

Oorzaken en oplossingsrichtingen grondwateroverlast in Sluiskil

20 januari 2023

Kenmerk R001-1284768NJH-V02-agv-NL

Verantwoording

Titel	Oorzaken en oplossingsrichtingen grondwateroverlast in Sluiskil
Opdrachtgever	Rijkswaterstaat Zee en Delta
Projectleider	[redacted] 5.1.2.e
Auteur(s)	[redacted] en [redacted]
Tweede lezer(s)	[redacted] (Deltares), [redacted] (Aveco de Bondt) en [redacted] (TAUW)
Projectnummer	1284768
Aantal pagina's	92
Datum	20 januari 2023
Handtekening	Ontbreekt in verband met digitale verwerking.
	Dit rapport is aantoonbaar vrijgegeven.

Colofon

TAUW bv
Australiëlaan 5
Postbus 3015
3502 GA Utrecht
T +31 30 28 24 82 4
E info.utrecht@tauw.com

Inhoud

Managementsamenvatting 6
1 Inleiding 11
1.1 Aanleiding 11
1.2 Doelstelling 11
1.3 Vraagstelling 12
1.4 Aanpak 12
1.5 Kwaliteitsborging Deltares 14
1.6 Gebruikte bronnen 15
1.7 Leeswijzer 16
2 Historische ontwikkelingen 17
2.1 Overlast in Sluiskil 17
2.2 Aanpassingen aan het kanaal 18
2.3 Verleggen of dempen watergangen 19
2.4 Baggerwerkzaamheden 21
2.5 Riolering en drainage 23
2.6 Bebouwing 24
2.7 Samenvatting van de historische ontwikkelingen 25
3 Systeemanalyse 27
3.1 Toetsingskader 27
3.2 Maaiveldligging 27
3.3 Bodemopbouw 28
3.4 Kanaalbodem en -peil 35
3.5 Grondwater 36
3.5.1 Grondwaterstandsverloop 36
3.5.2 Tijdreeksanalyse 44
3.6 Oppervlaktewater 49
3.7 Oeverbescherming 52
3.8 Riolering en drainage 53
3.9 Samenvatting van de systeemanalyse 54
4 Grondwatermodelanalyses 59

4.1 Doorlopen stappen in de modellering 59
4.2 Opzet grondwatermodel en kalibratie (stap 1, 2 en 3) 60
4.3 Gevoeligheidsanalyse en bandbreedte (stap 4) 60
4.4 Vaststellen maatgevende invloeden (stap 5) 60
4.5 Effectenanalyse potentiële maatregelen (oplossingsrichtingen) (stap 6) 61
5 Mogelijke oorzaken overlast 63
5.1 Invloed van het kanaal 63
5.1.1 Inzijging via de kanaalbodem 64
5.1.2 Hoog kanaalpeil bij natte omstandigheden 64
5.1.3 Oeverconstructies 65
5.2 Invloed afvoer van hemelwater 66
5.2.1 Slecht doorlatende ondergrond 66
5.2.2 Depressies in maaiveldverloop 67
5.2.3 Afwezigheid lokale af- en ontwatering 67
5.3 Koppeling van mogelijke oorzaken naar overlast gebieden 68
6 Mogelijke oplossingsrichtingen 69
6.1 Oplossingen om de invloed van het kanaal te verkleinen 70
6.1.1 Verhogen van de weerstand van de kanaalbodem 70
6.1.2 Vergroten van de weerstand van de oevers 73
6.1.3 Optimaliseren van het peilbeheer op het kanaal 76
6.1.4 Afvoeren van toestromend grondwater naast het kanaal 77
6.2 Oplossingen om afvoer hemelwater te bevorderen 79
6.2.1 Aanleggen dekkend drainagenetwerk 79
6.2.2 Opwaarderen bestaande drainage 81
6.2.3 Opwaarderen bestaande waterlopen / peilverlaging 83
6.2.4 Verlagen regionale ontwateringsbasis 85
6.3 Restopgave wateroverlast 85
7 Conclusies en aanbevelingen 86
7.1 Conclusies 86
7.1.1 Mogelijke oorzaken overlast 86
7.1.2 Mogelijke oplossingsrichtingen 87
7.2 Aanbevelingen 90

Kenmerk R001-1284768NJH-V02-agv-NL

Bijlage 1	Damwandgegevens RWS
Bijlage 2	Damwandgegevens North Sea Port
Bijlage 3	Riolering en drainage Sluiskil
Bijlage 4	Meet en monitoringsplan extra gegevens Sluiskil
Bijlage 5	Tijdreeksanalyses
Bijlage 6	Uitgangspunten en onderbouwing grondwatermodellering
Bijlage 7	Resultaten grondwatermodellering oorzaken en oplossingsrichtingen
Bijlage 8	Resultaten nieuwe sonderingen
Bijlage 9	Verslag kwaliteitsborging Deltares

Managementsamenvatting

Inleiding

In delen van Sluiskil wordt door bewoners grondwateroverlast ervaren. Sluiskil is een dorp in de gemeente Terneuzen, gelegen langs het Kanaal Gent-Terneuzen. De bewoners maken onder andere melding van vocht in huis, optrekkend vocht in de muren, natte vloeren en natte tuinen. Een oproep van de bewoners in 2021 tot meer aandacht voor de aanhoudende problemen is de aanleiding geweest voor de minister van Infrastructuur en Waterstaat om een nader onderzoek te gelasten. Dit onderzoek moet leiden tot beter inzicht in de oorzaken van de wateroverlast en aanbevelingen omtrent effectieve maatregelen om de grondwaterstand positief te beïnvloeden. De maatregelen richten zich op mogelijkheden in de openbare ruimte. Mogelijk nemen deze maatregelen niet alle overlast weg. Dit vraagt ook om maatwerkoplossingen op perceelsniveau.

Voor het onderzoek zijn de volgende stappen doorlopen:

- Opstellen historisch onderzoek naar de ontwikkelingen in Sluiskil met relatie tot het (grond)watersysteem van het kanaal en de woonwijk
- Beschrijven van het systeem. Hiervoor is data verzameld en vervolgens aangevuld met extra peilbuizen en sonderingen
- Op basis van de systeemanalyse en extra peilbuizen en sonderingen is het grondwatermodel gemaakt en verfijnd
- Met behulp van het grondwatermodel en de grondwaterdata zijn diverse analyses uitgevoerd om de oorzaken en oplossingsrichtingen nader te duiden en kwantificeren
- De resultaten zijn vervolgens verwerkt in dit rapport waarbij de inzichten over de oorzaken en oplossingsrichtingen van de wateroverlast in Sluiskil zijn samengebracht

Historische ontwikkelingen

De belangrijkste historische ontwikkelingen die een potentiële invloed hebben (gehad) op de waterhuishouding van Sluiskil zijn hieronder opgesomd:

- Het Kanaal Gent-Terneuzen is sinds de officiële opening in 1827 tot 1968 telkens in stappen verbreed en verdiept. Met name de verbreding en verdieping tussen 1961 en 1968 heeft, mede door het verleggen van de Westelijke Rijkswaterleiding, mogelijk een significante impact gehad op de lokale waterhuishouding in Sluiskil
- Na 1968 is het kanaal niet verder verdiept of verbreed. Ondanks de aanwezigheid van erosiegeulen is tussen 2006 en 2021 geen significante verdere verdieping of uitslijting van het kanaal waar te nemen als gevolg van de scheepvaart
- Naast het verleggen van de Westelijke Rijkswaterleiding zijn meer watergangen in Sluiskil verdwenen tussen 1968 en 1990 waardoor afvoercapaciteit van kwelwater en hemelwater via het oppervlaktewatersysteem is afgenomen. Nu gebeurt waterafvoer primair via het rioolstelsel en op enkele locaties met extra drainagebuizen. De huidige inrichting is voor de beheersing van de grondwaterstand echter niet afdoende
- In Sluiskil zijn tussen 2013 en 2015 in enkele straten de rioleringen vernieuwd waarbij drainage is gelegd om een eventueel wijzigend grondwaterniveau te beheersen

Systeemanalyse

Op basis van de systeemanalyse wordt geconcludeerd dat een combinatie van invloeden bijdragen aan de grondwaterhuishouding van Sluiskil:

Invloed van het kanaal:

- Door het potentiaalverschil tussen kanaalpeil en grondwater in het achterland heeft het kanaal een grondwaterstand verhogende invloed in Sluiskil. De invloed van kortdurende fluctuaties van het kanaalpeil zijn alleen significant meetbaar op korte afstand (binnen 50 meter) van het kanaal. Het effect van passerende grote schepen heeft geen meetbaar effect op de grondwaterstanden

Slecht doorlatende ondergrond:

- De ondergrond van Sluiskil bestaat uit een slecht doorlatende deklaag van zo'n 1,5 tot 2 m dik. Onder de deklaag begint een zandpakket dat plaatselijk wordt onderbroken door kleilaagjes. Zowel de deklaag als de kleilaagjes/kleilenzen belemmeren de infiltratie en de verticale grondwaterstroming. De neerslag kan op een kleilens blijven staan waardoor de grondwaterstanden lokaal (tijdelijk)hoger lijken dan in de rest van de omgeving (dit wordt een schijngrondwaterspiegel genoemd)

Depressies in maaiveldverloop:

- De maaiveldhoogte in Sluiskil varieert van NAP +3 tot +4 m langs het kanaal tot iets meer dan NAP +1 m bij de brandgang achter de Bosjesweg. Het maaiveldverloop kenmerkt zich door de aanwezigheid van lokale laagtes. Sluiskil ligt qua maaiveldniveau als het ware in een badkuip

Afwezigheid lokale af- en ontwatering:

- In Sluiskil is momenteel vrijwel geen oppervlaktewater meer te vinden. Dat heeft ertoe geleid dat het water uit het kanaal en hemelwater moeizaam kan worden afgevangen en afgevoerd
- Voor de afwatering is Sluiskil hoofdzakelijk afhankelijk van het bestaande riolerings- en drainagesysteem

De complexe opbouw van de bodem, de situatie die is ontstaan door het verminderen van de drainerende- en ontwateringsmiddelen en de invloed van het kanaal hebben allemaal invloed op de grondwatersituatie in Sluiskil. De verschillende invloeden zijn moeilijk uit elkaar te trekken zijn, ze beïnvloeden elkaar immers

Grondwatermodelanalyses

Een grondwatermodel bleek noodzakelijk om de grondwaterproblematiek in Sluiskil beter te begrijpen en af te kaderen. Het model is daarbij in eerste instantie een aanvulling op de systeemanalyse om te begrijpen en visualiseren hoe het grondwatersysteem werkt. Daarnaast is het een belangrijk hulpmiddel om het effect van potentiële maatregelen te berekenen.

Mogelijke oorzaken overlast

Naar aanleiding van de onderzoeksresultaten kunnen de hoge grondwaterstanden worden gecategoriseerd in twee verschillende hoofdinvloeden:

- Enerzijds heeft toestroming van water vanuit het kanaal een grondwaterstand verhogende invloed in Sluiskil
- Anderzijds is sprake van wateroverlast door hemelwater als gevolg van de slecht doorlatende ondergrond en onvoldoende drainerende of ontwaterende middelen

Mogelijke oplossingsrichtingen

Dit onderzoek geeft aanbevelingen voor maatregelen die op openbaar terrein uitgevoerd kunnen worden om de grondwaterstanden te verlagen. Met behulp van het grondwatermodel is getoetst in hoeverre elk van de maatregelen een significante bijdrage levert aan het verlagen van de grondwaterstanden tot een wenselijke ontwateringsdiepte. Sommige mogelijke oplossingsrichtingen zijn niet doorgerekend, maar beschrijvend opgenomen in het rapport. De volgende oplossingsrichtingen zijn beschouwd:

De invloed van het kanaal kan verkleind worden door de volgende ingrepen:

- Verhogen van de weerstand van de kanaalbodem
- Vergroten van de weerstand van de oevers
- Constanter peilbeheer van bestaande streefpeil van het kanaal
- Afvoeren van toestromend water naast het kanaal

Om de afvoer van hemelwater en grondwater te verbeteren is gekeken naar de volgende maatregelen:

- Aanleggen dekkend drainagenetwerk in gebieden met structureel hoge grondwaterstanden
- Opwaarderen bestaande drainage
- Opwaarderen bestaande waterlopen / peilverlaging
- Verlagen regionale ontwateringsbasis

De oplossingsrichtingen zijn aan de hand van vier criteria beschreven. Dit zijn effectiviteit, risico's, uitvoerbaarheid en kosten bepalende factoren. Op basis van deze criteria is het mogelijk om aanbevelingen te formuleren voor een strategie om tot een oplossing te komen en ambtelijke en bestuurlijke besluitvorming te faciliteren.

Conclusies

De ervaren overlast wordt herkend in de onderzoeksresultaten. De grondwaterstanden zijn hoog, met name in de winter, maar ook in de zomer daalt de grondwaterstand lokaal niet structureel onder het gewenste ontwateringsniveau.

Ten aanzien van de oorzaken van de ervaren overlast in Sluiskil wordt geconcludeerd dat dit een combinatie is van verschillende invloeden. Daarbij is het te verwachten dat woningen die dichter bij het kanaal liggen in sterkere mate overlast ervaren door de invloed van het kanaal en woningen op een grotere afstand met name overlast ervaren door de slecht doorlatende ondergrond, het wisselende maaiveldverloop en de beperkte aanwezigheid van drainerende en ontwaterende middelen in het dorp.

Er kan niet een harde grens tussen de genoemde hoofdoorzaken worden getrokken. Een groot deel van Sluiskil heeft (in meer of minder mate) last van zowel het kanaal als van de onvoldoende afvoermogelijkheden van hemelwater en de slechte infiltratiemogelijkheden.

Op basis van de grondwatermodelresultaten wordt geconcludeerd dat het volledig afsluiten van het kanaal tot zeer ongewenste nevenschade kan leiden. De kans op zetting en krimp van klei of leemlagen in het geval dat de grondwaterstanden structureel dalen is reëel. Dit leidt mogelijk tot verzakkingen van bebouwing met aanzienlijke schade als gevolg.

Een oplossing waarin de mogelijkheid bestaat om bij te sturen om tot gewenste grondwaterstanden te komen, verdient de voorkeur. Sluiskil heeft baat bij een gecontroleerde daling van de grondwaterstanden die in de zomermaanden niet te ver doorschiet naar niveaus die historisch nog nooit hebben plaatsgevonden. Om deze reden wordt de aanleg van drainage langs het kanaal en in Sluiskil als basisoplossing aanbevolen.

Door de complexe bodemopbouw is het aannemelijk dat overlast in heel Sluiskil niet volledig gemitigeerd kan worden. Zo zijn schijngrondwaterspiegels of slechte infiltratiemogelijkheden op particulier terrein niet compleet op te lossen door alleen maatregelen op openbaar terrein te treffen. Het volledig mitigeren van hoge grondwaterstanden vraagt ook om maatregelen op perceelsniveau. Hierdoor zijn plaatselijk ingrepen op particulier terrein benodigd en vraagt om maatwerk per situatie. Zolang de ondergrond van een openbaar of particulier terrein slecht infiltreert dankzij de complexe bodemopbouw, blijft de kans aanwezig dat (tijdelijke) overlast wordt ervaren na een regenbui.

Aanbevelingen

Voor een definitieve invulling van de maatregelen vragen de voorgestelde oplossingsrichtingen nog om nadere uitwerking om de exacte effectiviteit te kunnen voorspellen. Om te grote grondwaterstandsdaling te voorkomen, wordt een getrapte en adaptieve aanpak aanbevolen, zodat gecontroleerd kan worden toegewerkt naar het zo goed als mogelijk beheersen van de grondwaterstand. Hierbij wordt aangeraden om de effectiviteit per maatregel telkens te monitoren en tussentijds te evalueren wat de effectiviteit van de genomen maatregel is, of te definiëren grenswaarden worden overschreden dan wel of aanvullende maatregelen wenselijk zijn. Verder wordt aanbevolen om de locaties waar maatregelen worden getroffen, te prioriteren in tijd en urgentie aangezien niet alle maatregelen in een keer geïmplementeerd kunnen worden. De noodzaak om overlast te verminderen in Sluiskil is echter evident.

Toch bestaat de kans dat de wateroverlast niet overal en op elk tijdstip weggenomen kan worden. Zo kan de afvoer van hemelwater in privé tuinen niet volledig met maatregelen in het openbaar gebied worden opgelost. Dit vraagt ook om maatwerkoplossingen op perceelsniveau. Hierbij wordt aanbevolen dat overheden ondersteuning leveren in de mogelijkheden die bewoners hebben voor het treffen van de juiste maatwerkoplossingen. Mogelijkheden die bewoners hebben om lokaal wateroverlast te verminderen zijn:

- Drainage aanleggen op eigen perceel (en aansluiten op het gemeentelijke drainagesysteem)
- Verticale drainage aanleggen zodat hemelwater makkelijker infiltreert
- Aanbrengen van een bodemafsluiter in de kruipruimte
- Injecteren van de bouwmuren tegen optrekkend vocht
- Impregneren (waterdicht maken) van de buitenmuren
- Ophogen van de tuin of binnenplaats

De getrapte adaptieve aanpak om maatregelen te treffen in het openbare gebied omvat de volgende stappen:

1. Maak een gedegen (ontwerp)plan voor de aanleg van drainage in Sluiskil.
2. Geef prioriteit aan regelbare drainage langs het kanaal (voorkeur 2 meter diep)
3. Opwaarderen omliggende watersysteem
4. Verkenning optimalisatie peilbeheer kanaal
5. Afdichten van het zijkanaal
6. Opwaardering van bestaande oeverconstructies
7. Nagaan van mogelijkheden van innovatieve oplossingen

Een essentieel onderdeel van een getrapte adaptieve aanpak is dat er met behulp van het bestaande monitoringsmeetnet met grote regelmaat gemonitord en geanalyseerd wordt wat de effectiviteit is van elk van de oplossingsrichtingen die worden geïmplementeerd. Hiervoor wordt aanbevolen om een monitoring- en meetstrategie op te stellen. Onderdeel van goed monitoren is om te toetsen of de werking van de geïmplementeerde maatregelen in de tijd volledig naar wens verloopt. Hiervoor is een integraal beheer en onderhoudsplan essentieel. Ook wordt aanbevolen om een herijking van de ervaren schade bij bewoners uit te voeren enkele maanden nadat de eerste maatregelen zijn geïmplementeerd. Bij het uitvoeren van de maatregelen is het van belang om met de ambtelijke partners vaste evaluatie- en bijstuurmomenten in te plannen.

Met de keuze voor een getrapte, adaptieve aanpak creëren Rijkswaterstaat en Gemeente Terneuzen de mogelijkheid om, ondanks de aanwezige onzekerheden, een passende en veilige invulling te geven aan de realisatie van een optimale beheersing van de grondwaterproblematiek in Sluiskil.

1 Inleiding

1.1 Aanleiding

In delen van Sluiskil wordt door bewoners grondwateroverlast ervaren. Sluiskil is een dorp in de gemeente Terneuzen, gelegen langs het Kanaal Gent-Terneuzen. De bewoners maken onder andere melding van vocht in huis, optrekkend vocht in de muren, natte vloeren en natte tuinen. In 2017 is een eerste onderzoek uitgevoerd door Wareco ingenieurs naar de wateroverlast in Sluiskil. Uit het rapport blijkt dat het om een complex probleem gaat, waarbij de vochtproblemen die de bewoners ervaren een relatie hebben met de hoge grondwaterstanden. Deze grondwaterstanden staan mogelijk grotendeels onder invloed van het kanaal en de hydrologische situatie in het gebied, die samenhangt met de bodemopbouw en de grondwaterstroming. De beperkte ontwatering (hoogte van de grondwaterstand onder maaiveld) in de woonwijk alsmede de bouwtechnische staat van de woningen worden aangemerkt als bepalende factoren voor de ervaren overlast. Enkele aanbevelingen uit het onderzoek zijn na oplevering van de rapportage in 2017 in gang gezet. De uitgevoerde maatregelen hebben zich met name gericht op het vochtresistent maken van enkele woningen. Overige aanbevelingen zijn niet in gang gezet.

Een oproep van de bewoners in 2021 tot meer aandacht voor de aanhoudende problemen is de aanleiding geweest voor de minister van Infrastructuur en Waterstaat om een nader onderzoek te gelasten. Dit onderzoek moet plaatsvinden onder samenwerking van betrokken partijen en moet leiden tot beter inzicht in de oorzaken van de wateroverlast en aanbevelingen omtrent effectieve maatregelen om de grondwaterstand positief te beïnvloeden. Het onderzoek is erop gericht om een zo compleet mogelijk beeld te verschaffen van de bijdragen van de oorzaken die leiden tot wateroverlast in Sluiskil. Met behulp van het verbeterde inzicht worden mogelijke oplossingsrichtingen geformuleerd, waarbij de effectiviteit en doelmatigheid van de maatregelen worden aangegeven.

1.2 Doelstelling

Om een compleet beeld te krijgen van de mogelijke oorzaken en oplossingsrichtingen van de grondwateroverlast in Sluiskil is het onderzoek opgedeeld in vijf deelonderzoeken:

1. Quick scan onderzoek (historische) ontwikkeling van grondwatersysteem kanaal en woonwijk. Het doel hiervan is om context te bieden aan de mogelijke oorzaken voor de grondwateroverlast in Sluiskil
2. Opstellen meet- en monitoringsplan kanaal en woonwijk a.d.h.v. reeds bestaande areaal- en meet- en monitoringsgegevens. Op basis van de bestaande beschikbare gegevens wordt onderzocht of het nodig is om aanvullende data of informatie in het veld te verzamelen om in staat te zijn om een gedegen probleem en systeemanalyse op te stellen en een gedetailleerd en gevalideerd grondwatermodel te maken
3. Opstellen probleem- en systeemanalyse, vaststellen oorzaken van grondwateroverlast Sluiskil en mogelijke beheersmaatregelen

4. Opstellen gedetailleerd en gevalideerd grondwatermodel om oorzaken en beheersmaatregelen door te rekenen. Dit onderzoek is ondersteunend aan de probleem- en systeemanalyse om zo goed mogelijk de invloed en/of effectiviteit van mogelijke oorzaken en oplossingsrichtingen te kwantificeren
5. Resultaten zijn verwerkt in voorliggend adviesrapport over oorzaken en mogelijke oplossingsrichtingen voor de wateroverlast voor de korte en (middel)lange termijn

1.3 Vraagstelling

Voor het uit te voeren onderzoek zijn door Rijkswaterstaat de volgende vragen centraal gesteld:

- Wat zijn de mogelijke oorzaken van hoge grondwaterstanden in Sluiskil?
- Wat is de relatie van het grondwater in Sluiskil met het kanaal Gent-Terneuzen?
- Indien oorzaken zijn aan te wijzen, wat zijn dan passende maatregelen waarmee de grondwaterstand kan worden beheerst?
- Kunnen structureel hoge grondwaterstanden door een maatregel worden gemitigeerd?

De belangrijkste eis aan het onderzoek is dat het antwoord moet geven op vermelde vragen of - indien dat niet mogelijk is - aan te geven welk aanvullend onderzoek kan worden verricht om beantwoording wel mogelijk te maken. De scope van dit onderzoek richt zich niet op het exact in kaar brengen van de problematiek per woning of perceel. In dit onderzoek wordt gezocht naar effectieve maatregelen in openbaar gebied.

Rijkswaterstaat heeft voor het onderzoek 3 partijen ingeschakeld om de adviesproducten op te stellen:

- TAUW, Europees advies- en ingenieursbureau met een sterke positie in milieuadvies en duurzame ontwikkeling van de leefomgeving
- Aveco de Bondt, bureau voor ontwerp, onderzoek en advisering van toekomstbestendige oplossingen voor landelijke opgaven en omgevingsvraagstukken
- Deltares als onafhankelijk kennisinstituut voor toegepast onderzoek op het gebied van water en ondergrond voor uitvoering van kwaliteitsborging

Om antwoord te kunnen geven op de gestelde vragen diende het onderzoek in onderlinge afstemming en onder goede samenwerking van TAUW, Aveco de Bondt en Deltares te worden uitgevoerd.

1.4 Aanpak

Dit onderzoek is in opdracht van Rijkswaterstaat uitgevoerd door Ingenieursbureaus Aveco de Bondt en TAUW. De resultaten zijn in gezamenlijkheid tot stand gekomen waarbij TAUW verantwoordelijk was voor het opstellen van deelonderzoek 1, 3 en 5 en Aveco de Bondt verantwoordelijk was voor deelonderzoek 2 en 4 (zie paragraaf 1.2). Deltares is als kennisinstituut gevraagd om een complete kwaliteitsborging uit te voeren van de (deel)onderzoeken en om gevraagd en ongevraagd advies te geven tijdens de gehele looptijd van het onderzoek (zie ook paragraaf 1.5).

Bij de totstandkoming van de mogelijke oorzaken en oplossingsrichtingen zijn diverse specialisten en gebiedskenners betrokken van de gemeente Terneuzen, waterschap Scheldestromen, Rijkswaterstaat, Deltares, Aveco de Bondt en TAUW. De gemeente Terneuzen is hierin in het bijzonder nauw betrokken geweest in de totstandkoming van de resultaten uit dit onderzoek en het informeren van de bewoners van Sluiskil over de voortgang van het onderzoek. De bewoners van Sluiskil zijn middels bewonersavonden betrokken bij het inventariseren van de mogelijke oorzaken en oplossingsrichtingen en om de inwoners te infomeren over de voortgang van het onderzoek. Tevens is een aparte klankbordgroep opgesteld bestaande uit een vertegenwoordiging van bewoners uit Sluiskil. Het doel van deze klankbordgroep is om op de hoogte te worden gehouden van de ontwikkelingen die moeten leiden tot een oplossing van de wateroverlast in Sluiskil. Als klankbordgroep worden zij betrokken bij, geïnformeerd over en kunnen zij meedenken waar mogelijk en nodig bij het onderzoek. Op deze wijze zijn zij in staat geweest de belangen van de bewoners van Sluiskil te waarborgen.

Voor het onderzoek zijn de volgende stappen doorlopen.

- Opstellen historisch onderzoek naar de ontwikkelingen in Sluiskil met relatie tot het (grond)watersysteem van het kanaal en de woonwijk
  - Dit leverde relevant inzicht in welke ontwikkelingen historisch gezien een significante invloed moeten hebben gehad op het (grond)watersysteem van Sluiskil
- Verzamelen van data en beschrijving van het (water)systeem
  - Hiervoor is grondig onderzoek verricht naar de ondergrond en het grond- en oppervlaktewatersysteem (inclusief riolering en drainage) van Sluiskil
- Vaststellen van mogelijke oorzaken en oplossingsrichtingen met experts
  - De inzichten die uit het historisch onderzoek en de systeemanalyse kwamen, zijn tijdens de expertsessie gedeeld met de aanwezigen. Met behulp van lokale kennis en expertkennis had deze sessie tot doel om mogelijke oorzaken en oplossingsrichtingen te benoemen. Verschillende expertises van Rijkswaterstaat, Gemeente Terneuzen, Waterschap Scheldestromen, Deltares, Aveco de Bondt en TAUW waren aanwezig
- Op basis van de systeemanalyse is geconstateerd dat extra peilbuizen en sonderingen nodig waren
  - In de zomer van 2022 zijn aanvullende sonderingen uitgevoerd en peilbuizen bijgeplaatst om beter inzicht te krijgen in de complexe ondergrond en de grondwaterstanden in het gebied
- Op basis van de systeemanalyse en extra peilbuizen en sonderingen is het grondwatermodel gemaakt en verfijnd
  - Aveco de Bondt heeft dit model gebouwd en dit is vervolgens uitvoerig door Deltares getoetst. Diverse kalibratie en validatiestappen zijn uitgevoerd om tot een betrouwbaar en nauwkeurig grondwatermodel te komen voor deze studie
- Met behulp van het grondwatermodel en de grondwaterdata zijn diverse analyses uitgevoerd om de oorzaken en oplossingsrichtingen nader te duiden en kwantificeren:
  - Een tijdreeksanalyse om de doorwerking van kortdurende peilfluctuaties van het kanaal op de omgeving te beschrijven
  - Met het model zijn gevoeligheidsanalyses uitgevoerd om een beter begrip te krijgen van het (water)systeem en de elementen die daar van invloed op zijn
  - Doorrekenen van de mogelijk oorzaken met het grondwatermodel

  - Aanscherping van de oplossingsrichtingen met de eerder opgedane inzichten en deze vervolgens doorrekenen met het grondwatermodel. Hiermee is het mogelijk om de effectiviteit van elk van de afzonderlijke maatregelen te presenteren
- De resultaten zijn vervolgens verwerkt in dit rapport waarbij de inzichten over de oorzaken en oplossingsrichtingen van de wateroverlast in Sluiskil zijn samengebracht

1.5 Kwaliteitsborging Deltares

De kwaliteitsborging in het onderzoek naar wateroverlast in Sluiskil heeft betrekking op alle onderdelen van de onderhavige advisering. Allereerst zijn in de fase van het Plan van Aanpak door Deltares de afhankelijkheden tussen de verschillende stappen, activiteiten en te realiseren producten gesignaleerd die door TAUW en Aveco de Bondt worden uitgevoerd:

- Relatie systeemanalyse met modellering
- Terugkoppeling modellering naar probleemanalyse
- Inventarisatie beheersing en oplossingen naar modellering
- Terugkoppeling modellering naar beheersing en oplossingsmethoden en monitoring
- Review op alle onderdelen in de rapportage

Voor de uitvoering van het onderzoek is uitgegaan van de methode van system engineering. Daarbij is minimaal vereist dat de kwaliteitsborging bestaat uit systeemgerichte ingangs- en uitgangscontrole bij de realisatie van adviesproducten. In dit project is bovendien tussentijds de kwaliteit van gebruikte informatie en toegepaste methoden gecontroleerd. Dit betekent dat de kwaliteitsborging behalve op controle van toegepaste analysemethoden en verwerking van aanwezige informatie ook gericht is geweest op de kwaliteit van de informatie, data en aanvulling van informatieleemten. De controle op de activiteiten ten behoeve van de kwaliteitsborging heeft vele malen tijdens de ontwikkeling van de adviesproducten plaatsgevonden.

De kwaliteitsborging tijdens de uitvoering van het onderzoek is specifiek gericht op:

- De kwaliteit van de beschikbare informatie
- De geformuleerde eisen, uitgangspunten en aannamen
- De geschiktheid van gebruikte analysemethoden
- Controle of de informatie goed wordt overgedragen op de raakvlakken van de activiteiten
- Tussentijdse controle op vorderingen van de uitwerking van analyses en modelleringen
- Nagaan of er kritische punten zijn die aan de bureaus moeten worden voorgelegd
- Controle of geen sprake is van tunnelvisie
- Reviews van gerealiseerde producten (model en adviesrapporten)
- Controle of de vraagstelling is beantwoord (en aan gestelde eisen is voldaan)

Wat betreft kwaliteitsborging op de inhoud geldt voor de case Sluiskil dat de uitvoering van het onderzoek en de kwaliteit van de adviezen volledig afhankelijk is van de beschikbare informatie. Er is nagegaan of de beschikbare informatie volstaat om beantwoording van de vraagstelling mogelijk te maken, of noodzaak bestaat voor aanvullend onderzoek.

Specifiek zijn door Deltares specialisten uit relevante vakgebieden ingeschakeld zodat hun kennis direct in het onderzoek kon worden ingebracht.

Dit betrof met name:

- Geohydrologisch onderzoek 5.1.2.e: afstemming van activiteiten en onderzoeksplanning, aanlevering van aanvullende gebiedsinformatie, deelname aan expertsessie naar oorzaken en maatregelen, beoordeling van onderzoeksresultaten, afweging en beoordeling van aanvullend onderzoek, inschakeling van experts (hierna vermeld), review van rapportage
- Geologie van Zeeuws-Vlaanderen 5.1.2.e: beschrijving van lokale geologie, insnijding van geulafzettingen Braakman, aanlevering van aanvullende informatie over boorkernen, beoordeling van grondonderzoek naar geologische duiding
- Grondwatermodellering 5.1.2.e deelname aan expertsessie naar oorzaken en maatregelen, beoordeling modelopzet en keuze van parameterwaarden, beoordeling van kalibratie, grondwaterdynamiek in tijdsafhankelijke berekeningsresultaten, modelscenario's, gevoeligheids- en bandbreedteanalyse, review van modelresultaten

De kwaliteitsborging is ingebed in het geheel van activiteiten die door de projectgroep zijn uitgevoerd. Dat betekent dat meerdere malen per maand overleggen zijn gevoerd waaraan behalve de uitvoerende bureaus ook Deltares heeft deelgenomen om direct afstemming te vinden over noodzakelijke acties in het onderzoek. Met de Opdrachtgever heeft in projectgroep verband maandelijks overleg plaatsgevonden over de vorderingen en afwegingen tijdens het onderzoek.

1.6 Gebruikte bronnen

Voor dit onderzoek zijn onderstaande documenten zijn geraadpleegd:

- Wareco ingenieurs (2017), Wateroverlast Sluiskil, Kenmerk: CE10 RAP20171101
- Kanaal van Gent naar Terneuzen. Kijk op de ruimtelijke kwamliteit van kanalen, april 2016, Rijkswaterstaat, Ministerie van Infrastructuur en Milieu
- Encyclopedievanzeeland.nl, Kanaal Terneuzen-sas Van Gent
- Kanaal van Terneuzen na 1968, januari 1995, Ministerie van Verkeer en Waterstaat, afdeling Scheepvaart en Infrastructuur, Middelburg
- Herinrichting en beheerplan Westelijke Rijkswaterleiding, 01-01-1994, De Groene Ruimte, bureau voor ecologisch onderzoek en beheerplanning. In opdracht van Ministerie van Verkeer en Waterstaat, Rijkswaterstaat, Directie Zeeland
- Toets op veiligheid van regionale keringen in het beheer van het Rijk, Regionale keringen langs het kanaal Gent-Terneuzen, 17 juli 2020, Rijkswaterstaat, Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat
- Onderzoek Zeesluis, 2018, BAM, 5.1.2.e (pompproeven, Sassevaart 22 maart 2018 en grondwatermodellering Nieuwe Sluis Terneuzen, Sassevaart 18 juli 2018)
- Grondmechanica Delft (1995), Westerschelde oeververbreding: Geotechnische opinie glauconiethoudende zanden
- Herberekening kademuren Terneuzen, Kade TK0946, 27 oktober 2017, Nebest
- Grondwaterplan Gemeente Terneuzen: https://lokaleregelgeving.overheid.nl/CVDR452552/1
- Water- en Rioleringsplan 2019-2023: https://lokaleregelgeving.overheid.nl/CVDR641158/1

Naast rapporten en onderzoeken is ook gebruik gemaakt van lodingen (dieptemetingen) die Rijkswaterstand jaarlijks uitvoert. Zoals reeds benoemd zijn peilbuisgegevens gebruikt van het meetnet van Gemeente Terneuzen en boringen. Deze boringen hebben verschillende bronnen en/of zijn in het verleden voor verschillende doelen gedaan. Veel boringen en sonderingen worden ontsloten in het zogenaamde Dinoloket (inmiddels BRO-loket). Zowel de Gemeente als het Waterschap heeft GIS-data of AutoCAD-data toegestuurd over bijvoorbeeld de drainage, riolering, waterlopen en kunstwerken in de waterlopen. Er is gebruik gemaakt van de website Waterinfo van Rijkswaterstaat voor de waterstand op het kanaal en de website van het KNMI voor neerslag en verdamping van weerstation Westdorpe. Voor het historische kaartmateriaal is gebruik gemaakt van de website topotijdreis.nl.

1.7 Leeswijzer

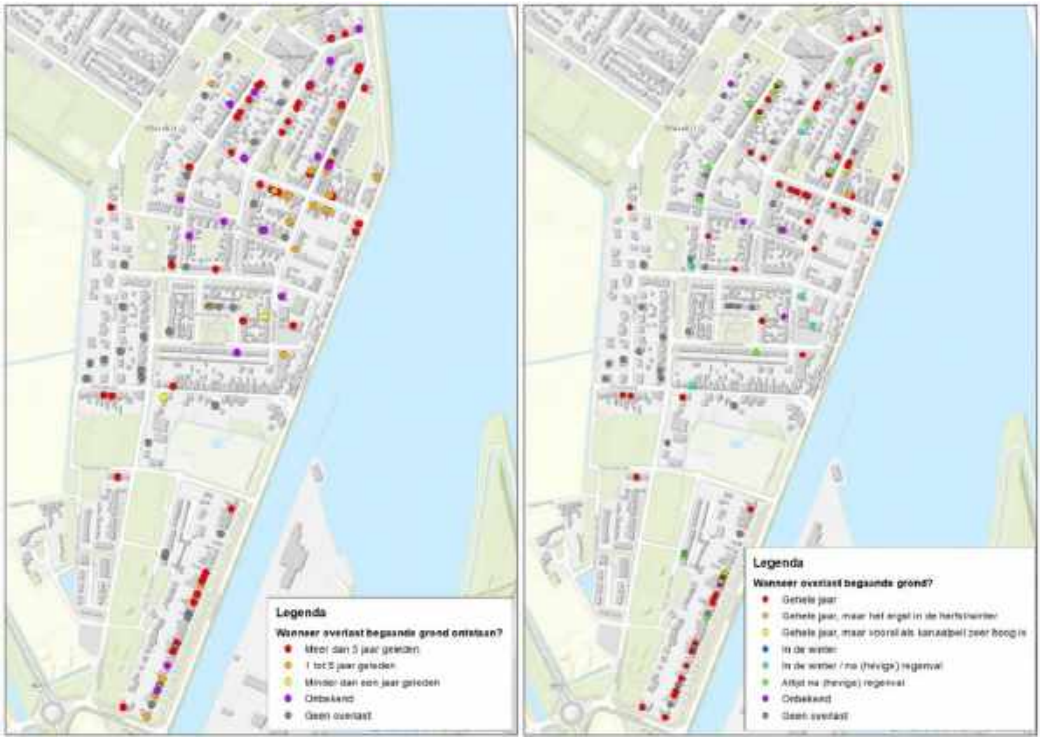
In hoofdstuk 2 worden de historische ontwikkelingen in en rondom Sluiskil beschreven. Hoofdstuk 3 behandelt de systeemanalyse met onder andere een beschrijving van de complexe bodemopbouw. De grond- en oppervlaktewatersituatie komen ter sprake, net als de oeverbeschoeiing en drainage. In hoofdstuk 4 worden de grondwatermodelanalyses beschreven. De mogelijke oorzaken van de overlast komen in hoofdstuk 5 aan bod. Hoofdstuk 6 gaat in op de mogelijke oplossingen. Het rapport wordt afgesloten met conclusies en aanbevelingen in hoofdstuk 7.

2 Historische ontwikkelingen

Dit hoofdstuk behandelt de historische relevante ontwikkelingen die hebben plaatsgevonden en invloed hebben (gehad) op de waterhuishouding van Sluiskil. Het hoofdstuk start met de beschrijving van hoe de overlast in de laatste jaren wordt ervaren in Sluiskil.

2.1 Overlast in Sluiskil

In 2017 is door Wareco onderzoek gedaan naar de grondwateroverlast in Sluiskil. Onderdeel van dat onderzoek was een enquête die door bijna 18 % van de benaderde bewoners is ingevuld.[1] Hieruit bleek onder andere dat sommige bewoners destijds al meer dan 10 jaar overlast ervoeren. De klachten variëren van vochtoverlast in de tuin, in de kruipruimte als ook op de begane grond. Figuur 2.1 geeft een indruk van de klachten op de begane grond. De afbeelding links toont wanneer de klachten zijn ontstaan (vanaf 2017 bezien) en rechts toont het tijdstip/de periode waarop de wateroverlast op de begane grond wordt ervaren.



Figuur 2.1 Duur en tijdstip van klachten op de begaande grond (uit enquête 2017)

Veel bewoners ervaarden destijds al meer dan 5 jaar klachten. De klachten variëren, waarbij onderscheid is gemaakt wanneer deze wordt ervaren. Veelvoorkomende overlast wordt of jaarrond ervaren of na hevige regenval of in de winter. Deze klachten komen in een groot deel van Sluiskil voor. Op basis van de enquête uit 2017 wordt geconcludeerd dat de klachten het hevigst zijn in het zuidelijk deel langs het kanaal en in het noordoostelijke deel van Sluiskil.
De resultaten in deze paragraaf zijn bedoeld om een globaal beeld te schetsen van de wateroverlast die in Sluiskil wordt ervaren.

[1] Wareco ingenieurs (2017), Wateroverlast Sluiskil, Kenmerk: CE10 RAP20171101

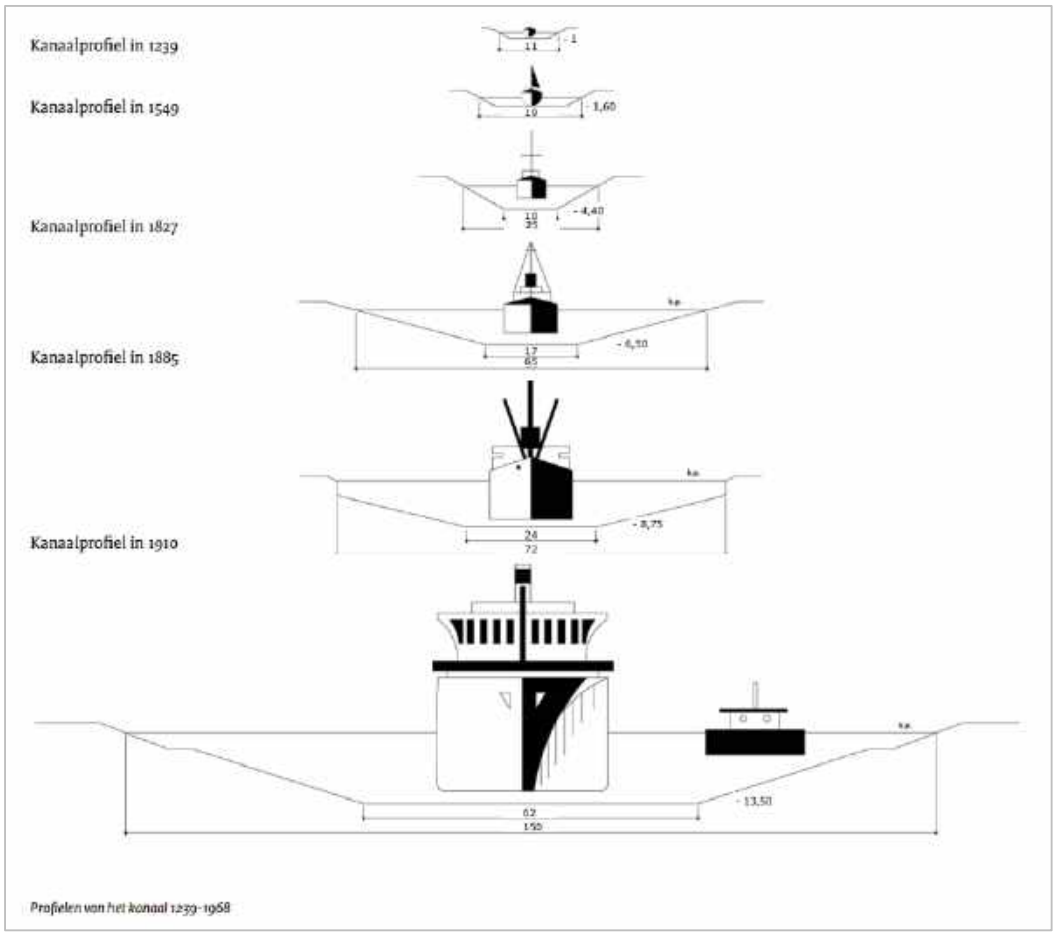
Bij het huidige onderzoek naar de mogelijke oorzaken en oplossingsrichtingen van de wateroverlast is ervoor gekozen om de uitgevoerde enquête niet te actualiseren maar de focus te leggen op de mogelijk invloeden van de wateroverlast nader te onderzoeken in plaats van de mate waarin wateroverlast per huis wordt ervaren te actualiseren. De resultaten van de eerder uitgevoerde enquête geven geen volledig en geactualiseerd beeld maar zijn nog wel bruikbaar om de problematiek te schetsen.

2.2 Aanpassingen aan het kanaal

Het Kanaal Gent-Terneuzen kent een lange ontwikkelingsgeschiedenis en deze begon reeds in het jaar 1239. In eerste instantie liep het kanaal alleen tussen Gent en Zelzate. In 1827 werd het kanaal verlengd waardoor het kanaal Gent met Terneuzen verbond. Het kanaal had op dat moment een diepte van 4,4 m ten opzichte van kanaalpeil, een breedte van 10 m op de bodem en 25 m aan de waterspiegel. Door economische groei van Gent ontstonden al snel capaciteitsproblemen op het kanaal. Aan de Belgische zijde van het kanaal werd het kanaal in 1873 verbreed. Aan Nederlandse zijde duurde het tot 1880 voordat ook aan die zijde akkoord werd gegeven voor verbreding. In 1886 was de verbreding voltooid, daarmee werd het kanaal 17 m breed aan de bodem en 65 m aan de waterspiegel. In 1910 vond opnieuw een verbreding van het kanaal plaats. Het kanaal werd daarmee 8,75 m diep, 24 m breed aan de bodem en 72 m aan de waterspiegel. Hierdoor konden er schepen van 10.000 ton op het kanaal worden toegelaten.

Na de oorlog vonden tussen Nederland en België onderhandelingen plaats over de verbreding en verdieping van het kanaal. In 1961 werd reeds begonnen met de werkzaamheden, in 1968 werd het vernieuwde kanaal opgeleverd. Ter hoogte van Sluiskil werd het kanaal verbreed, ten koste van een strook land bij Sluiskil met ruim honderd woningen (zie Figuur 2.4)[2]. Hierdoor werd ruimte gemaakt voor een nieuwe bocht in het kanaal en is zo het huidige bedrijveneiland ontstaan. Na de verbreding zijn de afmetingen van het kanaal: 62 meter breed op de bodem en 150 m aan de waterspiegel. De op te leveren bodemdiepte is vastgesteld op NAP -11,4 m. Met een waterpeil van NAP +2,13 m levert dat in het midden van de vaargeul een diepte van 13,5 m op. Hierdoor kunnen grote schepen zoals ertstankers van 60.000 à 70.000 ton het hoogoven- en staalbedrijf in Zelzate bereiken. Dankzij de verbreding in 1968 werden schepen met afmetingen van 233 x 33 x 12,25 m toegelaten op het kanaal. Een paar jaar na de verbreding van het kanaal groeide de behoefte om grotere schepen op het kanaal toe te laten. Vanaf begin jaren ’70 werden er daarom proefvaarten gehouden met nog grotere schepen. In 1982 werd definitief besloten om grotere schepen toe te laten[3] met afmetingen van 256 x 34 x 12,25 m. In 1995 werd onderzoek gedaan naar het toelaten van langere schepen. Het kanaal is nu toegankelijk voor schepen tot 125.000 ton met maximale afmetingen van 265 x 34 x 12,5 m[4].

[2] Encyclopedievanzeeland.nl, Kanaal Terneuzen-sas Van Gent.
[3] Kanaal van Terneuzen na 1968, januari 1995, Ministerie van Verkeer en Waterstaat, afdeling Scheepvaart en Infrastructuur, Middelburg
[4] Kanaal van Gent naar Terneuzen, Kijk op de ruimtelijke kwaliteit van kanalen, april 2016, Rijkswaterstaat, Ministerie van Infrastructuur en Milieu



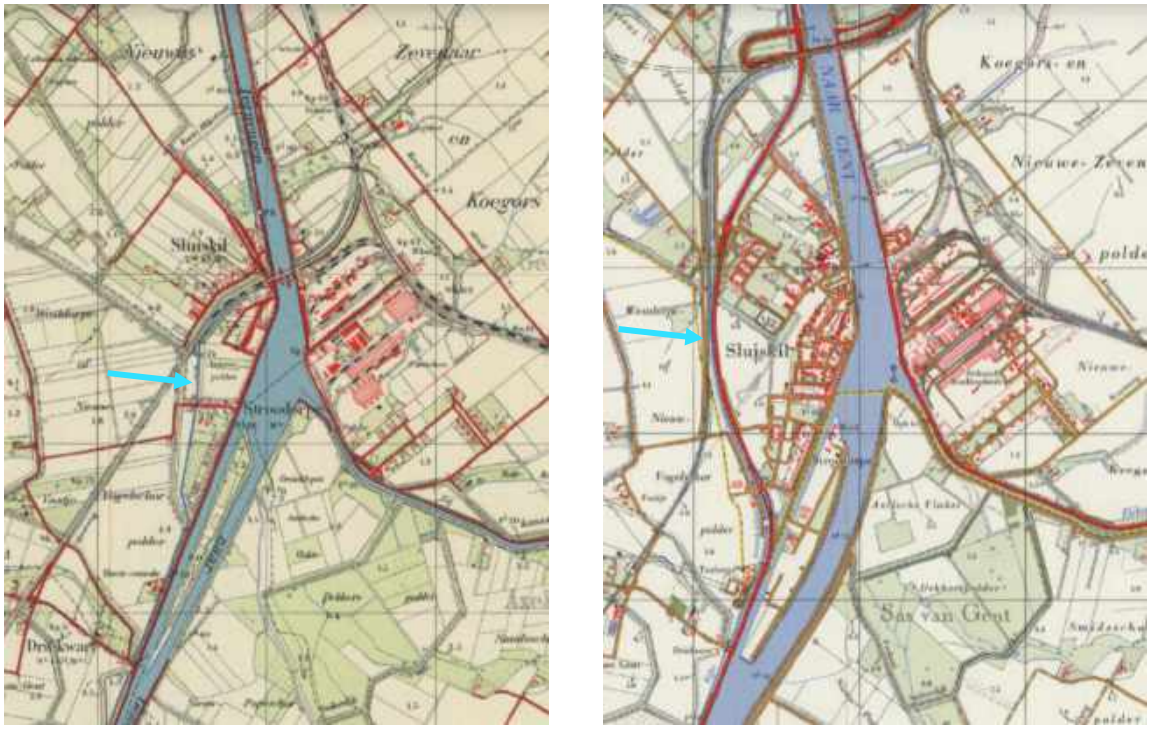
Figuur 2.2 Profielen van het kanaal van 1239 tot en met heden (na oplevering van huidige toestand in 1968)[5]
Aangegeven kanaaldiepten ten opzichte van kanaalpeil

2.3 Verleggen of dempen watergangen

Onderdeel van de werkzaamheden in de jaren '60 was het verleggen van de Westelijke Rijkswaterleiding en het realiseren van een nieuwe uitwateringssluis. De Westelijke Rijkswaterleiding is langs de westzijde van het kanaal van Gent naar Terneuzen aangelegd om kwelwater uit het kanaal op te vangen en af te voeren[6]. Door het verbreden van het kanaal kon de Westelijke Rijkswaterleiding niet zijn toenmalige ligging behouden en is daarom verlegd. In Figuur 2.3 is de verlegging van de Westelijke Rijkswaterleiding duidelijk zichtbaar. Rijkswaterstaat was in die tijd beheerder over de Westelijke Rijkswaterleiding. Dit beheer is later overgedragen aan Waterschap Scheldestromen.

[5] Kanaal van Gent naar Terneuzen. Kijk op de ruimtelijke kwamliteit van kanalen, april 2016, Rijkswaterstaat.
[6] Herinrichting en beheerplan Westelijke Rijkswaterleiding, 01-01-1994, De Groene Ruimte, bureau voor ecologisch onderzoek en beheerplanning. In opdracht van Ministerie van Verkeer en Waterstaat, Rijkswaterstaat, Directie Zeeland.

Voor de verbreding van het kanaal (Figuur 2.3 links) liep de Westelijke Rijkswaterleiding ten zuiden en noorden van Sluiskil strak langs het kanaal. Vanaf halverwege het eiland in het kanaal lag de doorgaande Rijkswaterleiding op toenemende afstand van het kanaal en lag in het noorden een stukje langs het toenmalige spoorlijn tracé om vervolgens ter hoogte van de brug weer langs het kanaal te komen. Op de historische kaart van 1972 (Figuur 2.3 rechts) is te zien dat de Rijkswaterleiding vanaf dat moment halverwege het eiland in het kanaal een grotere bocht om Sluiskil maakt, de nieuwe Rondweg Sluiskil volgt en meer naar het noorden vervolgens de nieuwe ligging van het spoor volgt.



