen is ruim 20.600 m³ (zie ook Tabel 5-1).

Deze bergingscompensatie bestaat uit een combinatie van twee maatregelen bij dijkzone 11:

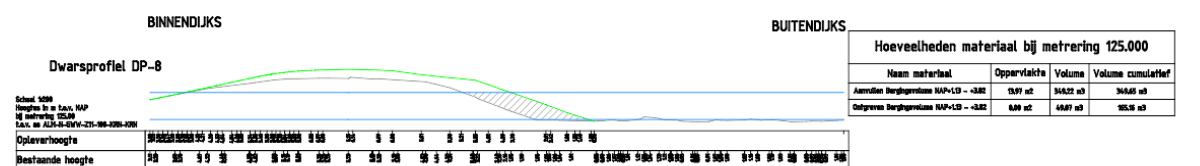
- Een binnenwaartse (landwaartse) dijkverlegging in dijkvak 84b (bij Streefkerk). Dit leidt tot een toename van bergend volume van ca. 11.800 m³.
- Een uiterwaardvergraving van de hoger gelegen delen in westelijke uiterwaard van Streefkerk. Hier wordt over een oppervlak van 2,7 ha gemiddeld ongeveer 25 cm afgegraven boven het niveau van NAP + 1,13 m, waarmee de resterende bergingscompensatie na de binnenwaartse asverschuiving wordt gerealiseerd.

Als onderdeel van de buitenwaartse asverschuiving vindt bovendien vergraving van de bestaande dijkteen plaats, waarin een klein deel van het compensatievolume wordt gerealiseerd. De volumeberekening van het bergingsverlies en compensatie is weergegeven in Tabel 5-1. In totaal neemt het bergend volume toe met 249 m³.

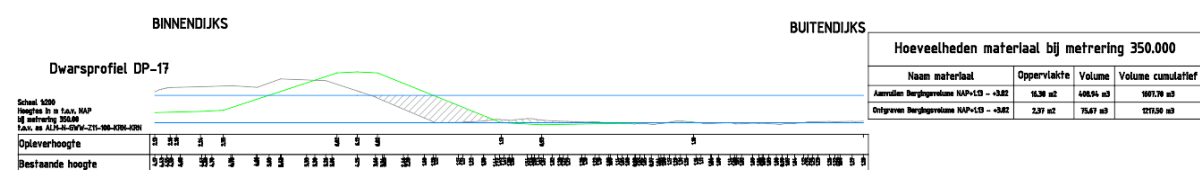
Tabel 5-1: Volumes afname bergend volume door aanvullen van grond (negatieve getallen) en toename bergend volume door afgraven van grond of nieuw buitendijks gebied (positieve getallen) in het beheergebied van RWS-WNZ binnen de grenzen van NAP + 1,13 m en NAP + 3,82 m. De palenrij bij Groot-Amers is niet in deze tabel opgenomen, omdat deze met een hoogte van NAP + 1,10 m net iets lager is dan de ondergrens van NAP + 1,13 m.

Vak	Afname bergend volume (m³)	Toename bergend volume (m³)	Verschil (m³)
81	-1.850	0	-1.850
82	-7.420	1.178	-6.242
84 (landwaartse dijkverlegging)	0	11.805	11.805
86a	-11.352	758	-10.594
Uiterwaard Streefkerk West	0	7.130	7.130
Totaal	-20.622	20.871	249

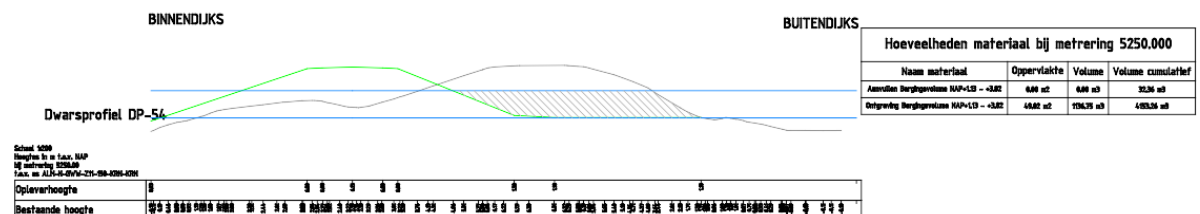
In Figuur 5-4 t/m Figuur 5-8 zijn representatieve dwarsprofielen per dijkvak weergegeven. Voor de berekening van verandering van bergend volume zijn meer profielen gebruikt, maar deze dwarsprofielen geven een indruk van de aanvulling en ontgraving per dijkvak.



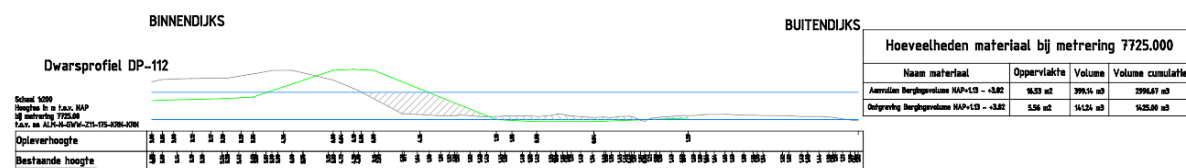
Figuur 5-4: Representatief dwarsprofiel bergingsvolume voor dijkvak 81 (aanvullen buitendijkse afrit). De afname van het bergend volume is gearceerd.



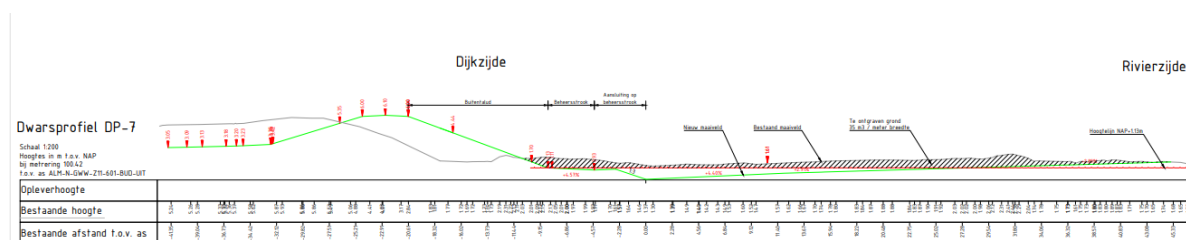
Figuur 5-5: Representatief dwarsprofiel bergingsvolume dijkvak 82 (buitenwaartse asverschuiving). De afname van het bergend volume is gearceerd met /// en de (beperkte) toename met \\\.



Figuur 5-6: Representatief dwarsprofiel bergingsvolume dijkvak 84b (landwaartse dijkverlegging). De toename van het bergend volume is gearceerd.



Figuur 5-7: Representatief dwarsprofiel bergingsvolume dijkvak 86a (buitenwaartse asverschuiving). De afname van het bergend volume is gearceerd met /// en de (beperkte) toename met \\\.



Figuur 5-8: Representatief dwarsprofiel van de berekening van de toename van het bergend volume door de uiterwaardvergraving (gearceerd).

5.1.3 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 Waterschap Rivierenland).

In Bijlage C staan kaarten waarin de waterstandseffecten ruimtelijk zijn weergegeven. Tabel 5-2 geeft een samenvatting van de zones waar een waterstandsverhoging langs de dijk plaatsvindt groter dan 1 mm, met hierbij de maximale opstuwing en de lengte langs de dijk waar de opstuwing groter is dan 1 mm. De waterstandsverhogingen vinden allemaal plaats bij dijkkring 16 (Alblasserwaard en de Vijfheerenlanden) in het beheergebied van Waterschap Rivierenland, binnen het projectgebied van dijkversterking SAFE.

De waterstandsverhogingen worden gedeeltelijk veroorzaakt door de verschuiving van de buitenkruinlijn en deels door het aanpassen van op- en afritten die dwars op de stromingsrichting liggen (zie paragraaf 4.1.3 voor een toelichting). De grootste opstuwingen vinden plaats net voor de verhoogde veerweg (max. 14,2 mm) en bij de landwaartse dijkverlegging (max. 8,8 mm). Bij de landwaartse dijkverlegging betreft dit (grotendeels) een modeffect (zie paragraaf 5.1.1). Bij de fictieve verschuiving moet bedacht worden dat het mede afhankelijk is van het toeval of roostercellen wel of niet dichtgezet worden (zie paragraaf 4.1.2 en Bijlage B). Dit betekent dat de werkelijke waterstandseffecten van de fictieve verschuiving iets meer geleidelijk verlopen ("uitgesmeerd" zijn) dan berekend.

Tabel 5-2: Zones langs de kering waar de berekende waterstandsverhoging 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. Een opstuwing groter dan 1 mm in een enkele roostercel is niet in de tabel opgenomen.

Rivierkilometer	Locatie	Maximale opstuwing (mm)	Trajectlengte opstuwing > 1 mm (m)
951,6 – 953,3	Dijkzone 3 - Amaliastein	4,7	1.400
954,2 – 954,6	Dijkzone 4 - Helsdingen	6,0	200
959,8	Dijkzone 7 - Achthoven	1,8	55
960,2 – 960,3	Dijkzone 7 - Achthoven	1,6	70
976,7 – 976,9	Dijkzone 11 - Bergstoep	14,2	180
977,6	Dijkzone 11 - Streefkerk	2,3	40
978,1 – 978,3	Dijkzone 11 - Streefkerk	8,8	210

Deze bovengenoemde effecten zijn beoordeeld door het Waterschap Rivierenland en zijn verwaarloosbaar in relatie tot de benodigde ophoging voor de dijkversterking. Ze vallen binnen de bandbreedte die door het waterschap meegenomen is voor onzekerheden in de ontwikkeling de hydraulische randvoorwaarden, bodemdaling en restzetting en worden daarom geaccepteerd door Waterschap Rivierenland.

5.1.4 Afvoerdeling

Grote ingrepen stroomafwaarts van de splitsingspunten, met een groot bovenstrooms waterstandseffect, kunnen de afvoerdeling 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 afvoerdeling bij de Pannerdensche Kop (rkm 868) en IJsselkop (rkm 878) niet meer dan 5 m³/s veranderen door de ingreep bij de hoogwaterreferentie.

Vanwege de locatie van het traject van SAFE, ver benedenstrooms van de splitsingspunten en benedenstrooms van de stuwen, is het waterstandseffect bij de IJsselkop volledig uitgedempt. Dit betekent dat de dijkversterking geen effect heeft op de afvoerdeling.

5.2 Hinder en schade door hydraulische effecten

5.2.1 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 overstroomd, 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. Alleen in het talud van de dijk worden veranderingen gedaan, waardoor de inundatiefrequentie alleen hier verandert. Dit levert geen hinder of schade op.

Bij de compenserende maatregelen wordt het maaiveld iets verlaagd. De oeverwallen en kades die de inundatiefrequentie van de uiterwaarden bepalen worden niet aangepast. Bij Groot-Ammers en Streefkerk perceel west neemt de inundatiefrequentie van het verlaagde gebied iets toe. Dat levert geen hinder of schade op en is juist goed voor de beoogde natuurontwikkeling. Polder de Eendracht ligt ver van de rivier af en begint pas bij afvoeren hoger dan 8.000 m³/s (bij Lobith) mee te stromen. De inundatiefrequentie verandert niet als gevolg van de maaiveldverlaging.

5.2.2 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.

De verwachting is dat de verandering van de stroomsnelheden het grootst is bij de hoogwaterreferentie, omdat de gebieden vlak bij de dijk vaak pas vanaf hoge afvoeren mee stromen (zie Tabel 5-3). Voor de beoordeling van dit aspect is daarom gekeken naar de effecten bij de hoogwaterreferentie. In Bijlage D zijn kaarten opgenomen van de stroomsnelheidsverschillen bij de hoogwaterreferentie ($Q_{\text{Lobith}} = 16.000 \text{ m}^3/\text{s}$).

Tabel 5-3: Afvoeren bij Lobith waarbij de gebieden vlak bij de dijk, waar rivierwaartse versterking plaatsvindt, beginnen mee te stromen. Dit is bepaald op basis van afvoeren bij Lobith van 6.000, 7.000, 8.000, 10.000, 13.000 en 16.000 m³/s. Tussenvallende afvoeren zijn niet beschouwd en afvoeren lager dan 6.000 m³/s zijn ook niet beschouwd.

Dijkzone	Afvoer (bij Lobith) waarbij dijk(talud) gaat mee stromen
2	Tussen 10.000 en 13.000 m ³ /s
3 (tot rkm 952,8	Tussen 10.000 en 13.000 m ³ /s
3 (vanaf rkm 952,8)	Tussen 8.000 en 10.000 m ³ /s
4	Tussen 8.000 en 10.000 m ³ /s
7	Tussen 7.000 en 8.000 m ³ /s
10	Bij de laagst beschouwde afvoer van 6.000 m ³ /s stroomt deze dijkzone mee.
11	Bij de laagst beschouwde afvoer van 6.000 m ³ /s stroomt deze dijkzone (grotendeels) mee.

Bij de beoordeling is onder andere gekeken naar de stroomsnelheidsverschillen bij de kering, omdat een hoge stroomsnelheid effect kan hebben op de stabiliteit van de kering. Er is vooral gekeken naar locaties waar de stroomsnelheid toeneemt en de absolute stroomsnelheden relatief hoog zijn. Bij dijkzone 3 neemt de stroomsnelheid ter hoogte van rkm 953 toe met ruim 0,2 m/s tot een absolute stroomsnelheid van 0,7 m/s. Dit vormt geen probleem voor de stabiliteit van de kering: in het algemeen kan gesteld worden dat een talud dat redelijk goed bekleed is met graszoden hydraulische (piek)belastingen van 1,5 m/s voor een tijdsduur van 50 u kan doorstaan zonder dat er schade ontstaat. Op verschillende andere locaties is een beperkte toename van de stroomsnelheid te zien bij de kering, maar altijd in combinatie met lage absolute stroomsnelheden (< 0,4 m/s). De maatregelen leiden dus nergens tot een ongewenste toename van de stroomsnelheden bij de kering. De compensatie bij Polder de Eendracht zit niet in de berekeningen (en het effect is dus ook niet in de stroomsnelheidsverschilkaarten terug te zien),

maar de absolute stroomsnelheden zijn hier laag ($< 0,4$ m/s) en er worden op basis van de ingrepen geen significante veranderingen van de stroomsnelheid verwacht.

In de uiterwaarden zelf komen slechts op enkele locaties (significante) verhogingen van de stroomsnelheid voor:

- Bij de aangepaste op-/afrit bij dijkzone 3 (rkm 953,3) neemt de stroomsnelheid plaatselijk met enkele centimeters per seconde toe tot $0,6$ m/s. Dit levert geen problemen op in verband met erosie.
- Bij Groot-Amers neemt de stroomsnelheid met enkele centimeters per seconde toe tot plaatselijk ruim 1 m/s. Dit is in een gebied met (nieuwe) natuur, dus dit levert geen problemen op in verband met erosie. Bij de kade direct landwaarts van Groot-Amers is de toename van de stroomsnelheid minder en zijn de absolute stroomsnelheden met ongeveer $0,3$ m/s veel lager.
- In de uiterwaard tussen de veerstoep en de landwaartse dijkverlegging (rkm 977 tot 978) nemen de stroomsnelheden ook iets toe met maximaal 5 á 6 cm/s, maar de absolute stroomsnelheden zijn laag ($< 0,25$ m/s).
- Bij de landwaartse dijkverlegging is in de kaarten in het nieuwe buitendijkse gebied een flinke toename van de stroomsnelheid te zien, maar dat komt omdat dit gebied in de referentie niet mee stroomt en in de nieuwe situatie wel. De absolute stroomsnelheid langs de nieuwe kering is hier bij de hoogwaterreferentie maximaal $0,4$ m/s. In de huidige situatie is de absolute stroomsnelheid langs de kering hoger, namelijk maximaal $0,7$ m/s, aangezien de dijk dicht op de hoofdgeul ligt.

De hierboven genoemde stroomsnelheidsverschillen bij de hoogwaterreferentie leveren geen hinder of schade op vanwege een verhoogde kans op erosie in de uiterwaarden. De stroomsnelheidsverschillen zijn over het algemeen zeer beperkt en de absolute stroomsnelheden relatief laag. Bij vaker voorkomende, lagere afvoeren zullen de effecten nog kleiner of afwezig zijn.

5.2.3 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 m³/s. Als het debiet kleiner is dan 50 m³/s mag de dwarsstroming maximaal $0,3$ m/s zijn. Als de dwarsstroming in de huidige situatie al te hoog is (niet aan deze criteria voldoet), dan geldt dat deze niet mag toenemen als gevolg van de ingrepen.

De dijkversterking en compenserende maatregelen hebben naar verwachting slechts een (zeer) beperkte invloed op de dwarsstroming. De dijkversterking heeft over het algemeen pas bij hoge afvoeren invloed op het stroombeeld (vaak pas vanaf een afvoer van 10.000 m³/s bij Lobith, zie Tabel 5-3) en de compenserende maatregelen zijn beperkt in omvang en hebben daarom ook een beperkte invloed op het stroombeeld. In overleg met RWS-ON en RWS-WNZ is daarom besloten om de dwarsstroming semi-kwalitatief te beoordelen op basis van kaarten met stroomsnelheden en stroomsnelheidsverschillen. De dwarsstroming is dus niet exact berekend op de rand van de vaarweg volgens Bijlage 7 van het Rivierkundig Beoordelingskader (versie 6.0). De beoordeling van de dwarsstroming is gedaan op basis van het stroombeeld bij een afvoer van 6.000 m³/s bij Lobith.

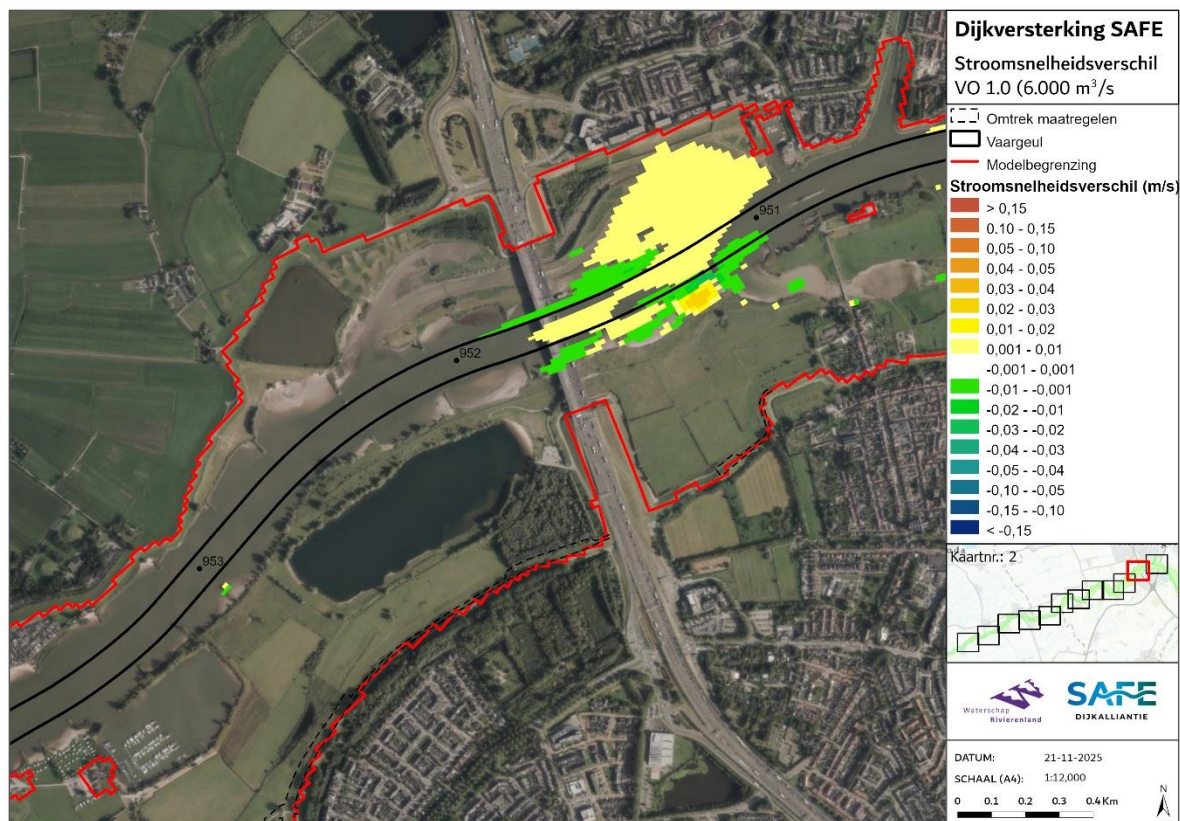
Bij deze afvoer, die gemiddeld ongeveer eens per 2 jaar voorkomt, stromen de dijkzones 10 en 11 en de compenserende maatregelen bij Groot-Ammers en Streefkerk (bij dijkzone 11) mee. De overige gebieden waar de dijk versterkt wordt en de compensatiemaatregel in Polder de Eendracht (bij dijkzone 3) stromen nog niet mee. De afvoeren waarbij deze gebieden wel mee stromen komen zo weinig voor dat deze minder relevant zijn voor de beoordeling van de dwarsstroming. Bij lagere afvoeren dan de beschouwde 6.000 m³/s bij Lobith zullen de effecten van de dijkversterking en compenserende maatregelen kleiner zijn, en daarmee ook de effecten op de dwarsstroming.

In Bijlage E staan kaarten met stroomsnelheidsverschillen bij een afvoer van 6.000 m³/s bij Lobith. Stroomsnelheidsverschillen kleiner dan 0,001 m/s zijn niet weergegeven. De ligging van de vaargeul is ook in de kaarten weergegeven. De dwarsstroming wordt volgens het RBK voor het beheergebied van RWS-ON (tot rkm 969,6) beoordeeld op de rand van de vaargeul. Voor het beheergebied van RWS-WNZ wordt voor de beoordeling gewoonlijk gekeken naar de bakenlijn, die over de kribkoppen loopt of over de gestrekte oever waar er geen kribben zijn.

Bij de beoordeling van de dwarsstroming is gekeken naar de gebieden waar de dijkversterking en compenserende maatregelen bij een afvoer van 6.000 m³/s invloed hebben op de stroming. Dit betreft de compenserende maatregelen bij Streefkerk en Groot-Ammers en de dijkzones 10 en 11. In de kaarten is te zien dat de verandering van stroomsnelheden in het zomerbed in deze gebieden zeer minimaal is, en vaak beperkt is tot de randen van het zomerbed (de oeverzone). Op de volgende locaties komen kleine stroomsnelheidsverschillen in het zomerbed voor:

- Bij de schaaldijk in dijkzone 10 (tussen rkm 966,5 en 967) komen op de oever zeer beperkte stroomsnelheidsverschillen voor, maar deze reiken niet tot het zomerbed. Er is hier dan ook geen toename van de dwarsstroming.
- Bij de compenserende maatregel bij Groot-Ammers (rkm 973,4) komen verhogingen van de stroomsnelheid voor tot maximaal 0,007 m/s in het zomerbed. Deze toename beperkt zich tot de rand van het zomerbed, op een afstand van ruim 170 m van de as van de rivier. Er is daarom geen sprake van een toename van dwarsstroming die hinderlijk is voor scheepvaart.
- Bij dijkzone 11 (tussen rkm 977 en 979,5) komen ook beperkte veranderingen van de stroomsnelheid voor. Het gaat zowel om afnames als toenames, die vrijwel allemaal plaatsvinden landwaarts van de bakenlijn. Alleen bij de schaaldijk, die landwaarts wordt verlegd, komen binnen de bakenlijn veranderingen van de stroomsnelheid voor. Dit zijn echter (zeer kleine) afnames. De stroomrichting blijft hier gelijk, dus hier is geen toename van de dwarsstroming.

Daarnaast zijn in de kaarten in Bijlage E tussen rkm 951 en 952 (bij dijkzone 2) kleine stroomsnelheidsverschillen (< 0,01 m/s) te zien in het zomerbed (zie ook Figuur 5-9). Deze zijn echter geen direct gevolg van de aanpassingen aan de dijk of de compenserende maatregelen, maar worden veroorzaakt doordat het model hier bij de beschouwde afvoer van 6.000 m³/s zeer gevoelig is voor kleine fluctuaties in het stromingspatroon en waterstanden. Deze gevoeligheid en de complexe stroming op deze locatie wordt aan het eind van Bijlage E nader toegelicht.



Figuur 5-9: Stroomsnelheidsverschillen bij dijkzone 2 bij een afvoer van 6.000 m³/s bij Lobith.

De conclusie is dat de veranderingen van de stroomsnelheden veroorzaakt door de dijkversterking en compenserende maatregelen bij een afvoer van 6.000 m³/s bij Lobith zeer beperkt zijn en vrijwel allemaal buiten de vaargeul plaatsvinden. Er is dus nergens sprake van een toename van de dwarsstroming door de ingrepen die hinderlijk is voor de scheepvaart.

5.2.4 Afvoerdeling en onttrekking bij lage afvoeren

De dijkversterking en de compenserende maatregelen bij Polder de Eendracht, Streefkerk (perceel west) en de landwaartse dijkverlegging bij Streefkerk zorgen niet voor een onttrekking of voor een verruiming van het zomerbed bij lage en mediane afvoeren. Deze maatregelen zorgen daarom niet voor een afname van de waterdiepte bij deze afvoeren. Bij Groot-Ammers wordt wel een hele beperkte ontgraving gedaan onder het laagwaterniveau. De palenrij voorkomt echter dat dit gebied bij lage afvoeren mee stroomt, dus dit leidt niet tot een afname van de waterdiepte bij lage afvoeren.

5.3 Morfologische effecten

5.3.1 Sedimentatie en erosie in het 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 3.1.3. Als ingrepen de stroomsnelheden in het zomerbed significant beïnvloeden, wordt over het algemeen een morfologische analyse

uitgevoerd met het programma D-FAST MI. Uit de beoordeling van de stroomsnelheidsverschillen (zie paragraaf 5.2.2 en 5.2.3) blijkt dat de dijkversterking niet of nauwelijks leidt tot stroomsnelheidsverschillen in het zomerbed. Daarom is in overleg met RWS-ON en RWS-WNZ geen analyse met D-FAST MI uitgevoerd, maar is de sedimentatie en erosie in het zomerbed beoordeeld op basis van stroomsnelheden en stroomsnelheidsverschillen bij een afvoer (bij Lobith) van 6.000 m³/s. Deze afvoer is gekozen omdat het een afvoer is waarbij normaal gesproken veel morfologische activiteit wordt verwacht en deze afvoer nog regelmatig voorkomt (gemiddeld eens per 2 jaar). Bij hogere afvoeren (zoals 8.000 en 10.000 m³/s) is de morfologische activiteit waarschijnlijk (iets) groter, maar deze afvoeren komen veel minder vaak voor, waardoor de bijdrage aan de bodemveranderingen van deze afvoeren minder groot is.

In Bijlage E staan kaarten met stroomsnelheidsverschillen bij een stationaire afvoer van 6.000 m³/s. Stroomsnelheidsverschillen kleiner dan 0,001 m/s zijn niet weergegeven, omdat deze niet voor significante morfologische effecten zorgen (> 1 cm aanzanding of erosie) en ruim binnen de onzekerheidsmarge van het model vallen. De ligging van de vaargeul is ook in de kaarten weergegeven, omdat erosie en sedimentatie met name in de vaargeul relevant is.

Op basis van de kaarten met stroomsnelheidsverschillen is de conclusie dat er geen erosie of sedimentatie plaatsvindt in de vaargeul, omdat hier geen stroomsnelheidsverschillen plaatsvinden: de ingrepen leiden enkel tot kleine stroomsnelheidsverschillen buiten de vaarweg. De enige locatie waar stroomsnelheidsverschillen (> 0,001 m/s) in de vaargeul voorkomen is bij dijkzone 2 tussen rkm 951 en 952 (zie Figuur 5-9). Zoals toegelicht in de paragraaf aan het eind van Bijlage E zijn deze stroomsnelheidsverschillen geen direct gevolg van de dijkversterking of compenserende maatregelen, maar worden deze veroorzaakt door de gevoeligheid van het model voor hele kleine fluctuaties in stroming en waterstanden op deze locatie bij de beschouwde afvoer. Op basis van de stroomsnelheidsverschillen op deze locatie en de achterliggende oorzaak hiervan, is de verwachting dat eventuele erosie of sedimentatie als gevolg van de maatregelen hier verwaarloosbaar is.

De maatregel bij Polder de Eendracht, waar als compensatie voor NNN een klein gebied wordt afgeplagd, is niet meegenomen in de berekeningen. Deze maatregel ligt ver van de oever en stroomt pas mee rond een afvoer van 10.000 m³/s bij Lobith. Vanwege de lage meestroomfrequentie, beperkte ingreep en ligging ver van de vaargeul veroorzaakt deze maatregel geen (significante) aanzanding.

De conclusie is dat er nergens in de vaargeul erosie of sedimentatie plaatsvindt als gevolg van de maatregelen.

5.3.2 Sedimentatie en erosie in uiterwaard

De dijkversterking leidt in principe niet tot veranderingen in de mate van sedimentatie of erosie in de uiterwaarden, omdat de stroomsnelheidseffecten als gevolg van de dijkversterking zeer beperkt zijn (enkele centimeters per seconde) en de absolute stroomsnelheden laag (zie paragraaf 5.2.2).

6 Samenvatting

In Tabel 6-1 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 6-1: Samenvatting van de rivierkundige beoordeling.

Thema	Beoordelingsaspect	Beoordeling
Hoogwaterveiligheid	Hoogwaterreferentie op de as van de rivier	Het VO1 van SAFE leidt tot een waterstandsverhoging, die doorwerkt in bovenstroomse richting. Bij dijkzone 2 en 3 (bij rkm 952) is de waterstandsverhoging bijna 1 mm. Dat komt vooral door de dijkversterking in dijkzone 3. Het volume van de rivierwaartse versterking en daarmee ook de fictieve asverschuiving is hier groot. Daarnaast heeft de aanpassing van de op-/afrit ter hoogte van rkm 953,3 een groot aandeel in de waterstandsverhoging. De dijkversterking in de overige dijkzones leiden slechts tot beperkte waterstandsverhogingen van maximaal enkele tienden van millimeters. Bij dijkzone 11, bij rkm 978, is een lokale piek (waterstandsverhoging) te zien van 1,6 mm. Deze piek wordt veroorzaakt door een modeffect bij de landwaartse dijkverlegging bij Streefkerk. De dijkverlegging is erg kleinschalig ten opzichte van het rekenrooster; de dijk wordt 1 of 2 rekencellen landwaarts verlegd. Het gevolg is dat de dijkverlegging niet vloeiend in het D-HYDRO model terecht komt, terwijl deze in werkelijkheid wel vloeiend is. Het D-HYDRO model is hier te grof om deze dijkverlegging goed te kunnen modelleren en daarom is er in werkelijkheid zeer waarschijnlijk geen of een veel kleinere waterstandsverhoging dan berekend. Met RWS-ON en RWS-WNZ is afgestemd dat het berekende effect hier niet realistisch is en daarom wordt geaccepteerd. De compenserende maatregel bij Polder de Eendracht is niet in de berekeningen opgenomen, maar kwalitatief beoordeeld. De verwachting is dat deze maatregel min of meer waterstandsneutraal is of zorgt voor een zeer beperkte waterstandsval.
	Verandering bergend volume	De rivierwaartse dijkversterking zorgt voor een afname van het bergend volume van de rivier. In het beheergebied van RWS-ON is deze afname toegestaan, omdat deze is onderbouwd in de redeneerlijn buitendijks versterken. In het beheergebied van RWS-WNZ moet dit worden gecompenseerd. Dit wordt gedaan door de landwaartse dijkverlegging bij Streefkerk, een uiterwaardvergraving (Streefkerk perceel west) een vergraving van de bestaande dijken als onderdeel van de buitenwaartse asverschuiving. Het verlies aan bergend volume van ruim 20.600 m ³ wordt hierdoor geheel gecompenseerd; het bergend volume neemt in totaal toe met 249 m ³ .
	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 6 mm. De grootste opstuwingen vinden plaats net voor de verhoogde veerweg (max. 14,2 mm) en bij de landwaartse dijkverlegging (max. 8,8 mm). De grootste opstuwingen zijn zeer lokaal. Deze effecten zijn beoordeeld door het Waterschap Rivierenland en zijn verwaarloosbaar in relatie tot de benodigde ophoging voor de dijkversterking. Ze vallen binnen de bandbreedte die door het waterschap meegenomen is voor onzekerheden in de ontwikkeling de hydraulische randvoorwaarden, bodemdaling en restzetting en worden daarom geaccepteerd door Waterschap Rivierenland.
	Afvoerverdeling bij Pannerdensch Kop en IJsselpop	Het waterstandseffect bij de hoogwaterreferentie is bij de IJsselpop volledig uitgedempt. Dit betekent dat de dijkversterking geen effect heeft op de afvoerverdeling over de Rijntakken.

Thema	Beoordelingsaspect	Beoordeling
Hinder of schade	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. Bij de compenserende maatregelen wordt het maaiveld iets verlaagd en kades/oeverwallen die de inundatiefrequentie bepalen in stand gehouden. Bij Groot-Ammers en Streefkerk perceel west neemt de inundatiefrequentie van het verlaagde gebied iets toe. Dat levert geen hinder of schade op en is juist goed voor de beoogde natuurontwikkeling. Polder de Eendracht ligt ver van de rivier af. De inundatiefrequentie verandert niet als gevolg van de maaiveldverlaging.
	Stroombeeld in de uiterwaard	De stroomsnelheden en stroomsnelheidsverschillen zijn beoordeeld bij de hoogwaterreferentie (als worst-case-scenario). De stroomsnelheidsverschillen leveren naar verwachting geen hinder of schade op vanwege een verhoogde kans op erosie in de uiterwaarden en vormen ook geen risico voor de stabiliteit van de kering. De stroomsnelheidsverschillen zijn over het algemeen zeer beperkt (maximaal enkele centimeters per seconde) en de absolute stroomsnelheden zijn hier relatief laag (vaak kleiner dan 0,5 m/s).
	Stroombeeld in de vaarweg	De dwarsstroming is in overleg met RWS-ON en RWS-WNZ beoordeeld op basis van kaarten met stroomsnelheden en stroomsnelheidsverschillen. De beoordeling van de dwarsstroming is gedaan op basis van het stroombeeld bij een afvoer van 6.000 m ³ /s bij Lobith. Bij deze afvoer, die gemiddeld ongeveer eens per 2 jaar voorkomt, stromen dijkzone 10 en 11 en de compenserende maatregelen bij Groot-Ammers en Streefkerk mee. De overige dijkzones en compensatie in Polder de Eendracht nog niet; de afvoeren waarbij deze gebieden wel mee stromen komen zo weinig voor dat deze minder relevant zijn voor de beoordeling van de dwarsstroming. De veranderingen van de stroomsnelheden bij een afvoer van 6.000 m ³ /s zijn zeer beperkt en vinden vrijwel allemaal buiten de vaargeul plaats. Alleen ter hoogte van dijkzone 2 (rkm 951 tot 952) verandert de stroomsnelheid in de vaargeul in de modelberekening. Dit is echter geen direct gevolg van de maatregelen, maar wordt veroorzaakt door de gevoeligheid van het model voor kleine fluctuaties in stroming en waterstanden op deze locatie bij deze afvoer. Er is nergens sprake van een toename van de dwarsstroming die hinderlijk is voor de scheepvaart.
	Afvoerverdeling en onttrekking bij laagwater	De dijkversterking en de compenserende maatregelen bij Polder de Eendracht, Streefkerk (perceel west) en de landwaartse dijkverlegging bij Streefkerk zorgen niet voor een onttrekking of voor een verruiming van het zomerbed bij lage en mediane afvoeren. Deze maatregelen zorgen daarom niet voor een afname van de waterdiepte bij deze afvoeren. Bij Groot-Ammers wordt wel een hele beperkte ontgraving gedaan onder het laagwaterniveau. De palenrij voorkomt echter dat dit gebied bij lage afvoeren mee stroomt, dus dit leidt niet tot een afname van de waterdiepte bij lage afvoeren.
Morfologische effecten	Sedimentatie en erosie in het zomerbed	Uit de beoordeling van de stroomsnelheidsverschillen blijkt dat de dijkversterking niet of nauwelijks leidt tot stroomsnelheidsverschillen in het zomerbed. Daarom is in overleg met RWS-ON en RWS-WNZ geen analyse met D-FAST MI uitgevoerd, maar is de sedimentatie en erosie in het zomerbed beoordeeld op basis van stroomsnelheden en stroomsnelheidsverschillen bij een afvoer (bij Lobith) van 6.000 m ³ /s. Deze afvoer is gekozen omdat het een afvoer is waarbij normaal gesproken veel morfologische activiteit wordt verwacht en die nog regelmatig voorkomt (gemiddeld eens per 2 jaar). De veranderingen van de stroomsnelheden bij een afvoer van 6.000 m ³ /s zijn zeer beperkt en vinden vrijwel allemaal buiten de vaargeul plaats. Alleen ter hoogte van dijkzone 2 (rkm 951 tot 952) verandert de stroomsnelheid in de vaargeul in de modelberekening. Dit is echter geen gevolg van de maatregelen, maar wordt veroorzaakt door de gevoeligheid van het model voor kleine fluctuaties in stroming en waterstanden bij deze afvoer op deze locatie. Op basis van de beschouwde stroomsnelheidsverschillen is de conclusie dat er nergens significante erosie of sedimentatie (> 1 cm) plaatsvindt in de vaargeul.

Dijkversterking SAFE

Rivierkundige beoordeling vergunningenontwerp (VO)



Thema	Beoordelingsaspect	Beoordeling
	Sedimentatie en erosie in de uiterwaard	De dijkversterking leidt in principe niet tot sedimentatie of erosie in de uiterwaarden, omdat de stroomsnelheidseffecten zeer beperkt zijn (enkele centimeters per seconde) en de absolute stroomsnelheden laag

Referenties

- [D 1] Rijkswaterstaat Oost-Nederland (2025). Richtlijn morfologische effectbepaling binnen RWS ON, afdeling NOV / Rivierkunde, versie 4.0, Definitief, juli 2025.

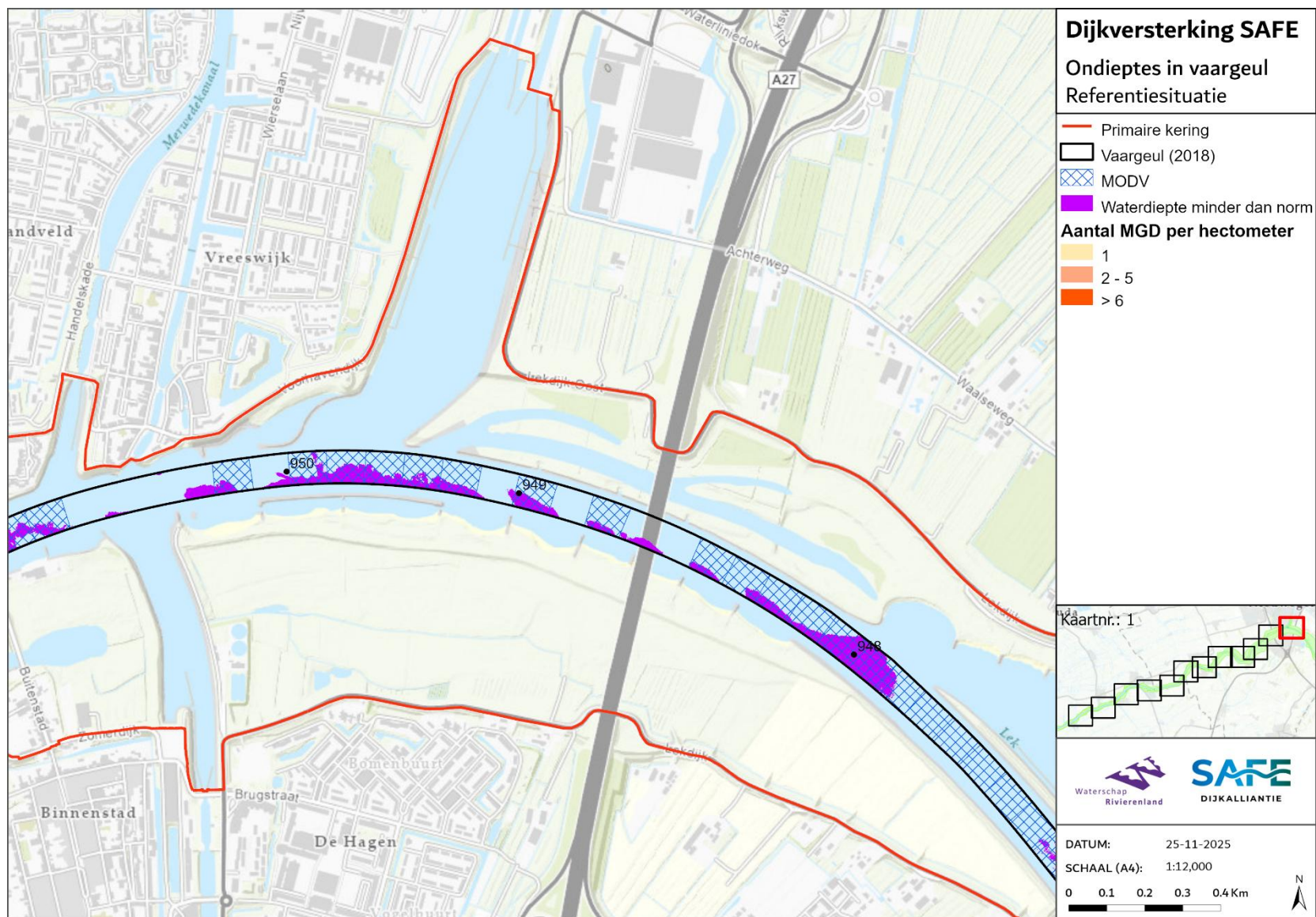
- [D 2] Rijkswaterstaat Water, Verkeer en Leefomgeving (2023). Rivierkundig Beoordelingskader voor ingrepen in de Grote Rivieren, versie 6.0, 23 januari 2023.

Bijlage A Ondieptes in de vaargeul

In onderstaande kaarten is de status van de vaargeul weergegeven in de vorm van twee type kaarten:

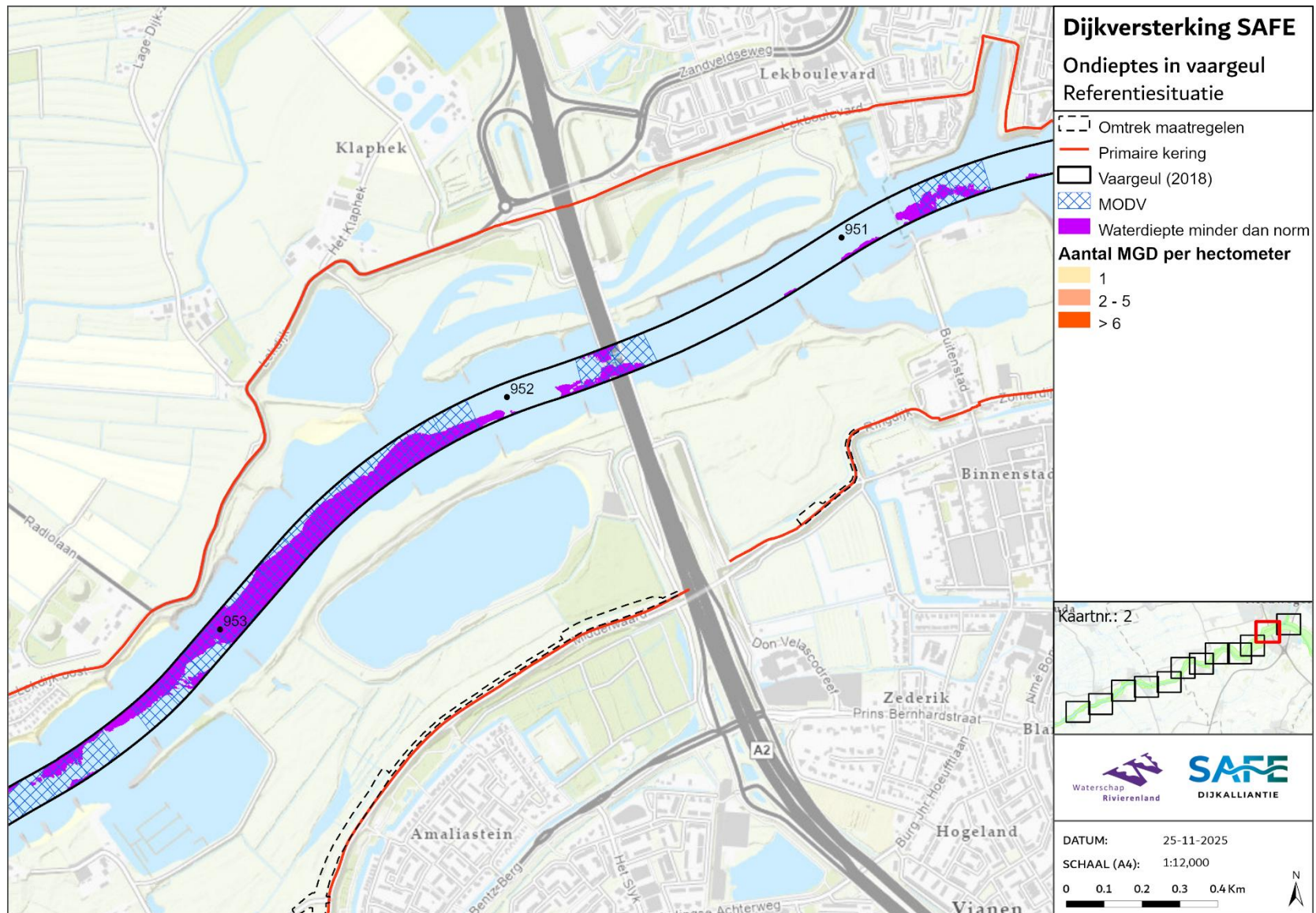
- Kaarten met MGD's (minst gepeilde dieptes), MODV's (meest ondiepe delen van de vaarweg) en gebieden waar de vaardiepte niet aan de norm voldoet voor de scheepvaart.
- Kaarten met gemiddelde waterdiepte per hectometervak ten opzichte van de minimaal vereiste waterdiepte.

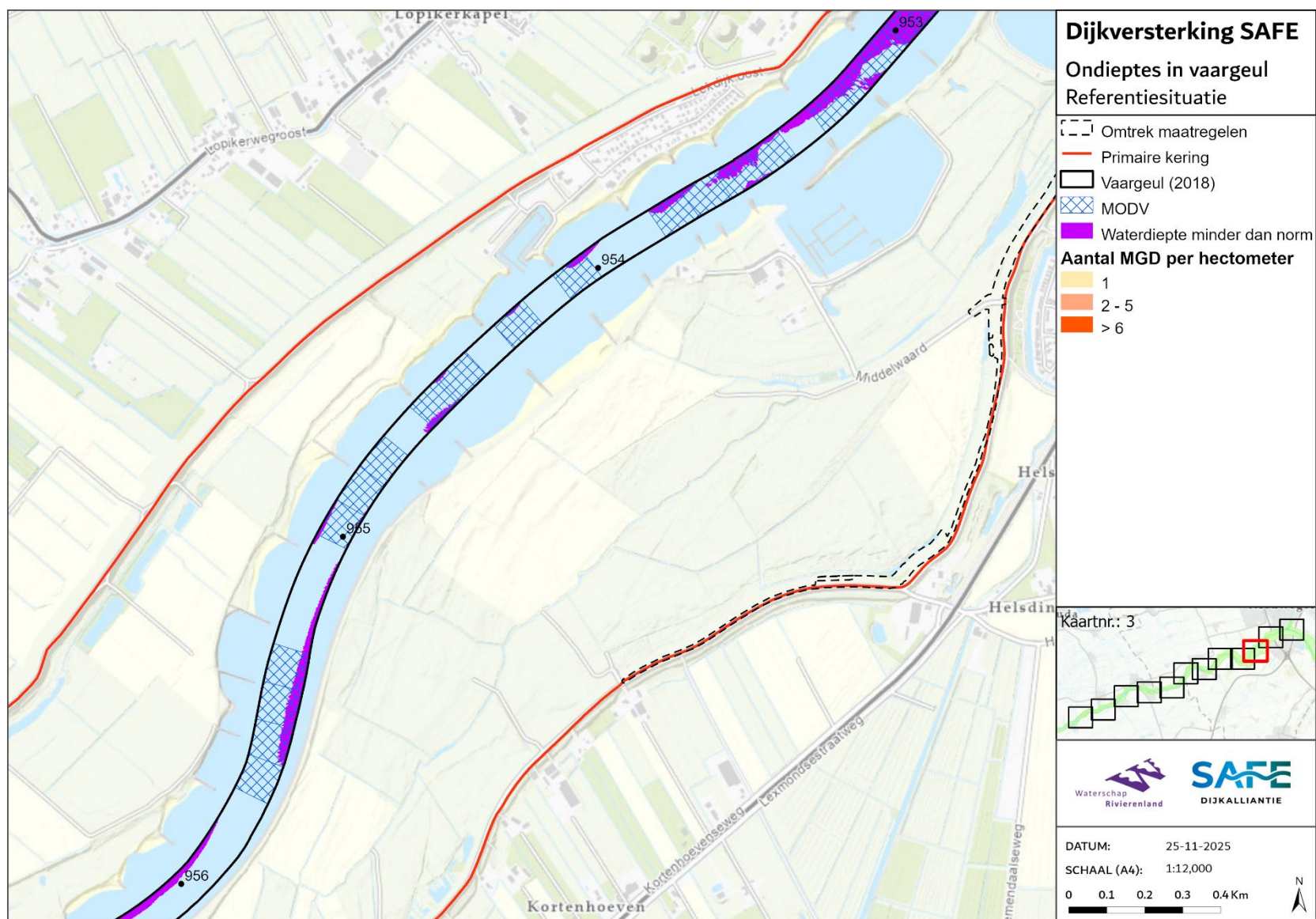
Deze kaarten zijn alleen gemaakt voor het beheergebied van RWS-ON (tot rkm 969,6). Voor het beheergebied van RWS-WNZ is deze informatie niet beschikbaar.

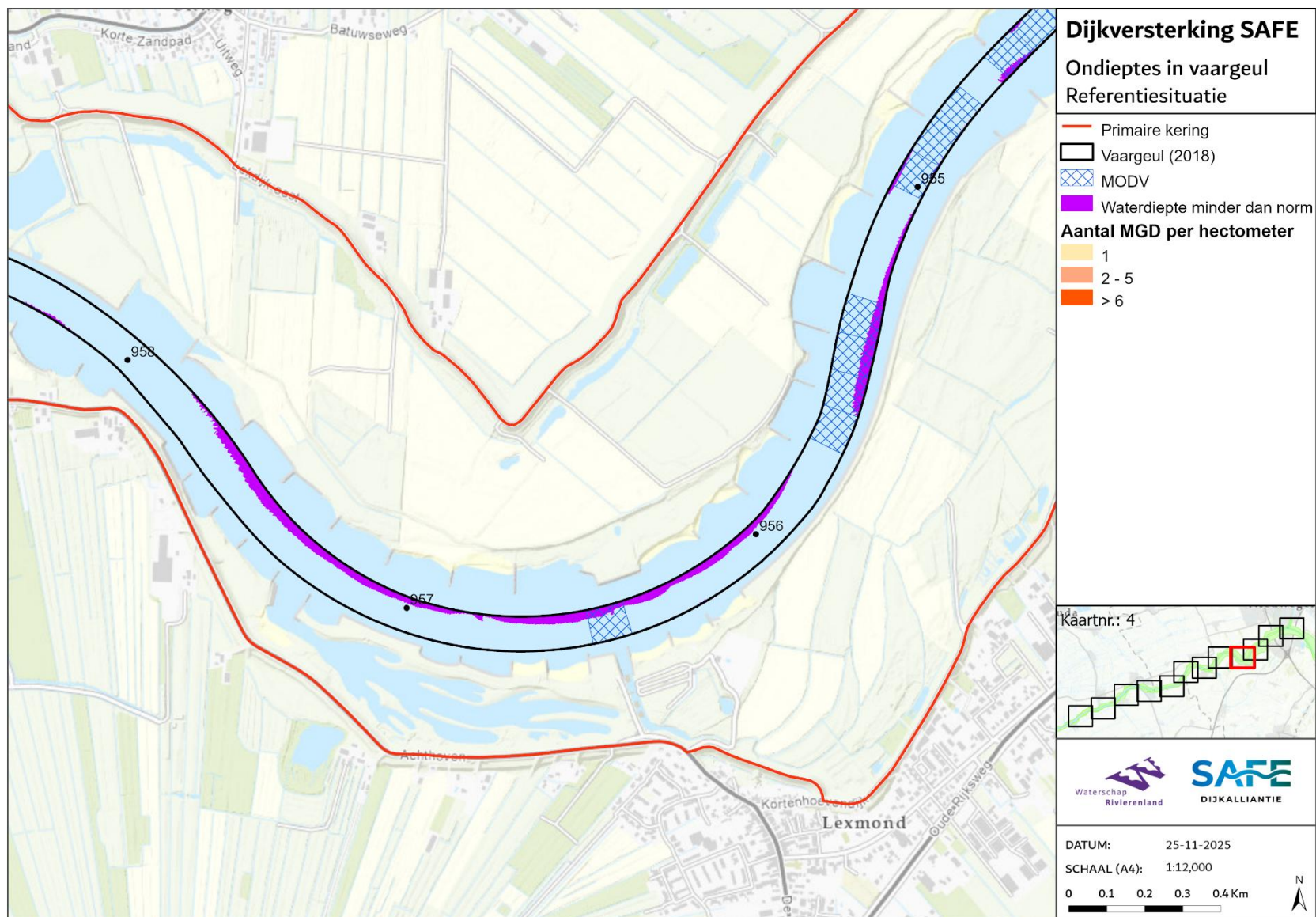


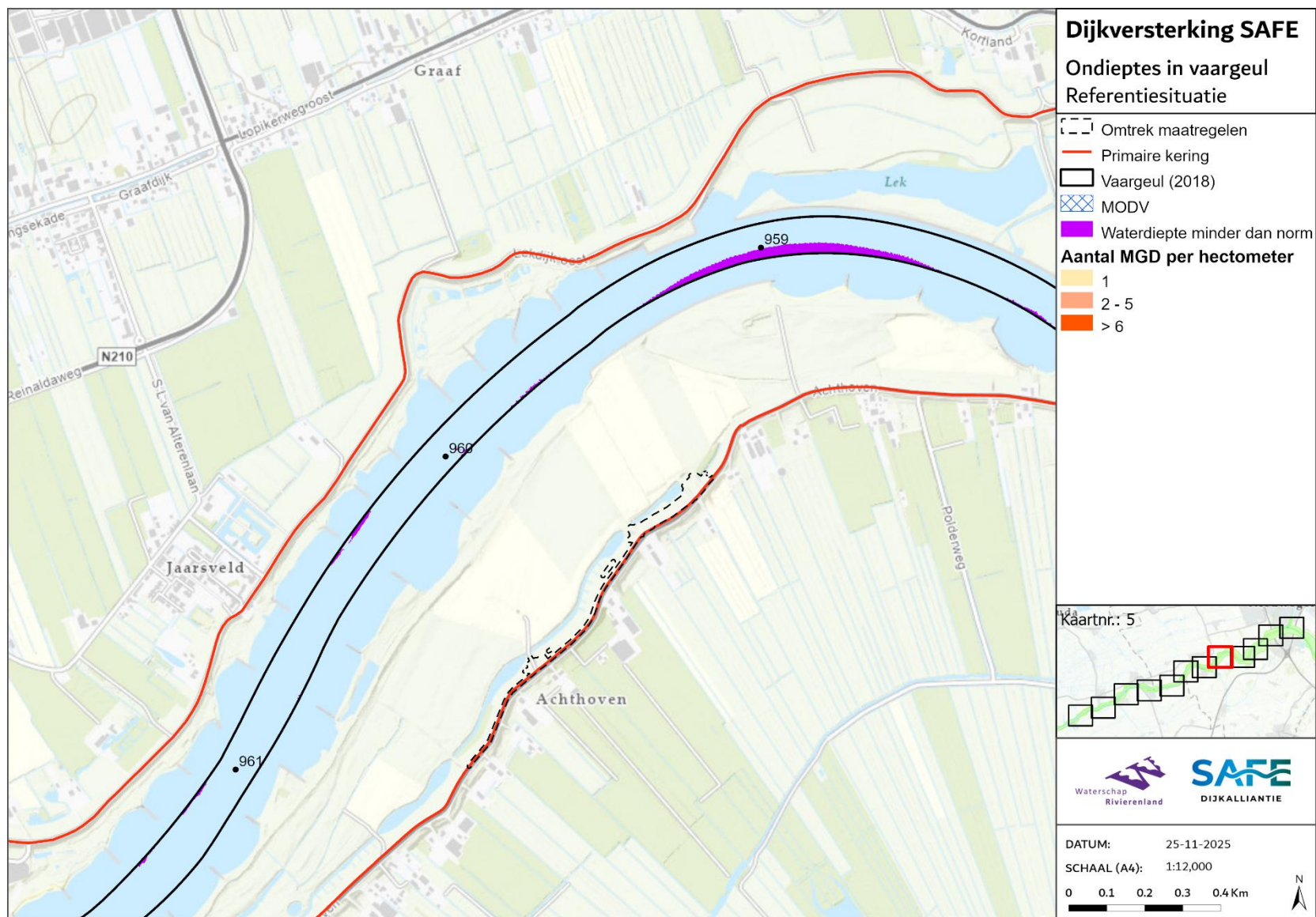
Dijkversterking SAFE

Rivierkundige beoordeling vergunningenontwerp (VO)

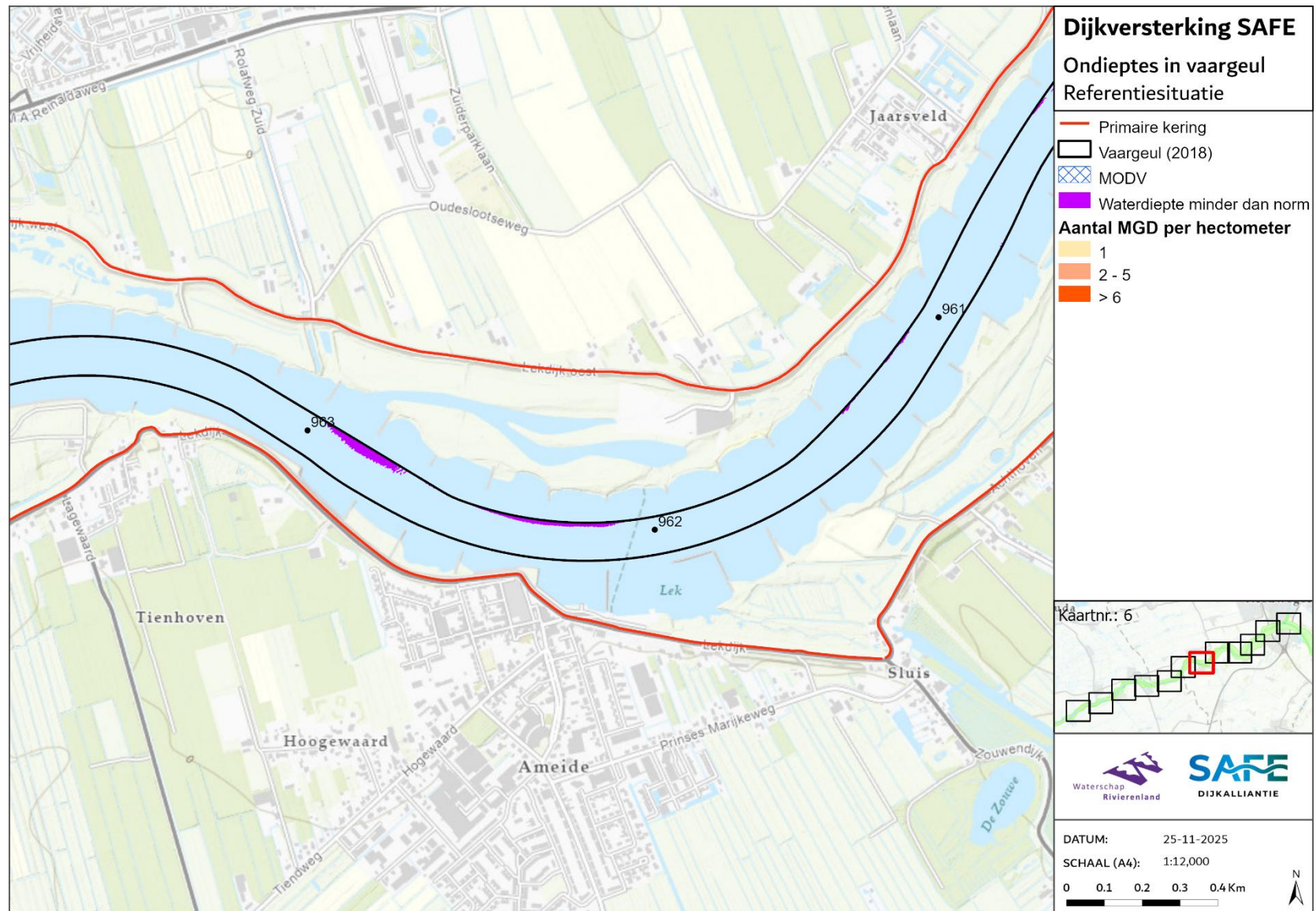


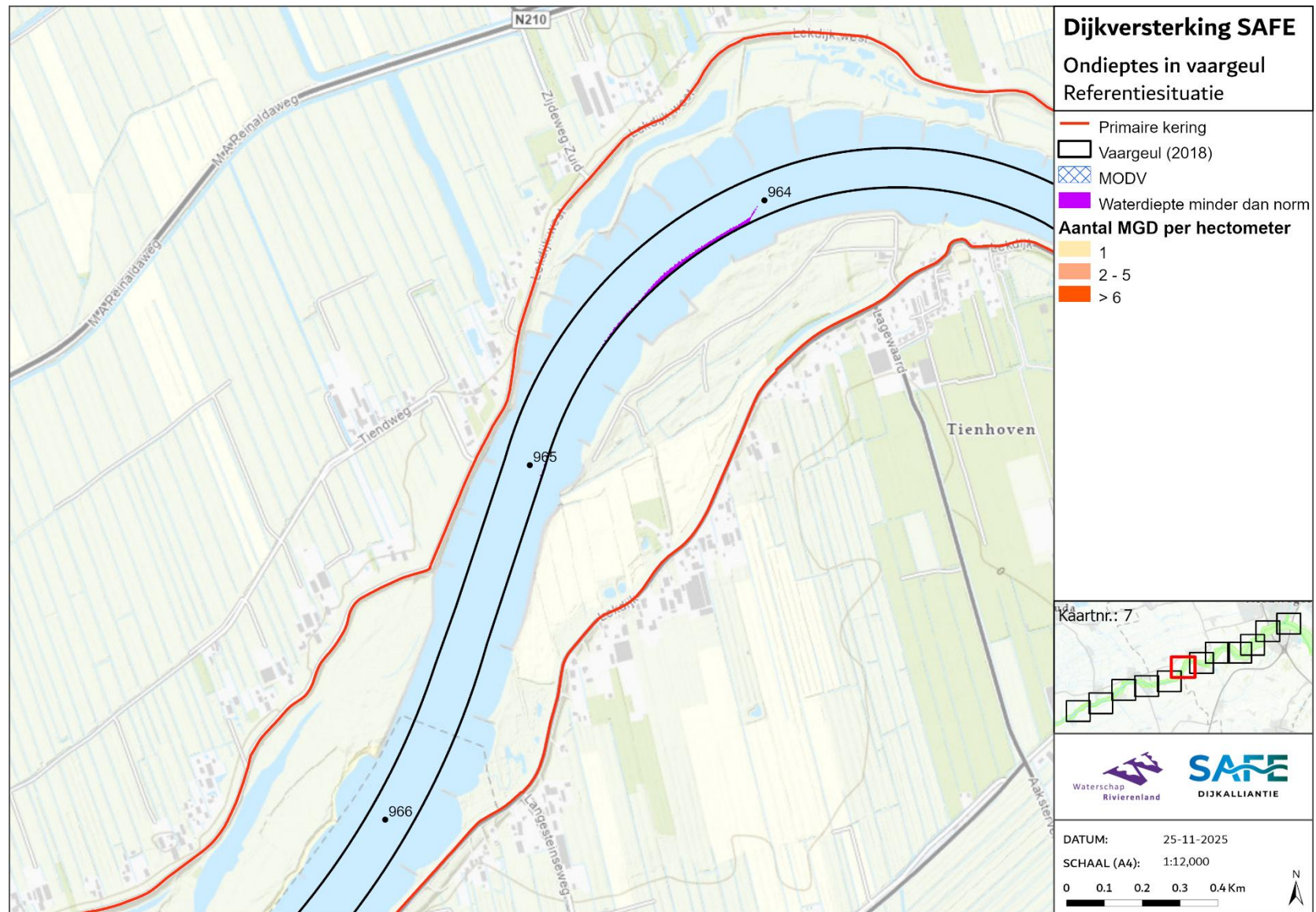


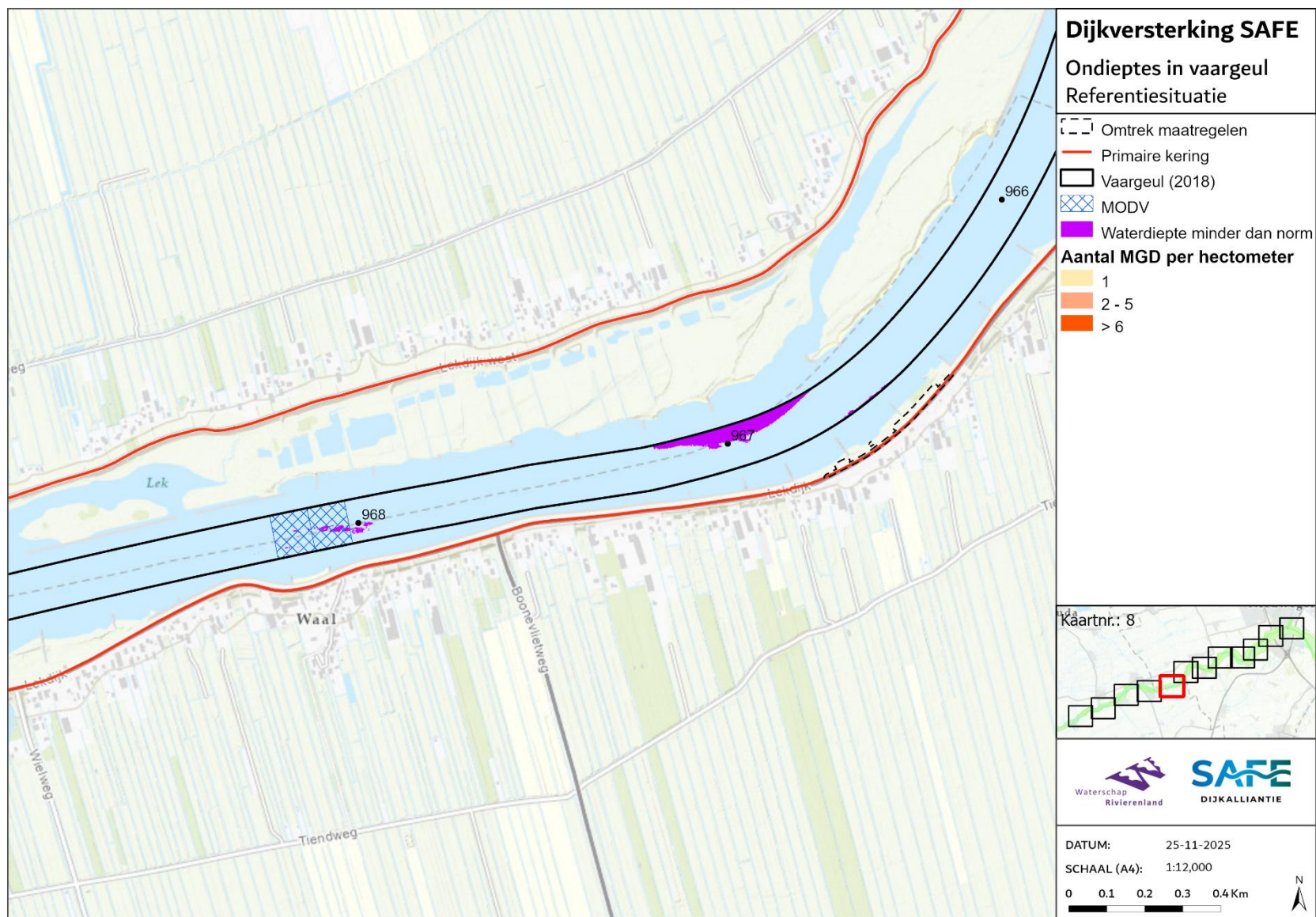


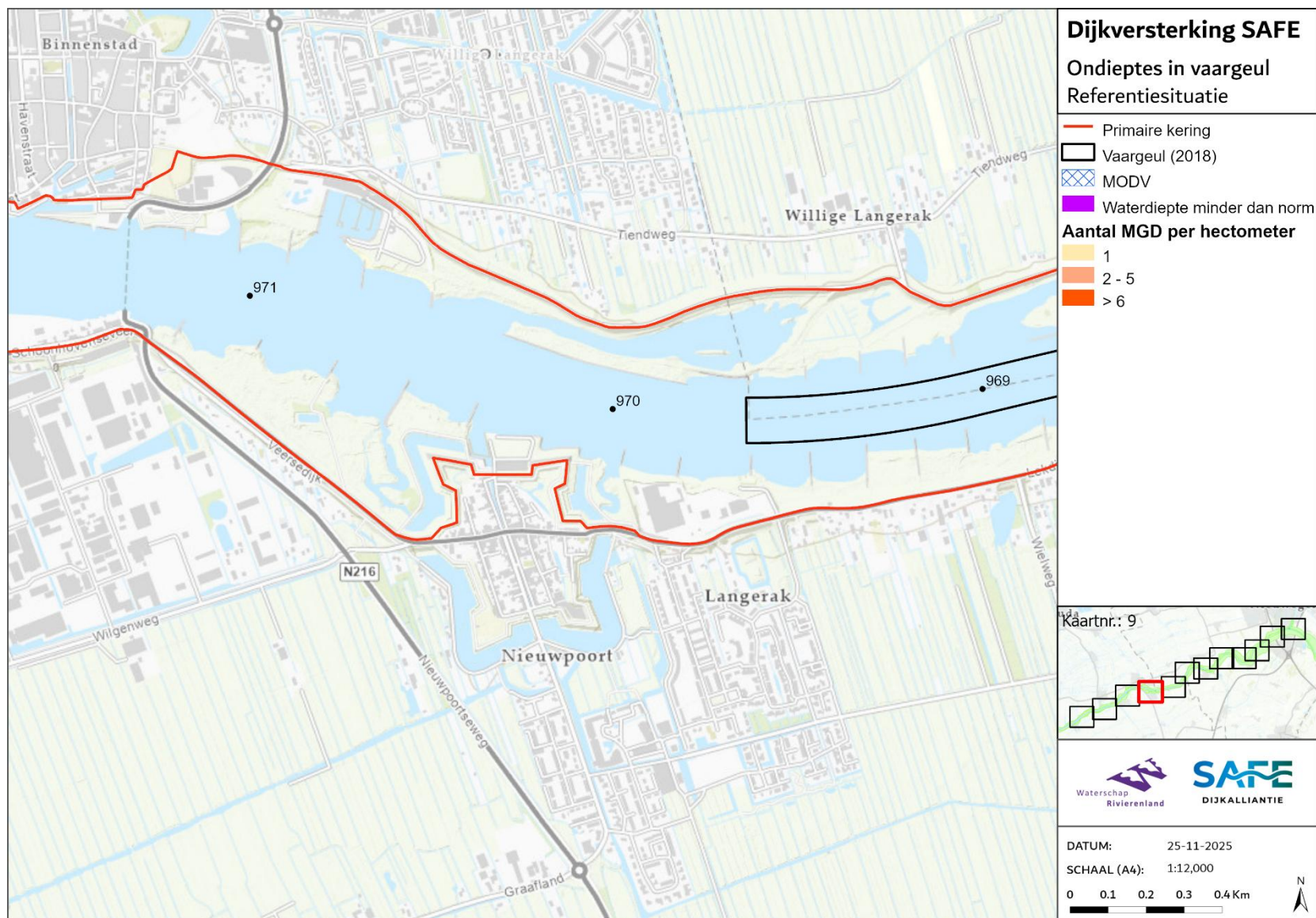


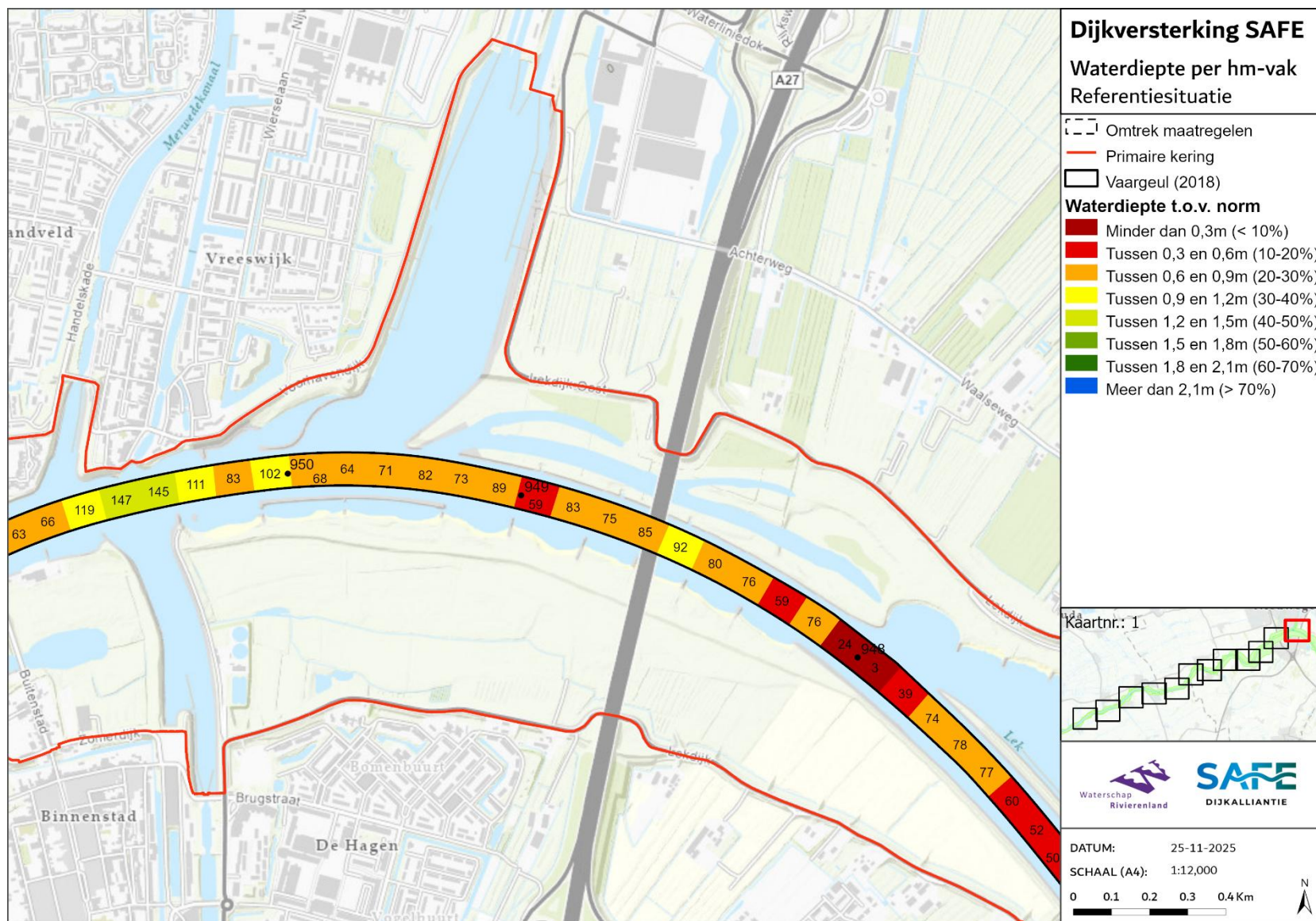
Rivierkundige beoordeling vergunningenontwerp (VO)





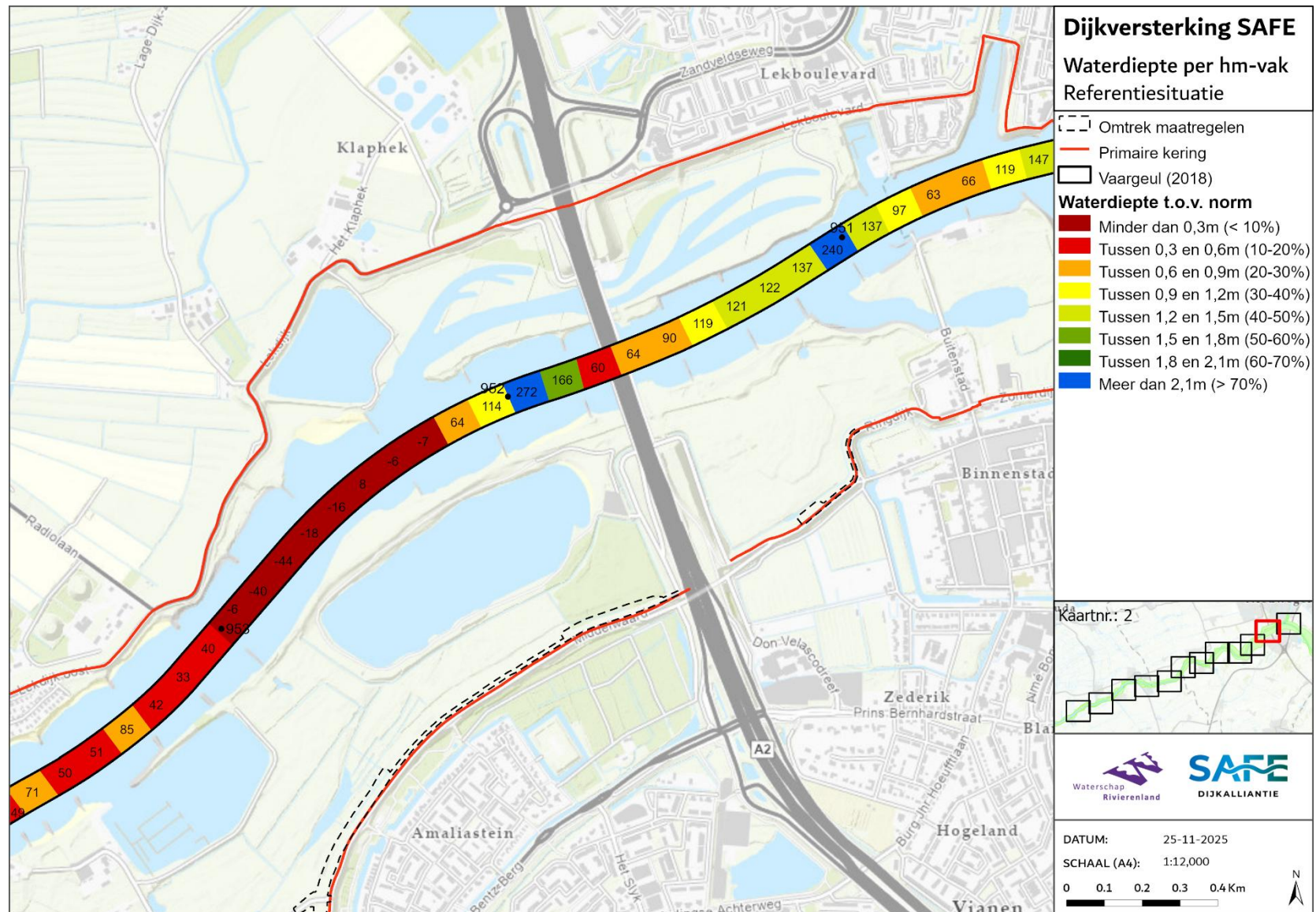


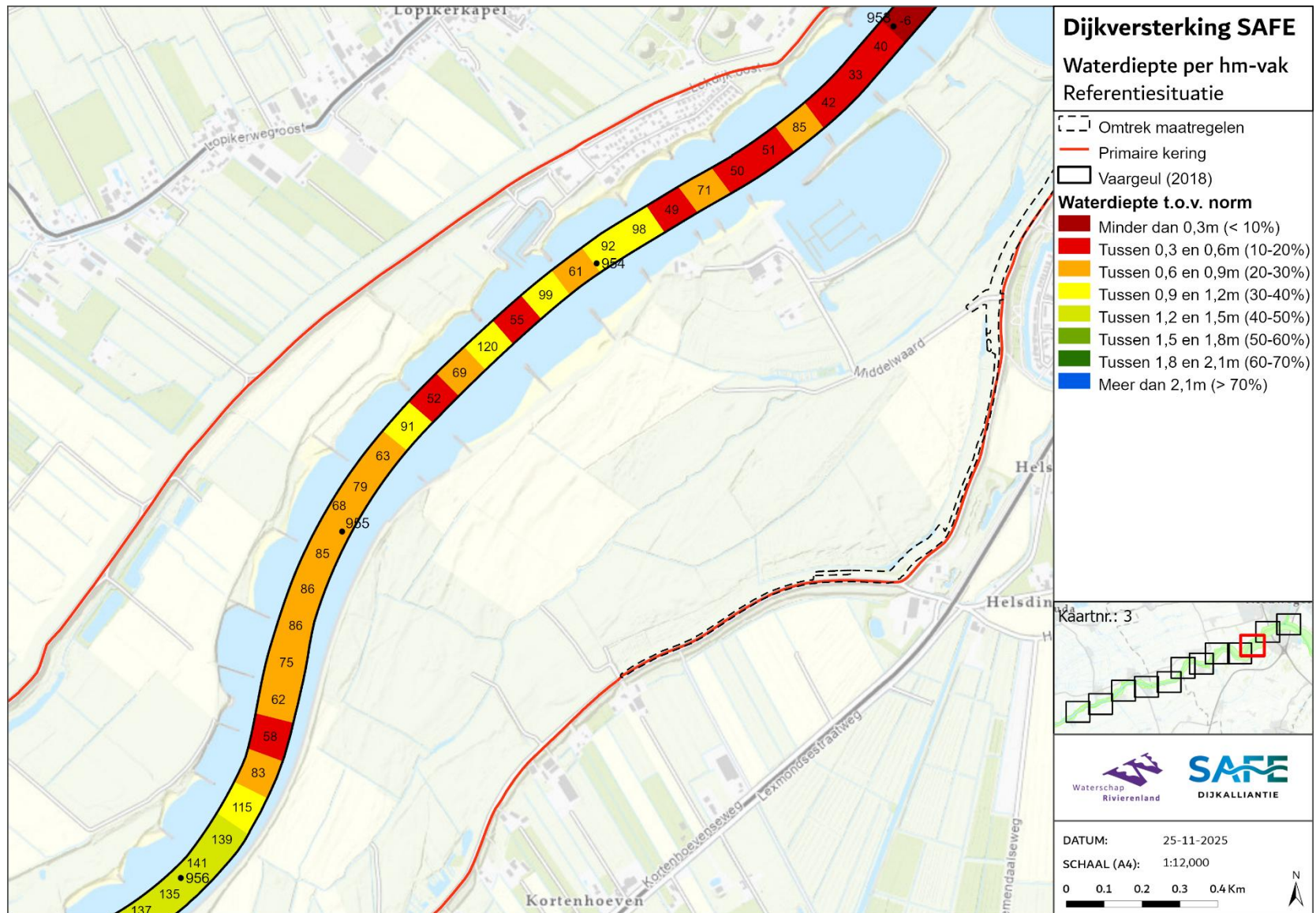




Dijkversterking SAFE

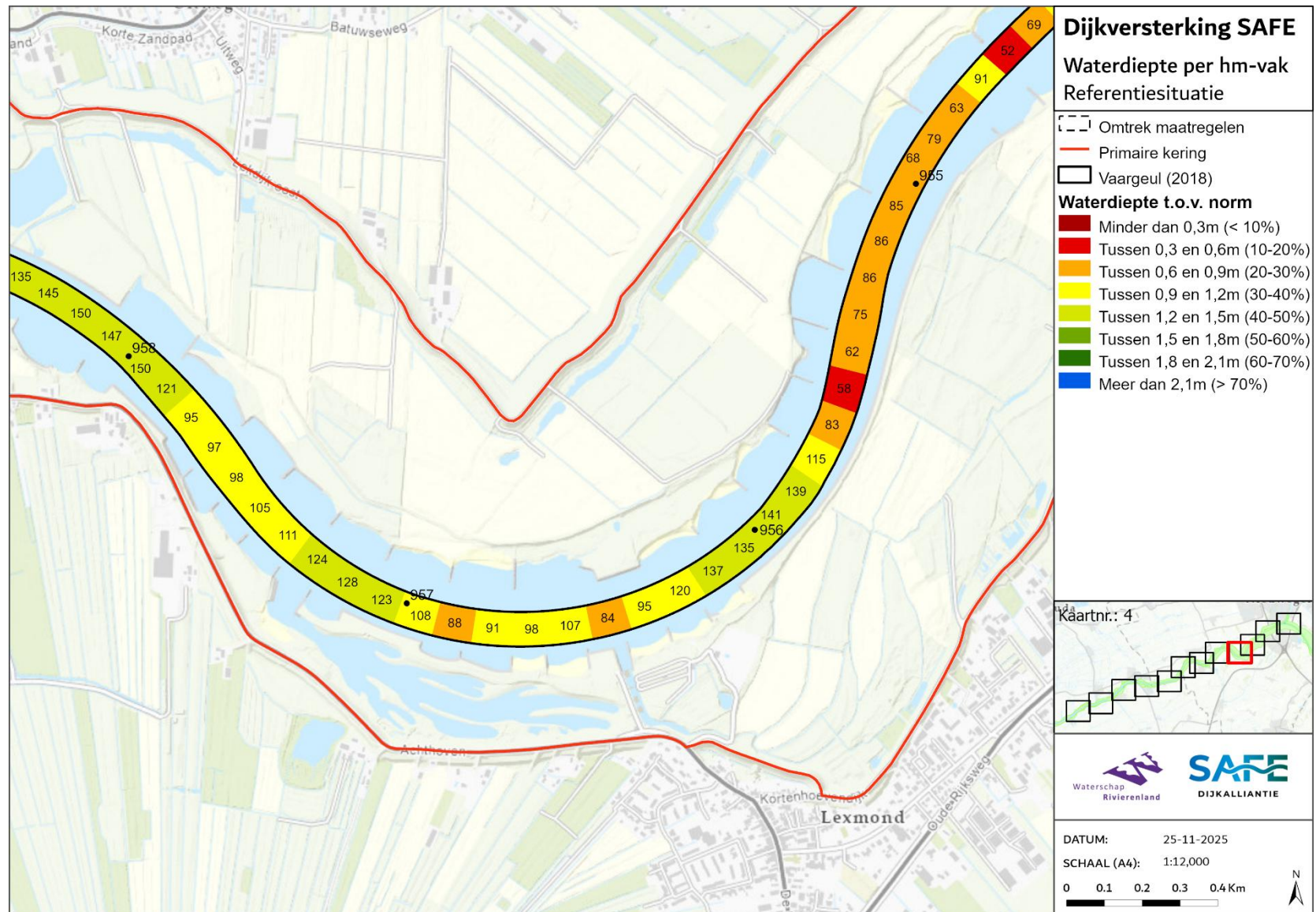
Rivierkundige beoordeling vergunningenontwerp (VO)





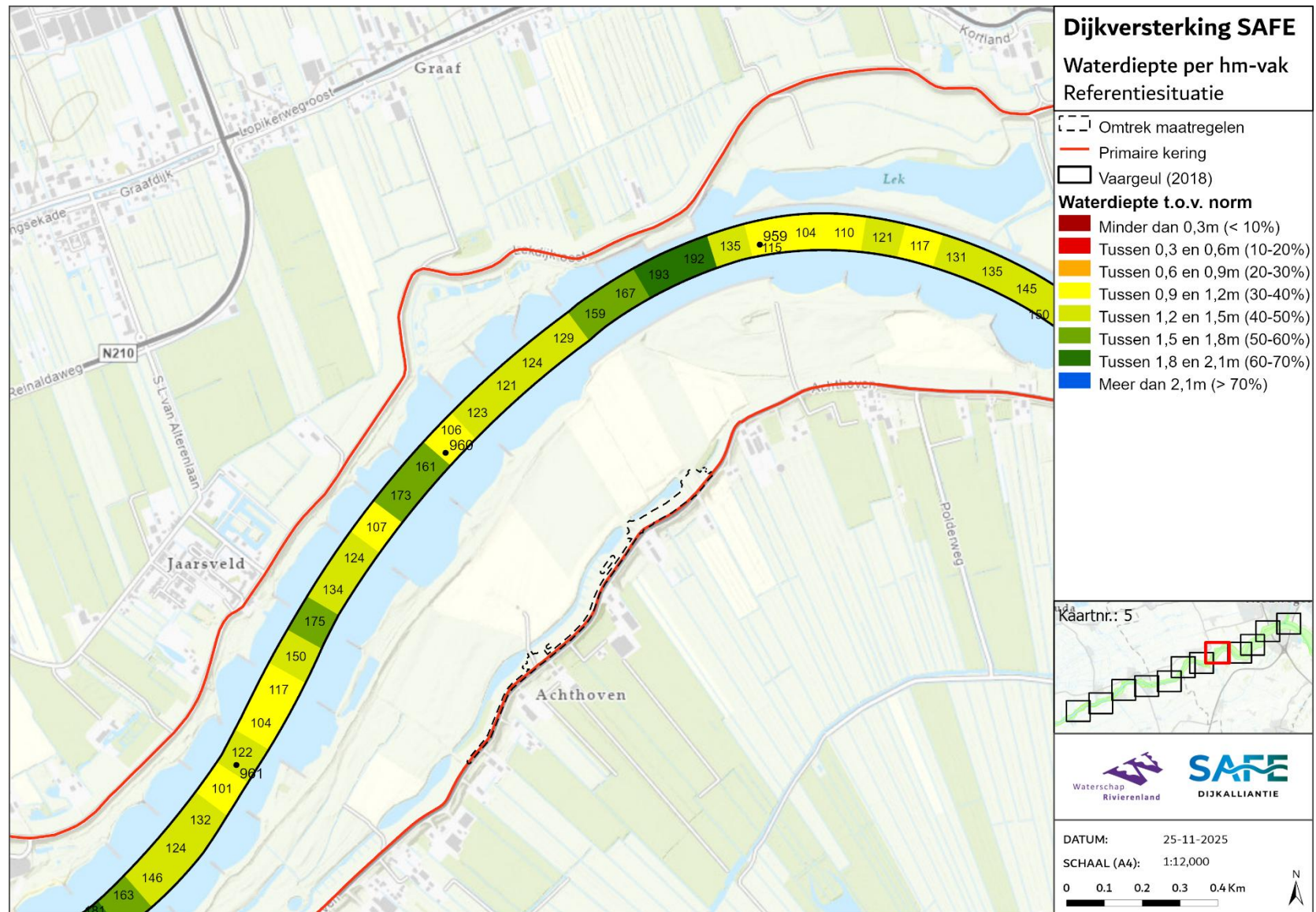
Dijkversterking SAFE

Rivierkundige beoordeling vergunningenontwerp (VO)



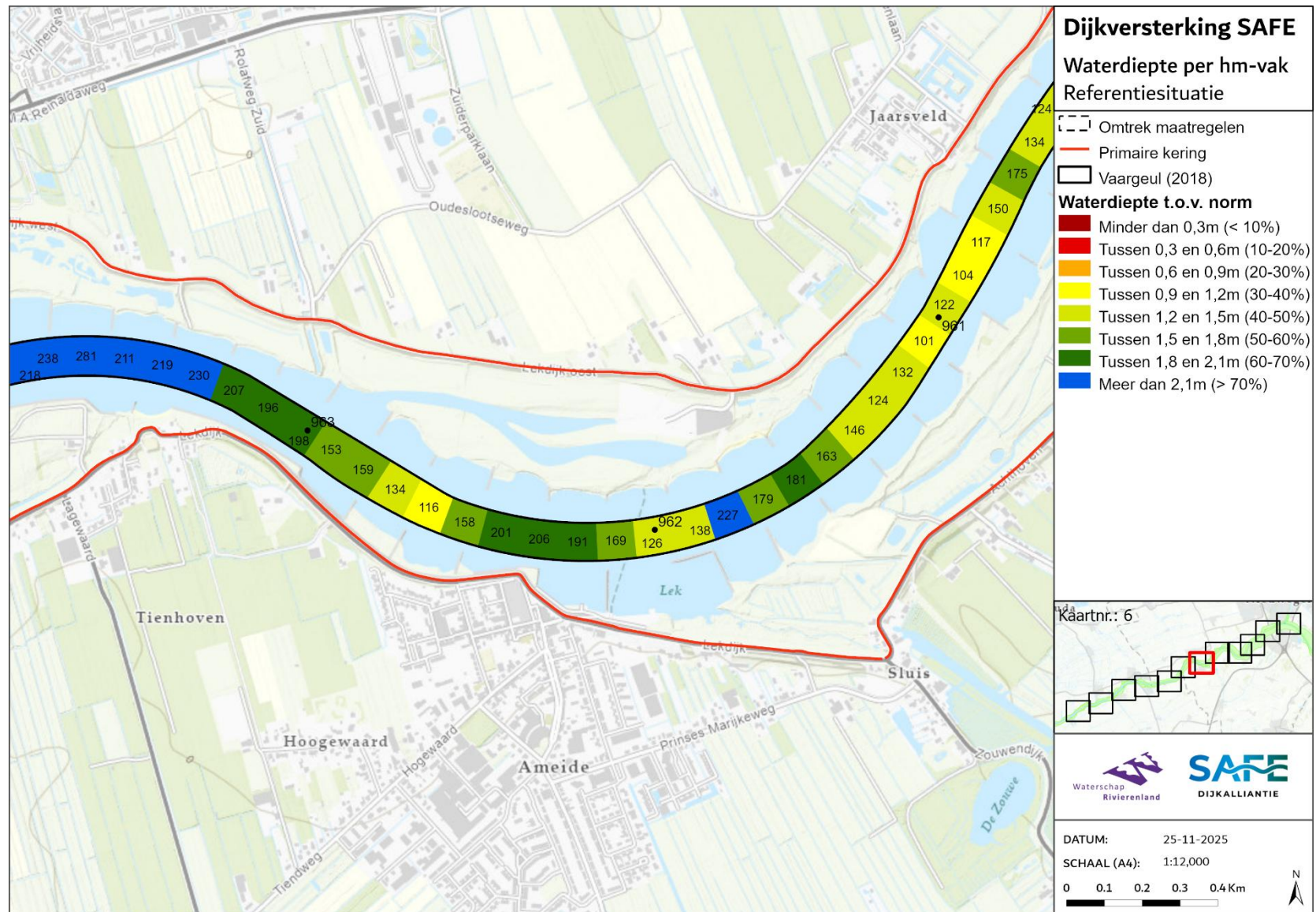
Dijkversterking SAFE

Rivierkundige beoordeling vergunningenontwerp (VO)



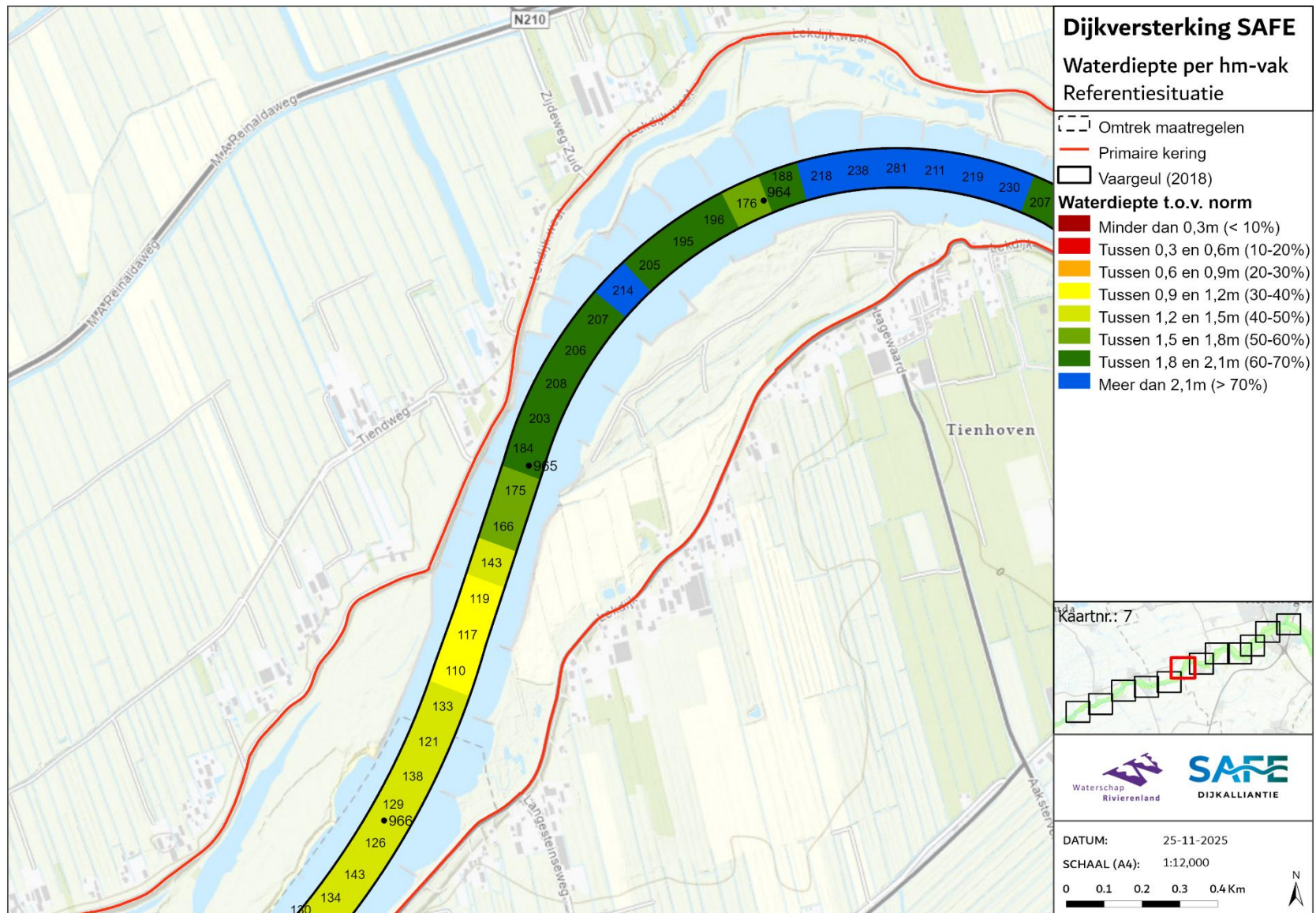
Dijkversterking SAFE

Rivierkundige beoordeling vergunningenontwerp (VO)



Dijkversterking SAFE

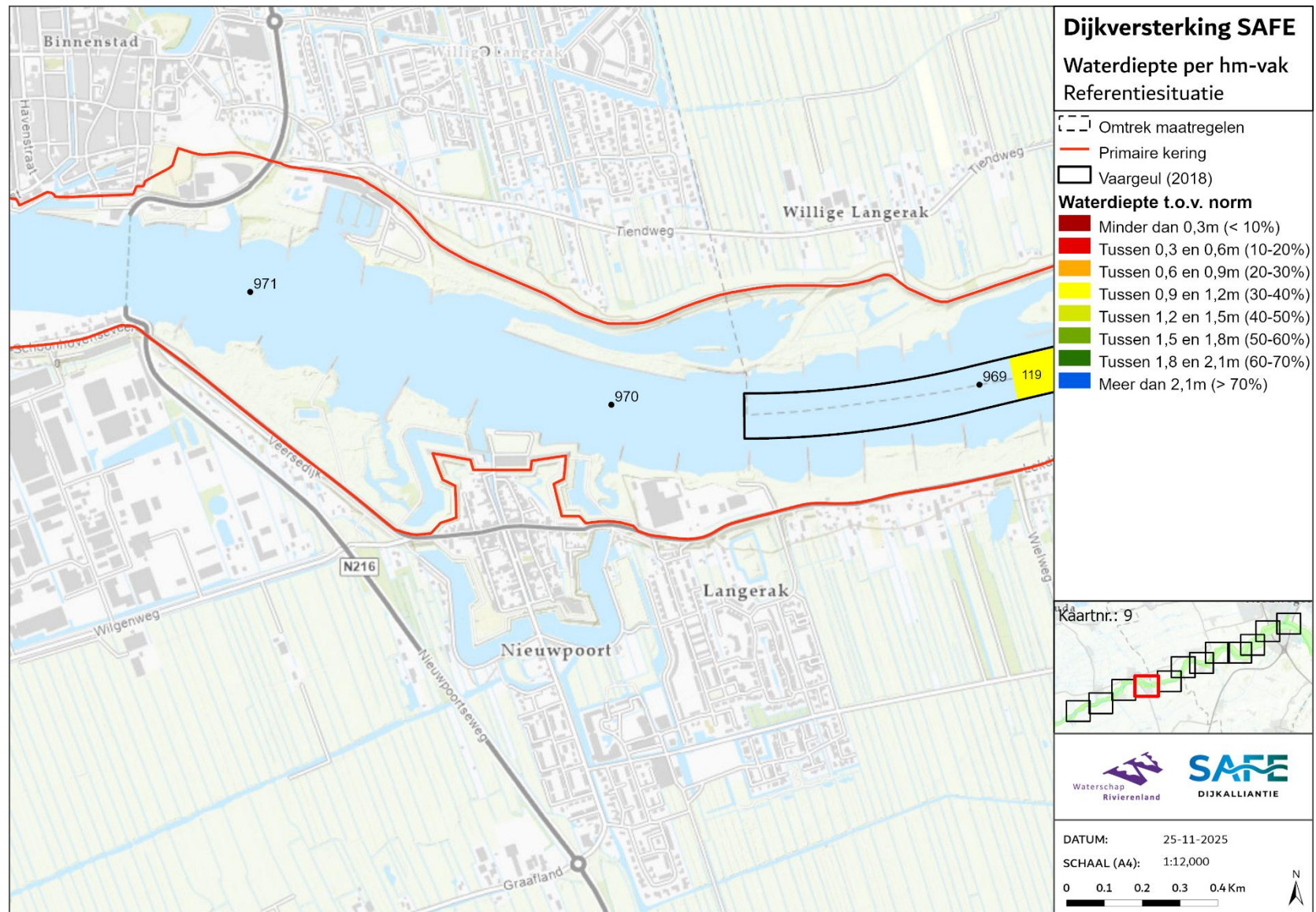
Rivierkundige beoordeling vergunningenontwerp (VO)





Dijkversterking SAFE

Rivierkundige beoordeling vergunningenontwerp (VO)



Bijlage B Geometrie referentie en variant

In deze bijlage zijn per deelgebied van het project SAFE een aantal kaarten opgenomen die de geometrie van de referentie en de variant (het VO 1.0) laten zien. De deelgebieden overlappen zoveel mogelijk met de verschillende dijkzones, maar sommige deelgebieden bevatten ook delen van aangrenzende dijkzones, omdat alle kaarten op dezelfde schaal zijn gemaakt (1:5.000). Dijkzone 11 is vanwege de grote lengte opgedeeld in meerdere deelgebieden. De compenserende maatregelen zijn ook opgenomen in deze kaarten. In deze bijlage staan kaarten voor de volgende deelgebieden:

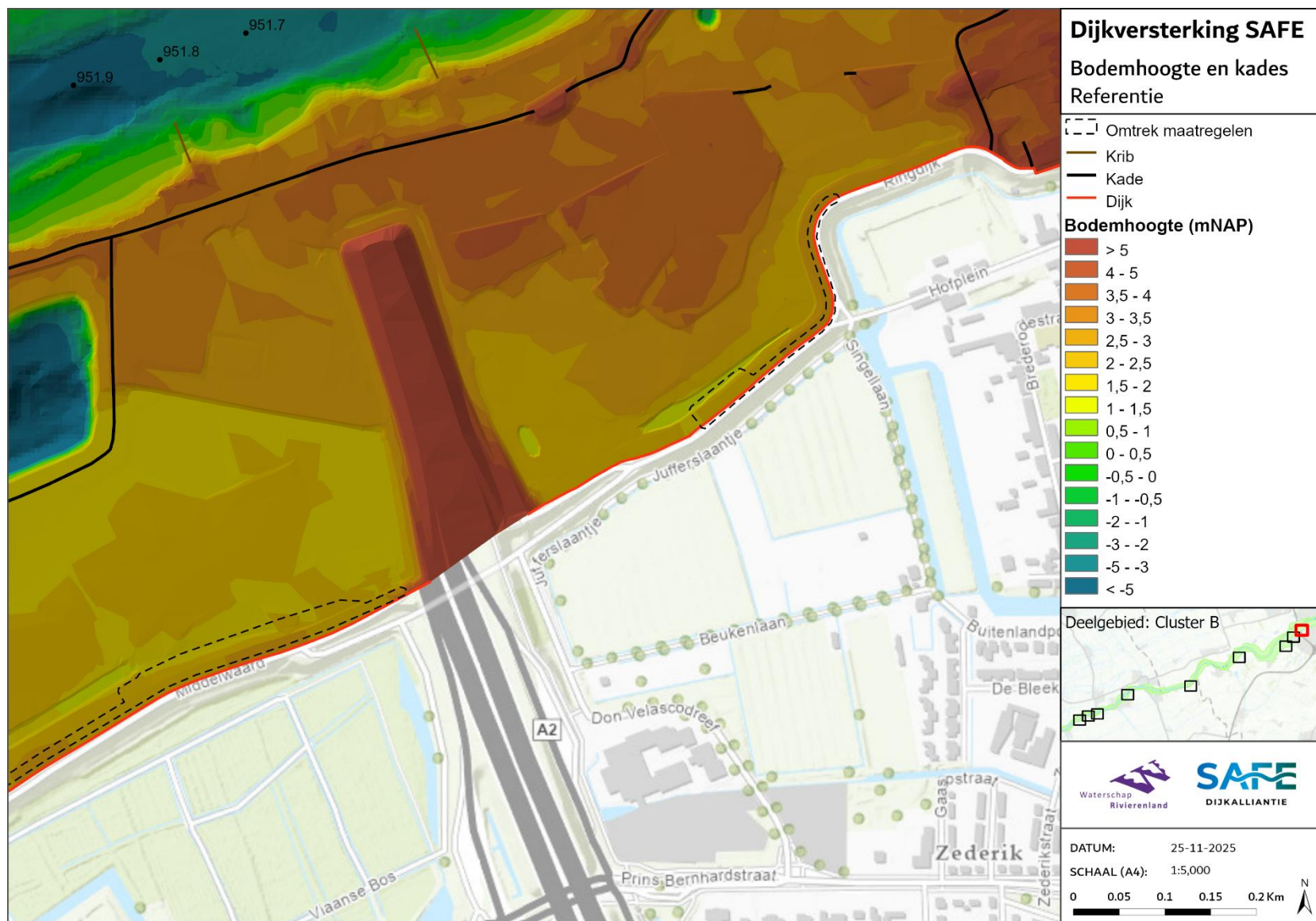
- Dijkzone 2 (en het oostelijke deel van dijkzone 3)
- Dijkzone 3 (exclusief het oostelijke deel)
- Dijkzone 4
- Dijkzone 7
- Dijkzone 10
- Groot-Ammers (compensatiemaatregel)
- Dijkzone 11 (oostelijke deel, inclusief aanpassing toegangsweg naar veerpont)
- Dijkzone 11 (middelste deel, inclusief de landwaartse dijkverlegging bij Streefkerk)
- Dijkzone 11 (westelijke deel, inclusief de compensatiemaatregel Streefkerk, perceel West)

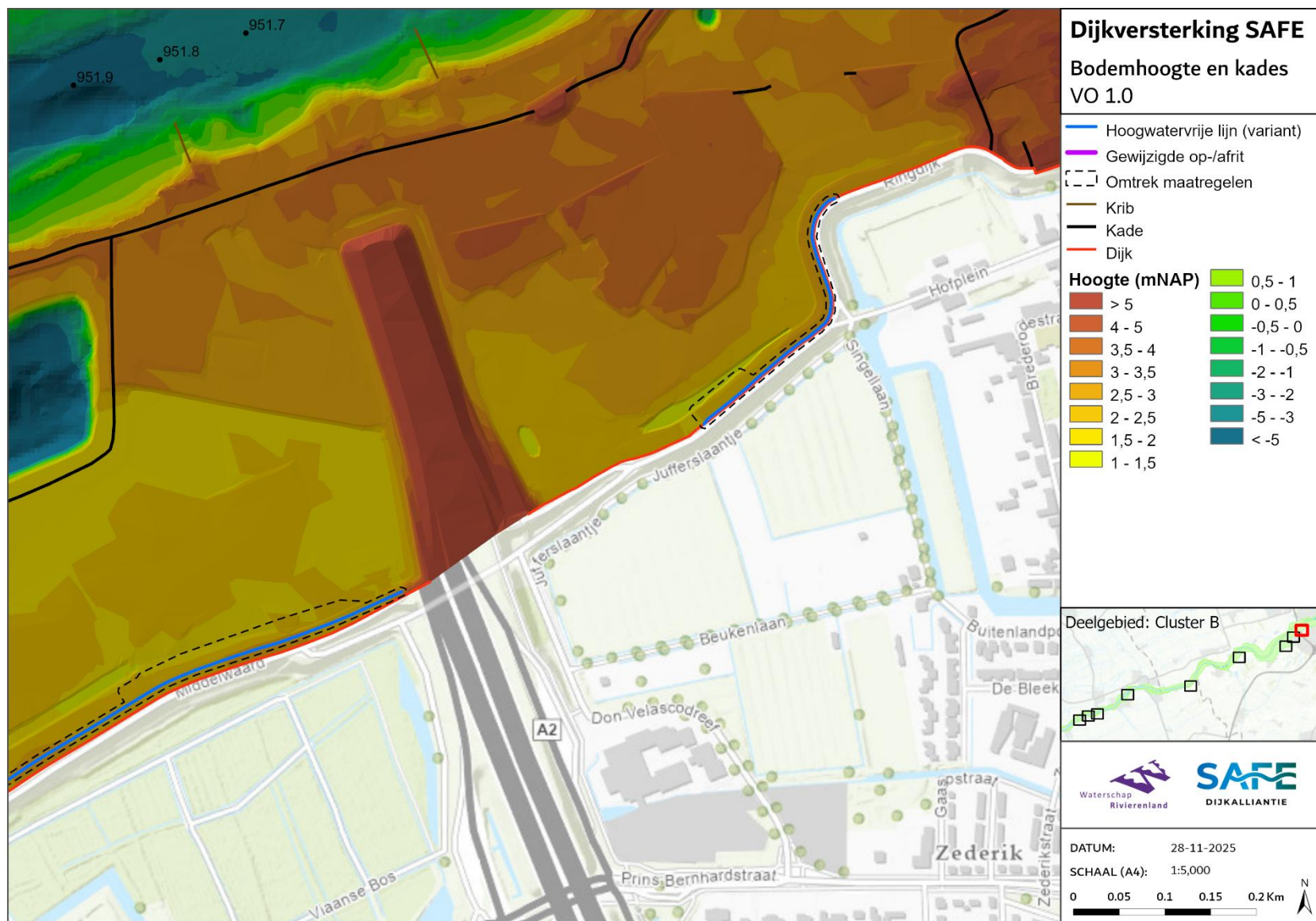
Per deelgebied zijn de volgende kaarten in opgenomen in deze bijlage:

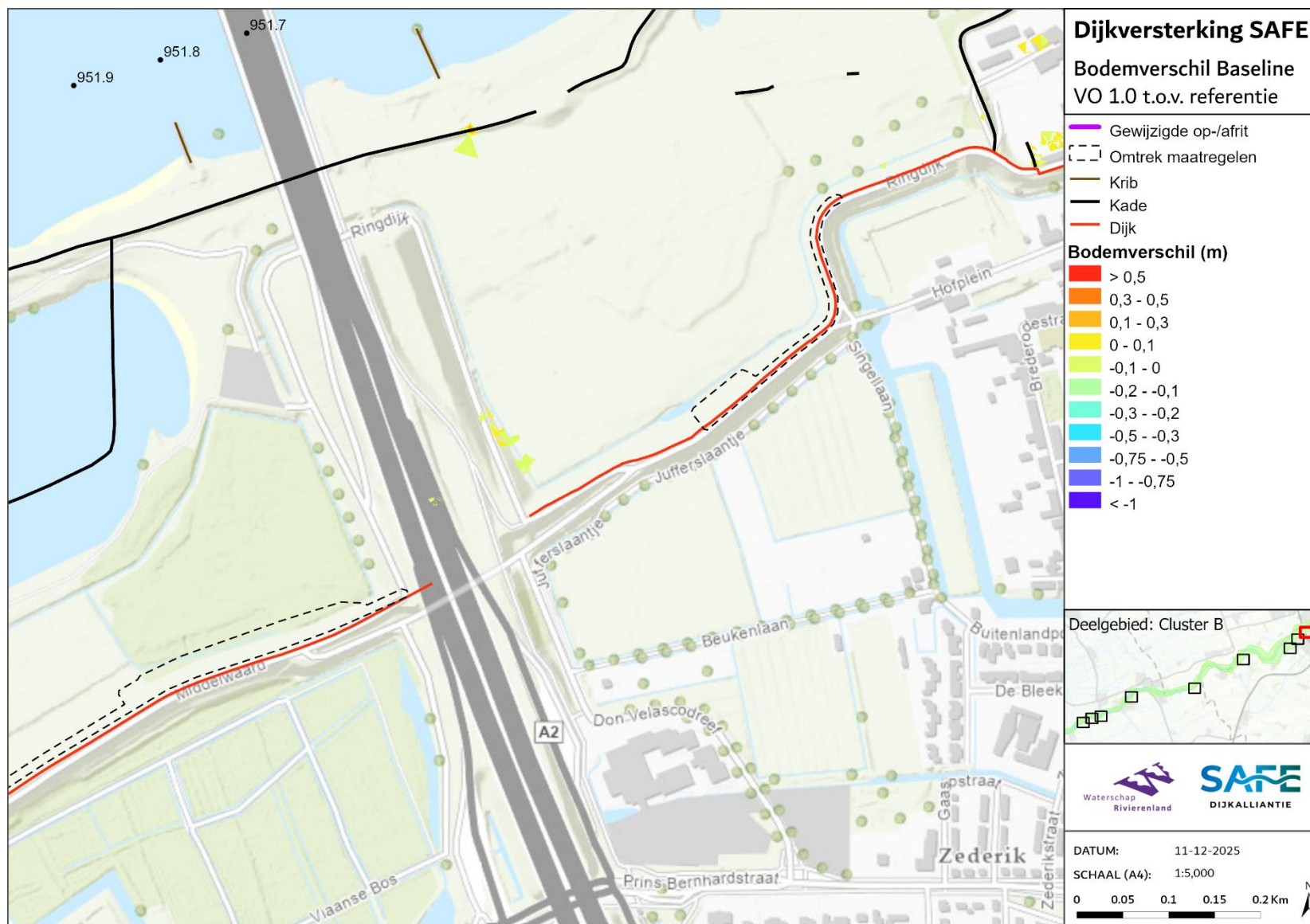
- Bodemhoogte en hoogtelijnen in Baseline van de referentie
- Bodemhoogte en hoogtelijnen in Baseline van de variant, inclusief de flow blocking lines op basis van de fictieve asverschuiving van de rivierwaartse dijkversterking
- Bodemverschil in Baseline (op basis van een raster van 1x1 m)
- Bodemverschil in D-HYDRO, inclusief de projectie van de flow blocking lines op het rooster van D-HYDRO (als thin dams)
- Landgebruik (vegetatie) in Baseline-van de referentie
- Landgebruik (vegetatie) in Baseline-van de variant

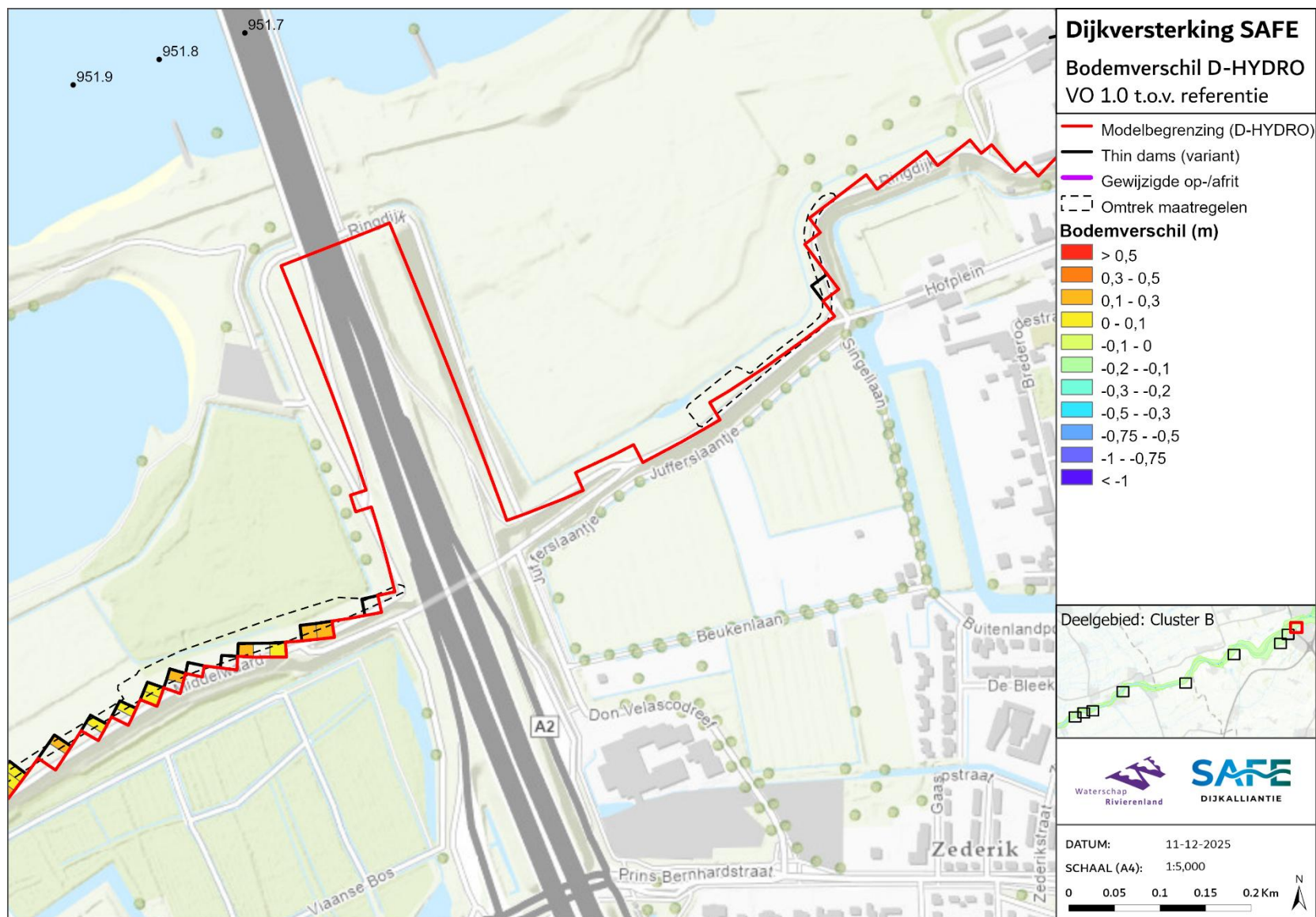
Dijkzone 2

In deze kaarten zit dijkzone 2 en het oostelijke stukje van dijkzone 3.