Figuur 2.3 Ruimtelijk overzicht van Sluiskil voor en na de verbreding van het kanaal in 1968 (1950 (links) en 1972 (rechts)). Naast de kanaalverbreding is de verlegging van de Westelijke Rijkswaterleiding te zien (blauwe pijlen)

Als we op de historische kaarten inzoomen, zien we dat ook ín Sluiskil vóór de verbreding van het kanaal een kwelsloot langs het kanaal lag (Figuur 2.4 links). Vermoedelijk lag deze sloot in verbinding met de Westelijke Rijkswaterleiding en voerde het kwelwater vanuit het kanaal af. Op de historische kaart van 1972 (Figuur 2.4 midden) is deze kwelsloot niet overtuigend terug te vinden. Ter hoogte van de pijl is een klein stukje van de oorspronkelijke kwelsloot te zien. Op de topografische kaart van 1986 (Figuur 2.4 rechts) ontbreekt de kwelsloot helemaal.
Sinds 1986 zijn meer waterlopen/slootjes uit het bebouwd gebied van Sluiskil verdwenen. De enige af- of ontwatering die Sluiskil en omgeving nu nog heeft, vormen de leggerwaterlopen die in paragraaf 3.6 worden gepresenteerd en de drainage in Sluiskil die in paragraaf 0 aan bod komt. In zijn algemeenheid kan worden gesteld dat in de loop der jaren steeds meer watergangen in Sluiskil zijn verdwenen waardoor afvoer van kwelwater en hemelwater via het oppervlaktewatersysteem is afgenomen.



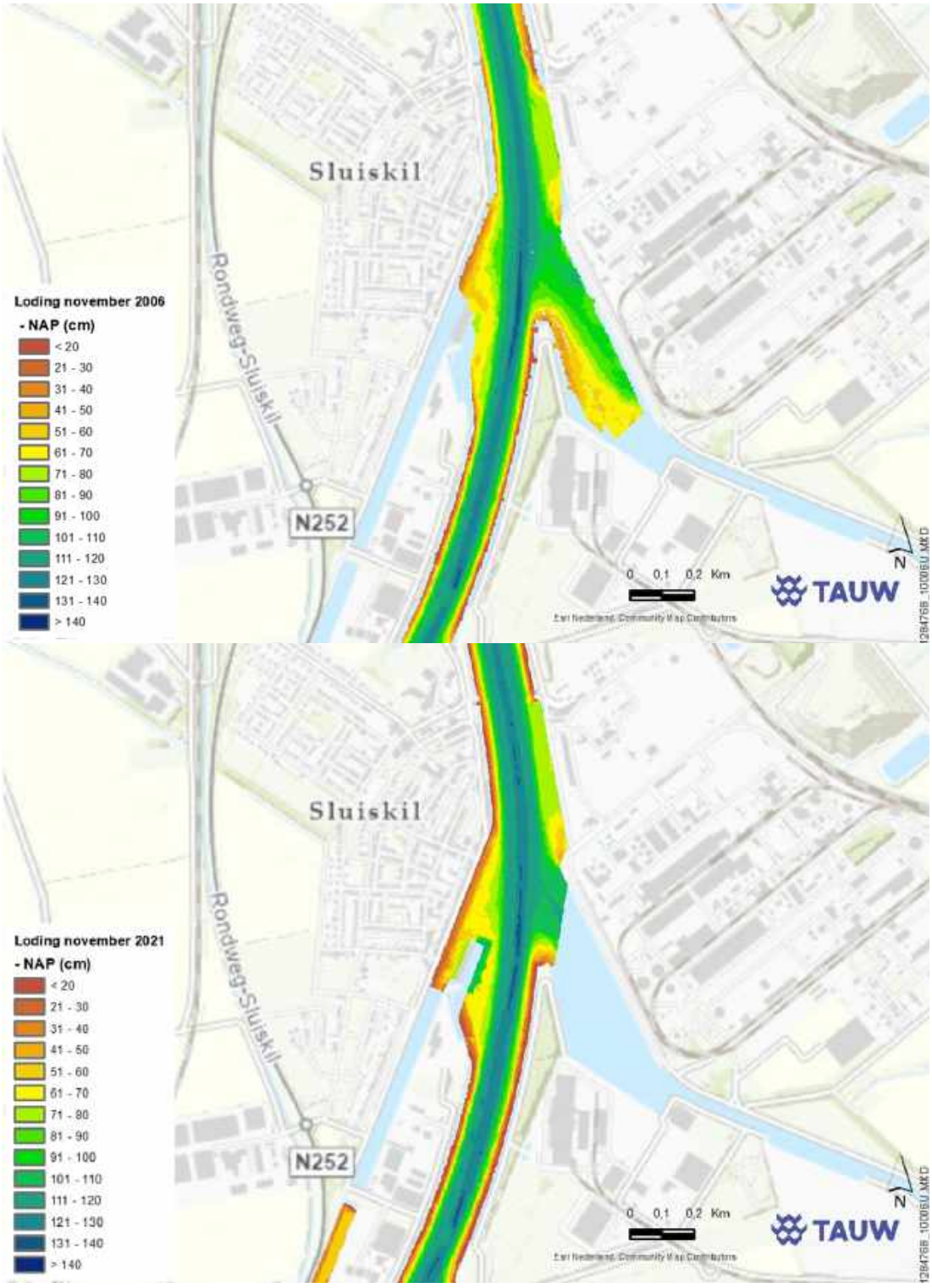
Figuur 2.4 Ruimtelijk overzicht van Sluiskil voor de verbreding van het kanaal (links), net na de verbreding (midden) en rechts in 1986. De ligging van de kwelsloot gelegen direct langs het kanaal is aangegeven met pijlen

2.4 Baggerwerkzaamheden

Doordat in het kanaal scheepvaart plaatsvindt van relatief grote schepen, moet de kanaalbak met enige regelmaat gebaggerd worden. Sinds 1968 is het kanaalprofiel niet meer gewijzigd en is enkel kleinschalig en grootschalig baggeronderhoud uitgevoerd. In de laatste decennia wordt elke 5 à 8 jaar baggeronderhoud gepleegd. In 2008 is de kanaalbak grootschalig gebaggerd. Hierbij is slib verwijderd van zowel de taluds als de bodem. In 2016 heeft een kleinschalige baggeractie plaatsgevonden op een aantal hotspots in de vaarweg. De taluds zijn niet gebaggerd[7]. In 2023 staat weer nieuw baggeronderhoud op de planning, waarbij gedeeltes van het kanaal gebaggerd moeten worden om te voldoen aan het gewenste vaarwegprofiel.

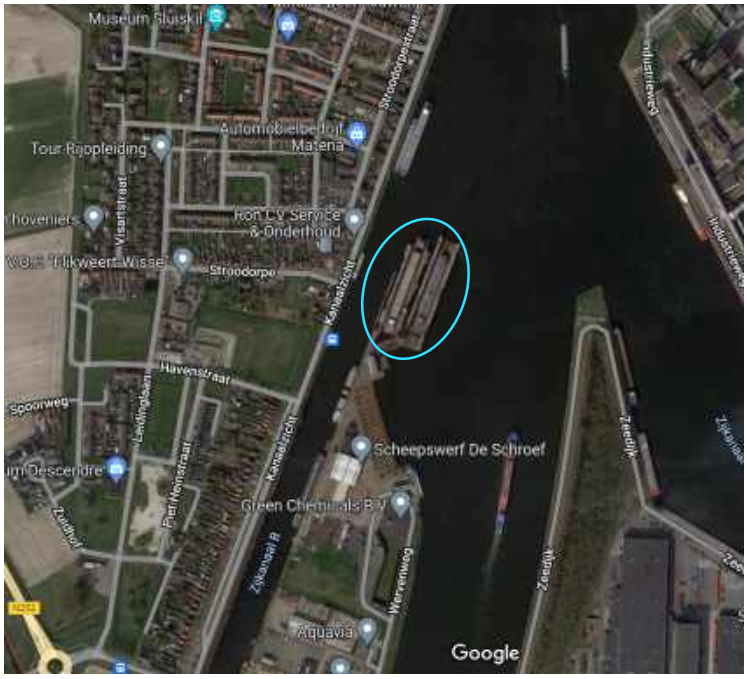
Op de lodingen zijn duidelijke erosiegeulen te zien die door de scheepvaart worden gecreëerd. Ter plekke van deze erosiegeulen is de kanaalbodem dieper uitgesleten dan de beoogde kanaalbodemhoogte van 13,5 m onder het kanaalstreefpeil (NAP -11,35 m). In Figuur 2.5 is te zien dat de erosiegeulen plaatselijk een diepte hebben van NAP -14 m tot -15 m. Figuur 2.5 vergelijkt de lodingen van 2006 met 2021. Op basis van lodingen van de kanaalbodem wordt geconstateerd dat tussen 2006 en 2021 geen significante wijzigingen, zoals verdere uitslijting, in het bodemprofiel van het kanaal hebben plaatsgevonden. Op basis van deze informatie wordt geconcludeerd dat de afgelopen decennia geen sprake is van grotere significante uitslijting van het kanaal als gevolg van de bestaande scheepvaart.

[7] Toets op veiligheid van regionale keringen in het beheer van het Rijk, Regionale keringen langs het kanaal Gent-Terneuzen, 17 juli 2020, Rijkswaterstaat, Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat.



Figuur 2.5 Lodingen t.o.v. NAP (in cm) tussen 2006 (boven) en 2021 (onder)

In 2012 is ten behoeve van een nieuw droogdok bij scheepswerf De Schroef onder dok B de waterbodem verdiept van NAP -7,3 m naar NAP -10,9 m. De bodem onder dok A bevindt zich op NAP -7,9 m. Ergens tussen mei 2019 en april 2021 is de bodem onder dok A verdiept van NAP -5,9 m naar de huidige diepte. Deze hoogten zijn gebaseerd op lodingen uit 2012, 2019 en 2021. In Figuur 2.6 is de locatie van de droogdokken weergegeven in de blauwe cirkel.

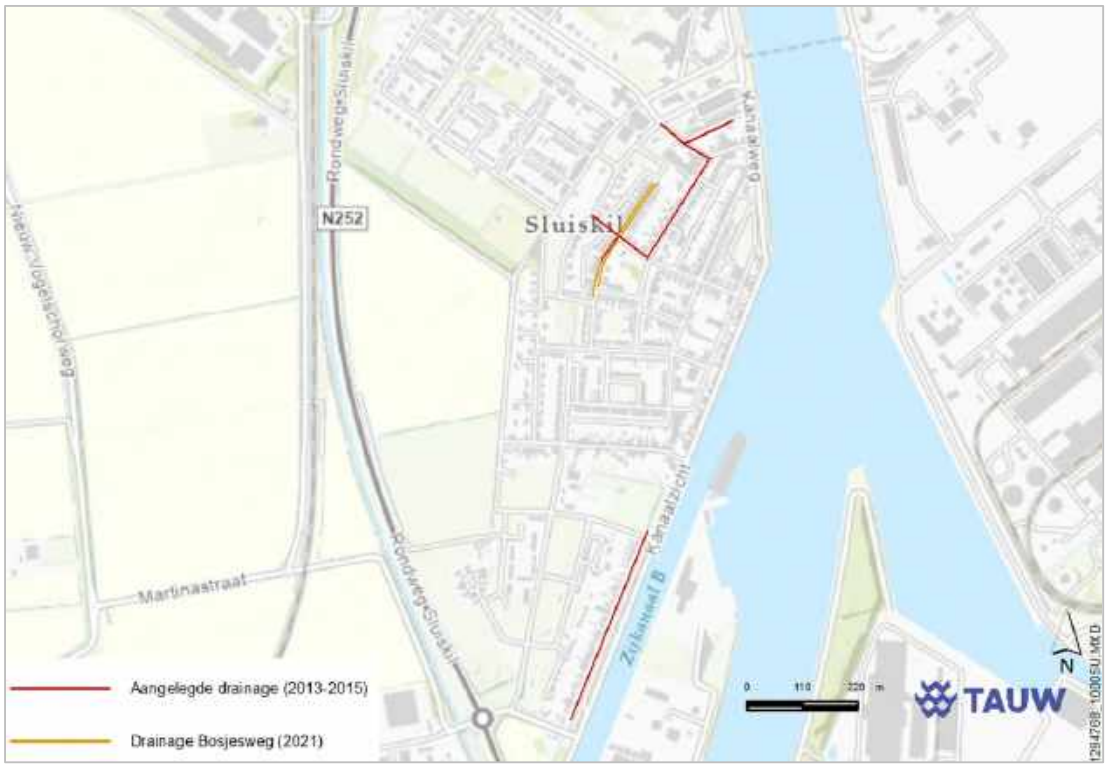


Figuur 2.6 Locatie droogdok A (links) en droogdok B (rechts)

2.5 Riolering en drainage

In 2010/2011 heeft Gemeente Terneuzen in Sluiskil de riolering geïnspecteerd. Rioolstrengen met schadeklasse 4 of hoger zijn tussen 2013 en 2015 gerenoveerd of vervangen. In 2013 betrof dit de riolering in de Albertpolderstraat, Bontepolderstraat, Canisvlietweg, Goessepolderstraat, Groenoord, Isabellastraat, Louisastraat, Nieuwe Kerkstraat en Vergaertstraat. In 2015 volgden de rioolstrengen in de Baljuwlaan, Bosjesweg en Spoorstraat. Bij de vervanging van het riool heeft de gemeente plaatselijk drainage aangelegd om een eventuele drainerende werking van de oude riolering te vervangen[8]. Hierbij is ook een drainagebuis aangelegd bij Kanaalzicht. In 2021 is, als gevolg van klachten, aanvullende drainage aangelegd ter hoogte van de Bosjesweg. Figuur 2.7 toont een overzicht van de drainage die in de afgelopen 10 jaar in Sluiskil is aangelegd. In Bijlage 3 is een totaaloverzicht te zien van de bestaande riolering in Sluiskil.

[8] WARECO ingenieurs (2017), Wateroverlast Sluiskil, Kenmerk: CE10 RAP20171101



Figuur 2.7 Drainage die naast de bestaande riolering is aangelegd in Sluiskil

2.6 Bebouwing

Figuur 2.8 toont het bouwjaar per pand in Sluiskil. De bebouwing bestaat uit zowel aaneengeschakelde als vrijstaande woningen. De bebouwing waar wateroverlast wordt ervaren bestaat hoofdzakelijk uit bebouwing van tussen 1900 en 1940 langs het kanaal en verder landinwaarts met bebouwing van tussen 1940 en 1970. Op sommige locaties is bebouwing in de periode na 1970 (na het bouwbesluit) vernieuwd of bijgebouwd. De woningen hebben meestal zowel een voor- als achtertuin.



Figuur 2.8 Bouwjaar van de bebouwing in Sluiskil

2.7 Samenvatting van de historische ontwikkelingen

De belangrijkste historische ontwikkelingen die een potentiële invloed hebben (gehad) op de waterhuishouding van Sluiskil, zijn in Tabel 2.1 samengevat. In dit onderzoek is er van afgezien om de historische ontwikkelingen kwantitatief te duiden naar invloed die heeft kunnen leiden tot de ontwikkeling van hogere grondwaterstanden in Sluiskil. Dat zou, vanwege beperkte betrouwbaarheid van daarbij aan te houden eigenschappen, tot te veel speculatieve prognose hebben geleid. De historische ontwikkelingen zijn wel gebruikt om extra context te geven aan de oorzaken die in hoofdstuk 5 worden gepresenteerd. Op basis van de historische ontwikkelingen vallen wel de volgende aspecten op die nader onderzocht en geduid zijn in de volgende hoofdstukken:

- Het Kanaal Gent-Terneuzen is sinds de officiële opening in 1827 tot 1968 telkens in stappen verbreed en verdiept. Met name de verbreding en verdieping tussen 1961 en 1968 heeft, mede door het verleggen van de Westelijke Rijkswaterleiding, mogelijk een significante impact gehad op de lokale waterhuishouding in Sluiskil
- Na 1968 is het kanaal niet verder verdiept of verbreed. Ondanks de aanwezigheid van erosiegeulen is tussen 2006 en 2021 geen significante verdere verdieping of uitslijting van het kanaal waar te nemen als gevolg van de scheepvaart
- Naast het verleggen van de Westelijke Rijkswaterleiding zijn meer watergangen in Sluiskil verdwenen tussen 1968 en 1990 waardoor afvoercapaciteit van kwelwater en hemelwater via het oppervlaktewatersysteem is afgenomen. Nu gebeurt waterafvoer primair via het rioolstelsel en op enkele locaties met extra drainagebuizen. De huidige inrichting is voor de beheersing van de grondwaterstand echter niet afdoende
- In Sluiskil zijn in enkele straten de rioleringen vernieuwd waarbij drainage is gelegd om eventueel wijzigend grondwaterniveau te beheersen

Tabel 2.1 Samenvatting van meest relevante historische ontwikkelingen in Sluiskil met een potentiële relatie tot de grondwateroverlast

Jaar	Gebeurtenis
1827	Opening Kanaal Gent-Terneuzen
1880	Verbreding Kanaal
1886	Verbreding Kanaal voltooid
1910	Verdieping van Kanaal tot 8,75 m
1961	Verbreding en verdieping kanaal, aanleg kwelsloot
1968	Oplevering vernieuwd kanaal, rij huizen geamoveerd, 13,5 m diepte, Westelijke Rijkswaterleiding verlegd
1979	Aanleg damwand North Sea Port (6 m lang) in zijkanaal B
1982	Grotere schepen toegelaten in het kanaal
1986	Kwelsloot verdwenen in periode 1968 tot 1986, daarna ook ander oppervlaktewater
1992	Aanleg damwand RWS (11 m lang) bij Sluiskil
2008	Groot baggeronderhoud kanaal
2012	Verwijderen waterbodem kanaal tbv droogdok B (van NAP -7,3 m naar NAP -10,9 m)
2015	Rioolvervanging tussen 2013 en 2015, drainage meegelegd
2016	Klein baggeronderhoud
2020	Verwijderen waterbodem kanaal t.b.v. droogdok A (van NAP -5,9 naar NAP -7,9 m)
2021	Aanleg drainage Bosjesweg
2023	Gepland baggeronderhoud

3 Systeemanalyse

Het watersysteem van Sluiskil wordt door veel facetten in meer en mindere mate beïnvloed. Denk hierbij bijvoorbeeld aan neerslag die valt en in de bodem infiltreert, water dat uit het gebied wordt afgevoerd via sloten en leidingen en water dat het grondwatersysteem inkomt via het kanaal. Al deze invloeden samen maken dat het watersysteem van Sluiskil reageert zoals wordt waargenomen. Dit hoofdstuk betreft een analyse van het gehele watersysteem op en rondom Sluiskil. Enerzijds om de verschillende invloeden te kunnen identificeren en anderzijds om het watersysteem te kunnen begrijpen. Dit zogenoemde 'systeembegrip' vormt de basis om de ervaren overlast te duiden en uiteindelijk doelmatige oplossingsrichtingen te kunnen identificeren. Hierbij wordt eerst het toetsingskader beschreven waaraan getoetst wordt wanneer sprake kan zijn van mogelijke overlast.

3.1 Toetsingskader

Voordat wordt ingegaan op het (water)systeem, wordt hier aandacht besteed aan de wijze waarop wordt getoetst wanneer mogelijk sprake is van hoge grondwaterstanden die tot overlast kunnen leiden. De gemeente Terneuzen heeft als richtlijn dat voor de gewenste gemiddelde grondwaterstand een waarde geldt van zeventig cm beneden maaiveld. Hierbij merkt de gemeente op dat in bestaand stedelijk gebied grondwaterstanden moeilijk te beïnvloeden zijn waardoor de grondwaterstanden niet overal kunnen worden gegarandeerd. Bovenstaande geldt daarmee voor de gemeente als een inspanningsplicht.[9] Hierbij wordt opgemerkt dat het hier dus om een richtlijn gaat. Of in de praktijk overlast ontstaat bij een woning is van meerdere factoren afhankelijk zoals de wijze waarop het huis is gefundeerd en of er maatregelen zijn getroffen tegen optrekkend vocht. De 70 cm ontwateringsdiepte geldt in elk geval als een geaccepteerde landelijke richtlijn voor structureel hoge grondwaterstanden waar de mate van potentiële overlast wordt beschreven en effectiviteit van de oplossingsrichtingen op worden getoetst.

3.2 Maaiveldligging

De maaiveldhoogte in Sluiskil varieert van NAP +3 tot +4 m langs het kanaal tot iets meer dan NAP +1 m bij de brandgang achter de Bosjesweg (Figuur 3.1). Doorgaans liggen de wegen, maar ook de paden die toegang verschaffen tot achtertuinen, lager dan de omliggende tuinen. Het hoogteverschil tussen weg en tuin is soms echter beperkt, zoals bij de Bosjesweg. Het noordelijk deel van Sluiskil wordt min of meer gekenmerkt als een laagte. Zowel in noordwesten als in het oosten is het maaiveld hoger. Het gebied van Sluiskil waar overlast voorkomt, ligt als het ware in een badkuip qua maaiveldverloop.

[9] Water- en Rioleringsplan 2019-2023: https://lokaleregelgeving.overheid.nl/CVDR641158/1



Figuur 3.1 Maaiveldverloop Sluiskil

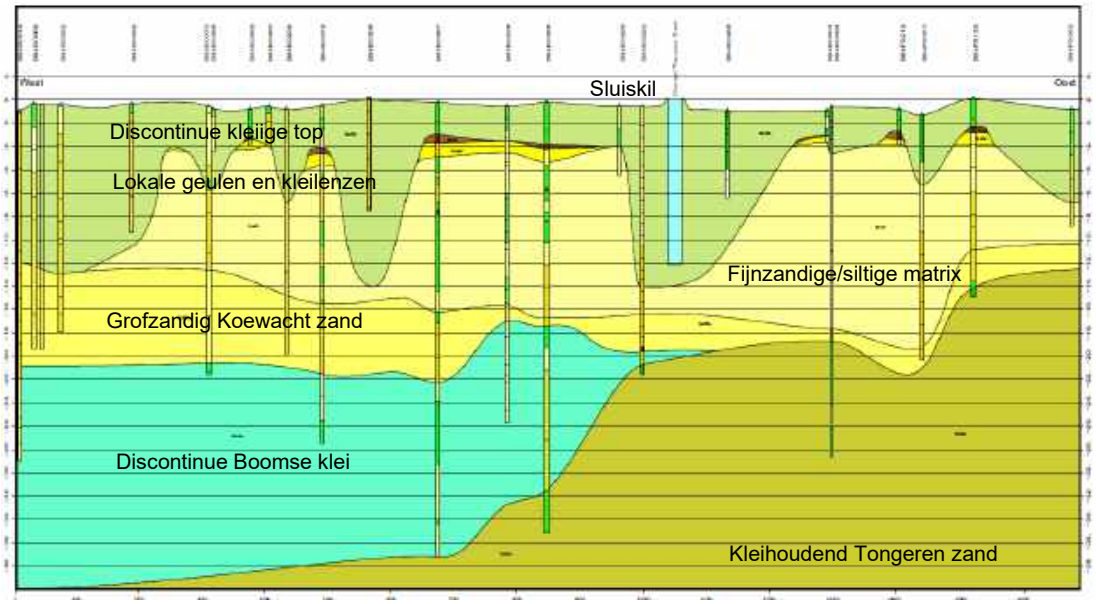
3.3 Bodemopbouw

De regio rondom Sluiskil kenmerkt zich door een complexe bodemopbouw. Dit komt doordat in het gebied in het verleden getijdegeulen actief waren die diverse formaties hebben doorsneden en bodemgelaagdheid bepalen. Voor het geohydrologisch onderzoek is het van groot belang om een zo goed mogelijk beeld te krijgen van de bodemopbouw in het gebied. Daarmee wordt een goed systeembegrip verkregen en wordt inzichtelijk op welke wijze water kan infiltreren en hoe het grondwater zich kan verplaatsen. Om een goed beeld te krijgen van de bodemopbouw in het gebied was het noodzakelijk om in het kader van dit onderzoek nieuwe boringen en sonderingen in Sluiskil uit te voeren (zie Bijlage 4 voor het meet- en monitoringsplan voor de inventarisatie van extra gegevens bij Sluiskil). Met behulp van (nieuwe) boringen en sonderingen (Bijlage 8) en extra informatie uit de landelijke database van de ondergrond DINOloket is het mogelijk om de bodemopbouw van Sluiskil schematisch weer te geven aan de hand van vier dwarsprofielen (zie Figuur 3.6, Figuur 3.7 en Figuur 3.30). De belangrijkste kenmerken van de bodemopbouw worden in deze paragraaf beschreven.

In de regio is sprake van een bodemopbouw van boven naar beneden bestaande uit:

- Een niet-aaneengesloten (holocene) kleiige toplaag met een variërende dikte (tot een diepte van NAP 0 m à NAP -1,5 m). Er wordt aangenomen dat deze laag in Sluiskil lokaal is vervangen door cunetzand bij de realisatie van wegen en riolering
- Holoceen zand waarin ook kleiige afzettingen van de getijdengeul van Braakman voorkomen (tot NAP -10 m à NAP -16 m). De combinatie van zand met kleilenzen zorgt voor sterke anisotrope eigenschappen van deze laag (verschil in horizontale en verticale eigenschappen)
- Aan de noordoostzijde van Sluiskil is de geologische Formatie van Boxtel te onderscheiden (tussen NAP -10 m en NAP -16 m). Dit zijn fijne zanden met lokaal ingeschakelde lemen
- Hieronder komen tussen NAP -14 m en NAP -16 m Scheldeafzettingen voor (Formatie van Koewacht onder andere) met grove zanden. Deze afzettingen zijn niet overal in de bodem van Sluiskil even sterk zichtbaar
- Lokaal wordt op een diepte van NAP -16 m de Rupelformatie bestaande uit Boomse klei waargenomen. Bij Sluiskil is volgens informatie van geologen de Boomse klei enkel als lokale kleilenzen of kleiig zand aanwezig op deze diepte
- Vanaf een diepte van NAP -16 m komt de formatie van Tongeren voor, bovenin bestaande uit glauconiethoudende zanden die kleiig zijn ontwikkeld. Deze laag is gemiddeld ca. 5 meter dik. Daaronder gaat de laag gradueel over in fijn zand. Glauconiethoudende zanden worden gekenmerkt door de aanwezigheid van lichte cementatie en een relatief geringe doorlatendheid in vergelijking met kwartszanden met vergelijkbare korrelgrootte verdeling en overeenkomstig poriëngehalte[10]

Een uitwerking van de bodemopbouw op basis van boringen volgens interpretatie van DINO-boringen in een doorsnede over het kanaal is geschematiseerd in Figuur 3.2.



Figuur 3.2 Illustratie van geulinsnijdingen in een geologisch profiel in de regio van kanaal Gent Terneuzen

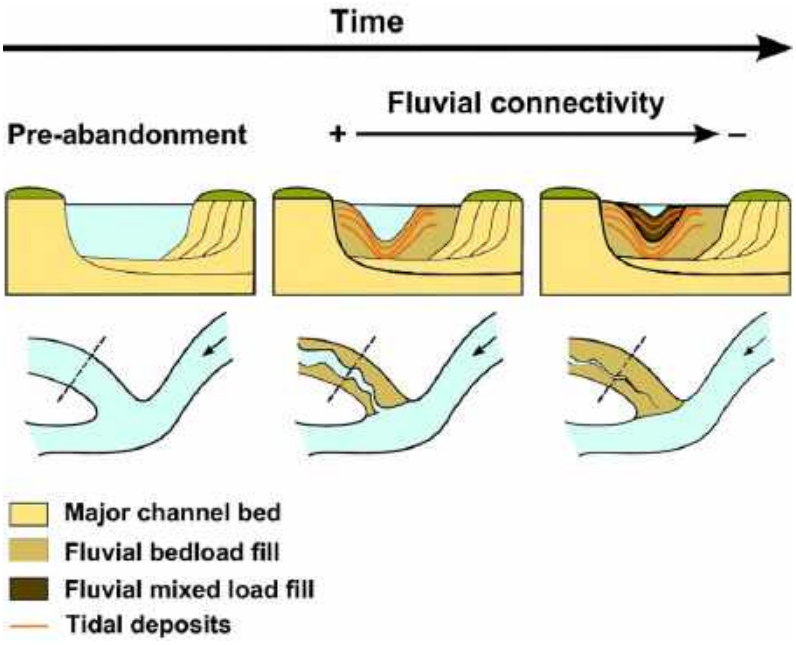
[10] Grondmechanica Delft (1995), Westerschelde oeververbreding: Geotechnische opinie glauconiethoudende zanden.

De getijdenafzettingen van de Braakmangeul spelen een belangrijke rol in de bodemopbouw van Sluiskil. In Figuur 3.5 is terug te zien waar deze geul heeft gelopen. De holocene geul heeft het originele materiaal herwerkt. Ze zijn sterk gelaagd (door verlandingssequenties van de geulen) met zand en kleilagen. De gelaagde bodemopbouw kan worden herkend in de boringen en sonderingen die in het kanaal zijn uitgevoerd. Het ontstaan van de geulafzettingen is toegelicht in Figuur 3.3 en Figuur 3.4.

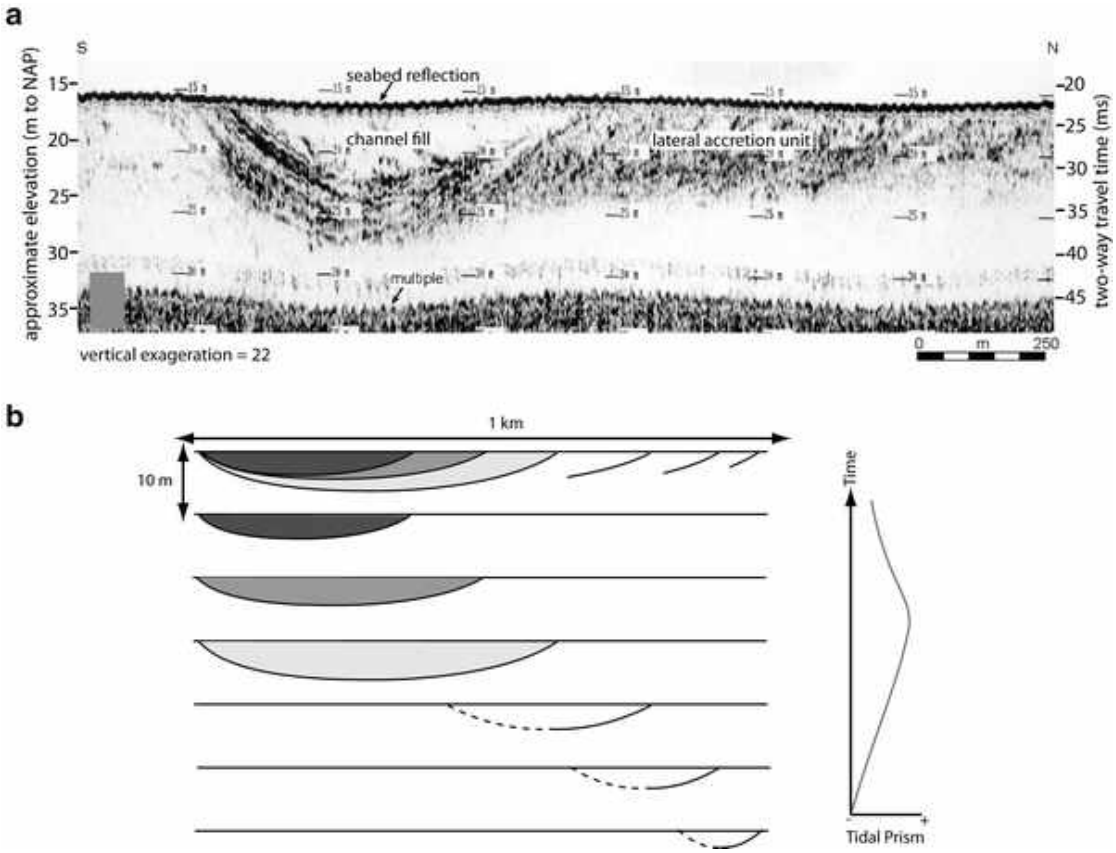
De geulen hebben een beperkte breedte (met laterale accreties op de geuloevers). De getijdegeulen hebben zich een aantal keren verlegd en hebben wisselende diepten gehad. Dit is de reden dat aanvullend grondonderzoek noodzakelijk was om beter aan te geven over welke diepte de gelaagde geulafzettingen voorkomen en op welke diepte de oudere bodemopbouw wordt gevonden.

Waar getijdegeulafzettingen voorkomen, is de verticale doorlatendheid van dit pakket veel kleiner dan de horizontale doorlatendheid. We spreken in dit geval van anisotrope eigenschappen. Waar in het originele pleistocene grondpakket een horizontale stroming kan bestaan, wordt deze mogelijk geblokkeerd door kleiige afzettingen van de verlande restgeulen.

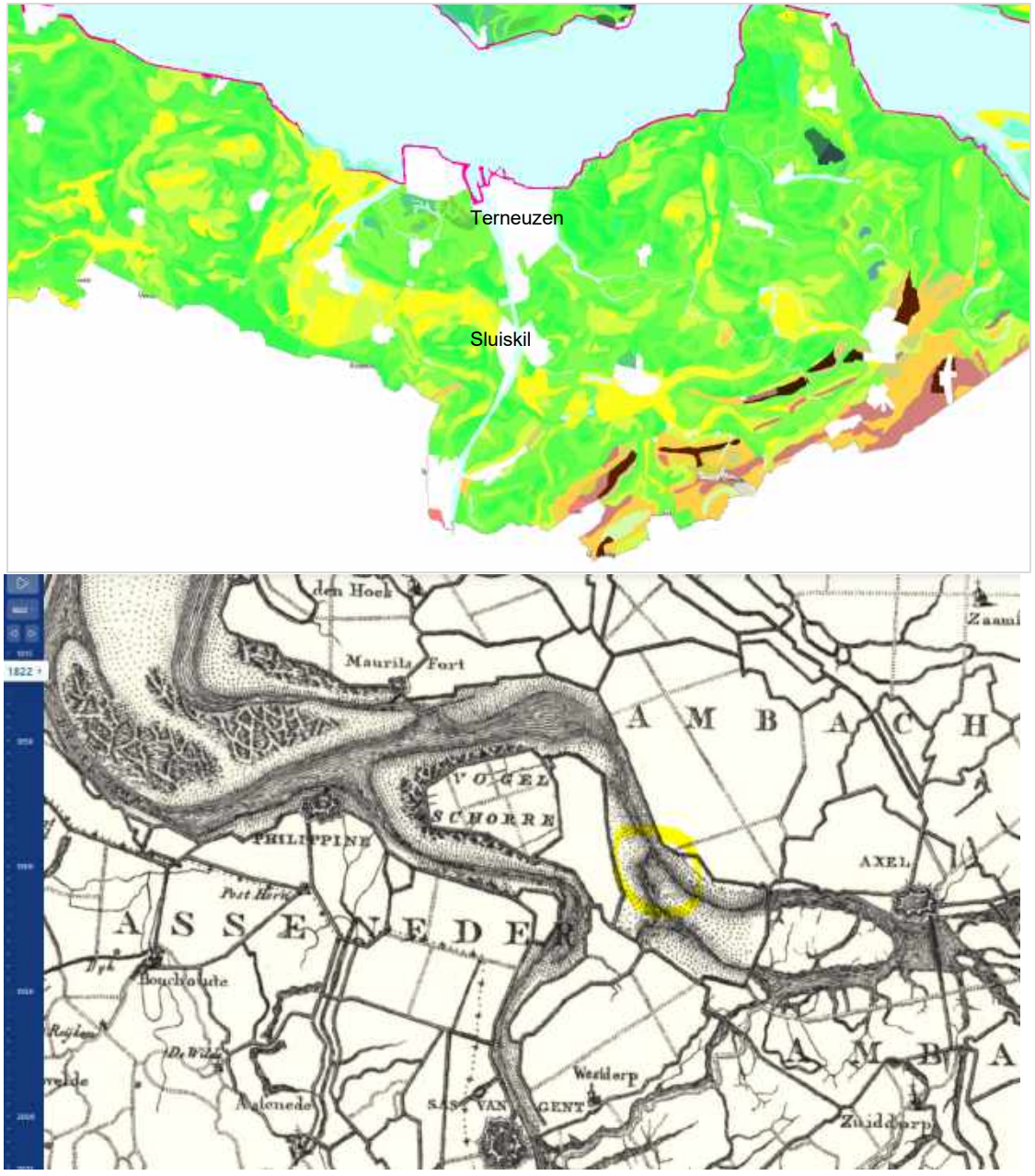
Sluiskil lijkt te liggen op de oude kreekrug van de Braakman geul. Dit is een zandige structuur met daarbinnen deze kleiige restgeulafzettingen. Deze structuur wordt waarschijnlijk aangesneden door het verbrede kanaal. Door deze aansnijding kan inzijging vanuit het kanaal zijn versterkt.



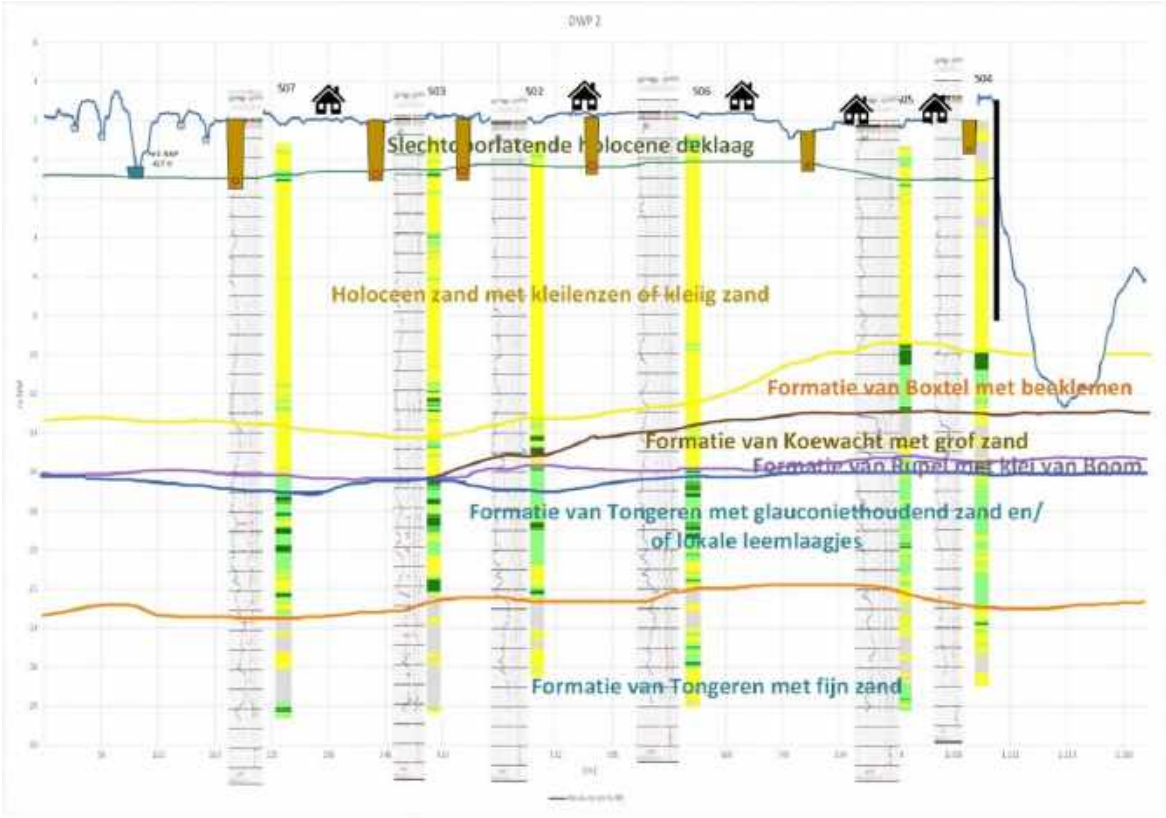
Figuur 3.3 Ontwikkeling van getijdegeulafzettingen met verlandingssequentie

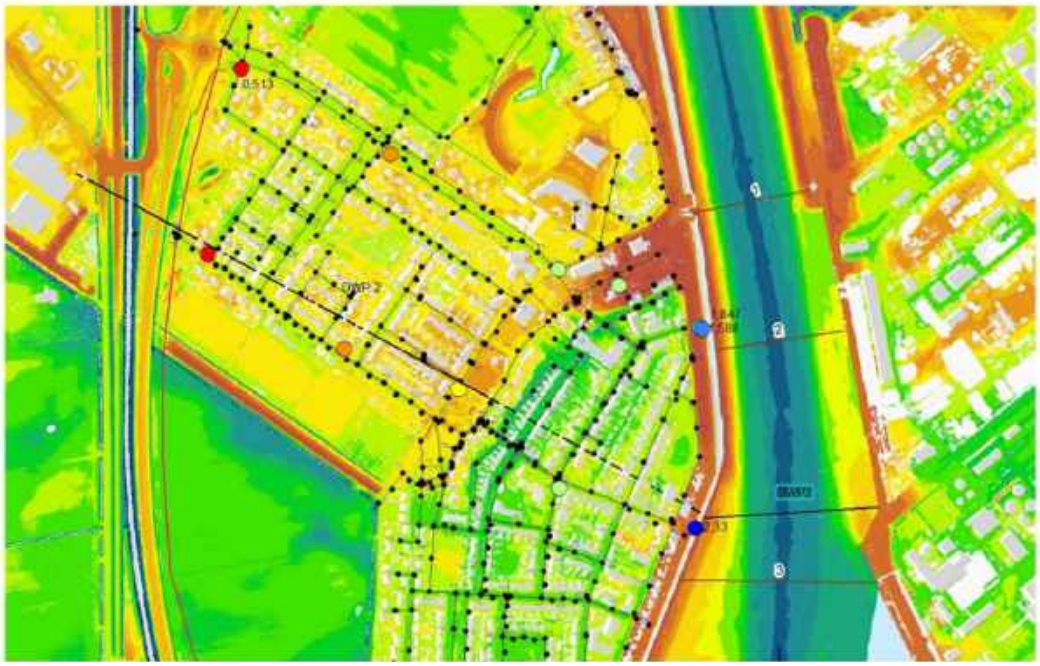


Figuur 3.4 Voorbeeld van geofysische waarneming van oude verlande geulstructuren onder een zeebodem

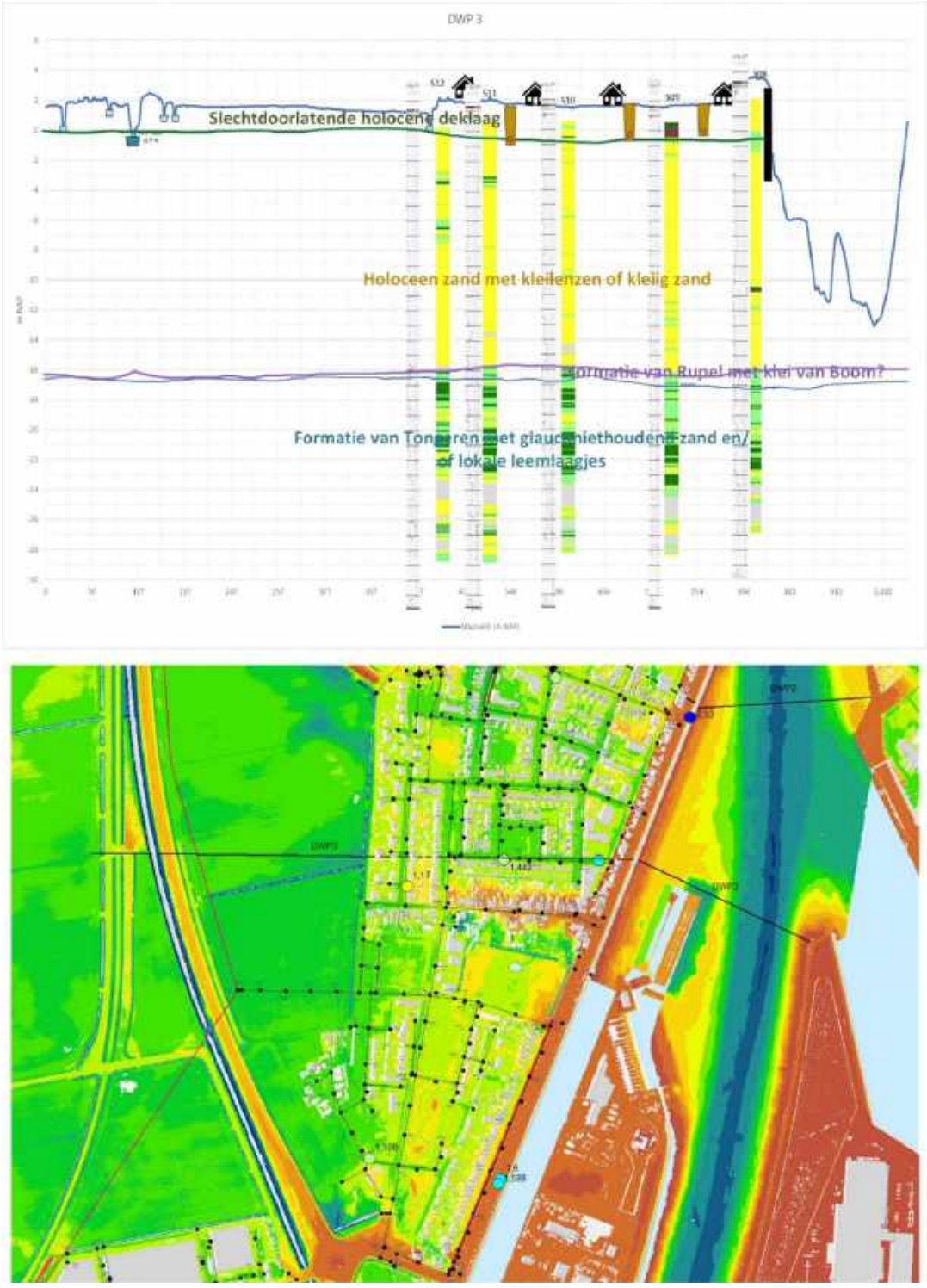


Figuur 3.5 Boven: Bodemkaart van Zeeuws-Vlaanderen volgens DINO met geulafzettingen in geel en geelgroen
Onder: locatie van de Braakmangeul in 1822 met geel omcirkeld de huidige situering van Sluiskil





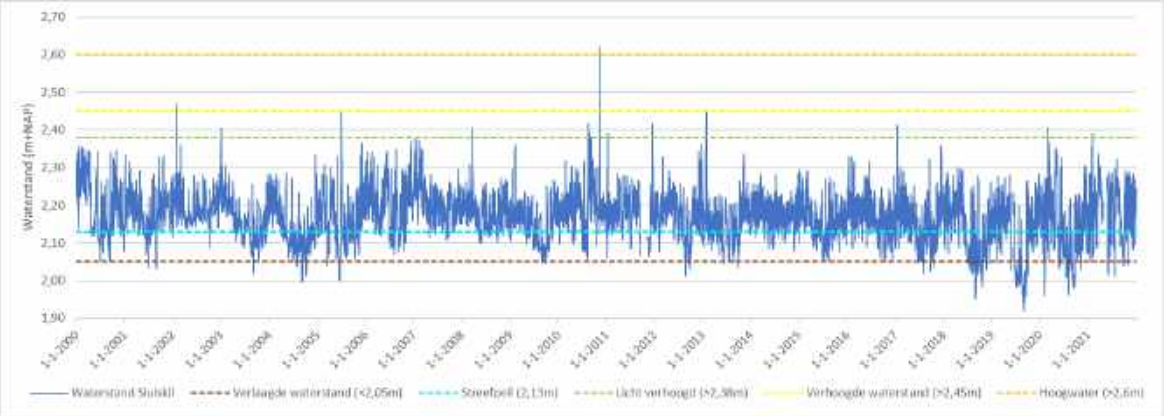
Figuur 3.6 Schematische bodemopbouw Dwarsprofiel 2. In de bovenste figuur is de Westelijke Rijkswaterleiding (links), peilbuizen, het kanaal en de damwand (rechts) te zien. In de interpretatie van de sonderingen stelt de gele kleur zand voor, lichtgroen is klei of leemhoudend zand en donkergroen zijn klei of leemlaagjes. Glauconiethoudend zand is ook lichtgroen. De ingetekende lijnen geven de globale begrenzing aan van de geologische lagen



Figuur 3.7 Schematische bodemopbouw Dwarsprofiel 3. In de bovenste figuur is de Westelijke Rijkswaterleiding (links), peilbuizen, het kanaal en de damwand (rechts) te zien. In de interpretatie van de sonderingen stelt de gele kleur zand voor, lichtgroen is klei of leemhoudend zand en donkergroen zijn klei of leemlaagjes. Glauconiethoudend zand is ook lichtgroen. De ingetekende lijnen geven de globale begrenzing aan van de geologische lagen

3.4 Kanaalbodem en -peil

Het kanaal van Gent naar Terneuzen heeft een streefpeil van NAP +2,13 m. Dit is vastgelegd in de legger Kanaal Gent-Terneuzen. Een waterstand tussen de NAP +1,88 en +2,38 m wordt door Rijkswaterstaat gezien als een normale waterstand. In Figuur 3.8 is de waterstand getoond die bij de brug van Sluiskil wordt gemeten[11]. De meetreeks beslaat een periode van 1 januari 2000 tot 31 december 2021. De gemiddelde waterstand over deze periode is NAP +2,17 m. In de wintermaanden (december, januari en februari) is de gemiddelde waterstand hoger dan jaarrond, namelijk NAP +2,2 m.

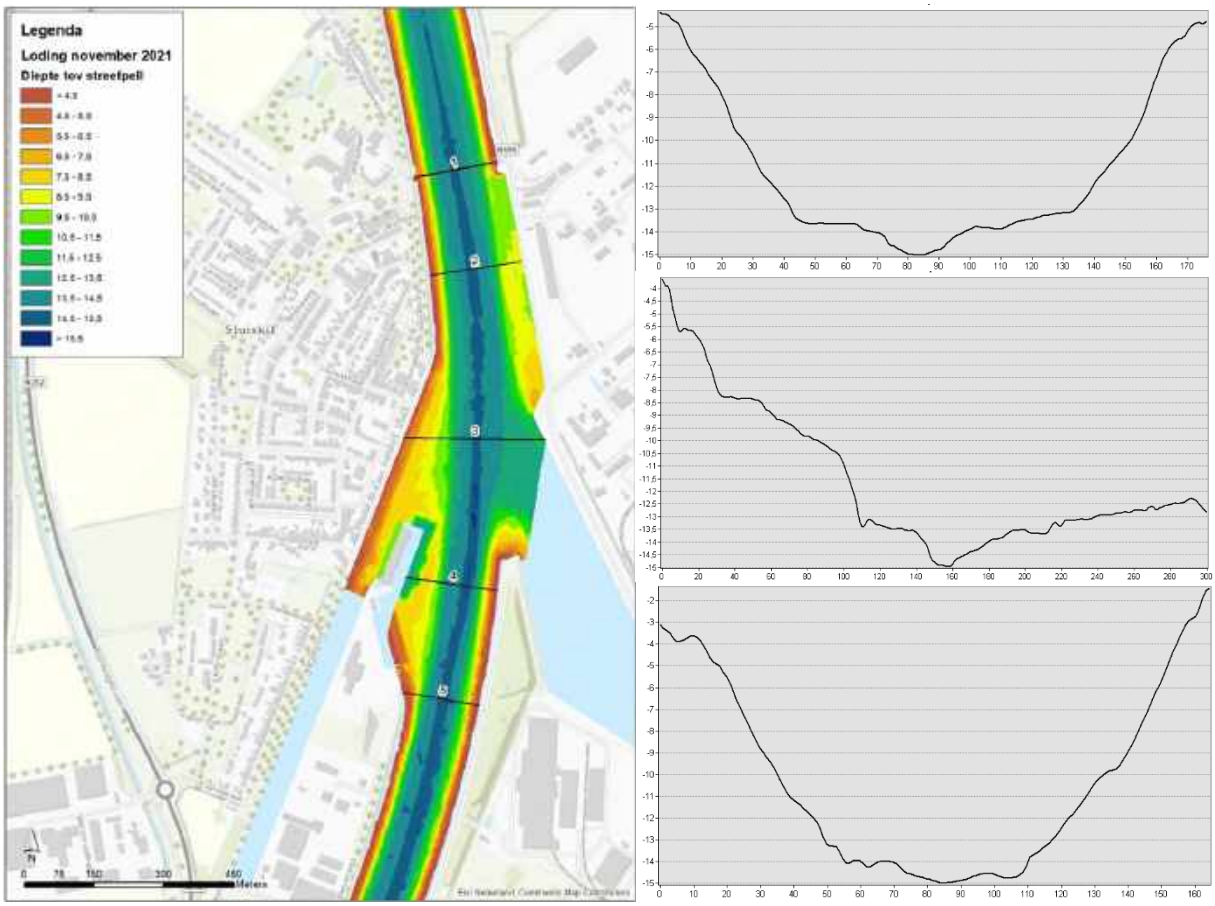


Figuur 3.8 Waterstand kanaal bij brug Sluiskil van 2000 t/m 2021

Het kanaal heeft zoals eerder beschreven bij streefpeil een diepte van 13,5 m-KP (beneden kanaalpeil). Rijkswaterstaat voert regelmatig lodingen (dieptepeilingen) uit om de waterbodemhoogte in beeld te brengen. Op basis van deze informatie wordt besloten waar en hoeveel gebaggerd moet worden. In Figuur 3.9 is de diepte van het kanaal getoond tijdens een loding in november 2021. Hier blijkt dat de bodem op sommige plekken in de vaarweg dieper ligt dan 13,5 m-KP. Dit is overigens al jaren het geval. Ook in lodingen in 2006 is plaatselijk een maximale diepte van 15 m-KP gemeten (zie Figuur 2.5). Waarschijnlijk woelen schepen de bodem in het midden van de vaarweg om. Aangezien de diepte van ca. 15 m-KP in alle lodingen sinds 2006 voorkomt, lijkt dit te wijzen op een stabiele situatie. De zogenaamde erosiegeulen verdiepen zich niet verder en ze slibben ook niet dicht.