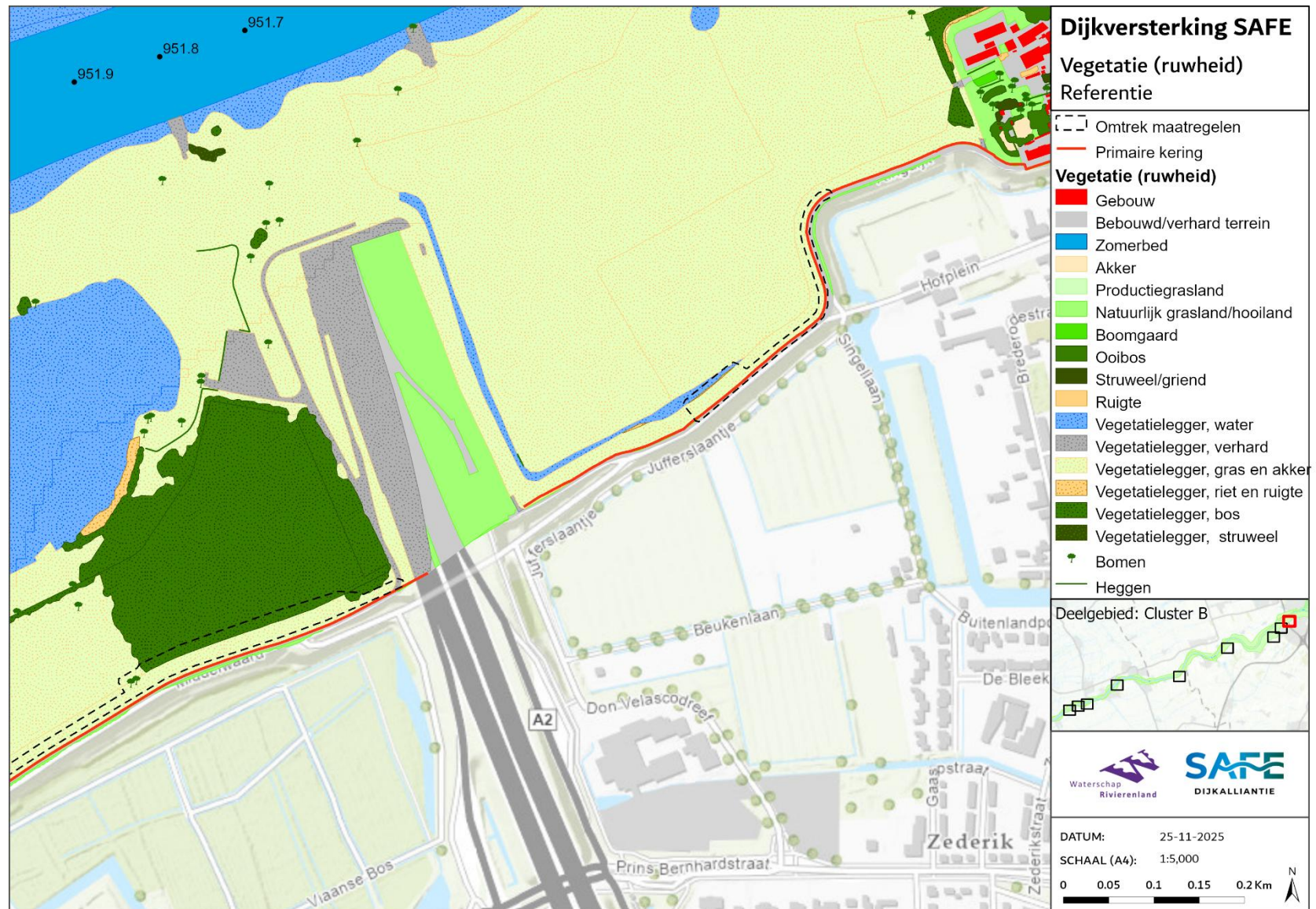


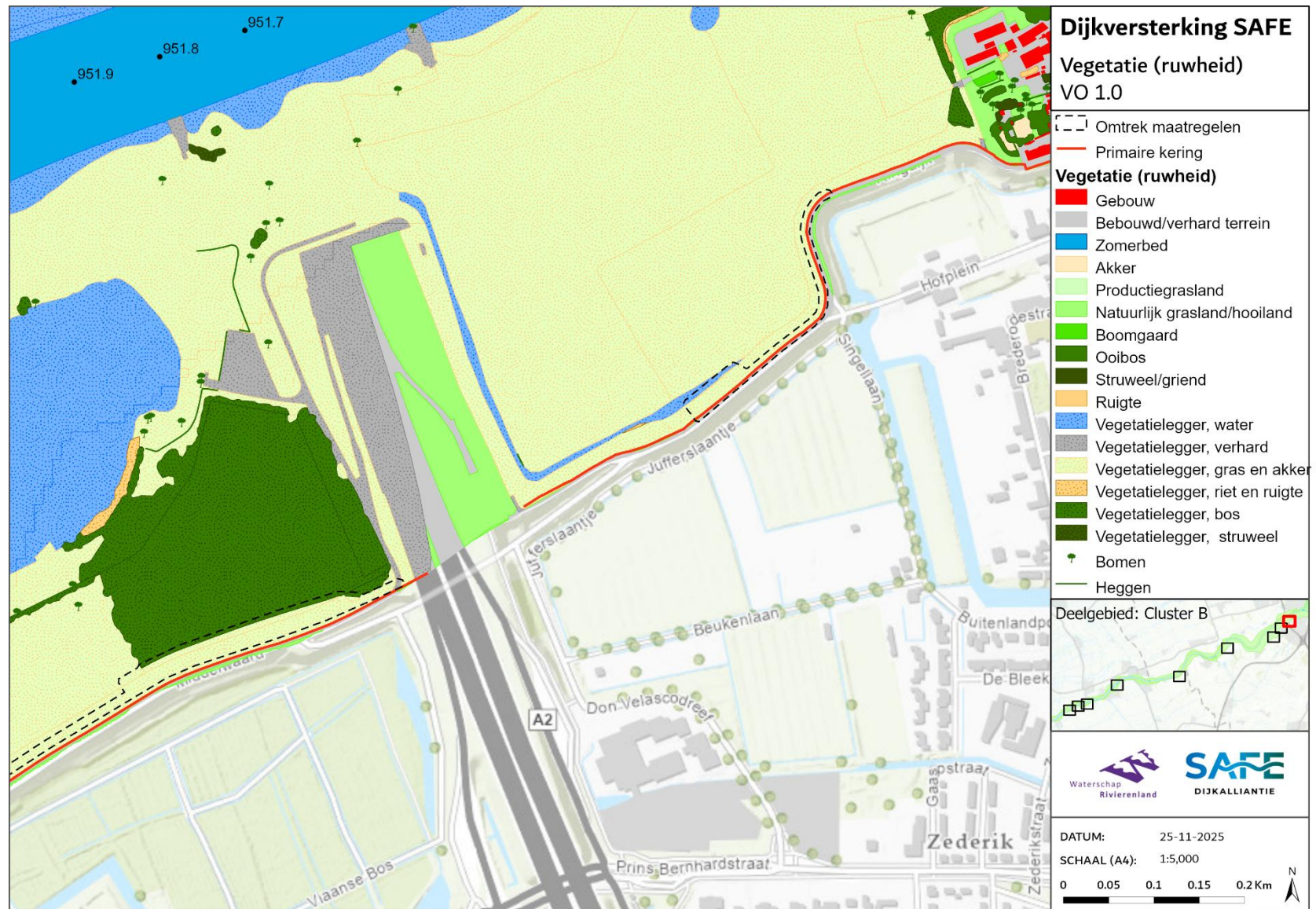




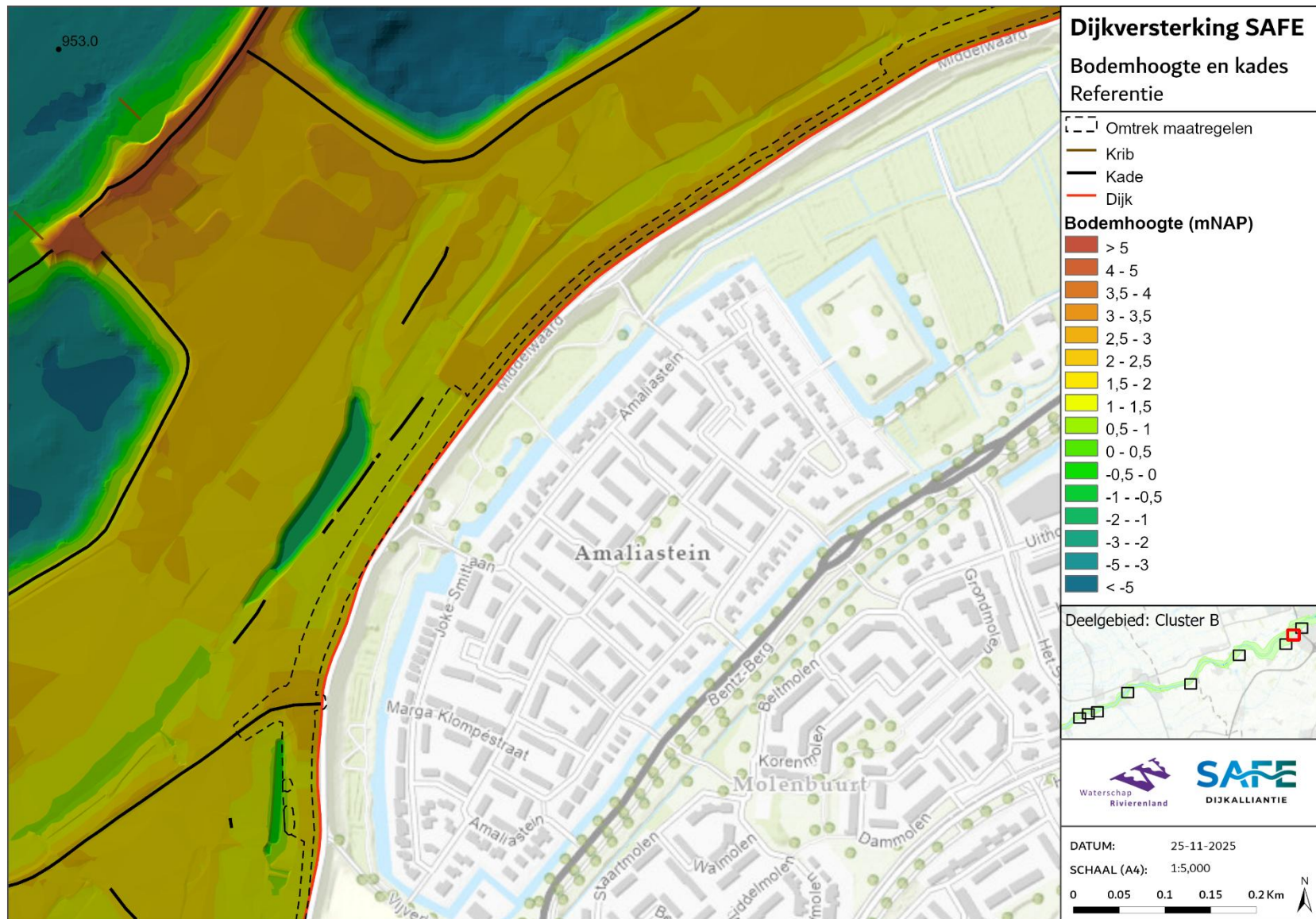
Dijkversterking SAFE

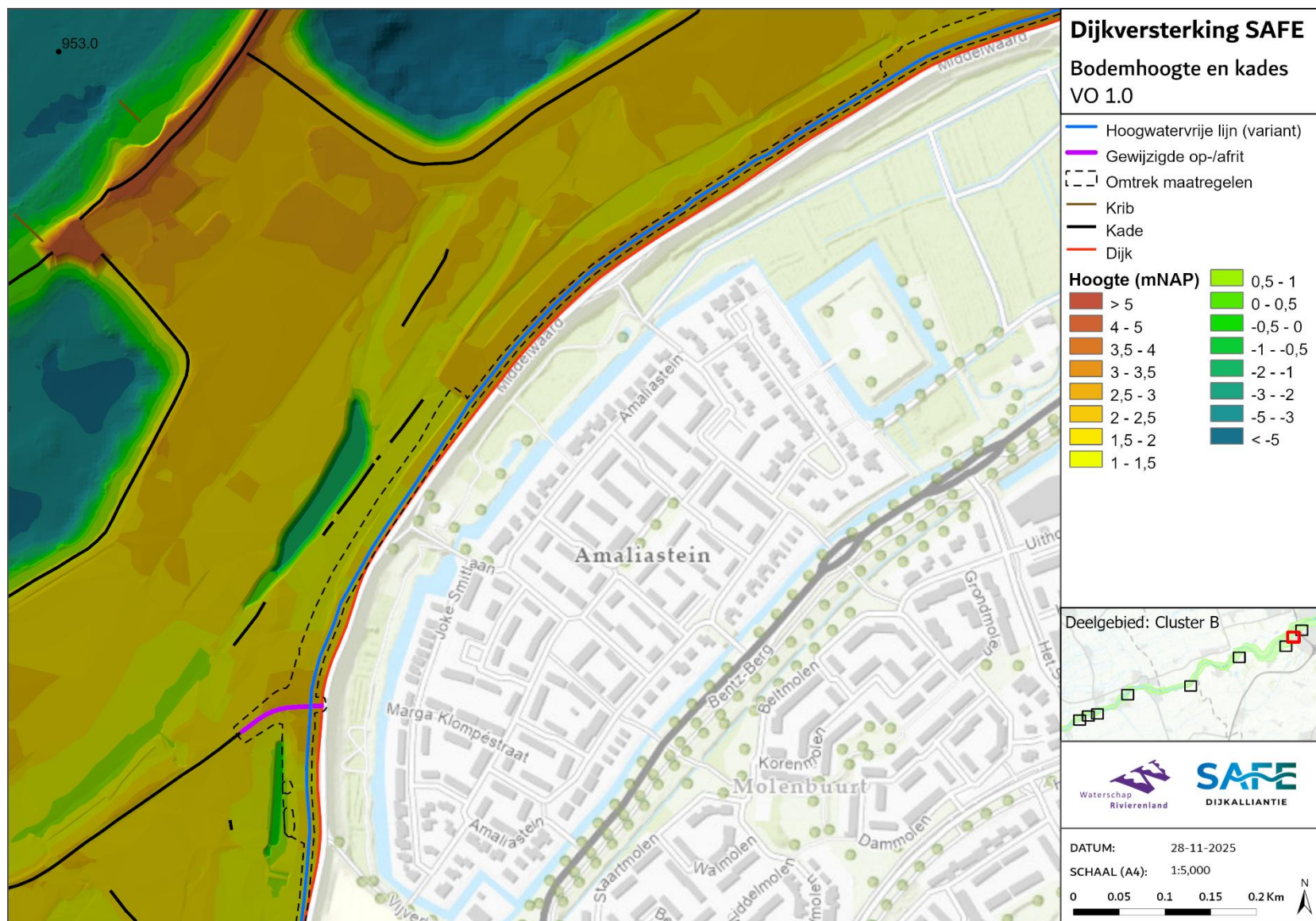
Rivierkundige beoordeling vergunningenontwerp (VO)

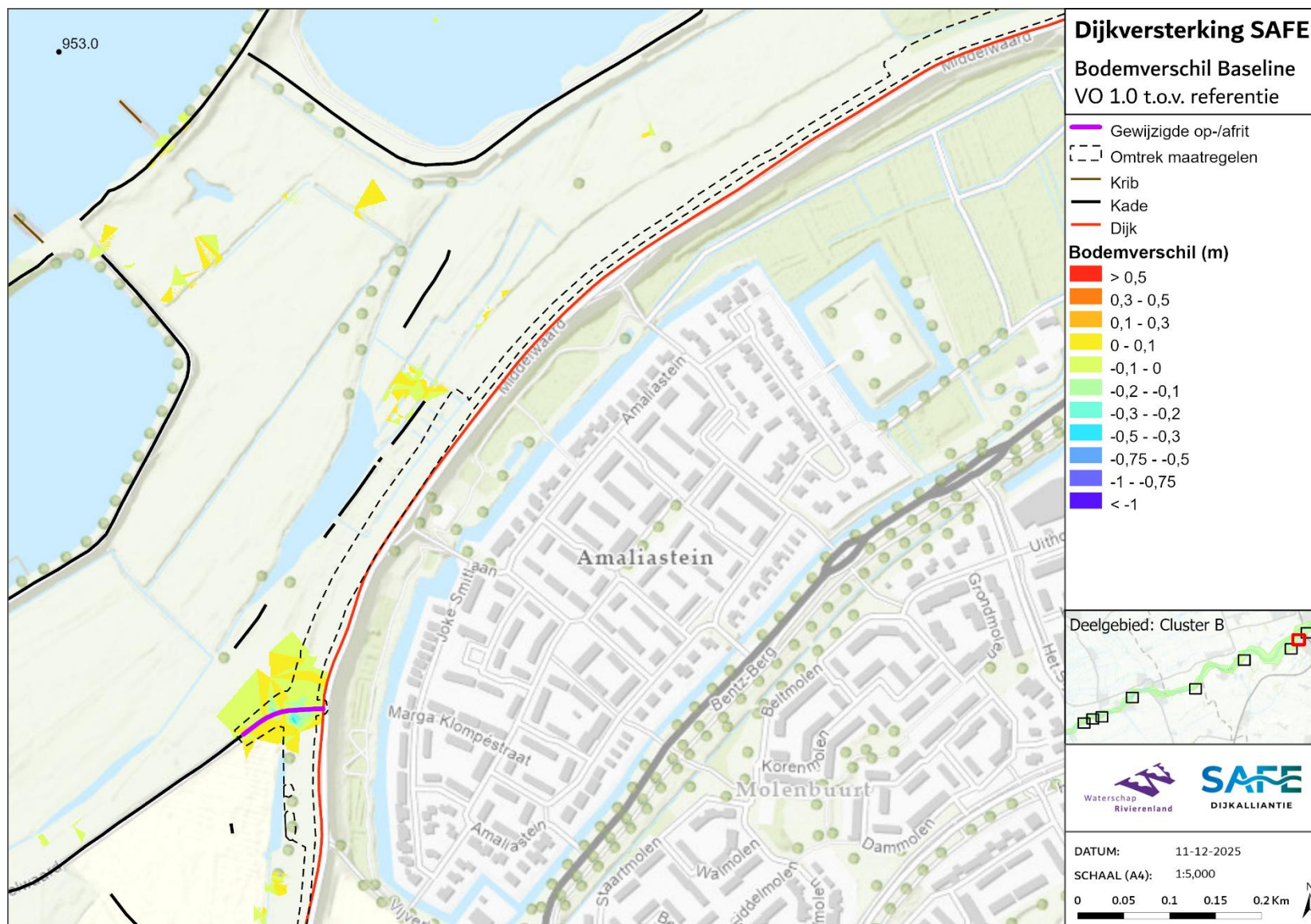


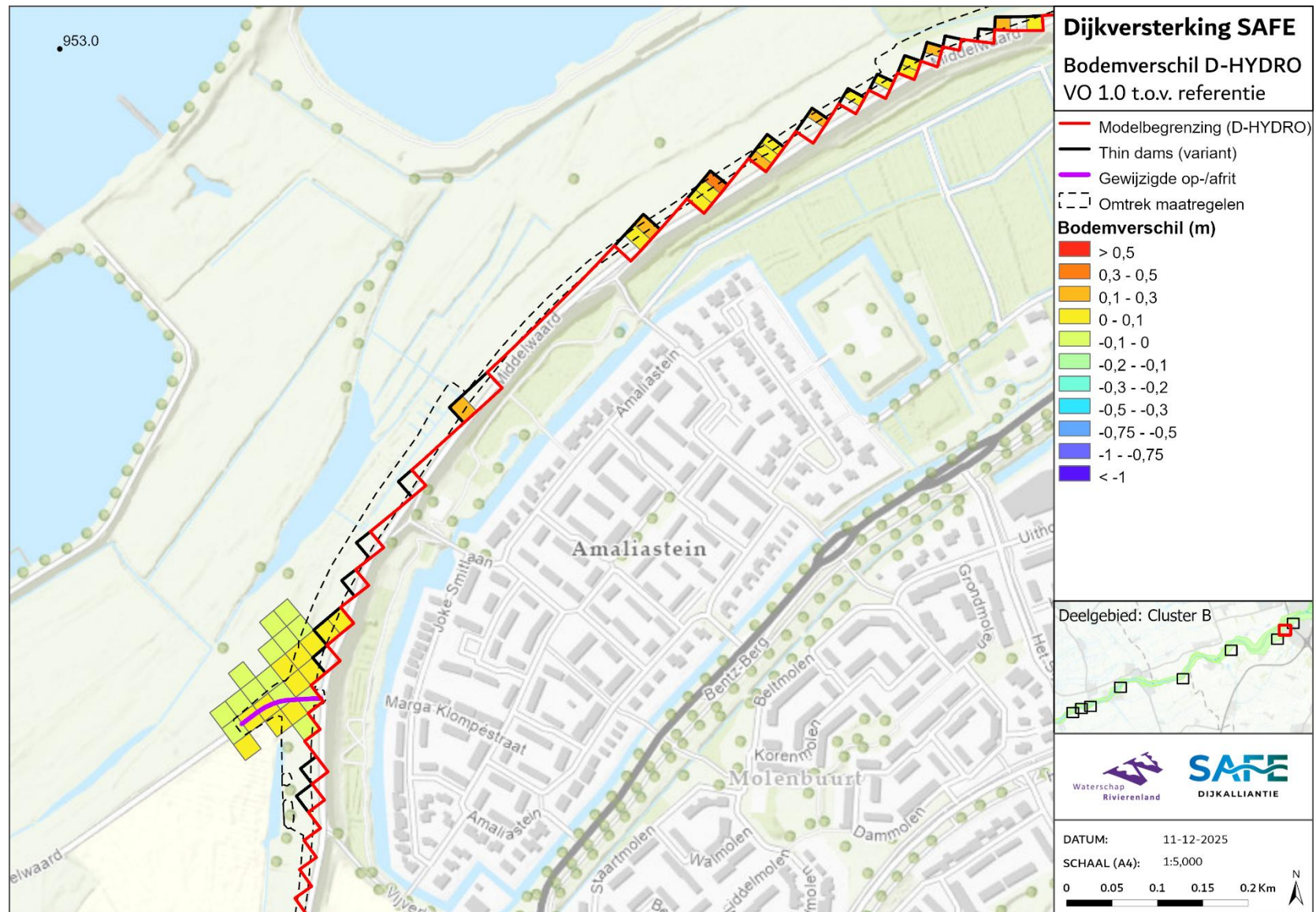


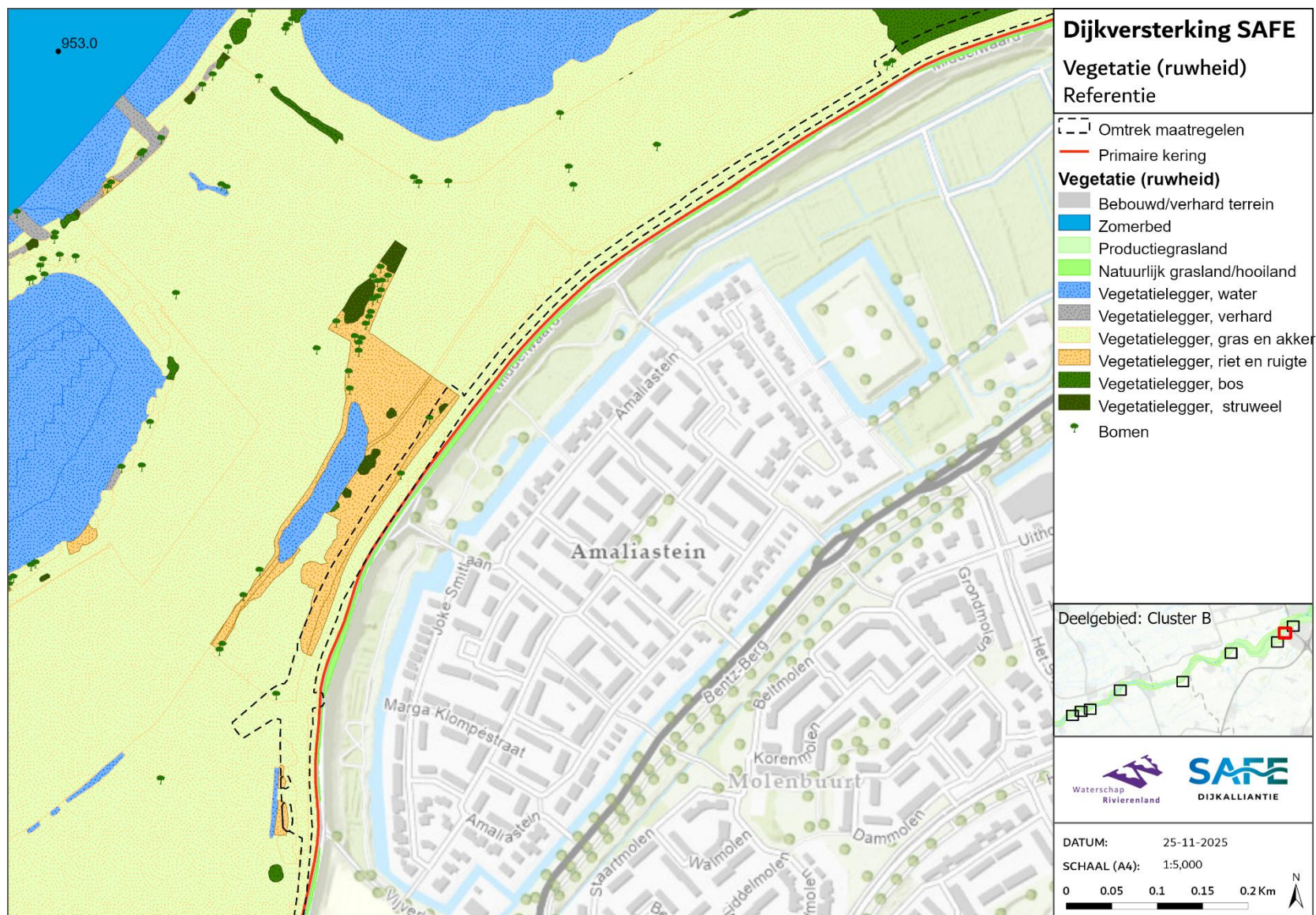
Dijkzone 3

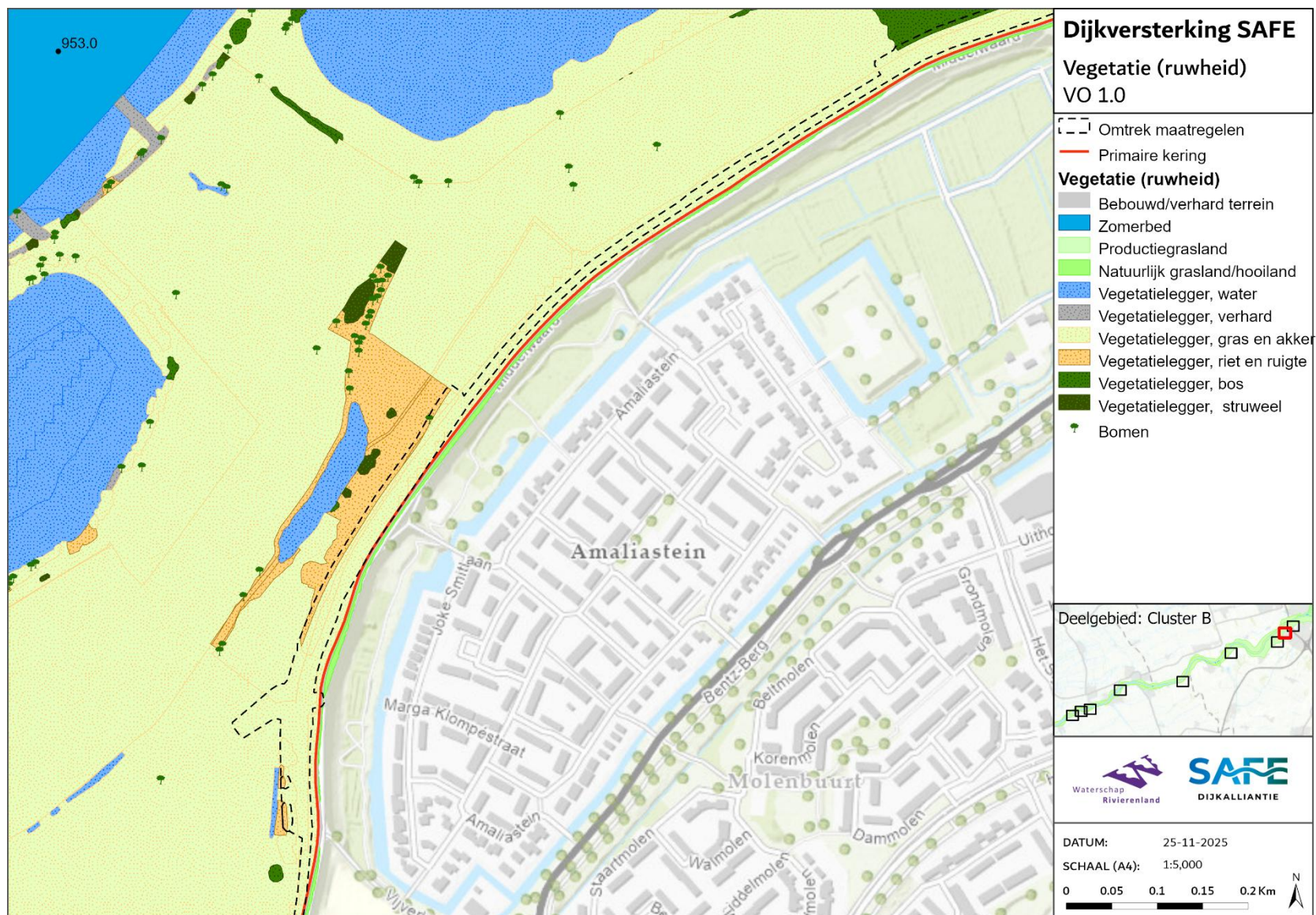




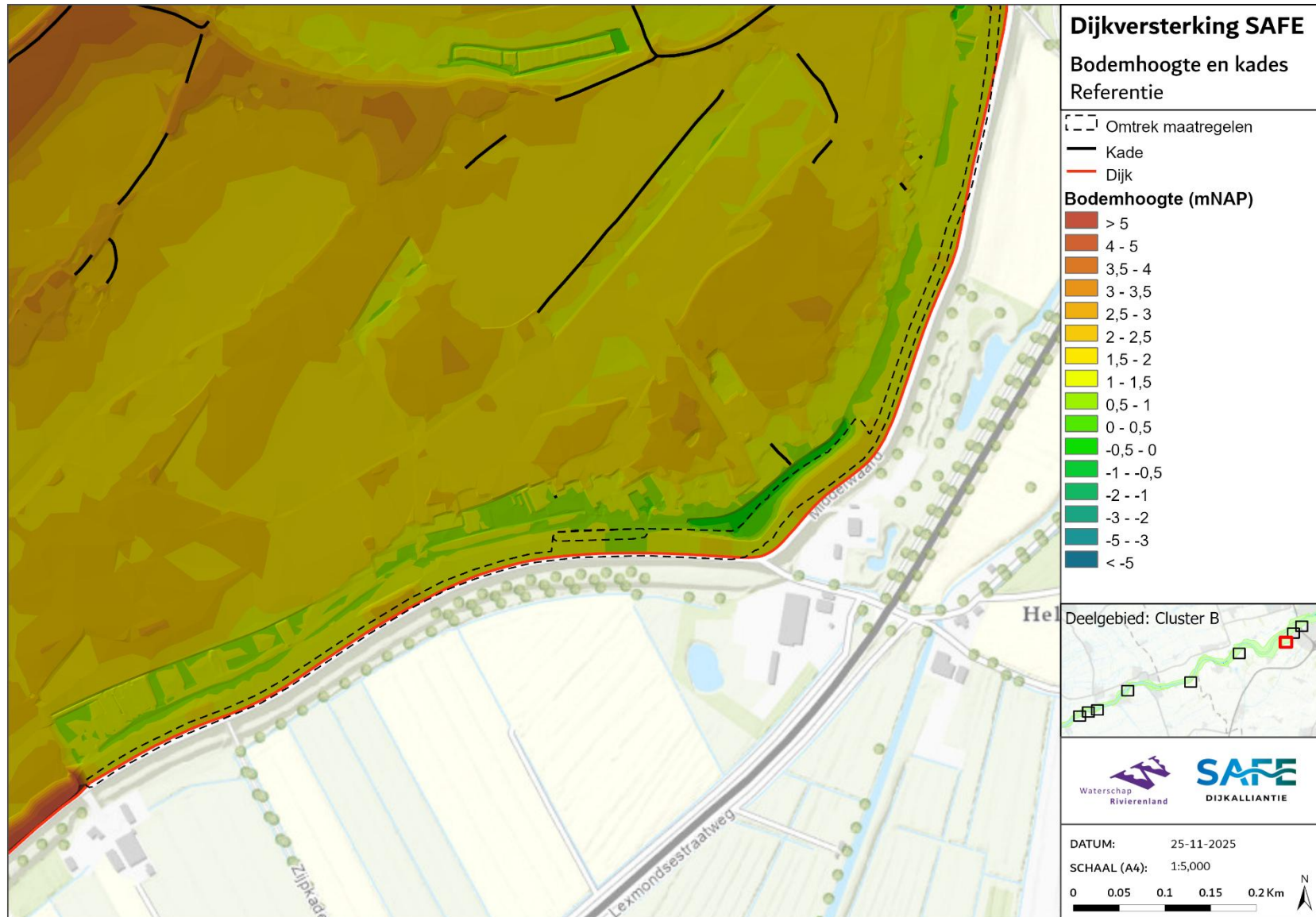


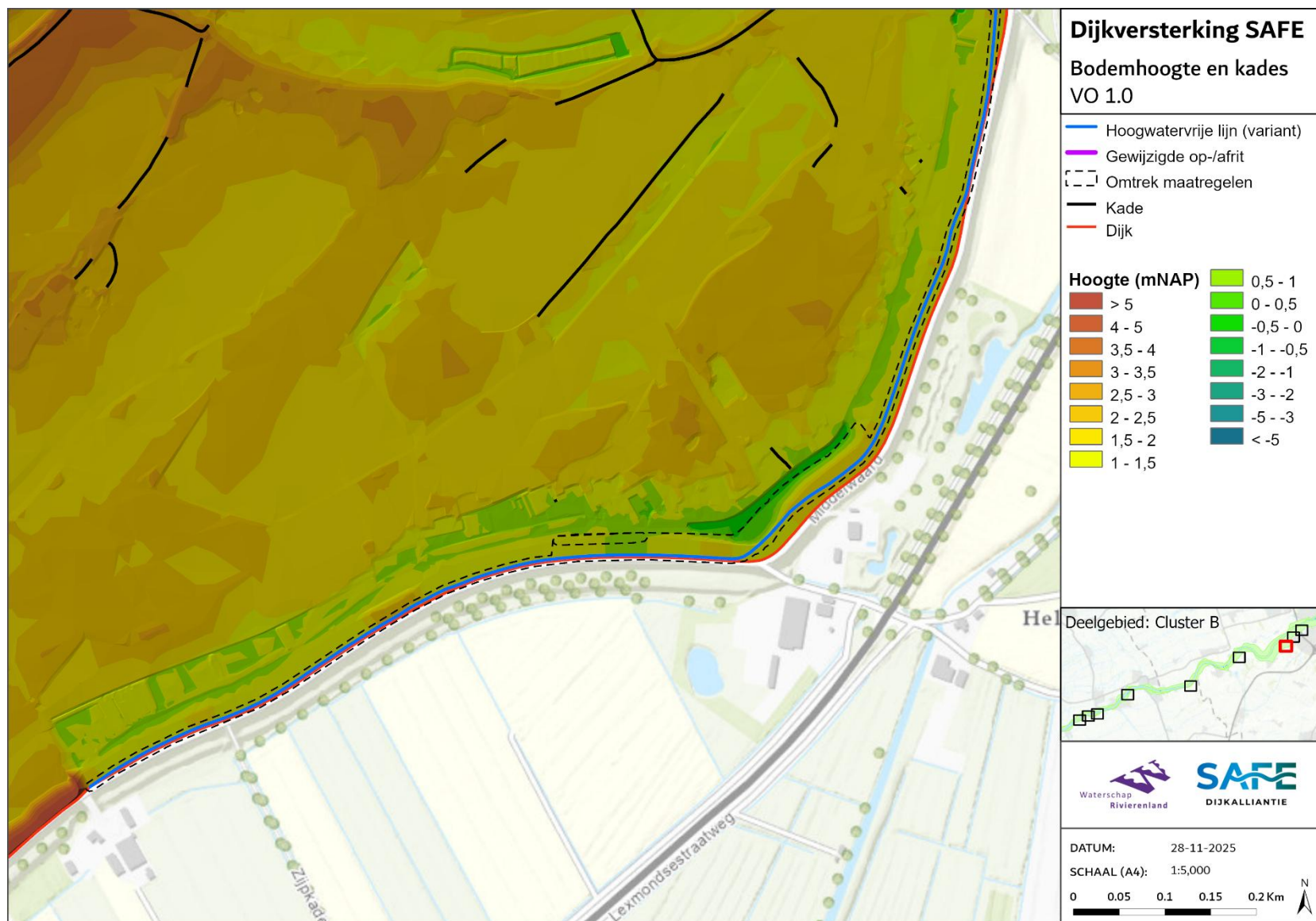


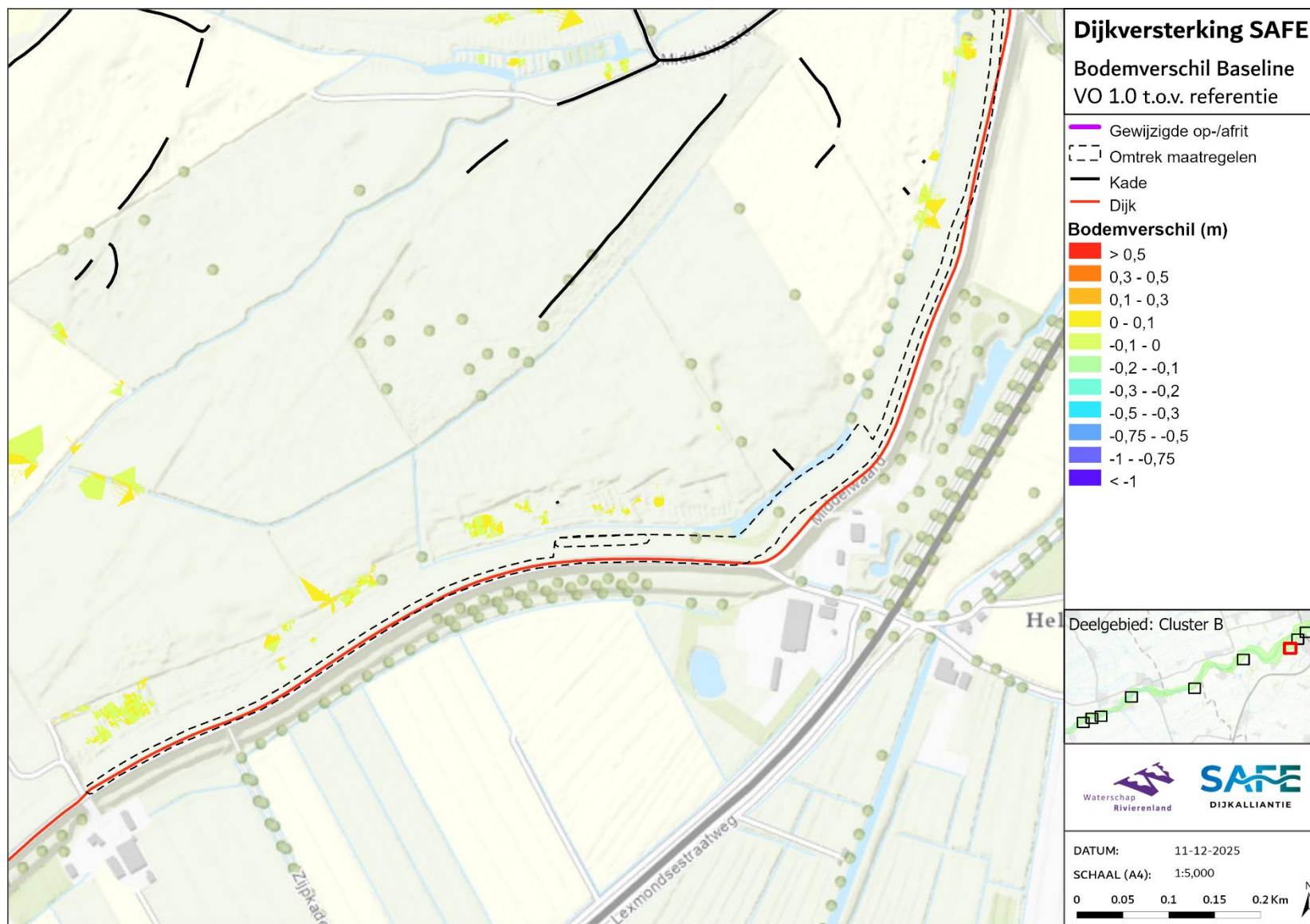


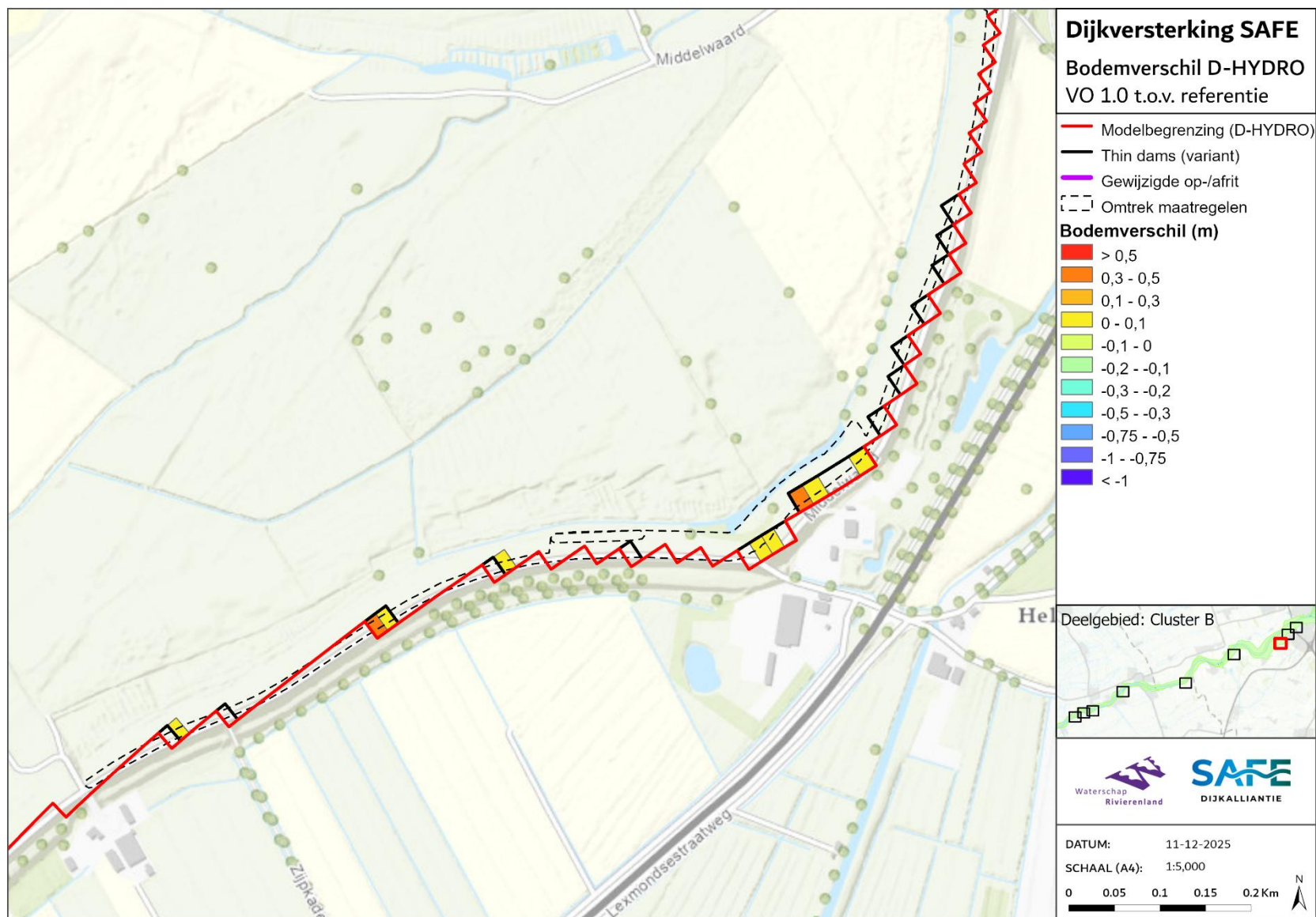


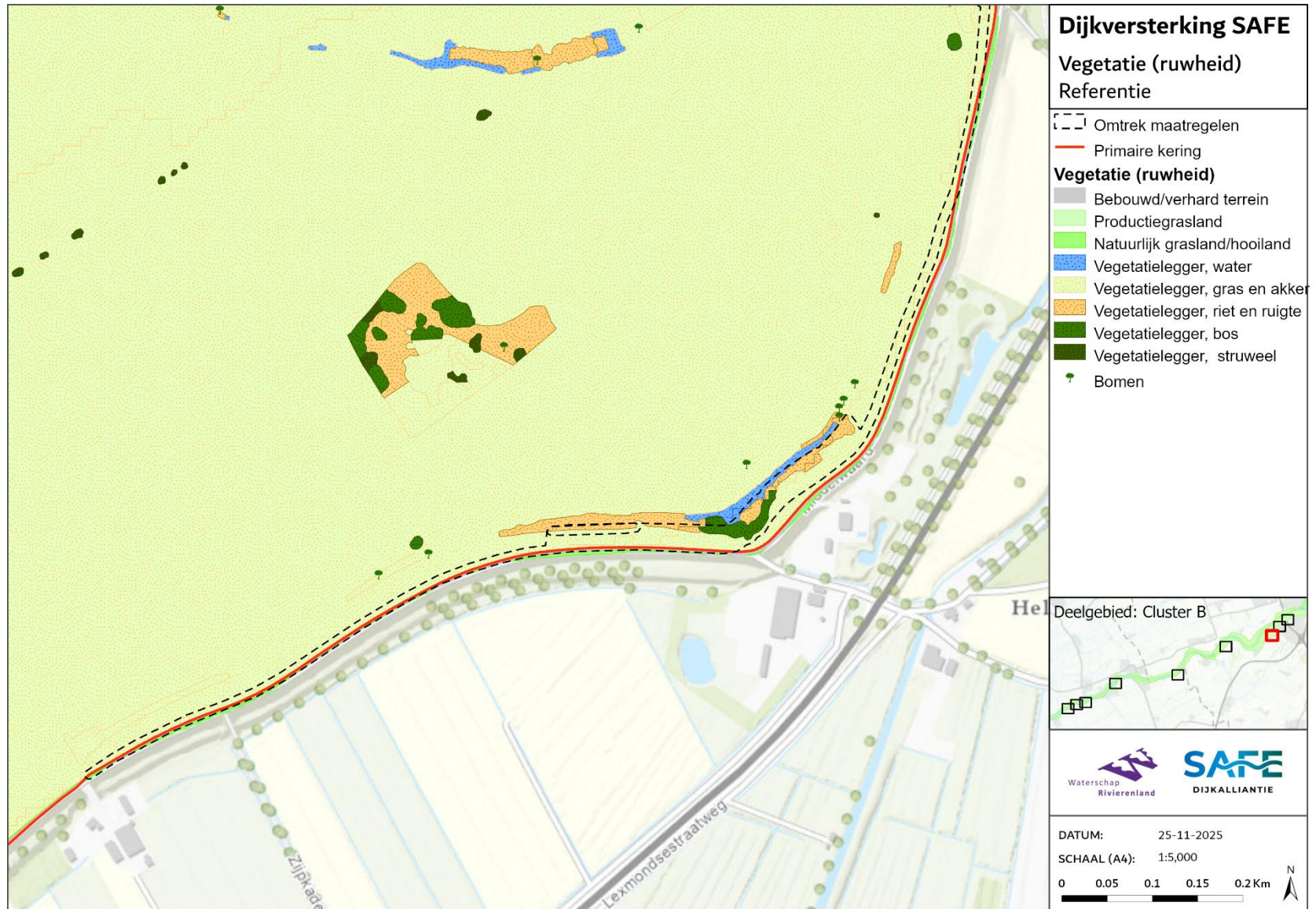
Dijkzone 4

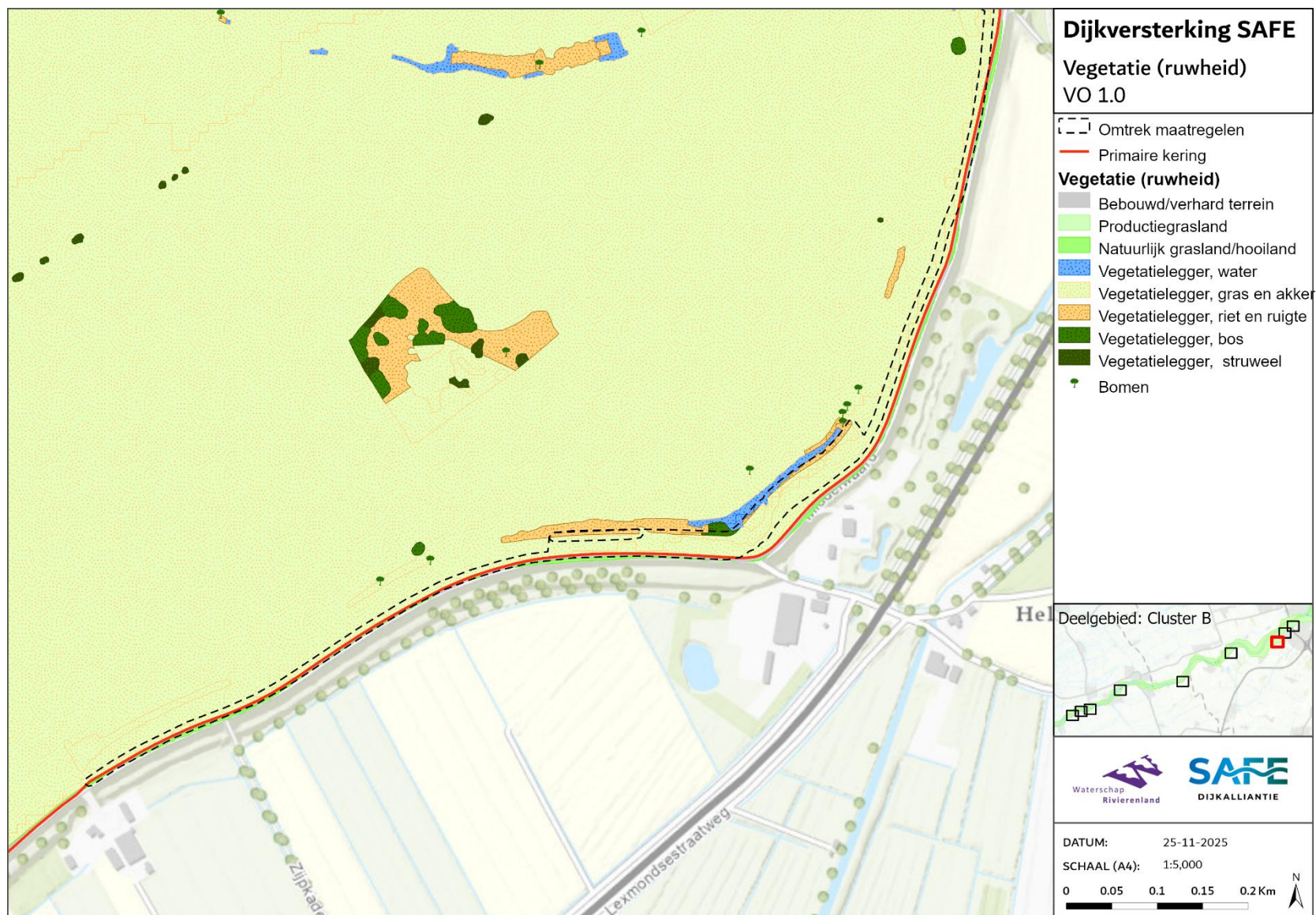




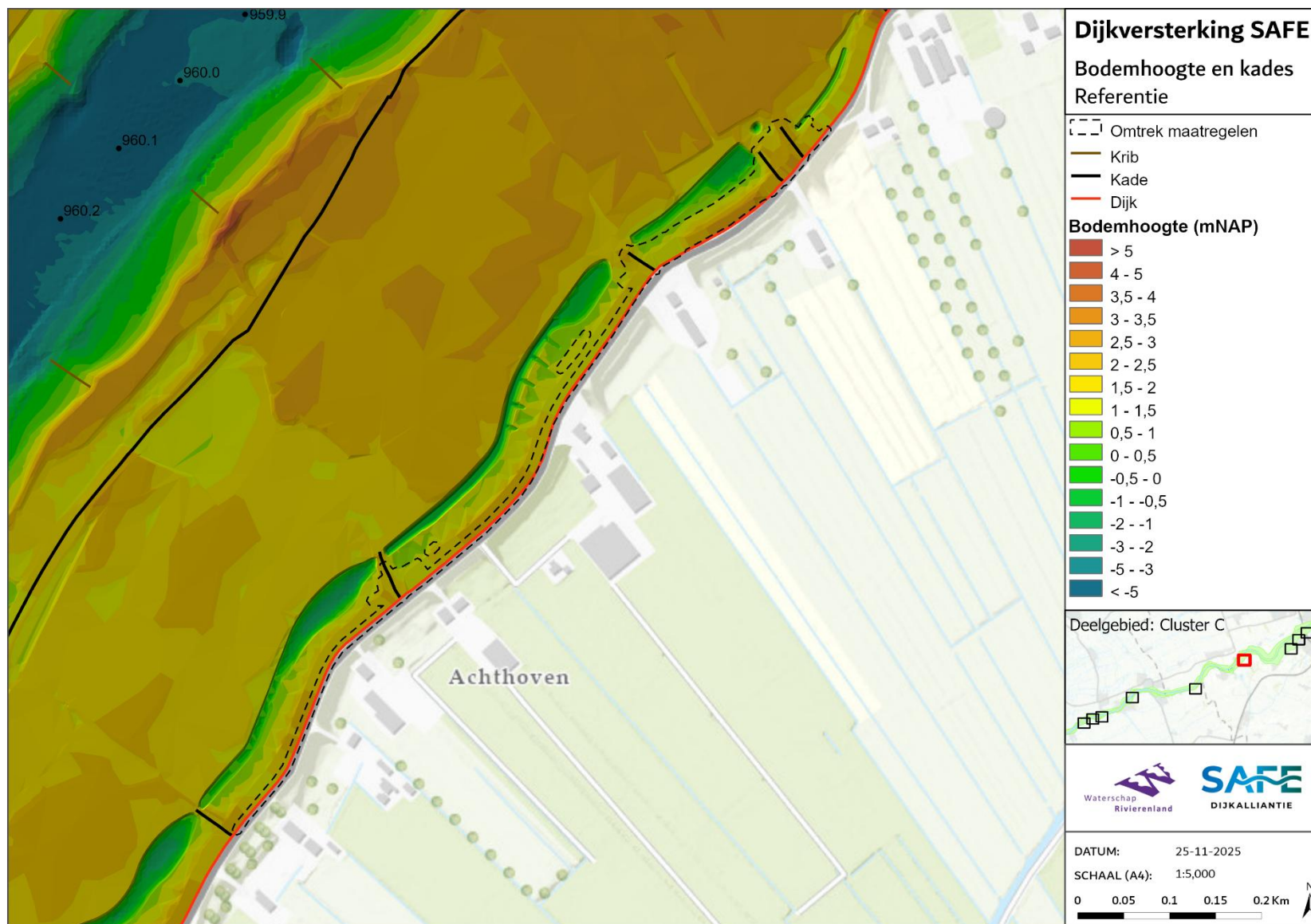






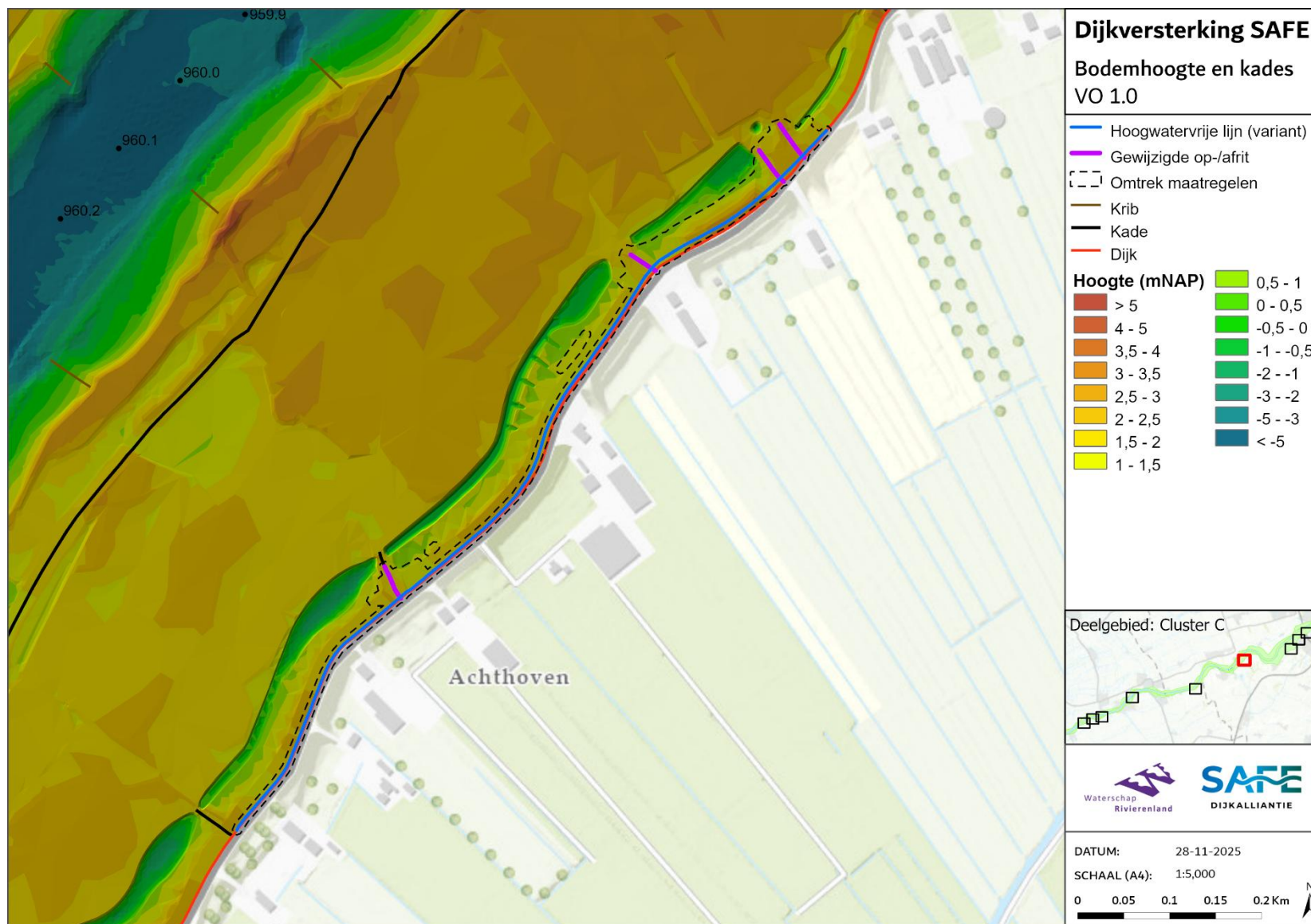


Dijkzone 7



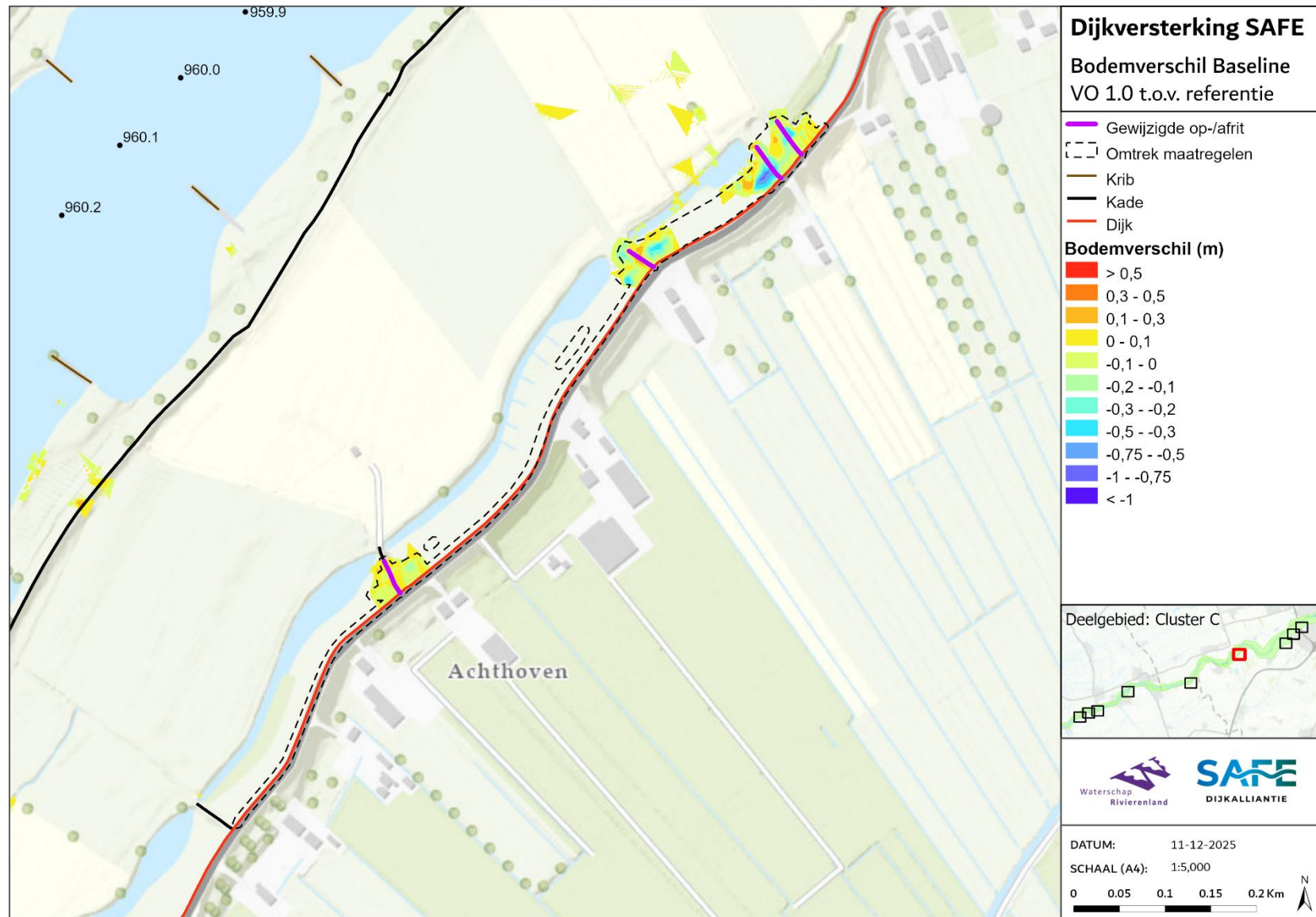
Dijkversterking SAFE

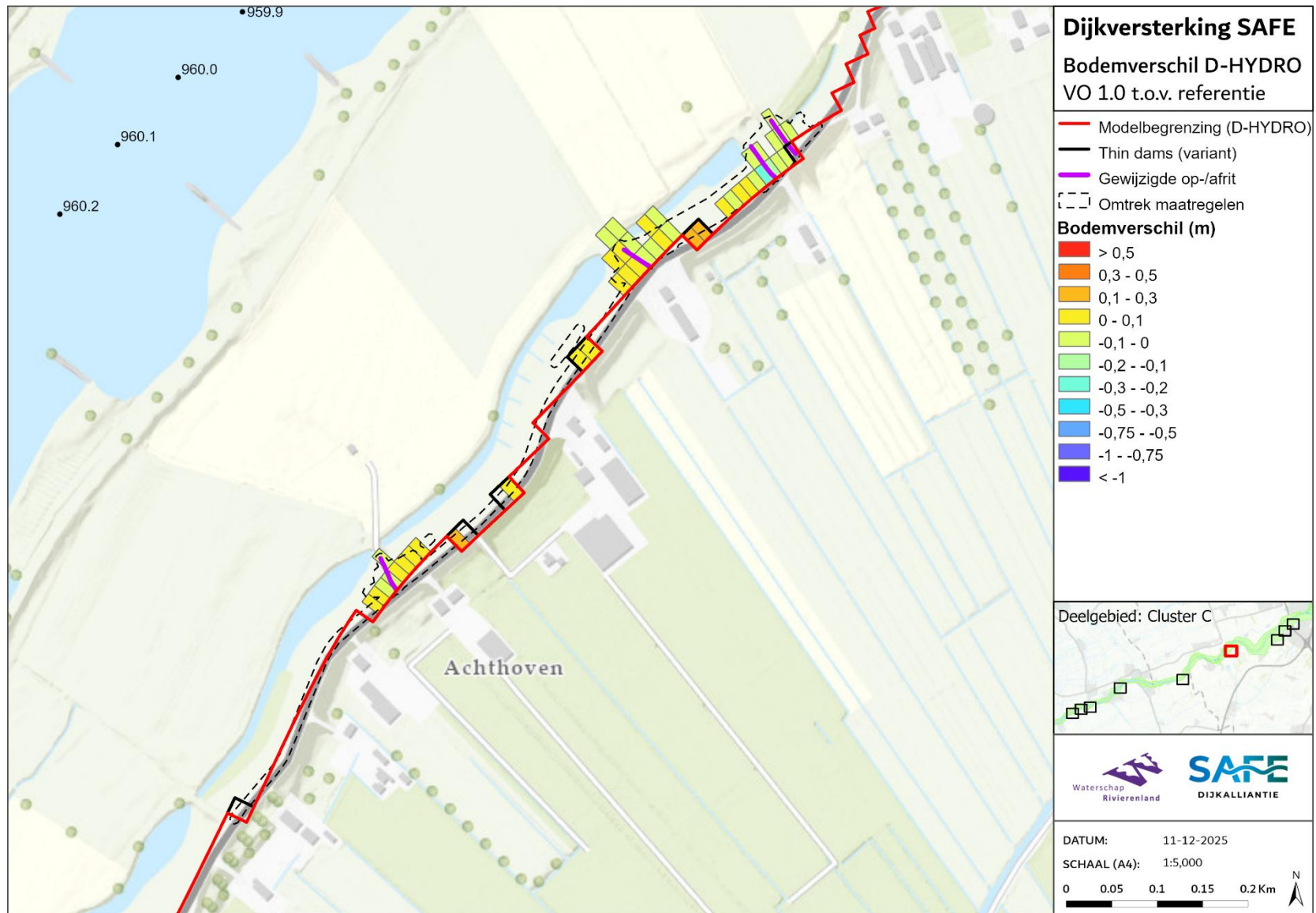
Rivierkundige beoordeling vergunningenontwerp (VO)

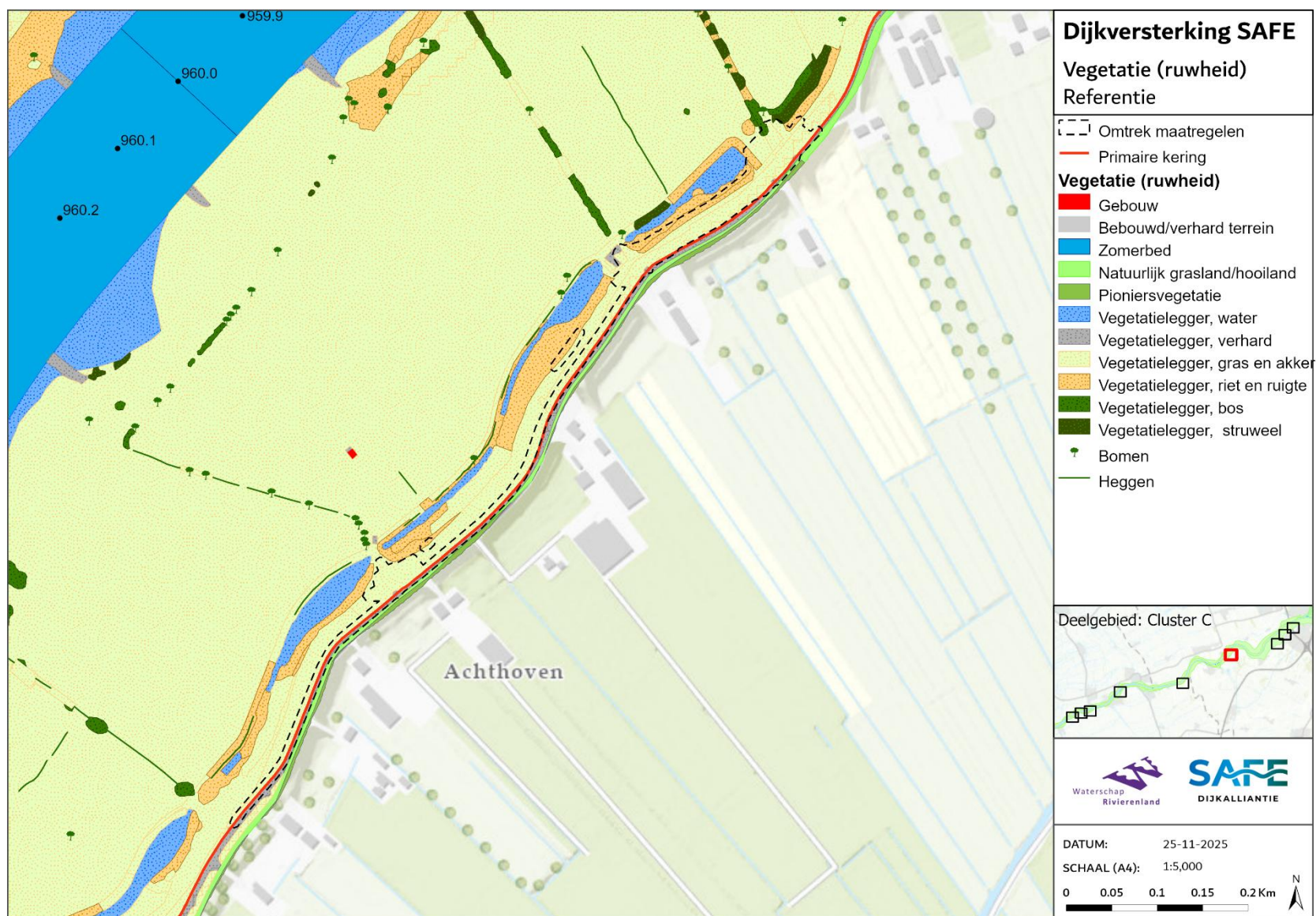


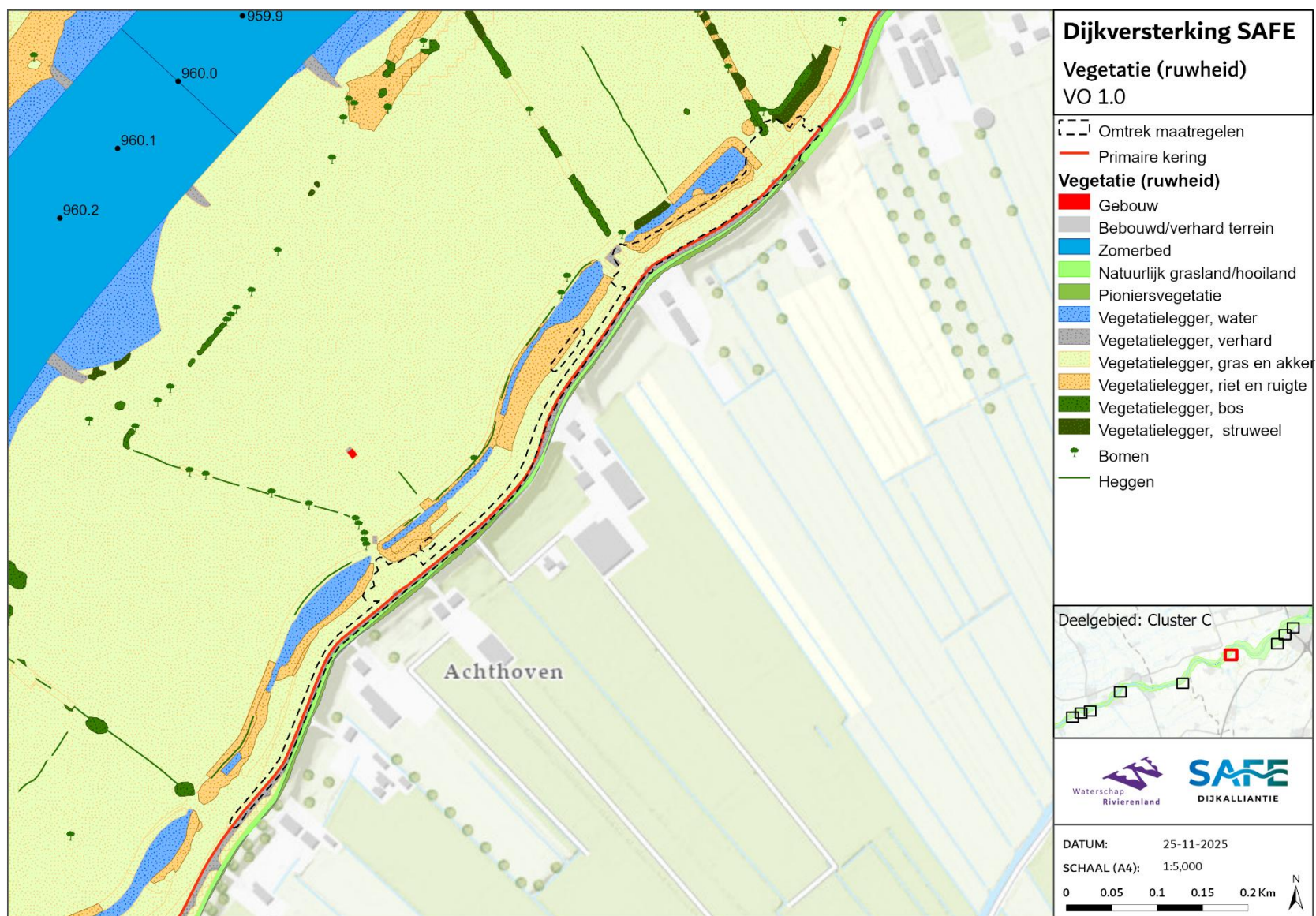
Dijkversterking SAFE

Rivierkundige beoordeling vergunningenontwerp (VO)

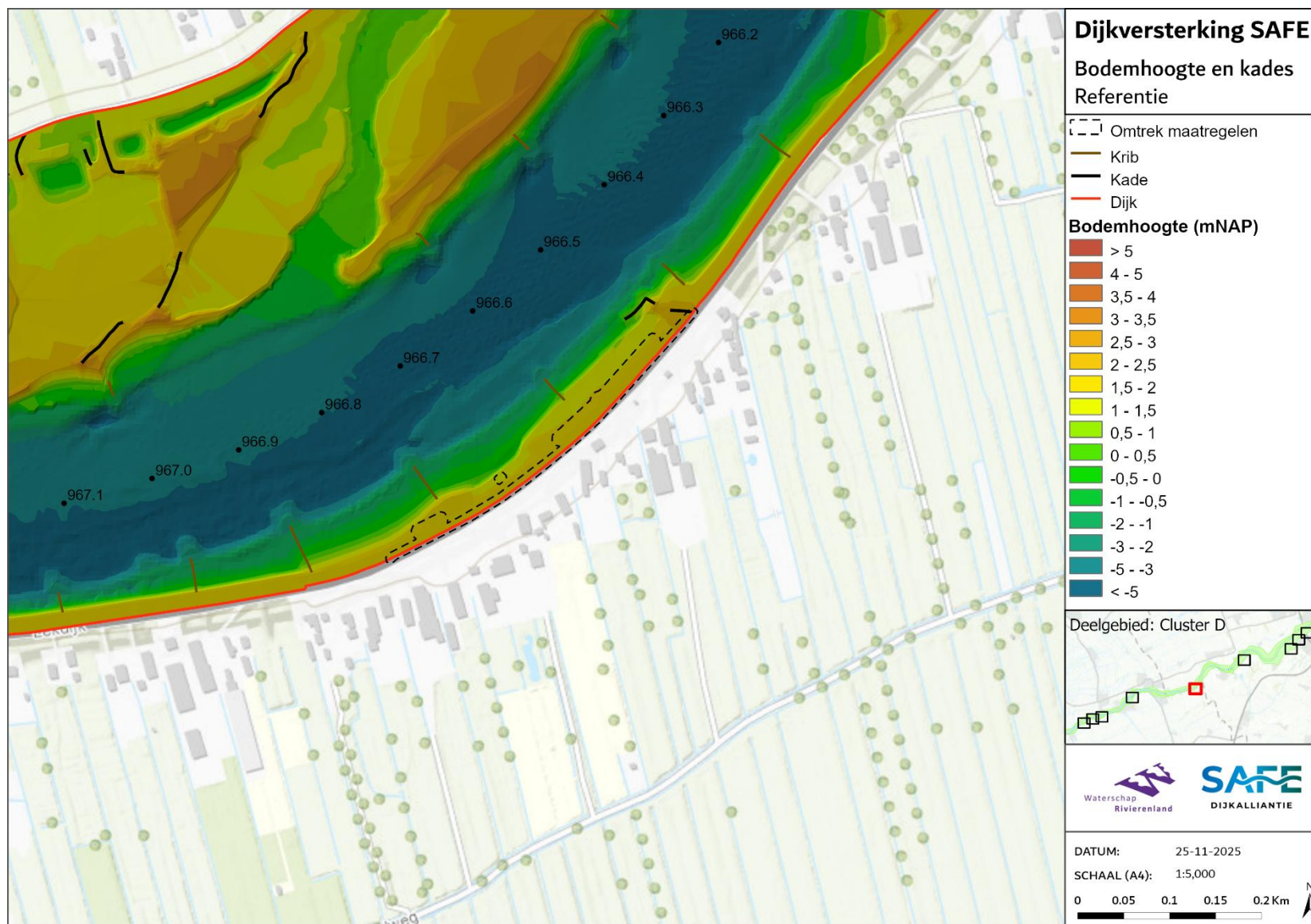


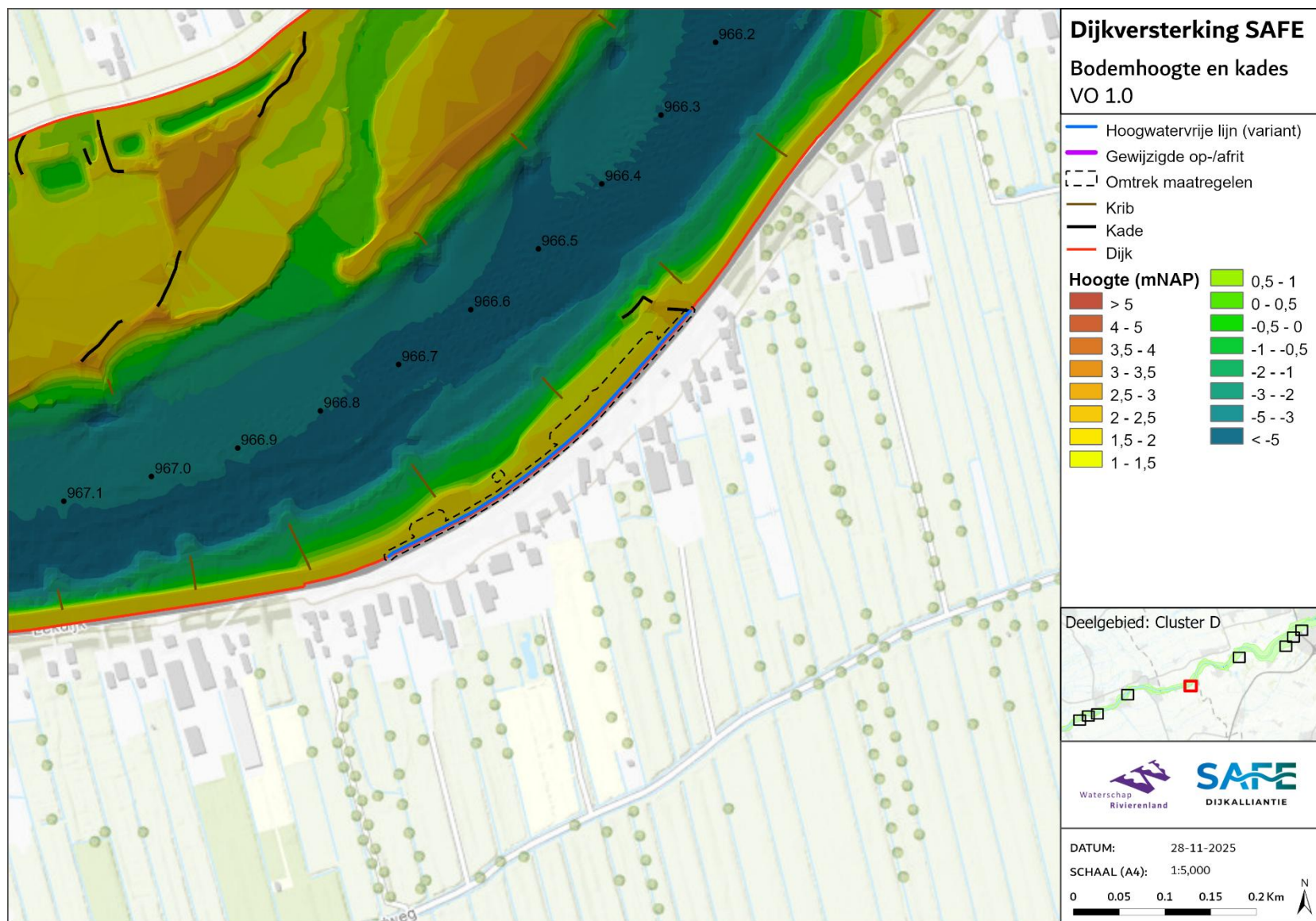


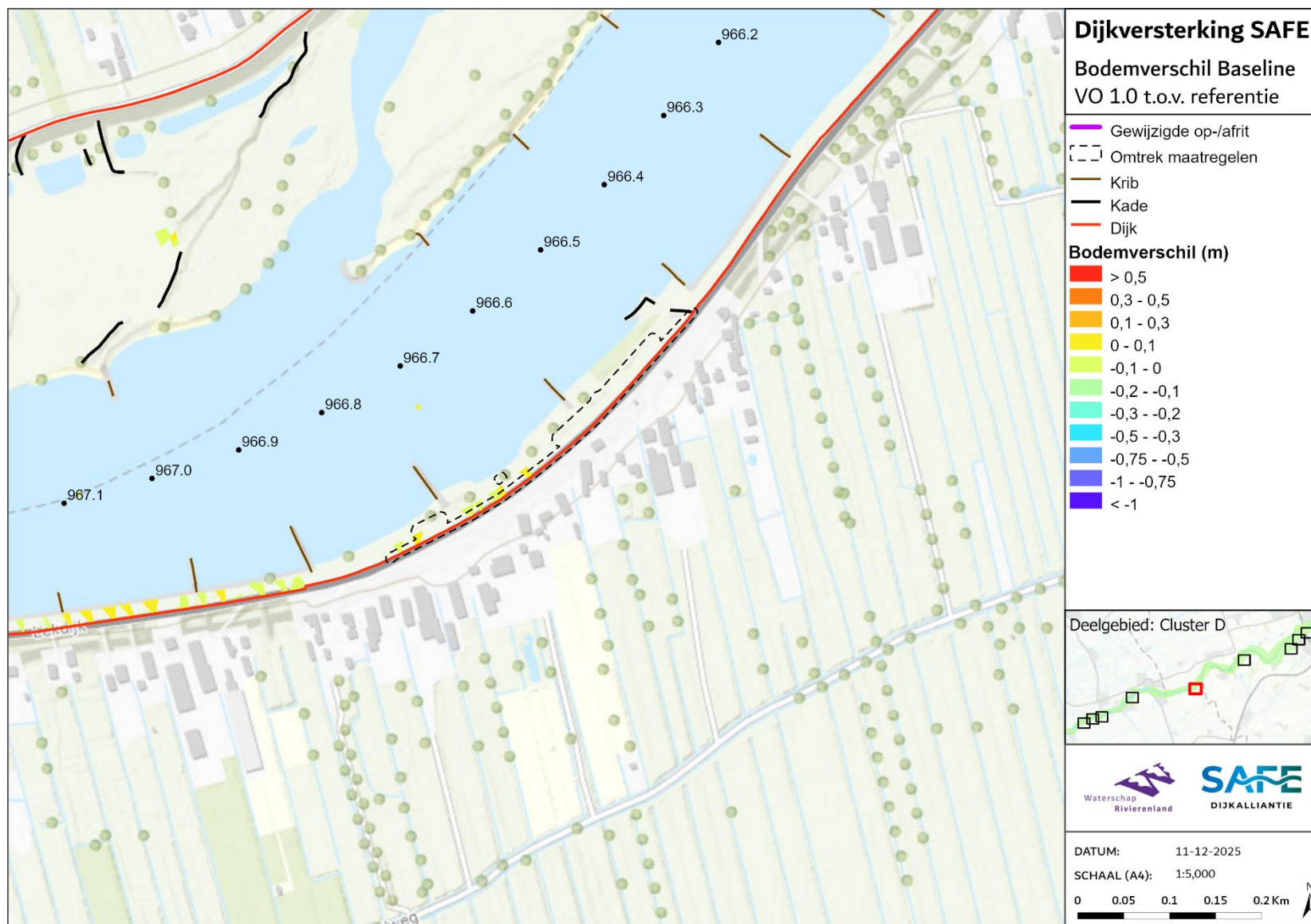


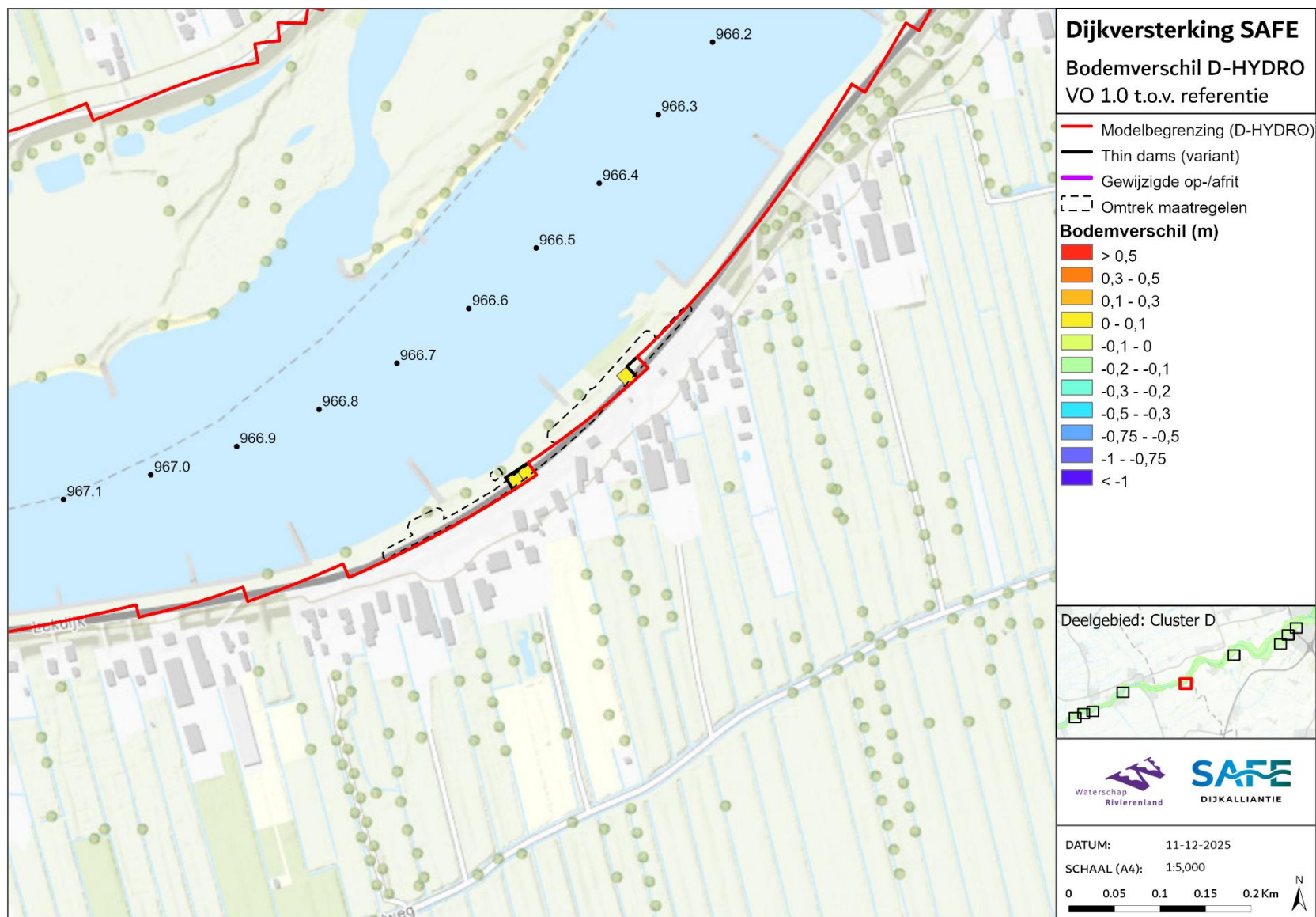


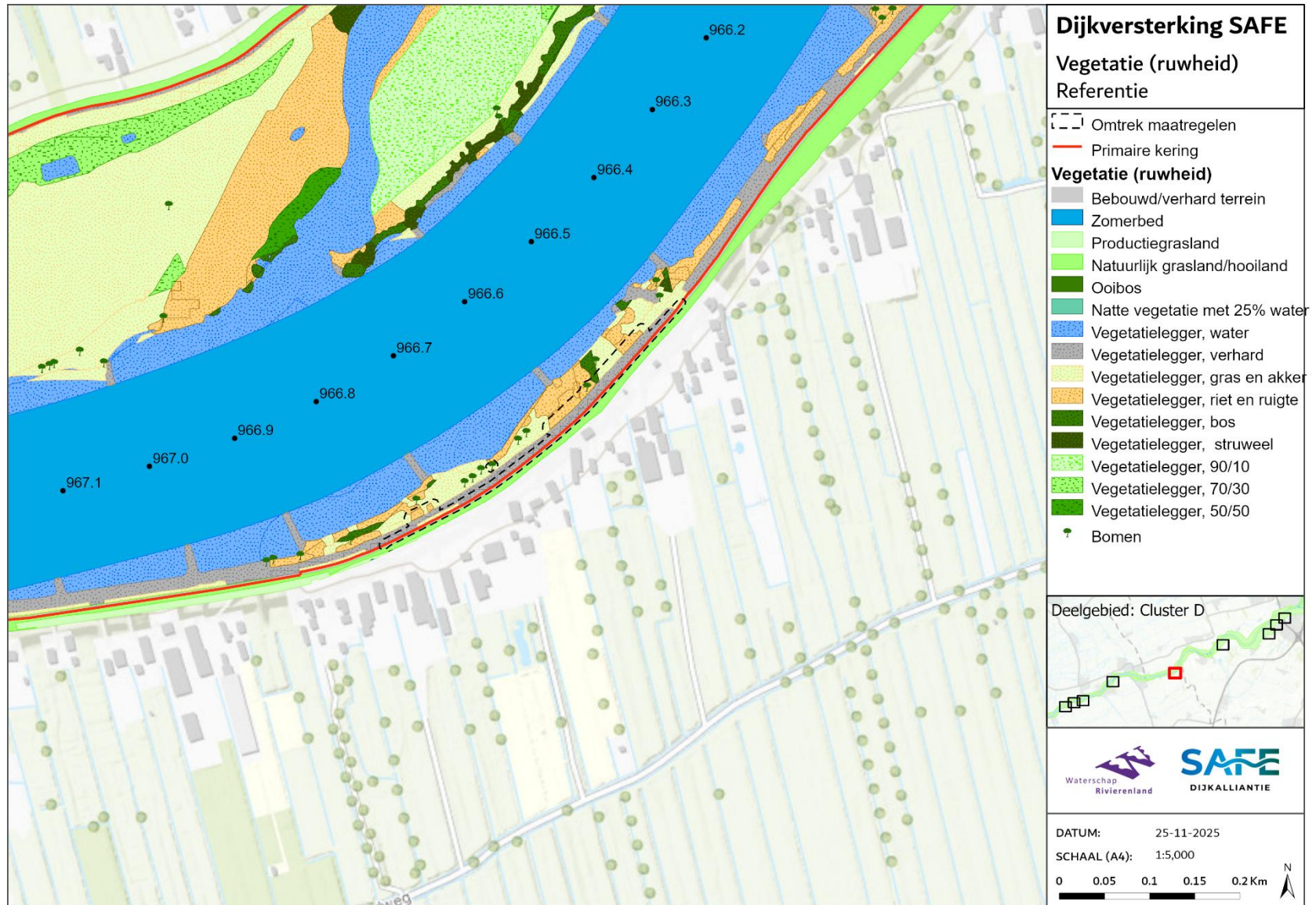
Dijkzone 10





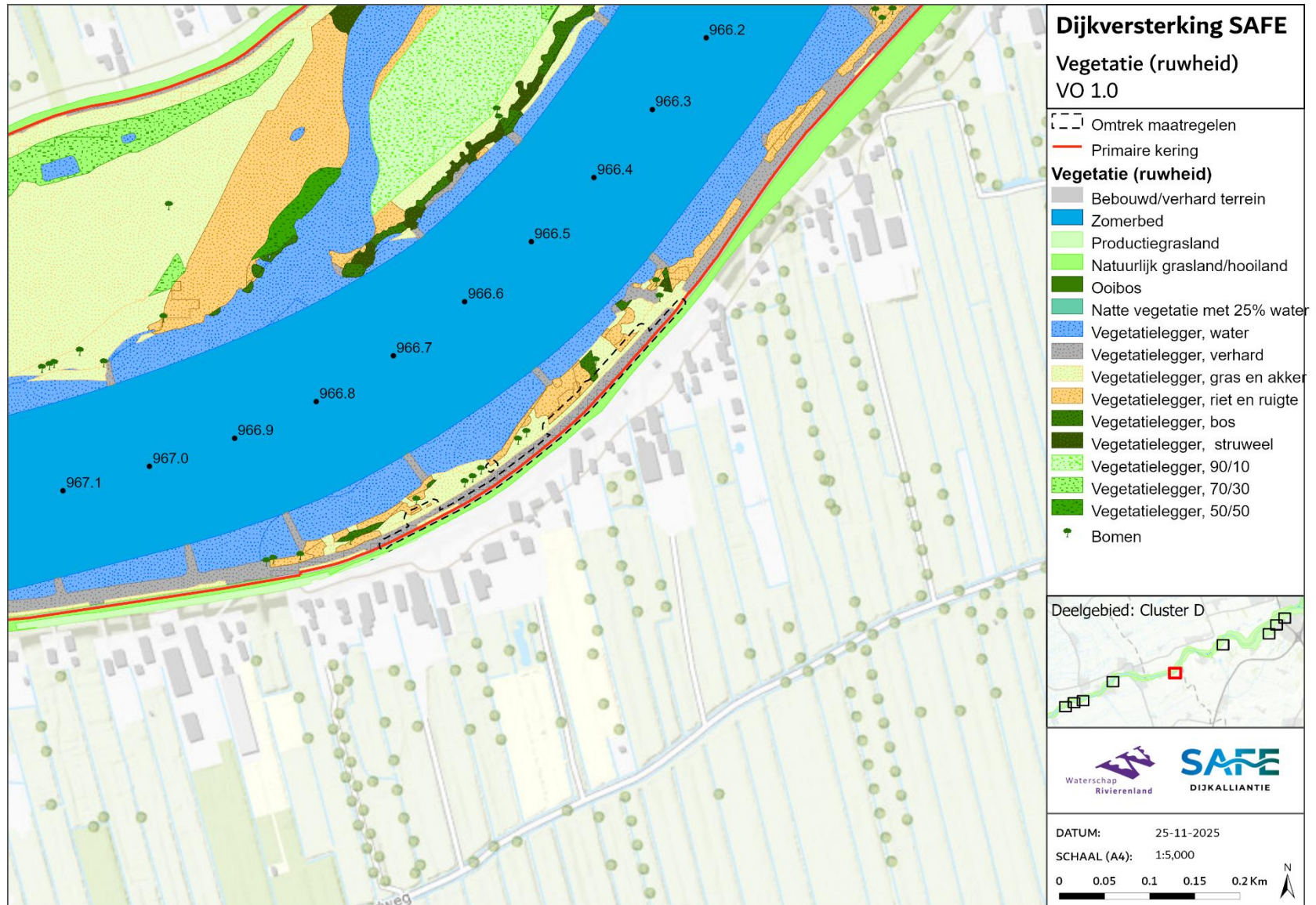




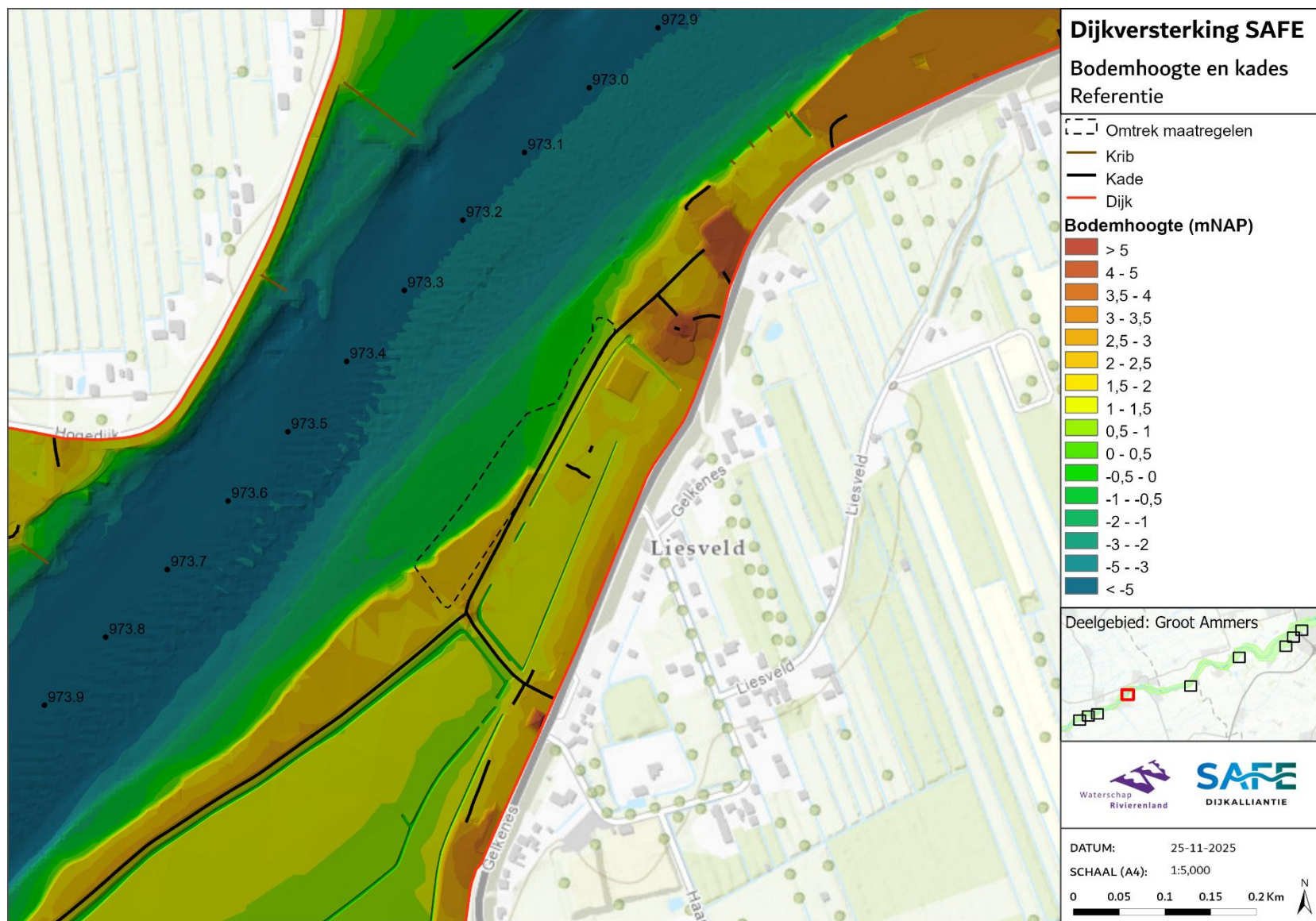


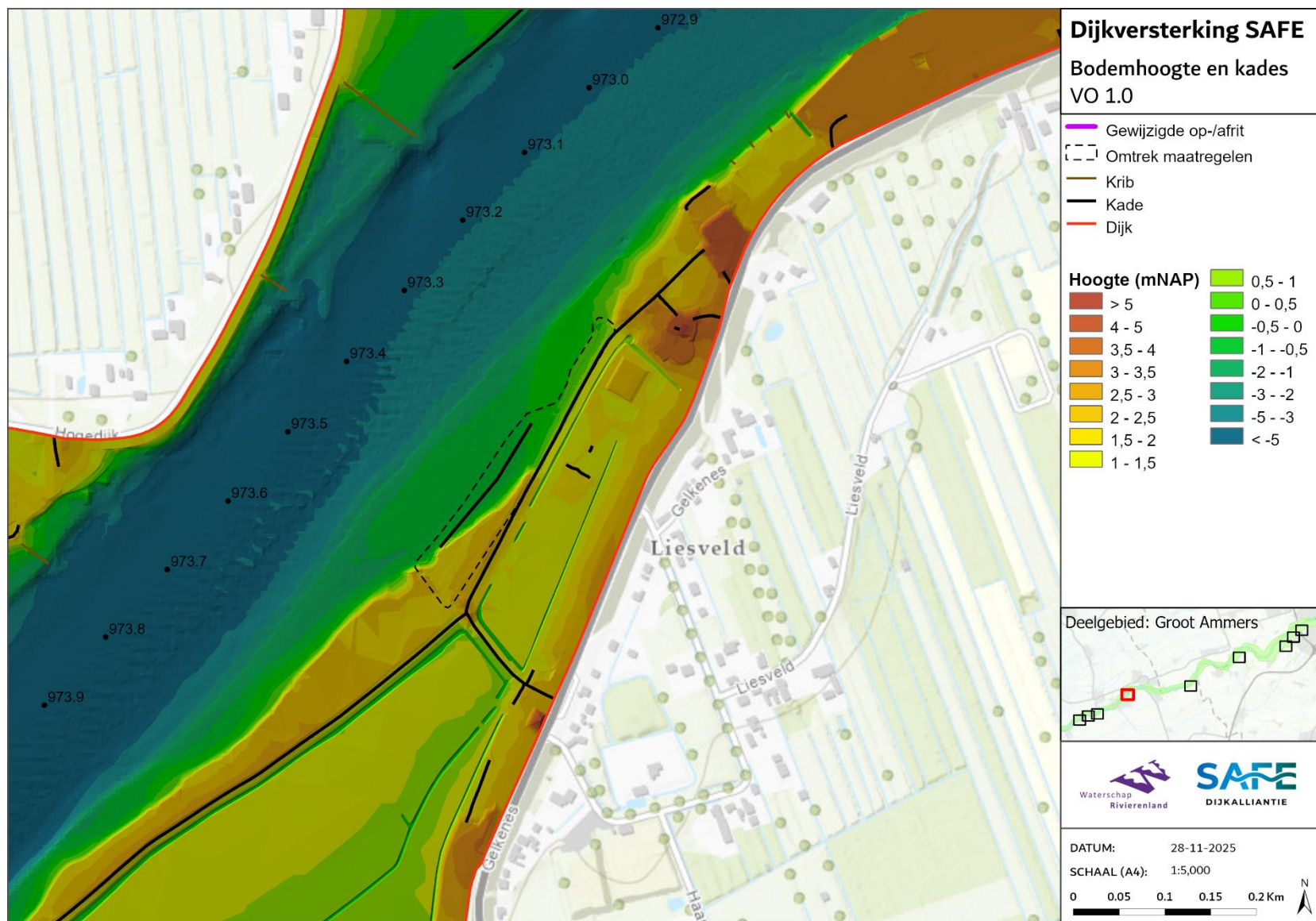
Dijkversterking SAFE

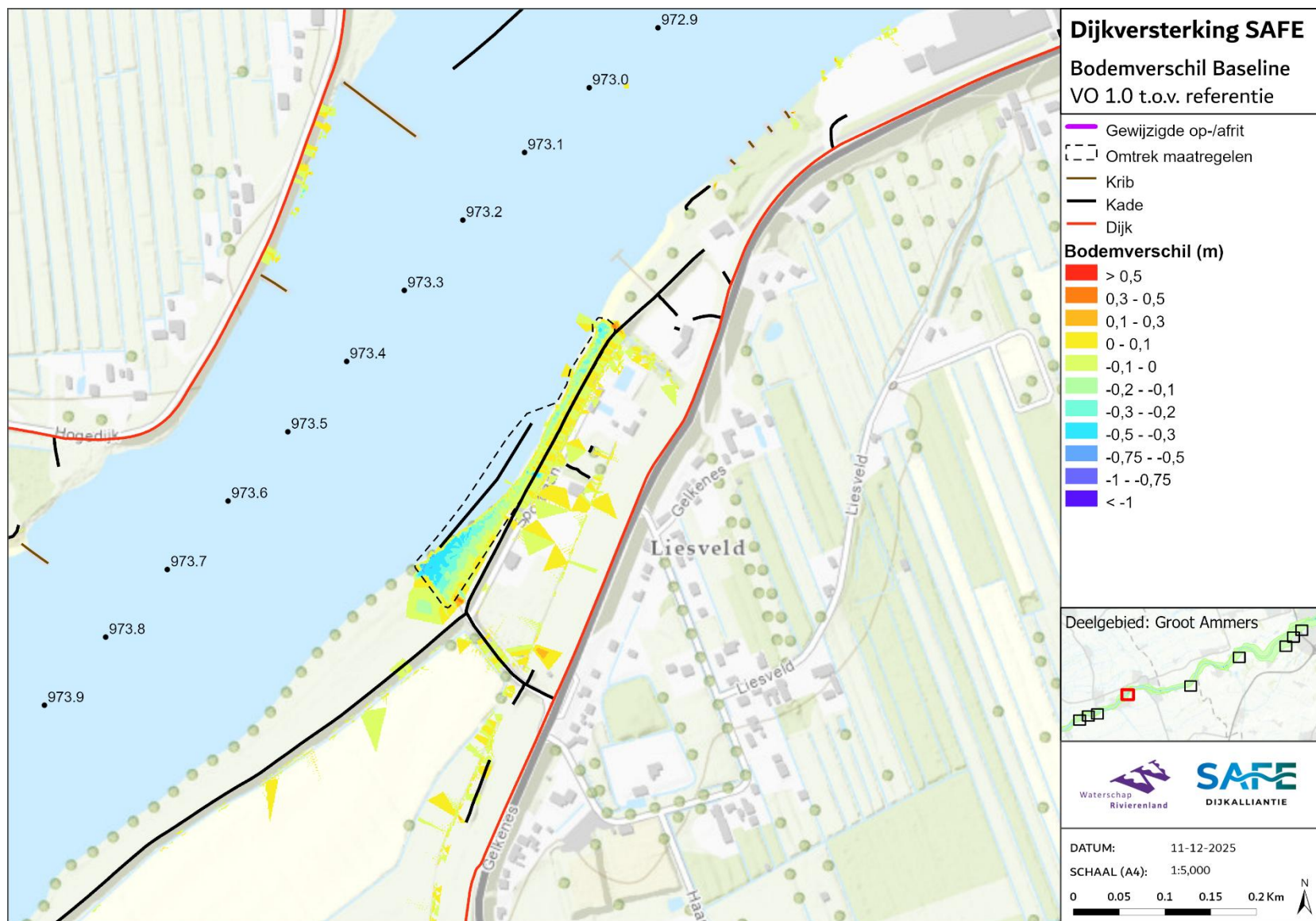
Rivierkundige beoordeling vergunningenontwerp (VO)



Compenserende maatregel Groot-Ammers

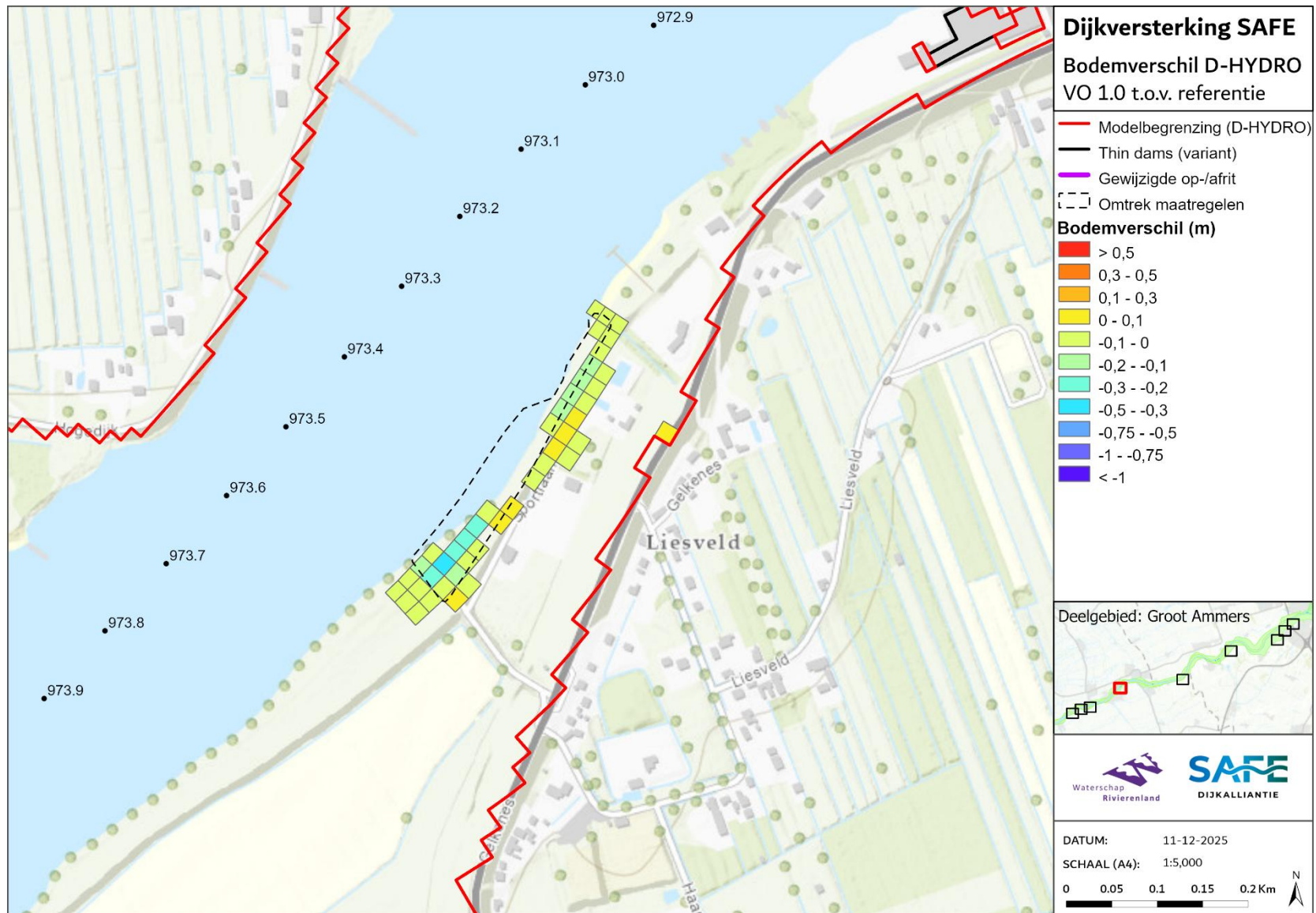






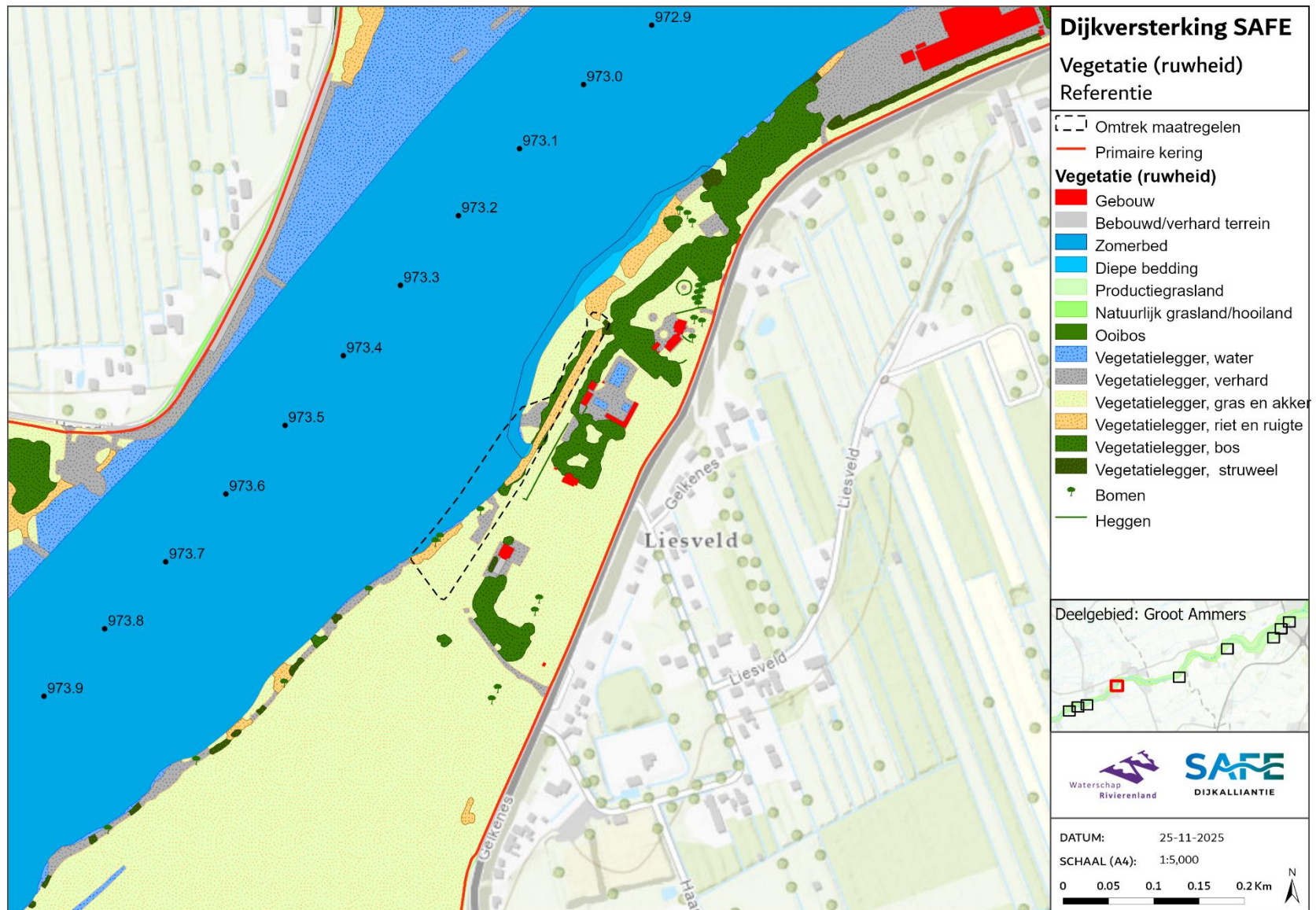
Dijkversterking SAFE

Rivierkundige beoordeling vergunningenontwerp (VO)