Op basis van de beschikbare informatie kunnen geen conclusies worden getrokken over hoeveel slib aanwezig is in het kanaal. Dit is relevant om een goede inschatting te kunnen maken van de bestaande bodemweerstand van het kanaal. Aangezien sprake is van een stabiele erosiegeul in het midden van het kanaal en hier continu schepen overheen varen, is het niet aannemelijk dat hier sprake is van significante weerstandopbouw in dit deel van het kanaal. Wat verder naar de zijkanten van het kanaal is het wel aannemelijker dat hier sprake is van slibopbouw aangezien hier eens in de 5 à 8 jaar baggeronderhoud nodig is. De bodemweerstand[12] is verder op basis van een gekalibreerd grondwatermodel en de peilbuismetingen ingeschat.

[11] www.waterinfo.rws.nl, geraadpleegd op 19 juli 2022
[12] Met bodemweerstand wordt bedoeld de weerstand die water ondervindt om vanuit het kanaal in de ondergrond te infiltreren. Deze weerstandsmaat wordt uitgedrukt in dagen.



Figuur 3.9 Diepte van het kanaal in november 2021 t.o.v. streefpeil van NAP + 2,13 m. Rechtsboven wordt dwarsdoorsnede 1 getoond, rechts midden dwarsdoorsnede 3 en rechtsonder dwarsdoorsnede 5

3.5 Grondwater

3.5.1 Grondwaterstandsverloop

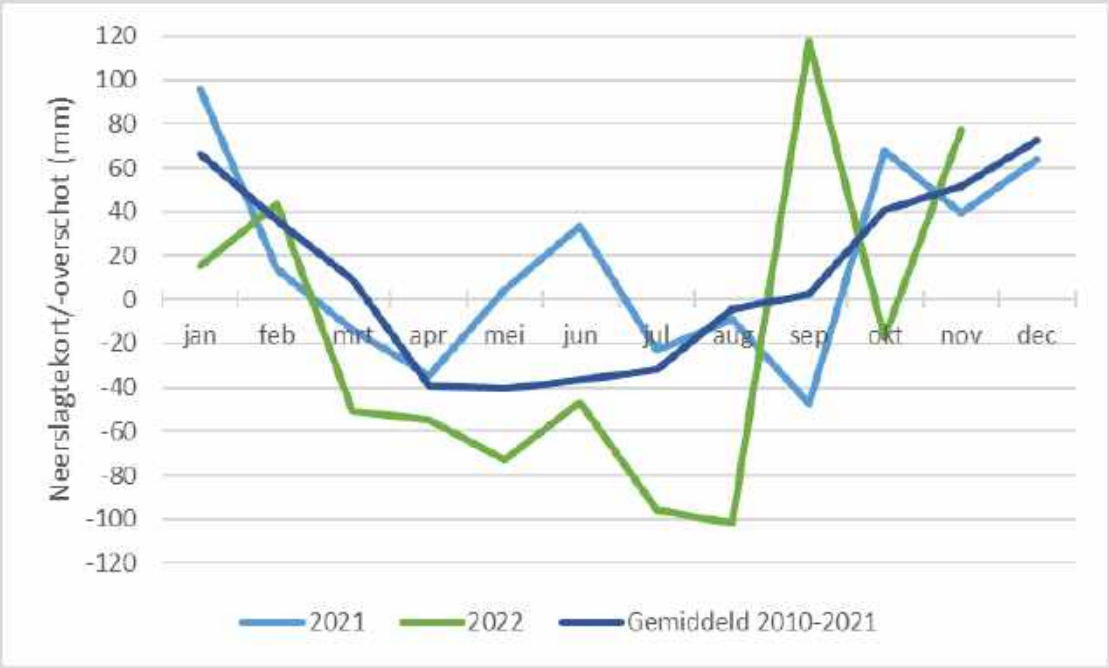
Tijdens het onderzoek van Wareco in 2017 zijn grondwaterstandsmetingen uitgevoerd. Voor de grondwateranalyse in dit onderzoek is gebruik gemaakt van de meerjarige en aaneengesloten meetreeksen van het huidige meetnet. De metingen uit het eerdere onderzoek zijn wel ter validatie gebruikt van het grondwatermodel.

In Sluiskil is sinds begin december 2020 een gemeentelijk grondwatermeetnet ingericht bestaande uit 17 peilbuizen verdeeld over 4 raaien loodrecht op het kanaal. In juli 2022 is als onderdeel van dit onderzoek het grondwatermeetnet aangevuld met een tiental meetpunten om de grondwaterstand op verschillende diepten te kunnen meten (deze reeks peilbuizen hebben met name een filterstelling in het diepere pakket).[13] In deze beschouwing worden alle peilbuizen meegenomen. Let wel: de meetreeksen van de nieuwe peilbuizen beslaan slechts vijf maanden aan meetgegevens en kunnen een vertekend beeld geven in de gepresenteerde gemiddelde winter en zomer grondwaterstanden.

[13] Met behulp van de extra peilbuizen met een diepere filterstelling is het mogelijk een analyse uit te voeren naar de relatie tussen tijghoogteverschillen en het mogelijk voorkomen van lokale leemlagen. Zo kan ook beter worden toegelicht welke lagen in directer hydraulisch contact staan met kwelwater en wat relatie is tussen (kortdurende) peilfluctuaties in het kanaal en de fluctuaties in de grondwaterstanden in de diepe watervoerende pakketten en in de freatische lagen.

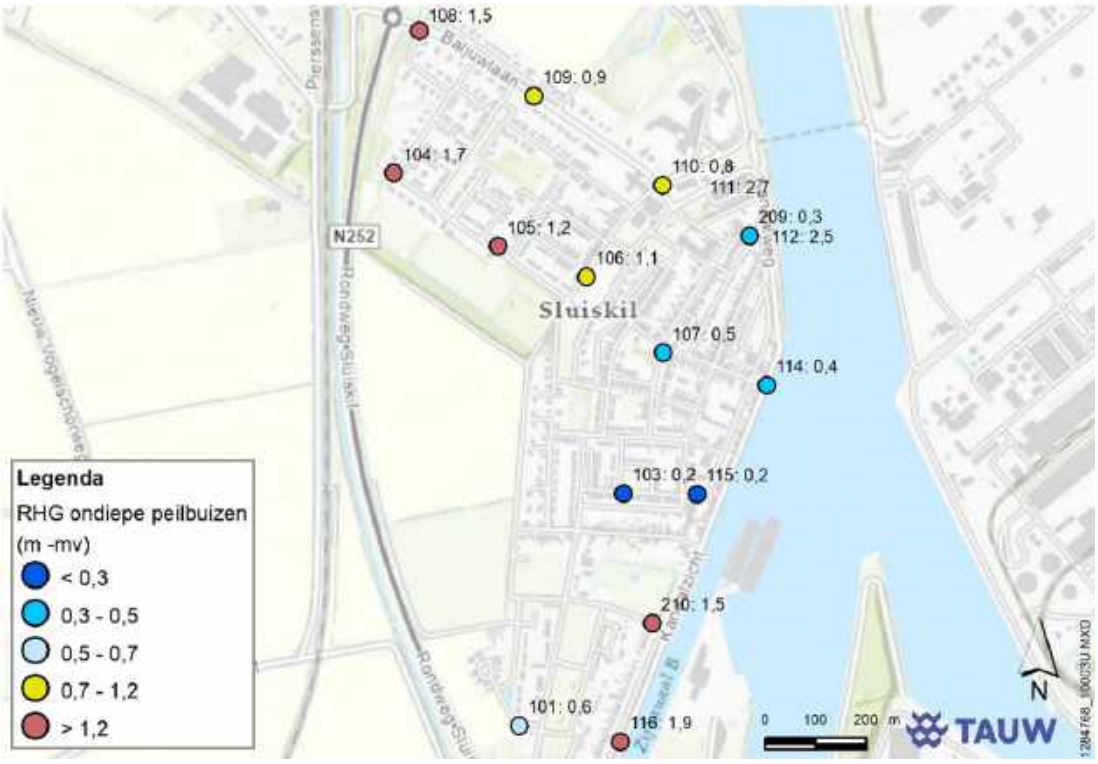
Om een indruk te krijgen van de grondwaterstand en -fluctuatie zijn de representatieve hoge (RHG) en representatieve lage grondwaterstand (RLG) bepaald.[14] De RHG geeft de structureel hoge grondwaterstand weer, waarvan geldt dat de grondwaterstand meer dan een maand per jaar hoger is. De RLG geeft de structureel lage grondwaterstand weer die meer dan een maand per jaar wordt onderschreden. De meetreeksen waar de analyses op zijn gebaseerd, beslaan 2 jaar. De zomer van 2021 begon vrij nat in vergelijking met de gemiddelde neerslag van de jaren 2010 t/m 2021, maar 2022 kent een erg droge zomer (zie Figuur 3.10). Vanwege die droge zomer laat de berekende RLG (indruk van de grondwaterstand in een zomersituatie) waarschijnlijk een droger beeld zien dan zou volgen uit een langjarige meetreeks. De RHG geeft een representatief beeld van een gemiddelde wintersituatie.

Peilbuis 114 (aan het kanaal, net iets zuidelijk van de knik in het kanaal) toont een afwijkend beeld. De RLG en RHG zijn veel hoger dan verwacht mag worden. Zowel de RLG als RHG komt boven het streefpeil van het kanaal uit. Dit is niet reëel. Waarschijnlijk is bij peilbuis 114 sprake van een (in)meetfout.

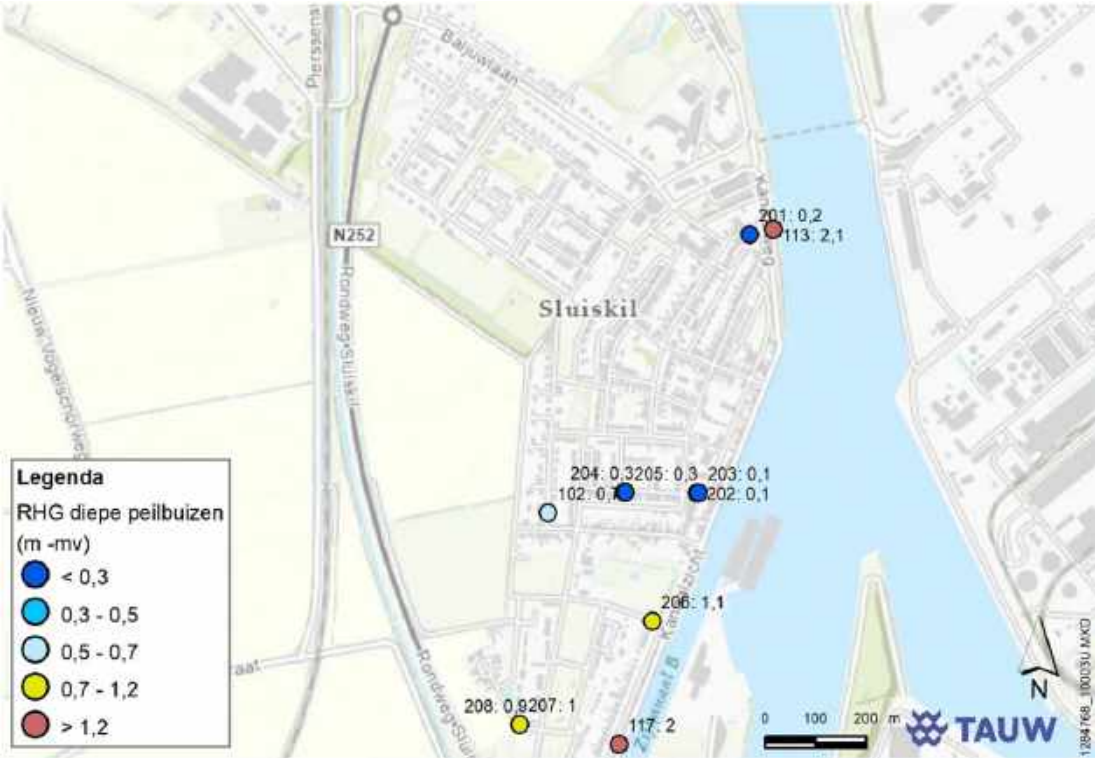


Figuur 3.10 Maandelijks neerslagtekort of -overschot 2021 en 2022 uitgezet tegen gemiddelde 2010-2021 (weerstation Westdorpe)

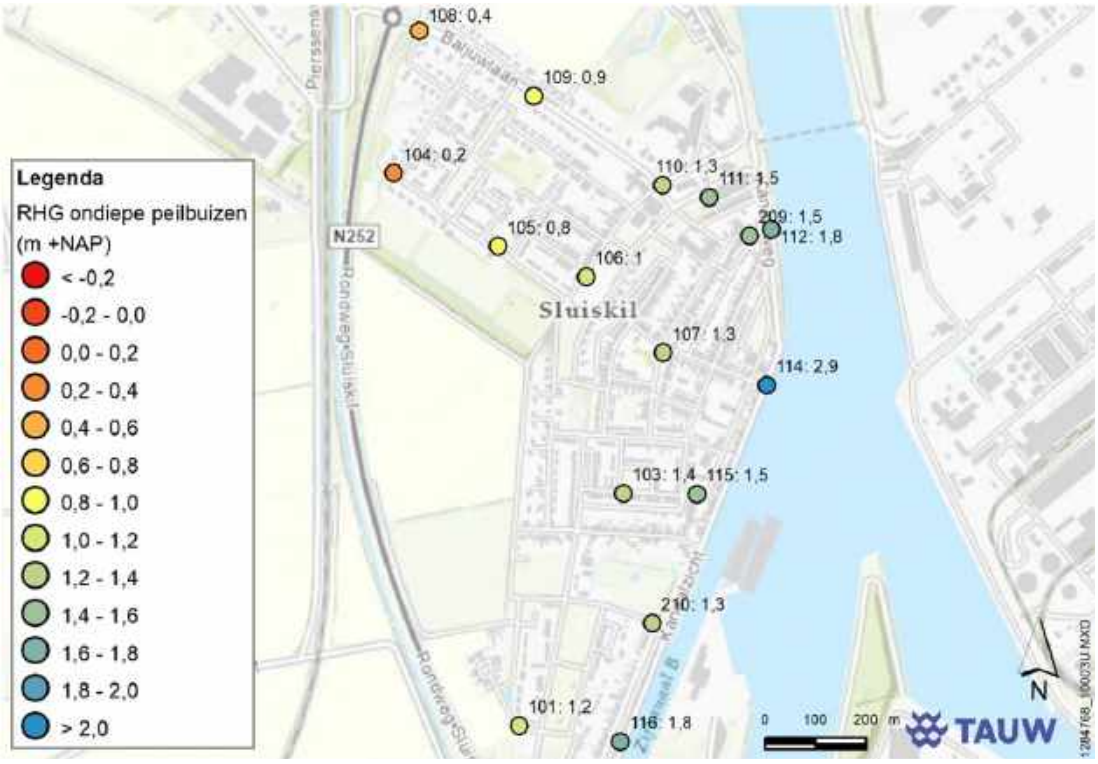
[14] RHG: representatieve hoge grondwaterstand wordt bepaald door het 90e percentiel te nemen van de totale meetreeks per peilbuis.
RLG: representatieve lage grondwaterstand wordt bepaald door het 10e percentiel te nemen van de totale meetreeks per peilbuis.



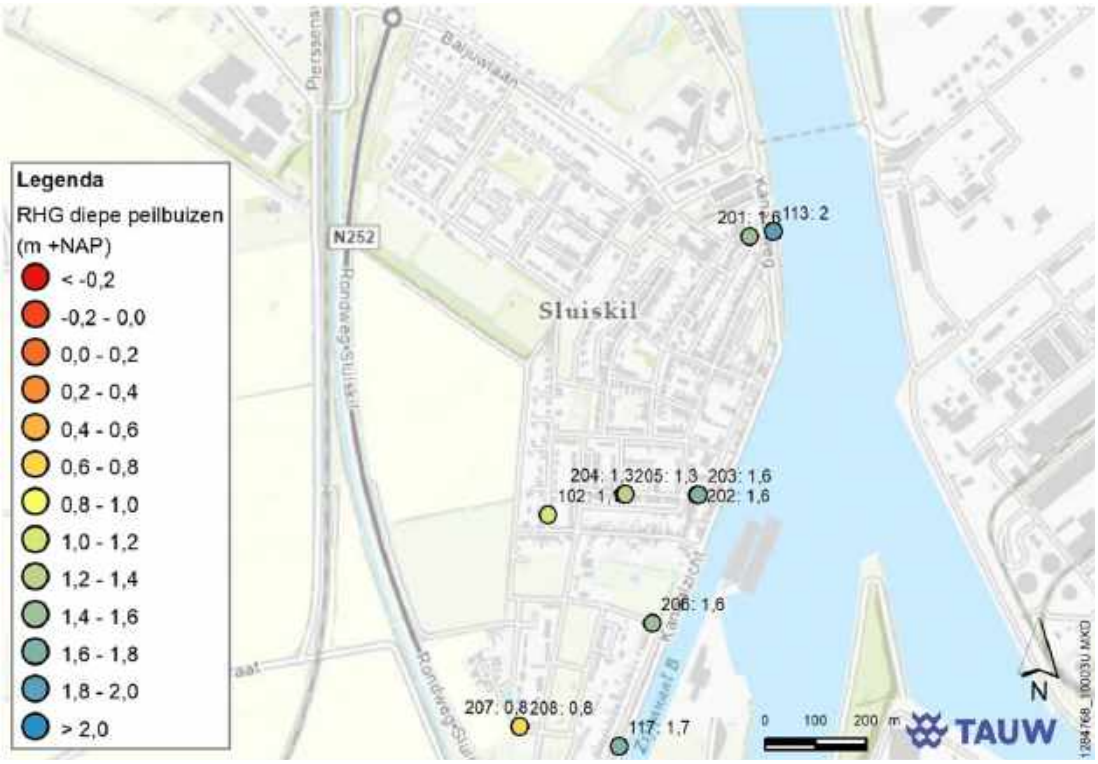
Figuur 3.11 Representatieve hoge grondwaterstand RHG t.o.v. maaiveld (ontwatering) voor ondiepe peilbuizen (peilbuis 114 is onbetrouwbaar)



Figuur 3.12 Representatieve hoge grondwaterstand RHG t.o.v. maaiveld voor diepe peilbuizen



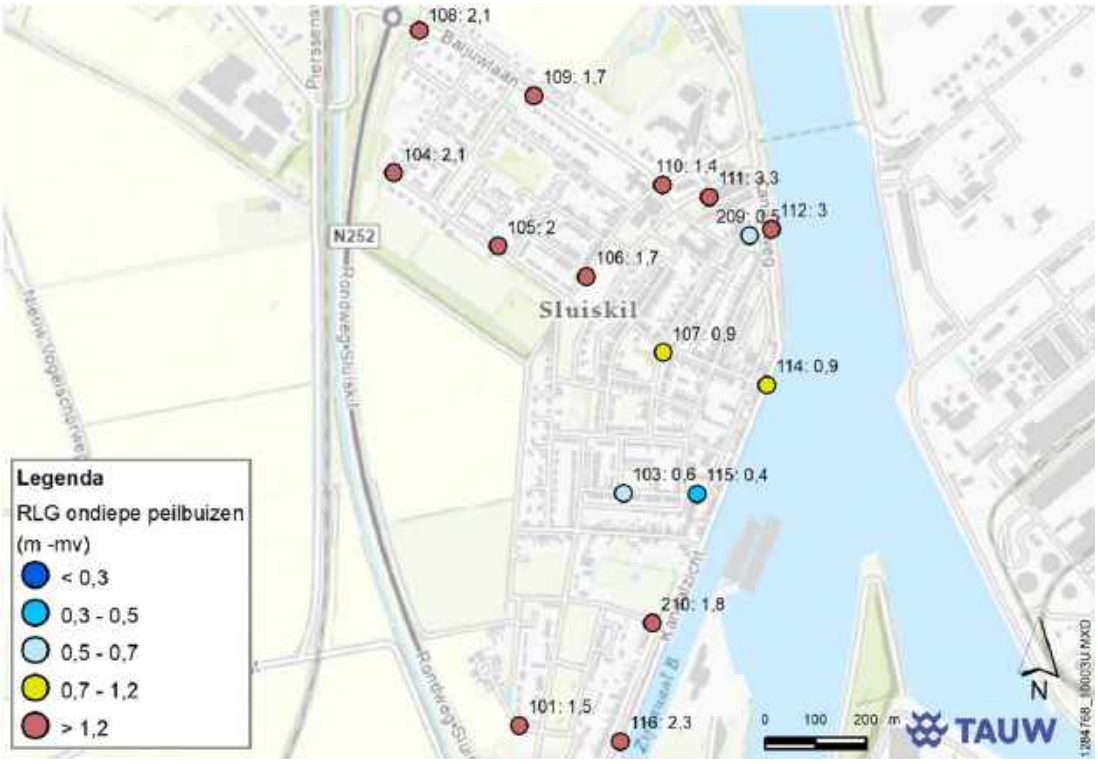
Figuur 3.13 *Representatieve hoge grondwaterstand RHG t.o.v. NAP voor ondiepe peilbuizen (peilbuis 114 is onbetrouwbaar)*



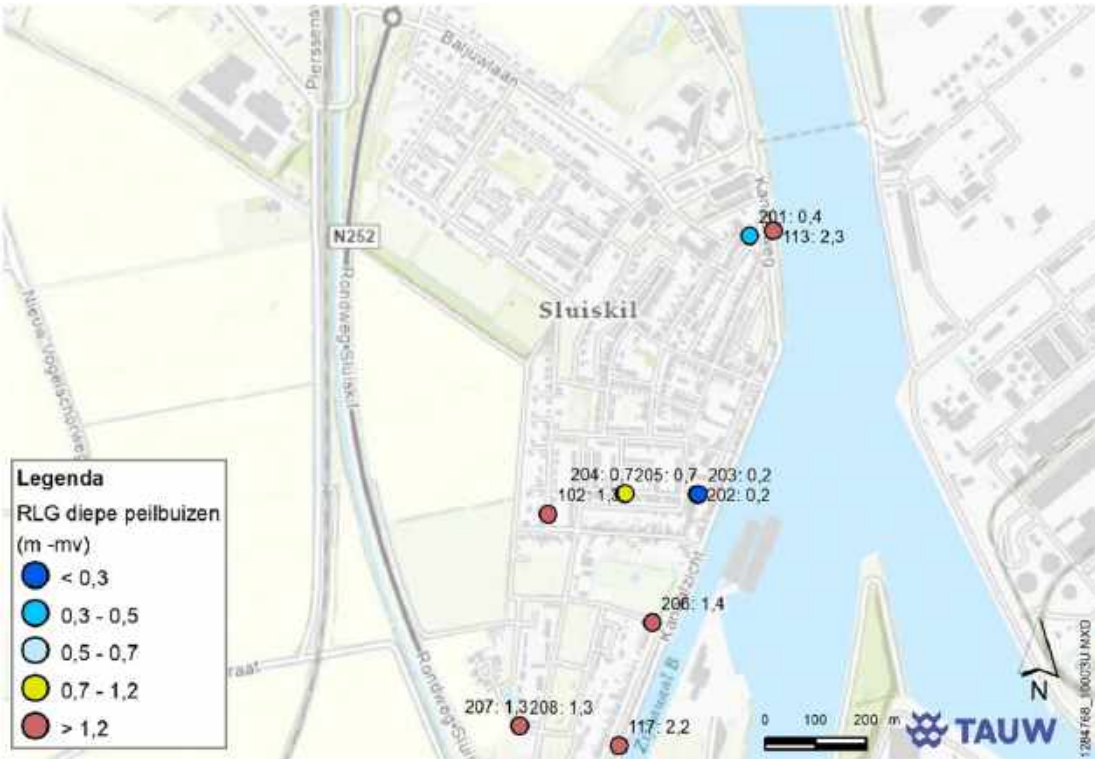
Figuur 3.14 Representatieve hoge grondwaterstand RHG t.o.v. NAP voor diepe peilbuizen

In Figuur 3.11 en Figuur 3.12 wordt de representatieve hoge grondwaterstand getoond ten opzichte van maaiveld. Hierbij wordt nogmaals opgemerkt dat nieuwe peilbuizen (met code 2xx) hier geen representatief beeld geven in absolute zin, maar wel gebruikt kunnen worden in de interpretatie om horizontale en verticale stromingen te duiden. De RHG t.o.v. maaiveld toont de ontwateringsdiepte en laat zien dat er in het overlastgebied diverse natte plekken zijn in Sluiskil (de donker- en lichtblauwe stippen). Zo wordt bijvoorbeeld geconstateerd dat ter hoogte van de Vergaertstraat de grondwaterstanden in de winter structureel hoger dan circa 0,2 m-mv zijn. Ook de omgeving van de Bosjesweg laat door de lokale verlaging in het maaiveld relatief hoge grondwaterstanden zien <0,5 m-mv.

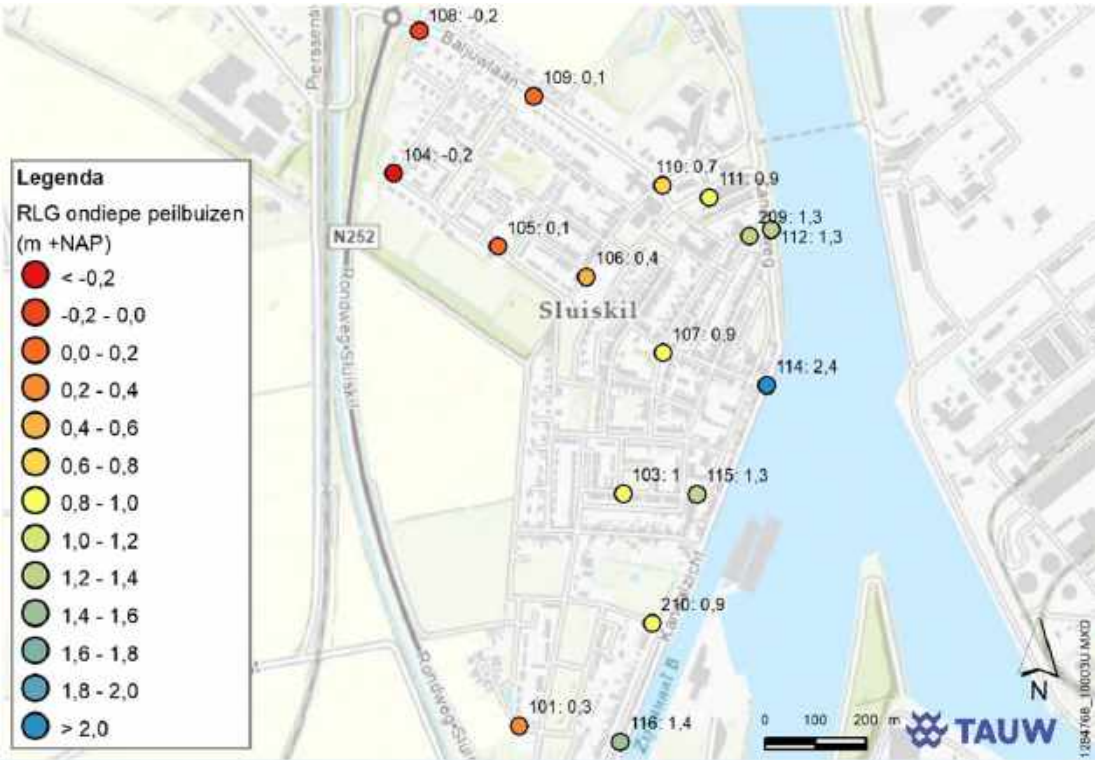
In Figuur 3.13 en Figuur 3.14 toont de RHG ten opzichte van NAP. Wanneer de grondwaterstanden worden vergeleken met het kanaalpeil wordt geconstateerd dat er sprake is van een significant potentiaalverschil waardoor mogelijk sprake is van kwel in de omgeving met invloed op de grondwaterstanden. De standen t.o.v. NAP tonen een verloop van hoge grondwaterstanden langs het kanaal naar lagere grondwaterstanden in westelijke richting. Dit duidt op een stationaire invloed van het kanaal die gradueel afneemt naarmate de afstand groter wordt. Op sommige locaties is een stijghoogteverschil waarneembaar tussen diepe en ondiepe peilbuizen die op dicht bij elkaar staan (zie peilbuizen 206 t.o.v. 210 en 113 t.o.v. 112). Hierbij is de stijghoogte in het diepere pakket hoger dan in het ondiepere pakket. Dit duidt op een verticale stroming vanuit diepere lagen die wordt afgeremd door lokale klei en leemhoudende lagen.



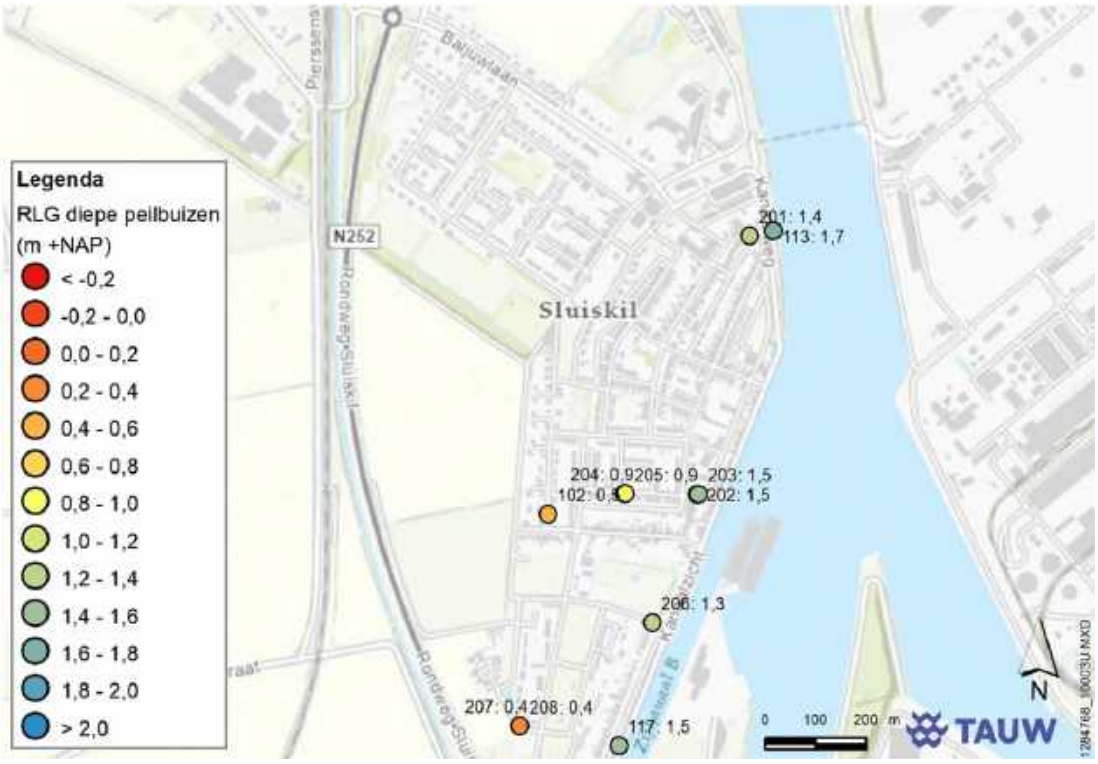
Figuur 3.15 Representatieve lage grondwaterstand t.o.v. maaiveld (ontwatering) voor ondiepe peilbuizen (peilbuis 114 is onbetrouwbaar)



Figuur 3.16 Representatieve lage grondwaterstand t.o.v. maaiveld voor diepe peilbuizen

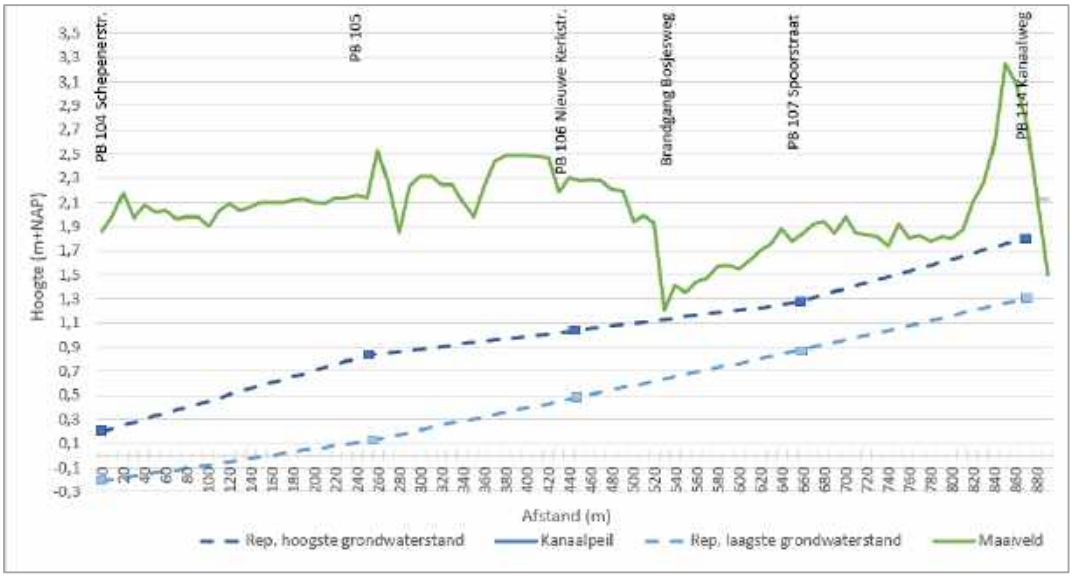


Figuur 3.17 Representatieve lage grondwaterstand t.o.v. NAP voor ondiepe peilbuizen (peilbuis 114 is onbetrouwbaar)



Figuur 3.18 Representatieve lage grondwaterstand t.o.v. NAP voor ondiepe peilbuizen

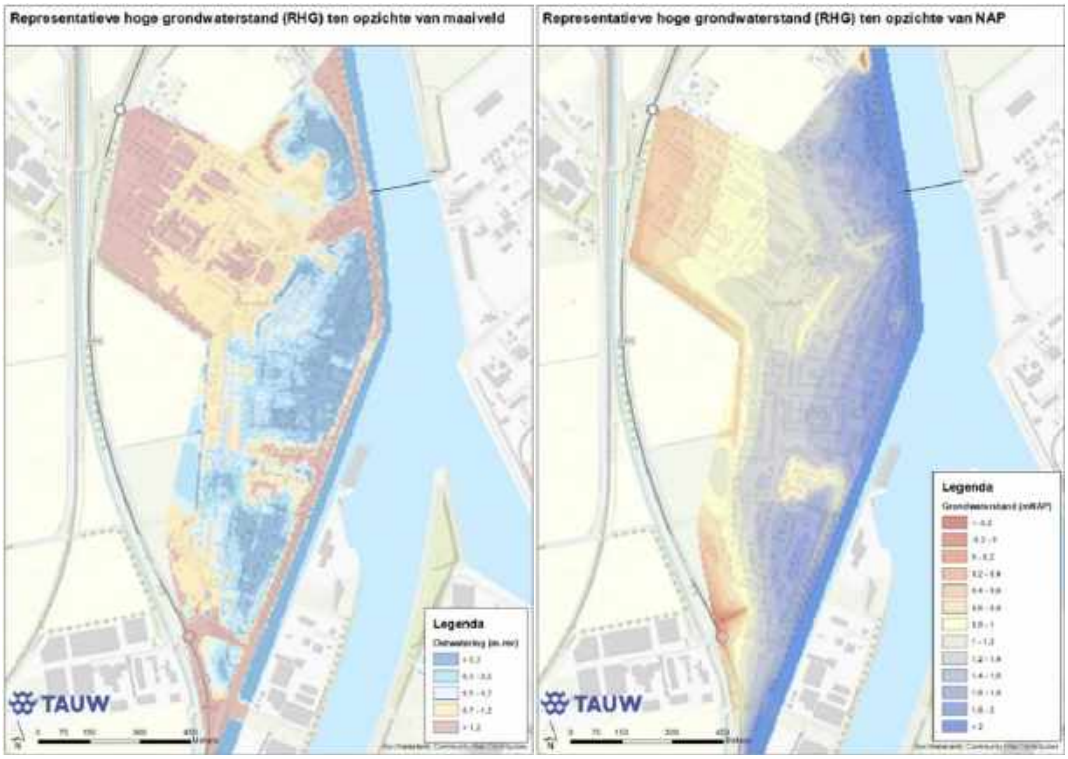
In de zomerperiode (Figuur 3.15 t/m Figuur 3.18) zakt de grondwaterstand uit. Toch wordt hier ook geconstateerd dat er ook in de zomer lokaal natte plekken in Sluiskil kunnen zijn. Zo tonen de peilbuizen in de Vergaertstraat tonen hier een RLG van 0,4 -0,6 m-mv in het freatische pakket. Het grondwater in de peilbuizen aan de Louisastraat ligt lager t.o.v. maaiveld dan aan de Vergaertstraat, namelijk met een RLG van zo'n 0,9 m-mv.



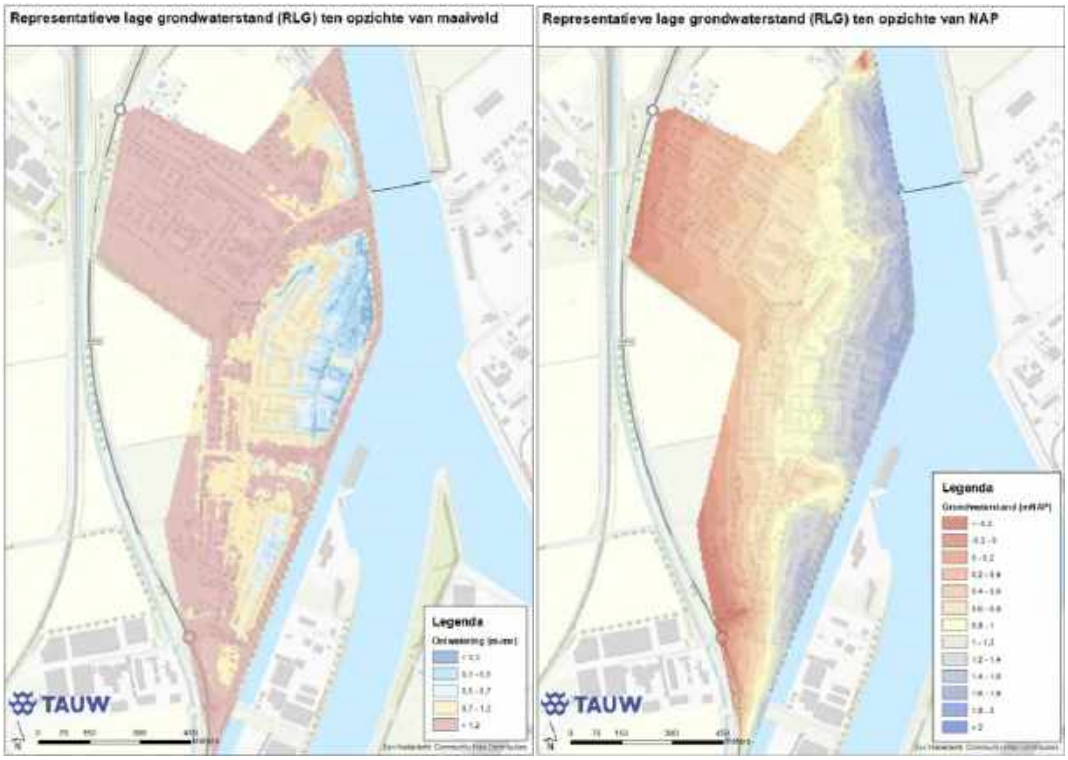
Figuur 3.19 Grondwaterstandsverloop over de tweede peilbuisraai vanaf het noorden bezien

In Figuur 3.19 is een dwarsdoorsnede gemaakt over de peilbuizenraai 114, 107, 106, 105 en 104 (voor peilbuis 114 is het gemiddelde tussen peilbuis 113 en 116 genomen, omdat de reeks van 114 niet betrouwbaar is). Dat is de tweede raai vanaf het noorden gezien (zie de lijnen met punten in Figuur 3.15). De raai volgt min of meer de Louisastraat en buigt af om de Dorstlaan te volgen. De RHG en RLG zijn rechtlijnig geïnterpoleerd tussen de peilbuizen in. Het wil niet zeggen dat tussenliggende de grondwaterstand zo kan worden gerepresenteerd, maar het geeft wel een indruk. Ter plaatse van de Bosjesstraat en de brandgang daarachter is het maaiveld laag met hogere grondwaterstanden ten opzichte van maaiveld tot gevolg.

Met het grondwatermodel, dat tijdens dit onderzoek is opgesteld, is de grondwaterstand in een winter- (RHG) en zomersituatie (RLG) berekend om een vlakdekkend beeld te verkrijgen. In Figuur 3.20 zijn de berekende RHG ten opzichte van maaiveld en NAP opgenomen. Figuur 3.21 toont de RLG ten opzichte van maaiveld en NAP. Beide figuren zijn op A4-formaat terug te vinden in bijlage 7.



Figuur 3.20 Representatieve hoge grondwaterstand berekend met grondwatermodel, links t.o.v. maaiveld, rechts t.o.v. NAP



Figuur 3.21 Representatieve lage grondwaterstand berekend met grondwatermodel, links t.o.v. maaiveld, rechts t.o.v. NAP

Ook op basis van Figuur 3.20 en Figuur 3.21 wordt geconcludeerd dat er zowel in de winter als in de zomer in het overlastgebied diverse natte plekken zijn in Sluiskil (de donker- en lichtblauwe vlekken in de linker plaatjes). In de rechter plaatjes worden steeds de standen t.o.v. NAP getoond. Hier is duidelijk een verloop van hoge grondwaterstanden langs het kanaal naar lagere grondwaterstanden in westelijke richting. Dit bevestigt het beeld dat sprake is van een stationaire invloed van het kanaal die gradueel afneemt naarmate de afstand groter wordt.

3.5.2 Tijdreeksanalyse

Met behulp van tijdreeksanalyses is geanalyseerd welke peilbuizen onder directe invloed staan van peilfluctuaties in het kanaal. Hierbij is onderzocht in welke mate het grondwaterstandsverloop voorspeld kan worden middels neerslag en verdamping en in welke mate het kanaal en de jaarlijkse fluctuaties een aantoonbare invloed vormen op de grondwaterstanden in Sluiskil. In Bijlage 5 is de notitie gepresenteerd waarin uitgebreider wordt toegelicht over de methode en uitkomsten van de uitgevoerde tijdreeksanalyses.

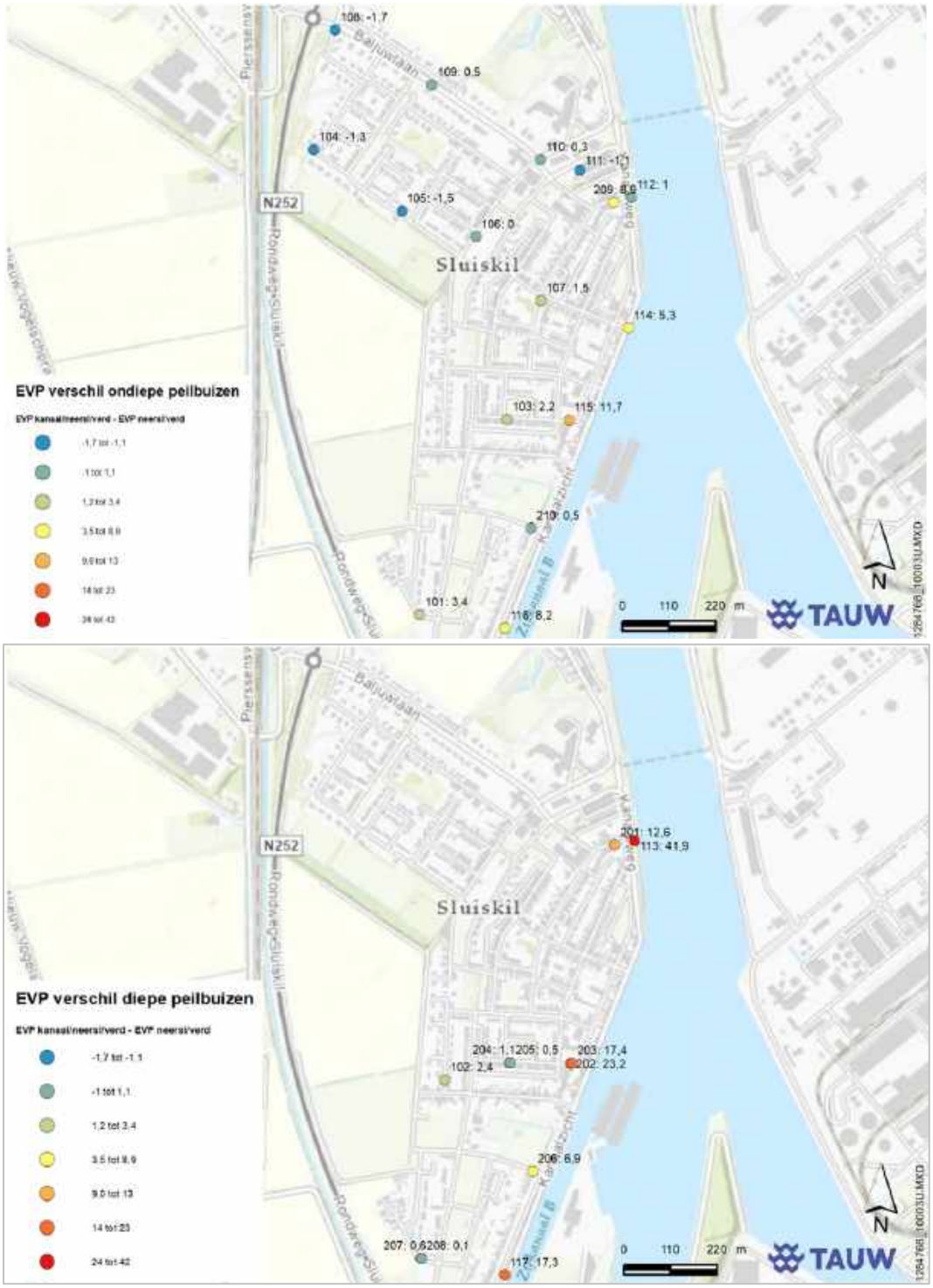
Per peilbuis is een model opgesteld waarbij neerslag en verdamping als verklarende variabelen zijn opgegeven. Neerslag en verdamping zijn in Nederland in de regel de voornaamste verklarende variabelen voor de grondwaterstand. Daarnaast is er per peilbuis nog een model opgesteld met als verklarende variabelen zowel neerslag, verdamping én kanaalpeil. Vervolgens is gekeken naar de verschillen tussen de mate waarin de tijdreeksmodellen (met en zonder kanaalpeil als verklarende variabele) de grondwaterstand simuleren. Oftewel, kunnen we door het toevoegen van een extra verklarende variabele (kanaalpeil) het model significant verbeteren.

Hiermee wordt onderzocht of een missende verklarende variabele (in dit geval het kanaal) een significante invloed heeft op de grondwaterstanden (naast neerslag en verdamping).

Hoe goed de grondwaterstand gemodelleerd en daarmee verklaard kan worden, wordt uitgedrukt in een percentage: Explained Variance Percentage (EVP). Over het algemeen wordt aangehouden dat een reeks voldoende verklaard kan worden als de EVP boven de 70% ligt. Hoe dichter de EVP bij 100% komt hoe beter het verklarend model. Een indicatie dat het kanaal invloed heeft op de grondwaterstanden is als de EVP verbetert als naast neerslag en verdamping ook het kanaalpeil wordt toegevoegd als verklarende variabele. Verbeteringen die kleiner zijn dan 3 procentpunt worden als statistisch insignificant beschouwd. Dit kan namelijk op statistisch toeval duiden.

In Bijlage 5 zijn de resultaten van deze analyse gepresenteerd. In Figuur 3.22 is het resultaat opgenomen van de verbetering van het toevoegen van het kanaalpeil als verklarende variabele. Een hogere waarde betekent meer invloed van kanaalpeilfluctuaties op de grondwaterstand. Aan de kleur van de bolletjes is duidelijk te zien dat het kanaalpeil de grondwaterstand met name dichtbij het kanaal beïnvloedt. De diepe peilbuizen 113, 117, 202 en 203 (Figuur 3.22, onderste helft) laten de grootste verandering zien. Deze zijn naast het kanaal geplaatst en staan in direct hydraulisch contact met het kanaal. Doordat deze dieper staan wordt het infiltrerende water uit het kanaal beperkt afgeremd door klei of leemhoudende lagen. Zo gaat bijvoorbeeld de verklaarde variantie (EVP)[15] van diepe peilbuis 113 door toevoeging van het kanaal als verklarende variabele van 47,9% naar 89,8%, een forse toename van 41,9% die kan worden verklaard doordat op die diepte geen damwand aanwezig is. Op dit stuk van de kanaalbegrenzing wordt de oever slechts beschermd door een stortstenen rand waardoor het kanaal direct in contact kan staan met het grondwater in de nabije omgeving. Verder weg gelegen en ondiepe peilbuizen laten bijna geen verandering in EVP zien, of zelfs een afname. Hier wordt het verklarende vermogen van het model niet verbeterd door toevoegen van het kanaalpeil.

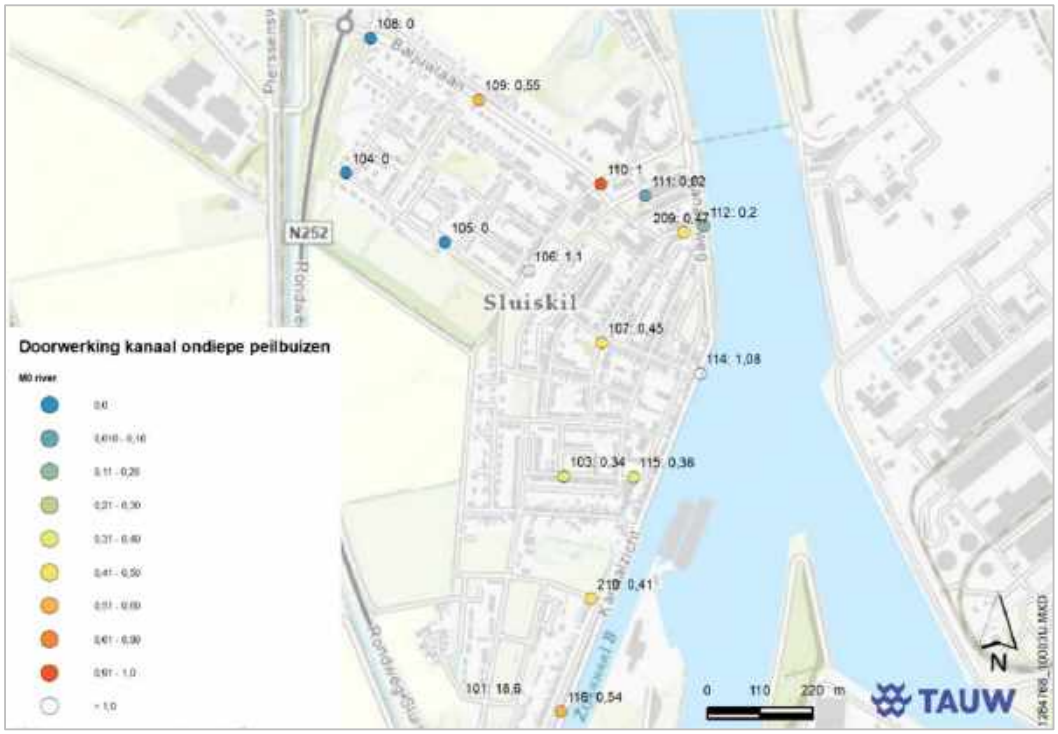
[15] De maat van hoe goed de grondwaterstand gemodelleerd kan worden, uitgedrukt in de verklaarde variantie, of wel Explained Variance Percentage (EVP).



Figuur 3.22 Verschil in voorspelbaarheid tussen een tijdreeksmodel met neerslag, verdamping en het kanaalpeil als verklarende reeksen versus de voorspelbaarheid van een tijdreeksmodel met alleen neerslag en verdamping als verklarende reeksen. Bovenste figuur toont de ondiepe peilbuizen, onderste figuur toont de diepe peilbuizen

In Figuur 3.23 staan de M0-waarden per peilbuis weergegeven op de kaart. De M0 beschrijft het stationair effect (verlaging of verhoging) van het kanaal op de grondwaterstand bij de peilbuis. Het is daarmee een maat voor de doorwerking van het kanaalpeil op de grondwaterstand. De waarde ligt tussen de 0 en 1, waarmee een waarde van bijvoorbeeld 0,7 betekent dat bij een verhoging van het kanaalpeil van 1 m, de grondwaterstand met 0,7 m wordt verhoogd. Bij een waarde hoger dan 1 is het model onbetrouwbaar.

De stationaire verhoging van de grondwaterstand wordt als significant beschouwd bij een waarde van 0,20 of hoger. Over het algemeen fluctueert het kanaalpeil niet meer dan 30 cm naar beneden of naar boven toe. Bij een stijging van 30 cm werkt het peil 6 cm door op locaties met een doorwerkfactor van 0,20. Een doorwerking van 5 cm of minder wordt in dit kader niet meer als significant beschouwd. Een doorwerking van meer dan 1 wordt niet als betrouwbaar beschouwd. De doorwerking van het kanaal is tot circa 200-300 meter afstand in Sluiskil merkbaar. De diepere peilbuizen ondervinden een grotere stijging in grondwaterstand dan de ondiepe als gevolg van de doorwerking van het kanaal (zie Figuur 3.23 onderste helft). Dit wijst op grondwaterstroming vanuit het kanaal onder de damwanden door.





Figuur 3.23 Mate van doorwerking van kanaalpeilfluctuaties op de grondwaterstanden. Een M0 voor het kanaalpeil van bijvoorbeeld 0,66 betekent dat een stijging van de waterstanden van 1 meter leidt tot een stijging van de grondwaterstanden van 0,66 m. Getallen hoger dan 1 geven aan dat het model op dit punt onbetrouwbaar is om hier conclusies aan te verbinden. Bovenste figuur toont de ondiepe peilbuizen, onderste figuur toont de diepe peilbuizen

Conclusie uit de tijdreeksanalyses

Op basis van Figuur 3.22 wordt geconstateerd dat diepe peilbuizen die vlakbij het kanaal staan het sterkst worden beïnvloed door kortdurende fluctuaties van het kanaalpeil (zie bijvoorbeeld peilbuis 201, 113, 203, 202, 206 en 117). Een instationair effect (kortdurende fluctuaties van enkele uren of dagen) van peilfluctuaties kan hier significant worden aangetoond. Ook ondiepe peilbuizen laten binnen een afstand van 50 meter zien dat ze meetbaar worden beïnvloed door kortdurende peilbuisfluctuaties (zie bijvoorbeeld peilbuis 116, 115, 114 en 209). Binnen 50 m van het kanaal wordt dus geconstateerd dat een duidelijke invloed is te meten van kortdurende kanaalpeilfluctuaties op de grondwaterstanden. Er worden echter ook uitzonderingen aangetroffen (vb peilbuis 112). Het effect van passerende grote schepen heeft geen meetbaar effect op de grondwaterstanden. Op grotere afstanden is het instationaire effect op bijna alle locaties niet meer significant meetbaar in zowel diepe als ondiepe peilbuizen. De aanwezigheid van klei- en leemlagen zal de instationaire doorwerking van peilfluctuaties op grotere afstand van het kanaal hier naar verwachting dempen.

Voor de stationaire doorwerking kan worden geconcludeerd dat peilbuizen 101, 102, 103, 107, 109, 113, 115, 116, 117 en 201 - 210 (M0 van 0,20 of hoger) significant worden beïnvloed door het kanaal. Dit effect werkt tot een afstand van het kanaal van ongeveer 200 à 300 meter door (peilbuis 109 is hier een uitzondering op waarvoor geen verklaring kan worden gegeven. Peilbuis 114 geeft een overdreven reactie). In de diepere peilbuizen is de invloed van het kanaal sterker meetbaar dan in de ondiepere peilbuizen.

Ook hier speelt de afstand tot het kanaal en de aanwezigheid van klei- en leemlagen een rol in het dempen van de invloed en doorwerking van water dat via het kanaal infiltreert naar het achterland.

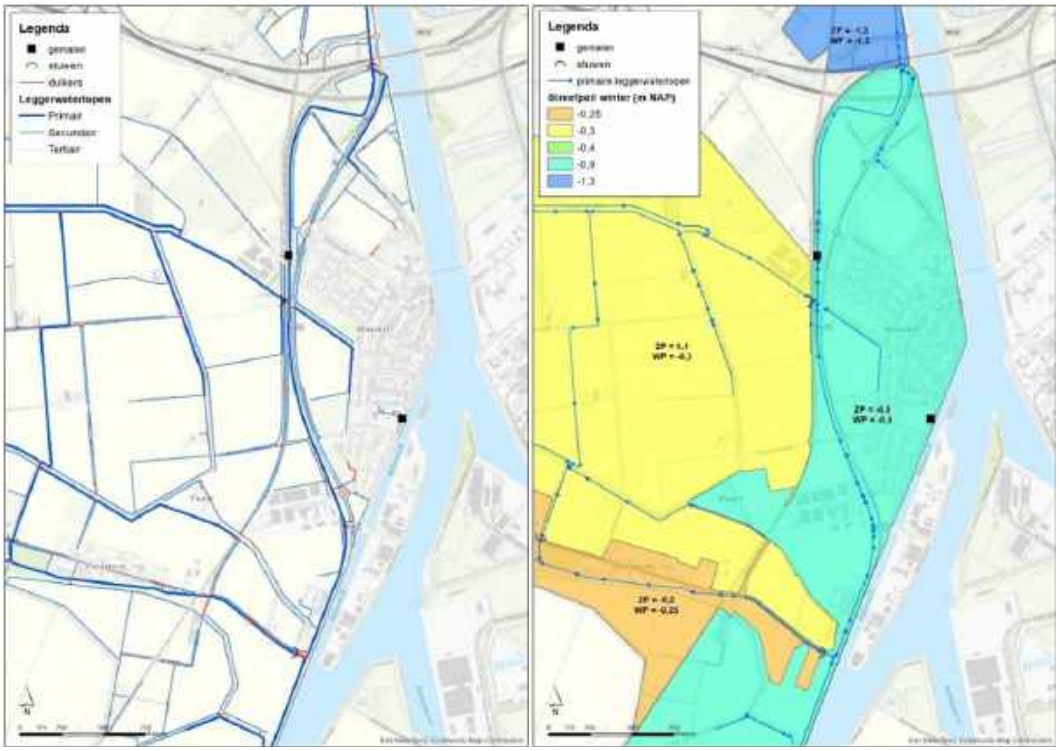
Gezien het graduele stijghoogteverschil van 1,5 à 2 meter van oost naar west binnen 1 km afstand van het kanaal, kan in het algemeen worden geconcludeerd dat het kanaal een significante stationaire invloed heeft op de grondwaterstanden in Sluiskil. De invloed van kortdurende fluctuaties (instationair effect) van het kanaalpeil zijn alleen significant meetbaar op korte afstand (binnen 50 meter) van het kanaal. Door de complexe ondergrond, bestaande uit klei en leemlagen, wordt dit instationaire invloed grotendeels in Sluiskil gedempt.

3.6 Oppervlaktewater

In Figuur 3.24 (links) zijn de leggerwaterlopen en peilbepalende kunstwerken opgenomen die in beheer zijn bij Waterschap Scheldestromen. De primaire waterlopen zijn de vaak grotere waterlopen die zorgen voor de afvoer van water dat via secundaire en tertiaire waterlopen wordt aangeboden. Tertiaire waterlopen zijn doorgaans wat kleinere slootjes die zorgen voor lokale ont- en afwatering. De Westelijke Rijkswaterleiding is een primaire waterloop. In het bebouwde gebied van Sluiskil is weinig oppervlaktewater. Het enige oppervlaktewater in Sluiskil wordt gevormd door de slootjes in en rondom het grasterrein aan de weg Kanaalzicht. Hier staat ook een gemaal dat wordt beheerd door de Gemeente Terneuzen. Via dit gemaal wordt het water afgevoerd dat wordt verzameld in de drain die is aangebracht langs de parallel aan het kanaal lopende straat Kanaalzicht bij vervanging van de riolering in 2013. Het gemaal heeft een aanslagpeil van NAP +1 m en een afslagpeil van NAP +0,5 m.

De kaart rechts in Figuur 3.24 toont de begrenzing van de peilvakken en de stromingsrichting van de primaire waterlopen. Sluiskil ligt in het peilvak met een zomerpeil van NAP -0,8 m en een winterpeil van NAP -0,9 m. De peilbepalende stuw ligt in het noorden, vlak bij de brug over het kanaal. Hoewel het peilvak een bepaald peil heeft, wil dat niet zeggen dat elke waterloop dat heeft. Zijwaterlopen in het bovenstroomse systeem hebben veelal een hogere bodemhoogte en daardoor ook een hogere waterstand. De stromingsrichting is vooral naar de Westelijke Rijkswaterleiding die het water vervolgens in noordelijke richting afvoert naar de Westerschelde.

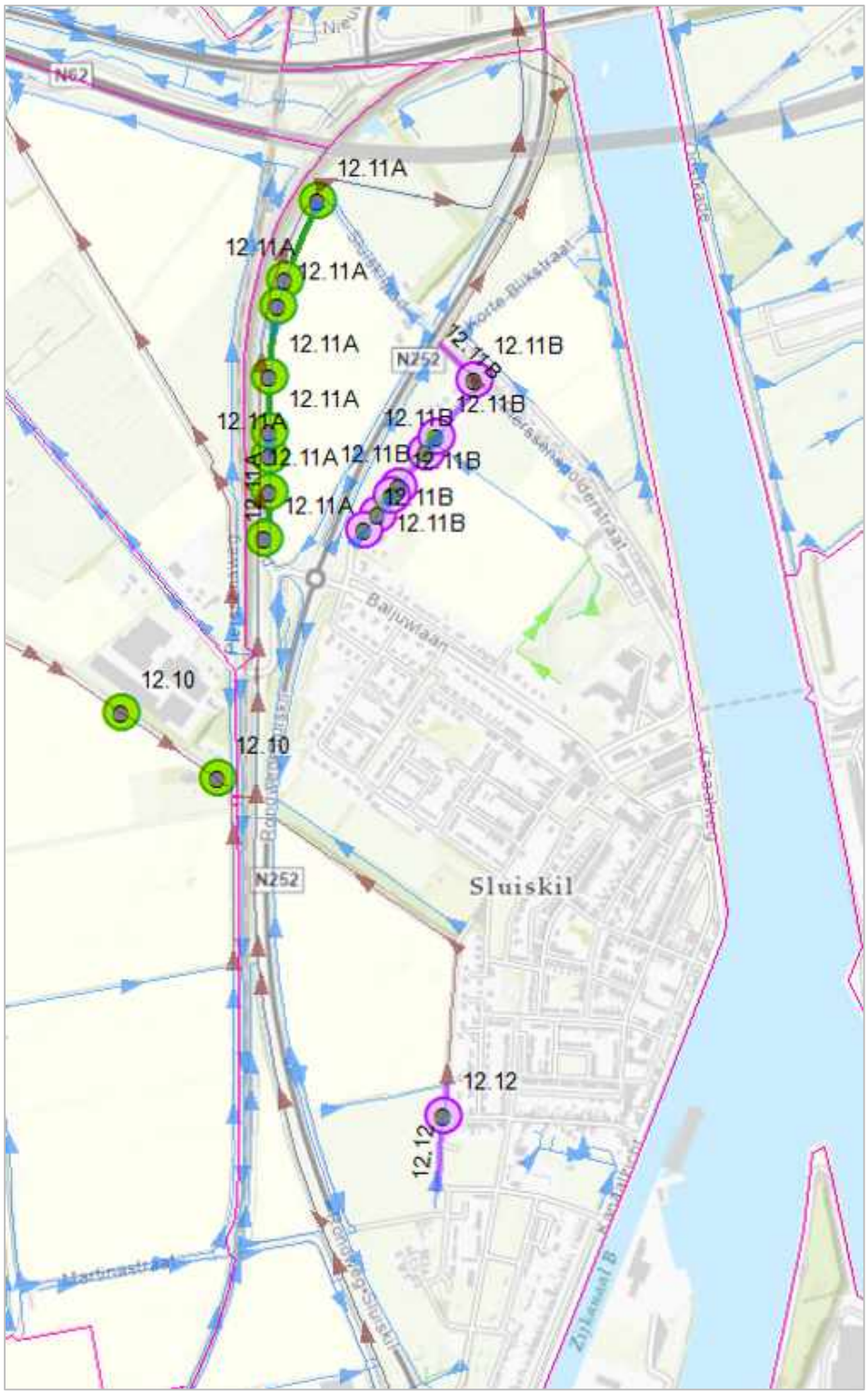
Het waterschap heeft op dit moment plannen om het streefpeil te verhogen naar een jaarrond peil van NAP -0,7 m. Of de plannen daadwerkelijk worden doorgezet is onzeker.



Figuur 3.24 Leggerwaterlopen en kunstwerken Waterschap Scheldestromen (links), peilvakken met zomer- en winterpeil (rechts)

Waterschap Scheldestromen heeft in 2015 het watersysteem rondom Sluiskil (polder Braakman) beschouwd om knelpunten in beeld te brengen. Hierbij is het watersysteem beoordeeld op optimale drooglegging voor de functies binnen het gebied. Aan de hand van deze toetsing heeft het Waterschap een aantal knelpunten vastgesteld. Dit betreft vooral duikers die te hoog in de waterloop liggen en daardoor opstuwend werken. Ook is een aantal waterlopen rondom Sluiskil te ondiep voor een goede af- en ontwatering. Hiermee voldoen deze watergangen niet aan de normen van het peilbeheer onder normale omstandigheden. In Figuur 3.25 is aangegeven welke waterlopen met duikers ondertussen zijn aangepast (groene lijn en stippen) en welke waterlopen en duikers nog op de planning staan, vermoedelijk in de periode 2024 – 2027 (paarse lijnen en stippen).

Met het verleggen van de Westelijke Rijkswaterleiding in westelijke richting is de drainagebasis verschoven en mogelijk ook verhoogd. Er zijn echter geen peilen en bodemhoogte bekend van de Rijkswaterleiding in de ligging van voor de verlegging. Hierdoor is het onduidelijk of en hoeveel effect het verplaatsen van de Westelijke Rijkswaterleiding heeft gehad op het grondwatersysteem van Sluiskil.



Figuur 3.25 Opgeloste (groen) *of op te lossen* (paars) *knelpunten in het watersysteem van Waterschap Scheldestromen*

3.7 Oeverbescherming

Het primaire doel van oeverbescherming is een grondkerende functie. Een waterkerende functie is eventueel een secundair doel. Van noord naar zuid bestaat de oeverbescherming van het kanaal bij Sluiskil uit drie verschillende constructies (zie Figuur 3.26). Het noordelijkste deel bestaat uit bekleding met stortsteen die is opgevuld met bitumenachtig materiaal. De onderzijde van de constructie ligt tot 2 à 3 m onder waterpeil, waardoor deze niet aansluit bij leemhoudende lagen waarmee stroming van grondwater grotendeels zou kunnen worden afgeremd. Bij de toetsing van Rijkswaterstaat[16] zijn gaten in de bekleding en verzakkingen geconstateerd. De constructie voldoet aan de functionele eisen als oeverbescherming.



Figuur 3.26 Oeverconstructies langs het kanaal

Vanaf de knik in de oever van het kanaal over een lengte van 526 m in zuidelijke richting is in 1991/1992 een damwand geplaatst . De stalen damwanden zijn 11 meter lang en de bovenkant bevindt zich op NAP +2,88 m. De onderkant van de damwand ligt op NAP -8,12 m. De stalen constructie heeft een houten gording. In 2005 is de restlevensduur van deze damwand geschat op +20 jaar. Vervanging van deze damwand is medio 2043 voorzien.

Met de noordelijke damwand werd aangesloten op de damwand die in 1979 reeds door North Sea Port is aangelegd (kadeconstructie TK0946). Deze damwand is 6 meter lang (Bijlage 2). De bovenkant bevindt zich op NAP +2,75 m, de onderkant op NAP -3,25 m. North Sea Port heeft in 2017 onderzoek laten uitvoeren naar de damwand. Hierbij is de restlevensduur van de damwanden op 30-40 jaar gesteld, mits het waterbodemniveau ter plekke verhoogd wordt naar NAP 0 m. Dit was op het moment van onderzoek niet het geval en zou voor instabiliteit zorgen[17]. In 2021 zijn herstelwerkzaamheden uitgevoerd aan de gording en de afwerking van de damwand die boven water uitsteekt.

[16] Toets op veiligheid van regionale keringen in het beheer van het Rijk, Regionale keringen langs het kanaal Gent-Terneuzen, 17 juli 2020, Rijkswaterstaat, Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat.
[17] Herberekening kademuren Terneuzen, Kade TK0946, 27 oktober 2017, Nebest.

3.8 Riolering en drainage

In Bijlage 3 is een totaaloverzicht te zien van de bestaande riolering in Sluiskil. Het overgrote deel van Sluiskil is aangesloten op een gemengd stelsel. Dit betekent dat hemelwater en rioolwater via hetzelfde leidingstelsel wordt afgevoerd. Het verzamelde water gaat naar de afvaltransportleiding die naast de Rondweg Sluiskil ligt. Onder delen van de Louisastraat, Baljuwlaan en Groenoord is een gescheiden riool aangelegd. Hier liggen zowel een DWA (droog weer afvoer) en een HWA (hemelwater afvoer). In het HWA wordt het hemelwater verzameld dat bijvoorbeeld op straat valt en via kolken wordt afgevoerd. Onder een deel van de Spoorstraat is een HWA aangelegd naast het gescheiden stelsel. Het DWA voert via het gemengde stelsel af, de HWA op de leggerwatergang ten westen van Sluiskil.

In de afgelopen 10 jaar is in Sluiskil drainage aangebracht bij rioleringsvervangingen. De drainage is aangesloten op de HWA en sluiten dus aan op de waterniveaus van de HWA-putten. Drainage heeft als doel om grondwater of infiltrerend hemelwater af te voeren. Figuur 3.27 toont een overzicht van de huidige drainage. De drainage langs de weg Kanaalzicht heeft een diameter van 125 mm en bevindt zich op ongeveer 1 m-mv (voor revisietekening zie Bijlage 3). De drainage die in 2021 bij de Bosjesweg is aangelegd heeft een diameter van 100 mm. Op de revisietekening zijn geen hoogten opgenomen, maar volgens de Gemeente is de drainage op 0,5 m-mv aangelegd. De drainage onder een deel van de Spoorstraat, Louisastraat en de Baljuwlaan ligt op ca. 1 m-mv. Op basis van de aangeleverde informatie kunnen geen conclusies worden geformuleerd over de staat en het functioneren van de drainage. Wel wordt geconstateerd dat er geen vlakdekkend netwerk is van drainagebuizen om kwelwater af te voeren en de opbolling van grondwater te dempen.

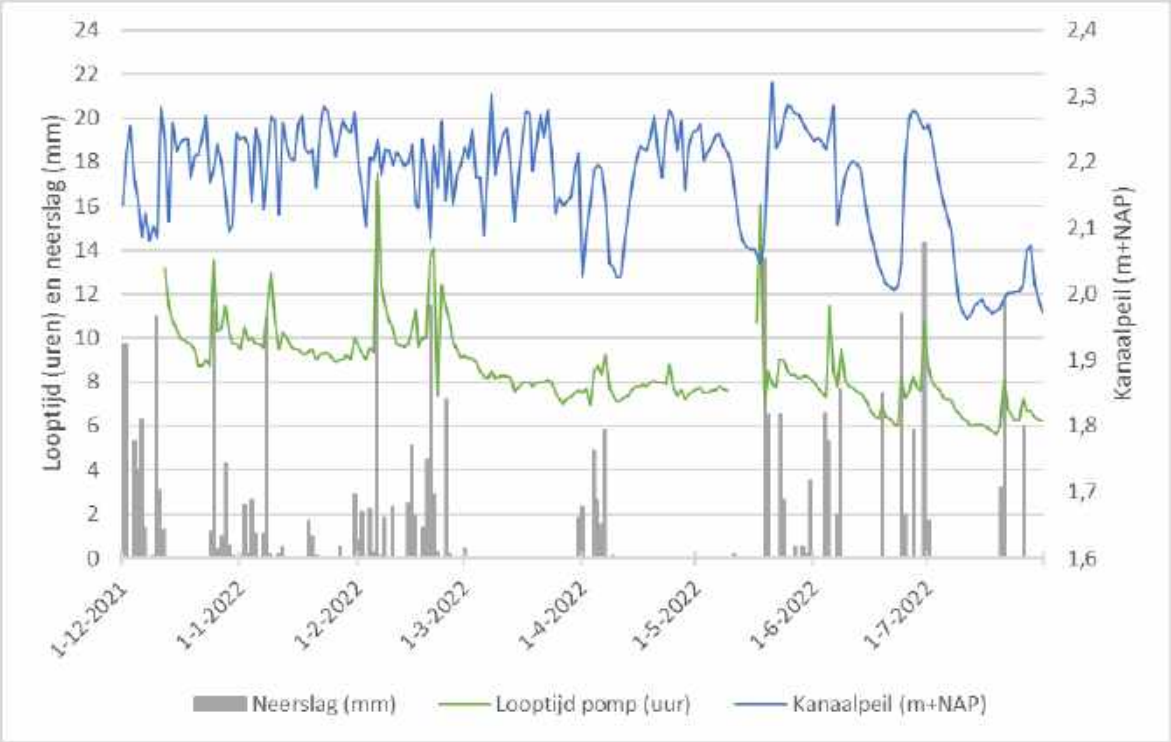


Figuur 3.27 Drainage die naast de bestaande riolering is aangelegd in Sluiskil

Gemaal Kanaalzicht (zwart vierkantje in Figuur 3.27) voert water af dat zich verzamelt in de waterlopen rondom het gemaal. Dit kan grondwater zijn. Daarnaast komt de drainage langs de weg Kanaalzicht hierop uit. De hemelwaterafvoer gaat via het gemengde stelsel naar de afvaltransportleiding die naast de Rondweg Sluiskil is aangelegd en wordt dus niet via het gemaal afgevoerd. De drainage die langs Kanaalzicht is aangelegd, voert naar het oppervlaktewater rondom het gemaal af op een niveau van NAP +1,15 m. Het aanslagpeil van het gemaal is NAP +1 m en het slaat uit als het oppervlaktewater een niveau van NAP +0,5 m heeft bereikt.

Vanaf begin december 2021 is bijgehouden hoe lang het gemaal per dag pompt om het water af te voeren. Deze gegevens zijn opgenomen in Figuur 3.28. Hieruit blijkt dat het gemaal dagelijks water afvoert. In dit figuur is ook het kanaalpeil opgenomen en de neerslag die in deze periode is gevallen. De looptijd van de pomp reageert duidelijk op neerslag. In de droge periode tussen 8 april en 18 mei daalt de looptijd van de pomp tot 7 à 8 uur per dag. Zelfs in droge omstandigheden voert het gemaal dus water af. Dit betreft infiltrerend water uit het kanaal, dat in de drainagesteng wordt afgevangen of door de sloten bij het gemaal. Het gemaal voert dus zowel water uit het kanaal als neerslag af.

De drainage langs Kanaalzicht is recentelijk door de gemeente doorgespoten. Ook zijn er onderhoudspunten aangebracht. Tijdens deze werkzaamheden is geconstateerd dat de drainage water afvoerde en dus een ontwaterende functie heeft.



Figuur 3.28 Looptijd pomp gemaal Kanaalzijde uitgezet tegen het kanaalpeil en de neerslaghoeveelheid

3.9 Samenvatting van de systeemanalyse

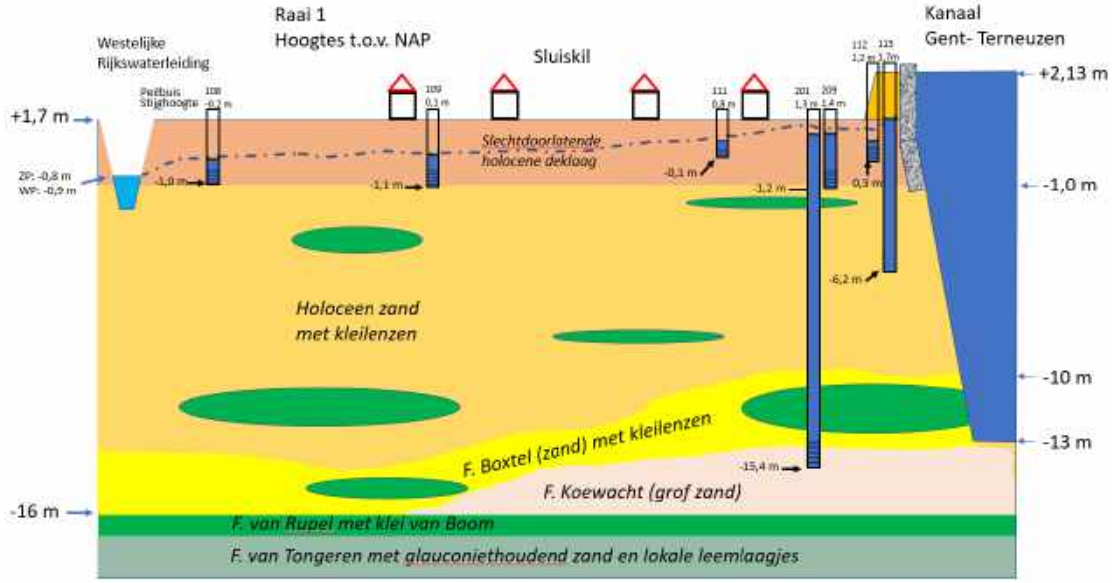
In de vorige paragrafen is inzicht verschaft in verschillende aspecten van het watersysteem. In deze paragraaf worden deze aspecten bij elkaar gebracht en samengevat. Dit wordt gedaan aan de hand van dwarsdoorsneden op dezelfde locaties als de raaien van het grondwatermeetnet (zie Figuur 3.29).

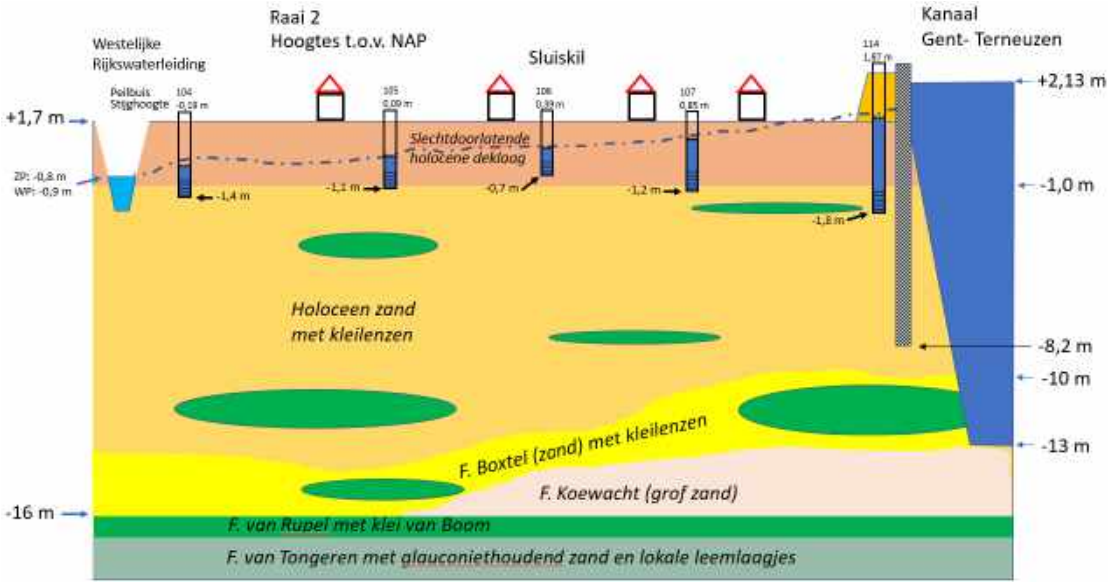
In Figuur 3.30 is een viertal dwarsdoorsneden opgenomen. Het maaiveldverloop is in de dwarsdoorsneden gelijkgetrokken. In werkelijkheid varieert het maaiveldniveau.
De grondwaterstanden die in deze figuren staan weergegeven, zijn de gemiddelde grondwaterstanden van één maand (21 mei 2022 – 18 juni 2022).

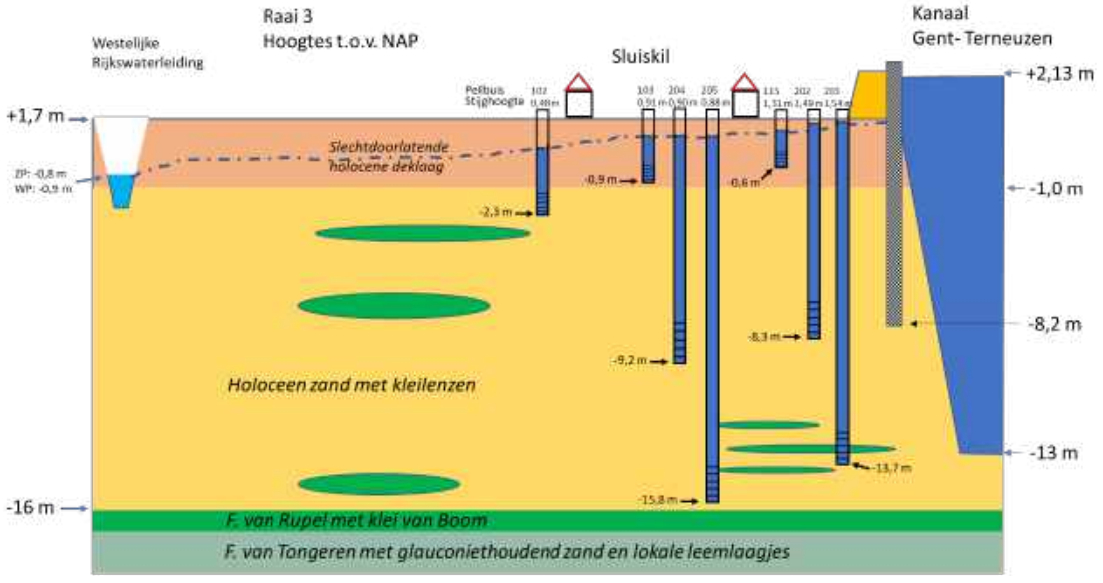
De stippellijnen in de figuren geven dus een indicatie van de grondwaterstand in het begin van de zomer. De stippellijn is met name bedoeld om een impressie te geven van het stijghoogteverloop in het freatische pakket.

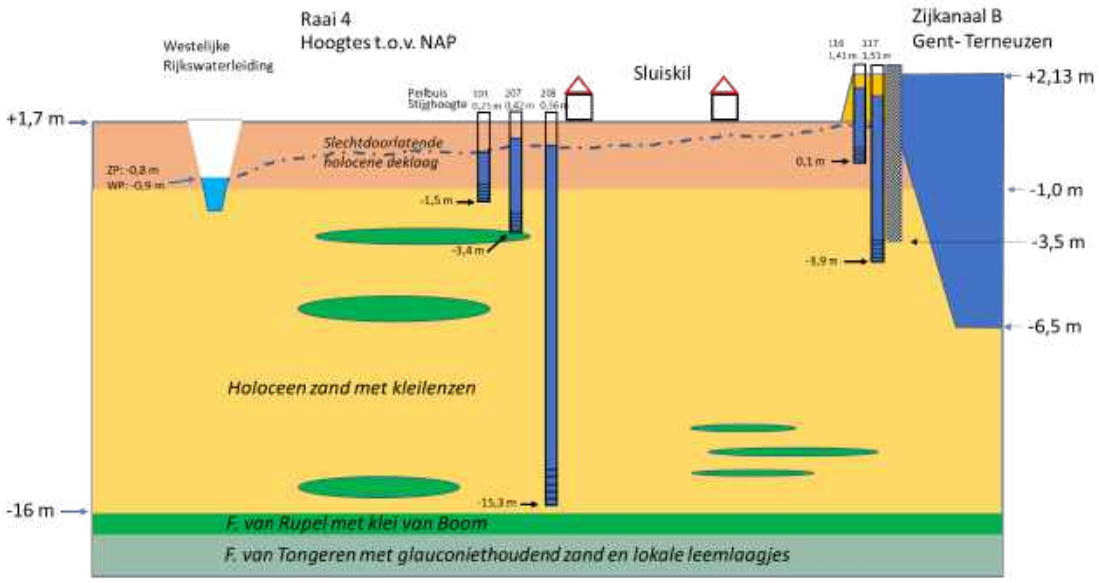


Figuur 3.29 Locaties van de dwarsdoorsnedes en peilbuizen. De maaiveldhoogte is ook opgenomen in de figuur




Raai 2
Hoogtes t.o.v. NAP
Westelijke Rijkswaterleiding
Sluiskil
Kanaal Gent- Terneuzen
+1,7 m
+2,13 m
-1,0 m
-8,2 m
-10 m
-13 m
-16 m
Slechtdoorlatende holocene deklaag
Holoceen zand met kleilenzen
F. Boxtel (zand) met kleilenzen
F. Koewacht (grof zand)
F. van Rupel met klei van Boom
F. van Tongeren met glauconiethoudend zand en lokale leemlaagjes


Raai 3
Hoogtes t.o.v. NAP
Westelijke Rijkswaterleiding
Sluiskil
Kanaal Gent- Terneuzen
+1,7 m
+2,13 m
-1,0 m
-8,2 m
-13 m
-16 m
Slechtdoorlatende holocene deklaag
Holoceen zand met kleilenzen
F. van Rupel met klei van Boom
F. van Tongeren met glauconiethoudend zand en lokale leemlaagjes



Figuur 3.30 Dwarsdoorsnedes van raai 1 t/m 4, met ingetekende ondergrond en peilbuizen

Op basis van de systeemanalyse wordt geconcludeerd dat een combinatie van invloeden bijdragen aan de grondwaterhuishouding van Sluiskil:

Invloed van het kanaal:

- Door het potentiaalverschil tussen kanaalpeil en grondwater en in het achterland heeft het kanaal een infiltrerende werking wat invloed heeft op de grondwaterstanden in Sluiskil. Gezien het graduele stijghoogteverschil van 1,5 à 2 meter van oost naar west binnen 1 km afstand van het kanaal, kan in het algemeen worden geconcludeerd dat het kanaal een significante stationaire invloed heeft op de grondwaterstanden in Sluiskil.
  De invloed van kortdurende fluctuaties (instationair effect) van het kanaalpeil zijn alleen significant meetbaar op korte afstand (binnen 50 meter) van het kanaal. Door de aanwezige verticale hydraulische weerstand van de ondergrond, bestaande uit klei en leemlagen, wordt de instationaire invloed grotendeels in Sluiskil gedempt. Het effect van passerende grote schepen heeft geen meetbaar effect op de grondwaterstanden

Slecht doorlatende ondergrond:

- De ondergrond van Sluiskil bestaat uit een slecht doorlatende deklaag van zo'n 1,5 tot 2 m dik. Onder de deklaag begint een zandpakket dat plaatselijk wordt onderbroken door kleilaagjes. Zowel de deklaag als de kleilaagjes/kleilenzen belemmeren de verticale grondwaterstroming
- Waar de deklaag voorkomt, gaat infiltratie van hemelwater moeizaam. De neerslag kan op een kleilens blijven staan en zo een (tijdelijke) schijngrondwaterspiegel vormen

Depressies in maaiveldverloop:

- De maaiveldhoogte in Sluiskil varieert van NAP +3 tot +4 m langs het kanaal tot iets meer dan NAP +1 m bij de brandgang achter de Bosjesweg (Figuur 3.1). Het maaiveldverloop kenmerkt zich door de aanwezigheid van lokale laagtes. Sluiskil ligt als het ware in een badkuip qua maaiveldverloop

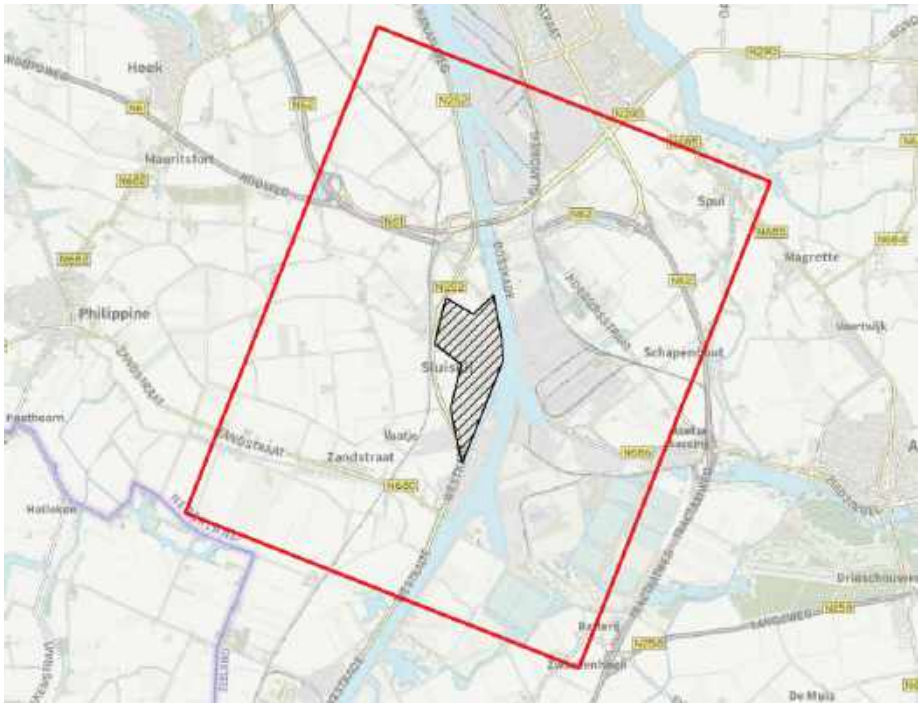
Afwezigheid lokale af- en ontwatering:

- Tussen de bebouwing van Sluiskil is momenteel vrijwel geen oppervlaktewater meer te vinden. Sinds de jaren ’60 zijn stapsgewijs bijna alle waterlopen verwijderd, ook de kwelsloten langs het kanaal. Dat heeft ertoe geleid dat het water uit het kanaal en hemelwater in mindere mate door de jaren heen kon worden afgevangen en afgevoerd
- De Westelijke Rijkswaterleiding is in westelijke richting verlegd en daarmee is voor een deel van Sluiskil de drainagebasis verplaatst
- Voor de afwatering is Sluiskil hoofdzakelijk afhankelijk van het bestaande riolerings- en drainagesysteem
- De stromingsrichting is vooral naar de Westelijke Rijkswaterleiding die het water vervolgens in noordelijke richting afvoert naar de Westerschelde. Langs de randen van Sluiskil bevinden zich nog watergangen met een afvoerende werking vanuit Sluiskil richting de Westelijke Rijkswaterleiding

De complexe opbouw van de bodem, de situatie die is ontstaan door het verminderen van de ontwateringsmiddelen en de invloed van het kanaal hebben allemaal invloed op de grondwatersituatie in Sluiskil. De verschillende invloeden zijn moeilijk uit elkaar te trekken, want ze beïnvloeden elkaar. In de volgende hoofstukken worden de mogelijke oorzaken van overlast nader geduid en maatregelen beschouwd die de overlast tegen kunnen gaan.

4 Grondwatermodelanalyses

Een grondwatermodel bleek noodzakelijk om de grondwaterproblematiek in Sluiskil beter te begrijpen en af te kaderen. De belangrijkste invloeden op het grondwatersysteem bepalen de effectiviteit en invulling van een eventuele maatregel om grondwaterstanden in Sluiskil te beheersen. Met een MicroFEM grondwatermodel zijn deze invloeden gekwantificeerd en (lokaal en vlakdekkend) inzichtelijk gemaakt. Het model is daarbij in eerste instantie een aanvulling op de systeemanalyse om te begrijpen en te visualiseren hoe het grondwatersysteem werkt. Daarnaast is het een belangrijk hulpmiddel om het effect van maatregelen vast te stellen. De systeemanalyse en de gegevens die aanvullend in het veld zijn verzameld vormen de basis voor de opzet van het grondwatermodel van Sluiskil, het kanaal en omgeving. Voor een uitgebreide toelichting op het grondwatermodel en resultaten van stap 1 tot en met 5 wordt verwezen naar Bijlage 6. In Figuur 4.1 is de modelbegrenzing weergegeven.



Figuur 4.1 De omvang van het grondwatermodel (rode lijn) en het toepassingsgebied (zwart gearceerd)

4.1 Doorlopen stappen in de modellering

Rondom het opstellen en inzetten van het grondwatermodel is het volgend proces gevolgd:

1. Opzet grondwatermodel
2. Stationaire kalibratie en validatie
3. Instationaire kalibratie en validatie
4. Gevoeligheidsanalyse (bandbreedte)
5. Vaststellen maatgevende invloeden
6. Effectenanalyse potentiële maatregelen

In onderstaande paragrafen worden de verschillende stappen en de uitkomsten nader toegelicht.

4.2 Opzet grondwatermodel en kalibratie (stap 1, 2 en 3)

Parallel aan de systeemanalyse is een basisgrondwatermodel opgezet. Met deze stap zijn op hoofdlijnen grote (geo)hydrologische invloeden bepaald. Dit basismodel is stationair opgezet (een evenwichtssituatie die inzicht geeft in structureel hoge grondwaterstanden) en gekalibreerd op de grondwaterstandsmeetreeksen uit het grondwatermeetnet van Sluiskil. Kalibratie is het ijken van een model op gemeten gegevens (peilbuisgegevens en soms afvoergegevens).
De kennis die is opgedaan door de extra sonderingen en aanvullende peilbuisgegevens is verwerkt in het gedetailleerde tijdsafhankelijke (instationair) grondwatermodel. Het basismodel is uitgebreid, aangevuld en geschikt gemaakt voor tijdsafhankelijke berekeningen. Hierdoor kan de dagelijkse fluctuatie van de grondwaterstanden worden berekend, met dagelijkse variatie van onder meer neerslag, verdamping en waterpeilen.

4.3 Gevoeligheidsanalyse en bandbreedte (stap 4)

Met het gekalibreerde instationaire grondwatermodel is een gevoeligheidsanalyse uitgevoerd van invoerparameters die 1) bepalend zijn voor de grondwaterhuishouding en 2) op basis van de systeemanalyse bepalend kunnen zijn bij een oplossingsrichting. De analyse geeft inzicht in hoe gevoelig het grondwatermodel (en het grondwatersysteem) is voor wijzingen in de gekalibreerde parameters.

Daarnaast verschaft de analyse inzicht in de betrouwbaarheid van het model voor aannames die zijn gedaan en voor relevantie van de individuele hydrologische randvoorwaarden voor het algehele grondwatersysteem in Sluiskil.
Uit de analyse kan worden geconcludeerd dat zowel het kanaal als de (werking van) bestaande drainage een relatief grote invloed hebben op de grondwaterstanden in Sluiskil. Dit is modelmatig een bevestiging van conclusies uit analyses van grondwatermetingen en tijdreeksanalyse.

4.4 Vaststellen maatgevende invloeden (stap 5)

Het grondwatermodel is vervolgens ingezet om de verschillende (geo)hydrologische invloeden op het grondwatersysteem in Sluiskil in perspectief te plaatsen. Aan de hand van de systeemanalyse en gevoeligheidsanalyse is met het grondwatermodel bepaald hoeveel ‘bijdrage’ hydrologische invloeden geven aan het totale grondwatersysteem van Sluiskil. Hiervoor zijn de volgende maatgevende invloeden op de grondwaterstanden van Sluiskil vanuit de systeemanalyse geïdentificeerd:

- Het kanaal
- Het oppervlaktewatersysteem in Sluiskil
- Het Westelijke Rijkswaterleiding
- De bestaande drainagesystemen

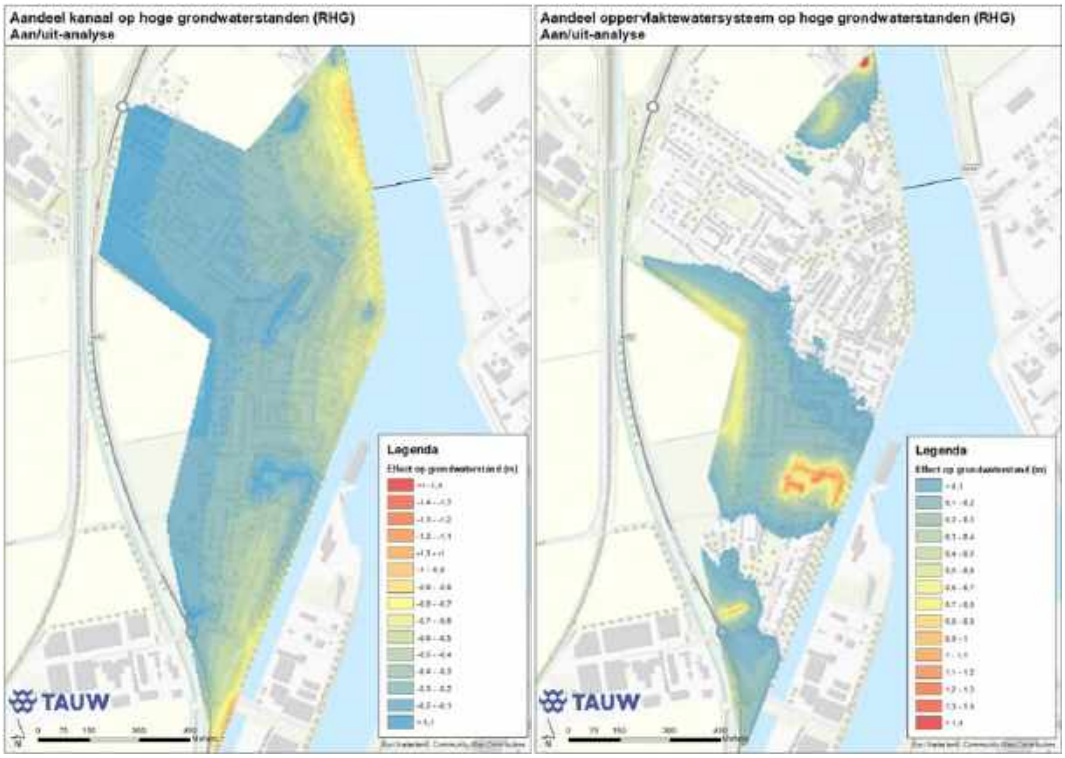
In het grondwatermodel is een situatie gesimuleerd hoe de grondwaterstanden in Sluiskil zouden zijn, wanneer een van de genoemde invloeden niet aanwezig is (een zogenoemde aan/uit-analyse). Het verschil tussen de gesimuleerde situatie en de uitgangssituatie geeft inzicht in het effect van elke afzonderlijke invloed. De invloeden zijn tijdsafhankelijk doorgerekend en zijn gepresenteerd voor een RHG (representatief hoog grondwater) situatie waarin structureel hoge grondwaterstanden voorkomen.

De effectkaart van het kanaal (Figuur 4.2 links) toont de totale hydrologische invloed van het kanaal. Het kanaal is in het grondwatermodel volledig afgesloten van het grondwatersysteem. Figuur 4.2 rechts toont de totale hydrologische invloed van de watergangen oostelijk van de Westelijke Rijkswaterleiding. De watergangen en sloten zijn in het model ‘uit’ gezet.

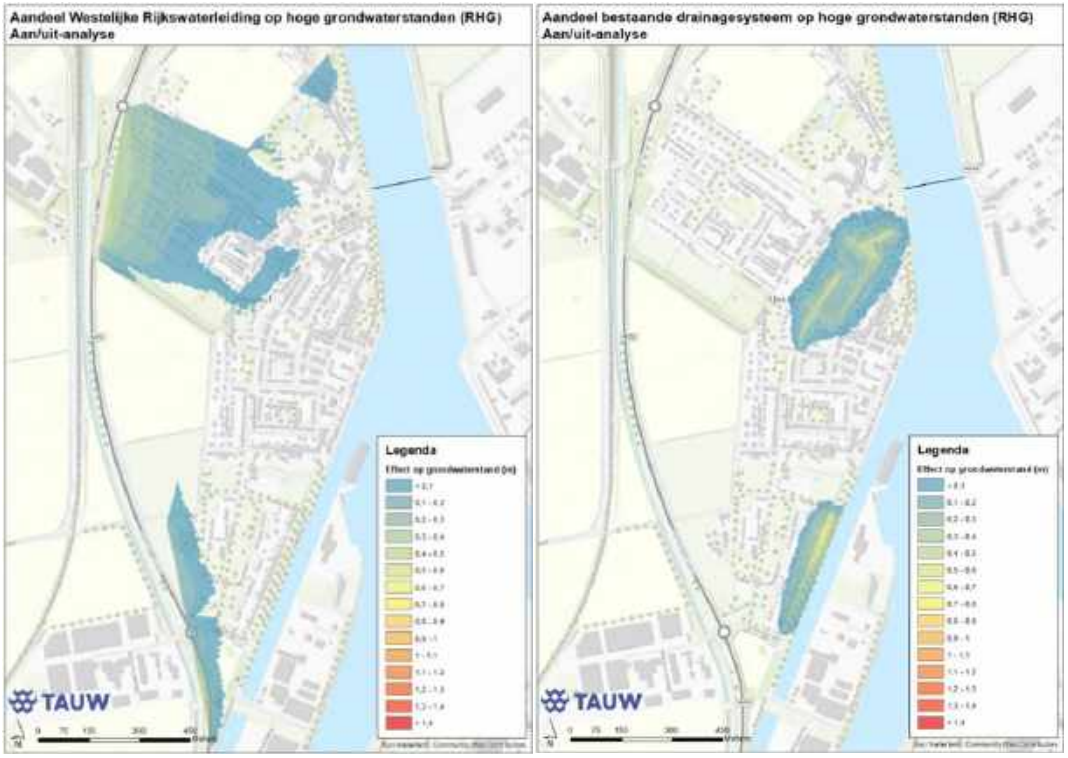
De effectkaart van de Westelijke Rijkswaterleiding (Figuur 4.3 links) laat de totale hydrologische invloed van de Rijkswaterleiding zien. De watergang is hiervoor in het grondwatermodel ‘uit’ gezet. Als laatste is in Figuur 4.3 rechts de totale hydrologische invloed getoond van de bestaande drainageleidingen in Sluiskil. Hiervoor zijn de drainagestrengen in het model ‘uit’ gezet.

4.5 Effectenanalyse potentiële maatregelen (oplossingsrichtingen) (stap 6)

De oplossingsrichtingen zijn tijdsafhankelijk doorgerekend en de effecten zijn gepresenteerd voor een situatie waarin structureel hoge grondwaterstanden voorkomen. Op deze manier worden de effecten weergegeven in een RHG situatie waarin grondwateroverlast veelal wordt ervaren. Een toelichting van potentiële maatregelen en de inrichting daarvan is opgenomen in hoofdstuk 6. Daarin zijn ook de resultaten van de effectberekeningen opgenomen.



Figuur 4.2 Aandeel kanaal (links) en oppervlaktewatersysteem Sluiskil (rechts) op RHG (aan/uit-analyse)



Figuur 4.3 Aandeel Westelijke Rijkswaterleiding (links) en bestaande drainage (rechts) op RHG (aan/uit-analyse)

5 Mogelijke oorzaken overlast

De mogelijke oorzaken die in dit hoofdstuk worden genoemd en nader geduid, zijn geformuleerd op basis van de historische ontwikkelingen (hoofdstuk 2), systeemanalyse (hoofdstuk 3), de grondwatermodelanalyses (hoofdstuk 4), de expertsessie en de bijdragen van bewoners tijdens de diverse informatiemomenten die hebben plaatsgevonden.