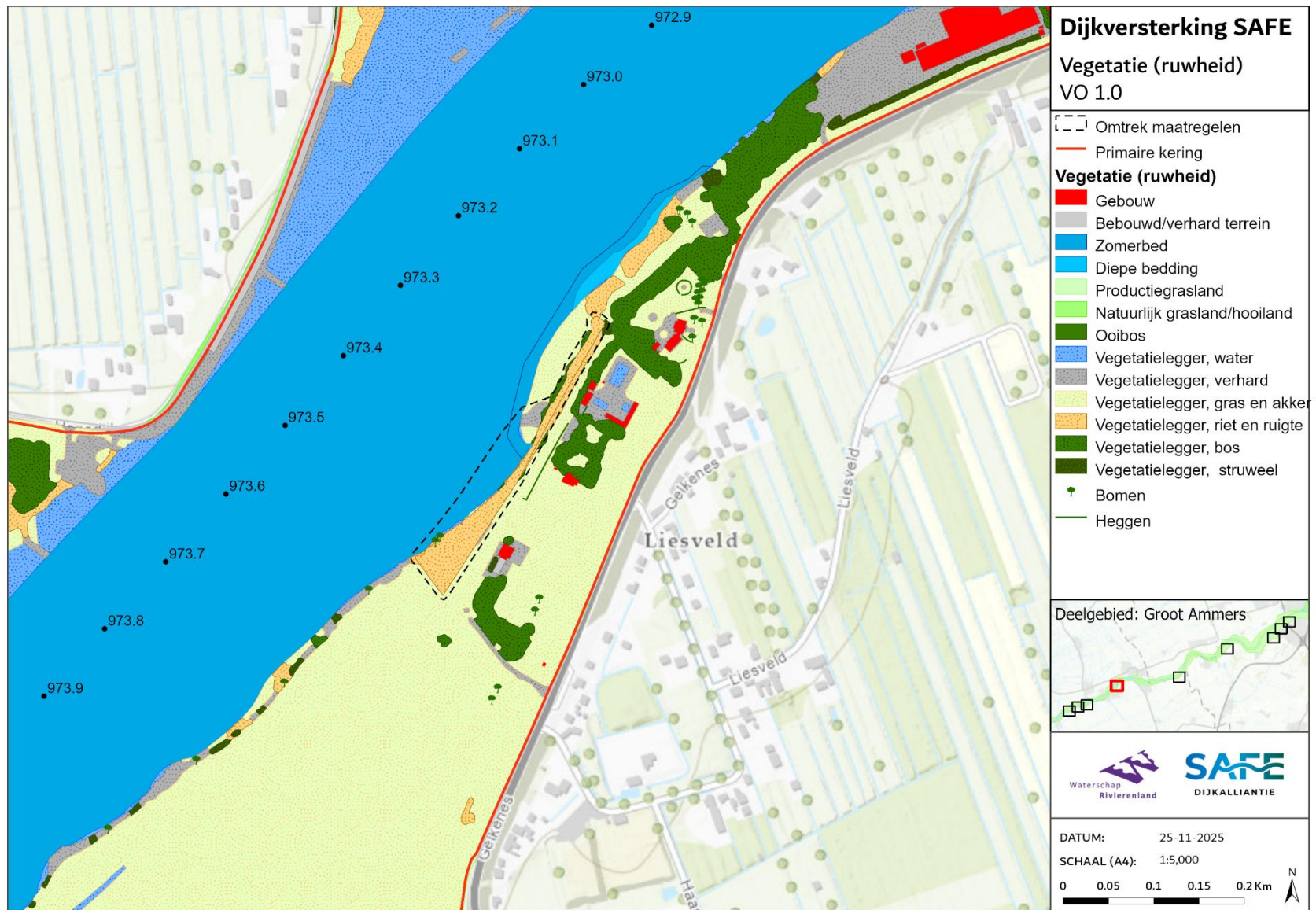
Dijkversterking SAFE

Rivierkundige beoordeling vergunningenontwerp (VO)



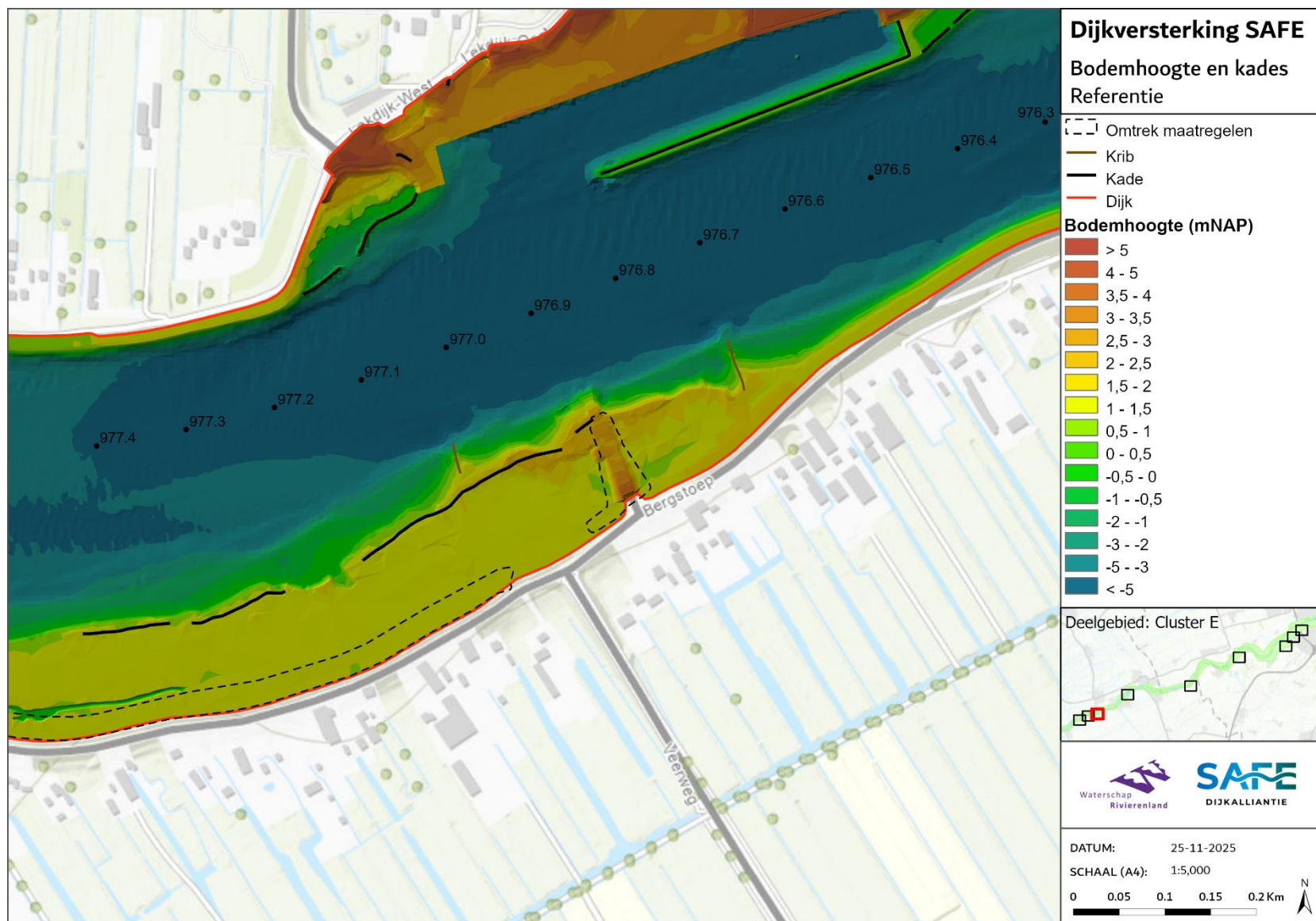
Dijkversterking SAFE

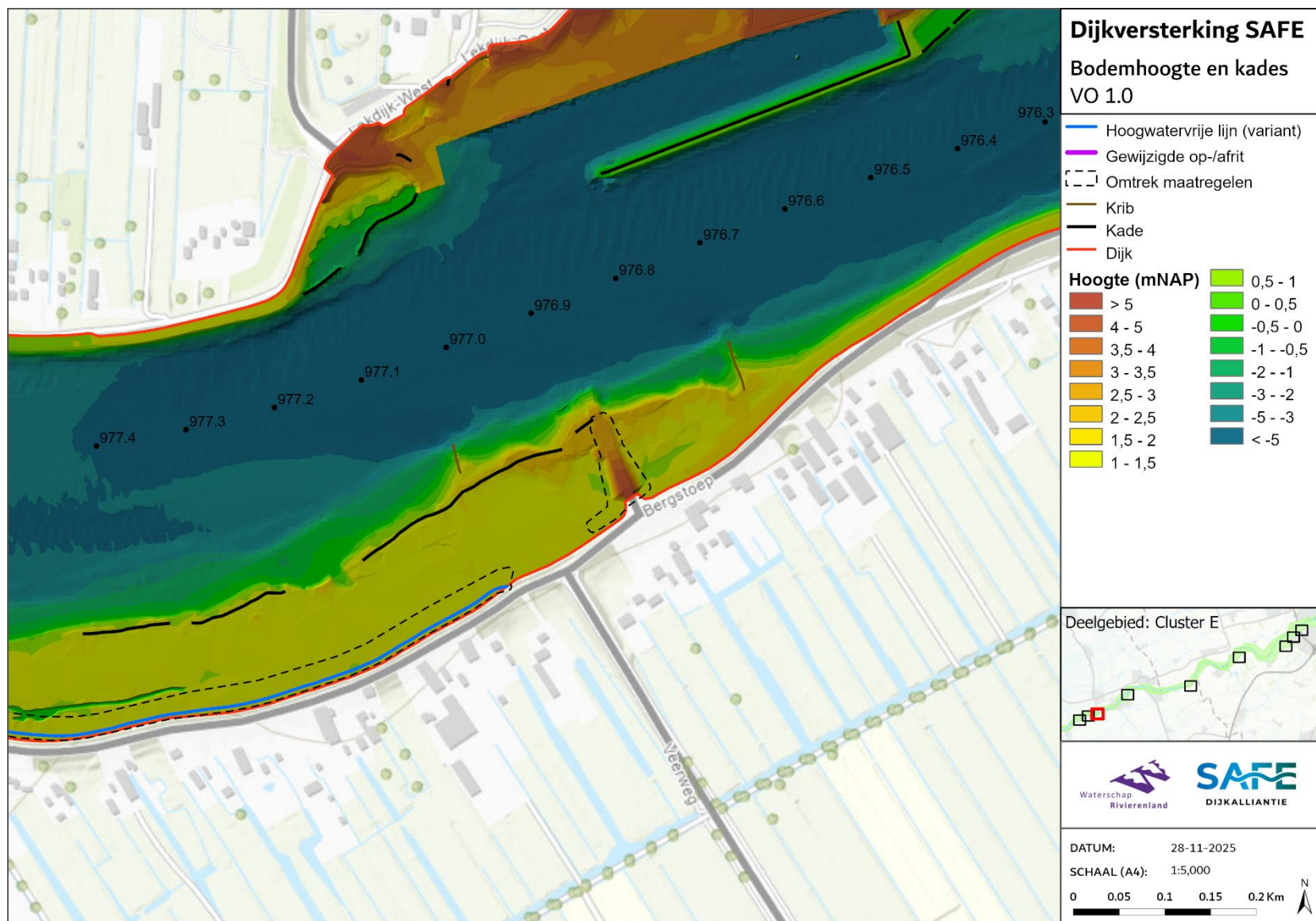
Rivierkundige beoordeling vergunningenontwerp (VO)

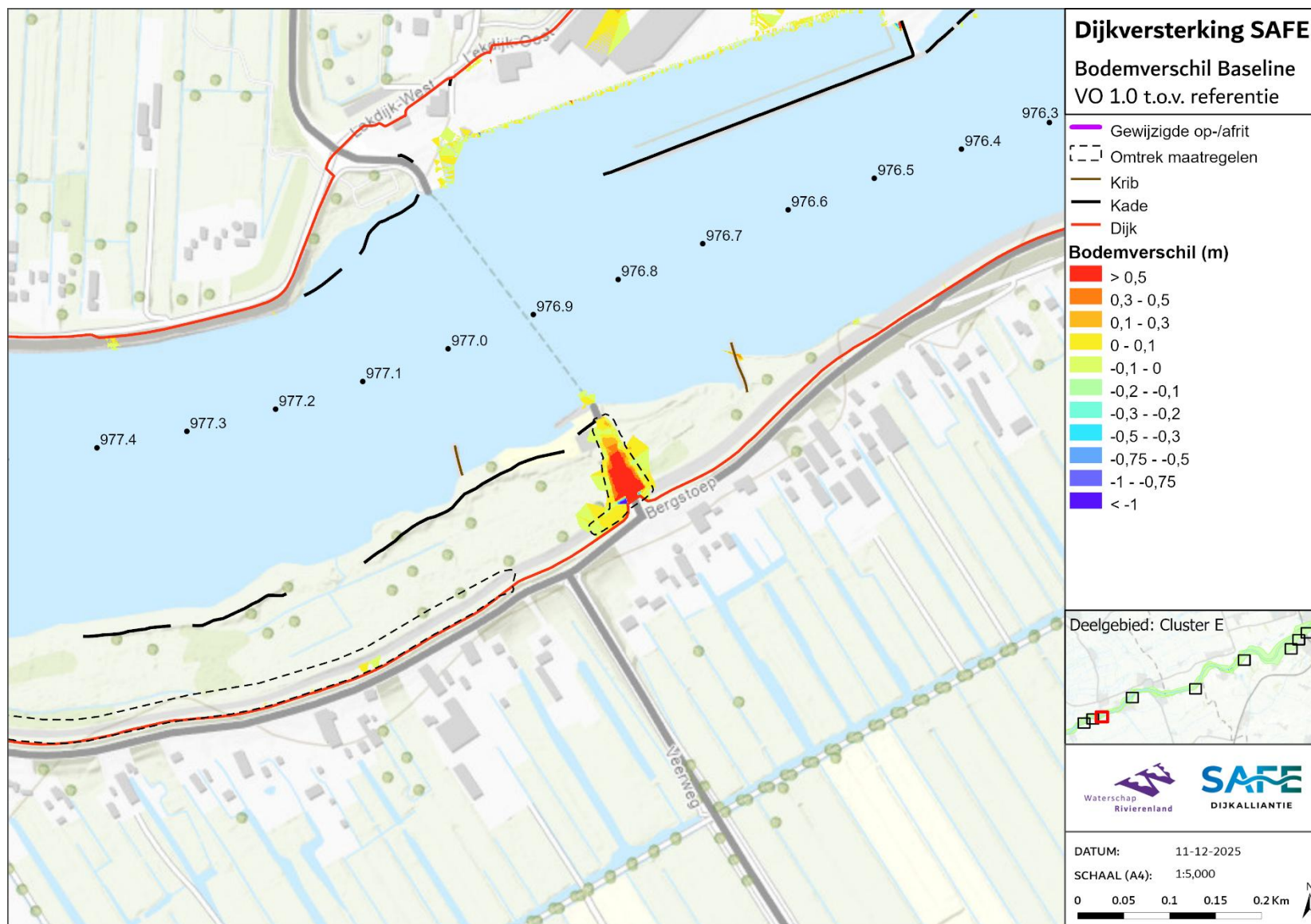


Dijkzone 11 (oost)

In deze kaarten zit het oostelijke deel van de dijkversterking in dijkzone 11, inclusief de aanpassing aan de toegangsweg naar de veerpont.

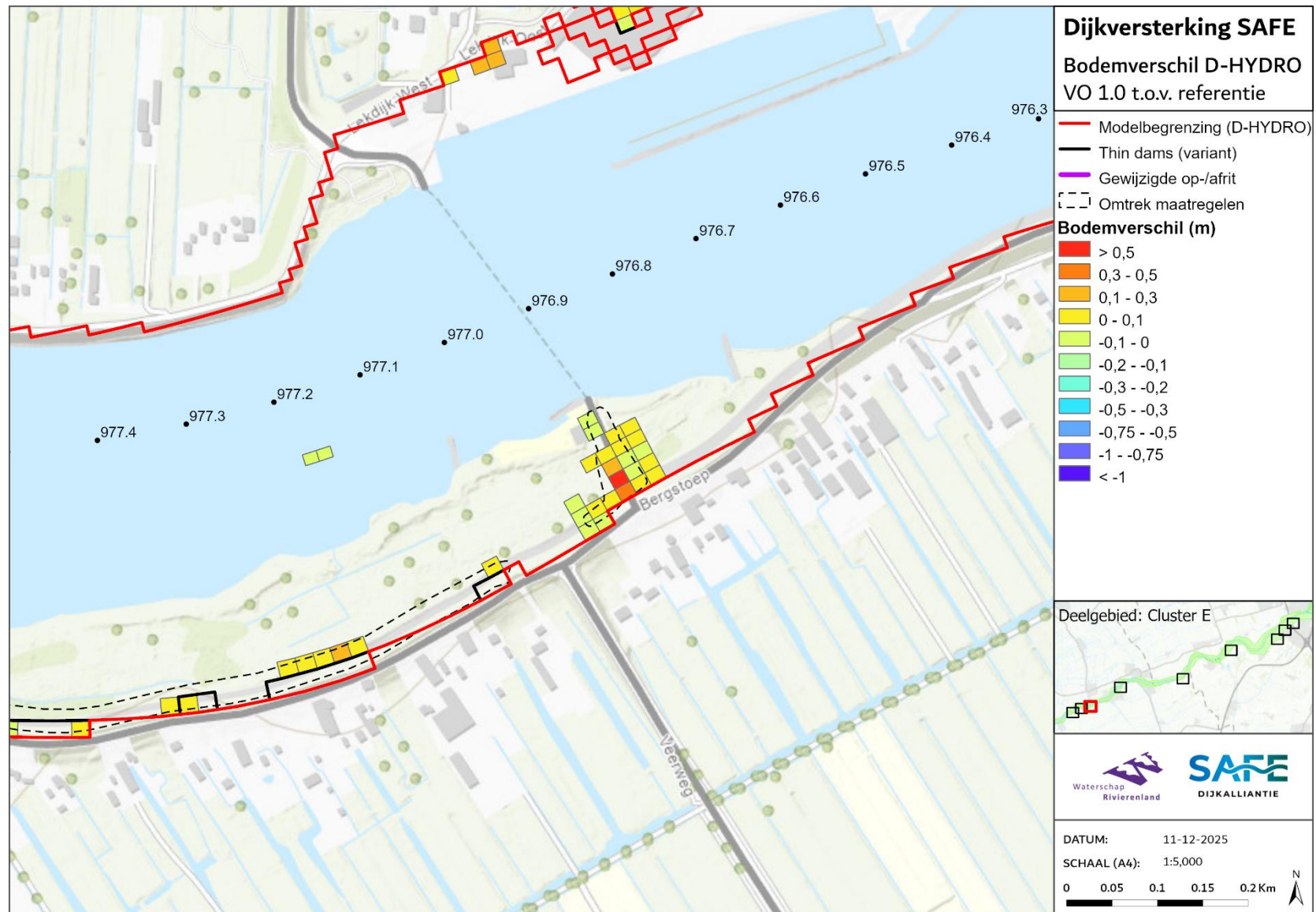


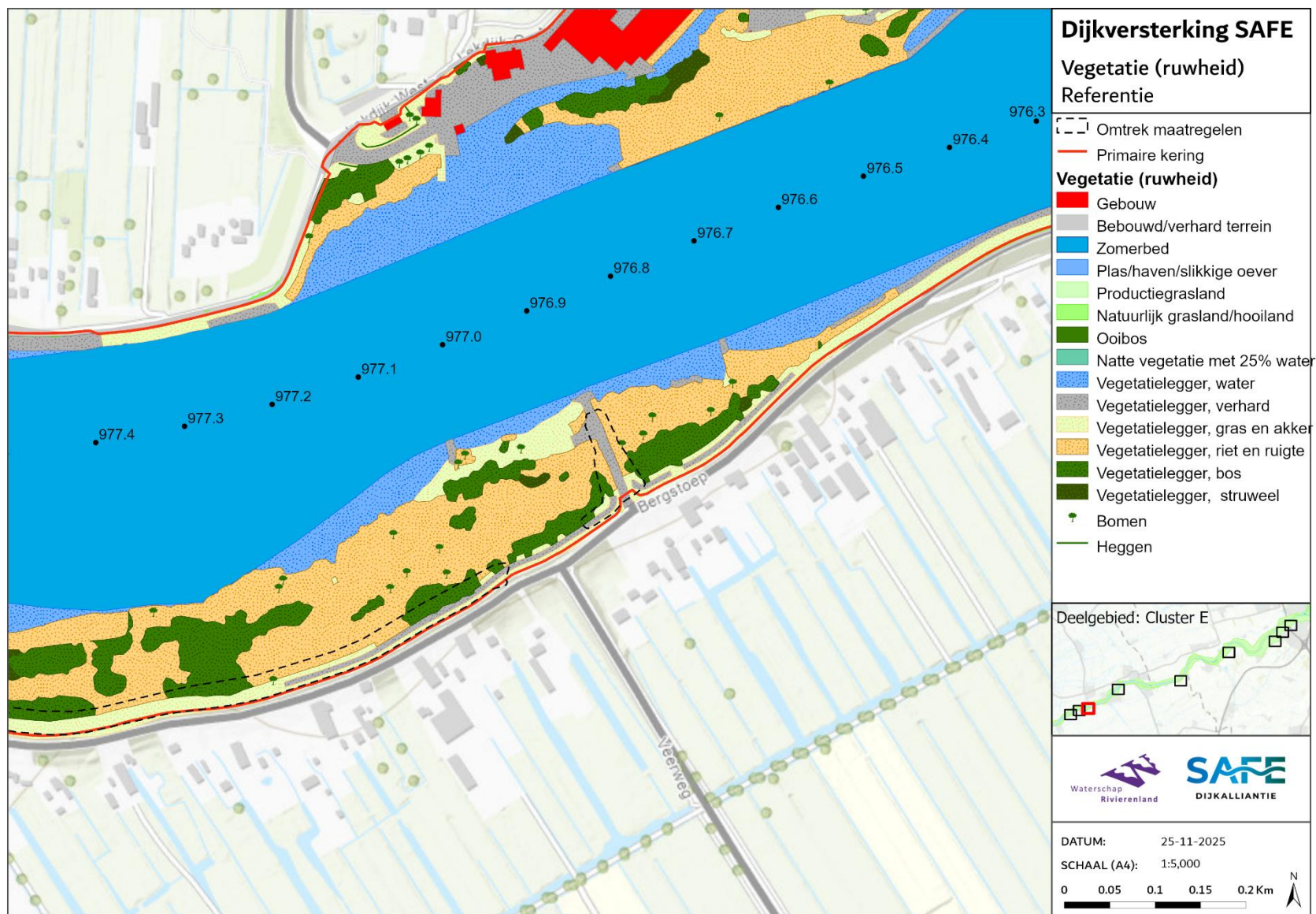




Dijkversterking SAFE

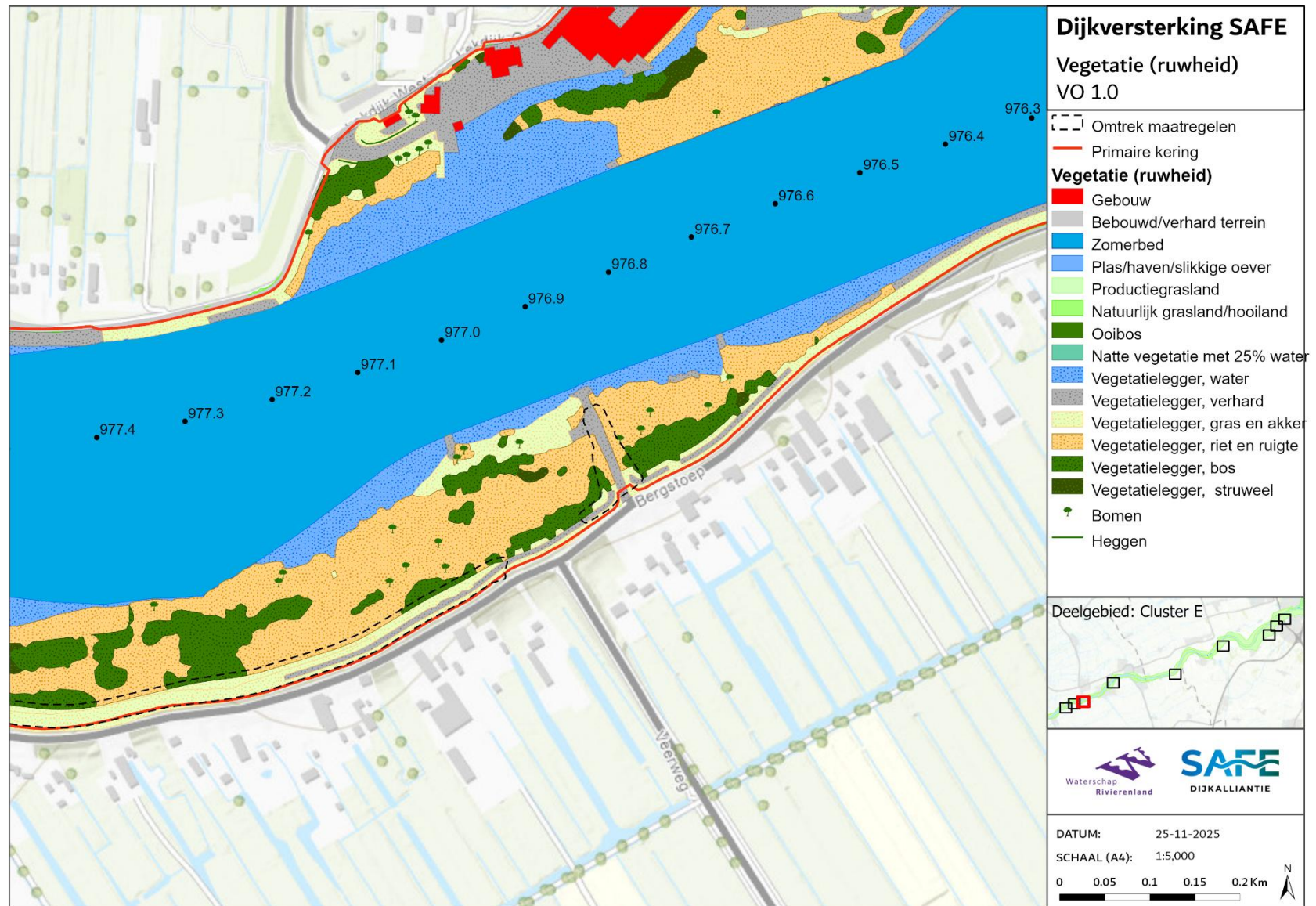
Rivierkundige beoordeling vergunningenontwerp (VO)





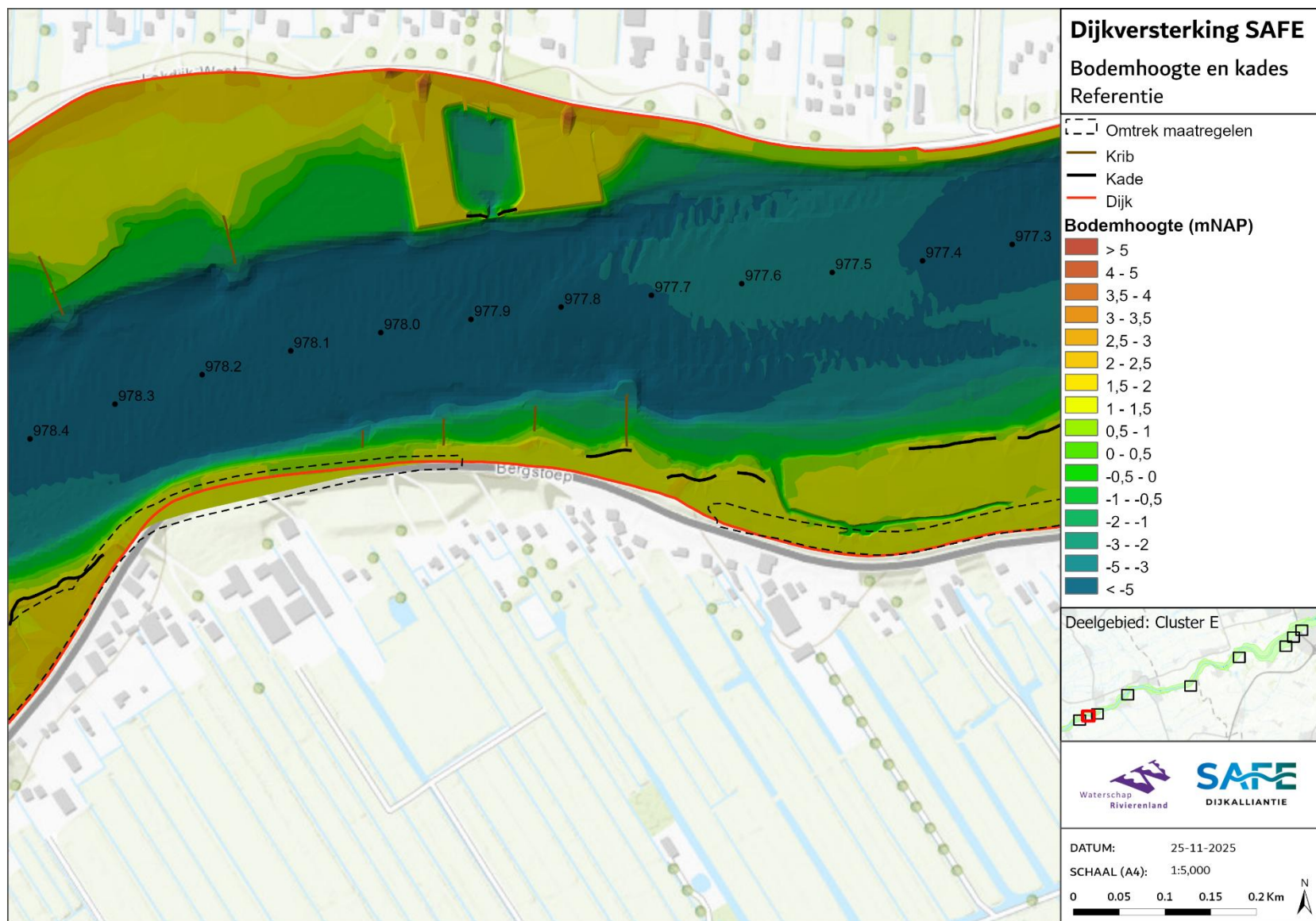
Dijkversterking SAFE

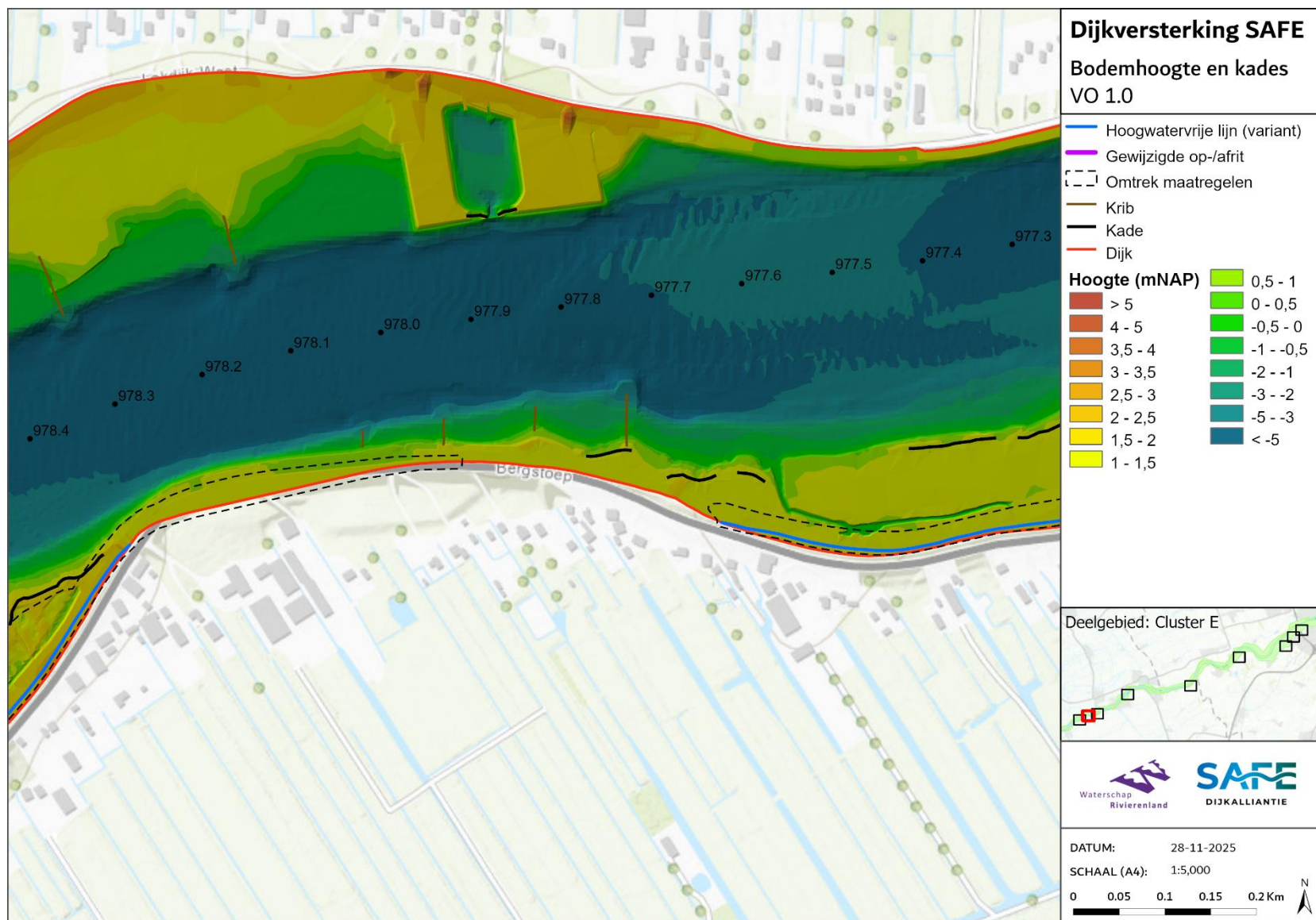
Rivierkundige beoordeling vergunningenontwerp (VO)



Dijkzone 11 (midden)

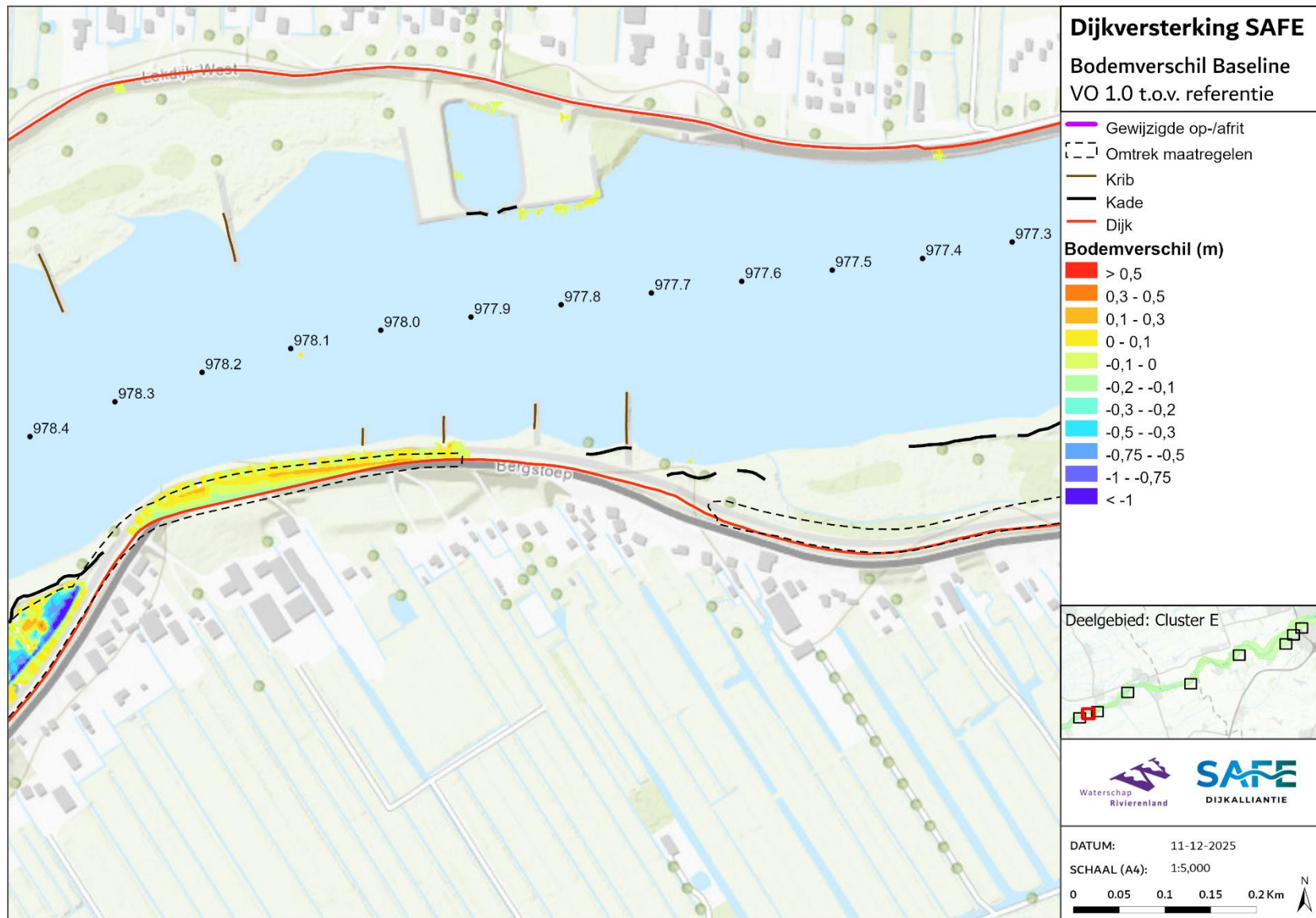
In deze kaarten zit het middelste deel van dijkzone 11, inclusief de landwaartse dijkverlegging bij Streefkerk.

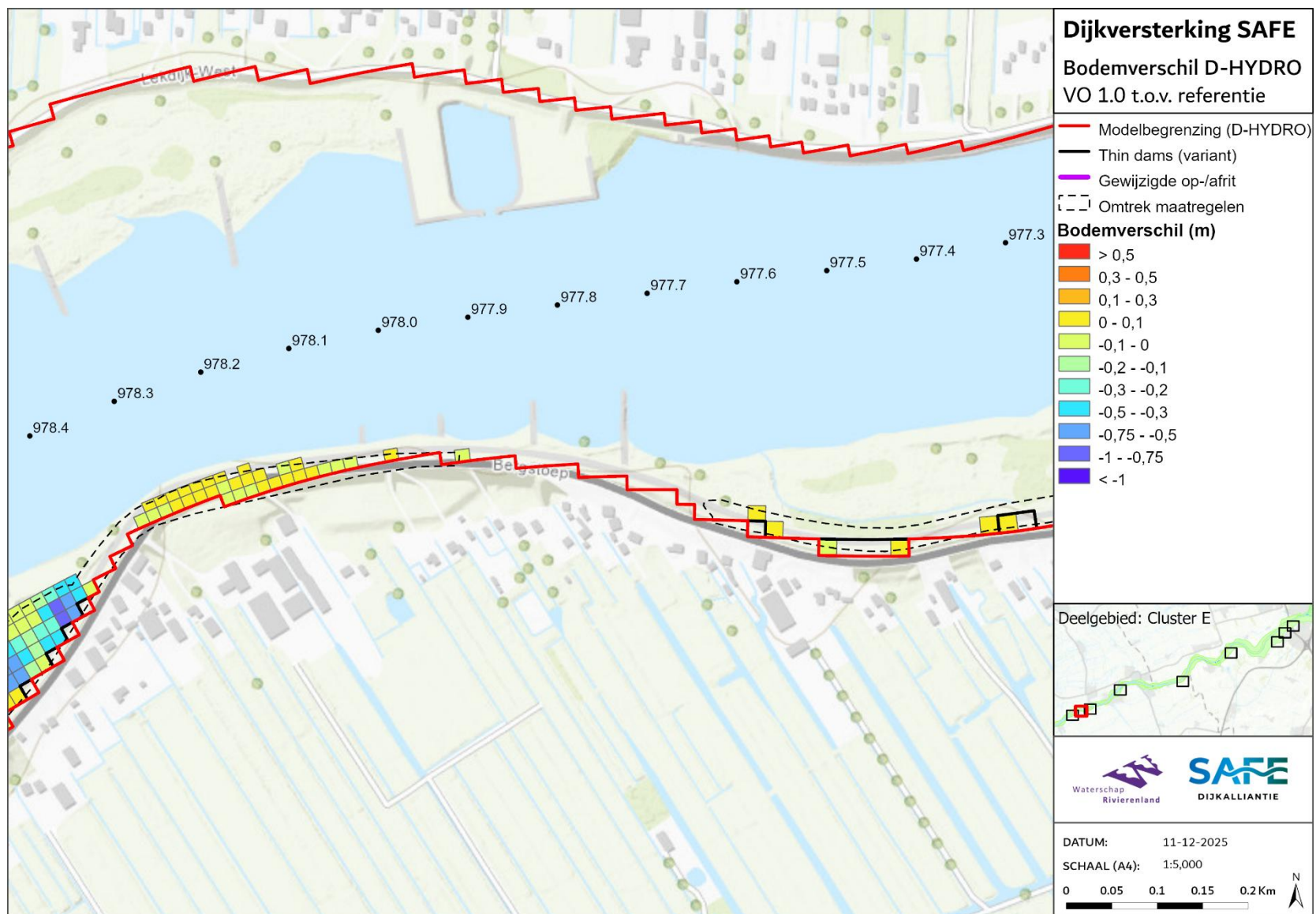


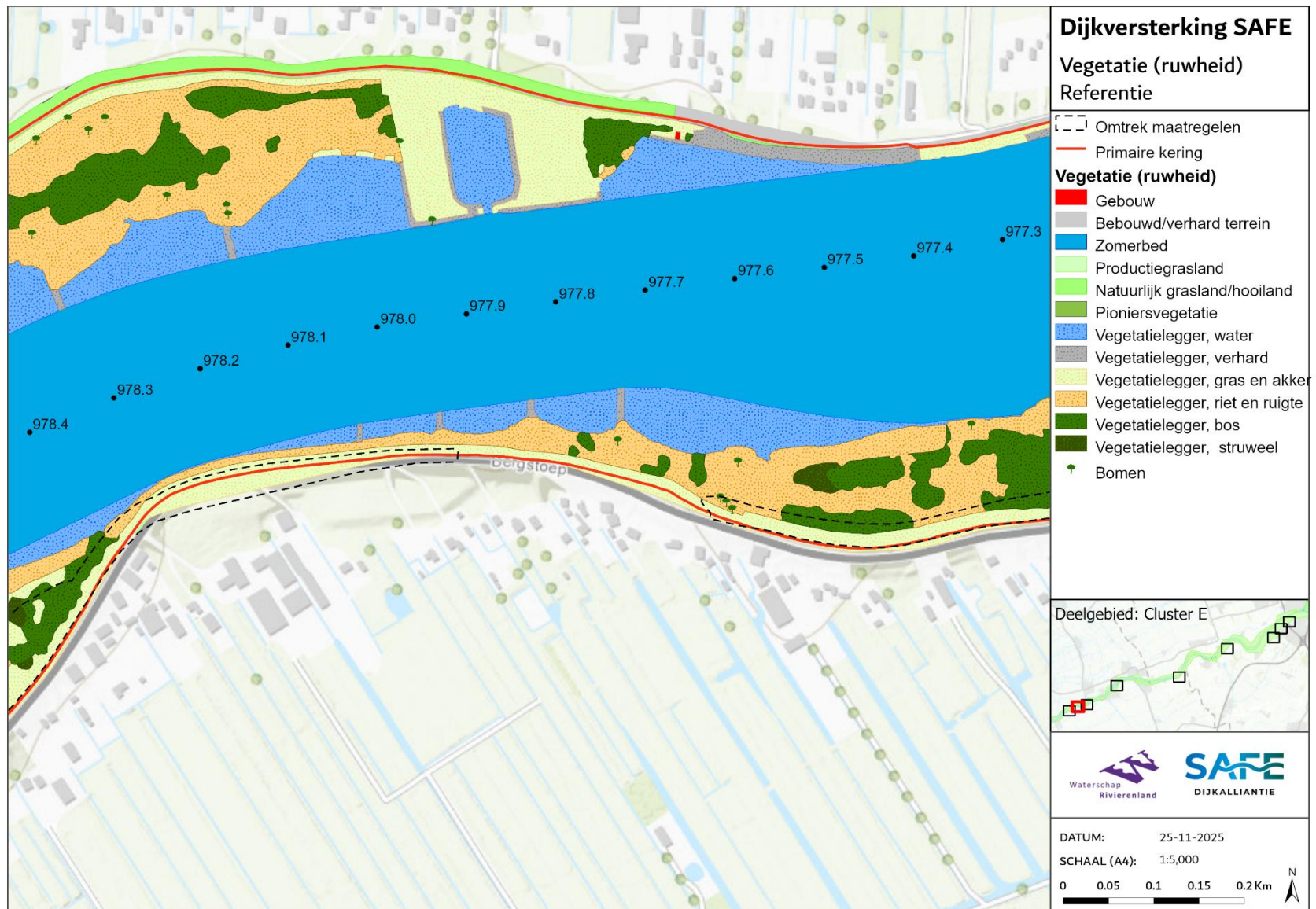


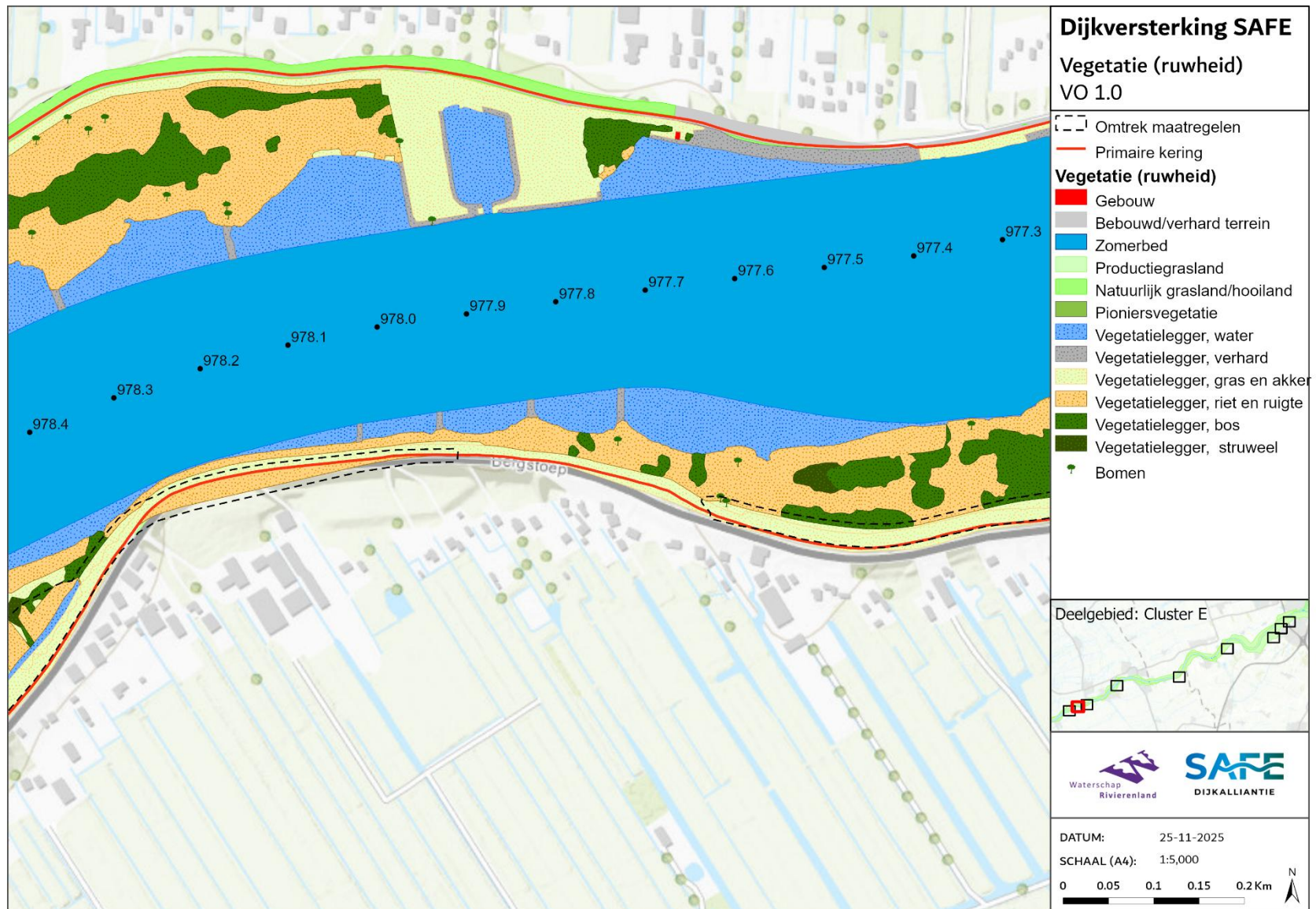
Dijkversterking SAFE

Rivierkundige beoordeling vergunningenontwerp (VO)







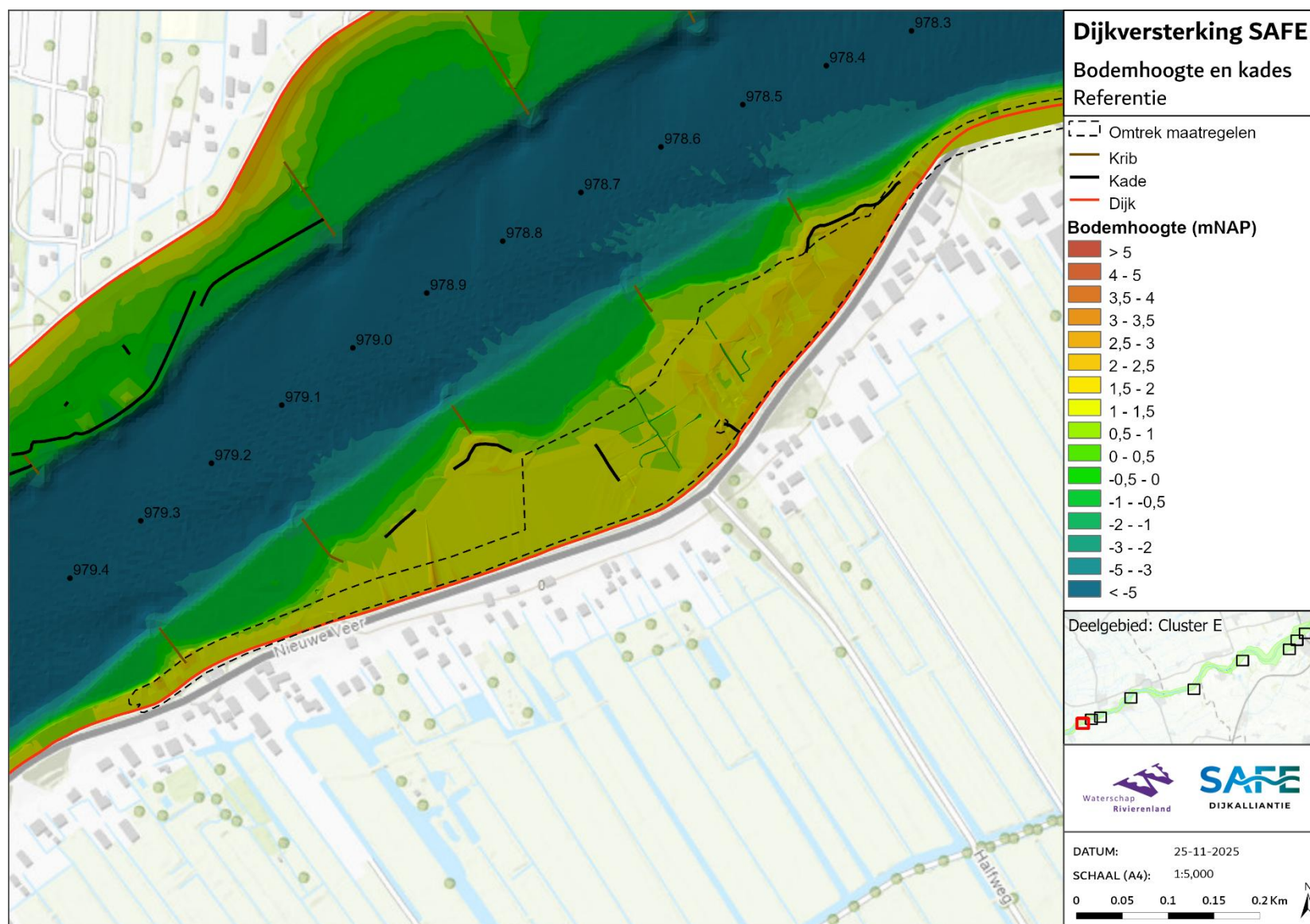


Dijkzone 11 (west)

In deze kaarten zit het westelijk deel van dijkzone 11 en de compenserende maatregel bij Streefkerk (perceel West).

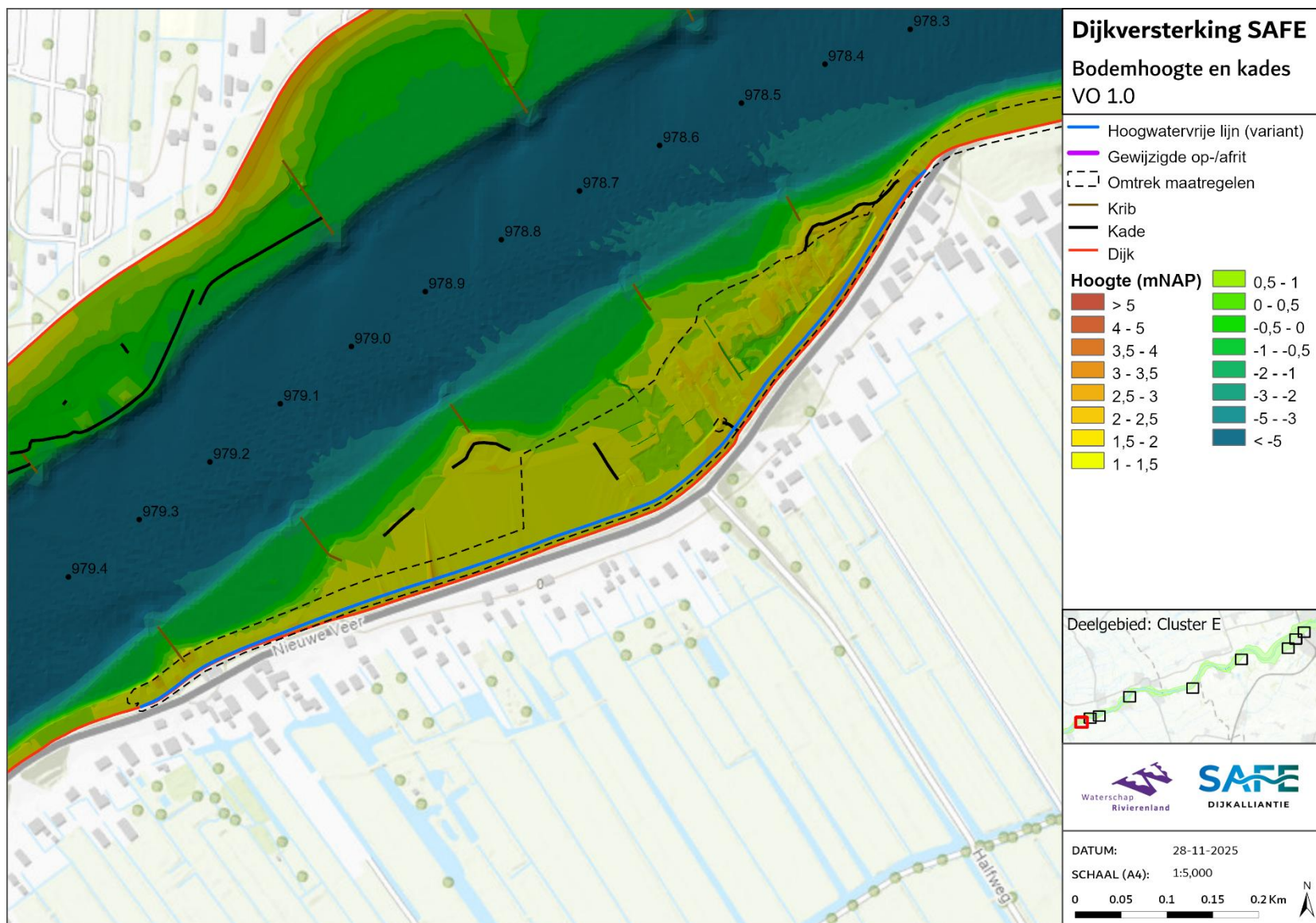
Dijkversterking SAFE

Rivierkundige beoordeling vergunningenontwerp (VO)



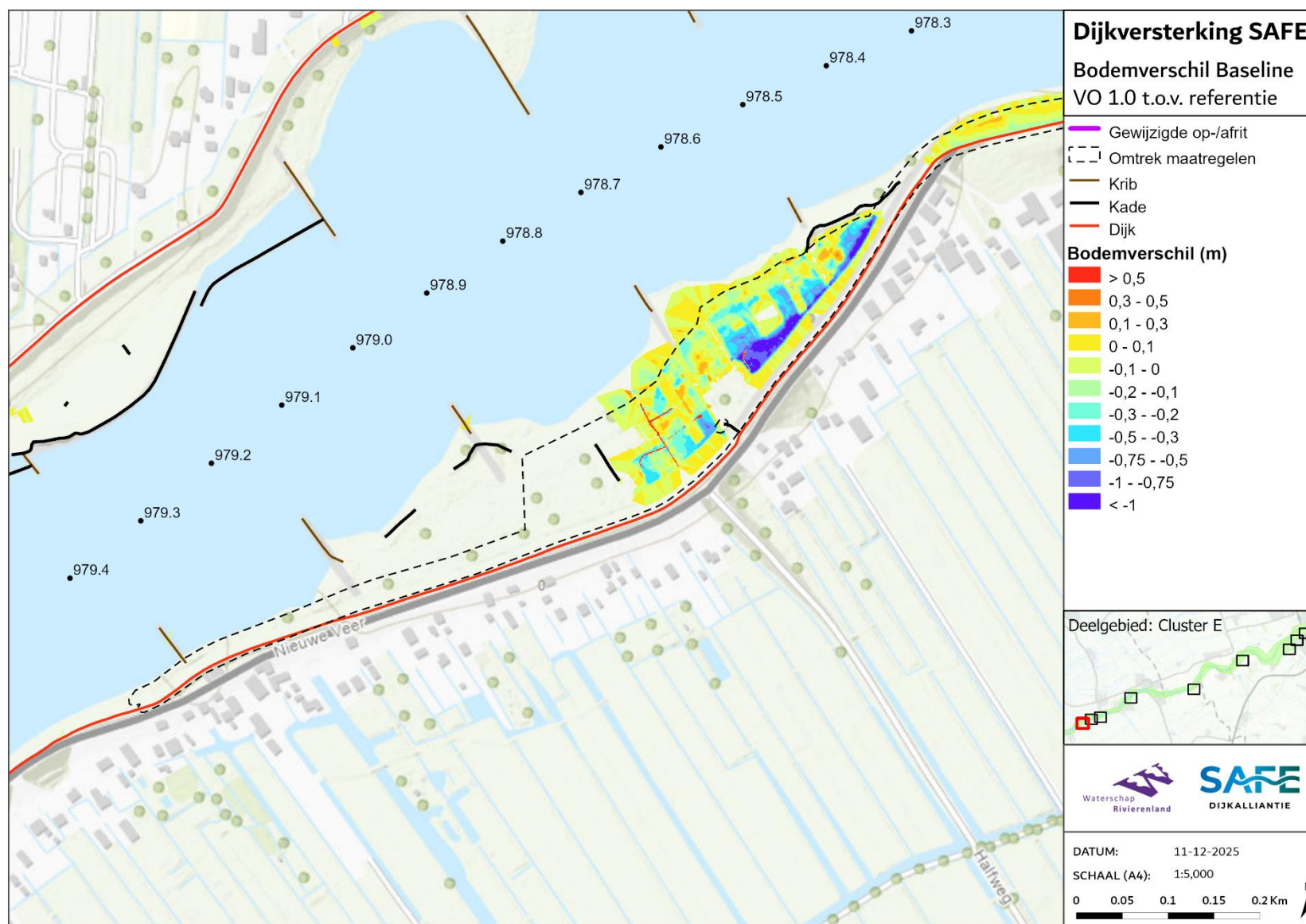
Dijkversterking SAFE

Rivierkundige beoordeling vergunningenontwerp (VO)



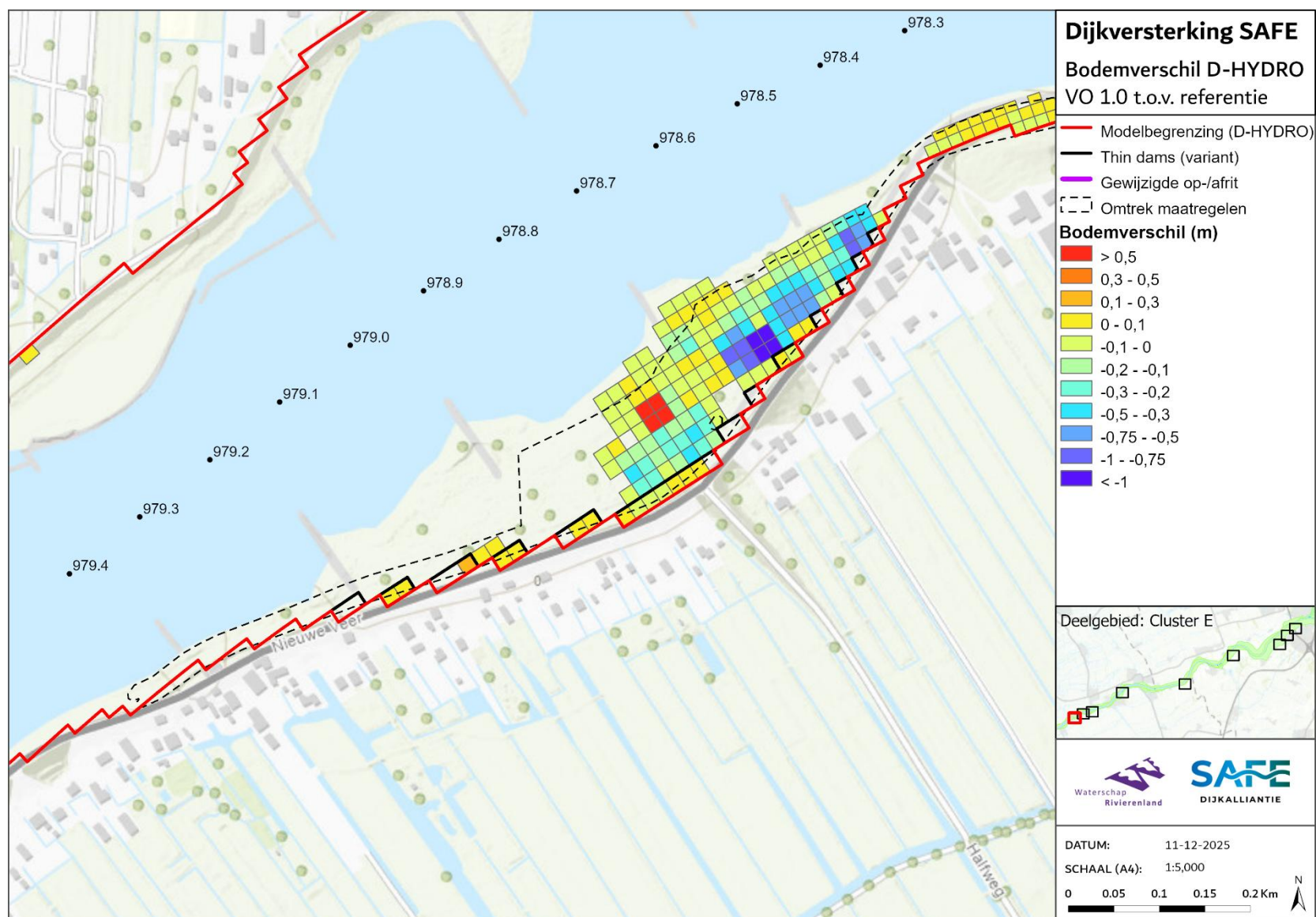
Dijkversterking SAFE

Rivierkundige beoordeling vergunningenontwerp (VO)



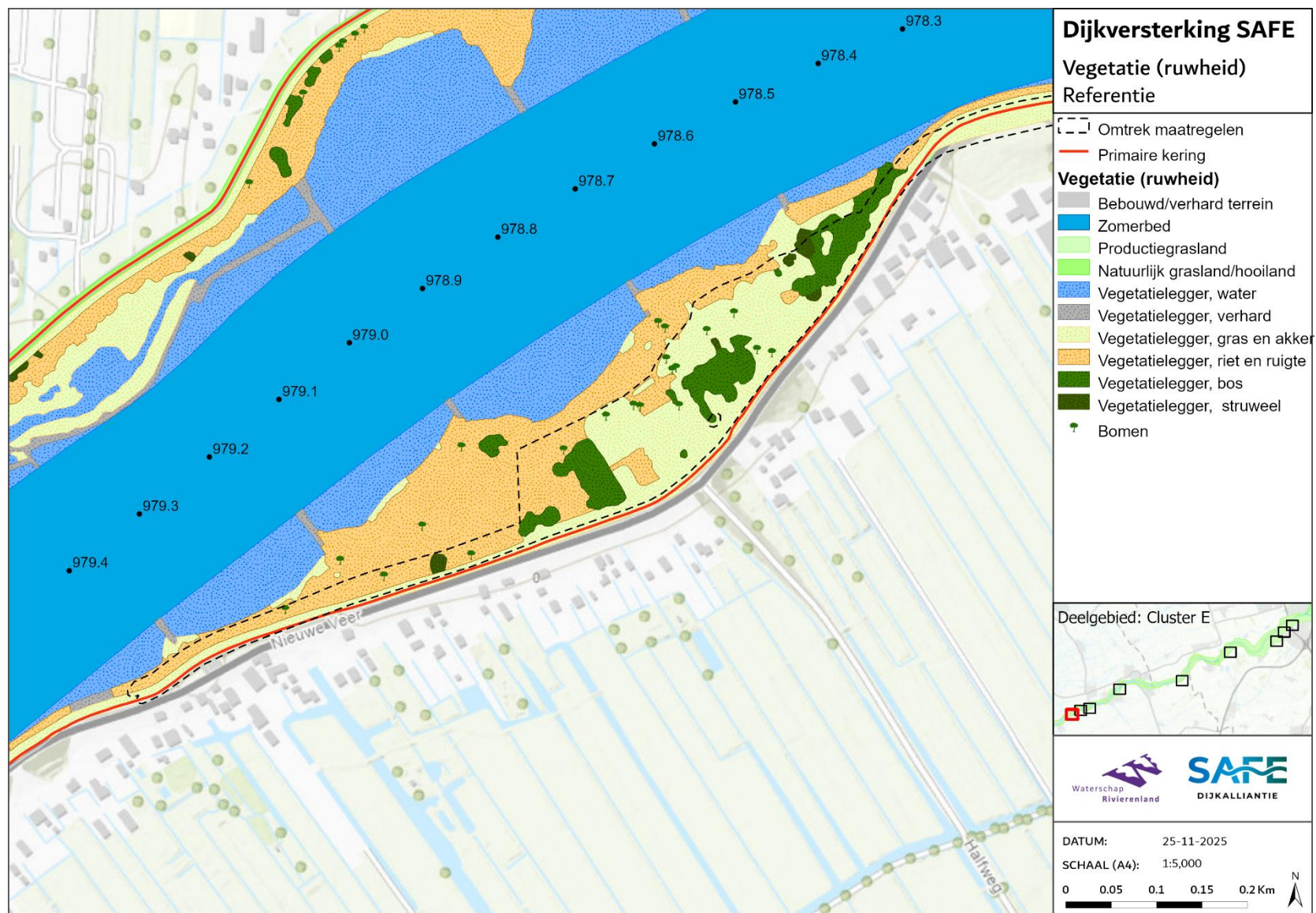
Dijkversterking SAFE

Rivierkundige beoordeling vergunningenontwerp (VO)



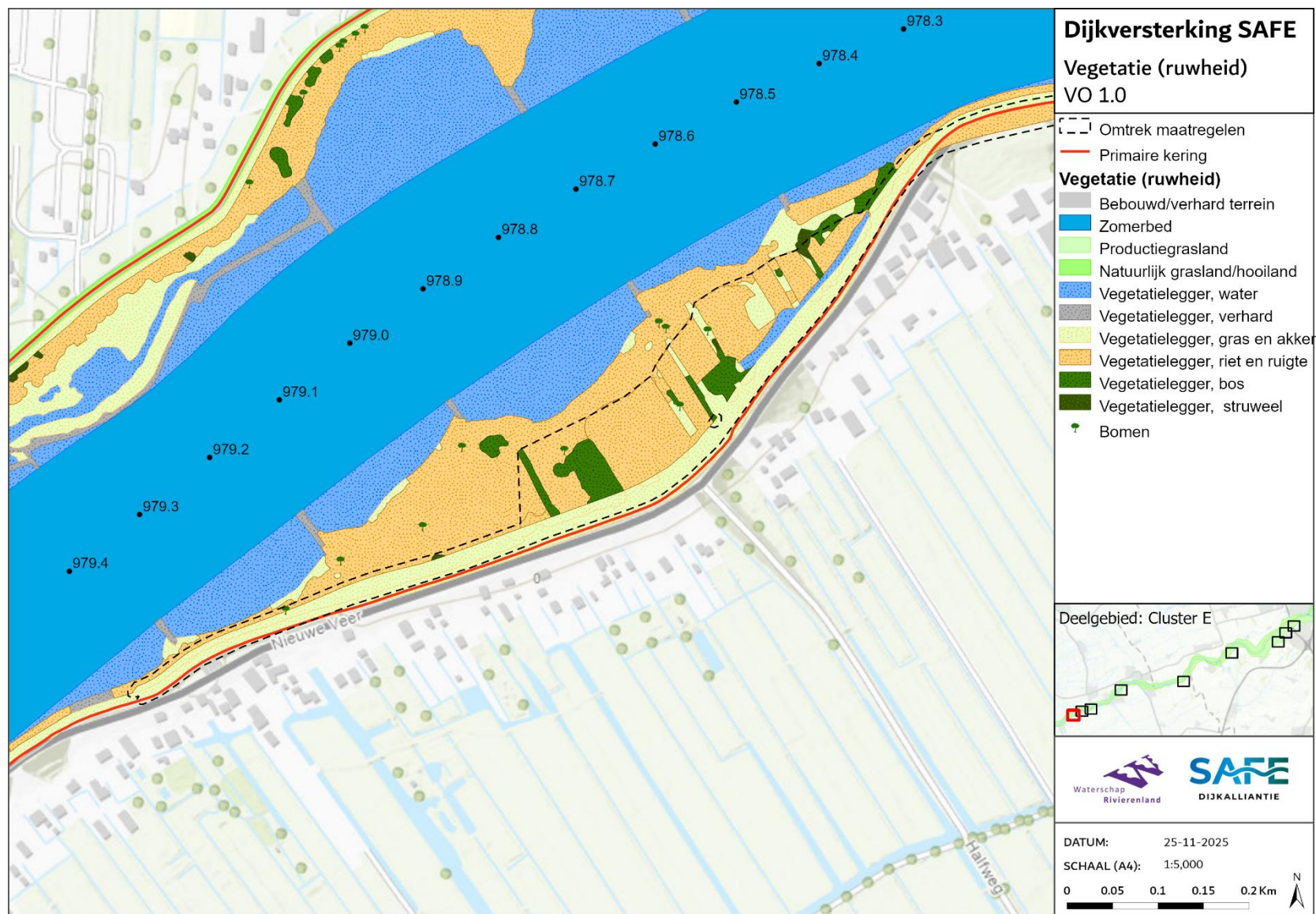
Dijkversterking SAFE

Rivierkundige beoordeling vergunningenontwerp (VO)



Dijkversterking SAFE

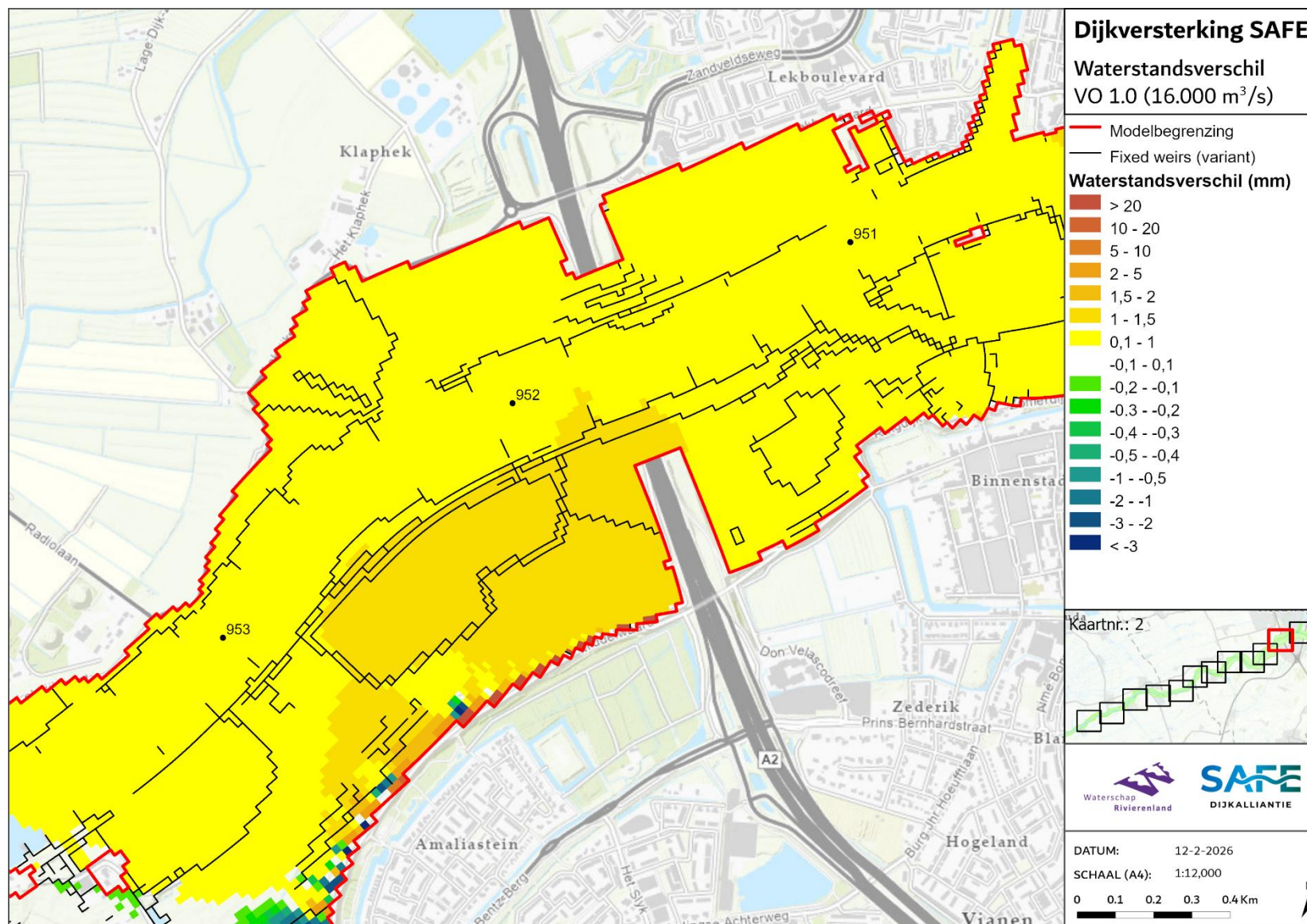
Rivierkundige beoordeling vergunningenontwerp (VO)

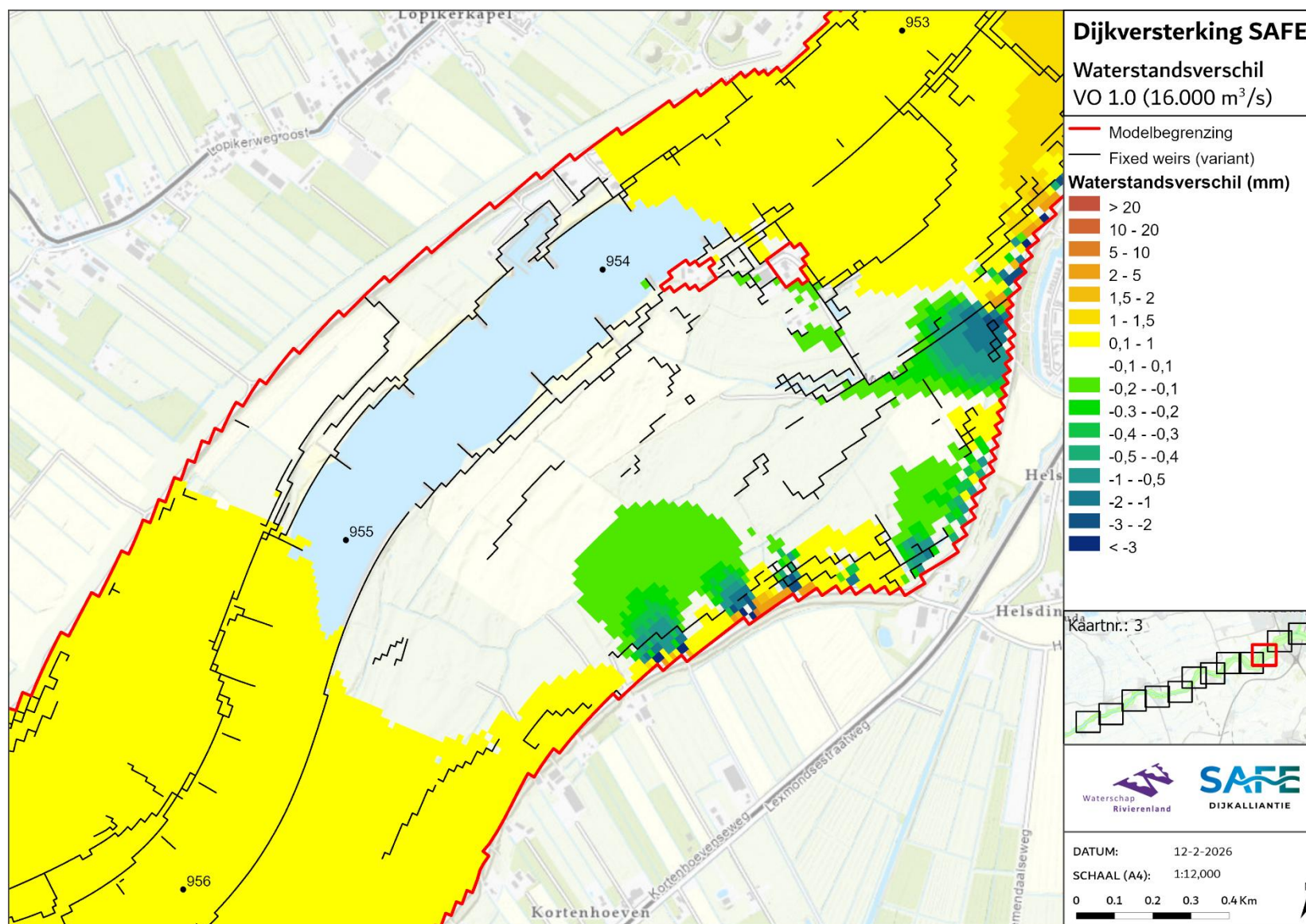


Bijlage C Waterstandsverschil hoogwaterreferentie buiten de rivieras

Dijkversterking SAFE

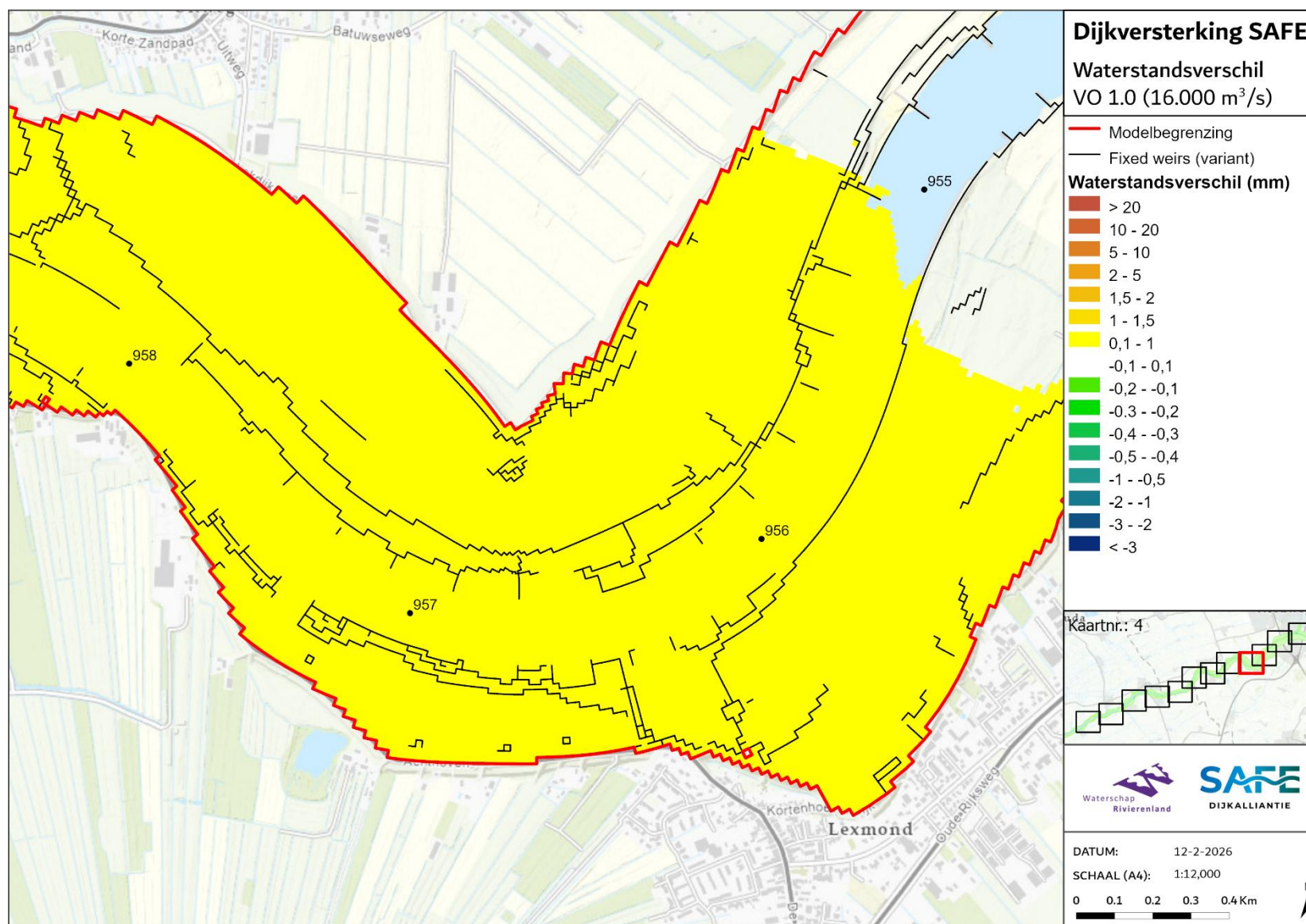
Rivierkundige beoordeling vergunningenontwerp (VO)





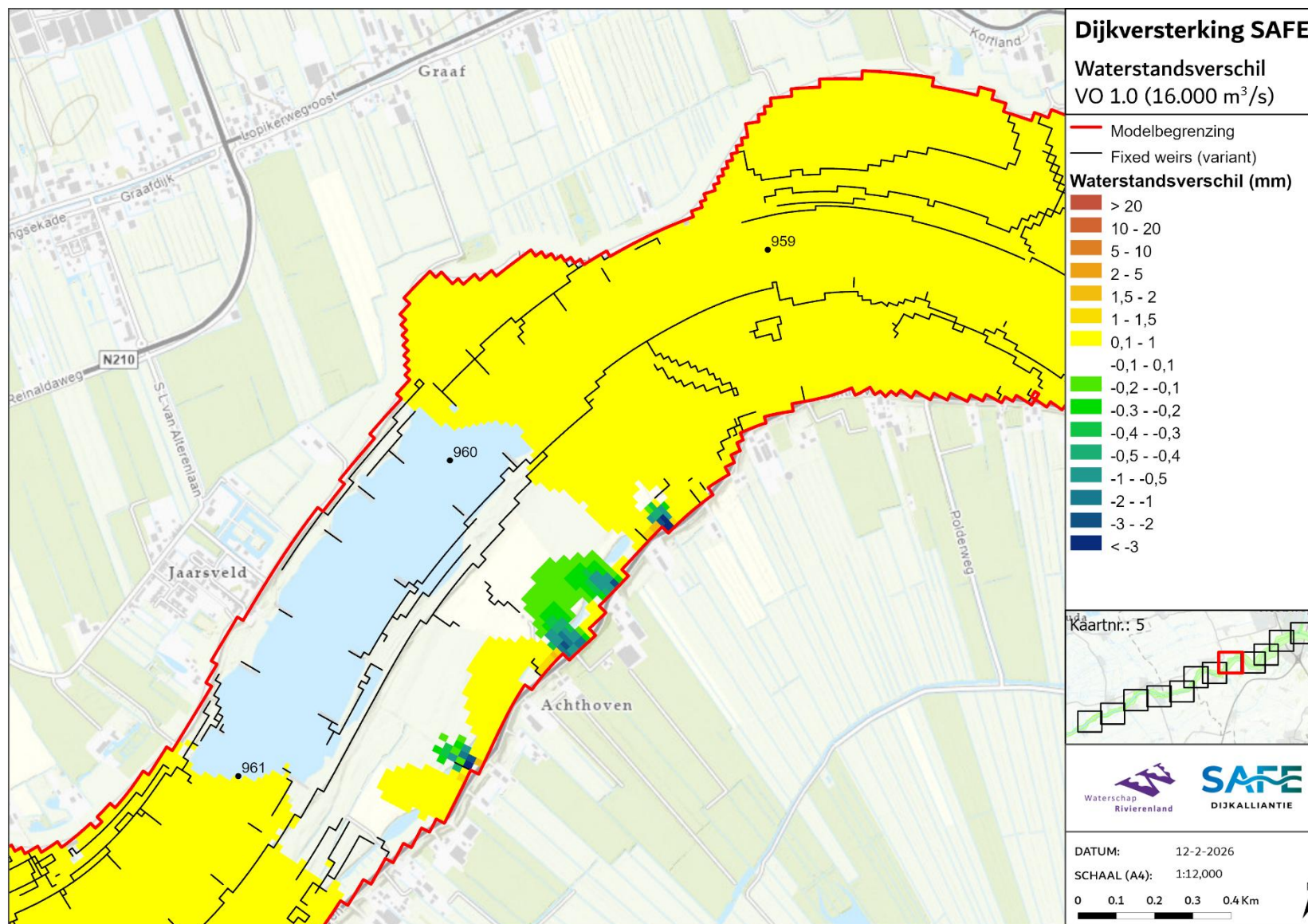
Dijkversterking SAFE

Rivierkundige beoordeling vergunningenontwerp (VO)



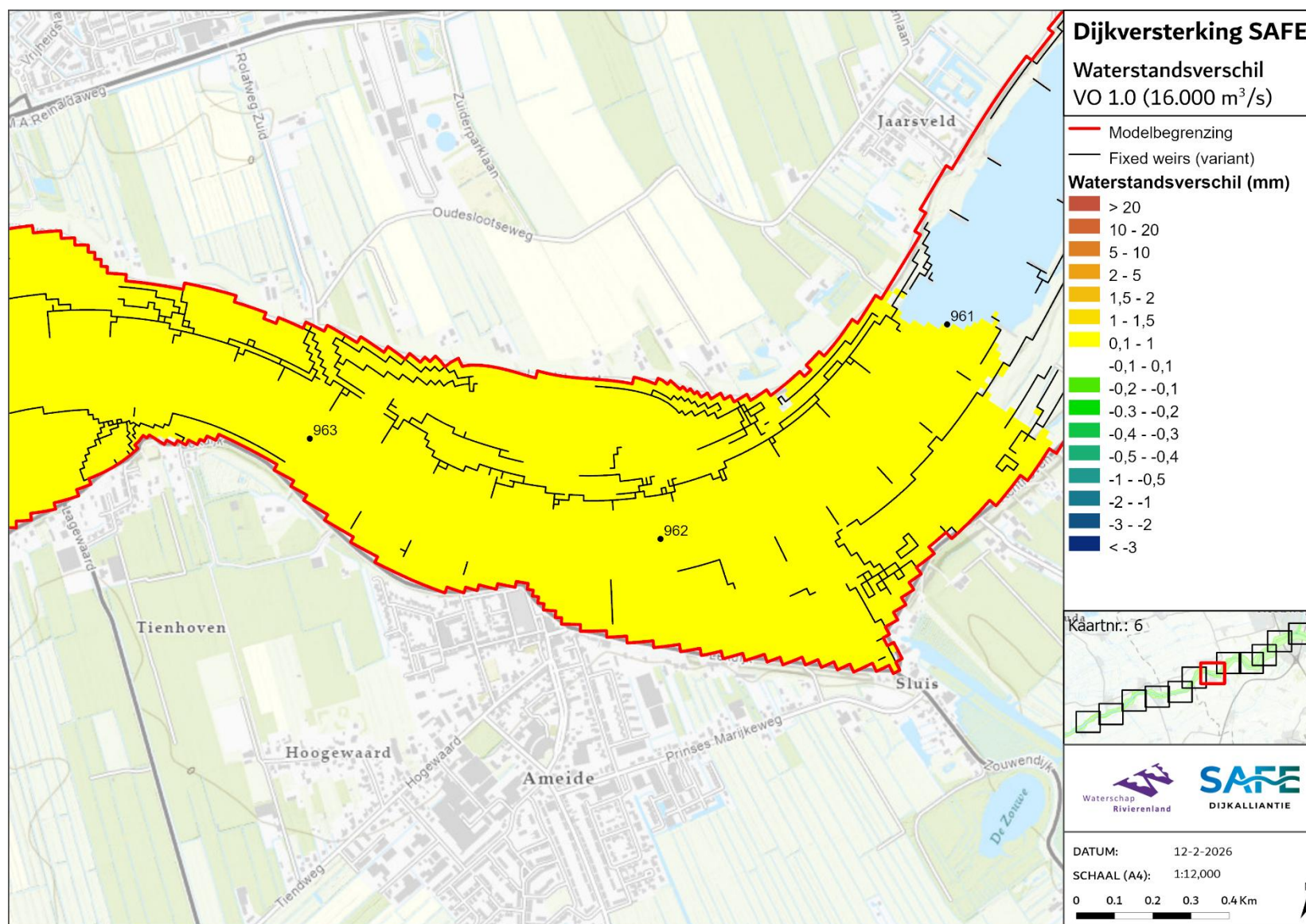
Dijkversterking SAFE

Rivierkundige beoordeling vergunningenontwerp (VO)



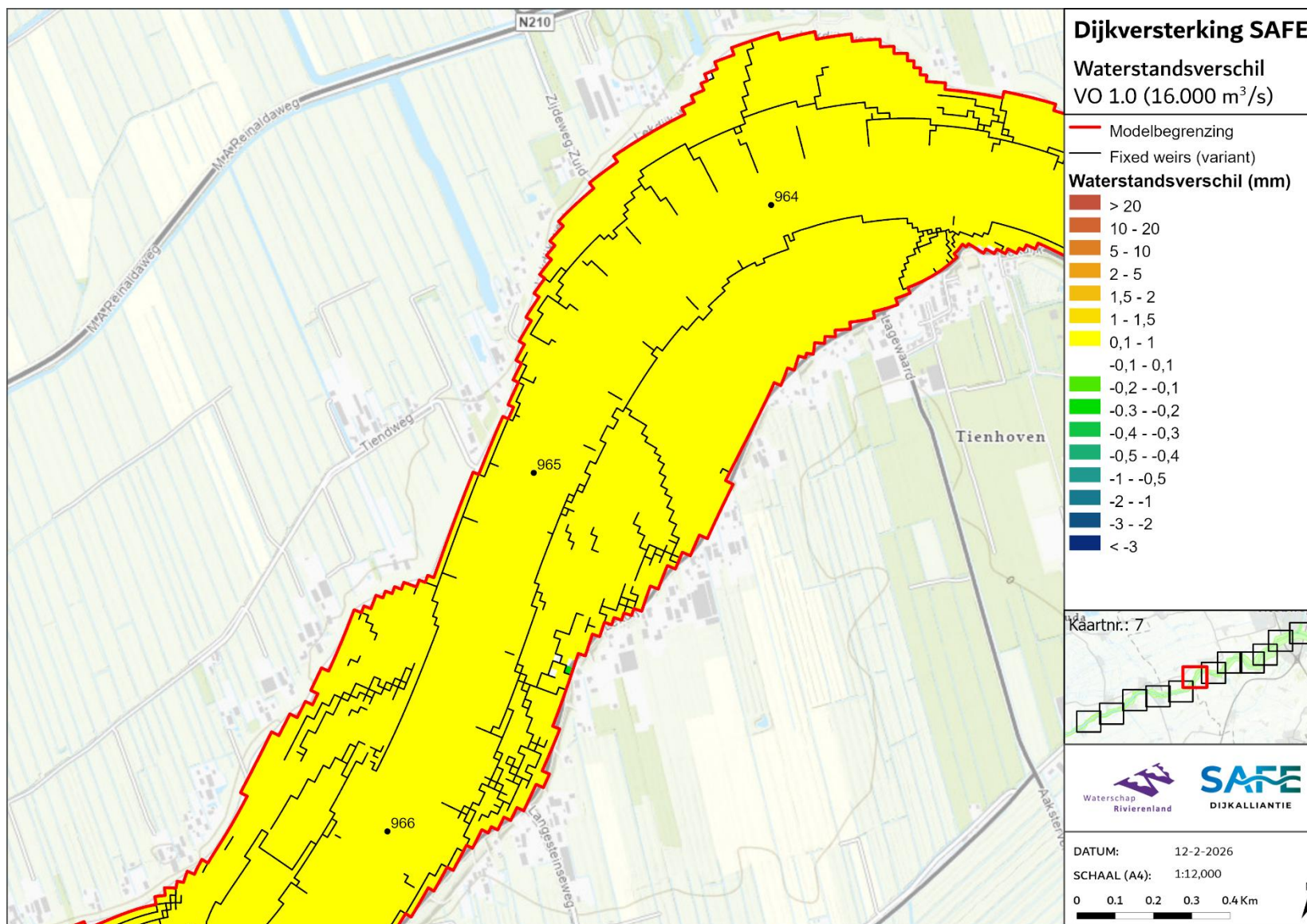
Dijkversterking SAFE

Rivierkundige beoordeling vergunningenontwerp (VO)



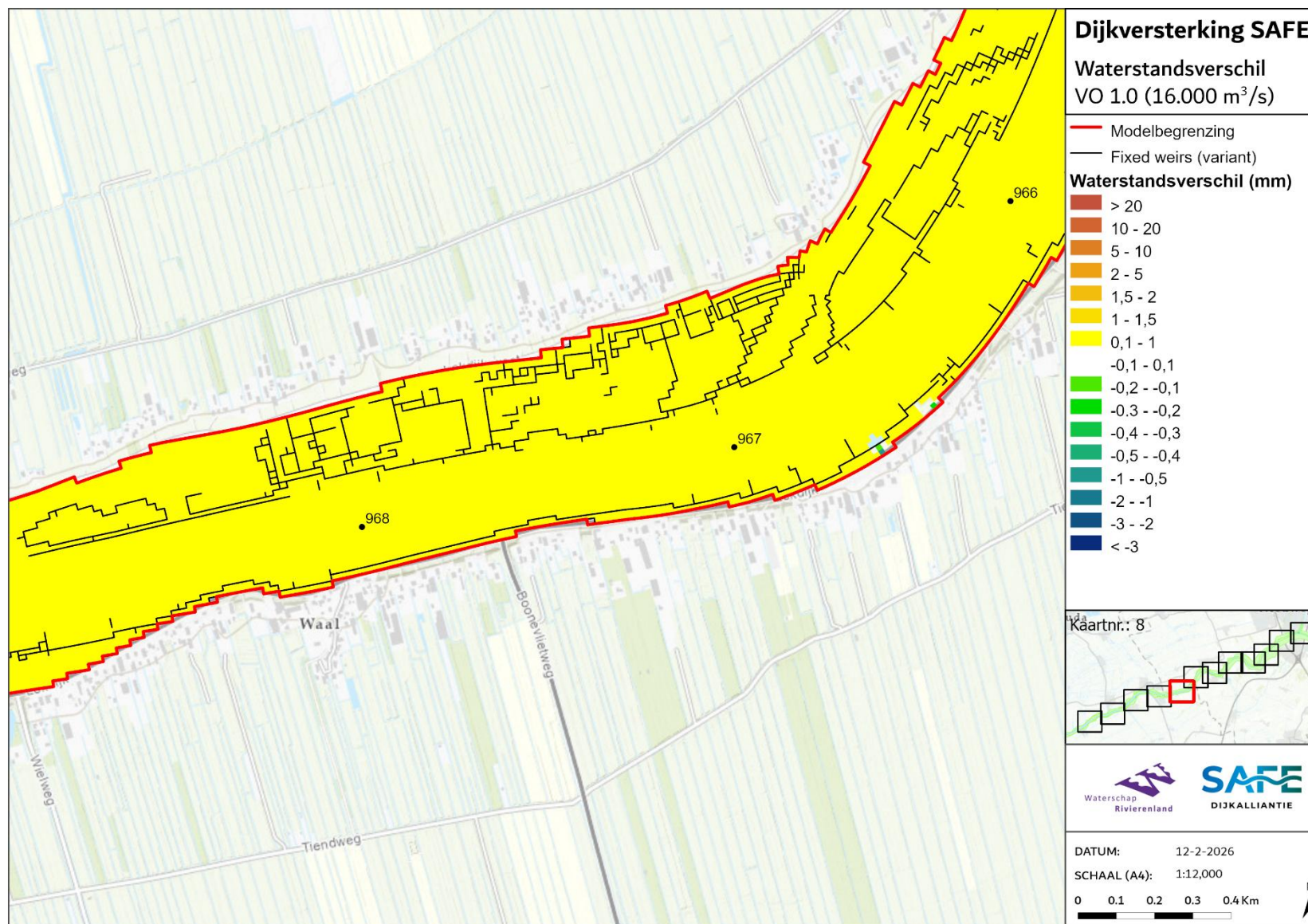
Dijkversterking SAFE

Rivierkundige beoordeling vergunningenontwerp (VO)



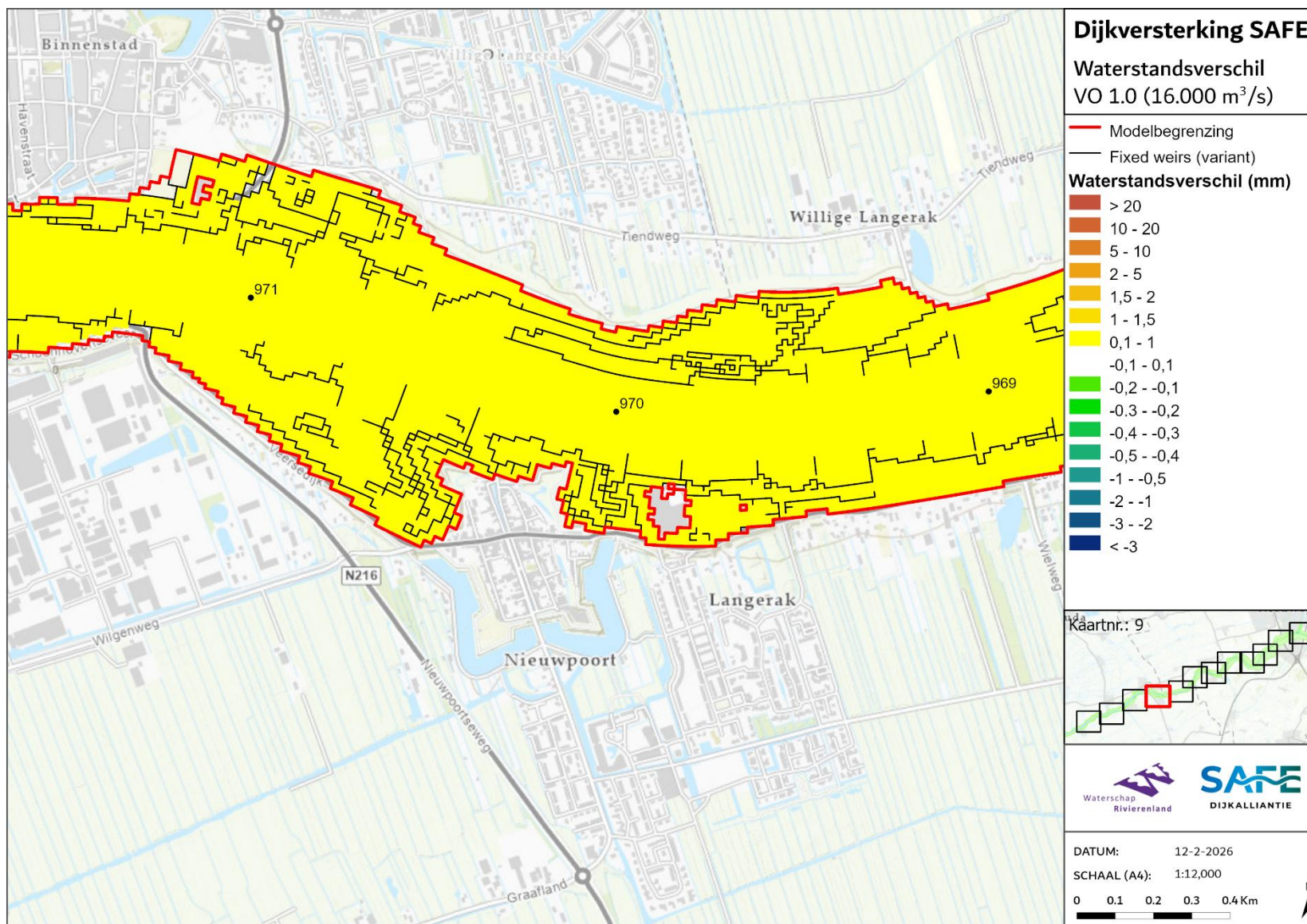
Dijkversterking SAFE

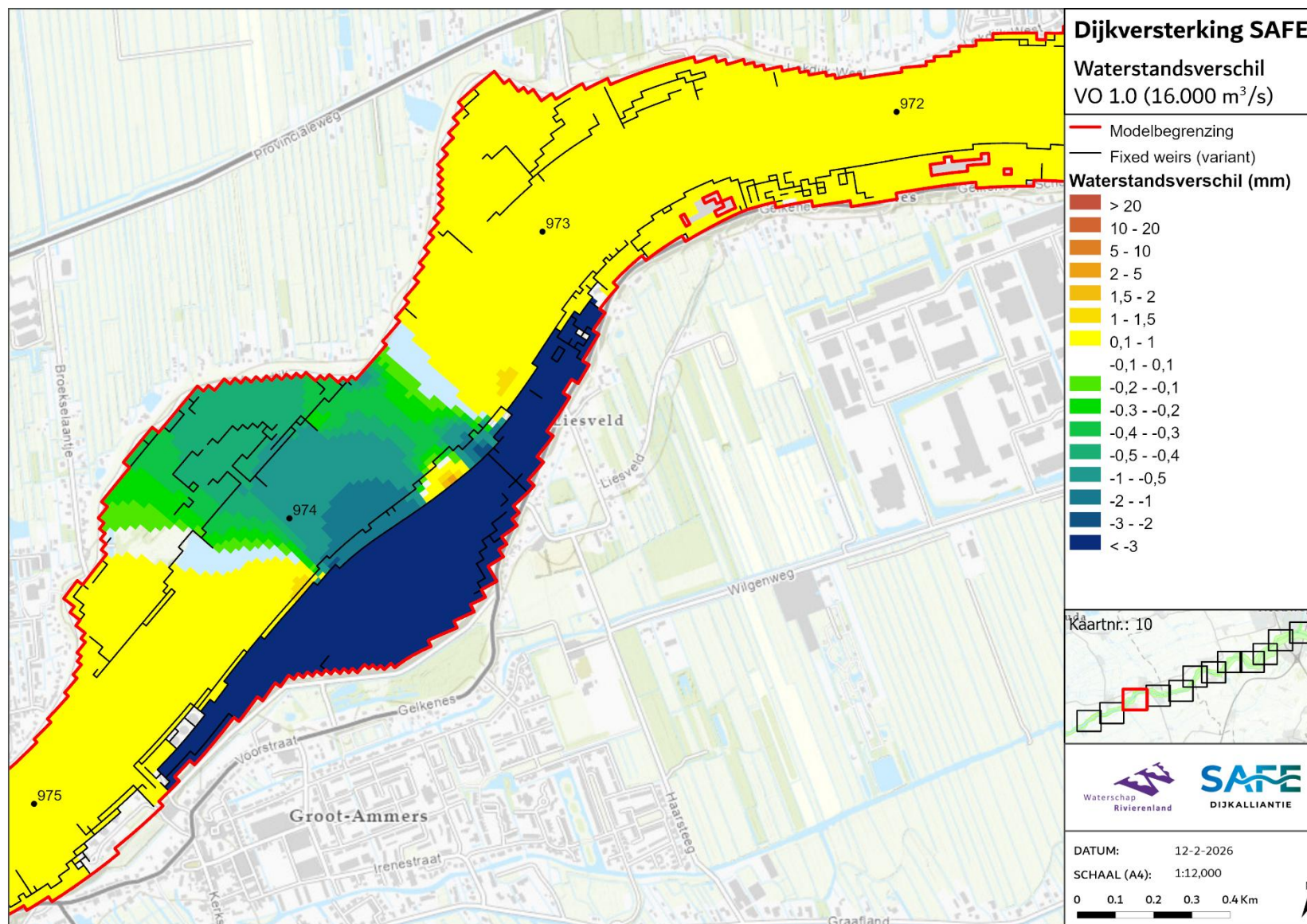
Rivierkundige beoordeling vergunningenontwerp (VO)



Dijkversterking SAFE

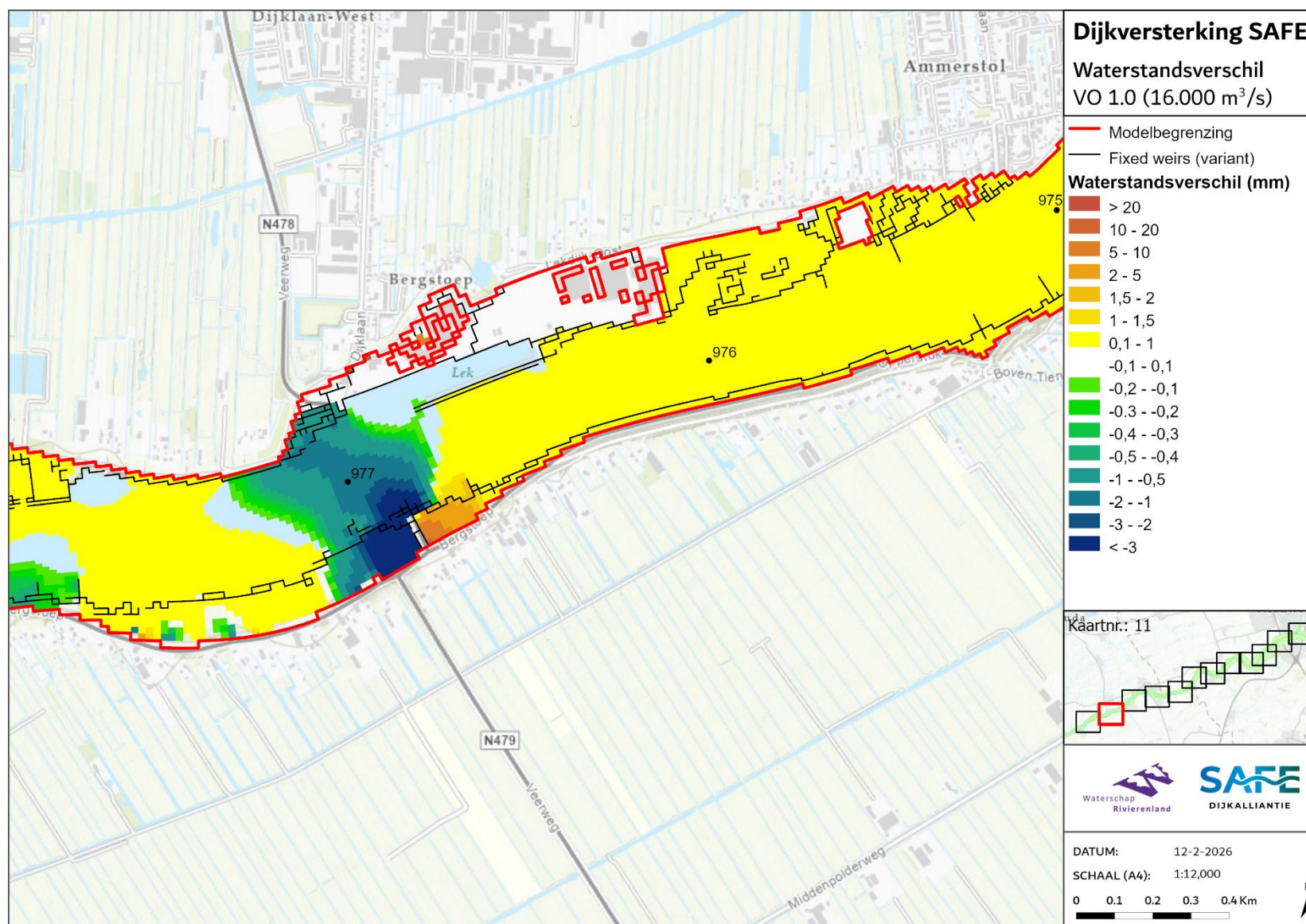
Rivierkundige beoordeling vergunningenontwerp (VO)





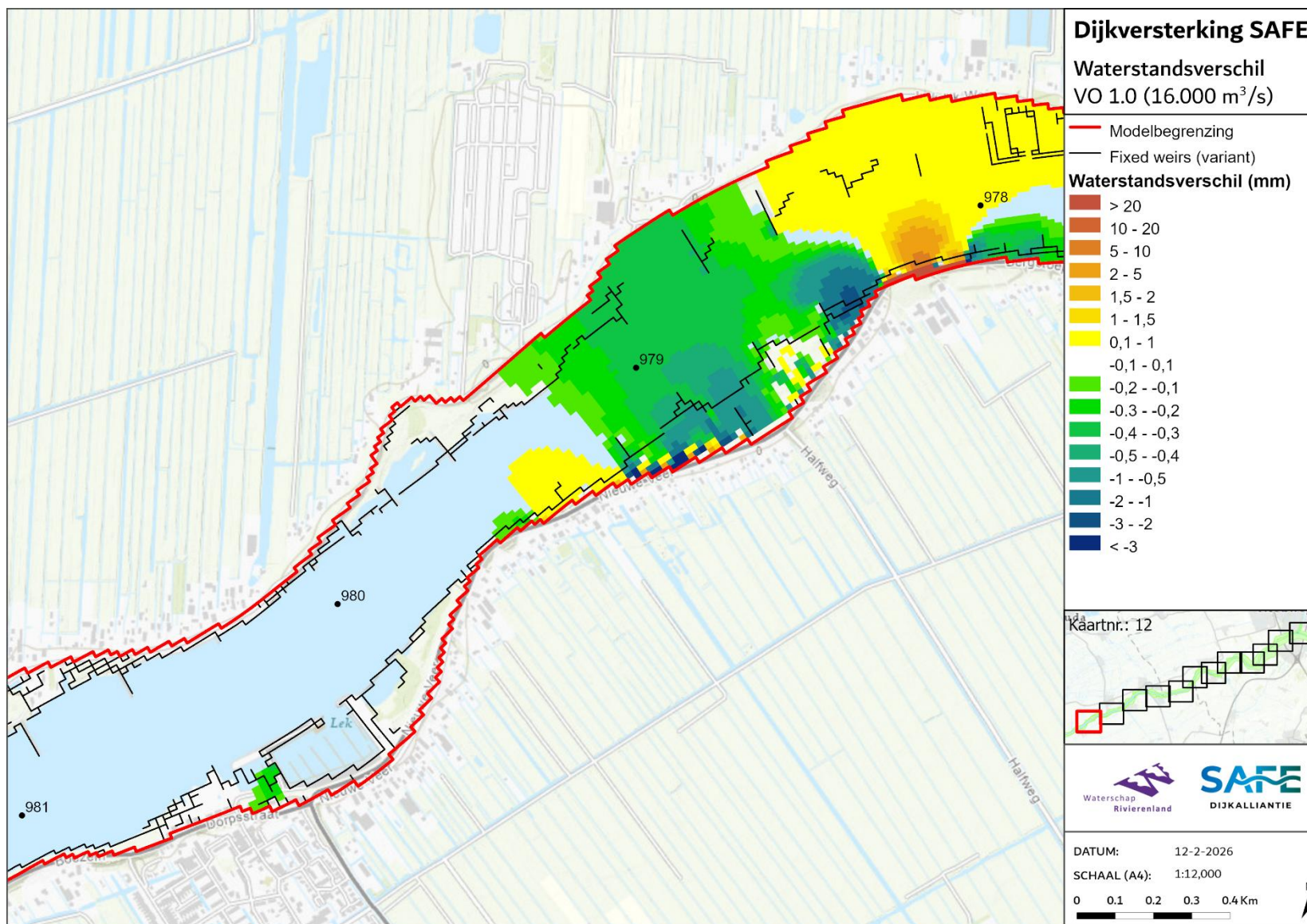
Dijkversterking SAFE

Rivierkundige beoordeling vergunningenontwerp (VO)

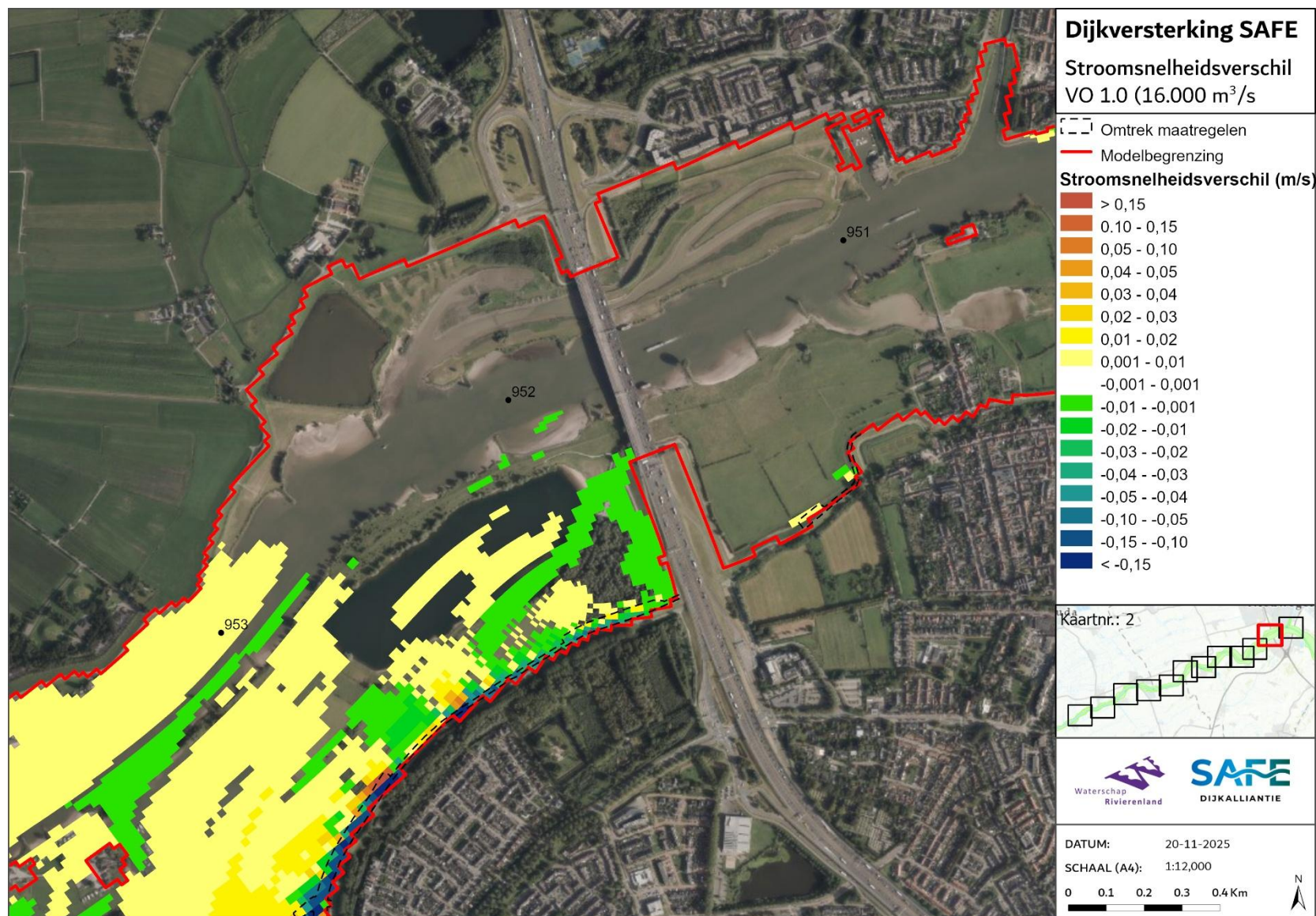


Dijkversterking SAFE

Rivierkundige beoordeling vergunningenontwerp (VO)