Naar aanleiding van de onderzoeksresultaten kunnen de hoge grondwaterstanden worden gecategoriseerd in twee verschillende hoofdinvloeden:

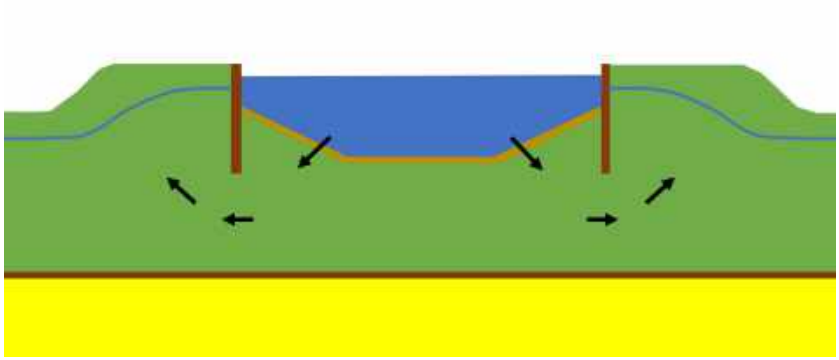
- Enerzijds heeft toestroming van water vanuit het kanaal een grondwaterstand verhogende invloed door kwel in Sluiskil
- Anderzijds is sprake van wateroverlast door hemelwater als gevolg van de slecht doorlatende ondergrond en onvoldoende drainerende of ontwaterende middelen

In de volgende paragrafen wordt elk van deze invloeden nader beschouwd.

5.1 Invloed van het kanaal

Het streefpeil van het kanaal Gent-Terneuzen is NAP + 2,13 m. Dit peil ligt hoger dan de grondwaterstanden in het achterland. Er is dus sprake van een significant potentiaalverschil waardoor mogelijk sprake is van kwel in de omgeving met invloed op de grondwaterstanden (zie voor een schematische weergave hiervan Figuur 5.1). Mogelijke oorzaken van overlast door invloed van het kanaal zijn:

- Inzijging vanuit het kanaal door delen van de kanaalbodem met een geringe hydraulische weerstand (erosiegeulen, baggeronderhoud, kuil onder het dok)
- Hoog kanaalpeil bij natte klimatologische omstandigheden
- Oeverconstructies lek, te kort of afwezig



Figuur 5.1 Schematische weergave van een infiltrerend kanaal

5.1.1 Inzijging via de kanaalbodem

Door het verschil in kanaalpeil en de grondwaterstand in de omgeving van het kanaal, bestaat continue kweldruk in de omgeving. Deze kweldruk wordt aangedreven door grondwaterstroming vanuit het kanaal naar de omgeving. Slib op de kanaalbodem of slecht doorlatende bodemlagen in de ondergrond dempen de invloed van grondwaterstroming en kwel. Uit de tekst en figuren in paragraaf 3.3 blijkt dat het kanaal geen aaneengesloten slecht doorlatende grondlagen doorsnijdt. Alleen de toplaag (bovenste circa 2 m van de bodem) bestaat hoofdzakelijk uit slecht doorlatende lagen. Onder de toplaag bevindt zich een zandig pakket dat plaatselijk wordt onderbroken door kleilaagjes. Deze kleilagen vormen geen aaneengesloten geheel en zullen de kweldruk dus beperkt en plaatselijk mitigeren. Afgezet slib op de kanaalbodem vermindert de kweldruk. Vanwege de scheepvaart krijgt slib in het midden van het kanaal echter beperkt de kans om te consolideren of binnen te dringen in de kanaalbodem. Tijdens baggeronderhoud bestaat de kans op tijdelijk extra overlast totdat het slib zich weer afzet op de bodem en oevers.

De erosiegeulen en baggerwerkzaamheden kunnen vanwege beperking van de intredeweerstand bijdragen aan het optreden van hoge grondwaterstanden in Sluiskil. Een andere, zij het vermoedelijk tijdelijke, oorzaak kunnen de droogdokken van scheepswerf De Schroef zijn. Voor droogdok B is in 2012 de kanaalbodem verdiept. Ditzelfde, maar op geringere diepte, is gedaan voor droogdok A in 2019, 2020 of begin 2021.

Op basis van de grondwatergegevens is het model gekalibreerd op een bodemweerstand van het kanaal dat varieert tussen de 20 dagen en 40 dagen. Dit houdt in dat het kanaal niet volledig lek is, maar dat er wel kanaalwater in enige mate via de bodem infiltreert. Onder het noordelijk deel van het kanaal komt een goed doorlatende grondlaag voor (Formatie van Koewacht). Dit lekwater veroorzaakt hogere grondwaterstanden in de omgeving van Sluiskil.

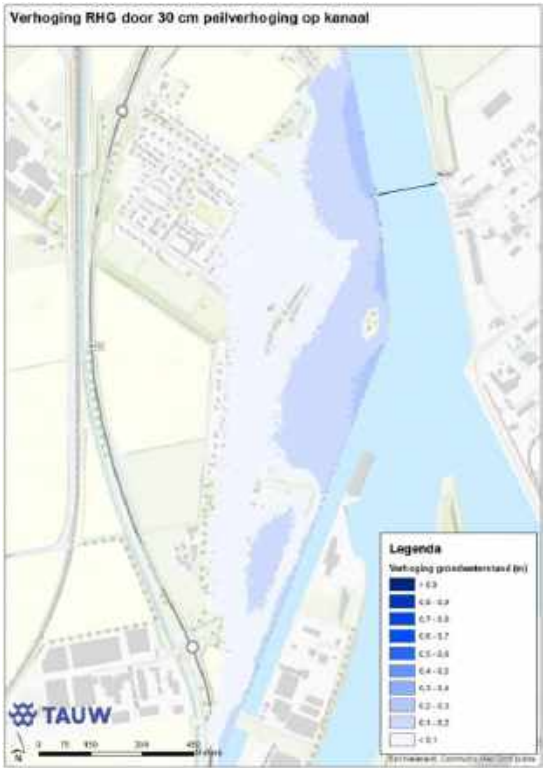
In hoofdstuk 4 is benoemd dat met het grondwatermodel aan/uit-analyses zijn uitgevoerd. Eén daarvan was het bepalen van de invloed van het kanaal. Deze berekening is vergeleken met de berekening van de huidige situatie en heeft een kaart met berekend verschil opgeleverd die in Figuur 4.1 is getoond. De kaart toont de verschilanalyse voor een RHG-situatie (wintergrondwaterstand). Op basis van de figuur is te zien dat het kanaal een constante invloed heeft op de grondwaterstanden in Sluiskil. Deze invloed neemt gradueel af naarmate de afstand tot het kanaal groter wordt. Verder valt uit deze figuur ook af te leiden dat lokaal aangelegde drainerende voorzieningen de invloed van het kanaal op de grondwaterstanden afzwakken.

5.1.2 Hoog kanaalpeil bij natte omstandigheden

Op het kanaal wordt een streefpeil van NAP +2,13 m gehanteerd. Onder natte omstandigheden stijgt dit peil geregeld. Zie ook Figuur 3.8 waarin de waterstand op het kanaal is weergegeven. Tijdens sommige winters staat het kanaalpeil gedurende een aantal weken vrij hoog. Uit de systeemanalyse komt naar voren dat het gemiddelde peil gemiddeld in de winter NAP+ 2,2 m is. Kortdurende peilveranderingen op het kanaal zijn vlak langs het kanaal merkbaar in de grondwaterstanden (zie paragraaf 3.5). Langdurig hogere kanaalpeilen (langer dan enkele weken) kunnen wel een significante invloed hebben op freatische grondwatersysteem van Sluiskil.

Op het moment dat Sluiskil te maken heeft met langdurige hoge kanaalpeilen in een periode met grote neerslag, is de kans groot op het optreden van natte omstandigheden met overlast tot gevolg.

Met het grondwatermodel is berekend wat het effect is van een peilstijging op het kanaal van 30 cm. Hieronder is het effect getoond. Hierbij moet rekening worden gehouden met het feit dat de berekening een fictieve stationaire situatie weergeeft. Onderstaand effect treedt op wanneer het peil in het kanaal gedurende zeer lange tijd 30 cm hoger is. De kortdurende peilschommelingen op het kanaal hebben voor het grootste deel in Sluiskil een beperkte invloed op het freatische grondwatersysteem.



Figuur 5.2 Grondwaterstandsverhoging (RHG) bij peilstijging op het kanaal van 30 cm

5.1.3 Oeverconstructies

Oeverconstructies zijn een obstakel voor afstroming van water uit het kanaal. Derhalve zullen oeverconstructies de kweldruk in Sluiskil verminderen. In Sluiskil zijn drie verschillende oeverconstructies toegepast langs het kanaal (Figuur 3.26).

In het noorden heeft de oever een stortsteenbekleding. Uit toetsing van deze oeverconstructie langs het kanaal bleek dat gaten in de bekleding en verzakkingen zijn geconstateerd[18]. Volgens de toetsing voldoet de constructie echter wel aan de functionele eisen als oeverbescherming.

[18] Toets op veiligheid van regionale keringen in het beheer van het Rijk, Regionale keringen langs het kanaal Gent-Terneuzen, 17 juli 2020, Rijkswaterstaat, Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat

De peilbuisanalyse (beschreven in paragraaf 3.5) geeft aan dat grondwaterstroming onder de constructie door kan optreden. In tegenstelling tot de damwanden heeft deze stortsteenbekleding een geringe diepte (2 tot 3 meter onder de waterlijn). Hierdoor is de kwelweglengte beperkt en wordt optredende kwel in mindere mate gehinderd door slecht doorlatende lagen die op grotere diepte voorkomen.

De damwanden van Rijkswaterstaat (11 m) en North Sea Port (6 m) zijn bij toetsing van de waterkerende functie goedgekeurd. De damwanden hebben een grondkerende functie en hebben niet als doel om de grondwaterstroming te verminderen. Er is op basis van visuele controles en peilbuisanalyses geen reden om aan te nemen dat de damwanden lek zijn. De damwanden zorgen wel voor een vermindering van de kweldruk doordat een langere kwelweglengte wordt gecreëerd waarbij bovendien lokaal voorkomende slecht of matig doorlatende lagen worden doorsneden.
Bij de huidige plaatsing doorsnijden de damwanden geen slecht doorlatende lagen. Het kanaal is dus niet volledig afgesloten. Op basis van de huidige invloed van het kanaal op de grondwaterstanden wordt geconcludeerd dat de grondwaterstroming niet significant wordt beheerst door de huidige damwanden.

Lekkende of te korte damwanden zijn geen directe oorzaak van de grondwateroverlast in Sluiskil. Wel kunnen langere damwanden of kwelweglengtes bijdragen aan de oplossing van het probleem. De effectiviteit en doelmatigheid hiervan wordt in hoofdstuk 6 verder beschreven.

5.2 Invloed afvoer van hemelwater

Naast de invloed van het kanaal wordt wateroverlast veroorzaakt door neerslag in combinatie met onvoldoende infiltratie- en ontwateringsmogelijkheden. Mogelijke oorzaken van overlast door neerslag zijn:

- Slecht doorlatende ondergrond
- Depressie in maaiveldverloop
- Afwezigheid lokale af- en ontwatering

5.2.1 Slecht doorlatende ondergrond

De ondergrond van Sluiskil is divers en complex. In de bovenste drie meter bevinden zich één of meerdere kleilagen, variërend in dikte van 0,5 m tot 1,5 m. Het overige bodemmateriaal in die bovenste drie meter is zand, vaak kleiig of leemhoudend. Dit type bodemmateriaal is slecht doorlatend. Neerslag wordt zeer traag door de bodem getransporteerd naar diepere lagen. Hierdoor kan boven de kleiige toplagen een schijngrondwaterspiegel ontstaan. Onder de complexe deklaag bevindt zich een zandpakket met kleilaagjes op verschillende diepte en met variërende dikte.

Tijdens het plaatsen van de aanvullende peilbuizen in juli 2022 zakte het grondwater ineens weg toen een slecht doorlatende laag werd doorboord. Hieruit blijkt dat het hemelwater niet makkelijk naar het diepere grondwater infiltreert, maar op een kleilaag stagneert en daarmee nattere omstandigheden creëert dan als de bodem beter doorlatend is. Dit verschijnsel wordt een schijngrondwaterstandsspiegel genoemd.

Hoewel deze kleilagen geen aaneengesloten bodemlaag vormen, kan de verticale grondwaterstroming er wel door worden verminderd.
Beide verschijnselen (ondiep en diep) kunnen zorgen voor natte bodemomstandigheden en de bijbehorende overlast. De complexe bodemopbouw en de vele kleilaagjes zijn om deze reden een oorzaak van wateroverlast zoals die wordt ervaren in Sluiskil.
Daarnaast kunnen verschillen optreden in de situatie van bodemvocht en overlast tussen de openbare ruimte en particuliere terreinen. De inrichting van de openbare ruime wordt gekenmerkt door wegen en riolering die in een cunet zijn aangebracht (zandbed in een strook) en de inrichting van particuliere terreinen met woningen en tuinen die mogelijk zijn aangelegd op de oorspronkelijke slecht doorlatende ondergrond. Dit leidt ertoe dat de overlast na een regenbui plaatselijk kan variëren.

5.2.2 Depressies in maaiveldverloop

Los van het feit dat het hemelwater slecht weg kan door de beperkte doorlatendheid van de ondergrond, liggen sommige plekken in Sluiskil relatief laag. Ter plekke is de ontwateringsdiepte (verschil tussen maaiveld en grondwaterniveau) zeer gering. Dit hangt samen met het verloop van de grondwaterstand vanaf kanaalzijde naar achterland. Als de grondwaterstand stijgt, bijvoorbeeld in de winter of na langdurige regen, komt deze dichter bij het maaiveld te staan in laaggelegen gebieden dan in hooggelegen gebieden. Dit aspect is getoond in de doorsnede in Figuur 3.19.
Het oudere deel van Sluiskil wordt gekenmerkt door een depressie in het maaiveldhoogte die leidt tot een badkuipeffect. Bij een natte periode met veel hemelwater zal afstroming over oppervlak en via het grondwater kunnen ontstaan naar het laagste maaiveldniveau waar extra accumulatie en infiltratie van hemelwater optreedt. Een voorbeeld is de brandgang nabij de Bosjesweg die zeer laag ligt en waar in de praktijk ook geregeld overlast wordt ervaren.

5.2.3 Afwezigheid lokale af- en ontwatering

Tussen de bebouwing van Sluiskil is momenteel vrijwel geen oppervlaktewater meer te vinden. Sinds de jaren ’60 zijn stapsgewijs bijna alle waterlopen verwijderd, ook de kwelsloten langs het kanaal. Dat heeft ertoe geleid dat het kwelwater uit het kanaal niet meer wordt afgevangen en afgevoerd. Ook het hemelwater zal moeten infiltreren in de slecht doorlatende ondergrond of moet via het riool worden afgevoerd. Bovendien is de Westelijke Rijkswaterleiding rond Sluiskil naar het westen verlegd. Hierdoor is de drainagebasis verschoven en mogelijk verhoogd.

In 2013 en 2015 is in een aantal straten in Sluiskil de riolering vervangen. Mogelijk waren de oude rioolstrengen lek en functioneerde de riolering onbedoeld als drainage. Hierdoor kan de grondwateroverlast na de vervanging vergroot zijn. Op basis van peilbuisanalyses van het Wareco onderzoek uit 2017 is echter geen significante stijging van de grondwaterstanden aangetoond na het vervangen van de oude riolering. Dit kan dus niet als een plausibele oorzaak van aanvullende overlast worden beschouwd.

Met het vervangen van de riolering is op sommige plekken drainage aangelegd. Deze drainage is lokaal en niet gebiedsdekkend aangelegd. Bovendien ligt de drainage op sommige delen te hoog (ca. 50 cm onder maaiveld) om de grondwaterstand te verlagen naar een geschikt niveau. Hierdoor is het niet mogelijk om het gewenste ontwateringsniveau van minimaal 70 cm beneden maaiveld te bereiken.

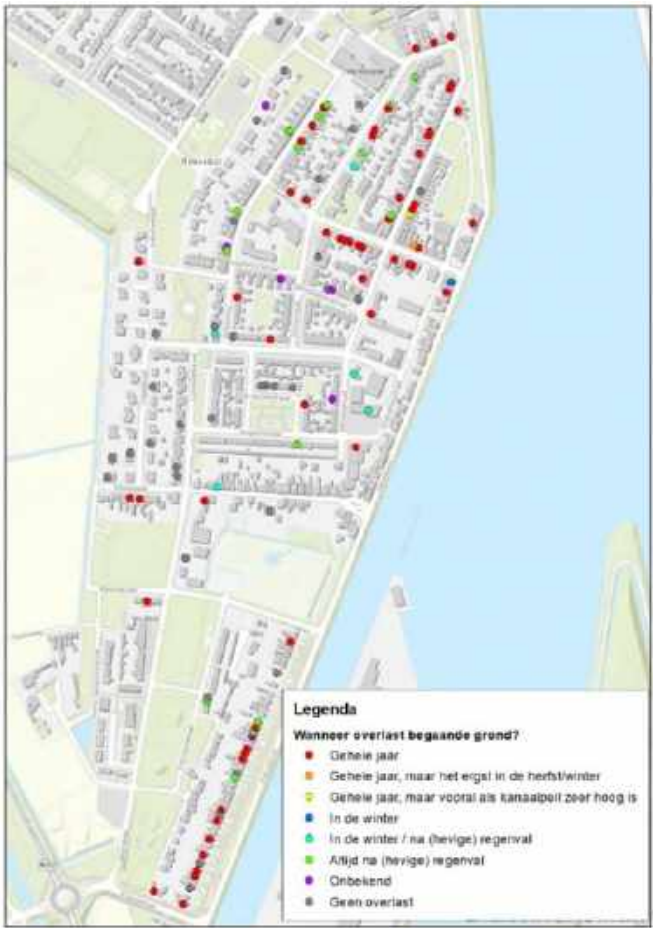
Belangrijk aspect bij drainage is het onderhoud. Dit moet geregeld plaatsvinden voor een goede ontwatering. Dit geldt ook voor de hemelwaterafvoer. Over onderhoud zijn geen data bekend.

Waterschap Scheldestromen heeft enkele knelpunten geconstateerd in secundaire waterlopen rond Sluiskil en zal daar oplossingen realiseren. Op basis van de systeemanalyse (Hoofdstuk 3) en de aan/uit-analyse met het grondwatermodel (Hoofdstuk 4) is geconstateerd dat deze huidige knelpunten geen significante invloed hebben op de wateroverlast zoals die nu in Sluiskil wordt ervaren. Mogelijk dat de geplande maatregelen wel deels kunnen bijdragen aan de oplossing van het probleem.

5.3 Koppeling van mogelijke oorzaken naar overlast gebieden

In Figuur 5.3 is nogmaals de figuur opgenomen die toont op welk moment overlast ervaren wordt. In het voorgaande is geconcludeerd dat de ervaren overlast een combinatie is van kwel door toestromend water uit het kanaal en onvoldoende afvoermogelijkheden van kwel- en hemelwater en beperkte infiltratiemogelijkheden als gevolg van de slecht doorlatende ondergrond en een maaiveldverloop met relatief laaggelegen delen. Daarbij is het te verwachten dat woningen die dichter bij het kanaal liggen in sterkere mate overlast ervaren door kwel en woningen op een grotere afstand met name overlast ervaren door de slecht doorlatende ondergrond, het wisselende maaiveldverloop en de beperkte aanwezigheid van drainerende voorzieningen in het dorp. Een groot deel van Sluiskil heeft (in meer of minder mate) last van zowel de kweldruk door toestroming vanuit het kanaal als de moeizame afvoer van hemelwater.

Ten aanzien van de geconstateerde overlast moet er rekening mee worden gehouden dat een groot deel van de woningen in het gebied dat overlast ervaart, ouder is dan 1960. De ouderdom maakt deze woningen extra kwetsbaar voor wateroverlast, omdat ze niet voldoen aan de huidige standaarden conform het bouwbesluit.



Figuur 5.3 Tijdstip van klachten op de begaande grond (uit enquête 2017)

6 Mogelijke oplossingsrichtingen

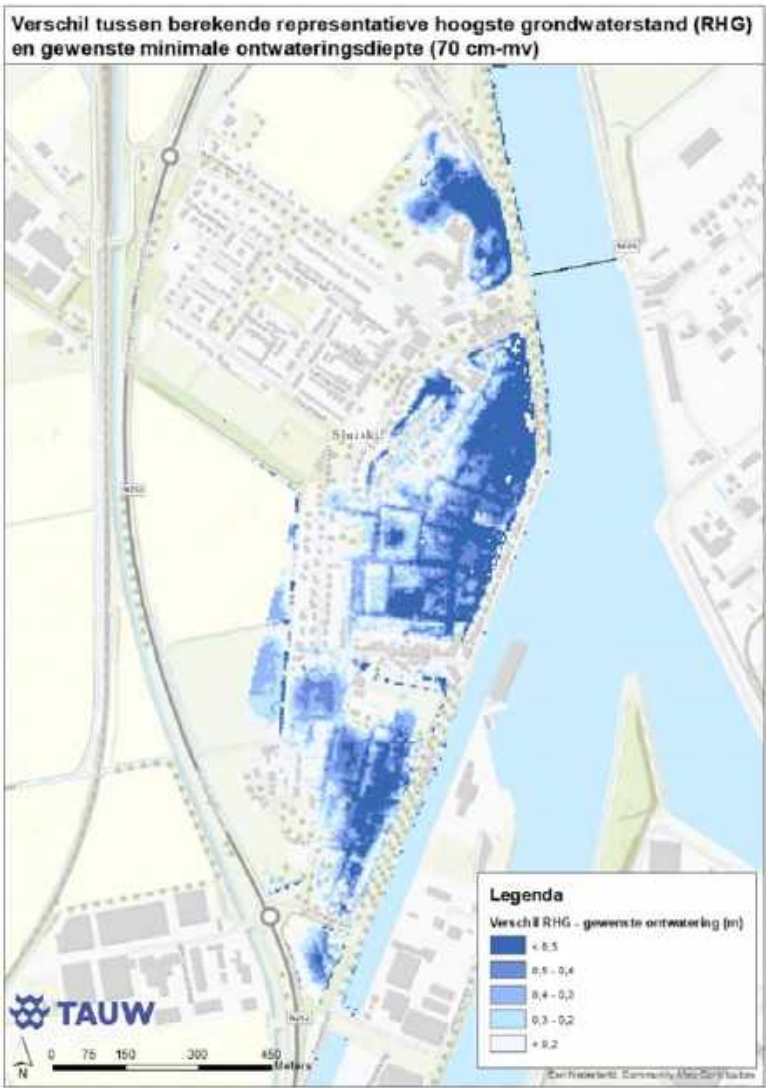
Zoals in het vorige hoofdstuk uiteen is gezet, wordt de overlast veroorzaakt door twee hoofdinvloeden:

- Enerzijds heeft toestroming van water vanuit het kanaal een grondwaterstand verhogende invloed door kwel in Sluiskil
- Anderzijds is sprake van wateroverlast door hemelwater als gevolg van de slecht doorlatende ondergrond en onvoldoende drainerende of ontwaterende middelen

De oplossingen worden zoveel mogelijk uitgesplitst naar de genoemde oorzaken. Dit neemt niet weg dat sommige maatregelen effectief zijn tegen meerdere oorzaken. De volgorde van oplossingsrichtingen zoals die nu worden gepresenteerd, is niet gebaseerd op een waardeoordeel die een bepaalde mate van effectiviteit, kansrijkheid of voorkeur insinueert.

De oplossingsrichtingen worden aan de hand van vier criteria beschreven. Dit zijn effectiviteit, risico's, uitvoerbaarheid en kosten bepalende factoren. Op basis van deze criteria is het mogelijk om aanbevelingen te formuleren voor een strategie om tot een oplossing te komen en ambtelijke en bestuurlijke besluitvorming te faciliteren.

Op basis van de grondwatermodelberekeningen is getoetst in hoeverre elk van de maatregelen een significante bijdrage levert aan het verlagen van de grondwaterstanden tot een wenselijke ontwateringsdiepte. In Figuur 6.1 is het verschil getoond tussen de door het grondwatermodel berekende representatieve hoge grondwaterstand (RHG) en de gewenste minimale ontwateringsdiepte van 70 cm-mv. In een representatieve lage grondwatersituatie (zomer) is de ontwateringsdiepte groter, maar wordt nog steeds niet overal de gewenste ontwateringsdiepte gehaald. In de volgende paragrafen wordt ingegaan in welke mate een oplossingsrichting bijdraagt aan het verminderen van dit verschil.



Figuur 6.1 Verschil tussen berekende RHG en gewenste minimale ontwateringsdiepte

6.1 Oplossingen om de invloed van het kanaal te verkleinen

De invloed van het kanaal kan verkleind worden door de volgende ingrepen:

- Verhogen van de weerstand van de kanaalbodem
- Vergroten van de weerstand van de oevers
- Optimaliseren van het peilbeheer op het kanaal
- Afvoeren van toestromend water naast het kanaal

6.1.1 Verhogen van de weerstand van de kanaalbodem

Een sliblaag op de kanaalbodem biedt weerstand tegen infiltrerend kanaalwater. Geïnfiltreerd water stroomt door drukverschil naar de lager liggende omgeving af en kwelt in het gebied naast het kanaal weer omhoog. Door de passerende schepen slibt het midden van het kanaal (inclusief de erosiegeulen) niet dicht.

De randen van het kanaal slibben wel aan, maar in te grote mate is dit ongewenst omdat de bevaarbaarheid van het kanaal in gedrang komt.

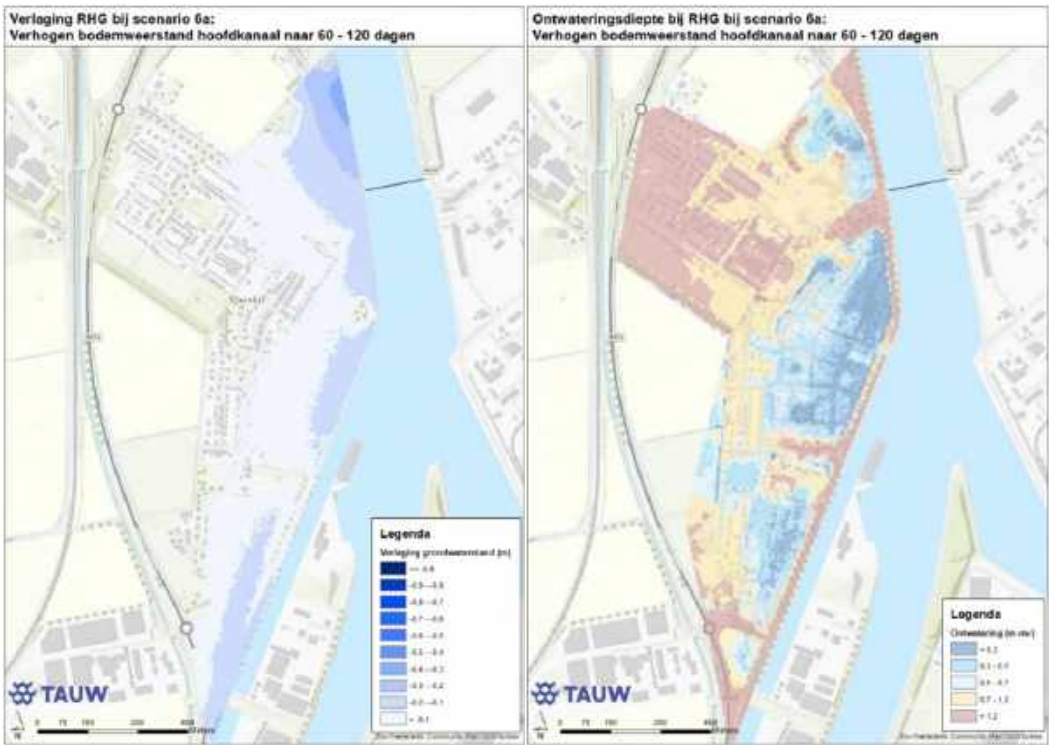
Deze aanslibbing wordt bij een onderhoudsfrequentie van eens in enkele jaren verwijderd door baggeren. De bodemweerstand kan op een kunstmatige manier worden verhoogd. Enkele beproefde voorbeelden zijn:

- Het beslibben van de bodem met slib of een zand-bentoniet slurryslaag van circa 10 cm dikte
- Het afdekken van de bodem met een laag van ca 30 cm categorie 1 klei
- Het aanbrengen van bentonietmatten met een beschermde zand of stortsteen laag van 50 cm tot 1 meter dik

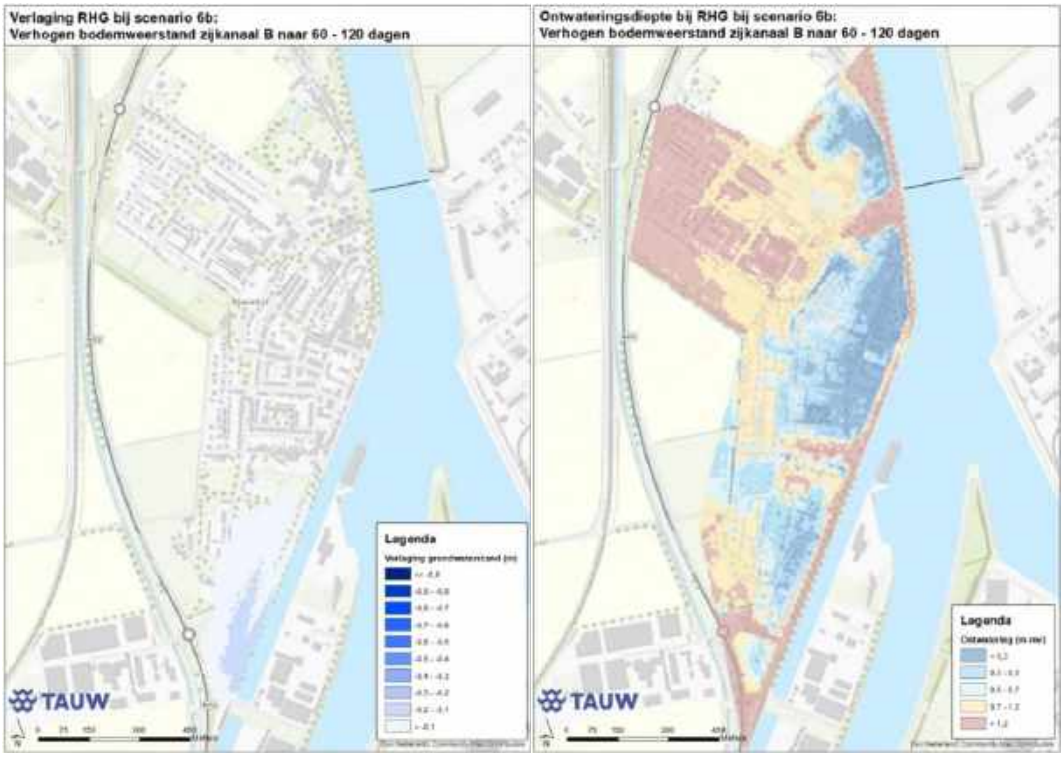
Het afdichten van de bodem leidt tot een toename van de hydraulische weerstand tegen verticale inzijging. Deze stromingsweerstand wordt uitgedrukt met een eenheid in dagen. Uit diverse praktijkgevallen zijn kenmerkende weerstandswaarden voor dergelijke afdichtingen afgeleid.
Met het grondwatermodel zijn de volgende scenario's doorgerekend om het afdichten van de kanaalbodem te simuleren:

- Verhogen bodemweerstand hoofdkanaal van 20 tot 40 dagen naar 60 tot 120 dagen
- Verhogen bodemweerstand zijkanaal B van 20 tot 40 dagen naar 60 tot 120 dagen
- Volledig waterdicht maken van het kanaal

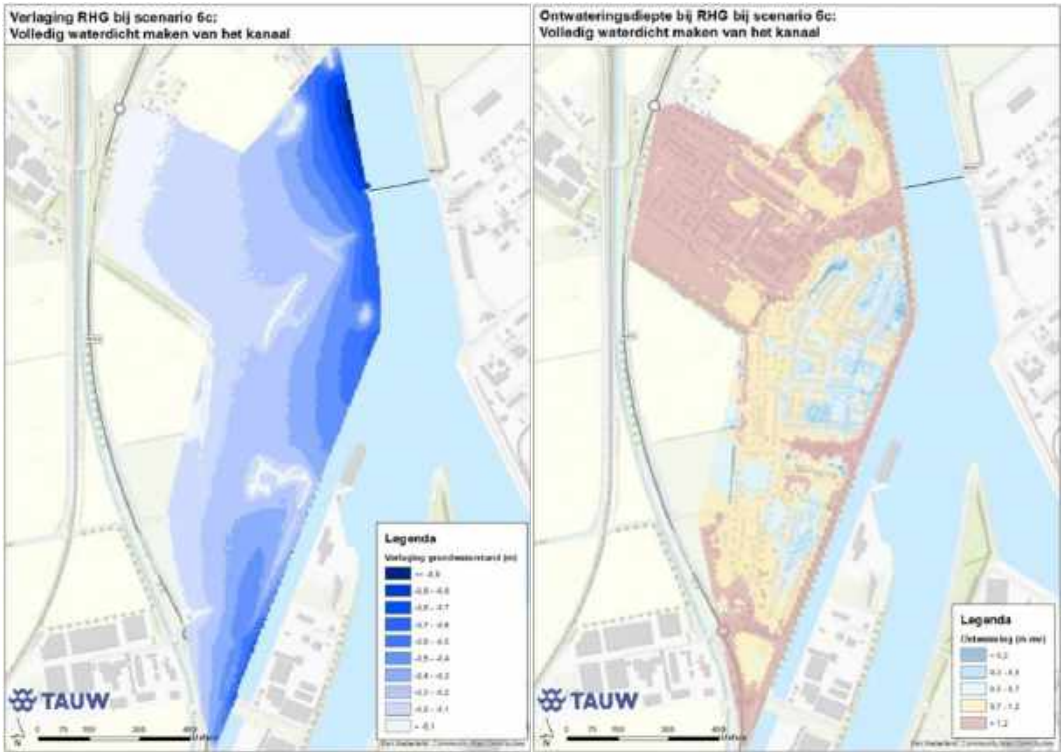
In Figuur 6.2, Figuur 6.3 en Figuur 6.4 zijn de resultaten getoond. Alle figuren in dit hoofdstuk zijn ook op A4 opgenomen in Bijlage 7.



Figuur 6.2 Effect verhogen bodemweerstand hoofdkanaal van 20-40 dagen naar 60-120 dagen



Figuur 6.3 Effect verhogen bodemweerstand zijkanaal van 20-40 dagen naar 60-120 dagen



Figuur 6.4 Effect volledig waterdicht maken kanaal

Effectiviteit:

- Bronaanpak overlast: met verhogen van de hydraulische weerstand van de kanaalbodem beperkt de maatregel de directe invloed van grondwaterstroming vanuit het kanaal en kwel in de omgeving
- Verhogen van de bodemweerstand naar 120 dagen is beperkt effectief (10 tot 40 cm daling) en zal niet de gehele problematiek bij de bron oplossen. Er is nog steeds sprake van grondwaterstroming vanuit het kanaal naar kwel in de omgeving. De maatregel kan mogelijk een onderdeel zijn van een pakket aan maatregelen
- Bij het volledig afdichten van het kanaal blijkt dat de effectiviteit daarvan zeer groot is (10 tot > 90 cm daling), doordat het kanaal feitelijk wordt afgesloten van het grondwatersysteem van Sluiskil

Risico's:

- Het variabele bodemverloop van het kanaal geeft onzekerheid of een goede effectieve afdichting kan worden gerealiseerd (en behouden) om daarmee een significante bijdrage te leveren aan het verminderen van de grondwateroverlast
- Wegnemen van grondwaterstroming vanuit het kanaal ter vermindering van de kwel in de omgeving zorgt voor daling van de grondwaterstand met mogelijk ernstige neveneffecten. Het kan leiden tot ongewenste en ongelijkmatige zetting van slappe bodemlagen met significante schade van gebouwen tot gevolg
- Stremming van de scheepvaart bij de uitvoering van de werkzaamheden

Uitvoerbaarheid:

- Er zijn verschillende technieken beschikbaar om de bodemweerstand te verbeteren (zoals zand-bentoniet of bentonietmatten). Er zal nader onderzocht moeten worden in hoeverre deze technieken een effectieve bijdrage kunnen leveren over de gehele breedte van het kanaal
- Zandbentoniet (ZBM) is relatief eenvoudig aan te brengen, maar het is de vraag of dit materiaal blijft liggen op steile taluds
- Het verhogen van de bodemweerstand in het zijkanaal is eenvoudiger en daarmee kansrijker

Kosten bepalende factoren:

- Een vlakdekkende toepassing over het gehele kanaal is naar verwachting zeer arbeidsintensief en kost veel materiaal. Hierdoor is het de vraag of de kosten opwegen tegen de effectiviteit en de risico's
- In het zijkanaal B is het naar verwachting makkelijker om dit als maatregel uit te voeren
- Eenmaal uitgevoerd is beheer en onderhoudsinspanning beperkt

6.1.2 Vergroten van de weerstand van de oevers

Een andere manier om de kweldruk in de omgeving te verminderen is door de kwelweglengte te verlengen middels diepere oeverconstructies. De hydraulische weerstand van de oeverbeschoeiing is op verschillende manieren te verhogen:

- Stortsteenbekleding vervangen door damwanden
- Bestaande damwanden verlengen, al dan niet tot een weerstand biedende bodemlaag
- Kwelweglengte verlengen door het waterdicht maken of injecteren van oevers met bijv. waterglas, SoSeal of bentoniet

Met het grondwatermodel zijn de volgende scenario's doorgerekend:

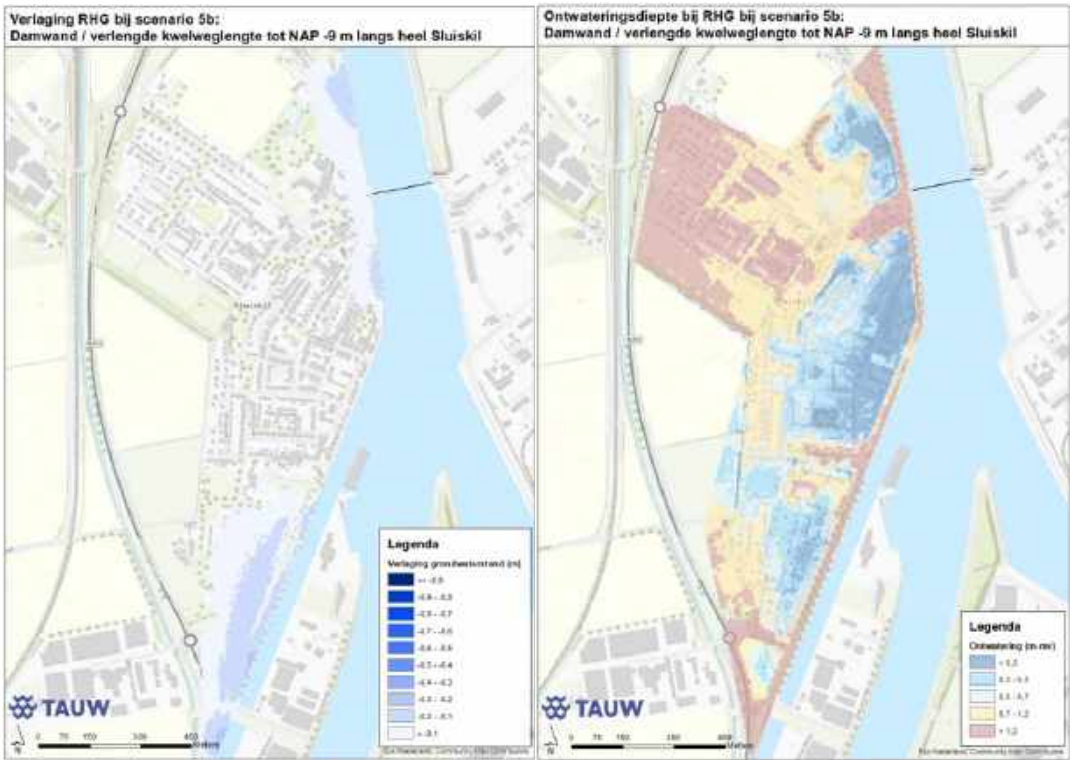
- Waterdicht maken van de stortsteenbeschoeiing
- Damwand/verlengde kwelweglengte tot NAP -9 m (langs heel Sluiskil)
- Damwand/verlengde kwelweglengte tot NAP -17 m (langs heel Sluiskil)

Momenteel reikt alleen de damwand van Rijkswaterstand tot NAP -9 m (zie paragraaf 3.7).

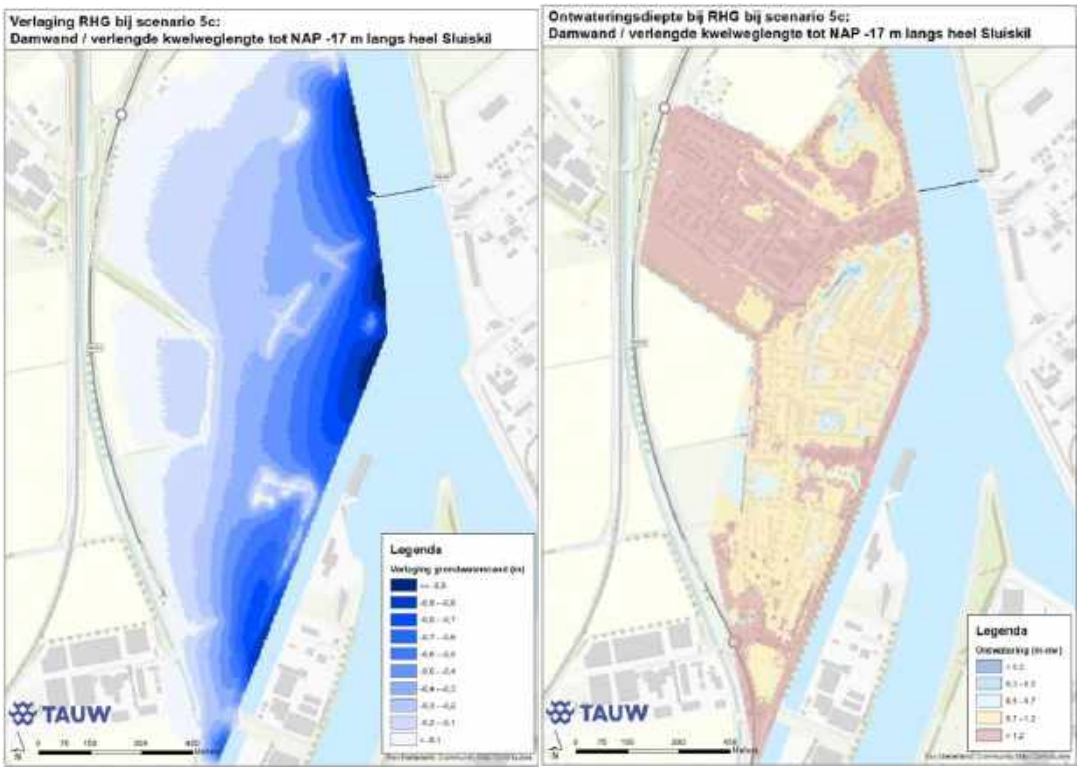
In het tweede scenario is met het grondwatermodel berekend wat het effect is van een naar NAP -9 m verlengde damwand (of een andere kwelweg verlengende methode) van North Sea Port en het vervangen van de stortsteenbeschoeiing in het noordelijk deel van Sluiskil met een damwand (of andere kwelweg verlengende methode tot dezelfde diepte).

In het derde scenario wordt hetzelfde gedaan maar dan tot een diepte van NAP -17 m. Dit geldt dan ook voor de damwand van Rijkswaterstaat. Bij dit laatste scenario is het belangrijk op te merken dat in het grondwatermodel op NAP -16 m een slecht doorlatende laag is opgenomen, omdat in meerdere boringen is aangetoond dat hier een kleilaag begint. Het is echter niet zeker dat deze kleilaag aaneengesloten is en zich overal op NAP -16 m bevindt. Er is dus een grote mate van onzekerheid in hoeverre het voorspelde scenario in de praktijk ook zal plaatsvinden wanneer dit wordt geïmplementeerd.

In Figuur 6.5 en Figuur 6.6 zijn de resultaten getoond. Het effect van het waterdicht maken van de stortsteenbeschoeiing was niet significant en is daarom niet opgenomen in het rapport.



Figuur 6.5 Effect damwand of verlengde kwelweglengte tot NAP -9 m langs heel Sluiskil



Figuur 6.6 Effect damwand of verlengde kwelweglengte tot NAP -17 m langs heel Sluiskil

Effectiviteit:

- Bronaanpak overlast: met verhogen van de hydraulische weerstand van de oevers beperkt de maatregel de directe invloed van grondwaterstroming vanuit het kanaal en kwel in de omgeving
- Waterdicht maken van de stortsteenbeschoeiing heeft geen significant effect, want grondwaterstroming gaat onder de constructie door
- Plaatsing van damwand tot NAP -9 m heeft beperkte effectiviteit (10 tot 20 cm daling). Er resteert dan nog grondwaterstroming onder de oeverconstructies
- Bij het plaatsen van damwanden tot NAP -17 m is de effectiviteit mogelijk zeer groot (10 tot >90 cm daling), doordat dit grotendeels de grondwaterstroming uit het kanaal afsluit doordat de damwanden mogelijke aansluiten op slecht doorlatende lagen

Risico's:

- Door heterogeniteit van de ondergrond is het hoogst onzeker of de invloed van het kanaal middels damwand volledig kan worden afgesloten
- Wegnemen van grondwaterstroming vanuit het kanaal ter vermindering van de kwel in de omgeving zorgt voor daling van de grondwaterstand met mogelijk ernstige neveneffecten. Het kan leiden tot ongewenste en ongelijkmatige zetting van slappe bodemlagen met significante schade van gebouwen tot gevolg
- Het afsluiten van het kanaal met damwanden of een andere kwelweg verlengende methode tot NAP -17 m is onomkeerbaar en na aanleg niet meer stuurbaar

Uitvoerbaarheid:

- Toepassen van een langere damwand in bebouwd gebied tot NAP -17 m kan tot significante trillingsschade leiden
- Er bestaan afdichtingstechnieken waarmee de grondwaterstroming gecontroleerd verminderd kan worden (zoals toepassing van SoSEAL, waterglas of bentoniet). SoSEAL-techniek is innovatief waardoor uitvoerbaarheid en effectiviteit voor deze problematiek onzeker is. Het aanbrengen van dergelijke afdichting middels injectie in matig doorlatende bodemlagen leidt veelal niet tot volledige afdichting

Kosten bepalende factoren:

- Toepassing van lange damwanden is prijzig en de vraag is of de kosten opwegen tegen effectiviteit en risico's
- Het is onbekend in hoeverre innovatieve technieken als SoSEAL kostenefficiënt zijn om op deze locatie in te zetten
- Eenmaal uitgevoerd is het beheer en de onderhoudsinspanning slechts beperkt nodig

6.1.3 Optimaliseren van het peilbeheer op het kanaal

Wanneer het kanaal een lager streefpeil heeft, neemt de kweldruk op de omgeving af. Een lager streefpeil heeft echter grote gevolgen. De vaardiepte neemt af, damwanden hebben minder tegendruk, alle kunstwerken (sluizen) moeten mogelijk worden aangepast. Dit is een kostbare zaak met grote economische gevolgen en waarschijnlijk niet een reële oplossing. Bovendien vermindert het de diepgang waardoor sommige schepen misschien geen gebruik meer kunnen maken van het kanaal.
Het effect van peilfluctuaties op de grondwaterstand in Sluiskil is echter niet te ontkennen (zie paragraaf 3.5). Mogelijk heeft een constanter peil een positieve uitwerking, met name in de winter. Rijkswaterstaat en haar Belgische evenknie hanteren een streefpeil van NAP +2,13 m en beschouwen een waterstand tussen NAP +1,88 en +2,38 m als een normale waterstand. Overwogen kan worden in overleg met de waterbeheerders uit België of het mogelijk is om een constanter peil te hanteren, bijvoorbeeld tussen NAP +2,05 en +2,30 m. Hiermee wordt de variatie in het peil van het kanaal verkleind. Binnen de scope van dit onderzoek is niet nagegaan hoe op dit peil gestuurd wordt en of intensiever handhaven op het streefpeil mogelijk is. De kans is aanwezig dat met de huidige middelen al getracht wordt zo optimaal mogelijk te sturen naar het gewenste streefpeil.

Effectiviteit:

- De effectiviteit is door het jaar heen genomen beperkt aangezien gemiddeld genomen het peil NAP + 2,17 m is. Een strakkere sturing in periodes wanneer veel regen valt (bijvoorbeeld in wintersituaties), kan wel een extra bijdrage leveren aan het verminderen van de overlast

Risico's:

- Risico's zijn zeer beperkt aangezien het niet gaat om een wijziging van de bestaande afspraken en situatie maar een strakkere sturing op deze afspraken

Uitvoerbaarheid:

- Mogelijk heeft dit effect op de afspraken met de waterbeheerders in België die het kanaal gebruiken om hun regenwater via het kanaal af te voeren
- Het is op dit moment onduidelijk hoe secuur met behulp van tijdig schutten het peil tijdens langdurige natte periodes goed op streefpeil gehouden kan worden

Kosten bepalende factoren:

- Er zal vaker geschut en gepompt moeten worden om het streefpeil strakker te kunnen handhaven

6.1.4 Afvoeren van toestromend grondwater naast het kanaal

Een andere strategie om het effect van grondwaterstroming vanuit het kanaal te verminderen, is door het water af te vangen en af te voeren. Voor de kanaalverbreding liep een kwelsloot in Sluiskil (vrij) dicht langs het kanaal. Dit was uiteraard niet zonder reden. Er zijn verschillende manieren om (het effect van) een kwelsloot of soortgelijke beheersmaatregel te realiseren, namelijk:

- De aanleg van een nieuwe fysieke kwelsloot of het herstel van de oorspronkelijke kwelsloot
- Drainage langs het kanaal
- Ontlastputten of bronbemaling langs het kanaal

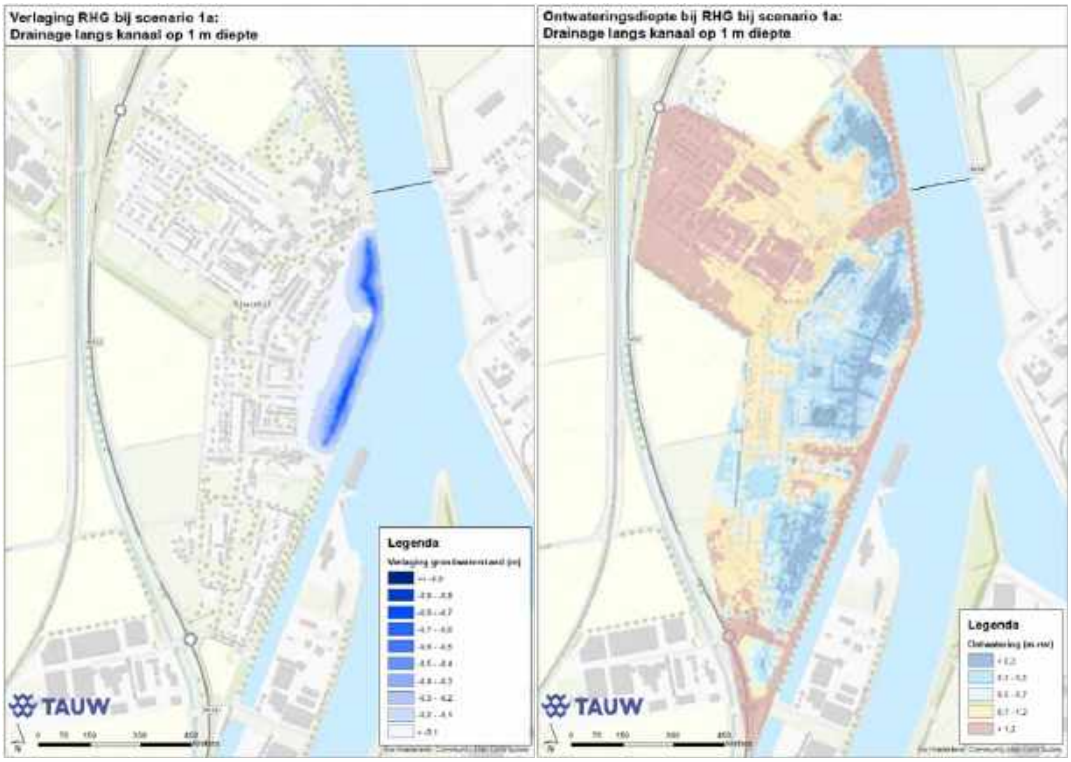
Het herstel van de oorspronkelijke kwelsloot is, gezien de bestaande inrichting van het gebied, niet reëel. Bij de kanaalverbreding is het tracé van kwelsloten doorbroken. Herstel van de oorspronkelijke kwelsloot is daardoor qua ruimtegebruik in Sluiskil onmogelijk.

Met het grondwatermodel zijn de volgende realistische scenario's doorgerekend:

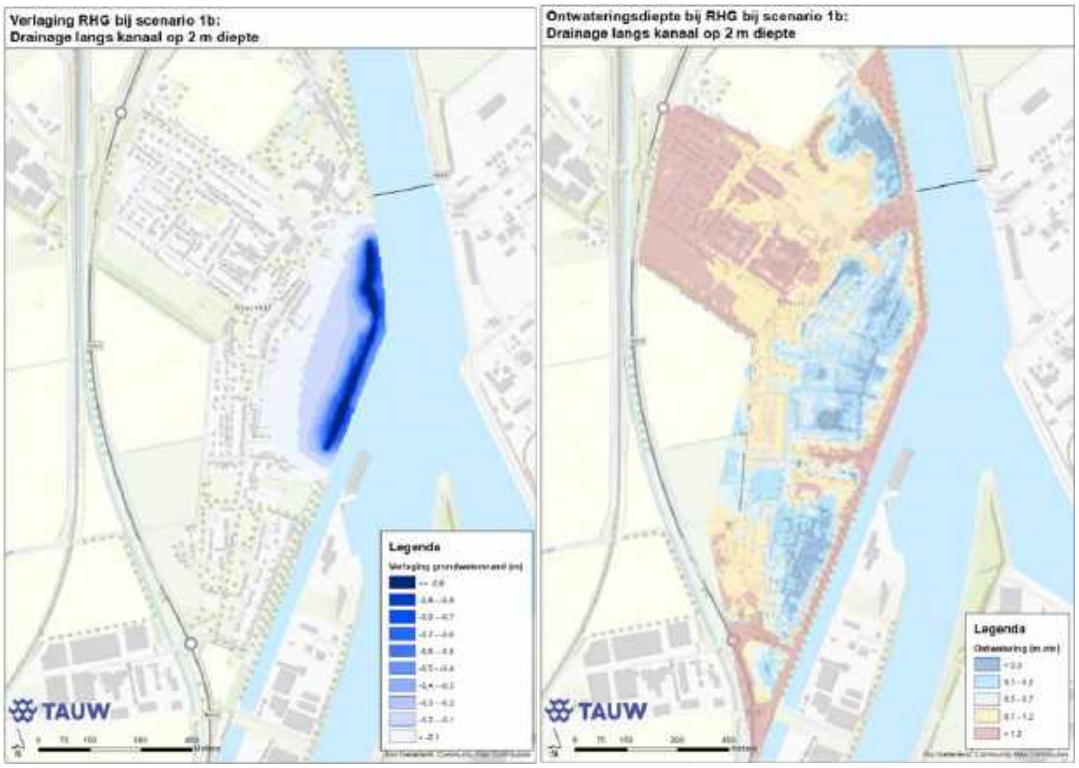
- Drainage langs het kanaal met een drainerend niveau op 1 meter onder maaiveld
- Drainage langs het kanaal met een drainerend niveau op 2 meter onder maaiveld
- Ontlastbronnen ter hoogte van onderkant damwand (ca NAP -9 m), om de 50 meter. Filterlengte ca. 2 meter met een bemalingsdebiet van 360 liter per uur per put (0,36 m3/uur)

Langs de weg Kanaalzicht ligt al drainage op een diepte van 1 m-mv. In de scenarioberekeningen is geen aanvullende drainage langs dit deel van het kanaal opgenomen.

In Figuur 6.7 en Figuur 6.8 zijn de resultaten getoond van het eerste en tweede scenario. Het kaartmateriaal van het derde scenario is niet opgenomen. De ontlastbronnen hebben te weinig effect bij de geologisch condities die voor de situatie in Sluiskil gelden. Dezelfde uitgangspunten hebben bij een ander kanaal een goede uitkomst geboden, maar sorteren niet een vergelijkbaar effect in de situatie van Kanaal Gent-Terneuzen. De ontlastputten hebben bij voorkomende bodemopbouw een te kort filter en zouden om gewenste totaalcapaciteit te bereiken veel dichter bij elkaar moeten worden geplaatst en vermoedelijk zou er met een hoger bemalingsdebiet bemalen moeten worden. Hetzelfde effect maar met minder inspanning wordt bereikt met de drainage langs het kanaal.



Figuur 6.7 Effect drainage langs het kanaal op 1 m diepte



Figuur 6.8 Effect drainage langs het kanaal op 2 m diepte

Effectiviteit:

- De maatregel met drainage van grondwater is lokaal zeer effectief in het realiseren van een gewenste daling van de grondwaterstanden (10 tot 80 cm daling). Het invloedsgebied is beperkt
- Biedt een (gedeeltelijke) oplossing voor het afvangen van kwelwater. Kan modulair worden aangelegd en de niveaus waarop wordt gedraineerd zijn aanpasbaar

Risico's:

- Drainage zal naar verwachting niet al het kwelwater afvangen. De invloedssfeer van de stroming uit het kanaal op het grondwater in Sluiskil is groter dan de invloedssfeer van lokale drainage
- De werking kan na verloop van tijd afnemen
- Risico op ongewenste en ongelijkmatige zetting als gevolg van grondwaterstandsdaling is klein. Een dergelijk systeem is stuurbaar (de inrichting van een drainagesysteem kan worden afgestemd op lokale omstandigheden)

Uitvoerbaarheid:

- Kan op relatief korte termijn worden uitgevoerd. Er is veel ervaring om hiermee een goed werkend en beheersbaar systeem aan te leggen
- Kans op nevenschade op de omgeving tijdens aanleg is beheersbaar

Kosten bepalende factoren:

- Openbreken straat en aanleg zodat nieuwe drainage goed aansluit op het bestaande drainagesysteem
- De benodigde intensiteit van de drainagevoorziening (aanleg in alle straten binnen het gebied met wateroverlast) bepaalt de kosten
- Drainage vraagt om regulier beheer en onderhoud en om voorzieningen om dat onderhoud uit te voeren (zoals doorspuitputten)

6.2 Oplossingen om afvoer hemelwater te bevorderen

De slecht doorlatende ondiepe lagen in de ondergrond zijn er de oorzaak van dat hemelwater niet goed of slechts langzaam kan infiltreren. Het ontbreken van afdoende afwatering is dan een tweede orde oorzaak die voor overlast zorgt. Mogelijke oplossingen hiervoor zijn:

- Aanleggen dekkend drainagenetwerk in gebieden met structureel hoge grondwaterstanden
- Opwaarderen bestaande drainage
- Opwaarderen bestaande waterlopen / peilverlaging
- Verlagen regionale ontwateringsbasis

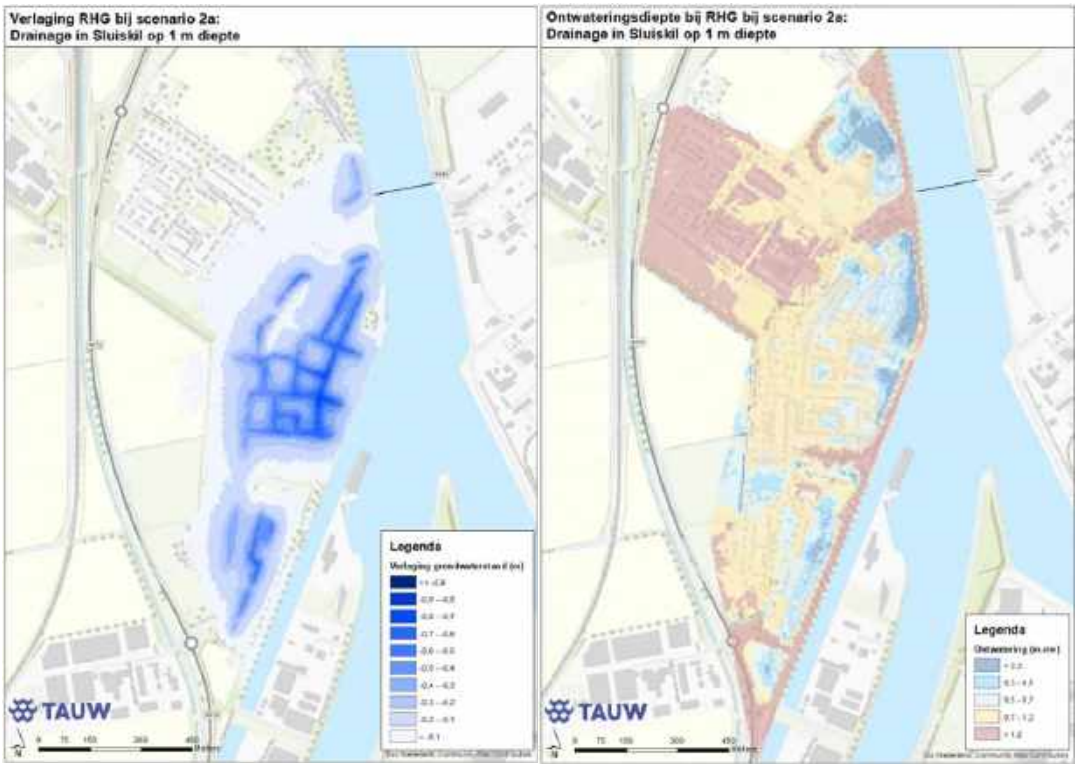
6.2.1 Aanleggen dekkend drainagenetwerk

Gebieden die te maken hebben met structureel hoge grondwaterstanden, een laag maaiveld en bovendien een slecht doorlatende ondergrond, hebben baat bij verbeterde ontwatering. Dit geldt met name voor bebouwing aan de Bosjesweg, Spoorstraat, Louisastraat, Vogelschorstraat en Isabellastraat. Deze straten, met name de Bosjesweg, liggen het laagst in Sluiskil.

Met het grondwatermodel is het volgende scenario doorgerekend:

- Drainage met drainerend niveau in Sluiskil op 1 m onder maaiveld

In Figuur 6.9 zijn de resultaten getoond. Voor dit scenario is in het grondwatermodel drainage aangebracht onder alle wegen die niet voldoen aan de gewenste ontwateringsdiepte.



Figuur 6.9 Effect drainage in Sluiskil op 1 m diepte

Effectiviteit:

- De aanleg van drainage is lokaal zeer effectief in het realiseren van gewenste daling van de grondwaterstand (10 tot 90 cm daling)
- Kan modulair worden aangelegd

Risico's:

- Drainage zal naar verwachting niet al het kwelwater of hemelwater afvangen
- De werking kan na verloop van tijd afnemen
- Risico op ongewenste en ongelijkmatige zetting als gevolg van grondwaterstandsdaling is beperkt. Een dergelijk systeem is stuurbaar (de inrichting van een drainagesysteem kan worden afgestemd op lokale omstandigheden)
- Volledig plan opstellen voor aan uitvoering wordt begonnen. Rekening houden met afvoer drainagewater en omgevingsfactoren
- Waterkwaliteit van af te voeren water moet voldoen aan lozingseisen

Uitvoerbaarheid:

- Kan op relatief korte termijn worden uitgevoerd. Er is veel ervaring om hiermee een goed werkend systeem aan te leggen. Het aanleggen van een vlakdekkend systeem kan extra complexiteit inhouden
- Kans op nevenschade op de omgeving tijdens aanleg is beperkt
- Het zal niet mogelijk zijn om een vlakdekkend drainagesysteem in één keer aan te leggen
- Er zal bouwoverlast en hinder optreden tijdens de aanleg

Kosten bepalende factoren:

- Openbreken straat en aanleg nodig om nieuwe drainage goed aan te sluiten op bestaande systeem
- Drainage dient vlakdekkend door heel Sluiskil te worden aangelegd om de overlast gebiedsdekkend op te lossen. Er is dus een serieuze opgave om deze maatregel te realiseren
- Gedraineerd grondwater kan mogelijk niet volledig onder vrij verval afgevoerd worden. Dit vraagt dan om extra pompen en gemalen om kwelwater en hemelwater af te voeren
- Toepassing van drainage vraagt om regulier beheer en onderhoud

6.2.2 Opwaarderen bestaande drainage

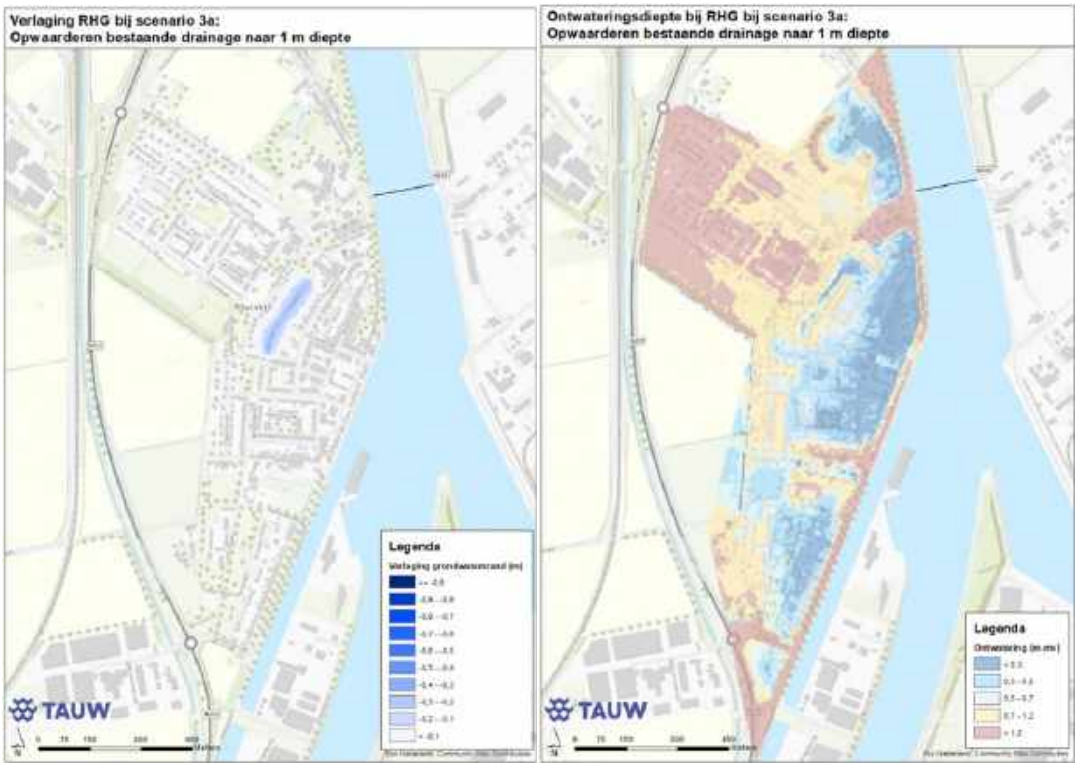
Delen van de Bosjesweg, Spoorstraat, Louisastraat en Baljuwlaan hebben drainage. De drainage onder de Bosjesweg ligt echter vrij hoog (ca MV -50 cm). De drainage zou hier of intensiever moeten worden aangelegd (drainagestrengen op korte afstand van elkaar) of de drainageleidingen moeten op een dieper niveau worden aangelegd. Op dit diepere niveau bestaat de kans dat de drainage niet onder vrij verval kan afwateren. In dat geval moet een gemaal het water verpompen.

Met het grondwatermodel is het volgende scenario doorgerekend:

- Drainage onder de Bosjesweg verdiepen naar 1 m onder maaiveld

In Figuur 6.10 zijn de resultaten getoond.

In het zuiden van Sluiskil bij de bebouwing van de weg Kanaalzicht blijft de grondwaterstand in een wintersituatie (RHG) plaatselijk hoog ondanks de aanvullende drainage en drainage die daar al is aangelegd. Hier kan overwogen worden drainage aan te leggen die dieper ligt dan de huidige drainage. In deze scenarioanalyse is de effectiviteit daarvan niet verder onderzocht. Aangenomen kan worden dat de resultaten vergelijkbaar zullen zijn als het verschil in effectiviteit tussen de diepere en ondiepere drain langs het kanaal zoals die wordt gepresenteerd in Figuur 6.7 en Figuur 6.8.



Figuur 6.10 Effect verdiepen drainage onder Bosjesweg naar 1 m diepte

Effectiviteit:

- Deze maatregel is lokaal in staat om een gewenste daling te realiseren van de grondwaterstand (10 tot 40 cm daling). Hiermee kan verbetering tot de gewenste grondwaterstand worden bereikt
- Het verdiepen van de bestaande drainage heeft meerwaarde, maar de vraag is of dit wenselijk is gezien de kosten en inspanning

Risico's:

- Lokale drainage zal naar verwachting niet al het kwelwater of hemelwater afvangen
- De werking kan na verloop van tijd afnemen
- Risico op ongewenste zetting als gevolg van grondwaterdaling is zeer beperkt

Uitvoerbaarheid:

- De straat waar recent drainage is aangelegd dient opnieuw opengebroken te worden
- De maatregel kan op relatief korte termijn worden uitgevoerd. Er is veel ervaring om hiermee een goed werkend systeem aan te leggen
- Kans op nevenschade op de omgeving tijdens aanleg is beperkt

Kosten bepalende factoren:

- Opnieuw openbreken straat en aanleg is nodig om drainage goed aan te sluiten op het bestaande drainagesysteem
- Gedraineerd grondwater kan mogelijk niet volledig onder vrij verval afgevoerd worden. Dit vraagt dan om extra pompen en gemalen om kwelwater en hemelwater af te voeren.
- Drainage vraagt om regulier beheer en onderhoud

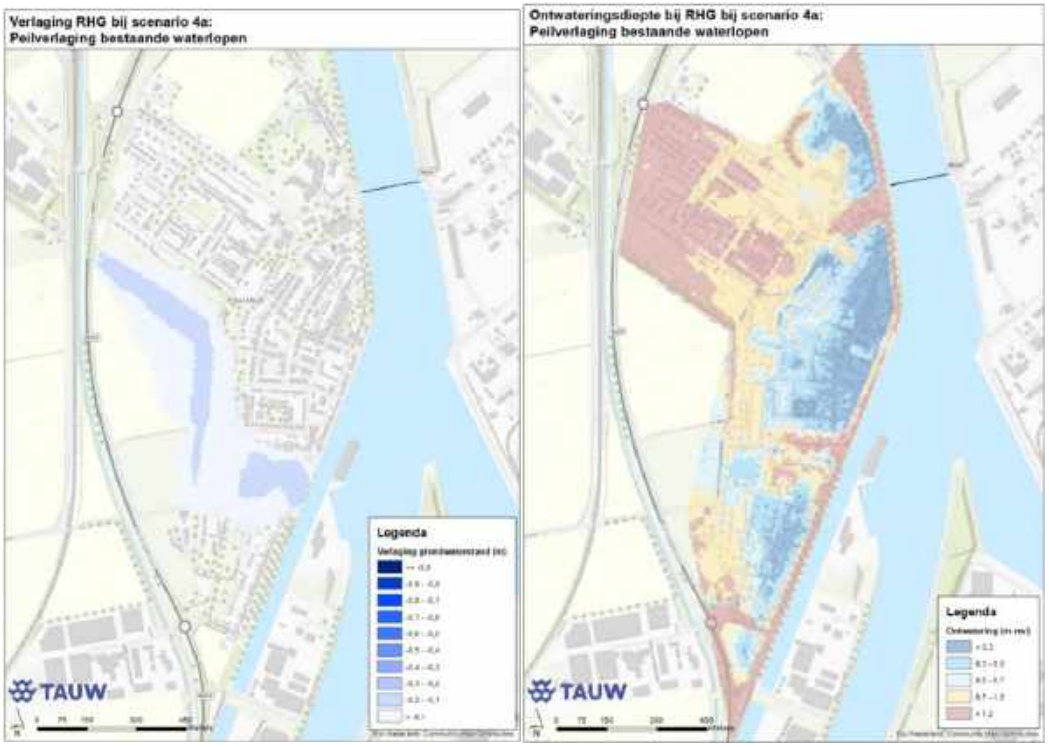
6.2.3 Opwaarderen bestaande waterlopen / peilverlaging

In de loop der tijd is vrijwel al het oppervlaktewater uit Sluiskil verdwenen. De bestaande watergangen liggen vooral aan de rand van Sluiskil en rondom het gemaal Kanaalzicht. Door de waterlopen te verbreden of verdiepen kan de ontwateringsbasis van de waterlopen worden verlaagd. Een peilverlaging kan ook helpen om het grondwater te verlagen.

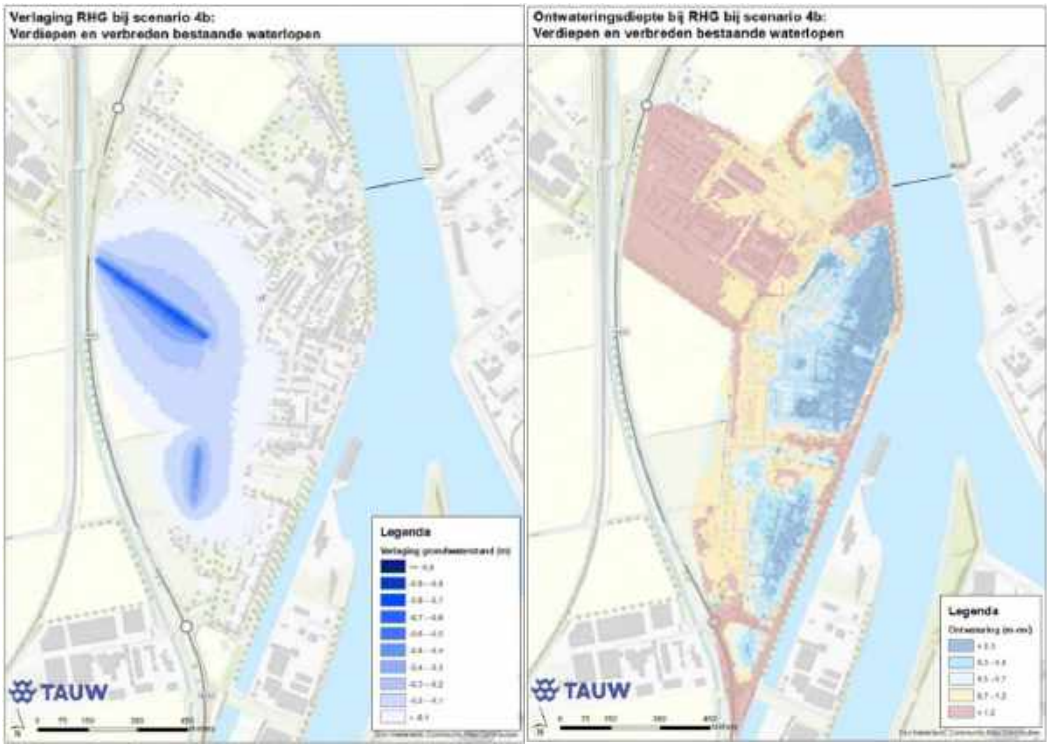
Met het grondwatermodel zijn de volgende scenario's doorgerekend:

- Peilverlaging bestaande waterlopen
- Verdiepen en verbreden van de bestaande waterlopen langs Sluiskil

In Figuur 6.11 en Figuur 6.12 zijn de resultaten getoond.



Figuur 6.11 Effect peilverlaging bestaande waterlopen



Figuur 6.12 Effect verdiepen en verbreden bestaande waterlopen langs Sluiskil

Effectiviteit:

- Zowel het verbreden of verlagen van de drainagebasis als het verlagen van het peil leidt tot een lokale verlaging van de grondwaterstand (10 tot 50 cm daling)
- Opwaardering lijkt effectiever dan een peilverlaging
- De watergangen bevinden zich te ver van het gebied waar de meeste overlast wordt ervaren om daar een significante bijdrage te kunnen leveren aan de oplossing

Risico's:

- De maatregel zal niet afdoende kwelwater of hemelwater afvangen
- Het peil of de diepte van de watergangen kan zo worden ingesteld dat de kans op nevenschade voor de omgeving beperkt is
- Risico's op ongewenste neveneffecten als gevolg van een peilverlaging dienen nader onderzocht te worden

Uitvoerbaarheid:

- Meekoppelkans met de geplande werkzaamheden van het waterschap om het watersysteem te optimaliseren
- Kan op relatief korte termijn worden uitgevoerd
- Kans op nevenschade op de omgeving tijdens aanleg is beperkt

Kosten bepalende factoren:

- Verdiepen van watergang, mogelijk lokaal verlagen of vernieuwen van duikers
- Eventueel aanleg van een gemaal om het peil te kunnen verlagen
- Maatregel vraagt om regulier beheer en onderhoud

6.2.4 Verlagen regionale ontwateringsbasis

In de paragraaf hierboven is het effect getoond van verschillende maatregelen in de lokale waterlopen. Een andere ingreep kan zijn om de regionale ontwateringsbasis te verlagen. Hierbij wordt gedacht aan de Westelijke Rijkswaterleiding die een prominente plek inneemt in het ontwateringsniveau. Eén van de berekeningen van de aan/uit-analyse was het 'uitzetten' van de Westelijke Rijkswaterleiding. De Waterleiding werd als het ware uit het model gehaald. In Figuur 4.2 (links) is het effect hiervan opgenomen. De invloed van de Westelijke Rijkswaterleiding strekt zich niet uit tot de delen in Sluiskil waar overlast wordt ervaren. Een peilverandering of het verlagen van de bodem van de Westelijke Rijkswaterleiding wordt daardoor niet meer als een kansrijke oplossingsrichting beschouwd. Hierbij wordt aanvullend opgemerkt dat deze ingreep voor significante nevenschade of andere problemen kan zorgen zoals niet meer goed kunnen voldoen aan de regionale afwateringsfunctie of het ontstaan van lokale verdroging.

6.3 Restopgave wateroverlast

Door de complexe bodemopbouw is het aannemelijk dat overlast in heel Sluiskil niet volledig gemitigeerd kan worden. Zo zijn schijngrondwaterspiegels of slechte infiltratiemogelijkheden op particulier terrein niet op te lossen met maatregelen op openbaar terrein. Met het treffen van maatregelen in de openbare ruimte zal het verder niet altijd mogelijk zijn om de grondwaterstanden in diepe tuinen voldoende te verlagen om volledig te kunnen voldoen aan de gewenste ontwateringsnormen. Zolang de ondergrond van een openbaar of particulier terrein slecht infiltreert dankzij de complexe bodemopbouw, blijft de kans aanwezig dat (tijdelijke) overlast wordt ervaren na een regenbui.

Het volledig mitigeren van wateroverlast vraagt om maatregelen op perceelsniveau. Hierdoor kan het voor bewoners noodzakelijk zijn om zelf nog maatregelen te treffen.[19] Dit is maatwerk per woning. Hierbij kan gedacht worden aan:

- Drainage aanleggen op eigen perceel (en aansluiten op het gemeentelijke drainagesysteem)
- Verticale drainage aanleggen zodat hemelwater makkelijker infiltreert
- Aanbrengen van een bodemafsluiter in de kruipruimte
- Injecteren van de bouwmuren tegen optrekkend vocht
- Impregneren (waterdicht maken) van de buitenmuren
- Ophogen van de tuin of binnenplaats

[19] De juridische verantwoordelijkheden en mogelijke maatregelen zijn uitgebreid beschreven in: Wareco ingenieurs (2017), Wateroverlast Sluiskil, Kenmerk: CE10 RAP20171101

7 Conclusies en aanbevelingen

Rijkswaterstaat heeft bij de uitvraag van dit onderzoek de volgende vragen centraal gezet:

- Wat zijn de mogelijke oorzaken van hoge grondwaterstanden in Sluiskil?
- Wat is de relatie van het grondwater in Sluiskil met het kanaal Gent-Terneuzen?
- Indien oorzaken zijn aan te wijzen, wat zijn dan passende maatregelen waarmee de grondwaterstand kan worden beheerst?
- Kunnen structureel hoge grondwaterstanden door een maatregel worden gemitigeerd?

Deze vragen worden in de paragrafen hieronder beantwoord. Ook worden aan het eind van dit hoofdstuk aanbevelingen meegegeven.

7.1 Conclusies

De ervaren overlast wordt herkend in de onderzoeksresultaten. De grondwaterstanden zijn hoog, met name in de winter, maar ook in de zomer daalt de grondwaterstand lokaal niet structureel onder het gewenste ontwateringsniveau. Naar aanleiding van de onderzoeksresultaten kunnen de hoge grondwaterstanden worden gecategoriseerd in twee verschillende hoofdinvloeden:

- Enerzijds heeft toestroming van water vanuit het kanaal een grondwaterstand verhogende invloed door kwel in Sluiskil
- Anderzijds is sprake van wateroverlast door hemelwater als gevolg van de slecht doorlatende ondergrond en onvoldoende drainerende of ontwaterende middelen

7.1.1 Mogelijke oorzaken overlast

Gemeente Terneuzen heeft richtlijnen geformuleerd voor een gewenste ontwateringsdiepte bij bebouwd gebied waarbij de gewenste grondwaterstand bij voorkeur 70 cm onder maaiveld ligt. Hierbij wordt opgemerkt dat het om een richtlijn gaat, waar een inspanningsverplichting aan is gekoppeld. De 70 cm ontwateringsdiepte geldt als een geaccepteerde landelijke richtlijn waar de mate van potentiële overlast wordt beschreven en effectiviteit van de oplossingsrichtingen op worden getoetst. In deze studie wordt geconcludeerd dat op een groot aantal locaties in Sluiskil deze gewenste ontwateringsdiepte in een gemiddelde wintersituatie niet wordt gehaald (Figuur 6.1). De grondwaterstand kan in de winter tot wel minder dan 30 cm onder het maaiveldniveau komen. Op basis van de peilbuisanalyses en ontwateringskaarten die met het grondwatermodel zijn gecreëerd wordt geconcludeerd dat het zeer aannemelijk is dat de vochtproblemen die de bewoners ervaren een relatie hebben met de hoge grondwaterstanden.

Ten aanzien van de oorzaken van de ervaren overlast in Sluiskil wordt geconcludeerd dat de ervaren overlast een combinatie is van verschillende invloeden. In dit onderzoek zijn de hoofdinvloeden nader geduid in de volgende oorzaken die een bijdrage leveren aan de overlast zoals die wordt ervaren in Sluiskil:

- Grondwaterstroming vanuit het kanaal en kwel in het woongebied langs het kanaal
- Onvoldoende ontwaterings- en afvoermogelijkheden van kwelwater en hemelwater
- Onvoldoende inzijging van hemelwater gegeven de slecht doorlatende ondergrond
- Hoge grondwaterstanden door lokale depressies in het maaiveldverloop

Daarbij is het te verwachten dat woningen die dichter bij het kanaal liggen in sterkere mate overlast ervaren door kwel en woningen op een grotere afstand met name overlast ervaren door de slecht doorlatende ondergrond, het wisselende maaiveldverloop en de beperkte aanwezigheid van drainerende middelen in het dorp. Er kan niet een harde grens tussen de genoemde hoofdoorzaken worden getrokken. Een groot deel van Sluiskil heeft (in meer of minder mate) last van zowel de kweldruk door inzijging vanuit het kanaal als van de onvoldoende ontwatering en afvoermogelijkheden van hemelwater en de slechte infiltratiemogelijkheden.

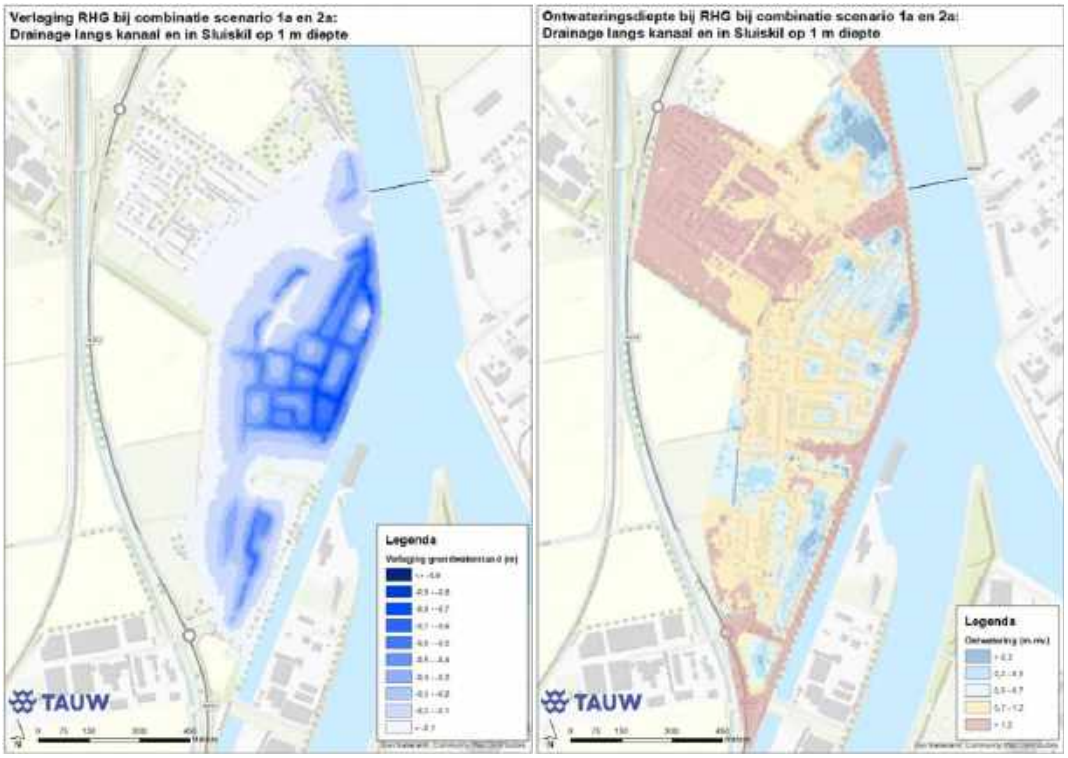
7.1.2 Mogelijke oplossingsrichtingen

Uit deze studie zijn kansrijke oplossingsrichtingen geformuleerd voor maatregelen die op openbaar terrein kunnen worden uitgevoerd. De oplossingsrichtingen zijn beschreven op basis van effectiviteit, risico's, uitvoerbaarheid en kostenbepalende factoren en zijn gekoppeld aan de belangrijkste factoren die invloed hebben op de overlast zoals die nu in Sluiskil wordt ervaren. De volgende kansrijke oplossingsrichtingen zijn in deze studie naar voren gekomen:

- Kweldruk door inzijging vanuit het kanaal te verminderen:
  - Afvoeren toestromend water naast het kanaal
  - Verhogen weerstand kanaalbodem
  - Verhogen weerstand oevers
  - Optimaliseren peilbeheer kanaal
- Afvoermogelijkheden van hemelwater en grondwater te optimaliseren:
  - Aanleggen dekkend drainagenetwerk in gebieden met structureel hoge grondwaterstanden
  - Opwaarderen bestaande drainage
  - Opwaarderen bestaande waterlopen / peilverlaging
  - Verlagen regionale ontwateringsbasis

Op basis van de grondwatermodelresultaten wordt geconcludeerd dat het volledig afsluiten van het kanaal tot zeer ongewenste nevenschade kan leiden. De kans op zetting en krimp van klei of leemlagen in het geval dat de grondwaterstanden structureel dalen is reëel. Dit leidt mogelijk tot verzakkingen van bebouwing met aanzienlijke schade als gevolg. Bovendien is het afsluiten van het kanaal een onomkeerbare oplossing.

Een oplossing waarin de mogelijkheid bestaat om bij te sturen om tot gewenste grondwaterstanden te komen verdient de voorkeur. Sluiskil heeft baat bij een gecontroleerde daling van de grondwaterstanden die in de zomermaanden niet te ver doorschiet naar niveaus die historisch nog nooit hebben plaatsgevonden. Om deze reden wordt de aanleg van drainage langs het kanaal en in Sluiskil als basisoplossing aanbevolen. Met het grondwatermodel is de combinatie van deze oplossingsrichtingen doorgerekend. In Figuur 7.1 is het resultaat daarvan opgenomen.



Figuur 7.1 Effect drainage langs kanaal en in Sluiskil

Afvoeren toestromend water langs het kanaal

In het noordelijk deel van Sluiskil kan peilgestuurde drainage langs het kanaal tot een maximale diepte van 2 m een positieve bijdrage leveren aan het verder verlagen van de grondwaterstand tot de gewenste ontwateringsdiepte. Hier wordt peilgestuurde drainage aangeraden zodat de grondwaterstand in de zomer minder wordt verlaagd en hierdoor de kans op zetting zoveel mogelijk wordt voorkomen.

Aanleggen of opwaarderen dekkend drainagenetwerk

Aangevuld met een dekkend drainagenetwerk op de locaties waar de grootste overlast wordt ervaren in Sluiskil, kan dit naar verwachting de hoge grondwaterstanden voor een groot deel mitigeren. Hierbij wordt opgemerkt dat een dekkend drainagenetwerk nooit volledig zal leiden tot vlakdekkende gewenste ontwateringsdiepte in heel Sluiskil. Dit komt doordat drainage een beperkte invloedsfeer heeft zodat met maatregelen in openbaar gebied vooral in de directe omgeving ervan de grondwaterstand significant verlaagd kan worden.

In het zuiden van Sluiskil bij de bebouwing van de weg Kanaalzicht blijft de grondwaterstand in een wintersituatie (RHG) plaatselijk hoog ondanks de aanvullende drainage en drainage die daar al is aangelegd. Hier kan overwogen worden drainage aan te leggen die dieper ligt dan de huidige drainage.

Verhogen weerstand kanaalbodem
Het verhogen van de bodemweerstand van zijkanaal B kan uitkomst bieden als aanvullende maatregel, juist ter plekke van Kanaalzicht. Deze maatregel kan voldoende extra effectiviteit bieden in het verlagen van de grondwaterstanden in dit gebied, is technisch eenvoudig uitvoerbaar en zal ook niet leiden tot het volledig afsluiten van de inzijging van water vanuit het kanaal zodat ongewenste grondwaterdaling en zetting kan worden beheerst.
Het verhogen van de bodemweerstand in het gehele kanaal levert mogelijk onvoldoende meerwaarde vanwege complexe technische uitvoerbaarheid en een slecht kosten-baten perspectief.

Verhogen weerstand oevers
Hoewel het verlengen van damwanden tot een diepte van NAP - 17 m kan leiden tot significante verlaging van de grondwaterstanden in Sluiskil, is het effect van een dergelijke maatregel slecht te beheersen waardoor zettingsschade een belangrijk risico vormt. Het verlengen van damwanden tot een diepte van NAP -9 m levert kosten-baten technisch een beperkte meerwaarde op. Hiervoor kan wel onderzocht worden of bij een toekomstige renovatieopgave de kwelweglengte door extra damwanddiepte verlengd kan worden als maatregel om de grondwaterstanden in enige mate te verlagen.

Als aanvullende maatregel kan ook worden overwogen om een verkenning uit te voeren naar innovatieve mogelijkheden om de kwelweglengte bij de oevers te verlengen. Hierbij kan worden gedacht aan toepassing van injectietechnieken of verticale kwelschermen en folie waarmee een barrière tegen toestroming van grondwater kan worden gecreëerd.

Opwaarderen bestaande waterlopen
Het opwaarderen van het omliggende watersysteem zal een kleine bijdrage leveren aan het verminderen van de wateroverlast. Aangezien het waterschap al plannen heeft om het regionale watersysteem in Sluiskil op te waarderen is het aan te raden om met hen de werkzaamheden af te stemmen zodat een optimale bijdrage aan verbetering van het grondwaterstandsregime in Sluiskil gerealiseerd kan worden. Het is daarbij misschien zelfs noodzakelijk om het watersysteem te optimaliseren als drainagewater vanuit Sluiskil via bestaande waterlopen en kunstwerken moet worden afgevoerd. Nadere uitwerking van de omvang van de afvoer van drainage is nog nodig voor dimensionering van de maatregelen.,

Optimaliseren constanter peilbeheer van bestaande streefpeil
Overwogen kan worden om te onderzoeken, in overleg met de waterbeheerders uit België, of het mogelijk is om een constanter peil te hanteren waarbij vaker het streefpeil van NAP + 2,13 m gehanteerd wordt. Hiermee wordt de variatie in het peil van het kanaal verkleind middels het intensiever handhaven van het streefpeil. Binnen de scope van dit onderzoek is niet nagegaan hoe op dit peil gestuurd wordt en of intensiever handhaven op het streefpeil mogelijk is. De kans is aanwezig dat met de huidige middelen al getracht wordt zo optimaal mogelijk te sturen naar het gewenste streefpeil.

Verlagen regionale ontwateringsbasis
De invloed van de Westelijke Rijkswaterleiding strekt zich niet uit tot de delen in Sluiskil waar overlast wordt ervaren. Een peilverandering of het verlagen van de bodem van de Westelijke Rijkswaterleiding wordt daardoor niet als een kansrijke oplossingsrichting beschouwd.

Restopgave
Door de complexe bodemopbouw is het aannemelijk dat grondwateroverlast in heel Sluiskil niet volledig gemitigeerd kan worden. Zo zijn schijngrondwaterspiegels of slechte infiltratiemogelijkheden op particulier terrein niet op te lossen met maatregelen op openbaar terrein. Met het treffen van maatregelen in de openbare ruimte zal het niet mogelijk zijn om volledig te voldoen aan de gewenste ontwateringsnormen aangezien de grondwaterstanden in diepe tuinen waarschijnlijk onvoldoende worden verlaagd.

Het volledig mitigeren van hoge grondwaterstanden vraagt ook om maatregelen op perceelsniveau. Hierdoor zijn plaatselijk ook ingrepen op particulier terrein benodigd. Dit vraagt om maatwerk per woning. Zolang de ondergrond van een openbaar of particulier terrein slecht infiltreert dankzij de complexe bodemopbouw, blijft de kans aanwezig dat (tijdelijke) overlast wordt ervaren na een regenbui.

7.2 Aanbevelingen

Uit de systeemanalyse, grondwatermodelstudie en consultatie met specialisten en omwonenden komt naar voren dat de grondwaterproblematiek in Sluiskil complex is. Mede door de gevarieerde bodemopbouw is de exacte effectiviteit van oplossingsrichtingen niet met 100 % zekerheid te voorspellen. Voor een definitieve invulling van de maatregelen vragen de voorgestelde oplossingsrichtingen nog om nadere uitwerking om de exacte effectiviteit te kunnen voorspellen.

Omdat het van belang is dat er bij het implementeren van oplossingsrichtingen niet te grote grondwaterstandsdaling ontstaat ten opzichte van de laagste historische grondwaterstanden, wordt aanbevolen om een getrapte en adaptieve aanpak te implementeren zodat gecontroleerd kan worden toegewerkt naar een passende oplossing van de grondwaterproblematiek. Hierbij wordt aangeraden om maatregelen volgens een planmatige aanpak stapsgewijs te implementeren en daarbij de effectiviteit te monitoren. Daarbij is het van belang om bij de implementatie van een deelmaatregel telkens tussentijds te evalueren wat de effectiviteit van de genomen maatregel is, of te definiëren grenswaarden worden overschreden dan wel of aanvullende maatregelen wenselijk zijn. Verder wordt aanbevolen om de locaties waar maatregelen worden getroffen te prioriteren in tijd en urgentie aangezien niet alle maatregelen in een keer geïmplementeerd kunnen worden. De noodzaak om overlast te verminderen in Sluiskil is echter evident.

Toch bestaat de kans dat de wateroverlast niet overal en op elk tijdstip weggenomen kan worden. Zo kan de afvoer van hemelwater in privé tuinen niet volledig met maatregelen in het openbaar gebied worden opgelost. Dit vraagt ook om maatwerkoplossingen op perceelsniveau. Hierbij wordt aanbevolen dat overheden ondersteuning leveren bij het adviseren in de mogelijkheden die bewoners hebben voor het treffen van de juiste maatwerkoplossingen.

Mogelijkheden die bewoners hebben om lokaal wateroverlast te verminderen zijn:

- Drainage aanleggen op eigen perceel (en aansluiten op het gemeentelijke drainagesysteem)
- Verticale drainage aanleggen zodat hemelwater makkelijker infiltreert
- Aanbrengen van een bodemafsluiter in de kruipruimte
- Injecteren van de bouwmuren tegen optrekkend vocht
- Impregneren (waterdicht maken) van de buitenmuren
- Ophogen van de tuin of binnenplaats

De getrapte adaptieve aanpak om maatregelen te treffen in het openbare gebied omvat de volgende stappen:

1. Maak een gedegen (ontwerp)plan voor de aanleg van drainage in Sluiskil
   - Dit plan dient in complete samenhang te staan met de opwaarderingsopgave van riolering en de hemelwaterafvoer
   - Stel hierbij een prioriterings- en stappenplan op met keuzes in welke locaties de hoogste urgentie hebben om drainage voor aan te leggen. Weeg daarbij zorgvuldig af welke werkzaamheden voor bijvoorbeeld de vervanging van riolering naar voren getrokken kunnen worden in de tijd om zo werkzaamheden efficiënt te combineren
   - Stel een ook beheer en onderhoudsparagraaf op voor de lange termijn
2. Geef prioriteit aan regelbare drainage langs het kanaal (voorkeur 2 meter diep)
   - Er wordt aanbevolen om de hoogste prioritering te leggen bij de aanleg van een drainagebuis langs het kanaal waar op dit moment nog geen drain ligt om kwelwater af te vangen
   - Bij voorkeur wordt deze drainbuis op een diepte gelegd van ca. 2 meter om hiermee de hoogste effectiviteit te realiseren. Daarbij is het wel van belang dat deze drainage regelbaar wordt via aanpasbare drainageniveaus zodat ongewenste daling van de grondwaterstand voorkomen kan worden
3. Opwaarderen omliggende watersysteem
   - Stem met het waterschap af welke werkzaamheden zij op korte termijn gaan uitvoeren in de omliggende watergangen van Sluiskil. Bepaal in overleg met het waterschap welke maatregelen haalbaar zijn om het systeem zo optimaal mogelijk op te waarderen zodat een bijdrage kan worden geleverd aan de daling van de grondwaterstanden in Sluiskil
   - Houdt hierbij alvast rekening met extra afvoer van het drainagenetwerk dat mogelijk op deze watergangen kan worden aangesloten
4. Verkenning optimalisatie peilbeheer kanaal
   - Overwogen kan worden om te onderzoeken, in overleg met de waterbeheerders uit België, of het mogelijk is om een constanter peil te hanteren waarbij vaker het streefpeil van NAP + 2,13 m gehanteerd wordt. Hiermee wordt de variatie in het peil van het kanaal verkleind middels het intensiever handhaven van het streefpeil
5. Afdichten van het zijkanaal
   - Opties hiervoor zijn het aanbrengen van zand-bentoniet, bentonietmatten of een kleilaag
   - Dit is een kansrijke maategel die technisch relatief makkelijk uitvoerbaar is en ook onafhankelijk van de andere maatregelen op relatief korte termijn kan worden uitgevoerd
   - In combinatie met de bestaande drain bestaat daarmee de mogelijkheid dat de overlast in dit gebied (zuidelijke deel van Sluiskil) grotendeels wordt opgelost zonder nog extra drainage aan te hoeven leggen

6. Opwaardering van bestaande oeverconstructies
   - Op basis van de huidige uitkomsten van deze studie is deze maatregel, afhankelijk van de lengte van de damwand, beperkt effectief of te effectief waardoor zettingsschade leiden. Op korte termijn vervangen van de bestaande beschoeiing wordt daardoor niet als een doelmatige maatregel gezien
   - Op de middellange termijn staat het vervangen van deze oevers wel op de planning. Afhankelijk van effectiviteit van de dan reeds geïmplementeerde maatregelen kan overwogen om de kwelweglengte te verlengen bij het vervangen van de oeverconstructies (werk met werk). Hierbij dient volledige afsluiting van het kanaal voorkomen te worden
7. Nagaan van mogelijkheden van innovatieve oplossingen:
   - In Nederland worden veel innovatieve toepassingen ontwikkeld om grondwateroverlast te kunnen beheersen. Als aanvulling op de basismaatregelen kan overwogen om extra maatregelen te onderzoeken via een pilot traject. Sluiskil is een geschikte locatie om hier kansrijke maatregelen te implementeren en zo een extra bijdrage te leveren aan een wenselijke verlaging van de grondwaterstanden. Zo kan onder andere gedacht worden aan innovatieve mogelijkheden om kwelweglengtes bij de oevers te verlengen. Voorbeelden hiervan zijn: bodeminjectie, SoSEAL en verticaal folie- of bentonietscherm

Een essentieel onderdeel van een getrapte adaptieve aanpak is dat er met behulp van het bestaande monitoringsmeetnet met grote regelmaat gemonitord en geanalyseerd wordt wat de effectiviteit is van elk van de oplossingsrichtingen die worden geïmplementeerd. Hiervoor wordt aanbevolen om een monitoring- en meetstrategie op te stellen. Onderdeel van goed monitoren is om te toetsen of de werking van de geïmplementeerde maatregelen in de tijd volledig naar wens verloopt. Hiervoor is een integraal beheer en onderhoudsplan essentieel. Ook wordt aanbevolen om een herijking van de ervaren schade bij bewoners uit te voeren enkele maanden nadat de eerste maatregelen zijn geïmplementeerd. Bij het uitvoeren van de maatregelen is het van belang om met de ambtelijke partners vaste evaluatie en bijstuurmomenten in te plannen.

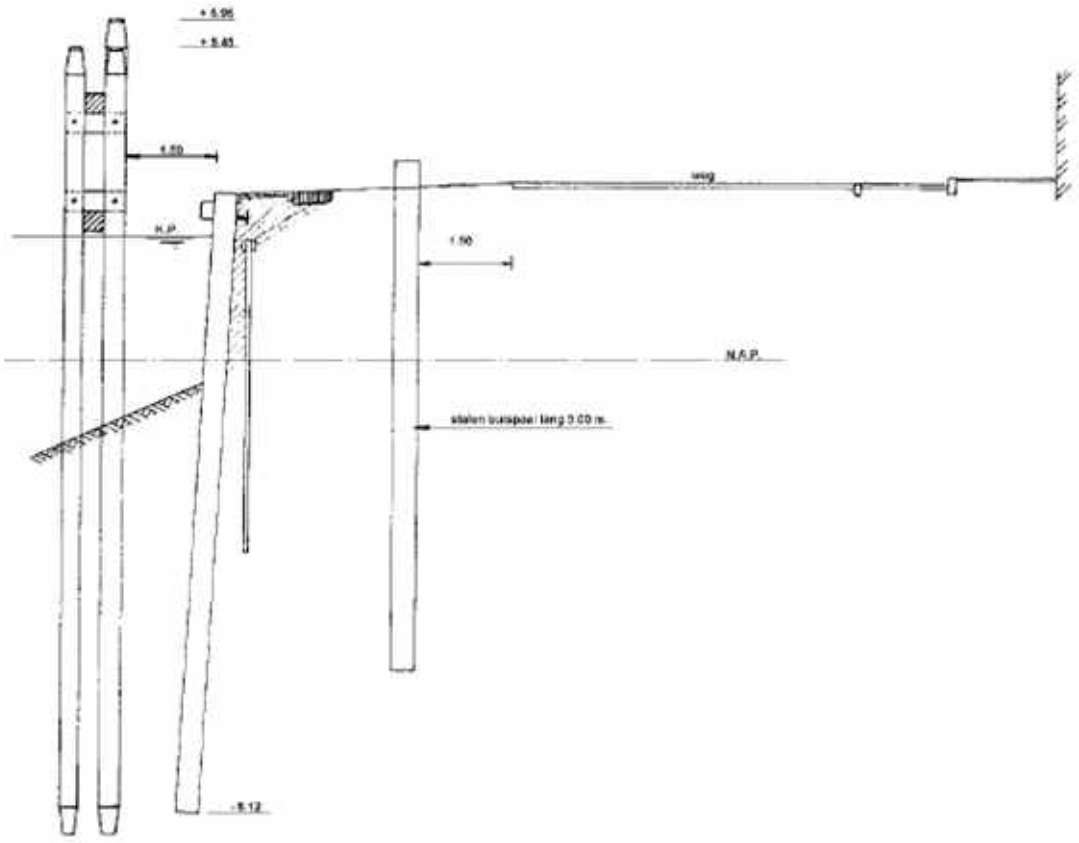
Met de keuze voor een getrapte, adaptieve aanpak creëren Rijkswaterstaat en Gemeente Terneuzen de mogelijkheid om, ondanks de aanwezige onzekerheden, een passende en veilige invulling te geven aan de realisatie van een optimale beheersing van de grondwaterproblematiek in Sluiskil.