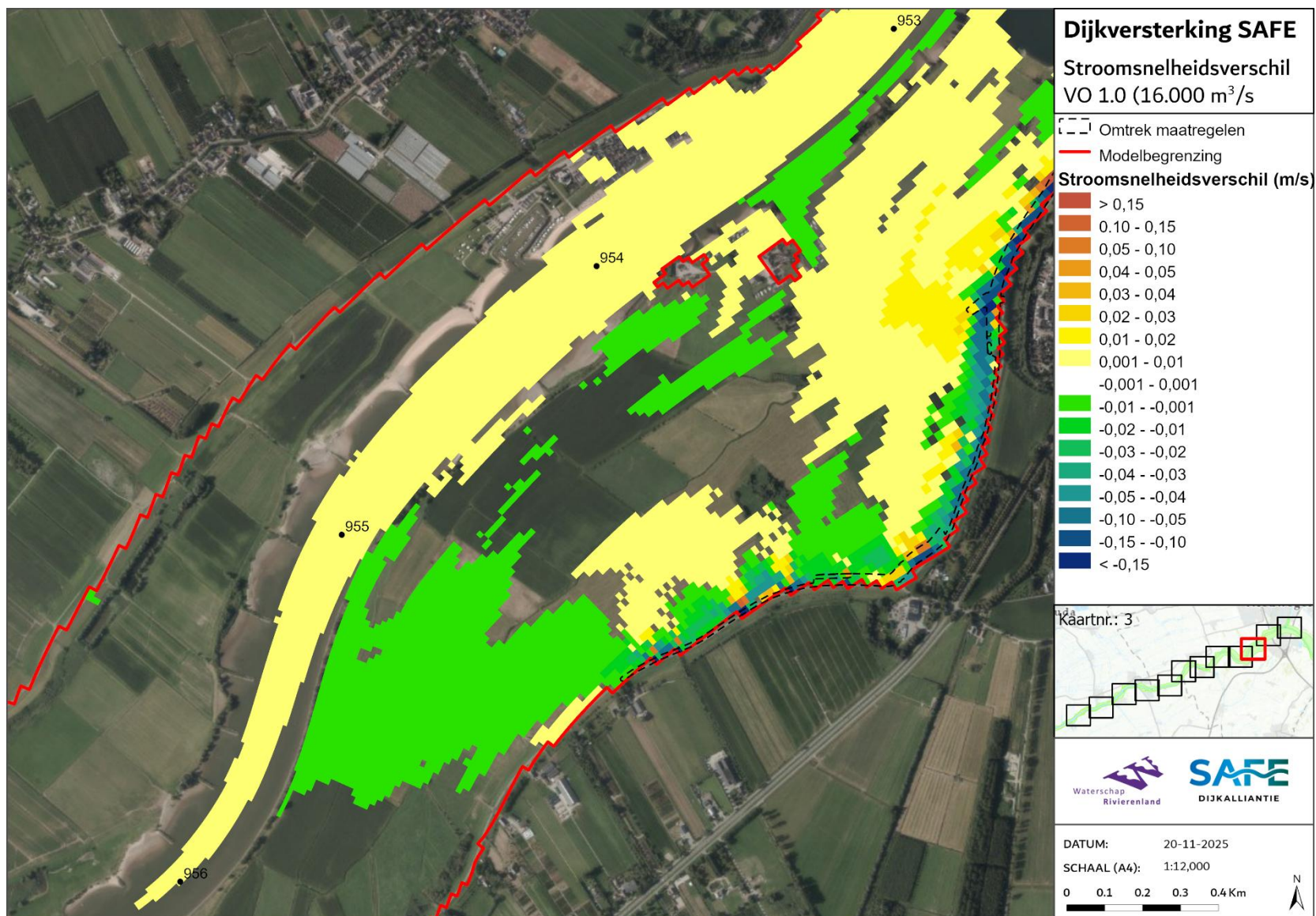


Bijlage D Stroomsnelheidsverschillen bij afvoer 16.000 m³/s



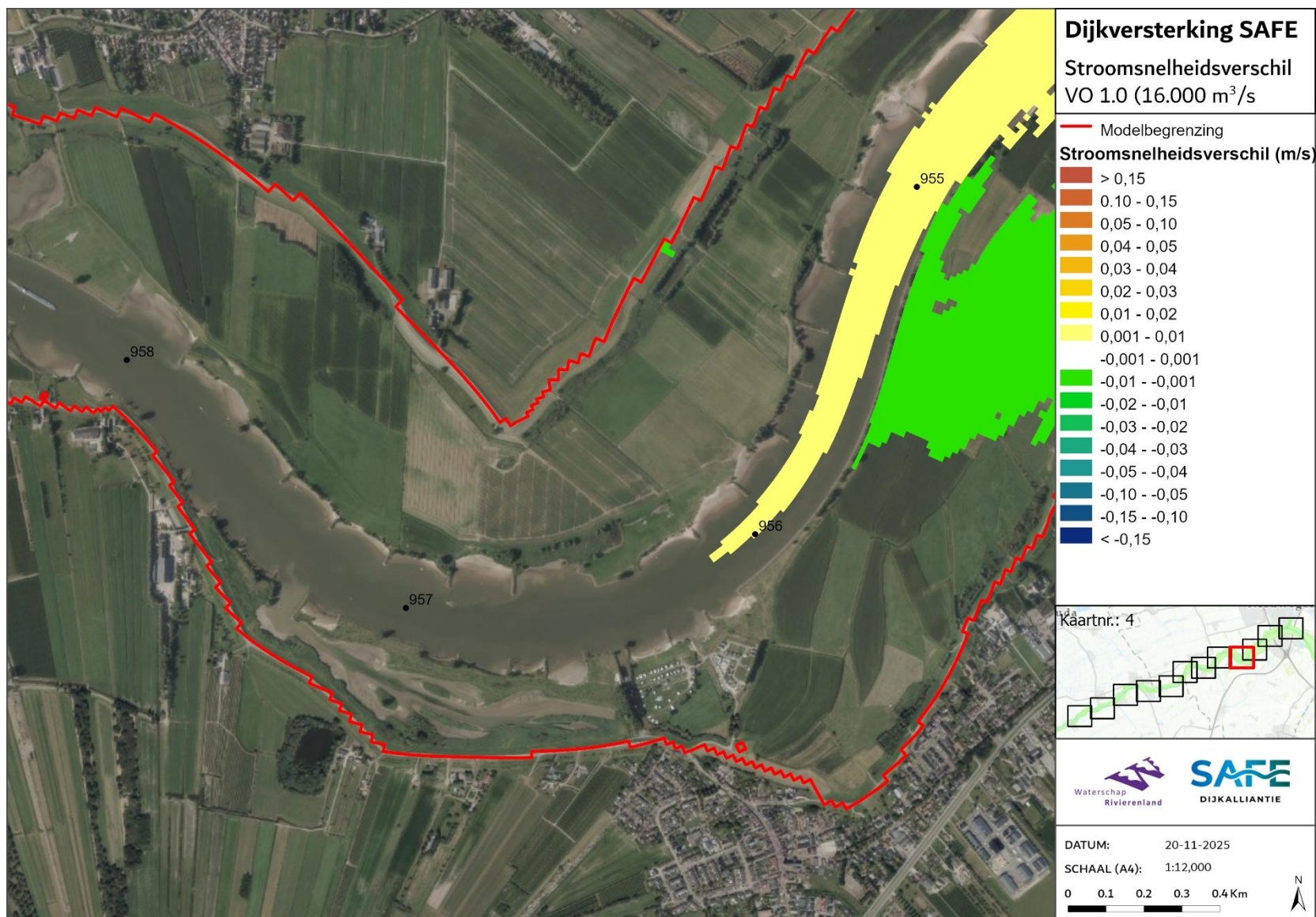
Dijkversterking SAFE

Rivierkundige beoordeling vergunningenontwerp (VO)



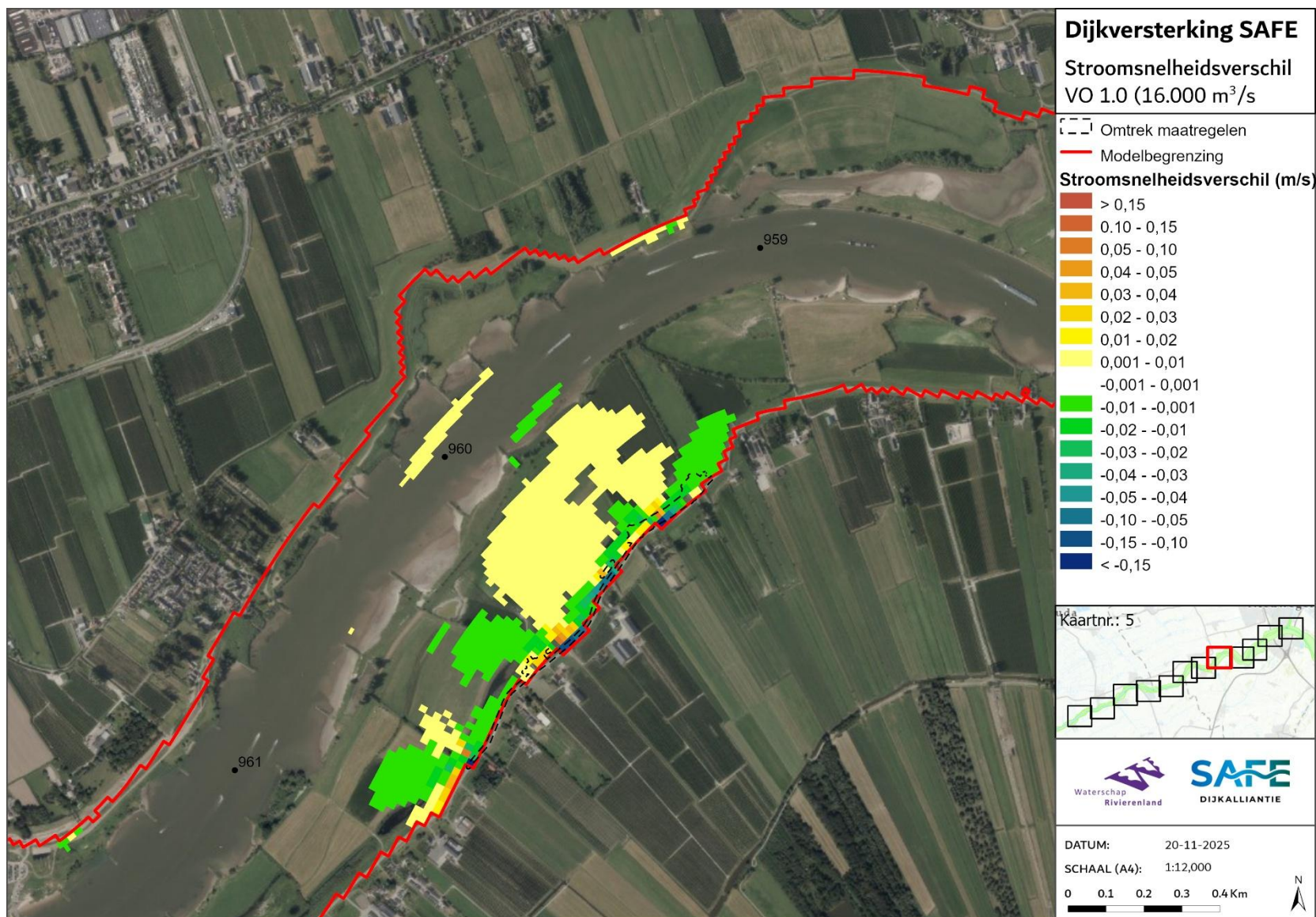
Dijkversterking SAFE

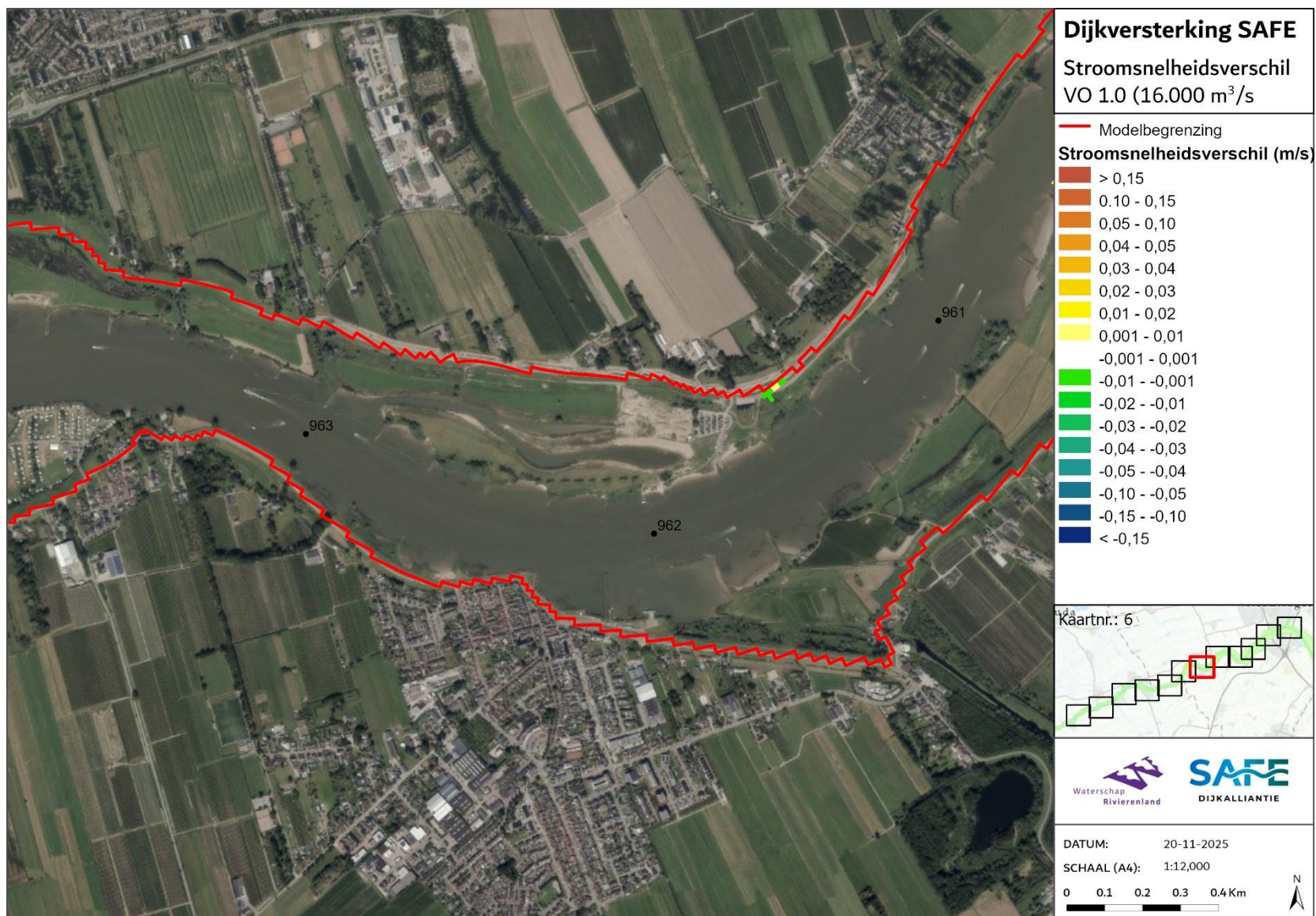
Rivierkundige beoordeling vergunningenontwerp (VO)



Dijkversterking SAFE

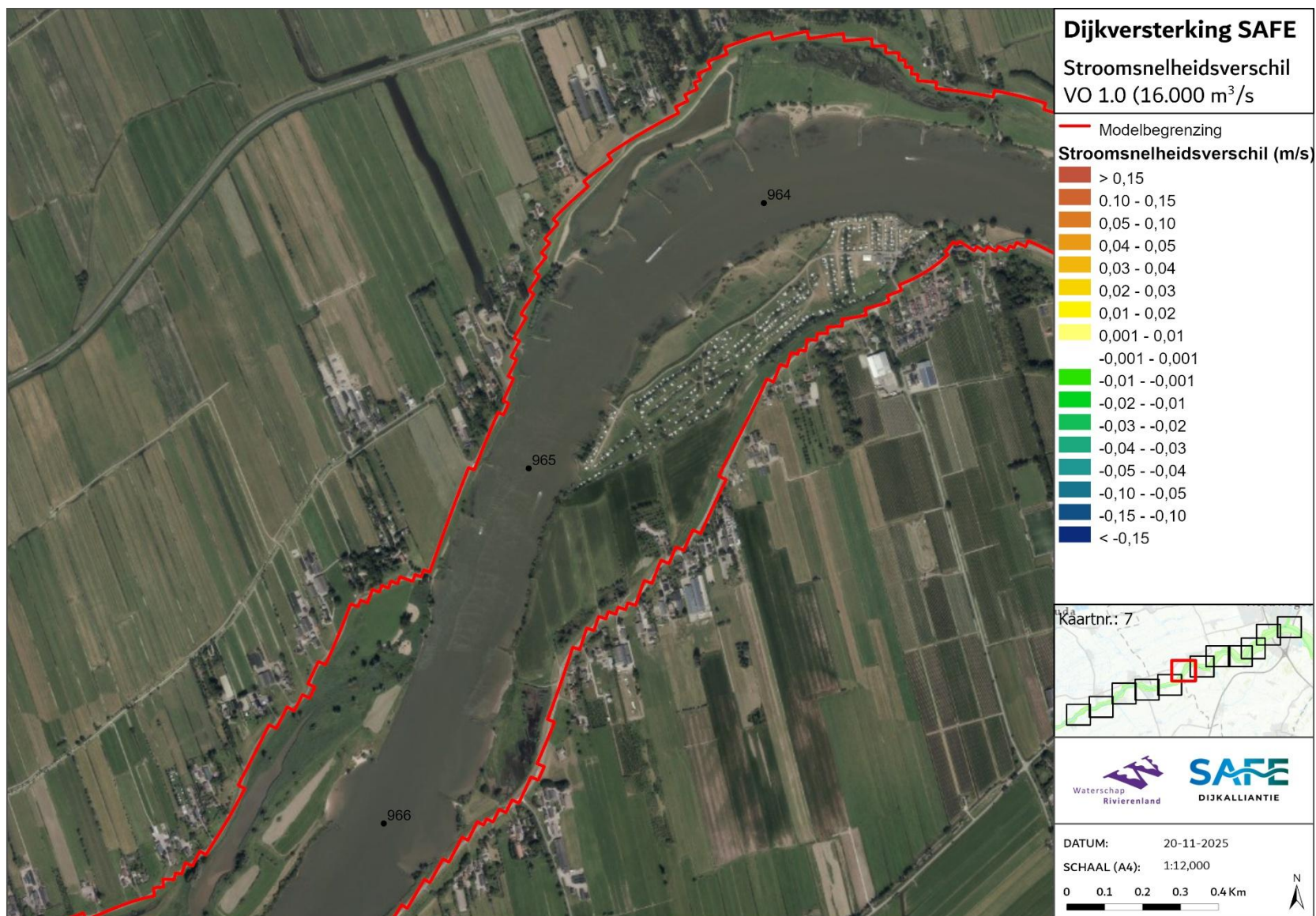
Rivierkundige beoordeling vergunningenontwerp (VO)

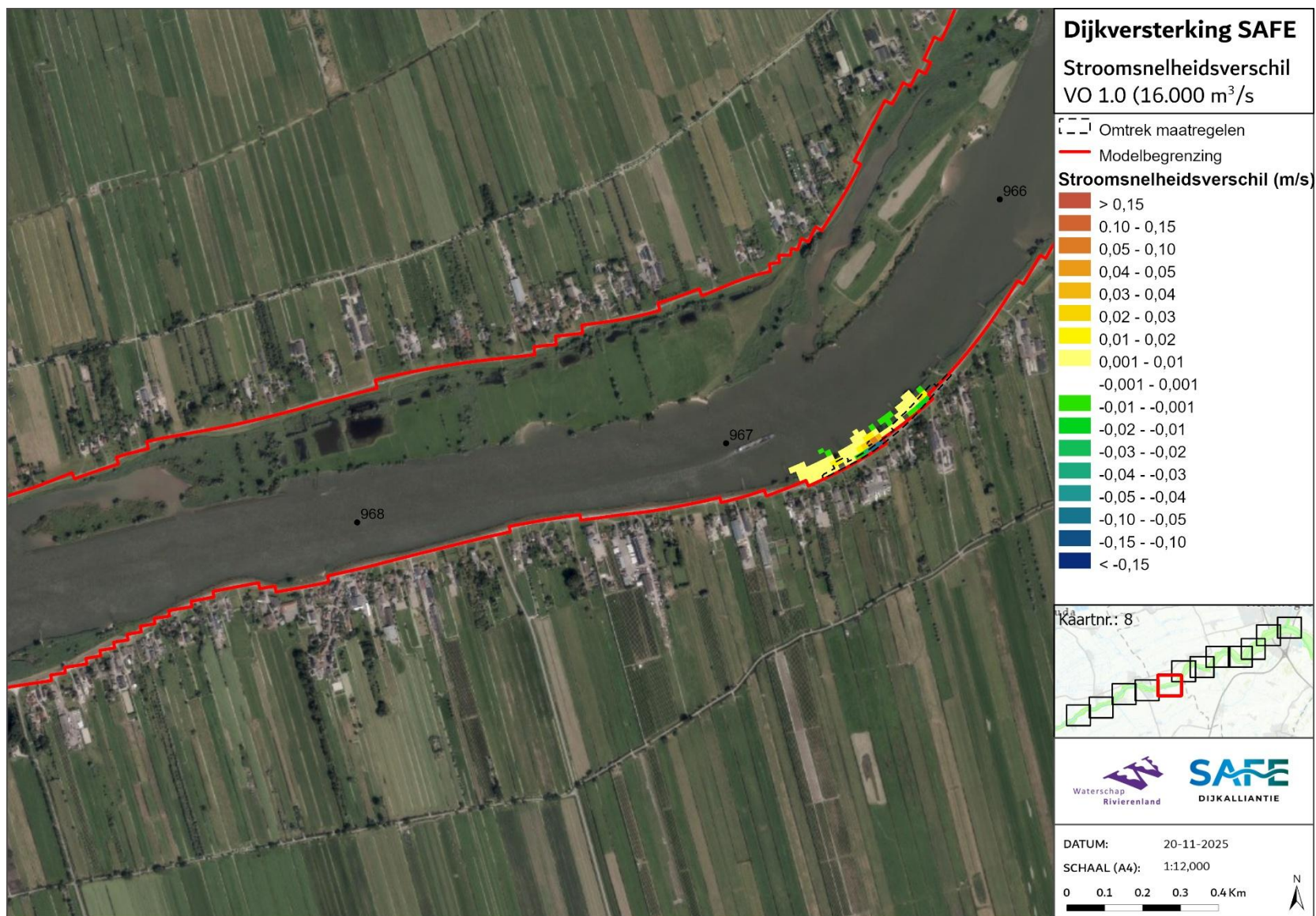




Dijkversterking SAFE

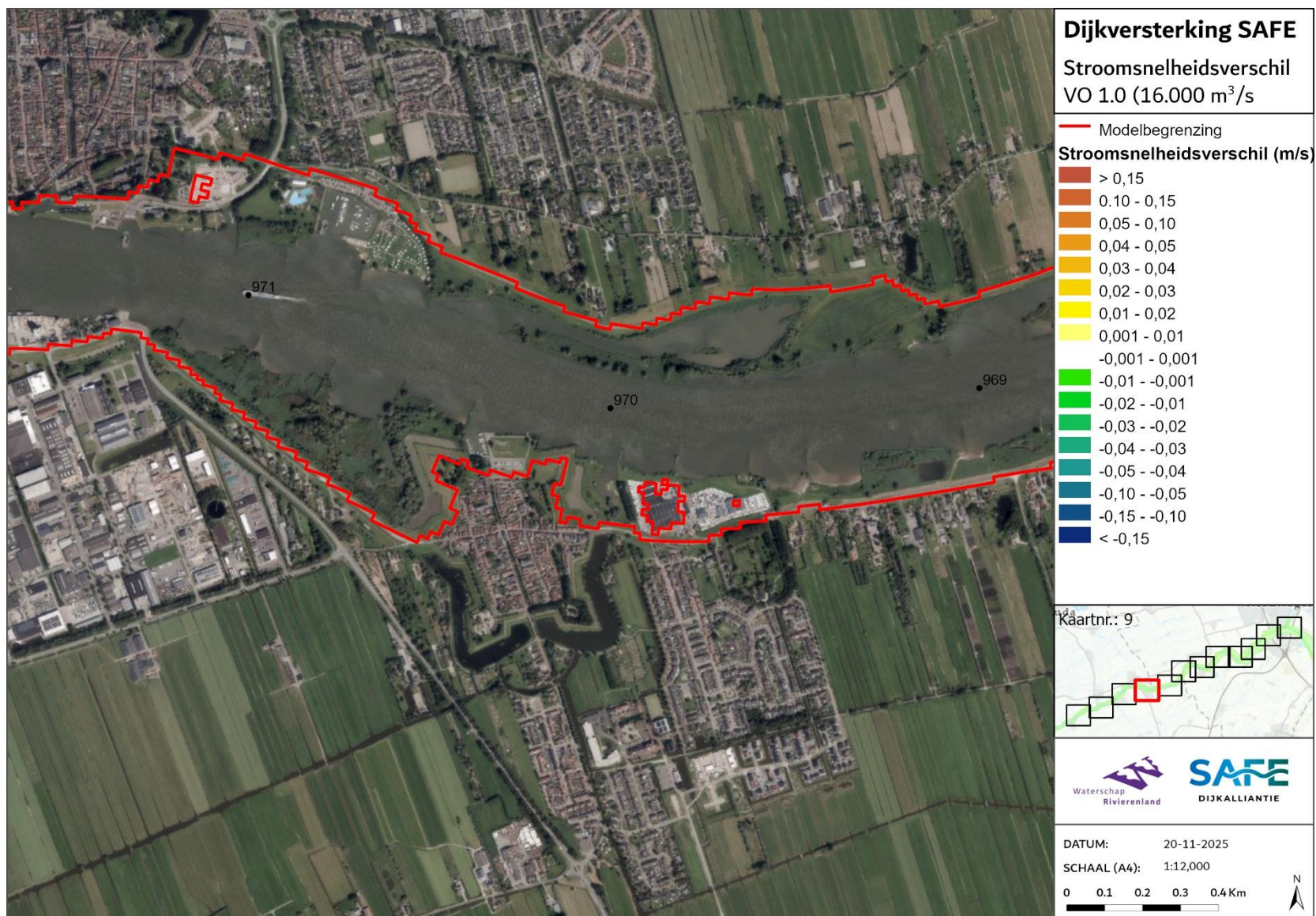
Rivierkundige beoordeling vergunningenontwerp (VO)

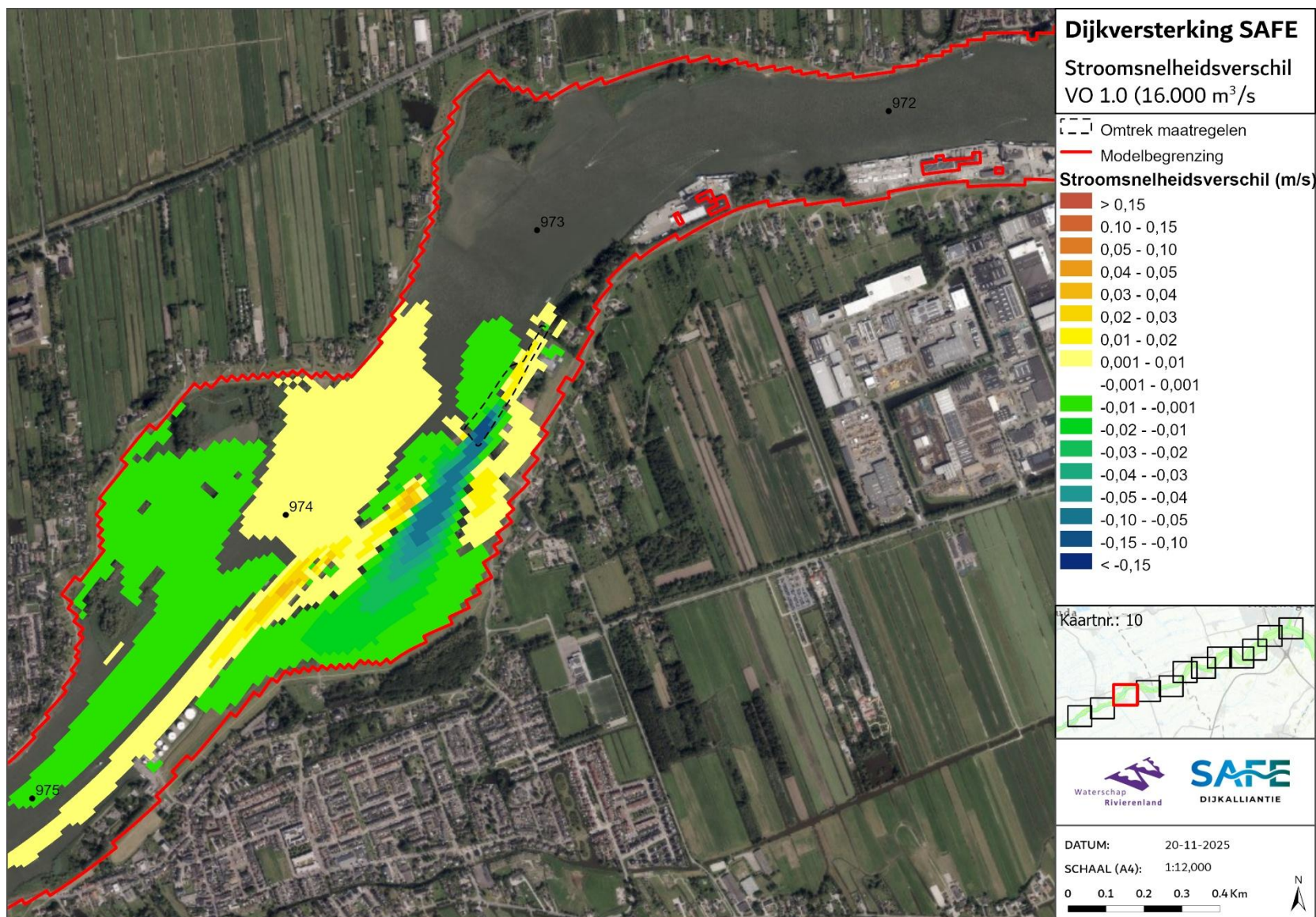




Dijkversterking SAFE

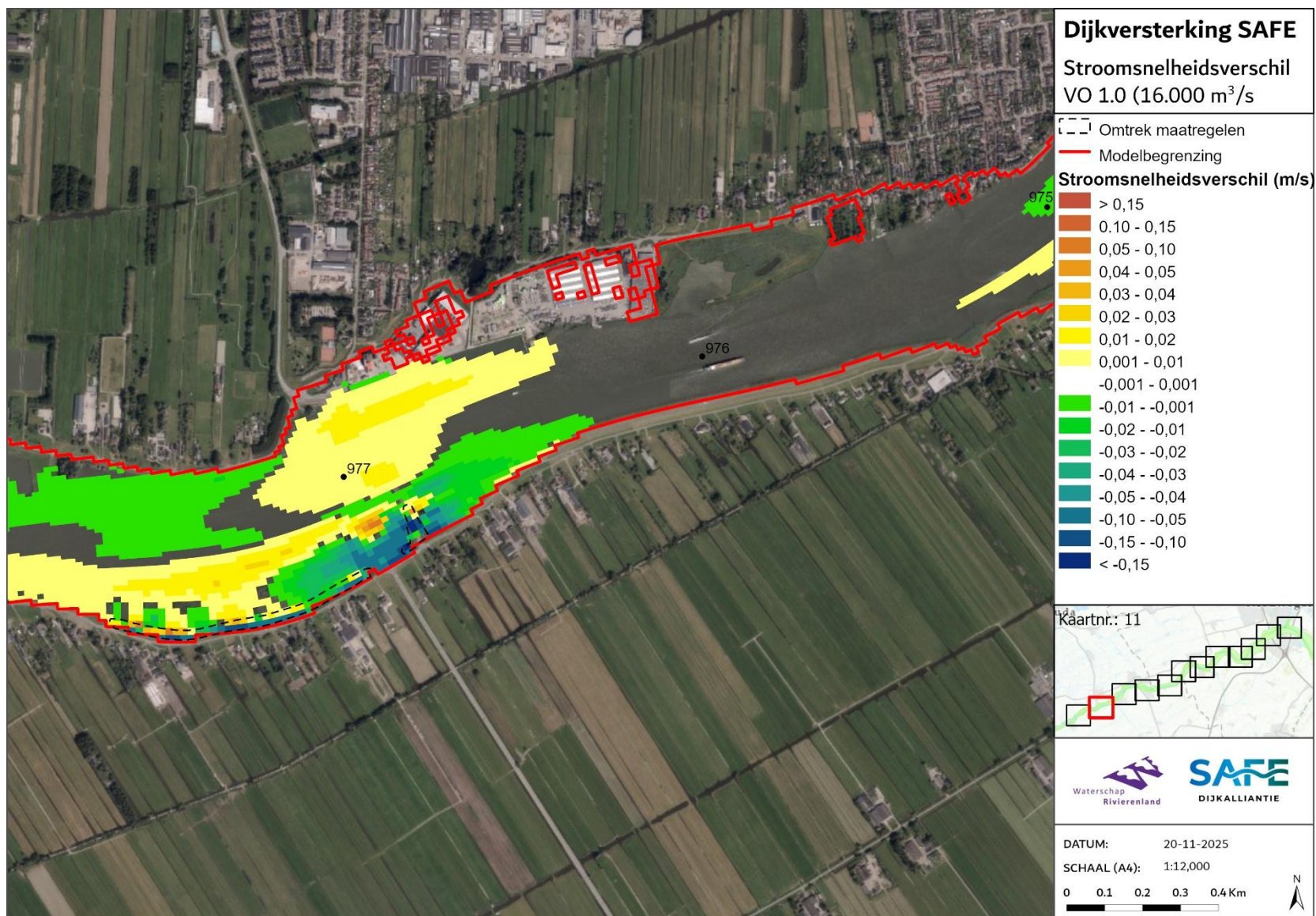
Rivierkundige beoordeling vergunningenontwerp (VO)





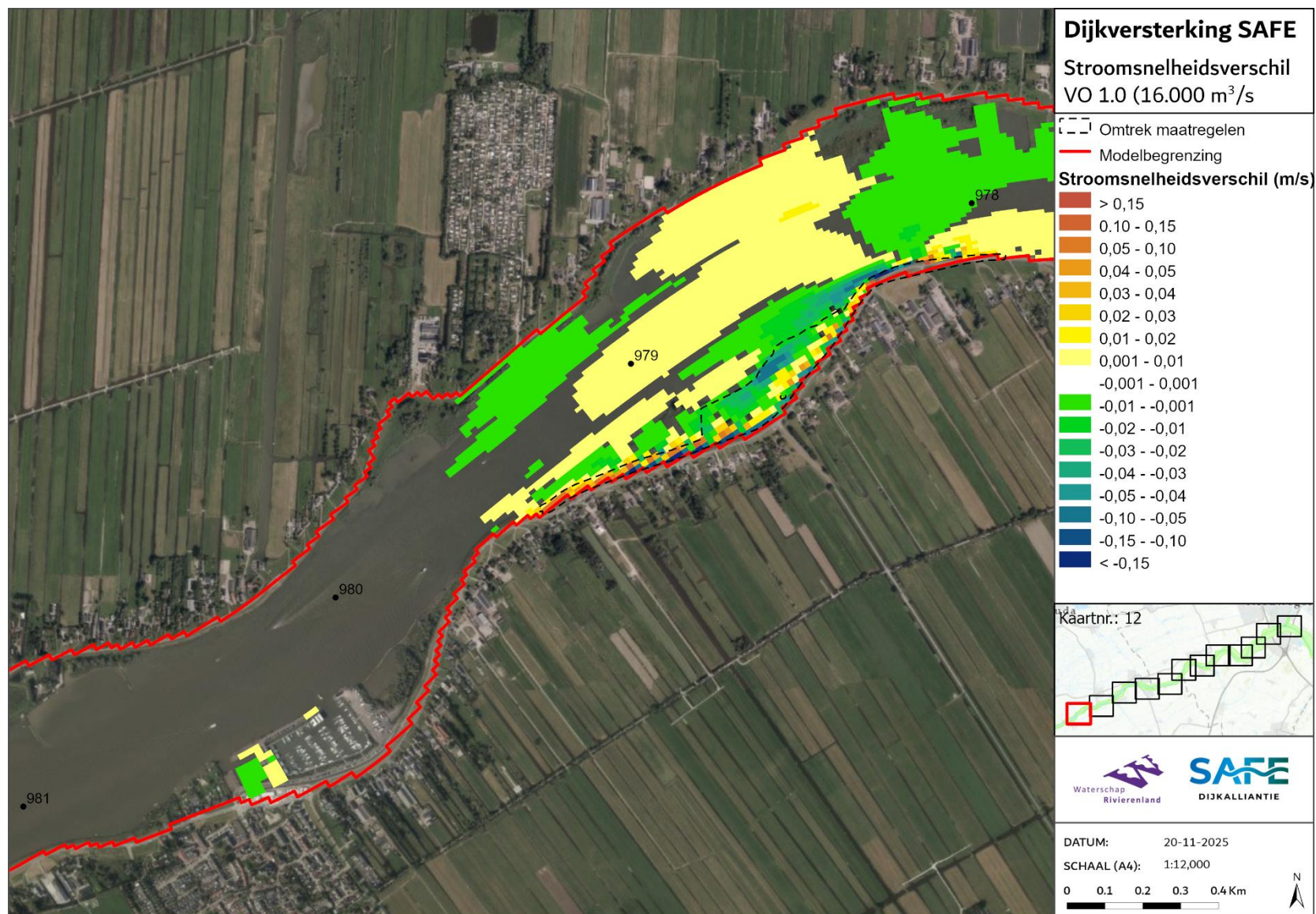
Dijkversterking SAFE

Rivierkundige beoordeling vergunningenontwerp (VO)



Dijkversterking SAFE

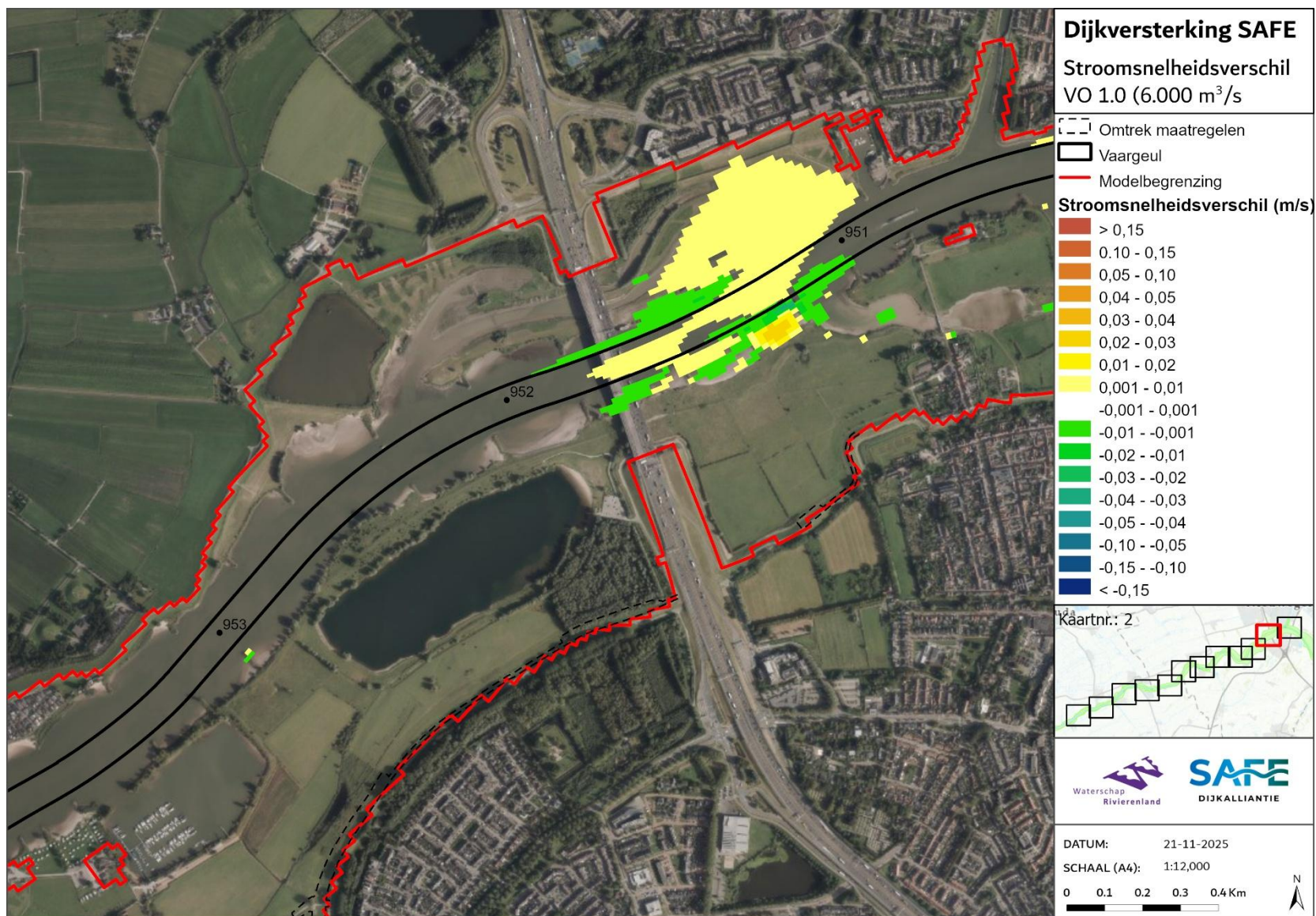
Rivierkundige beoordeling vergunningenontwerp (VO)



Bijlage E Stroomsnelheidsverschillen bij afvoer 6.000 m³/s

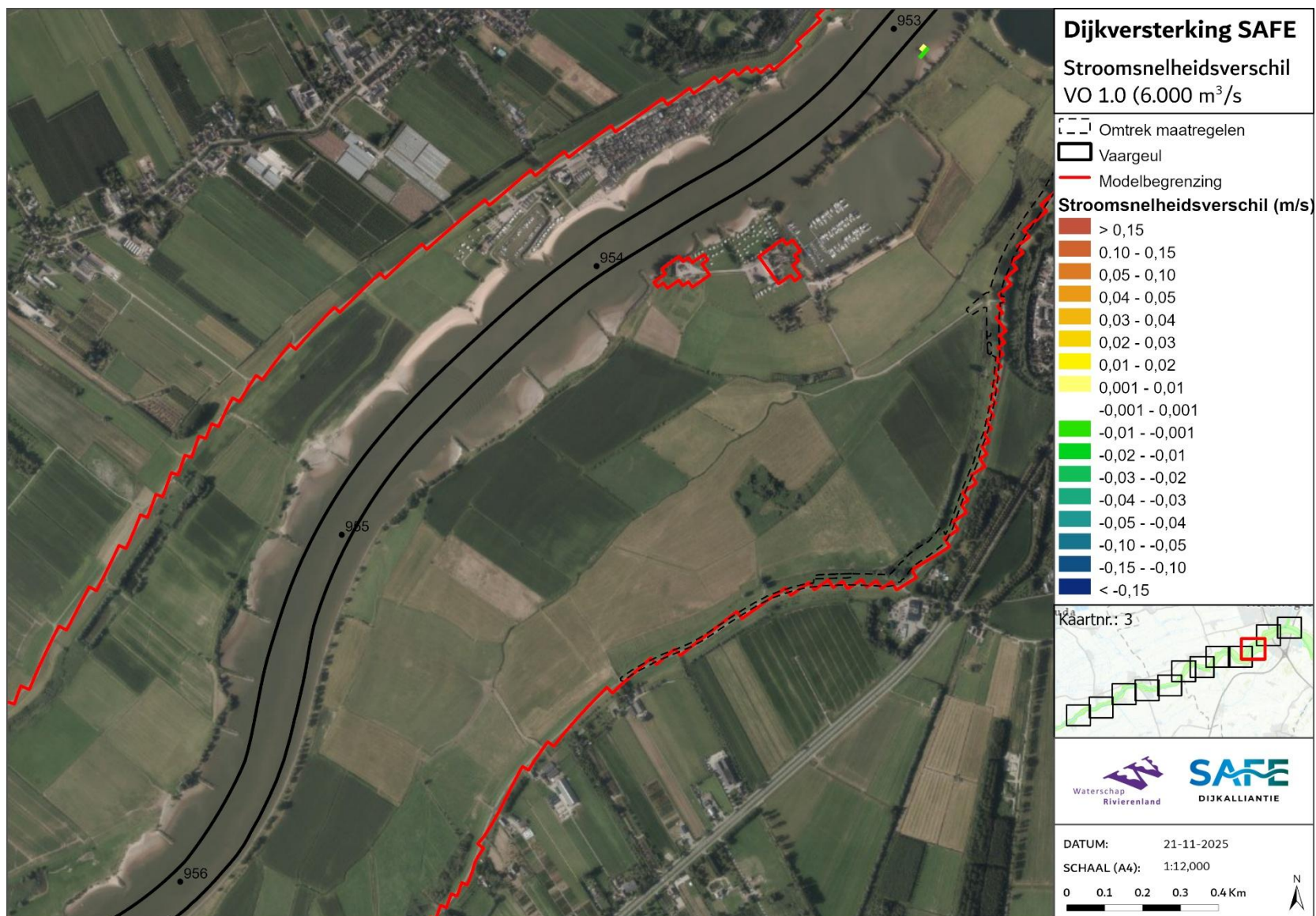
Dijkversterking SAFE

Rivierkundige beoordeling vergunningenontwerp (VO)



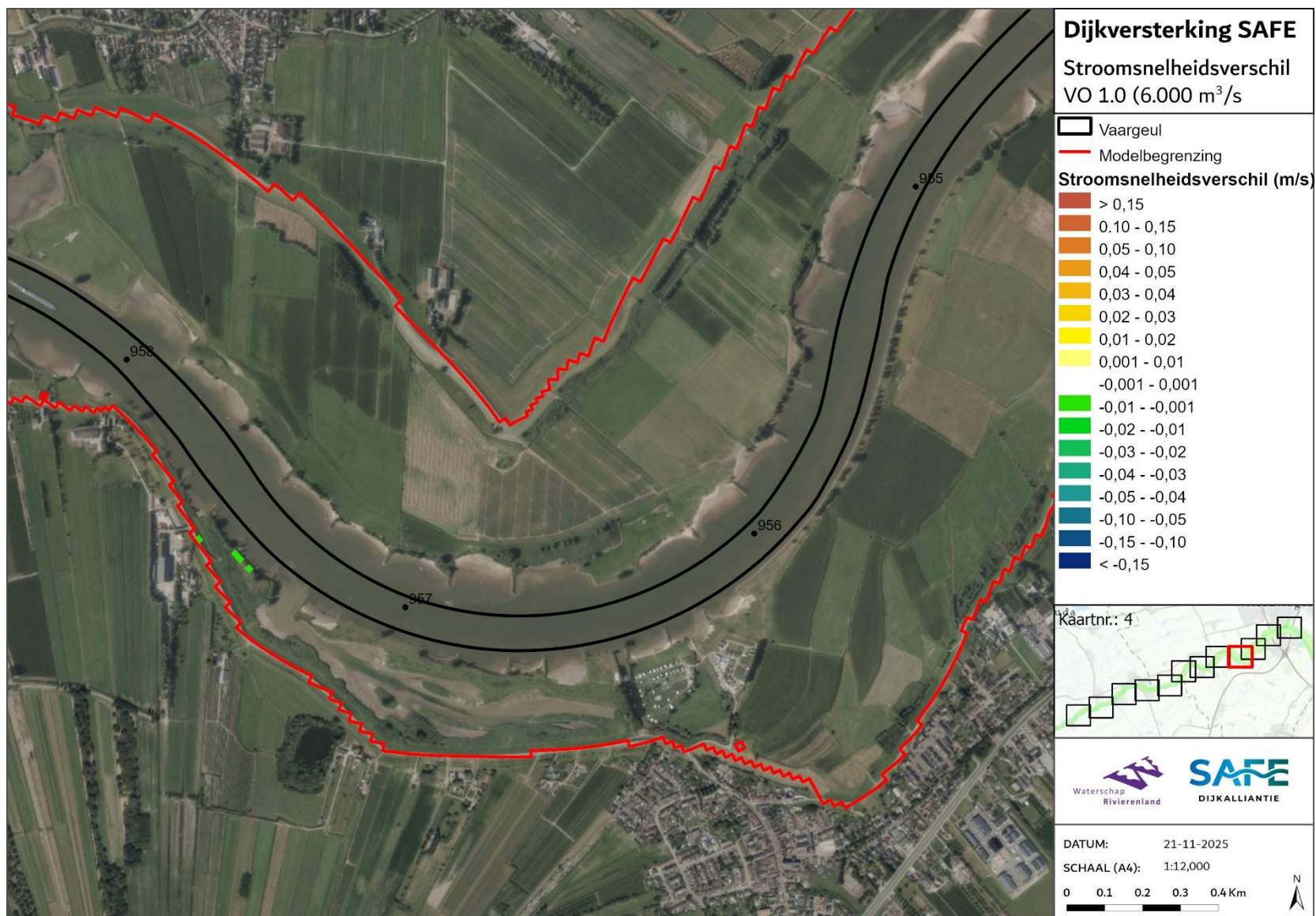
Dijkversterking SAFE

Rivierkundige beoordeling vergunningenontwerp (VO)



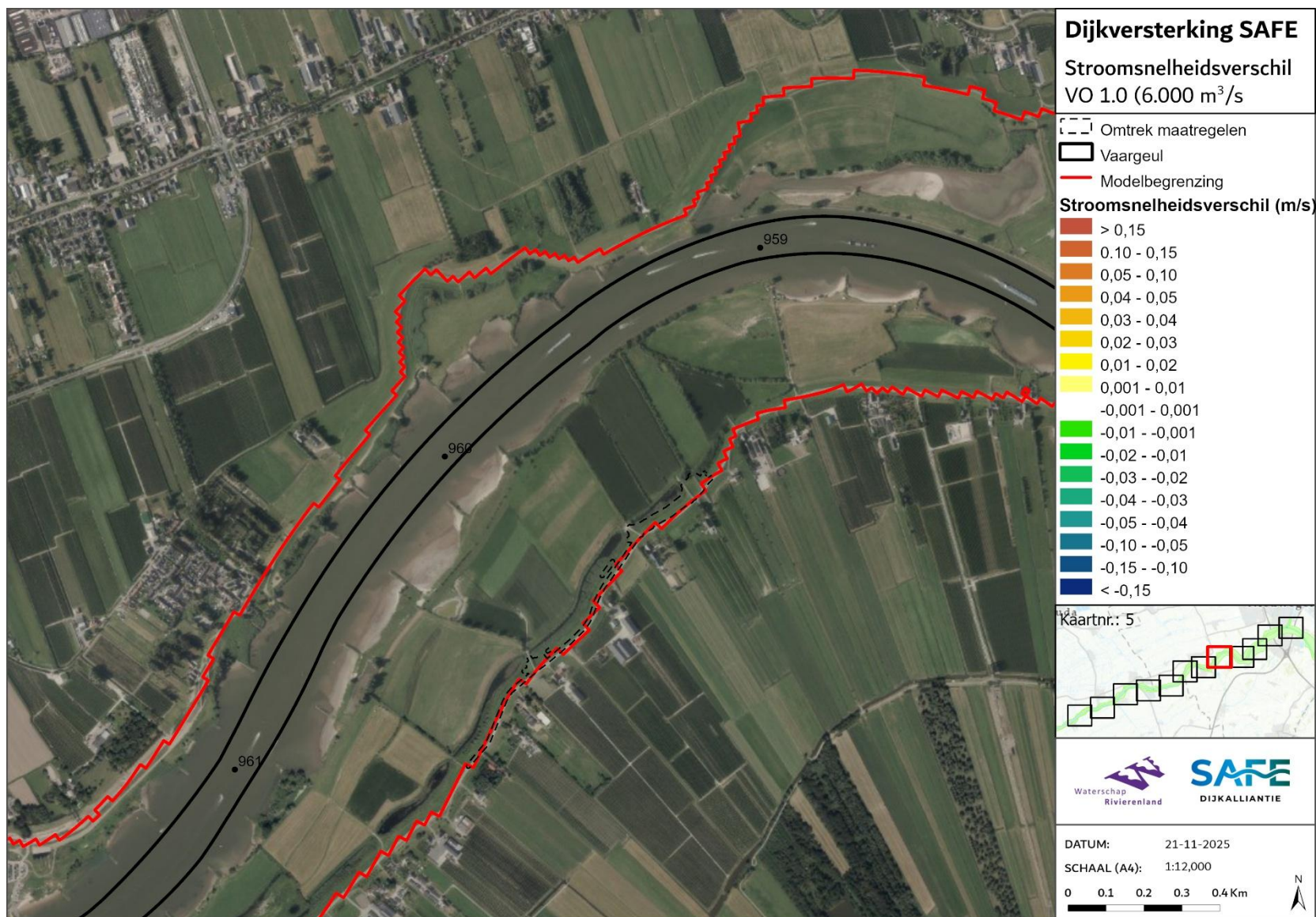
Dijkversterking SAFE

Rivierkundige beoordeling vergunningenontwerp (VO)



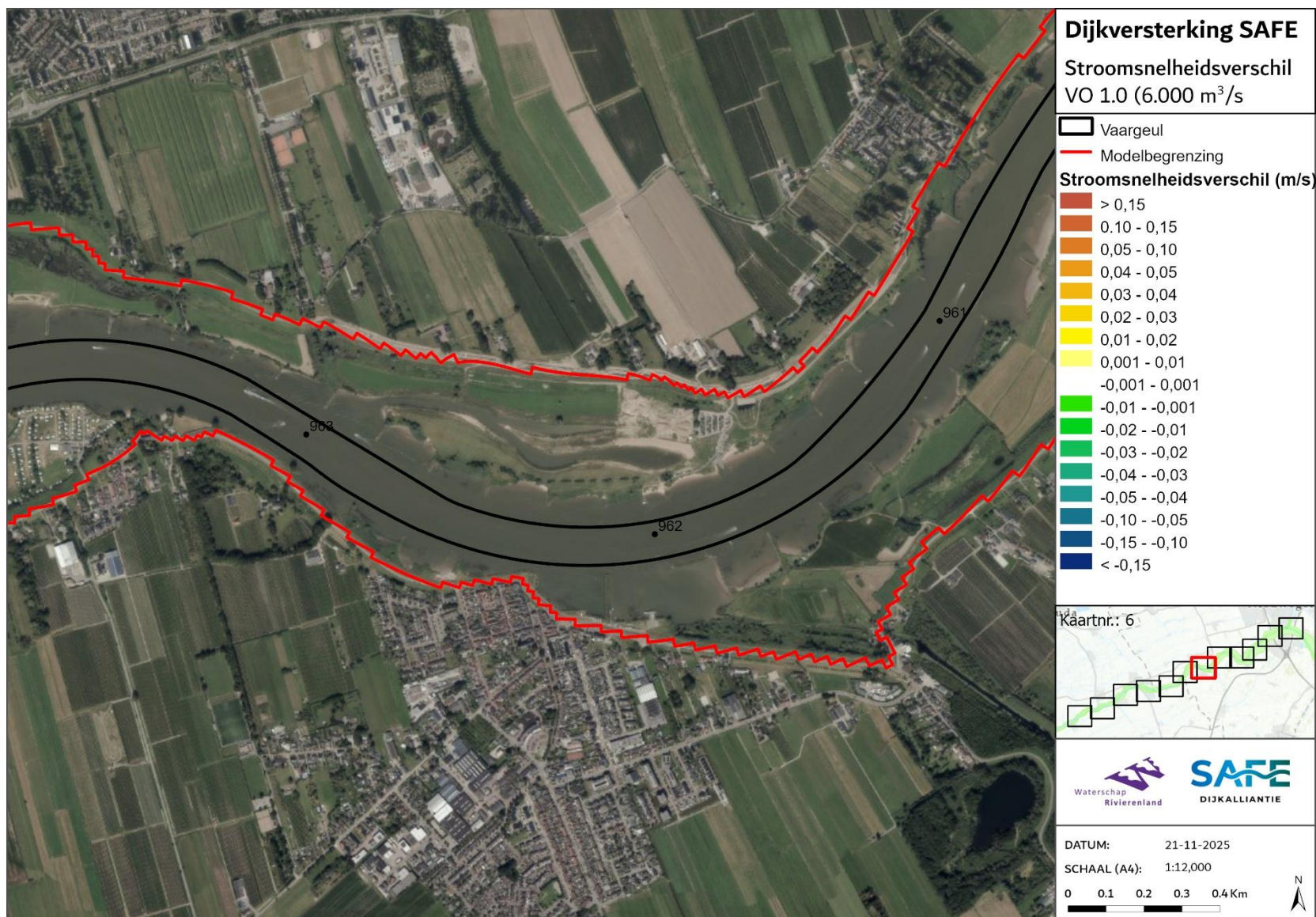
Dijkversterking SAFE

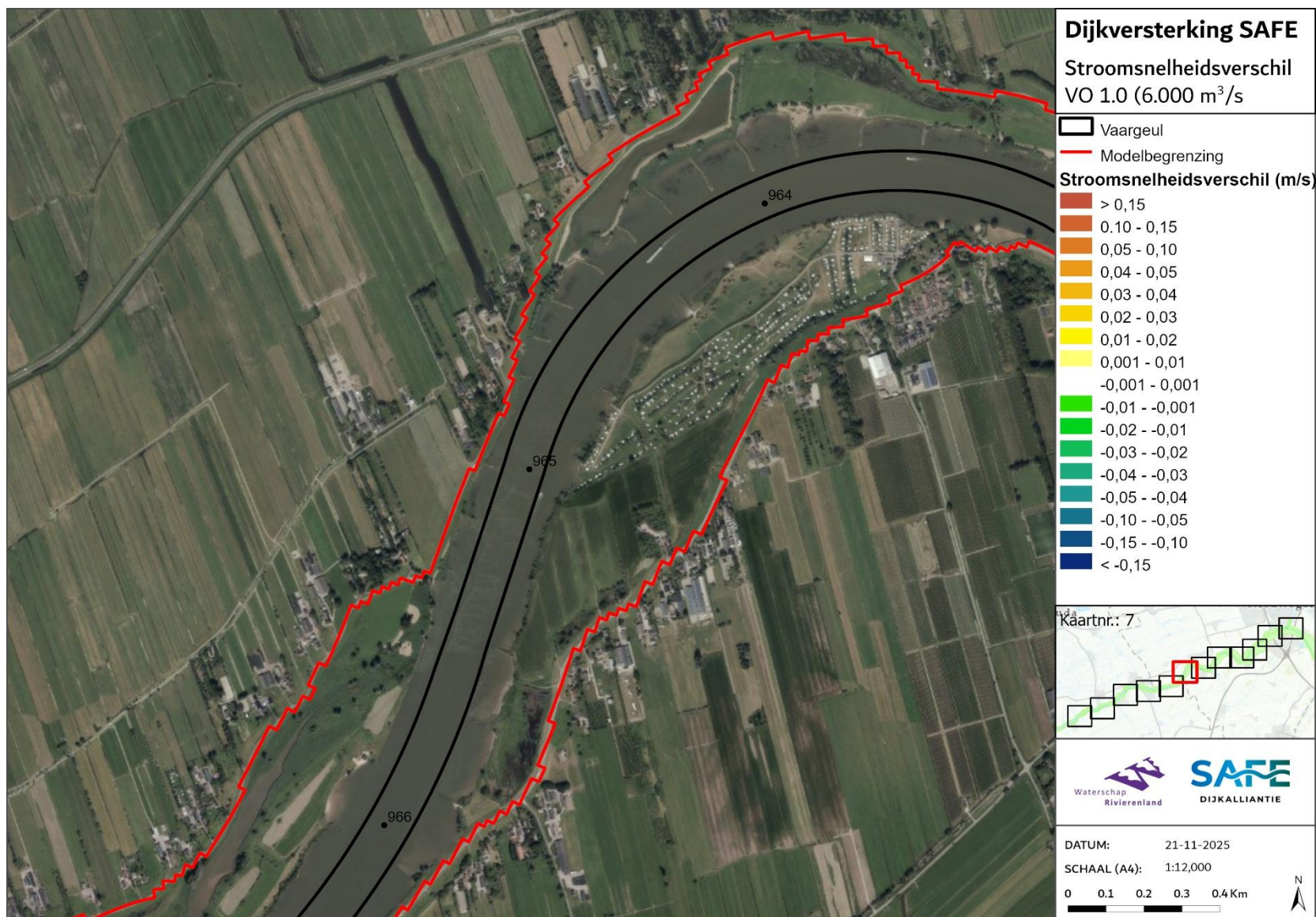
Rivierkundige beoordeling vergunningenontwerp (VO)