Kenmerk R001-1284768NJH-V02-agv-NL

Bijlage 1 Damwandgegevens RWS

Objectgegevens

Object en naam	: ZV1.OOL.7,7 Sluiskil
Figuur	: tek. ZLKT1991-3007
Begin kilometrering	: 7.674
Eind kilometrering	: 8.199
Lengte object	: 526 m
Vak	: 8
Opmerkingen	: Bestek Z-3264, uitgevoerd 1991/1992
Beschrijving object houten	: Stalen damwand, Arbed AZ18, lang 11 m., langs de bovenkant voorzien van een gording (geen ankers)

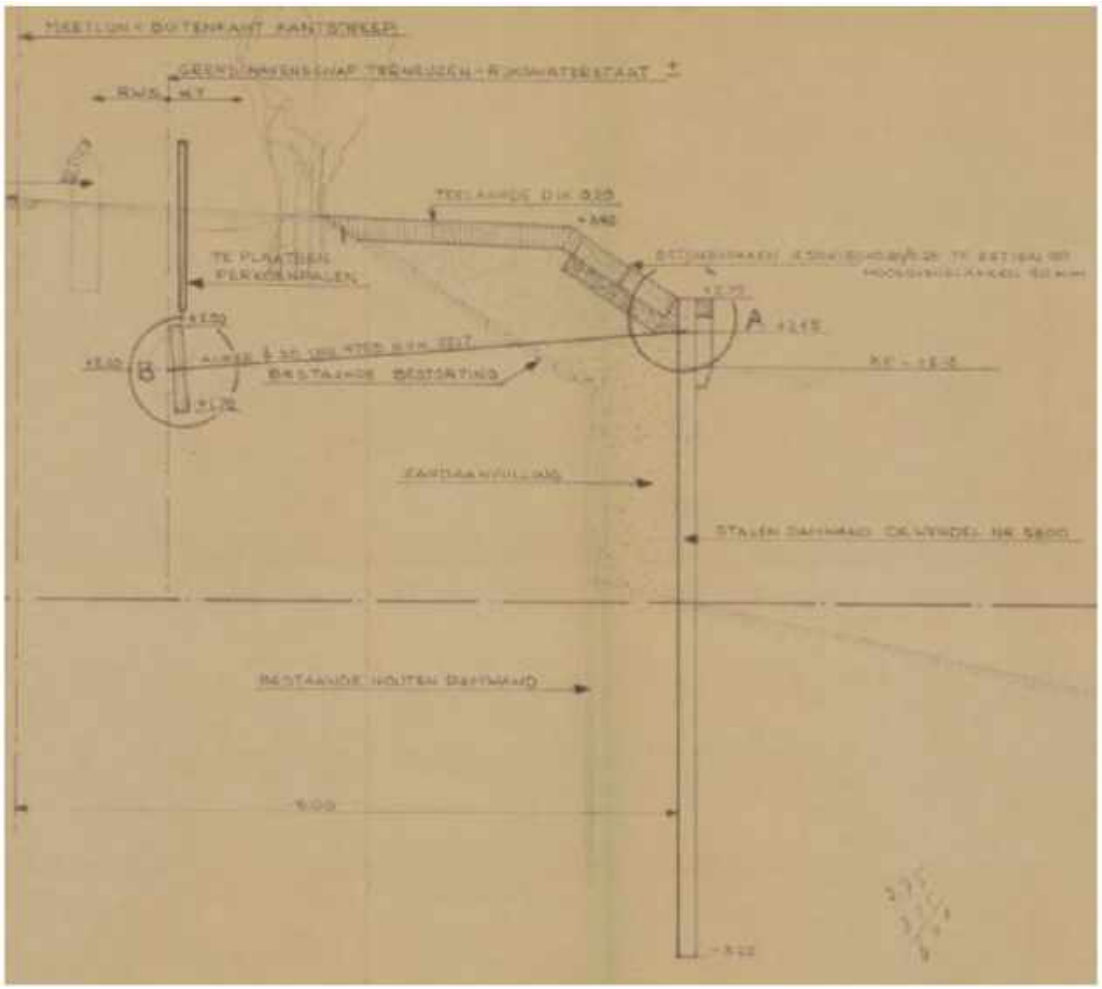


Beheerssituatie

Beheer RWS	: Volledig door RWS (zie map nieuwe beheersgrenzen dkr. na overdracht 1993)
Beheer derden	: n.v.t.
Achterland	: Woongebied

Kenmerk R001-1284768NJH-V02-agv-NL

Bijlage 2 Damwandgegevens North Sea Port



Kenmerk R001-1284768NJH-V02-agv-NL

Dwarsdoorsnede oeverbescherming

Hoogte plank: +2.75 NAP

Diepte plank: -3.25 NAP

Ontwerp bodem diepte: 0.00 NAP

Hoogte maaiveld +3.40 NAP

Lengte plank: 6 meter

Type damwandplank: De Wendel 5600

Materiaal: staal

Wanddikte 6 mm

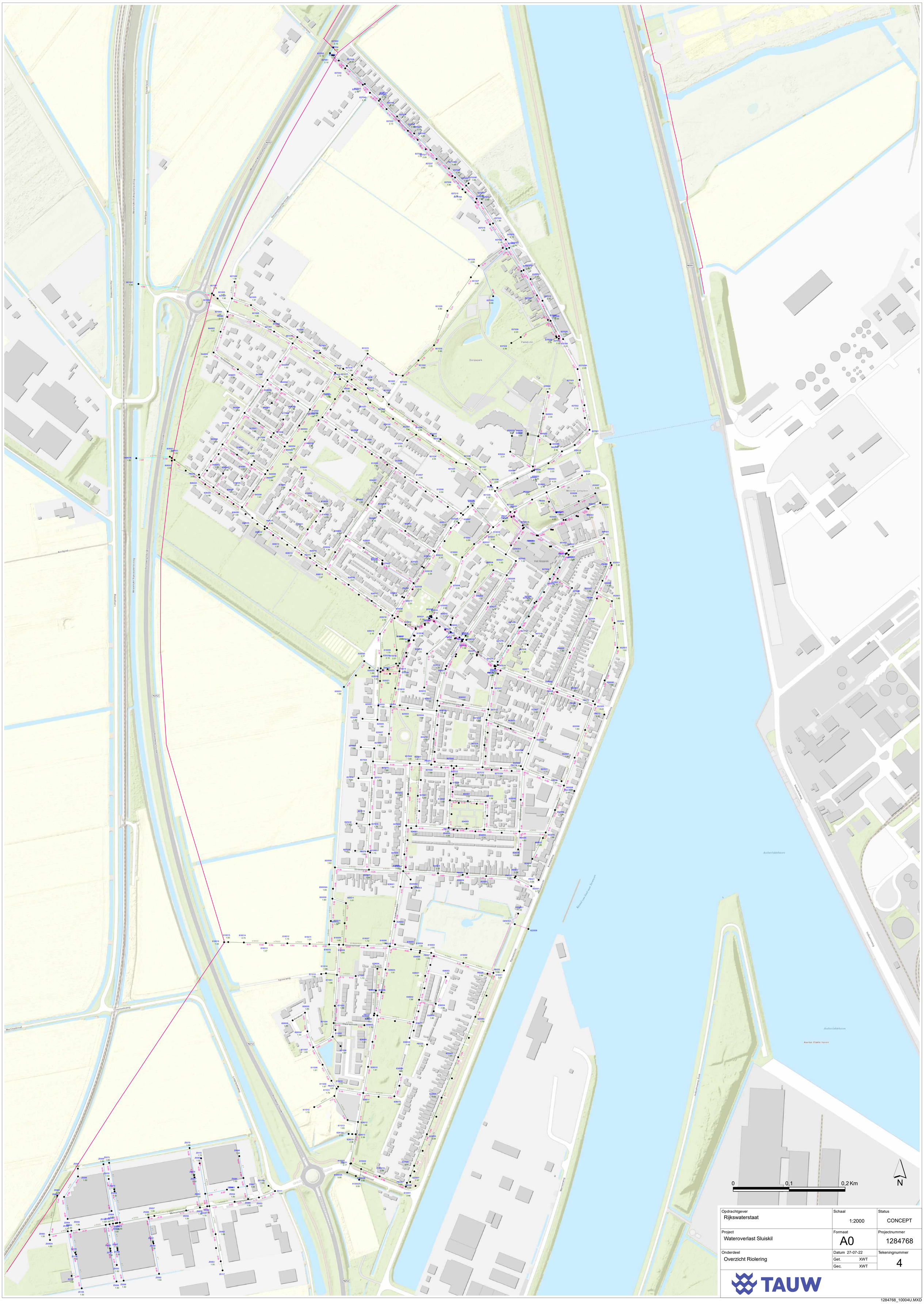
Ankers: hoh 2.2 meter

Bouwjaar: 1979

Technisch vervangingsjaar 2019

Kenmerk R001-1284768NJH-V02-agv-NL

Bijlage 3 Riolering en drainage Sluiskil



Opdrachtgever Rijkswaterstaat	Schaal 1:2000	Status CONCEPT
Project Wateroverlast Sluiskil	Formaat A0	Projectnummer 1284768
Onderdeel Overzicht Riolering	Datum 27-07-22 Get. XWT Gec. XWT	Tekeningnummer 4

TAUW

1284768_10004U.MXD

Kanaalzicht

Zijkanaal B

B.O.B. = +1.09 NAP

B.O.B. = +1.08 NAP

B.O.B. = +1.16 NAP

B.O.B. = +1.09 NAP

Legenda

Geometrie	Omschrijving
	Drain bestaand 125 mm
Symbool	**Omschrijving**
	Drain eindput
	Drain put doorspuit
	Putdekselhoogte
	Uitstroombak

opdrachtgever:
Gilde Infra

project:
Kanaalzicht Sluiskil

www.gilde-infra.nl

omschrijving:
Revisie rioolaansluiting

datum:
07-07-2022

tekenaar:
WJP

tekeningnummer:
REV-RI-001

schaal:
1:200

formaat:
A0

Sloot waarop de mee te leggen drain moet lozen, inclusief betonnen uitstroombak om uitspoeling van het talud te voorkomen

nr.	omschrijving wijziging	datum	paraaf
1	Eerste uitgave	21-12-2011	

KWS

KWS Infra bv
Vestigingsadres
Werverweg 3
4551 MC Sas van Gent
Telefoon
+31(0)115 - 471653
Telefax
+31(0)115 - 472357
Email
sluiskil@kws.nl
Internet
www.kws.nl

een VolkerWessels onderneming

Opdrachtgever
Gemeente Terneuzen
Project
Rioleringswerkzaamheden kern Sluiskil
Onderdeel
Rioleringsontwerp

Akkoord opdrachtgever
Par. d.d.

Behoord bij
In 1 bladen, bladnr. 1

Formaat A1
Schaal 1:500

Getekend	M. van de Velde	Par.	d.d. 30-11-2012	Werknummer	8113230
Gecontroleerd	J. Karelse	Par.	d.d. 30-11-2012	Calculatienummer	
Vrijgegeven	F.J.C. van de Velde	Par.	d.d. 30-11-2012	Besteknummer	
Status	C	Versie	1	Tek.nr.	8113230-R-903-1

KWS Infra. De verbindende factor.



RENVOOI

- aangebrachte HemelWaterAfvoer
- aangebrachte VuilWaterAfvoer
- aangebrachte drain
- 0,53- hoogte b.o.b.
- straatkolk
- 805025 1.89+ put met nummer en dekselhoogte
- BT Ø800 materiaal en diameter
- 24.99 afstand aansluiting vanuit hart laagstgelegen put

Opdrachtgever:

Gemeente Terneuzen

Aannemer:

H4A

Project: Riool Sluiskil, afkoppelplan fase 1

Onderdeel: Revisie riolering

	Naam:	Datum:	Omschrijving:	Contr:	Accoord:
opn.					
get.	KT	12-07-2013	Revisie		
gtv	SV	8-10-2013	Verwerken opmerkingen		
gtv.					
gtv.					
gtv.					

Bladnummer 1 van 1

Maten in ☐ mm ☐ cm ■ m

Hoogtematen in m t.o.v. ■ N.A.P. ☐ P.P.

Status: ☐ ontwerp ☐ bestek ☐ uitvoering ■ revisie

Schaal: 1:250

formaat: A0L plotdatum: 8-10-2013

filenaam: Revisie riool Sluiskil

project/tekening nummer: 13M0042

805012

805012

805012

aan te brengen PVC afvoerleiding diam. 125mm

aan te brengen zandvangput met doorspuitvoorziening en bijbehorend deksel

ø P250

ø P400

aan te brengen drainagebuis diam. 100mm omhuld met polyproeenvezels 450mu

aan te brengen zandvangput met doorspuitvoorziening en bijbehorend deksel

805012

805012

aan te brengen PVC afvoerleiding diam. 125mm

ø B400

Bosjesweg

aan te brengen drainagebuis diam. 100mm omhuld met polyproeenvezels 450mu

aan te brengen zandvangput met doorspuitvoorziening en bijbehorend deksel

aan te brengen PVC afvoerleiding diam. 125mm

805012

El B400/600

Vogelschorstraat

53 55 57 59 61 63 65 67 69 71 73 75 77 79 81 83 85 87 89 91 93 95 97 99 1 7 52 45 24 22

gemeente terneuzen

postadres: postbus 35, 4530 aa Terneuzen
telefoon: 14-0115, fax 0115-618429
bezoekadres: Koegorsstraat 4, Terneuzen

Aanleg drainage in sleuf van DNWG Bosjesweg in Sluiskil

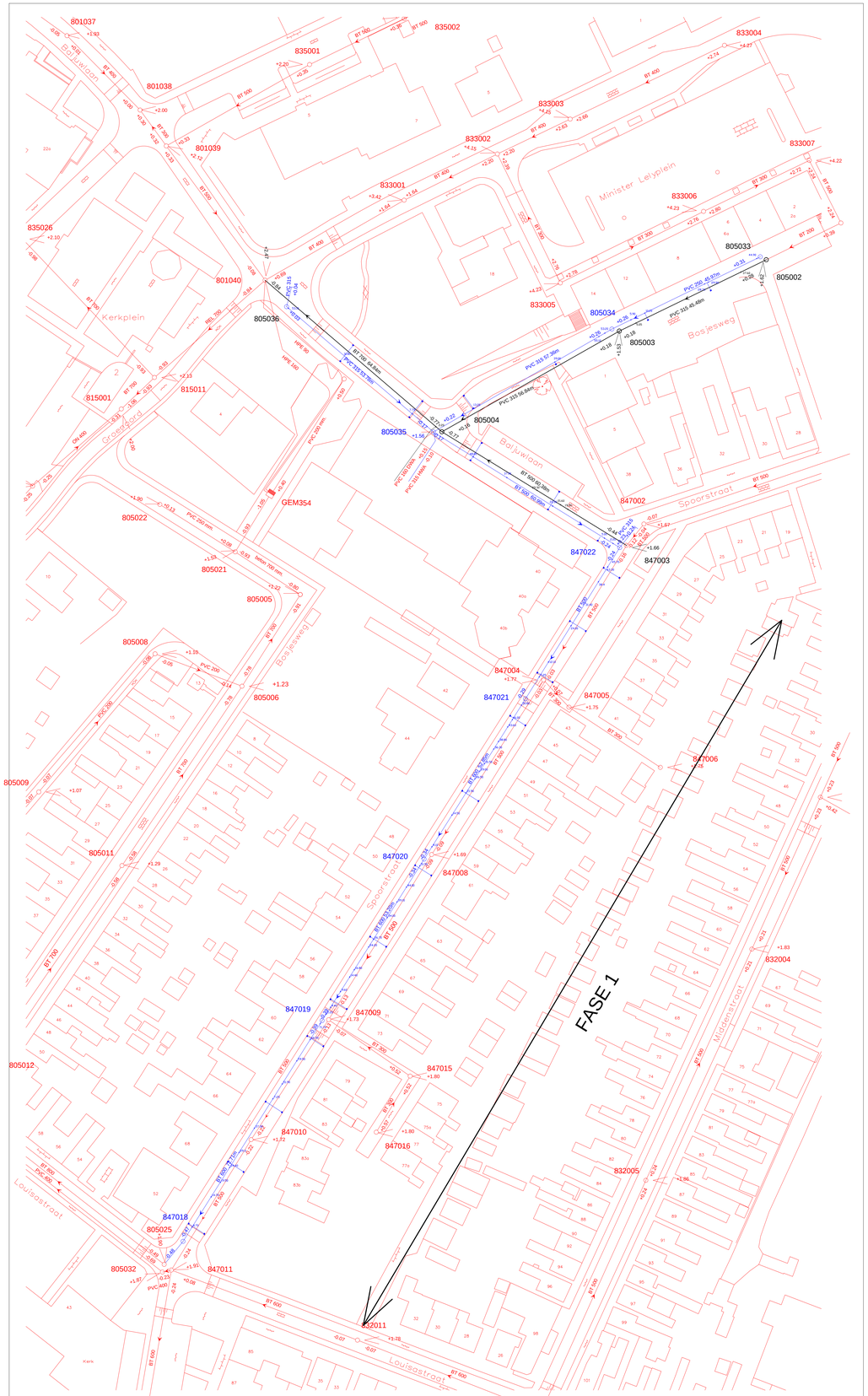
----- aan te brengen drainage aansluiten op inspectieputten

Afdeling: Realisatie en Beheer
Team: Techniek

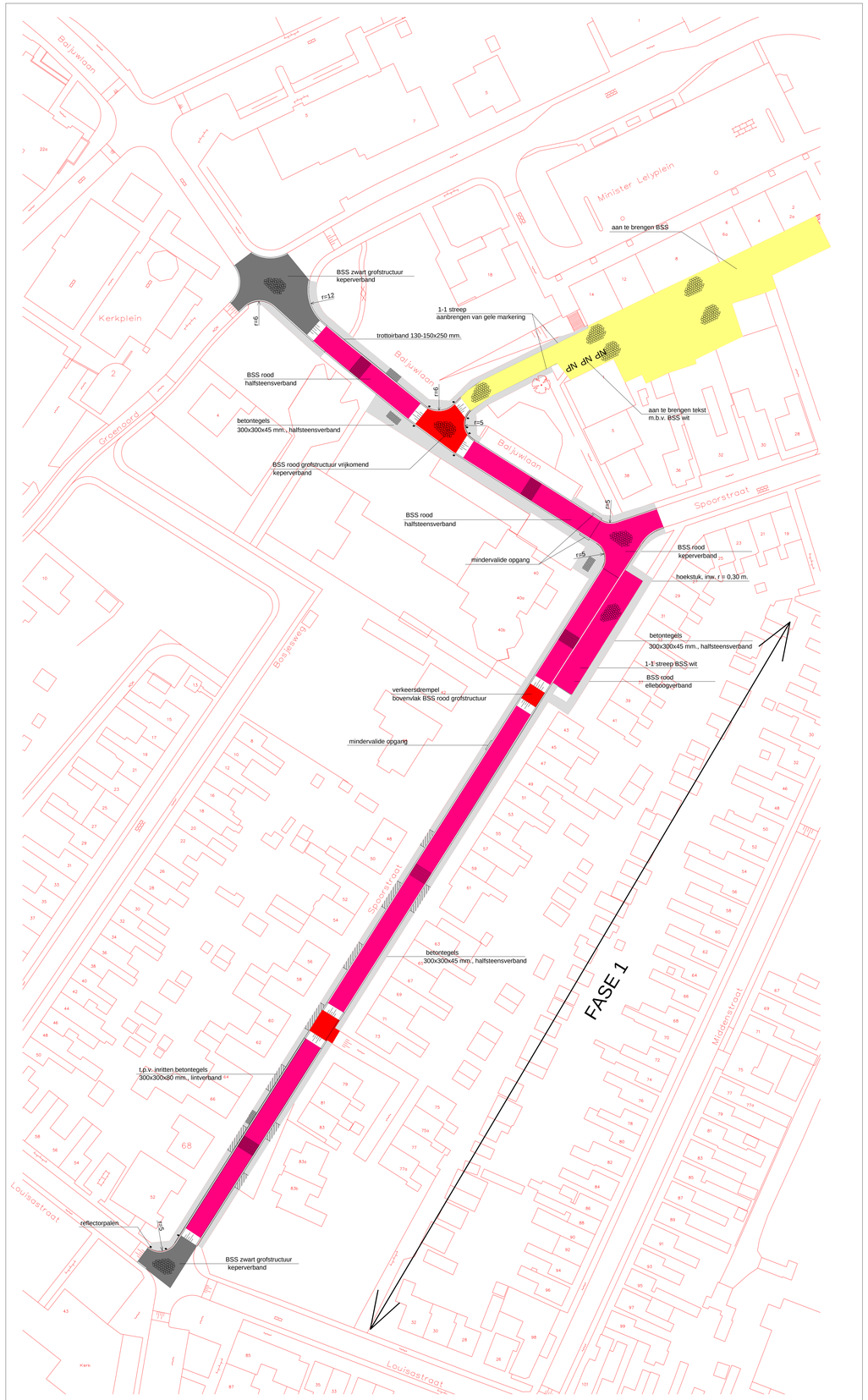
Behoort bij bestek.: n.v.t.
Aantal bladen: 1 Bladnr.: 1

schaal: 1 : 250
datum : 20-05-2021
getekend: M. de Ridder
gewijzigd: 28-06-2021
tekeningnummer: 20-020-03C

N
W
E
S
59
61
63
65
67
69
71
73
75
77
79
81
83
87
91
52
7
Drainage buis
Drainage buis
Drainage buis
Bosjesweg
0
5
10
20 Meters
DNWG
Esri Nederland, Community Map Contributors



RIOLERINGSTEKENING



VERHARDINGSTEKENING

RENVOOI

- bestaande riolering
- Nieuw aangelegd HWA riool
- Nieuw aangelegd DWA riool
- bestaande straatpeilhoogten
- nieuwe straatpeilhoogten
- BSS zwart grofstructuur
- BSS rood
- Ter beschikking gestelde betonstraatstenen
- BSS rood grofstructuur
- betontegels 300x300x 45 mm. (t.p.v. inritten 80 mm. dik)
- betontegels 300x300x80 mm. in linterband t.p.v. inritten

Drain aanbrengen boven HWA riool Spoorstraat en Baljuwlaan
Drain recht tussen de HWA-putten aanbrengen en aansluiten op deze putten.

EVS infrabouw

2e Fase afkoppelplan Sluiskil

REVISIE EVS

schaal:	nvt
datum :	22-04-2015
getekend:	M.vanZuylen
gewijzigd:	25-04-2015
tekeningnummer:	13-024-01C

Afdeling: Realisatie en Beheer : Techniek
Behoort bij bestek.: 2014-4
Aantal bladen: 3 Bladnr.: 1

Havenstraat

Leidinglaan

Piet Heinstraat

Dwarsstraat

Dwarsstraat

Aanbrengen drempelmarkering

Deklaag aanbrengen op plateau. T.p.v. rioolwerkzaamheden volledig pakket asfalt aanbrengen.

(Visuele) drempelmarkering aanbrengen

Aanbrengen drempelmarkering

Aanvullen met grond en inzaaien met gras

Bochtstraal is krap.

Bord L08 met verkeersbordpaal plaatsen

Aanvullen met grond en inzaaien met gras

Banden opnieuw aanbrengen

Putdeksel opnieuw stellen naar 1.89 m

Verloopband TB 130/150-TB 180/200

Kruising slechts opnieuw bestraten. Geen menggranulaat aanbrengen

Verloopband TB 130/150-TB 180/200

Verloopband TB 180/200x250-MV

Betonplaten handhaven

Verloopband TB 180/200x250-MV

Verloopband TB 180/200x250-MV

Verloopband TB 180/200x250-MV

Verloopband TB 180/200x250-MV

Verloopband TB 180/200x250-MV

Vooropname woning uitvoeren voor aanvang werkzaamheden

Tekening 1
Tekening 2

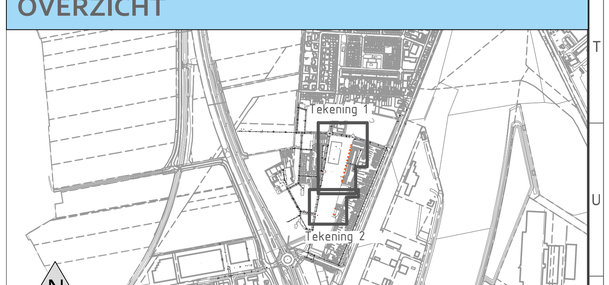
Tekening 1
Tekening 2

LEGENDA

- OB60x200 — Aanbrengen opsluitband 60x200 mm, Kleur: donkergrijs
- TB 180/200 x250 — Aanbrengen trottoirband 180/200x250 mm, Kleur: donkergrijs
- BTT 300x300 — Aanbrengen goot 1x strek betontegel 300x300x60 mm
- Kant asfalt — Kant asfalt
- Rood — Aanbrengen asfaltverharding, Kleur deklaag: Rood
- Zwart — Aanbrengen asfaltverharding, Kleur deklaag: Zwart
- 300x300xG — Aanbrengen betontegels 300x300x60 mm in halfsteensverband, Kleur: grijs
- 2.0% — Afschotrichting met afschotpercentage
- Aanbrengen straatkolk/ trottoirkolk
- B38011 1.81 — Nieuw aan te brengen riolering met putnummer, putdeksel hoogte, lengte, materiaal, diameter, afschot, afschotrichting en drain in drainkoffer
- Aanbrengen kolken met kolkaansluiting
- Aanbrengen huisaansluiting
- Aanbrengen drempelmarkering
- Parkeervakscheiding
- Bebouwing
- Erfgrens
- Werkgrens (met 5m offset)
- Materiaalgrens
- inrit — Locatie inrit
- Handhaven verkeersbord met verkeersbordpaal
- Aanbrengen invalideoprit in trottoir
- Gras — Aanbrengen gras
- Frezen getrapte aansluiting
- Herstraten elementenverharding

0 2 4 6 8m

OVERZICHT



Gemeente Terneuzen
Stadhuisplein 1
4531 GZ Terneuzen

Goessestraatweg 19
4421 AD Kapelle
+31 (0)85-9020222
info@juust.nl

	Wijziging:	Getekend:	Gecontroleerd:	Geaccordeerd:	Datum:
	Eerste uitgave	G. Schrijver	M. Huzen	S. Theunissen	8-03-2019
A	Diverse aanpassingen	G. Schrijver	M. Huzen	S. Theunissen	05-04-2019
B	Diverse aanpassingen	G. Schrijver	M. Huzen	S. Theunissen	13-05-2019
C					
D					

Vervanging riolering
Piet Heinstraat, Sluiskil

Nieuwe situatie
Tekening 1 van 2
Definitief

Schaal:	1:200
Papierformaat:	Ao 841x1189mm
Projectcode:	TNZ_2019_01
Tekeningnummer:	TNZ_2019_01_T04-6.1
Datum:	13-05-2019

Maten in meters, tenzij anders vermeld
Materiaalmaten in mm, tenzij anders vermeld
Peilmaten in meters t.o.v. N.A.P., tenzij anders vermeld
Diameters in mm, tenzij anders vermeld

N

adviseurs • ingenieurs • openbare ruimte

Tekening 1
Tekening 2

Tekening 1
Tekening 2

Piet Heinstraat

Leidinglaan

Aanvullen met grond en inzaaien met gras

Aansluiten op bestaande situatie

Aansluiten op bestaande situatie

Deklaag aanbrengen in rijbaan. T.p.v. rioolwerkzaamheden en bestaand dichtgeblokt vak volledig pakket asfalt aanbrengen.

Aansluiten op bestaande situatie met verloopband TB 130/150-TB 180/200

Aansluiten op bestaande situatie met verloopband TB 130/150-TB 180/200

Aansluiten op bestaande situatie met verloopband TB 130/150-TB 180/200

Aansluiten op bestaande situatie

Aansluiten op bestaande situatie

Bord L08 (doodlopend) toevoegen op verkeersbordpaal

Verloopband TB 180/200x250-MV

Verloopband TB 180/200x250-MV

Verloopband TB 180/200x250-MV

Verloopband/ TB 180/200x250-MV

Verloopband TB 180/200x250-MV

Vooropname woning uitvoeren voor aanvang werkzaamheden

Betonplaat handhaven

Bestaande bossage handhaven

1x strek BKK wit

1x strek BKK wit

1x strek BKK wit

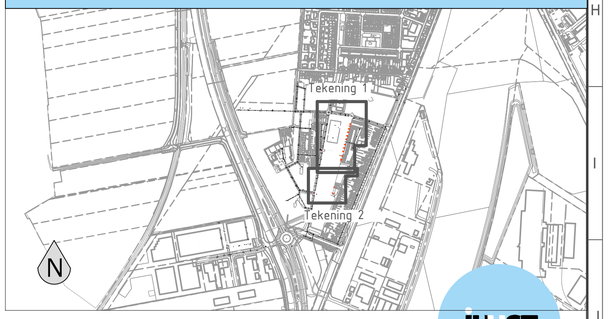
inrit

LEGENDA

- OB60x200 — Aanbrengen opsluitband 60x200 mm, Kleur: donkergrijs
- TB 180/200 x250 — Aanbrengen trottoirband 180/200x250 mm, Kleur: donkergrijs
- BTT 300x300 — Aanbrengen goot 1x strek betontegel 300x300x60 mm
- Kant asfalt — Kant asfalt
- Rood — Aanbrengen asfaltverharding, Kleur deklaag: Rood
- Zwart — Aanbrengen asfaltverharding, Kleur deklaag: Zwart
- 300x300 — Aanbrengen betontegels 300x300x60 mm in halfsteensverband, Kleur: grijs
- 2.0% — Afschotrichting met afschotpercentage
- Aanbrengen straatkolk/ trottoirkolk
- B38007 1.81 — Nieuw aan te brengen riolering met putnummer, putdekselhoogte, lengte, materiaal, diameter, afschot, afschotrichting en drain in drainkoffer
- Aanbrengen kolken met kolkaansluiting
- Aanbrengen huisaansluiting
- Aanbrengen drempelmarkering
- Parkeervakscheiding
- Bebouwing
- Erfgrens
- Werkgrens (met 5m offset)
- Materiaalgrens
- inrit — Locatie inrit
- Handhaven verkeersbord met verkeersbordpaal
- Aanbrengen invalideoprit in trottoir
- Gras — Aanbrengen gras
- Frezen getrapte aansluiting
- Herstraten elementenverharding

0 2 4 6 8m

OVERZICHT



Gemeente Terneuzen
Stadhuisplein 1
4531 GZ Terneuzen

Goessestraatweg 19
4421 AD Kapelle
+31 (0)85-9020222
info@juust.nl

	Wijziging:	Getekend:	Gecontroleerd:	Geaccordeerd:	Datum:
	Eerste uitgave	G. Schrijver	M. Huzen	S. Theunissen	8-03-2019
A	Diverse aanpassingen	G. Schrijver	M. Huzen	S. Theunissen	05-04-2019
B	Diverse aanpassingen	G. Schrijver	M. Huzen	S. Theunissen	13-05-2019
C					
D					

Vervanging riolering
Piet Heinstraat, Sluiskil

Nieuwe situatie
Tekening 2 van 2
Definitief

Schaal:	1:200
Papierformaat:	A1 594x841mm
Projectcode:	TNZ_2019_01
Tekeningnummer:	TNZ_2019_01_T04-6.2
Datum:	13-05-2019

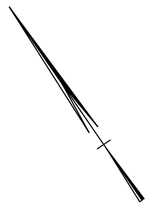
Maten in meters, tenzij anders vermeld
Materiaalmaten in mm, tenzij anders vermeld
Peilmaten in meters t.o.v. N.A.P., tenzij anders vermeld
Diameters in mm, tenzij anders vermeld

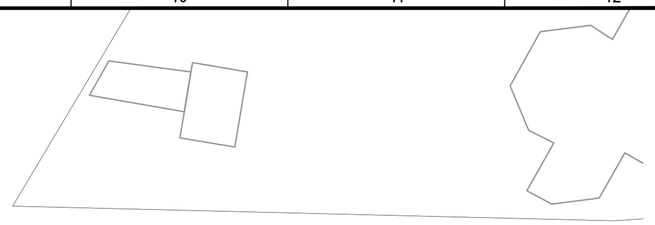
N

adviseurs • ingenieurs • openbare ruimte

REVISIE BOVENAANZICHT

Schaal 1:250m





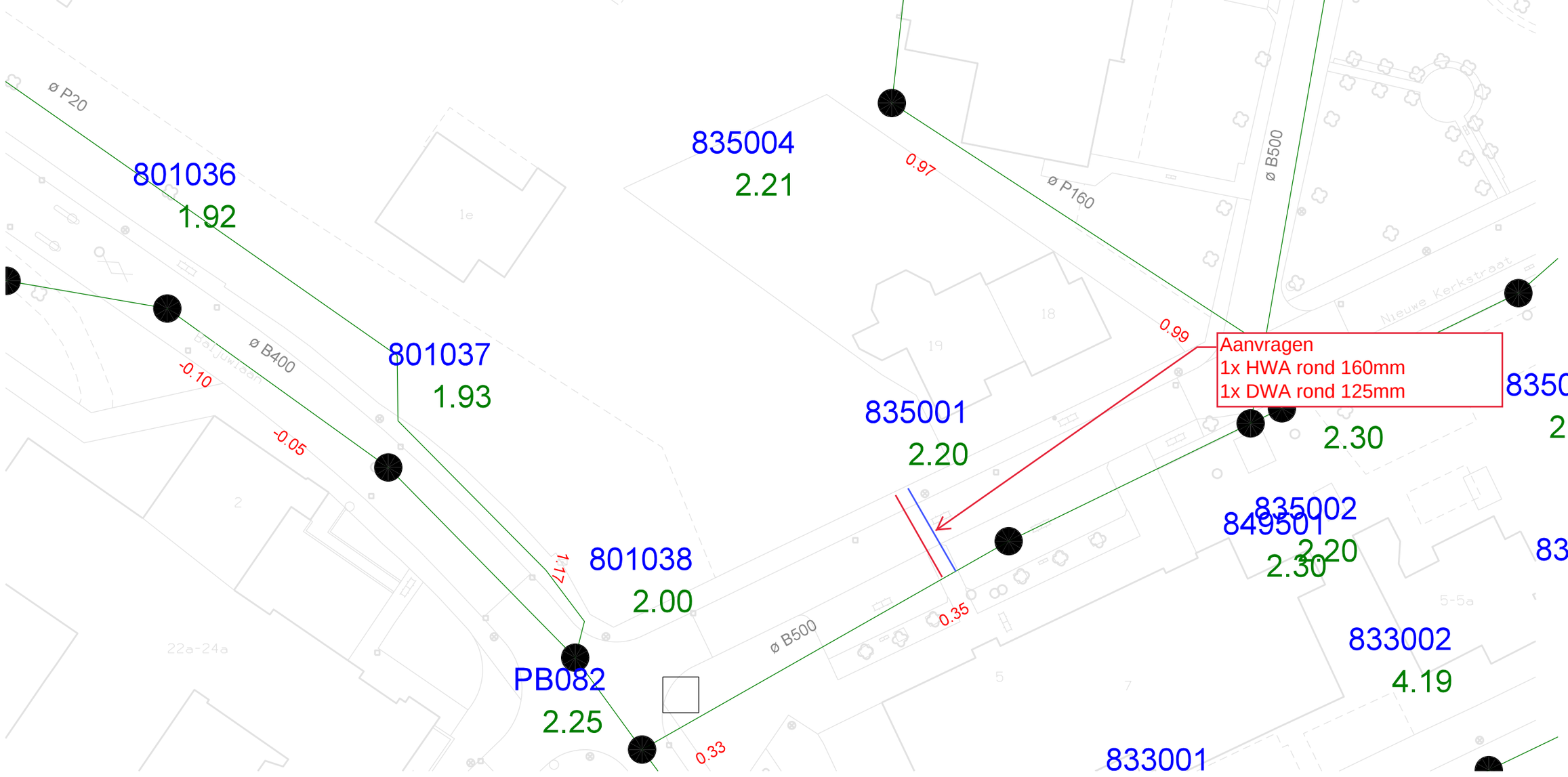


Opmerkingen

- Alle maten in meters tenzij anders vermeld
- Peilmaten in meters t.o.v. N.A.P. tenzij anders vermeld

nr.	omschrijving	datum	getekend	vrijgegeven

Projectomschrijving: Nieuwe riolering Baljuwlaan Sluiskil		Projectnummer: I20M0137	
Tekeningomschrijving: Revisie		Tekeningnummer: I20M0137-REV-001	
Opdrachtgever: Gemeente Terneuzen		Schaal: 1:250	Formaat: a2
Tekenaar: JS	Datum uitgifte: 15-07-2020	H4A Infratechniek B.V. Losplaatsweg 1 • 4551 LZ Sas van Gent +31(0)115 841 000 • info@h4a.nl www.H4A.nl uniek in zijn combinatie	
Projectleider: RvQ	Status: v1		


ø P20
801036
1.92
801037
1.93
ø B400
-0.10
-0.05
801038
2.00
1.17
PB082
2.25
0.33
ø B500
0.35
835004
2.21
0.97
ø P160
0.99
Aanvragen
1x HWA rond 160mm
1x DWA rond 125mm
835001
2.20
2.30
835002
849501
2.20
2.30
833002
4.19
833001

Kenmerk R001-1284768NJH-V02-agv-NL

Bijlage 4 Meet en monitoringsplan extra gegevens Sluiskil

Memo

onderwerp	Voorstel aanvullend grondonderzoek Sluiskil	**datum**	19 mei 2022
bestemd voor	Rijkswaterstaat Zee en Delta - Middelburg	**referentie**	215630_AdB_MEM_0001.V1.0
ter attentie van	[redacted]	**projectnummer**	215630
opgesteld door	[redacted]		
gecontroleerd door	[redacted] 5.1.2.e		

1 Inleiding

Tauw, Deltares en Aveco de Bondt doen in opdracht van Rijkswaterstaat onderzoek naar de grondwateroverlast in Sluiskil. De afgelopen weken heeft het onderzoek zich met name gericht op de systeemanalyse. Er zijn gegevens verzameld van de verschillende stakeholders en deze zijn geanalyseerd. Uit deze analyse blijkt dat de lokale bodemopbouw zeer heterogeen is en dat de hoeveelheid (diepe) bodemgegevens in de dorpskern van sluiskil beperkt is.

In week 16 zijn er twee overleggen geweest tussen Tauw, Deltares en Aveco de Bondt, waarbij de systeemanalyse en beschikbaarheid van gegevens is besproken. In het tweede overleg is daarnaast een geoloog vanuit Deltares aangesloten om mee te denken over de heterogene bodemopbouw in relatie tot het afzettingsmilieu.

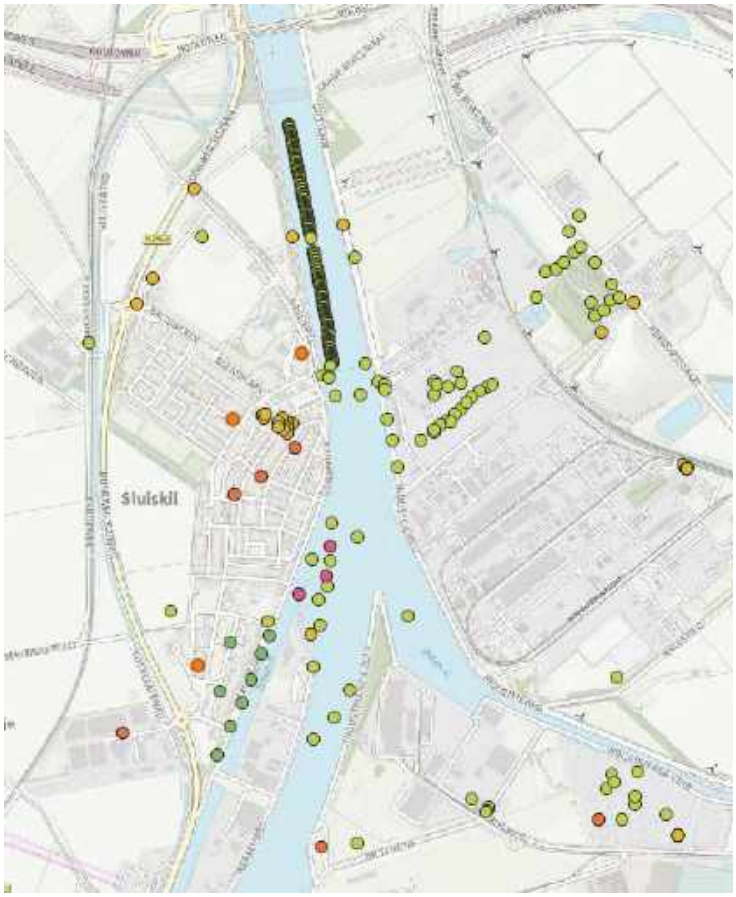
Gezien het niet complete beeld qua bodemopbouw en het ontbreken inzichten in de diepe grondwaterstanden, is het voorstel om aanvullend veldonderzoek uit te voeren. Dit aanvullende bodem en grondwateronderzoek draagt bij aan een beter systeembegrip, daarnaast worden de aanvullende gegevens gebruikt als input én ter validatie van het grondwatermodel. In onderstaande paragraven wordt een voorstel gedaan voor het aanvullend bodem en grondwateronderzoek.

2 Aanvullend grondonderzoek

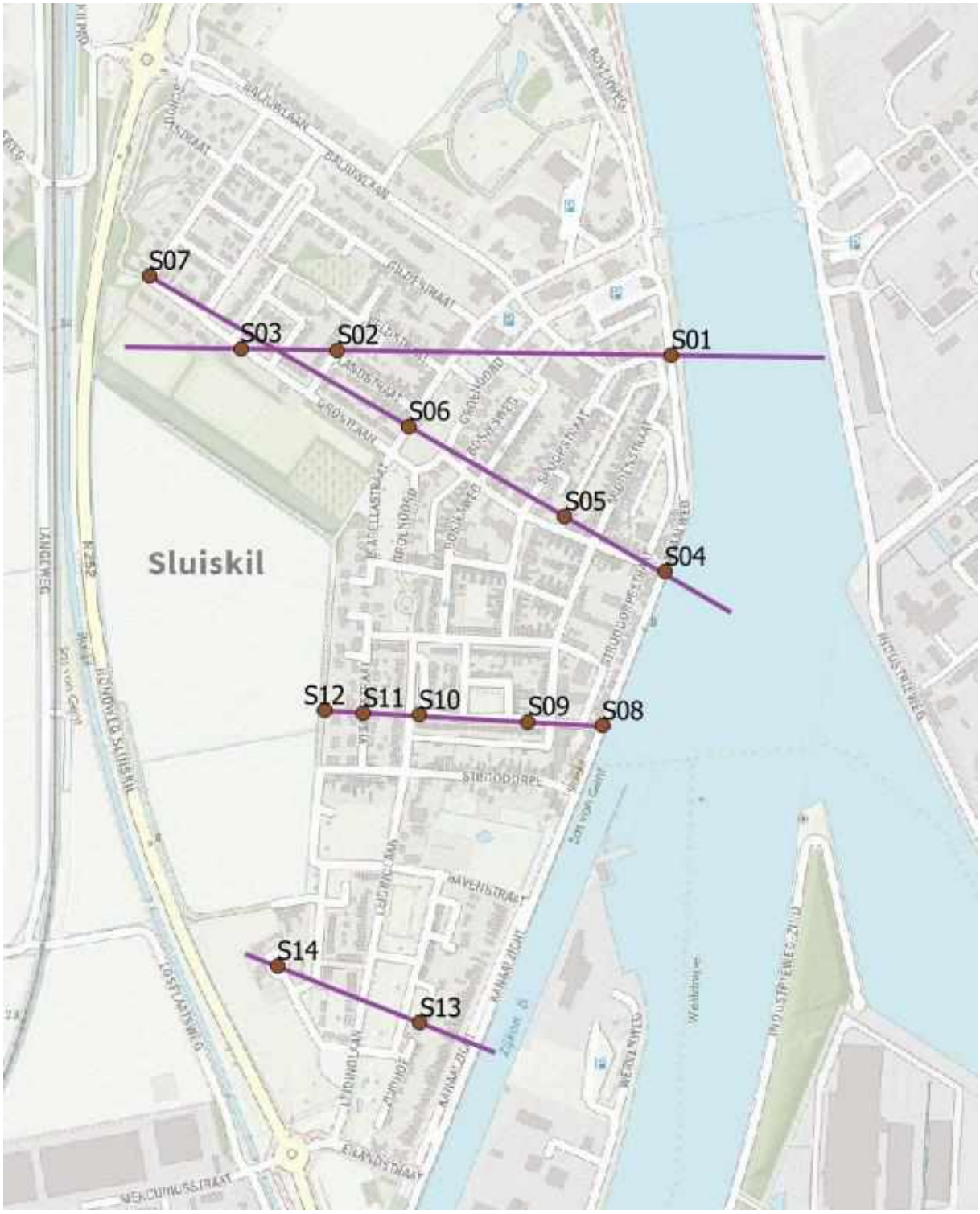
2.1 Sonderingen

In Figuur 1 zijn alle beschikbare boringen en sonderingen weergegeven. Wat opvalt is dat de hoeveelheid (diepe) sonderingen en boringen in de dorpskern van Sluiskil beperkt is. De beschikbare sonderingen in Sluiskil zijn vaak clusters uitgevoerd voor bijvoorbeeld woningbouw. In Figuur 2 wordt een voorstel gedaan voor een aantal sondeerraaien. Voor het bepalen van deze raaien is reeds gekeken naar locaties van al uitgevoerd grondonderzoek. Dit om zo effectief mogelijk de ondergrond verder in kaart te brengen, zonder onnodig veel te hoeven sonderen.

Langs deze raaien willen we aanvullende (waterspannings) sonderingen uitvoeren tot een diepte van -25 m NAP. Door langs deze raaien een aantal sonderingen uit te voeren kunnen er geologische profielen worden opgesteld dwars op het kanaal. Hierbij onderscheiden we drie profielen. Één profiel waar geen damwand aanwezig is (Noord), één profiel tpv van de 11 m lange damwand (Midden), en één profiel tpv de 6 m lange damwand (Zuid). Daarnaast kunnen er met de extra sonderingen ook Noord-Zuid profielen worden gemaakt. Hiermee verwachten we de getijdegeul opvulling ter plaatse van de dorpskern beter te kunnen karteren.



Figuur 1: locaties beschikbare boringen en sonderingen



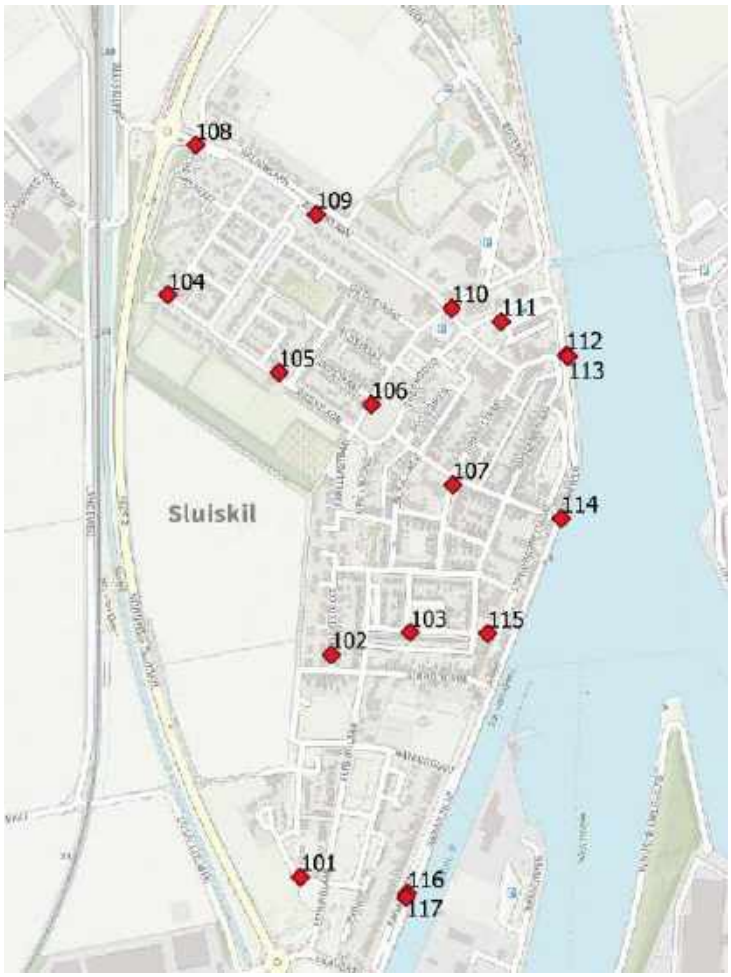
Figuur 2: voorstel raaien (paarse lijnen) en sondeerlocaties (S-punten) uit te voeren sonderingen

2.2 Peilbuizen

De gemeente Terneuzen heeft een aantal peilbuizen binnen Sluiskil vanuit het grondwatermeetnet. De locaties van de peilbuizen zijn weergegeven in Figuur 3. Ten behoeve van dit onderzoek is de meetfrequentie van de telemetrische loggers verhoogd naar 1x per 10 minuten. Hiermee krijgen we op korte termijn beter inzicht in de dynamiek van de freatische grondwaterstanden binnen het onderzoeksgebied. Het grondwatermeetnet van de gemeente Terneuzen bestaat hoofdzakelijk uit freatische peilbuizen met een filterstelling van 2-3 m-mv. Er zijn twee peilbuizen (113 & 117) die iets dieper staan met een filterstelling van 4-5 m-mv. Om inzicht te krijgen in de grondwaterdynamiek achten we het noodzakelijk om meerdere diepe peilbuizen te plaatsen.

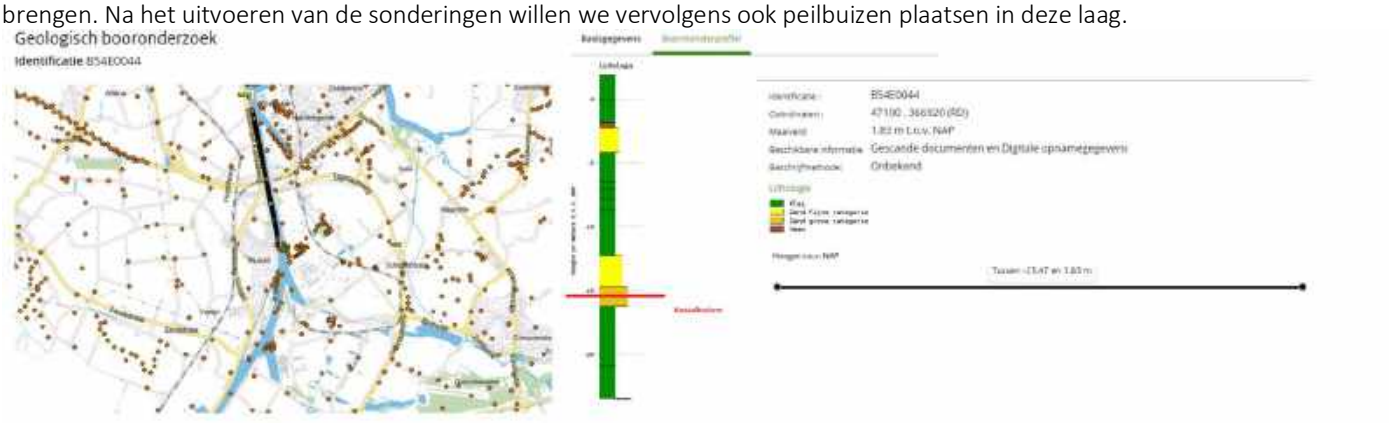
Het meten van de grondwaterstanden op meerdere dieptes en in de verschillende pakketten draagt bij aan een beter systeembegrip en helpt bij het onderzoeken van de volgende vragen:

- In hoeverre staat het kanaal in direct contact met het grondwater?
- Is er sprake van meerdere watervoerende pakketten en welke weerstandslagen kunnen we onderscheiden (inzicht in weerstand van het heterogene bodempakket/getijdegeul)?



Figuur 3: huidige (ondiepe) peilbuislocaties gemeente Terneuzen

Op basis van de reeds beschikbare boringen, sonderingen en dinoloket is af te leiden dat onder de getijdegeul afzettingen zich een laag bevindt met grof zandig materiaal. Deze laag wordt tevens teruggevonden net onder de kanaalbodem. In Figuur 4 is het voorkomen van deze grofzandige laag weergegeven. Deze wordt in het merendeel van het beschikbare grondonderzoek teruggevonden, zij het op verschillende dieptes. Middels de in paragraaf 2.1 voorgestelde sonderingen verwachtten we ook de grofzandige laag beter in beeld te kunnen brengen. Na het uitvoeren van de sonderingen willen we vervolgens ook peilbuizen plaatsen in deze laag.