Dijkversterking SAFE

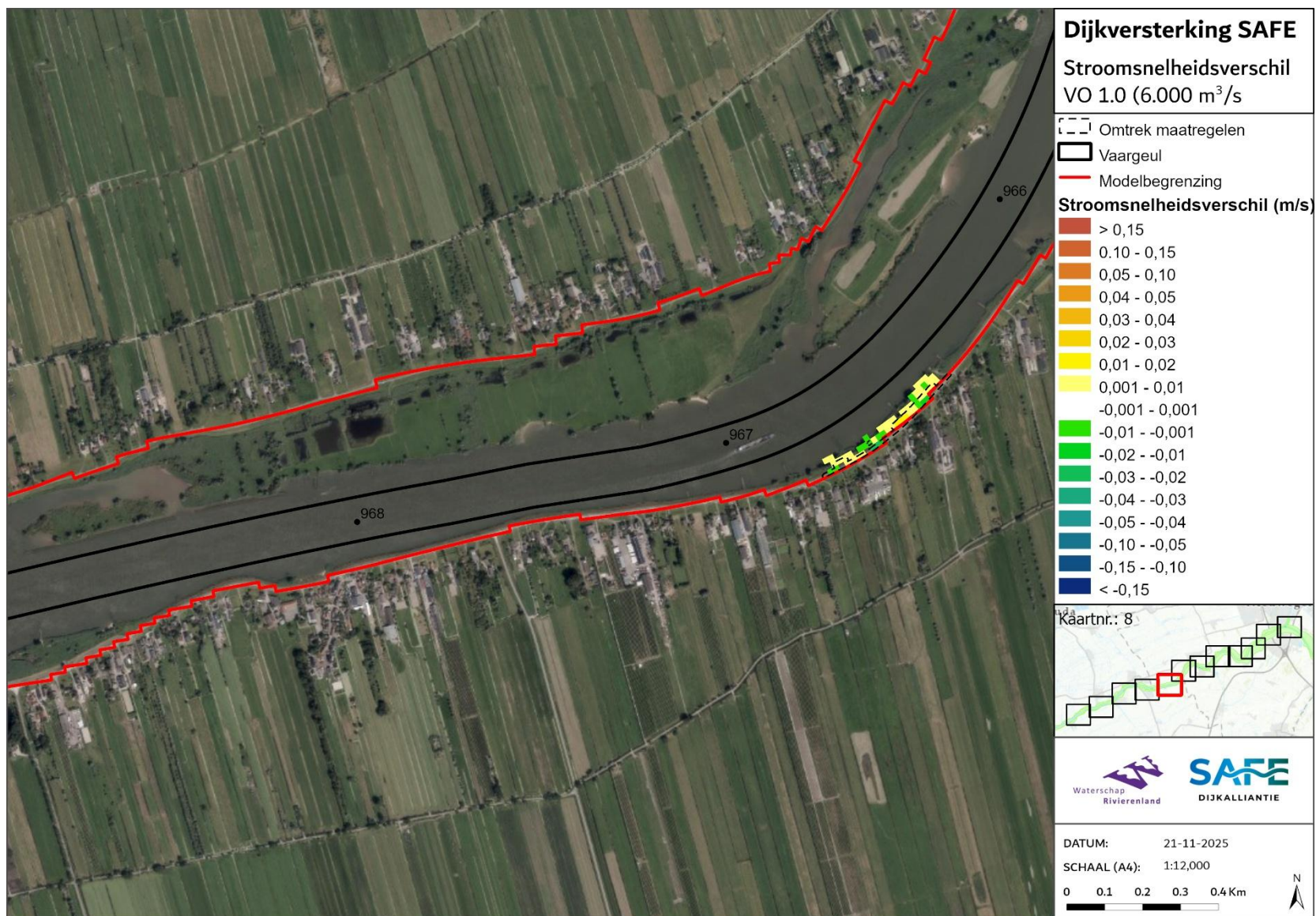
Rivierkundige beoordeling vergunningenontwerp (VO)





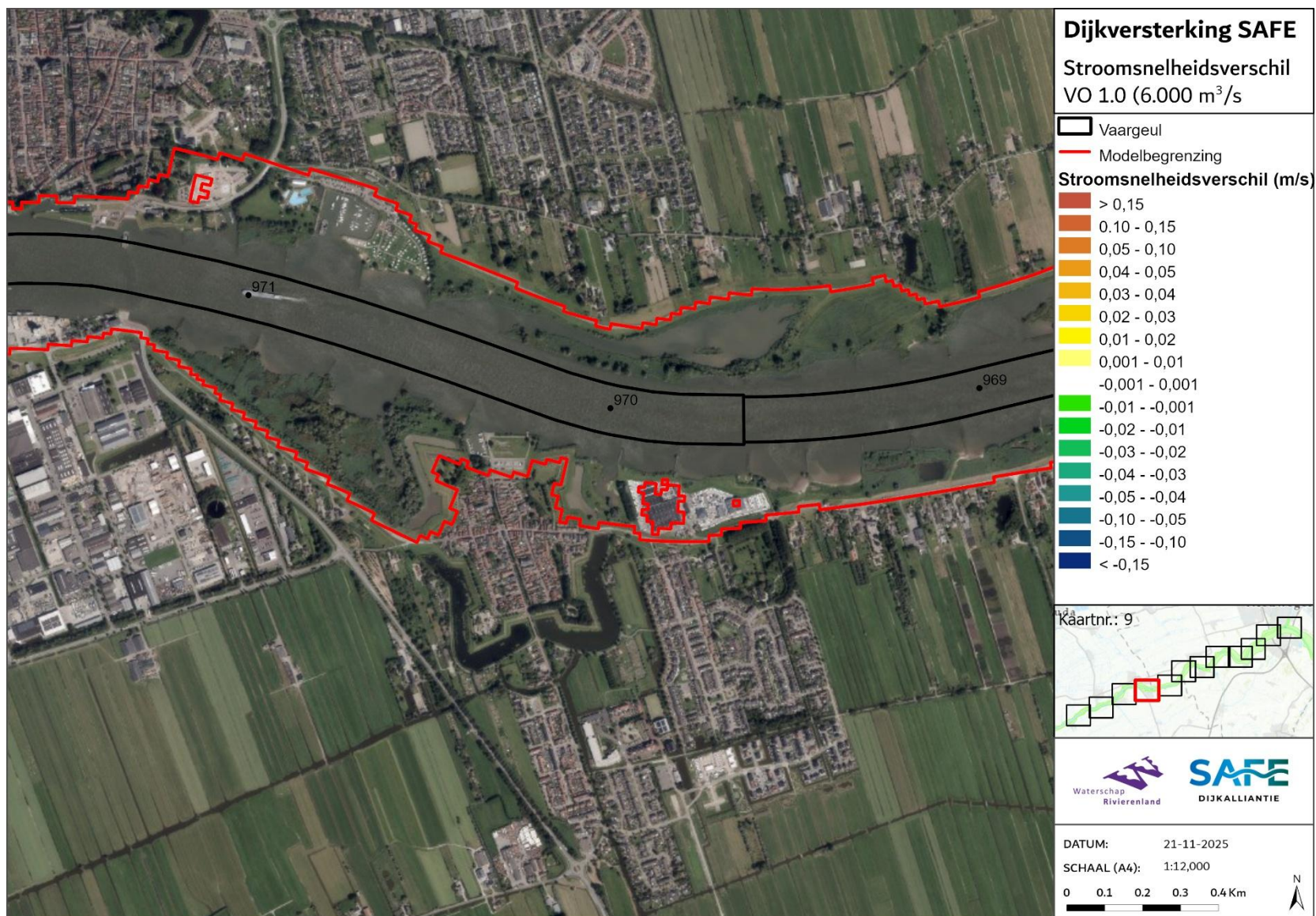
Dijkversterking SAFE

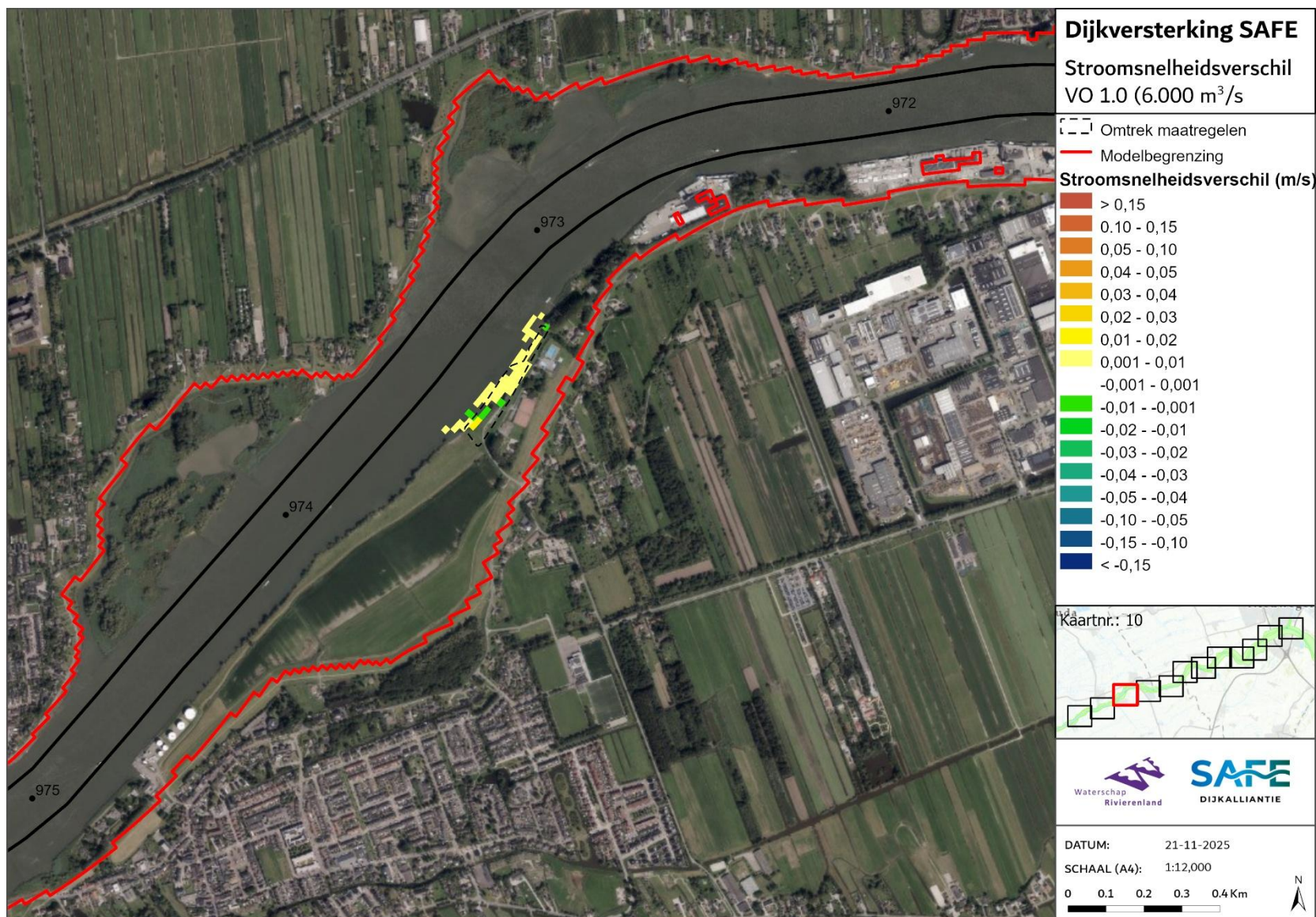
Rivierkundige beoordeling vergunningenontwerp (VO)



Dijkversterking SAFE

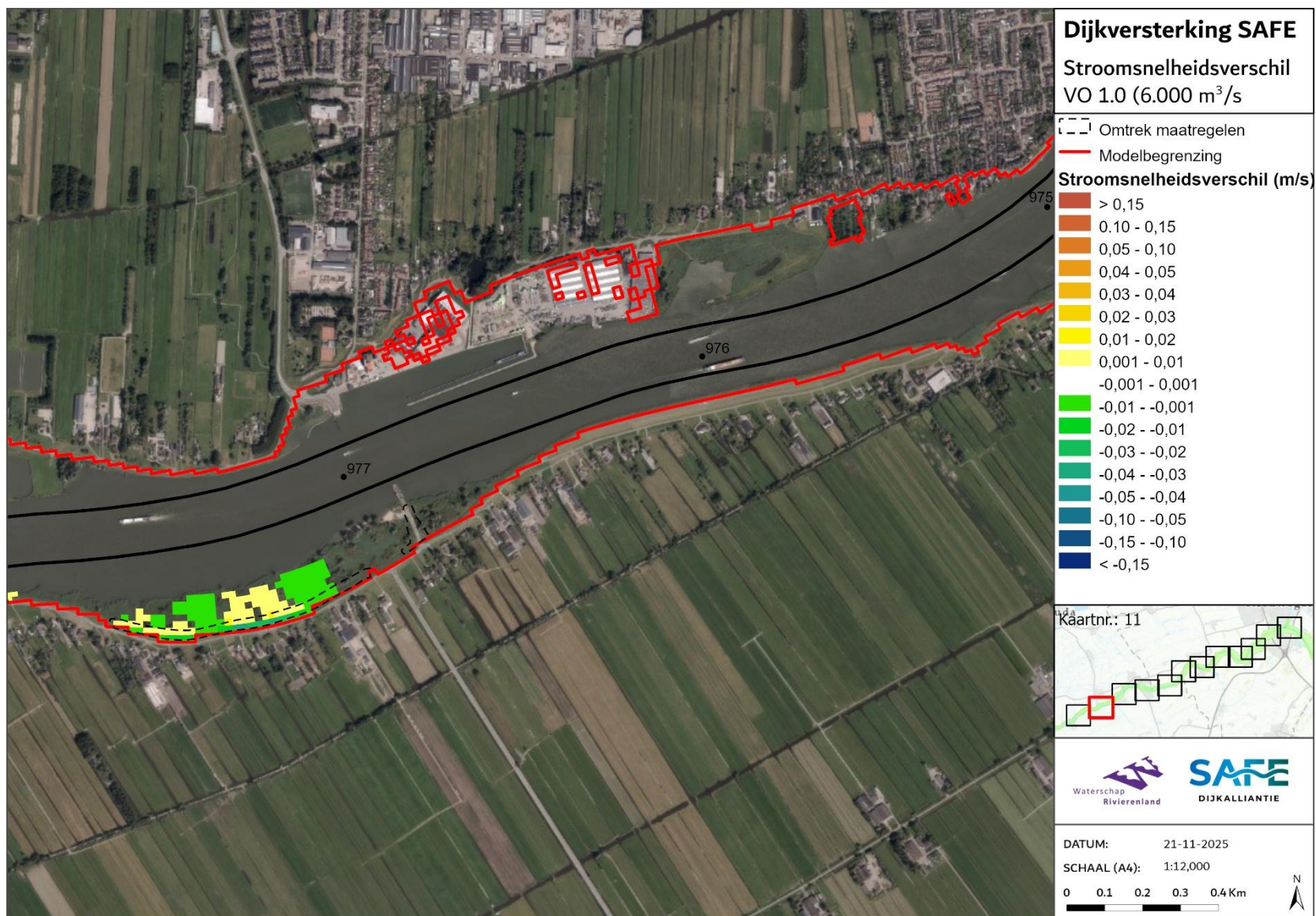
Rivierkundige beoordeling vergunningenontwerp (VO)





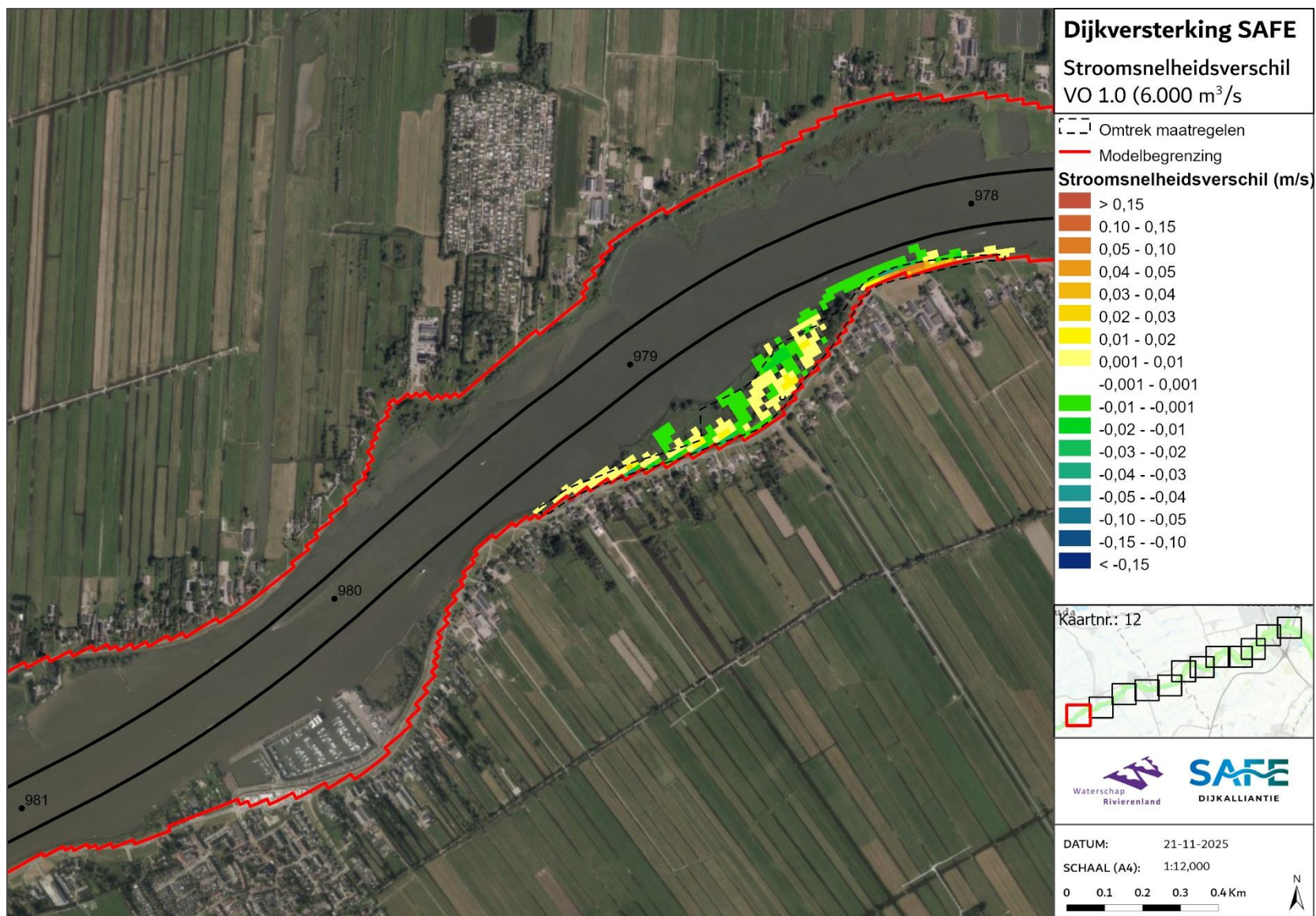
Dijkversterking SAFE

Rivierkundige beoordeling vergunningenontwerp (VO)



Dijkversterking SAFE

Rivierkundige beoordeling vergunningenontwerp (VO)

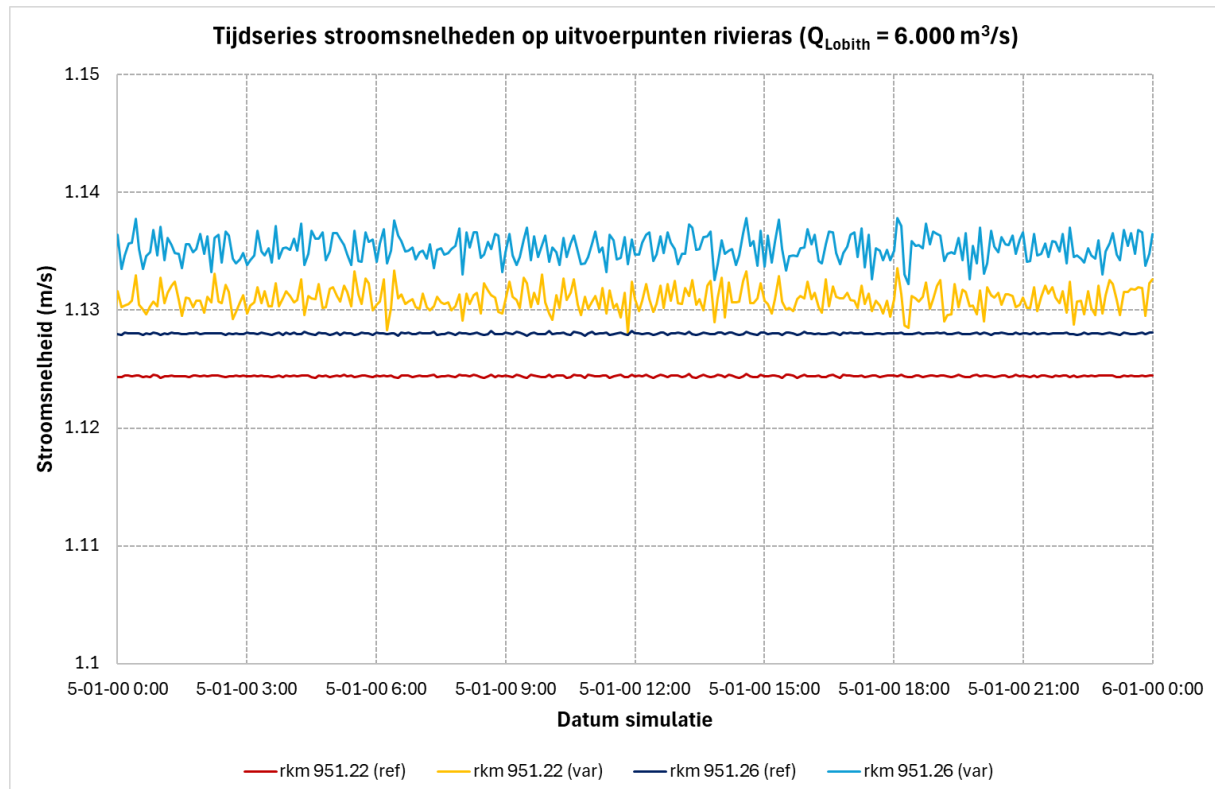


Analyse stroomsnelheidsverschillen dijkzone 2

In de kaarten in Bijlage E zijn tussen rkm 951 en 952 (bij dijkzone 2) kleine stroomsnelheidsverschillen ($< 0,01$ m/s) te zien in het zomerbed. Het betreft zowel verhogingen als verlagingen van de stroomsnelheid. De stroomsnelheidsverschillen die hier plaatsvinden zijn geen gevolg van de aanpassingen in nabijgelegen dijkzones 2, 3 of 4, omdat deze nog niet mee stromen bij een afvoer van $6.000 \text{ m}^3/\text{s}$. De verschillen kunnen ook geen direct gevolg zijn van de dijkzones of compenserende maatregelen die bij deze afvoer wel mee stromen. Deze liggen allemaal minstens 15 km verder stroomafwaarts en leiden alleen zeer lokaal tot stroomsnelheidsverschillen. Dat betekent dat de stroomsnelheidsverschillen een andere oorzaak hebben.

Om te controleren of het model voldoende ingespeeld is en de fluctuaties in de stroomsnelheden geen gevolg zijn van een onvoldoende geconvergeerde simulatie, zijn de tijdseries van de stroomsnelheden gecontroleerd op stabiliteit voor verschillende uitvoerpunten, waaronder bij rkm 951,22 en 951,26. Op deze twee punten zijn verschillen in de stroomsnelheid te zien in de kaart in Bijlage E. Deze tijdseries zijn stabiel voor de referentie (zie Figuur E-1), terwijl de tijdseries van de variant hier wat meer fluctueren. De mate van fluctuatie is echter constant over tijd – er is geen sprake meer van convergentie – en is daarmee geen consequentie van een te korte inspeeltijd. De tijdseries laten zien dat de variaties in de tijd van de stroomsnelheden in de variant geen oorzaak zijn van het verschil in stroomsnelheid tussen de variant en de referentie, aangezien de lijnen van de variant inclusief variatie boven de lijnen van de referentie liggen.

Deze kleine instabiliteit van de stroomsnelheid van de variant op deze locatie heeft verder geen invloed op de rivierkundige effectbepaling, omdat het model boven- en benedenstrooms van deze locatie stabiel is en de fluctuaties in stroomsnelheden klein zijn (en weinig invloed hebben op het gemiddelde van de laatste 25 tijdstappen, dat is gebruikt voor de analyse).



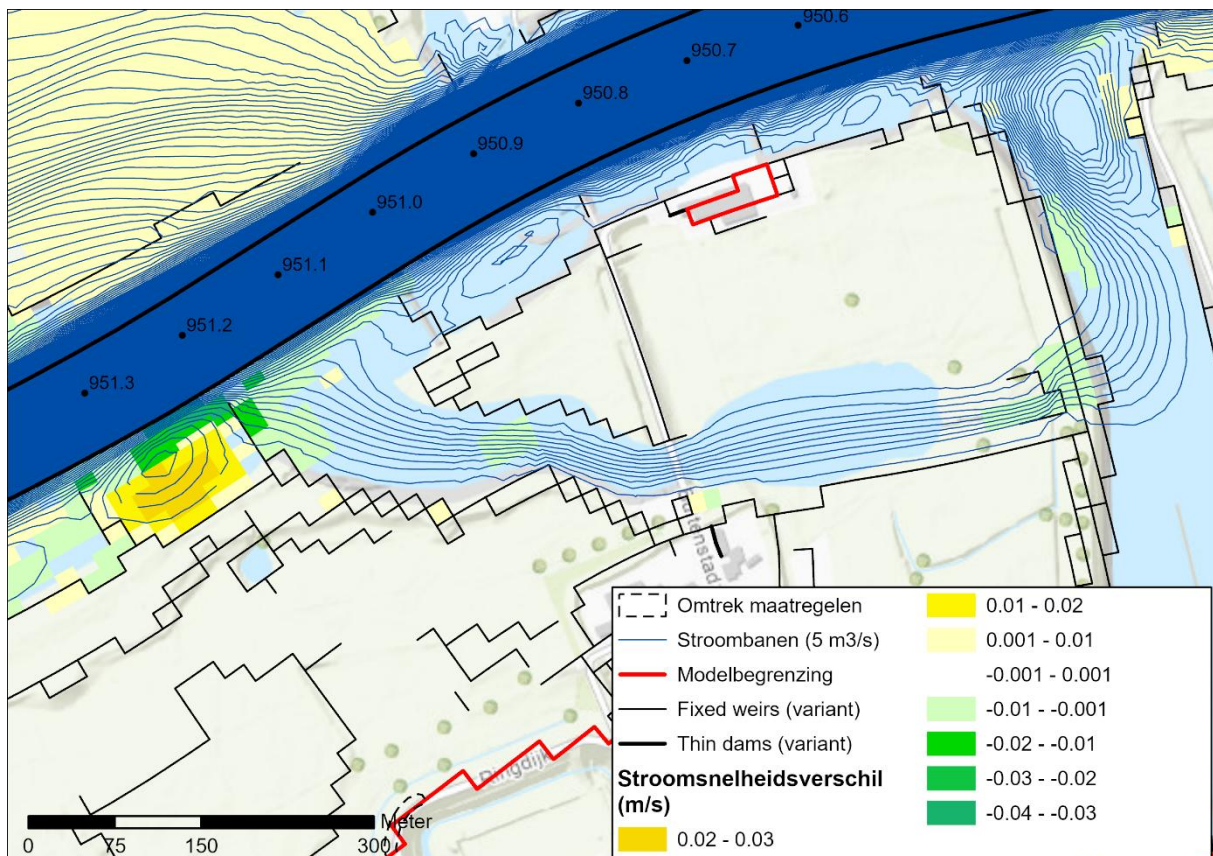
Figuur E-1: Tijdseries van de stroomsnelheden op de uitvoerpunten op de rivieras bij rkm 951,22 en 951,26 bij een afvoer van $6.000 \text{ m}^3/\text{s}$ bij Lobith voor de referentie (ref) en de variant (var). De tijdserie bevat alleen de laatste (vijfde) dag van de simulatie.

Een mogelijke oorzaak voor de stroomsnelheidsverschillen is de complexe stroming op deze locatie met de uitstroom van een brede geul bij rkm 951,2 in een kribvak met relatief lange kribben die rond deze afvoer van $6.000 \text{ m}^3/\text{s}$ (deels) overstromen, in combinatie met de versmalling van het doorstroomprofiel onder de brug van de A2 een stukje verderop bij rkm 951,7. Figuur E-2 laat de complexe stroming in dit gebied zien. Uit het figuur kan het volgende worden gehaald:

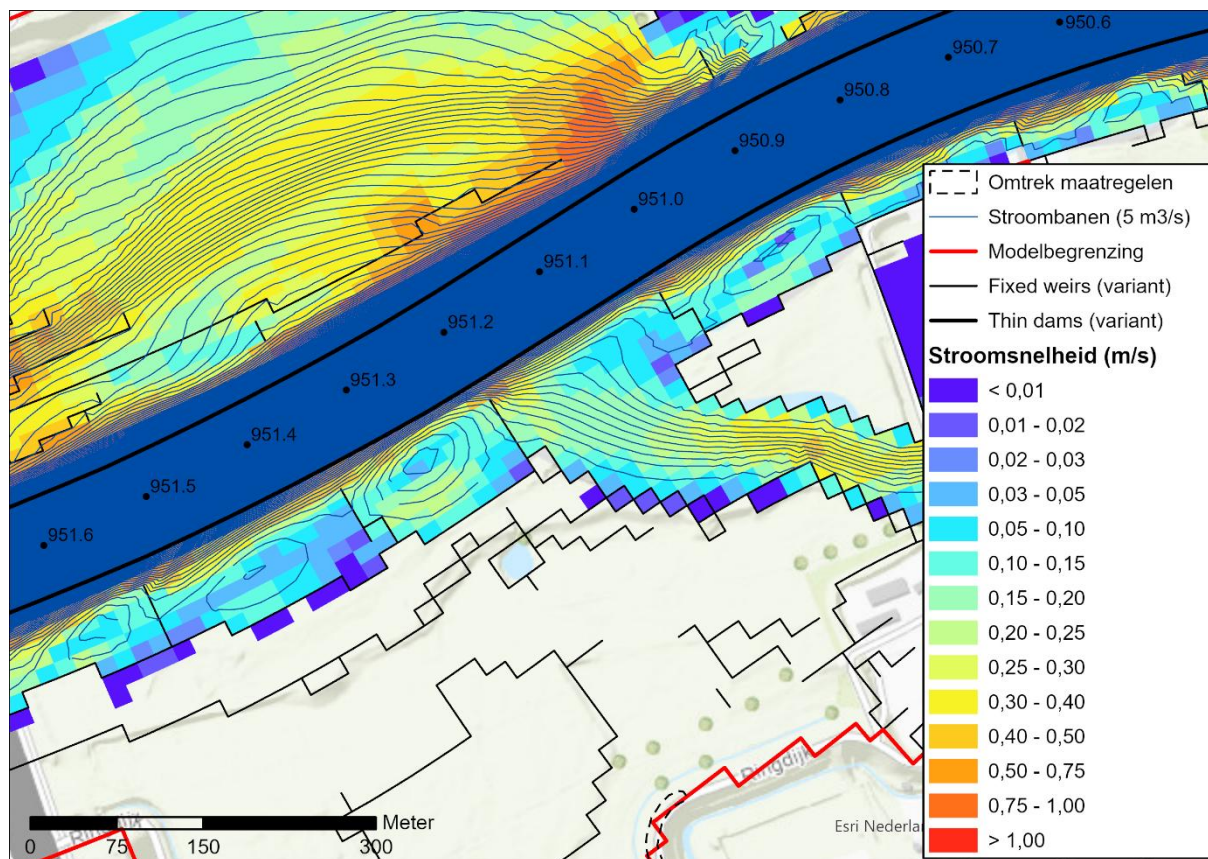
- De grootste stroomsnelheidsverschillen buiten de vaargeul zijn geconcentreerd in het kribvak aan de linkeroever tussen rkm 951,2 en 951,3, direct benedenstrooms van de uitstroom van de geul. In dit gebied zitten geen verschillen in de D-HYDRO invoer tussen de referentie en variant. De stroomsnelheidsverschillen zijn hier maximaal enkele centimeters per seconde.
- Uit de stroombanen in het figuur blijkt dat in dit kribvak een behoorlijke spiraalstroming aanwezig is. Bij andere kribvakken is dat soms ook te zien, maar de absolute stroomsnelheden van deze spiraalstroming zijn hier relatief hoog. Dat blijkt ook uit Figuur E-3, waarin de absolute stroomsnelheden zijn getoond: bij de kribvakken boven- en benedenstrooms is ook een spiraalstroming te zien, maar de stroomsnelheden zijn lager, evenals het debiet in de spiraalstroming.
- Het debiet dat vanuit de geul naar het zomerbed en het kribvak stroomt is – voor een nevengeul – groot (ongeveer $50 \text{ m}^3/\text{s}$) en stroomt onder een grote hoek naar het zomerbed en over de krib.
- Wat verder stroomopwaarts, bij rkm 950,3 - 950,4, is het stroombeeld tussen het zomerbed en de instroom van de nevengeul ook complex. Hier is ook een spiraalstroming

te zien, beperkte stroomsnelheidsverschillen en sterk convergerende en divergerende stroombanen.

Door het complexe stromingspatroon is de stroomsnelheid lokaal zeer gevoelig voor (insignificant) kleine fluctuaties in de stroming en waterstand, mogelijk vanwege de ingrepen verder benedenstrooms. Daardoor is de kans aanwezig dat de stroming naar de geul niet in iedere berekening precies op dezelfde manier verloopt, waardoor de kleine stroomsnelheidsverschillen kunnen ontstaan.



Figuur E-2: Stroomsnelheidsverschillen (bij een afvoer bij Lobith van 6.000 m³/s) tussen de variant en referentie en stroombanen (van de variant) rond de geul en het kribvak met de grootste stroomsnelheidsverschillen.



Figuur E-3: Stroomsnelheid en stroombanen (bij een afvoer bij Lobith van 6.000 m³/s) van de variant bij de uitstroom van de geul en de kribvakken benedenstrooms daarvan.

Bijlage F Redeneerlijn buitendijks versterken

Inhoudsopgave

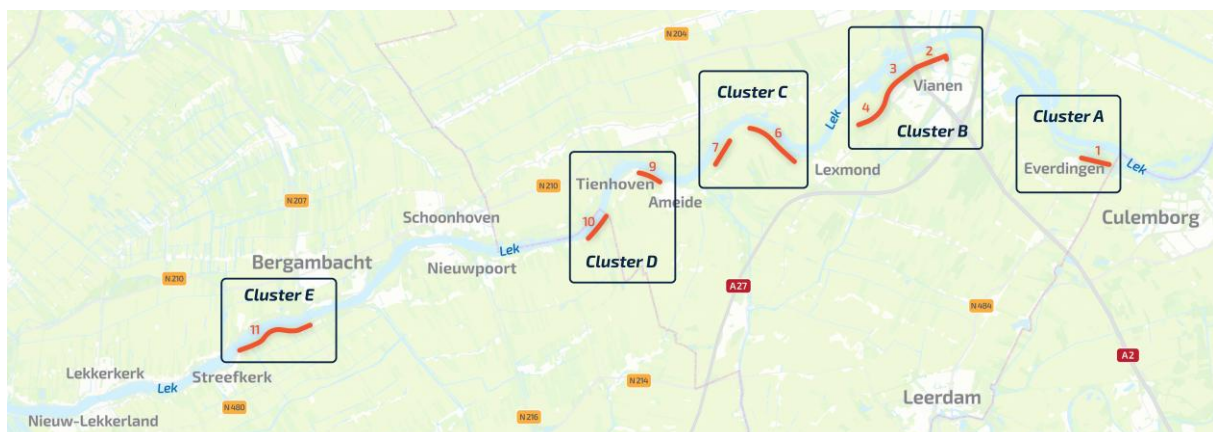
1	Inleiding.....	7
1.1	Aanleiding.....	7
1.2	Doelstelling.....	8
2	Beschrijving buitendijkse versterking	8
2.1	Dijkzone 2	8
2.2	Dijkzone 3	9
2.3	Dijkzone 4	9
2.4	Dijkzone 7	10
2.5	Dijkzone 10	11
2.6	Dijkzone 11	12
3	Onderbouwing redeneerlijn buitendijks	14
3.1	Afwegingscriteria	14
3.2	Onderbouwing RWS Oost Nederland	14
3.2.1	Dijkzone 2	14
3.2.2	Dijkzone 3	14
3.2.3	Dijkzone 4	15
3.2.4	Dijkzone 7	15
3.2.5	Dijkzone 10	16
3.3	Onderbouwing RWS West Nederland Zuid	16
3.3.1	Dijkzone 11	16

1 Inleiding

1.1 Aanleiding

In 2050 moeten alle primaire waterkeringen voldoen aan het wettelijk beoordelingskader (WBI2017). Dit betreft ook zuidelijke Lekdijk tussen Streefkerk en Fort Everdingen (normtrajecten 16-3 en 16-4). Hier geldt een veiligheidsnorm (ondergrens) van 1:10.000 per jaar voor het gehele dijktraject. Grote delen van de zuidelijke Lekdijk voldoen niet aan deze norm. Daarom worden de delen van de dijk met de grootste afstand tot de veiligheidsnorm versterkt als onderdeel van dijkversterking Streefkerk – Ameide – Fort Everdingen (SAFE). Over een totale lengte van 10,7 km wordt de dijk versterkt.

Het dijktraject SAFE ligt aan de zuidzijde van de rivier de Lek, in de provincies Zuid-Holland en Utrecht en is verdeeld over een 9-tal dijkzones. Deze scope van de dijkversterking is weergegeven in Figuur F1-1.



onderbouwt waarom een binnenwaartse versterking en/of constructieve oplossing redelijkerwijs niet mogelijk of gewenst is en op welke wijze het rivierbeheerdersbelang van Rijkswaterstaat hierin is afgewogen.

1.2 Doelstelling

In deze memo wordt voor de delen van de dijk waar in dijkversterking SAFE buitendijks wordt versterkt onderbouwd waarom rivierwaartse versterking noodzakelijk is en op welke wijze de effecten van rivierwaartse versterking geminimaliseerd, danwel gecompenseerd worden.

2 Beschrijving buitendijkse versterking

2.1 Dijkzone 2

In dijkzone 2 wordt over een lengte van 175 meter het buitentalud licht verflauwd, van een helling van 1:2,8 naar 1:3. Deze taludverflauwing vindt plaats in vak 16. Dit is te zien in Figuur F2-1.



Figuur F2-1: Taludverflauwing in dijkzone 2, met in donkergroen de huidige buitenkruinlijn

2.2 Dijkzone 3

In dijkzone 3 is sprake van een hoogte- en stabiliteitsopgave. In dijkzone 3 wordt de nieuwe waterkering buitendijks verplaatst ten opzichte van de huidige ligging. De buitenwaartse verplaatsing van de buitenkruinlijn bedraagt ca. 7 meter ten opzichte van de huidige situatie over een lengte van circa 900 meter. De dijk ligt hier gedeeltelijk in de luwte van de het landhoofd van de Lekbrug Vianen, dat aan de zuidzijde van de Lek ca 360 meter rivierwaarts reikt ten opzichte van de waterkering. De ligging van de nieuwe buitenkruinlijn ten opzichte van de huidige is weergegeven in Figuur F2-2.



Figuur F2-2: buitendijkse asverschuiving in dijkzone 3 (in donkergroen huidige buitenkruinlijn, in groen nieuw profiel dijk)

2.3 Dijkzone 4

In dijkzone 4 is sprake van een hoogte- en stabiliteitsopgave. In dijkzone 4 is er sprake van een buitenwaartse asverschuiving nabij de Kolfbaanweg en de woningen en bedrijfsgebouwen aan de Kolfbaanweg. De asverschuiving vindt plaats over een lengte van ca 250 meter. De buitendijkse asverschuiving is maximaal 17 meter en gemiddeld ca. 8 meter. De ligging van de nieuwe buitenkruinlijn ten opzichte van de huidige is weergegeven in Figuur F2-3.



Figuur F2-3: buitendijkse asverschuiving in dijkzone 4 (in donkergroen huidige buitenkruinlijn)

2.4 Dijkzone 7

In dijkzone 7 is sprake van een hoogte- en stabiliteitsopgave. In dijkzone 7 is sprake van een lichte buitenwaartse asverschuiving, deze is maximaal 4 meter ten opzichte van de huidige situatie over een lengte van circa 60 meter. De ligging van de nieuwe buitenkruinlijn ten opzichte van de huidige is weergegeven in Figuur F2-4.



Figuur F2-4: buitendijkse asverschuiving in dijkzone 7 (in donkergroen huidige buitenkruinlijn)

2.5 Dijkzone 10

Dijkzone 10 is nog gelegen in het beheergebied van Rijkwaterstaat Oost Nederland. In dijkzone 10 is sprake van een taludverflauwing aan de buitendijkse zijde in dijkvak 60, aan de westzijde van de dijkzone 10 over een lengte van ca. 420 meter. Het huidige buitentalud heeft een helling van 1:2,5 tot 1:2,8 dit wordt verflauwd naar een helling 1:3. De buitenwaartse taludverflauwing is weergegeven in Figuur F2-5.



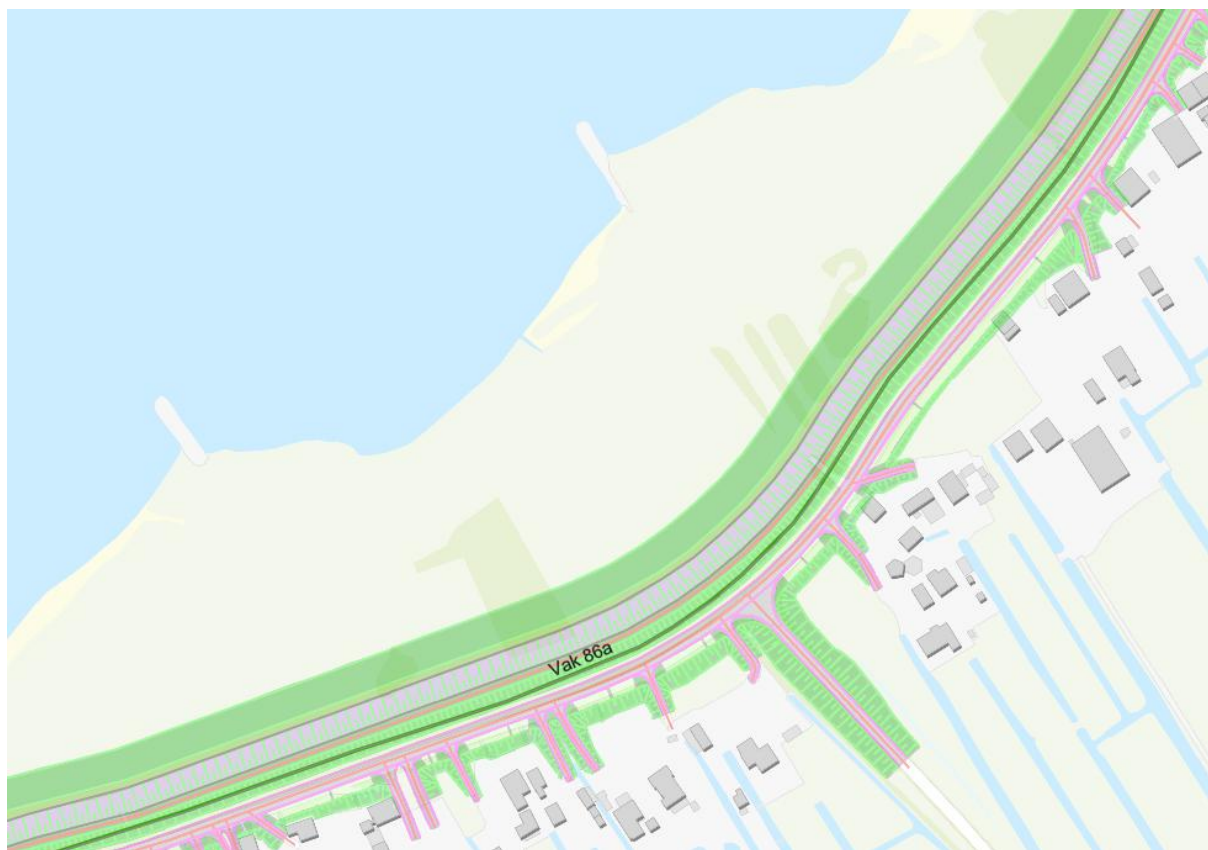
Figuur F2-5: buitendijkse taludverflauwing ter plaatse van dijkvak 60, in donkergroen de huidige buitenkruinlijn

2.6 Dijkzone 11

In dijkzone 11 is ter plaatse van het buitendijs te versterken deel sprake van een hoogte- en stabiliteitsopgave. In dijkzone 11 wordt de bestaande kruin op twee dijkdelen richting de buitendijkse zijde verlegd en de huidige binnenberm verlaagd. Deze dijkdelen liggen ter hoogte van de Bergstoep (oostelijk gedeelte dijkzone 11) en de Nieuwe Veer (westelijk gedeelte dijkzone 11). De verschuiving van de buitenkruinlijn ten opzichte van de huidige situatie bedraagt circa 4 meter in het oostelijk deel van dijkzone 11 en ca 8 meter in het westelijk deel van dijkzone 11. De ligging van de nieuwe buitenkruinlijn ten opzichte van de huidige is weergegeven in Figuur F2-6 en Figuur F2-7.



Figuur F2-6: buitendijkse asverschuiving in dijkzone 11 oostelijk deel (in bruin huidige buitenkruinlijn)



Figuur F2-7: buitendijkse asverschuiving in dijkzone 11 westelijk deel (in bruin huidige buitenkruinlijn)

3 Onderbouwing redeneerlijn buitendijks

3.1 Afwegingscriteria

De redeneerlijn Buitendijks versterken stelt dat: “binnendijkse versterking is redelijkerwijs niet mogelijk wanneer een binnendijkse oplossing:

- a. Tot onredelijk hoge kosten leidt ten opzichte van een buitendijkse oplossing incl. compenserende maatregelen;
- b. Technisch zeer lastig te realiseren is of grote uitvoeringsrisico's met zich meebrengt;
- c. Aantasting van belangrijke maatschappelijke waarden oplevert. Bijvoorbeeld wanneer omwonenden onevenredig veel nadelen ondervinden van de oplossing of wanneer belangrijke cultuurhistorische of landschappelijke waarden aangetast worden.”

Buitendijkse versterking is mogelijk indien deze niet op een hydraulisch ongunstige locatie ligt.

In paragraaf 3.2 en 3.3 wordt onderbouwd dat voor de delen waar in dijkversterking gekozen is voor een buitendijkse versterking een binnendijkse versterking redelijkerwijs niet mogelijk is.

3.2 Onderbouwing RWS Oost Nederland

3.2.1 Dijkzone 2

In dijkzone 2 wordt het buitentalud licht verflauwd. Dit zorgt ervoor dat de dijk niet opgehoogd hoeft te worden en het binnentalud niet verflauwd hoeft te worden. Hierdoor kan de gracht die onderdeel is van het archeologisch monument (voormalig) kasteel Batenstein worden behouden en de Rijksmonumentale Hofpoort.

3.2.2 Dijkzone 3

In dijkzone 3, ter plaatse van Vianen West ligt direct aan de huidige binnenteen het Viaanse Bos, de kasteeltuin Amaliastein en de woonwijk Amaliastein. Het Viaanse bos is het voornaamste restant van het voormalige buiten Amaliastein, de naamgever van het gebied. In Groenkaart van de gemeente Vijfheerenlanden loopt het plangebied door zones die zijn aangemerkt als bijzondere bomen. Deze bijzondere bomen zijn onder te verdelen in landschappelijke zones, landschappelijk bos/struweel, landschappelijke lanen, beschermwaardige gemeentelijke boomgroep en ecozones. In 2023 heeft uitgebreid onderzoek plaatsgevonden naar de bestaande houtopstanden langs de waterkering, in het Viaanse bos (Arcadis, 2023). De bomen in het Viaanse Bos zijn kwetsbaar en in de praktijk uit zich dat ook in een relatief hoge hoeveelheid windworp. De eerste rij bomen direct grenzend de waterkering functioneren nu als windbreker op het achterliggende deel. Als deze windbrekers vanuit de dijkversterking worden verwijderd, is behoud van het Viaanse Bos als beschermd gemeentelijk landschappelijk monument niet meer mogelijk. Bij een binnendijkse dijkversterking in grond zouden de windvangers verdwijnen. Op basis van het criterium aantasting van belangrijke (wettelijk beschermde) maatschappelijke waarden is binnendijkse versterking in grond niet mogelijk in dijkzone 3.

Op grond van onredelijk hoge kosten is een versterking in constructie ook niet mogelijk, omdat over 900 meter lengte van de waterkering een stabiliteitsconstructie aangebracht zou moeten

worden. Bij het plaatsen van deze constructie is er daarnaast een risico dat het wortelstelsel van de bomen beschadigd raakt. Binnendijks versterken in dijkzone 3 is dus redelijkerwijs niet mogelijk. Daarmee voldoet de buitendijkse versterking aan de redeneerlijn buitendijks versterken.

De dijk ter plaatse van het Viaanse Bos is deels in de luwte van het landhoofd van de Lekbrug Vianen gelegen.

3.2.3 Dijkzone 4

In dijkzone 4 vindt de buitendijkse asverschuiving plaats ter hoogte van de Kolfbaanweg. De helling van deze weg is in de huidige situatie al zodanig steil, dat deze als verkeersonveilig wordt ervaren. Versteilen van de op- en afrit is dus niet mogelijk. Aan de binnenzijde zijn een tweetal woningen gelegen die op 20 meter van de huidige binnenteen liggen en waarvan 1 woning op 2,5 meter van de Kolfbaanweg is gelegen. Op dit gedeelte van dijkzone 4, wordt de dijk met 55 centimeter verhoogd. Hierdoor is een verbreding van de huidige dijkbasis nodig met ca 8 meter. Als er aan de binnenzijde in grond of constructie versterkt zou worden, zou het grondlichaam van de op- en afrit van de Kolfbaanweg vanwege de ophoging ook naar binnen toe schuiven, omdat minimaal dezelfde helling gehandhaafd moet worden. Het ruimtebeslag van het grondlichaam van de op- en afrit zou dan overlappen met één woning die dan niet gehandhaafd kan worden. Om de omwonenden geen onevenredig groot nadeel plaats te laten vinden van de dijkversterking wordt de as van de dijk ter plaatse van de Kolfbaanweg in zijn geheel naar buiten verplaatst. Daarmee ontstaat ruimte voor de op- en afrit. De asverplaatsing ter plaatse van de Kolfbaanweg is maatgevend voor de positie van de as van de dijk in oostelijke en westelijke richting. Om een verkeersveilige situatie ter plaatse van de Kolfbaanweg te creëren loopt de weg vloeiend terug richting de huidige as. Op die wijze zijn de zichtlijnen voor weggebruikers vanaf de dijk richting de op- en afrit en vice versa geborgd.

Binnendijks versterken ter plaatse van de Kolfbaanweg is dus redelijkerwijs niet mogelijk omdat een omwonende onevenredig veel nadeel ondervindt van de binnendijkse versterking. Daarmee voldoet de buitendijkse versterking aan de redeneerlijn buitendijks versterken.

De buitenwaartse asverschuiving vindt plaats op een gedeelte van de dijk dat in de luwte ligt in een brede uiterwaard. Dit is geen hydraulische ongunstige locatie.

3.2.4 Dijkzone 7

In dijkzone 7 is sprake van een hoogte-opgave van 67 cm op basis van opleverhoogte (2030). Er ligt een tweetal woningen op 6 respectievelijk 8 meter van de huidige binnenteen. Voor de inpassing van deze woningen is gekozen voor een stabiliteitsconstructie als voorkeursoplossing. De ophoging van de dijk kan alleen worden opgelost in grond om de functie van de huidige weg op de kruin in stand te houden. Door ophoging van de dijk wordt de dijkbasis op maaiveld circa 9 meter breder. Bij een binnenwaartse verbreding in grond zou dit ertoe leiden dat de tweetal woningen niet in stand gehouden kunnen worden, omdat ruimtebeslag binnendijks groter zou zijn dan de beschikbare ruimte tussen de binnenteen en de gevel. Omdat dit leidt tot onevenredig nadeel voor omwonenden, is gekozen voor een buitendijkse versterking. Binnendijks versterken in dijkzone 7 is dus redelijkerwijs niet mogelijk. Daarmee voldoet de buitendijkse versterking aan de redeneerlijn buitendijks versterken.

De buitendijkse asverschuiving is met 4 meter gering en vindt niet plaats op een hydraulisch ongunstige locatie. De uiterwaard is hier ongeveer 350 meter breed.

3.2.5 Dijkzone 10

In dijkzone 10 wordt het talud licht verflauwd over 240 meter en voorzien van steenbekleding. Hiermee wordt voorkomen dat er een ophoging van de kruin noodzakelijk is en daarmee een aanpassing van het talud aan de binnenzijde. In dijkzone 10 van 60 staan een tweetal Rijksmonumenten op kruinhoogte. Omdat de kruin en binnentalud niet verhoogd en verbreed hoeven worden, is het mogelijk deze twee Rijksmonumenten te behouden.

3.3 Onderbouwing RWS West Nederland Zuid

3.3.1 Dijkzone 11

In dijkzone 11 is aan de binnenzijde van de dijk lintbebouwing aanwezig, zowel in de dijk als binnen enkele meters van de binnenteen. Een binnendijkse dijkversterking in grond is daarom niet mogelijk. Voor het voorkeursalternatief is gekozen voor een buitenwaartse asverschuiving in grond en niet voor een stabiliteitsconstructie. Een constructieve oplossing heeft voor de woningen aan de dijk een groter schaderisico dan voor de buitenwaartse asverschuiving. Dit risico is zodanig groot dat bij een constructie de norm voor 1% schaderisico ter plaatse van de woningen niet gehaald kan worden. Met een grondoplossing is dat wel mogelijk. In de evaluatie van eerdere dijkversterking Kinderdijk Schoonhovenseveer (KIS) in het plangebied wordt dit grote schaderisico door Deltares [D 3] onderbouwd. Voor KIS is de betreffende grenswaarde voor schade met een factor 3 tot 5 keer overschreden bij het plaatsen van constructies, waardoor de inschatting is dat het schaderisico bij het plaatsen van een constructie 3 tot 5 keer zo hoog is. Dit hoger schaderisico geldt voor alle bebouwing grenzend aan de dijk omdat:

- a) Bij het realiseren van een constructie moeten damwanden met een lengte van 26 meter worden toegepast;
- b) Deze damwandlengte zorgt ervoor dat trillingsarme methoden zoals drukken vaak niet toegepast kunnen worden, omdat de damwanden dan niet op diepte komen;
- c) Door de slappe ondergrond ter plaatse van dijkzone 11, maakt het dat horizontale grondvervormingen ten gevolge van de uitvoering doorwerken tot 20 tot 50 meter uit de dijkteen;
- d) Over het algemeen hebben de woningen in dijkzone 11 door de ouderdom (rond de 100 jaar) en fundatiewijze (palen) een hoog risicoprofiel op schade door grondvervorming. Van alle 82 woonobjecten in dijkzone 11 zijn er 80 gevoelig voor schade (met een hoog risicoprofiel) en slechts 2 normaal beoordeeld op basis van de bouwkundige inventarisatie;
- e) Een lange aaneengesloten damwand over dijkzone 11 zorgt voor een lichte verlaging van de grondwaterstand achter de damwand, waardoor in de gebruiksfase een aanvullend risico ontstaat voor gronddeformatie.

Binnendijs en constructief versterken in dijkzone 11 is dus redelijkerwijs net mogelijk en daarmee voldoet de buitendijkse versterking aan de redeneerlijn buitendijs versterken.

Voor het verlies aan bergingsvolume wordt bergingscompensatie gerealiseerd voor middel van een binnenwaartse asverschuiving en uiterwaardvergraving. De binnenwaartse asverschuiving is voorzien op een hydraulisch gunstige locatie, namelijk op een plek waar de rivier momenteel weinig ruimte heeft: de schaarlijk tussen de twee dijkdelen die rivierwaarts versterkt worden.

Referenties

- [D 3] Deltares: Analyse waterveiligheid Kinderdijk-Schoonhovenseveer (KIS) Fase 2
Toetsing aspecten uit rapportage "De Lekdijk is lekgestoken" 11207207-005-GEO-0016, 31 januari 2022