Figuur 4: boorprofiel boring B54E0044 (dinoloket). Boring is gezet midden in het Gent-Terneuzen Kanaal. Vanaf -15 m NAP wordt een grofzandige laag aangetroffen in de boring. Indicatief is in rood de diepte van de kanaalbodem weergegeven.

2.2.1 Locaties te plaatsen peilbuizen

Voor het bijplaatsen van peilbuizen stellen we een aantal locaties locaties voor vergelijkbaar met de sondeerraaien (noord, midden, zuid).
Hierbij stellen we voor om aanvullend diepere peilbuizen te plaatsen naast reeds beschikbare peilbuizen van de gemeente te plaatsen.

Per gebied (noord, midden, zuid) stellen we de volgende locaties voor:

Locatie 1: Noord (geen damwand)

In het noorden zijn twee peilbuizen aanwezig met een verschillende filterstelling. Dit zijn peilbuis 112 & 113. Het voorstel is hier om aanvullend één diepe peilbuis te plaatsen. Voorafgaand aan plaatsing van de peilbuis wordt eerst een diepe grondboring gemaakt. Aan de hand van het boorprofiel worden de exacte filterstellingen bepaald in overleg met de boormeester.

Bestaande peilbuis 112: filter ca. +1,0 – 0,0 m NAP
Bestaande peilbuis 113: filter ca. -4,20 - -5,20 m NAP
Aanvullende peilbuis (PB1): filter ca. -15,0 - -16,0 m NAP. Filterstelling te bepalen door boormeester. Doel is filter te plaatsen in diepe grof zandige laag om interactie met kanaal te onderzoeken.

In figuur 5 worden de voorgestelde locatie voor de aanvullende peilbuis (noord) weergegeven.



Figuur 5: voorstel aanvullende peilbuislocatie

Locatie 2: Midden (damwand RWS onderkant damwand -8,12 m NAP)

Naast de damwand

Om de grondwaterstanden en hun onderlinge interactie te bepalen wordt voorgesteld om twee aanvullende peilbuizen te plaatsen naast de bestaande peilbuis 115. Wel lijkt deze peilbuis last te hebben van instroom waarbij water met enige regelmaat boven maaiveld staat. De peilbuis zal daarom moeten worden naverkend waarbij gekeken wordt of instroom te voorkomen is door bijvoorbeeld aanvullende afdichting. Indien dit niet mogelijk blijkt moet er een vervangende freatische peilbuis worden geplaatst. Voorafgaand aan plaatsing van de peilbuis wordt eerst een diepe grondboring gemaakt. Aan de hand van het boorprofiel worden de exacte filterstellingen bepaald in overleg met de boormeester.

Bestaande peilbuis: 115: filter ca. +1,0 – 0,0 m NAP
Aanvullende peilbuis (PB2): filter ca. -8,0 - -9,0 m NAP. Doel is om grondwaterstand op de hoogte van onderkant damwand te meten.
Aanvullende peilbuis (PB3): filter ca. -15,0 - -16,0 m NAP. Filterstelling te bepalen door boormeester. Doel is filter te plaatsen in diepe grof zandige laag om interactie met kanaal te onderzoeken.

Doorwerking landinwaarts

Om inzicht te krijgen in de doorwerking van het effect van het kanaal op de grondwaterstanden in Sluiskil stellen wij voor ook juist verder van de damwand een tweetal nieuwe meetpunten in te richten. Dit helpt ons om de reikwijdte van de problematiek te kunnen begrijpen en het grondwatermodel

Bestaande peilbuis: 103: filter ca. +1,0 – 0,0 m NAP
Aanvullende peilbuis: filter ca. -8,0 - -9,0 m NAP. Doel is om grondwaterstand op de hoogte van onderkant damwand te meten.

Aanvullende peilbuis (PB5): filter ca. -15,0 - -16,0 m NAP. Filterstelling te bepalen door boormeester. Doel is het filter te plaatsen in dezelfde afzetting als bij peilbuis 115 om de interactie met kanaal te onderzoeken.

In figuur 6 worden de voorgestelde locaties voor de aanvullende peilbuizen (midden) weergegeven.



Figuur 6: voorstel aanvullende peilbuislocaties

Locatie 3: Zuid (damwand Seaports, onderkant damwand -3,25 m NAP)

Naast de damwand

Hier zijn reeds twee peilbuizen aanwezig met een verschillende filterstelling. Dit zijn peilbuis 116 & 117. Het voorstel is hier om aanvullend één diepe peilbuis te plaatsen. Voorafgaand aan plaatsing van de peilbuis wordt eerst een diepe grondboring gemaakt. Aan de hand van het boorprofiel worden de exacte filterstellingen bepaald in overleg met de boormeester.

Bestaande peilbuis 116: filter ca. +1,0 – 0,0 m NAP
Bestaande peilbuis 117: filter ca. -3,7 - -4,7 m NAP
Aanvullende peilbuis (PB6): filter ca. -12,0 - -13,0 m NAP. Filterstelling te bepalen door boormeester. Doel is filter te plaatsen in diepe grof zandige laag om interactie met kanaal te onderzoeken. Op basis van de dichtstbijzijnde sondering verwachten we hier de grofzandige laag minder diep aan te treffen.

Doorwerking landinwaarts

Om inzicht te krijgen in de doorwerking van het effect van het kanaal op de grondwaterstanden in Sluiskil stellen wij voor ook juist verder van de damwand een tweetal nieuwe meetpunten in te richten. Dit helpt ons om de reikwijdte van de problematiek te kunnen begrijpen en het grondwatermodel.

Bestaande peilbuis: 101: filter ca. +1,0 – 0,0 m NAP
Aanvullende peilbuis (PB7): filter ca. -3,7 - -4,7 m NAP. Doel is om grondwaterstand op de hoogte van onderkant damwand te meten.
Aanvullende peilbuis (PB8): filter ca. -15,0 - -16,0 m NAP. Filterstelling te bepalen door boormeester. Doel is het filter te plaatsen in dezelfde afzetting als bij peilbuis 115 om de interactie met kanaal te onderzoeken.

In figuur 7 zijn de voorgestelde locaties voor de aanvullende peilbuizen weergegeven.



Figuur 7: voorstel locaties aanvullende peilbuizen

3 Samenvatting

Aanvullend stellen we het volgende aanvullend sondeer- en grondwateronderzoek voor:

Inspanning	Diepte	Aantal
Sondering (waterspanning)	NAP -25 m NAP	14
Peilbuis	NAP -4,7 m NAP	2
Peilbuis	NAP -9 m NAP	2
Peilbuis	NAP – 16 m NAP	4

Optioneel: vervanging freatische 3,0 m – mv peilbuis 115.

We stellen voor om eerst het sondeeronderzoek uit te voeren. Door het uitvoeren van het sondeeronderzoek brengen we de ondergrond in de woonwijken van Sluiskil beter in beeld. Op basis van het sondeeronderzoek worden vervolgens de exacte peilbuislocaties bepaald. De bepaling van de diepere filterstellingen dient in het veld zelf bepaald te worden aan de hand van de voorafgaande (mechanische) boring.

Indicatie van kosten

Volgt nog

Invulling werkzaamheden
Voorbereiding werkzaamheden + communicatie en afstemming (door Aveco de Bondt en Heijmans)
Plaatsen peilbuizen (door Heijmans)
Plaatsen sonderingen (door Heijmans)
Aansturing tijdens veldwerkzaamheden plaatsen peilbuizen (door Aveco de bondt)
Analyse meetresultaten (door Aveco de Bondt)

Kenmerk R001-1284768NJH-V02-agv-NL

Bijlage 5 Tijdreeksanalyses

Notitie

5.1.1.d

Contactpersoon	
Datum	23 november 2022
Kenmerk	N001-1284768ONN-V01

Tijdreeksanalyse Sluiskil

1 Inleiding

In Sluiskil staan sinds begin december 2020 17 peilbuizen in 4 raaien opgesteld. Sinds juli 2022 zijn daar nog 10 peilbuizen bij geplaatst om de grondwaterstand op verschillende diepten te kunnen meten. Met behulp van een tijdreeksanalyse kan het verloop van grondwatertijdreeksen verklaard worden vanuit verschillende invloeden. Bij tijdreeksanalyses wordt een model gemaakt op basis van verklarende variabelen. In Nederland worden de grondwaterstanden in de regel sterk beïnvloed door neerslag en verdamping. Daarnaast kunnen andere invloeden een rol spelen zoals oppervlaktewaterpeil (lokaal watersysteem en regionale rivieren), grondwateronttrekkingen of ingrepen in het watersysteem. In deze tijdreeksanalyse is gekeken naar de invloed van, neerslag, verdamping en het kanaal op de grondwaterstanden in de omgeving. Voor de tijdreeksanalyse is gebruik gemaakt van het door KWR Waterresearch gemaakte computerprogramma Menyanthes (versie 3.x.c.l (stable)).

2 Werkwijze

Voor het opzetten van de tijdreeksmodellen is gebruik gemaakt van de volgende data voor de periode november 2020 tot november 2022 (2 jaar):

Te verklaren reeks:

- Grondwaterstanden van 17 peilbuizen in Sluiskil met filters op verschillende diepte voor de hele periode van 2 jaar;
- Grondwaterstanden van 10 peilbuizen in Sluiskil met filters op verschillende diepte voor een periode van juli 2022 tot november 2022 (5 maanden);

Verklarende reeksen:

- Uurlijkse neerslagdata van meetstation Westdorpe, afkomstig van het KNMI;
- Dagelijkse verdampingsdata van meetstation Westdorpe, afkomstig van het KNMI;
- 10-minuten waterhoogte-data van het kanaal Gent-Terneuzen, gemeten bij de brug van Sluiskil, afkomstig van Rijkswaterstaat

Het doel van de tijdreeksmodellen is om de grondwaterstand in de peilbuis te benaderen door middel van de verklarende variabelen. Met behulp van de verklarende variabelen wordt voor de tijdreeksmodellen een gesimuleerde grondwaterstand verkregen. Deze gesimuleerde grondwaterstand kan vervolgens worden vergeleken met de werkelijk gemeten grondwaterstanden. De tijdreeksmodellen zijn lineair gemodelleerd waarbij de verklarende variabelen een meetinterval van 1 uur meekregen (de dagelijkse verdampingsdata zijn hiertoe geïnterpoleerd).

In deze analyse is speciaal gekeken naar de invloed die het kanaalpeil heeft op de grondwaterstanden. Per peilbuis is een model opgesteld waarbij neerslag en verdamping als verklarende variabelen zijn opgegeven. Neerslag en verdamping zijn in Nederland in de regel de voornaamste verklarende variabelen voor de grondwaterstand. Daarnaast is er per peilbuis nog een model opgesteld met als verklarende variabelen zowel neerslag, verdamping én kanaalpeil. Vervolgens is gekeken naar de verschillen tussen de mate waarin de tijdreeksmodellen (met en zonder kanaalpeil als verklarende variabele) de grondwaterstand simuleren. Oftewel, kunnen we door het toevoegen van een extra verklarende variabele (kanaalpeil) het model significant verbeteren. In Menyanthes wordt onder andere door middel van de volgende statistische punten een waarde gehecht aan het verklarende vermogen en de bruikbaarheid van een tijdreeksmodel:

1. **Verklarende variantie moet tenminste 70% zijn**: In Menyanthes wordt de maat van hoe goed de grondwaterstand gemodelleerd kan worden, uitgedrukt in de verklarende variantie, of wel Explained Variance Percentage (EVP). Over het algemeen wordt aangehouden dat een reeks voldoende verklaard kan worden als de EVP boven de 70% ligt. Een indicatie dat het kanaal invloed heeft op de grondwaterstanden is wanneer de EVP verbeterd bij een tijdsreeksmodel door, naast neerslag en verdamping, ook het kanaalpeil toe te voegen als verklarende variabele. Verbeteringen die kleiner zijn dan 3 procentpunt worden als statistisch insignificant beschouwd. Dit kan namelijk statistisch toeval duiden.

2. **Verdampingsfactor tussen 0,5 en 2,0**: De gemiddelde verhouding tussen de actuele en de referentieverdamping wordt in Menyanthes de verdampingsfactor genoemd. Deze waarde geeft aan of het aandeel van de neerslag en verdamping correct is gemodelleerd. Deze waarde dient tussen de 0,5 en 2 te liggen. Als de verdampingsfactor hier sterkt van afwijkt dan klopt het model waarschijnlijk niet, omdat neerslag en/of verdamping dan veel te sterk/zwak wordt gebruikt om de gemeten grondwaterstand te benaderen.

3. **Het effect dient significant te zijn**: In een goed model dient het effect van de neerslag en de verdamping op de grondwaterstand of stijghoogte significant te zijn. In Menyanthes wordt de absolute waarde van M0 berekend (dat is een maat van de stationaire invloed) voor alle unieke verklarende variabelen. Voor een goed functionerend model dient de M0 waarde van de verklarende variabelen neerslag en verdamping groter te zijn dan 2 maal de standaardafwijking. Als dit het geval is, kan er met 95% zekerheid gezegd worden dat

er een effect van neerslag en verdamping op de grondwaterstand is en daarmee het gebruik van neerslag en verdamping als verklarende variabelen geoorloofd is. Indien de waarde M0 tussen 1 en 2 maal de standaardafwijking valt dan is de methode mogelijk minder bruikbaar, maar geeft dit niet direct aanleiding om het tijdreeksmodel als “slecht” te bestempelen.

Aangezien het in deze analyse vooral gaat om de mate van invloed van het kanaal op de grondwaterstanden is specifiek gekeken naar de M0 van het kanaalpeil als verklarende variabele. Dit beschrijft het stationair effect (meters verlaging of verhoging) van het kanaal op de grondwaterstand bij de peilbuis. Het is daarmee een maat voor de doorwerking van het kanaalpeil op de grondwaterstand. De waarde ligt tussen de 0 en 1, waarmee een waarde van bijvoorbeeld 0,7 betekent dat bij een verhoging van het kanaalpeil van 1 m, de grondwaterstand met 0,7 m wordt verhoogd. Bij een waarde hoger dan 1 is het model onbetrouwbaar.

3 Resultaten

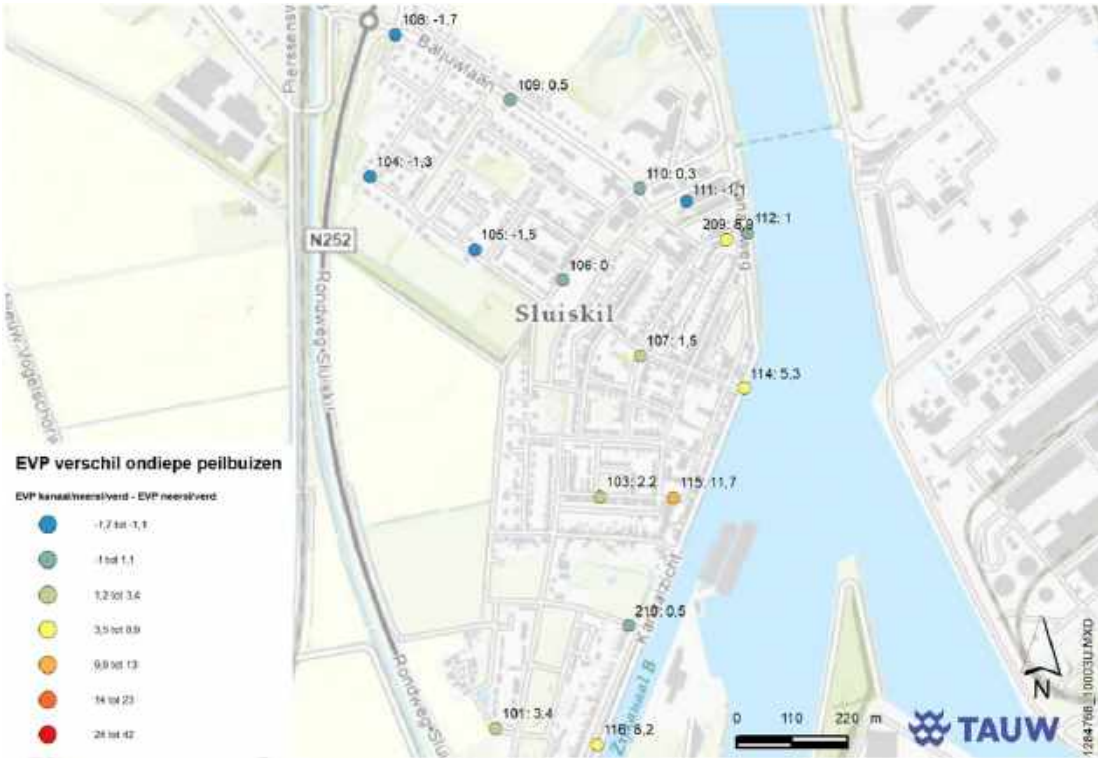
Met behulp van tijdreeksanalyses is onderzocht welke peilbuizen onder directe invloed staan van peilfluctuaties in het kanaal. Hierbij is onderzocht in welke mate de grondwaterstand voorspeld kan worden middels neerslag en verdamping en in welke mate het kanaal en kanaalpeilfluctuaties een aantoonbare invloed vormen. In onderstaande tabel zijn de EVP en M0_river voor alle modellen weergegeven. Ook is in kolom 4 het verschil in EVP opgenomen dat ontstaat na het toevoegen van het kanaalpeil als verklarende variabele (ten opzichte van het model waarin alleen neerslag en verdamping zijn gebruikt als verklarende variabele). Een hogere waarde betekent meer invloed van kanaalpeilfluctuaties op de grondwaterstand.

Tabel 1 Verklaarde variantie percentage en M0 van de onderzochte tijdreeksmodellen, per peilbuis. Peilbuizen dieper dan 2 m -NAP (die tot in het holocene zandpakket reiken) zijn lichtblauw gearceerd.

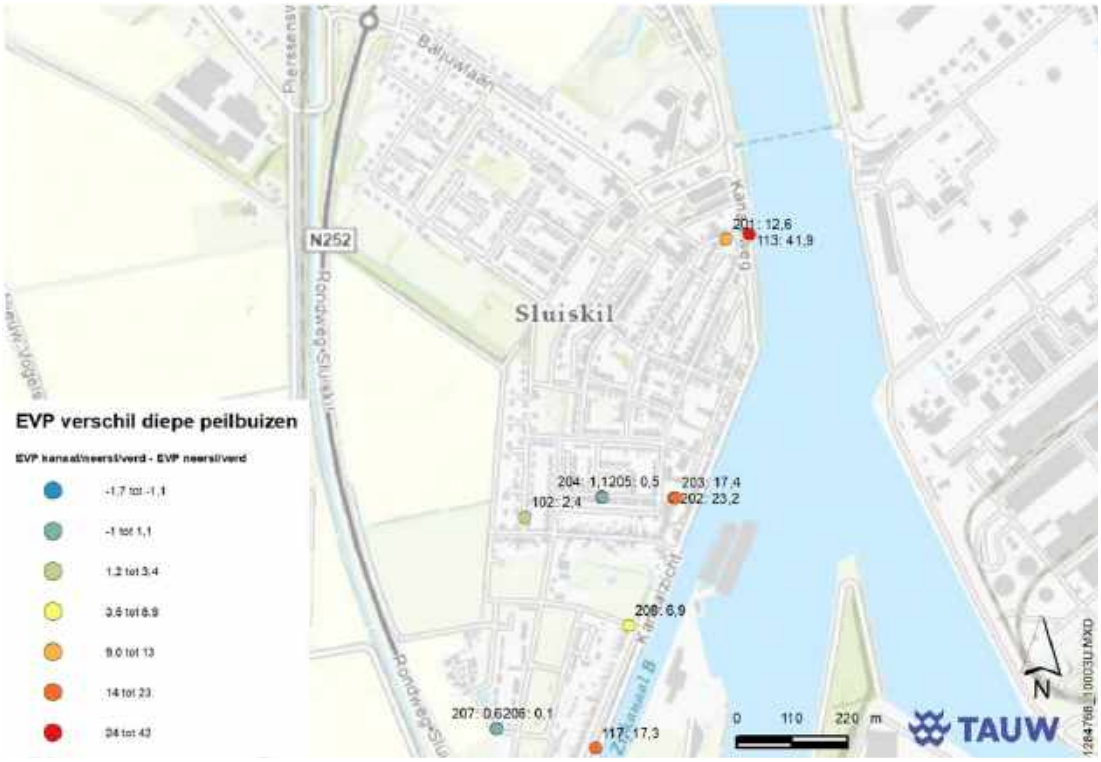
	EVP (in %)			M0_river (factor doorwerking kanaal)
Peilbuis nummer	Neerslag en verdamping	Neerslag, verdamping en kanaalpeil	Verschil in EVP door toevoegen kanaalpeil	Neerslag, verdamping en kanaalpeil
101	89.4	92.8	3.4	18.6
102	86.4	88.8	2.4	0.94
103	86.4	88.6	2.2	0.34
104	81.4	80.1	-1.3	0
105	82.2	80.7	-1.5	0
106	81.9	81.9	0	1.1
107	78.4	79.9	1.5	0.45
108	82.4	80.7	-1.7	0
109	85	85.5	0.5	0.55
110	90.3	90.6	0.3	1

	EVP (in %)			M0_river (factor doorwerking kanaal)
111	92.7	91.6	-1.1	0.02
112	85.7	86.7	1	0.2
113	47.9	89.8	41.9	0.62
114	84.9	90.2	5.3	1.08
115	59.5	71.2	11.7	0.36
116	79.7	87.9	8.2	0.54
117	70.2	87.5	17.3	0.49
201	85	97.6	12.6	0.52
202	71.5	94.7	23.2	0.71
203	78.1	95.5	17.4	0.67
204	93.6	94.7	1.1	0.3
205	95	95.5	0.5	0.25
206	89.2	96.1	6.9	0.49
207	83.7	84.3	0.6	0.4
208	85.7	85.8	0.1	0.45
209	89.3	98.2	8.9	0.47
210	94.9	95.4	0.5	0.41

In Figuur 1 is het verschil in EVP weergegeven op de kaart voor de ondiepe peilbuizen. Aan de kleur van de bolletjes is duidelijk te zien dat het kanaalpeil de grondwaterstand met name dichtbij het kanaal beïnvloedt. In Figuur 2 staan de diepe peilbuizen weergegeven. Hier staan de peilbuizen die de grootste verandering laten zien (113, 117, 202 en 203). Deze staan naast het kanaal en in direct hydraulisch contact met het kanaal omdat de kwelstroom niet wordt tegengehouden door leemhoudende lagen. De EVP van peilbuis 113 gaat van 47.9% naar 89.8%, een forse toename van 41.9% die kan worden verklaard door het ontbreken van een damwand. Op dit stuk wordt de oever slechts beschermd door een stortstenen wand waardoor het kanaal direct in contact komt te staan met het grondwater in de nabije omgeving. Verder weg gelegen en ondiepe peilbuizen laten bijna geen verandering in EVP zien, of zelfs een afname. Hier wordt het verklarende vermogen van het model niet verbeterd door toevoegen van het kanaalpeil, en wordt de kwelstroom tegengehouden door leemhoudende laagjes en/of een damwand.

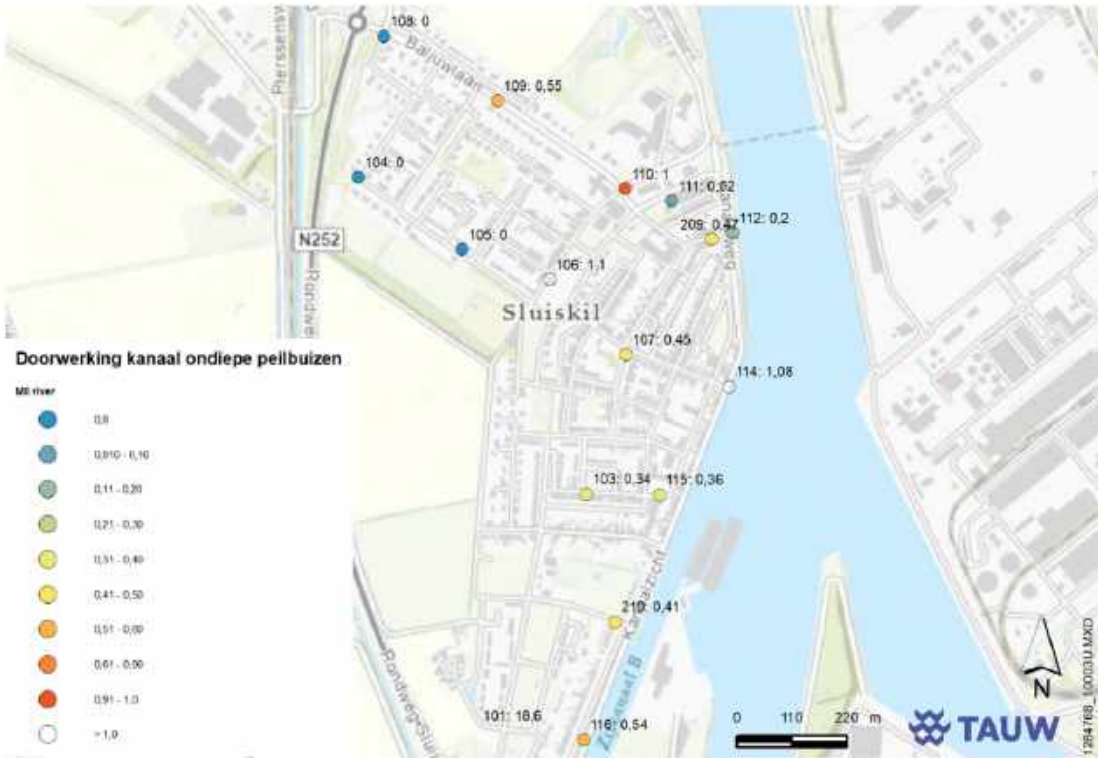


Figuur 1 Verschil in voorspelbaarheid tussen een tijdreeksmodel met neerslag, verdamping en het kanaalpeil als verklarende reeksen versus de voorspelbaarheid van een tijdreeksmodel met alleen neerslag en verdamping als verklarende reeksen. Weergegeven zijn de ondiepe peilbuizen in het gebied.

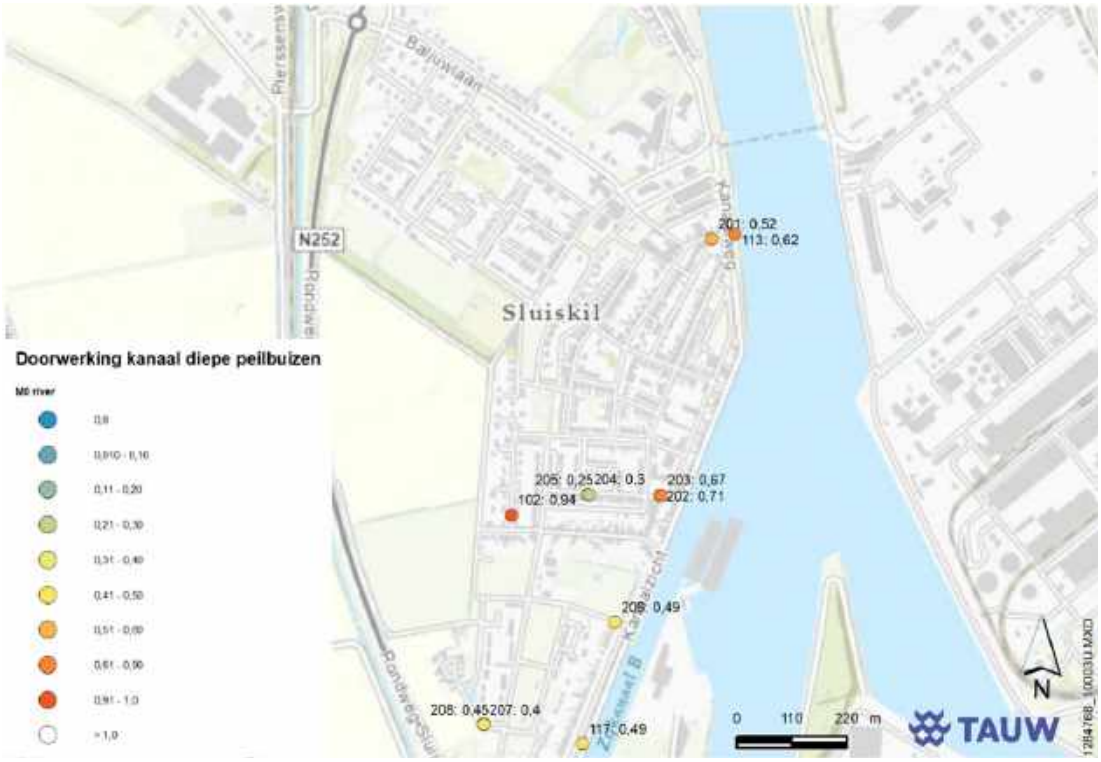


Figuur 2 Zelfde als figuur 1, maar dan voor ondiepe peilbuizen in het gebied.

In Figuur 3 en Figuur 4 staan de M0-waarden per peilbuis weergegeven op de kaart. De stationaire verhoging van de grondwaterstand wordt als significant beschouwd bij een waarde van 0,20 of hoger. Over het algemeen fluctueert het kanaalpeil niet meer dan 30 cm naar beneden of naar boven toe. Bij een stijging van 30 cm werkt het peil 6 cm door op locaties met een doorwerkfactor van 0,20. Een doorwerking van 5 cm of minder wordt in dit kader niet meer als significant beschouwd. Een doorwerking van meer dan 1 wordt niet als betrouwbaar beschouwd. De doorwerking van het kanaal is tot ver in Sluiskil merkbaar. Met name de diepere peilbuizen ondervinden een grote stijging in grondwaterstand als gevolg van de doorwerking van het kanaal (zie Figuur 4).



Figuur 3 Mate van doorwerking van kanaalpeilfluctuaties op de grondwaterstanden in ondiepe peilbuizen.



Figuur 4 Mate van doorwerking van kanaalpeilfluctuaties op de grondwaterstanden in diepe peilbuizen.

4 Conclusie

Op basis van Figuur 3.23 wordt geconstateerd dat diepe peilbuizen die vlakbij het kanaal meetbaar worden beïnvloed door kortdurende fluctuaties (zie bijvoorbeeld peilbuis 201, 113, 203, 202, 206 en 117). Een instationair effect (kortdurende fluctuaties) van peilfluctuaties kan hier significant worden aangetoond. Enkele ondiepe peilbuizen laten binnen een afstand van 50 meter zien dat ze ook meetbaar worden beïnvloed door kortdurende peilbuisfluctuaties (zie bijvoorbeeld peilbuis 116, 115, 114 en 209). Binnen 50 m van het kanaal wordt over het algemeen geconstateerd dat een duidelijke invloed is te meten van kortdurende kanaalpeilfluctuaties op de grondwaterstanden (peilbuis 112 is hier bijvoorbeeld een uitzondering op). Op grotere afstanden is dit effect op bijna alle locaties niet meer significant meetbaar in zowel diepe als ondiepe peilbuizen. De aanwezigheid van klei- en leemlagen zal de instationaire doorwerking van peilfluctuaties op grotere afstand van het kanaal hier naar verwachting verhinderen.

Voor de stationaire doorwerking kan worden geconcludeerd dat peilbuizen 101, 102, 103, 107, 109, 113, 115, 116, 117 en 201-210 (M0 van 0,20 of hoger) significant worden beïnvloed door het kanaal. Dit effect werkt tot een afstand van het kanaal van ongeveer 200 a 300 meter door (peilbuis 109 is hier een uitzondering op waarvoor geen verklaring kan worden gegeven). In de diepere peilbuizen is de invloed van het kanaal sterker meetbaar dan in de ondiepere peilbuizen. Ook hier speelt de afstand tot het kanaal en de aanwezigheid van klei- en leemlagen een rol in het dempen van de invloed en doorwerking van water dat via het kanaal infiltreert naar het achterland.

Gezien het graduele stijghoogteverschil van 1,5 à 2 meter van oost naar west binnen 1 km afstand van het kanaal, kan in het algemeen worden geconcludeerd dat het kanaal een significante stationaire invloed heeft op de grondwaterstanden in Sluiskil. Kortdurende fluctuaties van het kanaalpeil komen alleen voor op korte afstand (binnen 50 meter) van het kanaal omdat voorkomende lokale leem en kleilagen in het freatische pakket het effect afzwakken.

Kenmerk R001-1284768NJH-V02-agv-NL

Bijlage 6 Uitgangspunten en onderbouwing grondwatermodellering

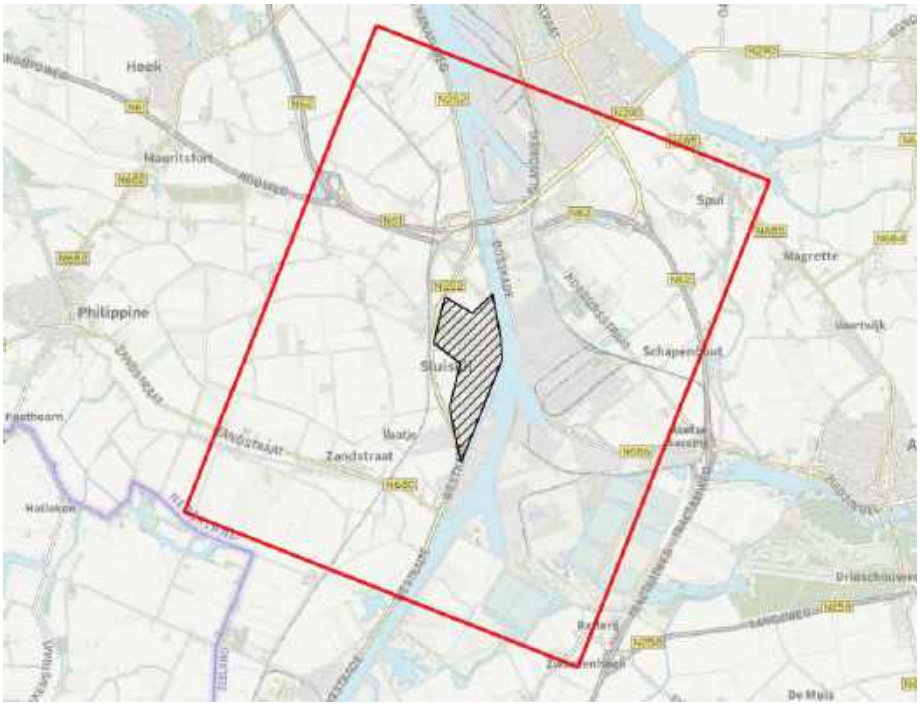
Notitie Uitgangspunten en onderbouwing grondwatermodellering

5.1.2.e

Contactpersoon	
Datum	21 december 2022
Kenmerk	N002-1284768XWT-V01

1 Inleiding

Een grondwatermodel bleek noodzakelijk om de grondwaterproblematiek in Sluiskil beter te kunnen begrijpen en af te kaderen. De belangrijkste invloeden op het grondwatersysteem bepalen de effectiviteit en invulling van een eventuele maatregel om grondwaterstanden in Sluiskil te beheersen. Met een grondwatermodel zijn deze invloeden gekwantificeerd en (lokaal en vlakdekkend) inzichtelijk gemaakt. Het model is daarbij in eerste instantie een aanvulling op de systeemanalyse, waarbij er terugkoppeling is vanuit het model om het begrijpen hoe het grondwatersysteem werkt. Daarnaast is het een belangrijk hulpmiddel om vast te stellen welke hydrologische invloeden (denk daarbij bijvoorbeeld aan de invloed van het kanaal, neerslag, bodemopbouw, afvoer via het oppervlaktewater et cetera) de grondwaterdynamiek bepalen en om vervolgens maatregelen te dimensioneren. De systeemanalyse en de gegevens die aanvullend in het veld zijn verzameld vormen de basis voor de opzet van het grondwatermodel van Sluiskil, het kanaal Gent en Terneuzen en omgeving.
De omvang van het grondwatermodel (rode lijn) en het toepassingsgebied (zwart gearceerd) zijn weergegeven in Figuur 1.1.



Figuur 1.1 De omvang van het grondwatermodel (rode lijn) en het toepassingsgebied (zwart gearceerd)

2 Kwaliteitsborging

Gedurende het gehele proces (vanuit de systeemanalyse tot aan het daadwerkelijk doorrekenen van mogelijke maatregelen met het grondwatermodel) zijn de genomen stappen, invoer en uitkomsten afgestemd en beoordeeld door Deltares. Als onderdeel hiervan is bovendien kennis uitgewisseld en is het proces om te komen tot een toepasbaar grondwatermodel zorgvuldig ingericht en vastgelegd. Een verdere toelichting hierop en de algehele kwaliteitsborging is opgenomen in paragraaf 1.5 en Bijlage 9 van het hoofdrapport.

3 Werkvolgorde grondwatermodel

Rondom het opstellen en inzetten van het grondwatermodel is het volgend proces gevolgd:

1. Opzet grondwatermodel
2. Stationaire kalibratie en validatie
3. Instationaire kalibratie en validatie
4. Gevoeligheidsanalyse (bandbreedte)
5. Vastellen maatgevende invloeden
6. Effectenanalyse potentiële maatregelen

In onderstaande passages lichten wij de verschillende stappen en de uitkomsten nader toe.

3.1 Opzet grondwatermodel en kalibratie (stap 1, 2 en 3)

In eerste instantie is parallel met de systeemanalyse een basisgrondwatermodel opgezet. Met deze stap zijn op hoofdlijnen grote (geo)hydrologische invloeden bepaald en gebruikt om een eerste schifting te maken in mogelijke kansrijke maatregelen. Dit basismodel is stationair opgezet (een evenwichtssituatie die inzicht geeft in structureel hoge grondwaterstanden, 90^{e} percentiel) en gekalibreerd op de grondwatermeetreeksen uit het grondwatermeetnet van Sluiskil.
De aanvullende kennis die is opgedaan over het grondwatersysteem en hydrologische invloeden, is vervolgens verwerkt in een gedetailleerd tijdsafhankelijk (instationair) grondwatermodel. Hiervoor is het basismodel uitgebreid, aangevuld en geschikt gemaakt voor tijdsafhankelijke berekeningen. Dit stelt ons in staat om de dagelijkse fluctuatie van de grondwaterstanden te berekenen, met dagelijkse variatie van onder meer neerslag, verdamping en waterpeilen.
Een uitgebreide onderbouwing van de modelopzet, invoer, en kalibratieresultaten is opgenomen in Bijlage A van deze notitie.

3.2 Gevoeligheidsanalyse en bandbreedte (stap 4)

Met het gekalibreerde grondwatermodel is een gevoeligheidsanalyse uitgevoerd van invoerparameters die 1) bepalend zijn voor de grondwaterhuishouding en 2) op basis van de systeemanalyse bepalend kunnen zijn bij een oplossingsrichting. De analyse geeft inzicht in hoe gevoelig het grondwatermodel (en het grondwatersysteem) is voor wijzingen in de gekalibreerde parameters. Daarnaast helpt het ons om inzichten te verschaffen in de betrouwbaarheid van het model voor aannames die zijn gedaan en voor relevantie van de individuele hydrologische randvoorwaarden voor het algehele grondwatersysteem in Sluiskil.

Bij deze analyse is voor een zestal scenario's een realistische bandbreedte vastgesteld, op basis van ervaringsgetallen, waarbinnen de parameters kunnen variëren. Vervolgens is voor alle scenario's met het model berekend wat de effecten op de freatische grondwaterstanden zijn. De scenario's en de uitgangspunten zijn nader toegelicht in onderstaande tabel.

Scenario #	Naam gewijzigde variabele	Variabele in model	Huidige range variabele	Minimale waarde variabele bandbreedte-analyse	Maximale waarde variabele bandbreedte-analyse
Scenario 1	kanaalbodem; weerstandslaag 3	C4	20 – 40 dagen	5 – 10 dagen	100 – 400 dagen
	Kanaalbodem zijkanaal B; weerstandslaag 2	C3	40 dagen	1 dag[1]	150 dagen
Scenario 2	Kanaalpeil	Rh1	Werkelijk gemeten peil (RWS-data) Fluctuatie tussen NAP +1,86 m – NAP +2,42 m	Werkelijk gemeten peil – 0,30 m	Werkelijk gemeten peil + 0,30 m
Scenario 3	Doorlatendheid damwanden	KD1 KD2 KD3	100 – 200 dagen	25 dagen[2]	500 dagen
Scenario 4	Peil greppels / sloten westelijk van stedelijk gebied Sluiskil	Rh1	NAP +0,10 m tot NAP +0,60 m	Huidig – 0,20 m	Huidig + 0,20 m
Scenario 5	Drainageweerstand westelijke rijkswaterleiding Bodemweerstand onder westelijke rijkswaterleiding	Rc1 C2	5 dagen 10 dagen	1 dagen 0,1 dag	10 dagen 20 dagen
Scenario 6	Weerstand drainageleidingen stedelijk gebied	Dc1	5 tot 35 dagen	1000 dagen	5 dagen

[1]Hiermee wordt het ontbreken van de weerstandslaag (c3) gesimuleerd in het zijkanaal B
[2]in lijn met literatuurgegevens voor een damwand zonder sloten in een zandig bodemprofiel (bron: bodemrichtlijn.nl)

De resultaten van deze analyse zijn opgenomen in Bijlage C. De resultaten zijn weergegeven als de veranderingen van de grondwaterstanden bij een minimale en een maximale waarde uit het omschreven scenario. Uit de analyse kan worden geconcludeerd dat zowel het kanaal als de (werking van) bestaande drainage een relatief grote invloed heeft op de grondwaterstanden in Sluiskil. Dit is modelmatig een bevestiging van conclusies uit analyses van grondwatermetingen en tijdreeksanalyse. In het hoofdrapport wordt nader op de resultaten ingegaan.

3.3 Vaststellen maatgevende invloeden (stap 5)

Het grondwatermodel is vervolgens ingezet om de verschillende (geo)hydrologische invloeden op het grondwatersysteem in Sluiskil in perspectief te plaatsen. Aan de hand van de systeemanalyse en gevoeligheidsanalyse bepalen we met het grondwatermodel hoeveel 'bijdrage' hydrologische invloeden geven aan het totale grondwatersysteem van Sluiskil. Hiervoor zijn de volgende

maatgevende invloeden op de grondwaterstanden van Sluiskil vanuit de systeemanalyse geïdentificeerd:

- Het kanaal
- Het oppervlaktewatersysteem in Sluiskil
- Het westelijke waterleidingkanaal
- De bestaande drainagesystemen

In het grondwatermodel is de bijdrage van de individuele invloeden aan het grondwatersysteem in Sluiskil berekend. Hiervoor is in het grondwatermodel een situatie gesimuleerd hoe de grondwaterstanden in Sluiskil zouden zijn, wanneer een van de genoemde invloeden niet aanwezig is (een zogenoemde aan/uit-analyse). Het verschil tussen de gesimuleerde situatie en de uitgangssituatie geeft inzicht in het effect van de invloed. De resultaten van deze berekeningen zijn opgenomen in Bijlage D en nader beschreven in hoofdstuk 4 van het hoofdrapport. De invloeden tijdsafhankelijk doorgerekend en zijn gepresenteerd voor een situatie waarin structureel hoge grondwaterstanden voorkomen (90e percentiel van de reeksen).

3.4 Effectenanalyse potentiële maatregelen (oplossingsrichtingen) (stap 6)

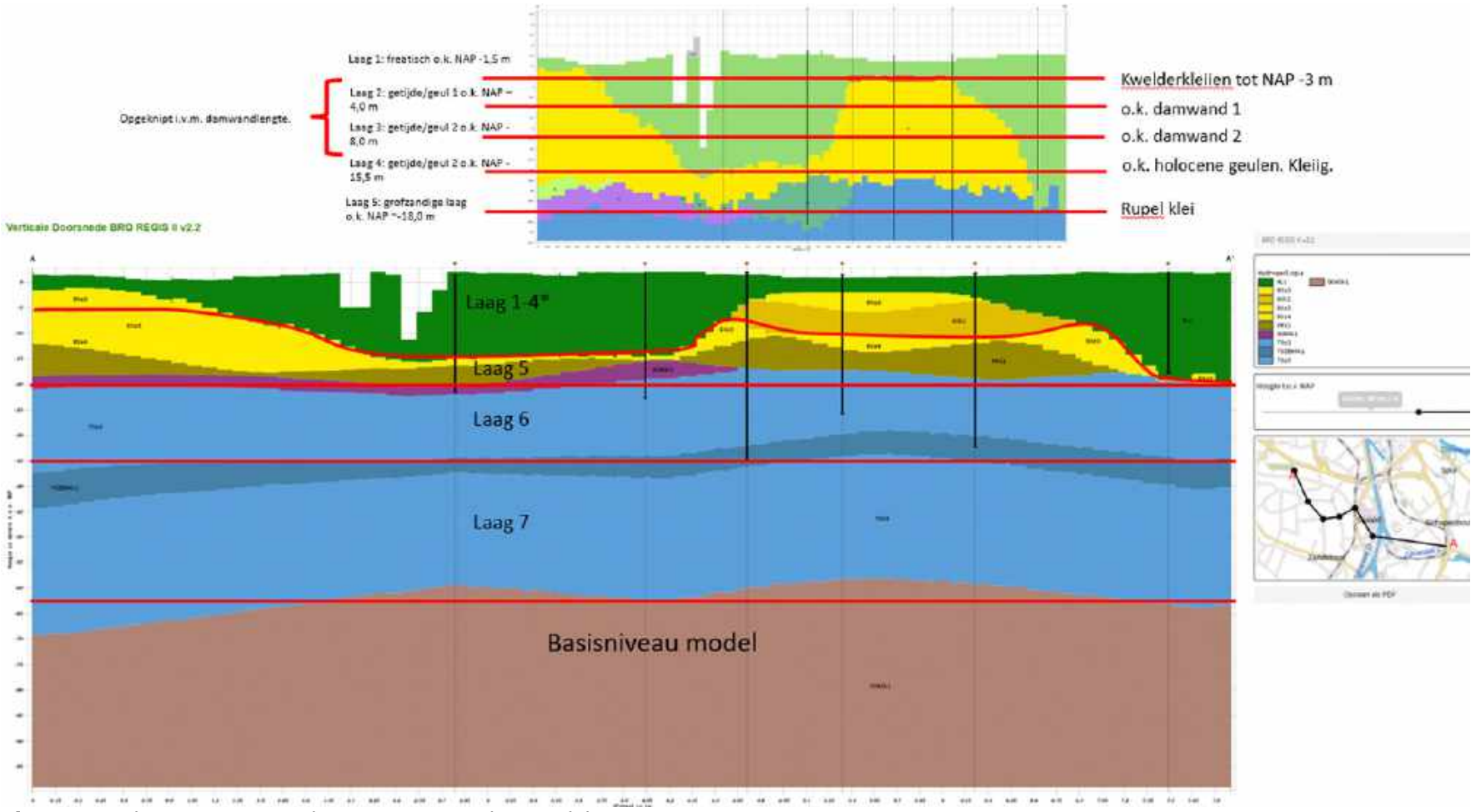
Een toelichting van potentiële maatregelen en de inrichting daarvan is opgenomen in hoofdstuk 6. De maatregelen zijn tijdsafhankelijk doorgerekend en de effecten zijn gepresenteerd voor een situatie waarin structureel hoge grondwaterstanden voorkomen (90e percentiel van de reeksen). Op deze manier worden de effecten weergegeven in een situatie waarin grondwateroverlast veelal wordt ervaren. De resultaten van de effectberekeningen zijn opgenomen in Bijlage 7 van het hoofdrapport.

4 Bijlagen

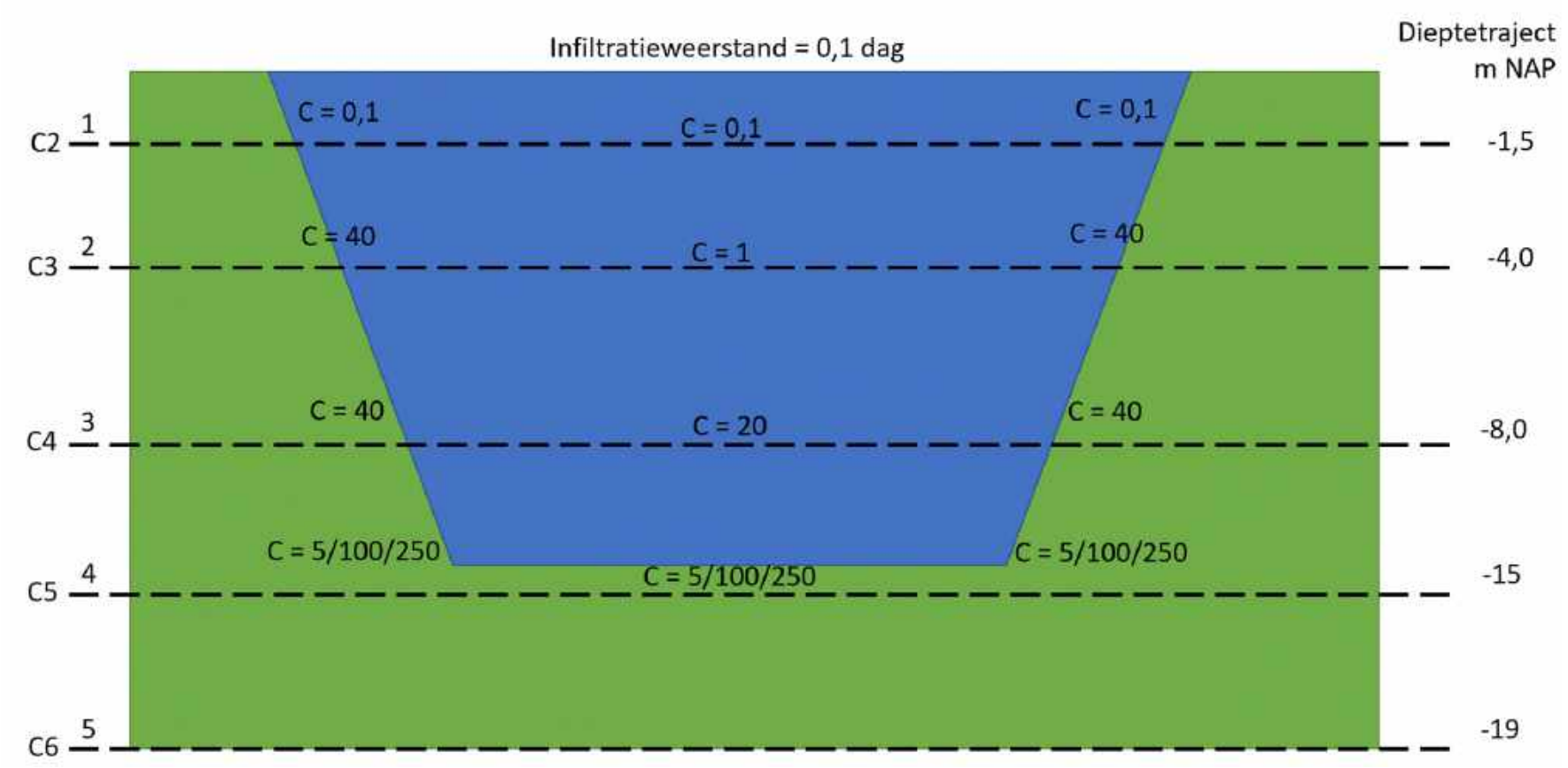
De volgende bijlagen zijn onderdeel van deze notitie:

- Bijlage A: Technische omschrijving achtergrond model
- Bijlage B: Kaarten en figuren technische omschrijving grondwatermodel
- Bijlage C: Bollenkaarten bandbreedte analyse
- Bijlage D: Aan/uit effectkaarten

Bijlage A: Technische beschrijving grondwatermodel Sluiskil



Figuur 1: Schematisatie grondwatersysteem in het model



Figuur 2: schematisatie verticale stromingsweerstand kanaalbodem, de weerstand c5 verschilt ruimtelijk op basis van de verbreiding van de Braakmangeul

Tabel 1: Modeleigenschappen en randvoorwaarden

Modelonderdeel	**Grootte**	**Onderbouwing**
Rekenprogramma	We maken gebruik van state-of-the-art databases voor gegevensbeheer en betrouwbare en snelle rekentechnieken. Zo ontstaat helderheid over de gebruikte data en kunnen de resultaten worden gedeeld. We kiezen per project een passende rekentechniek, afhankelijk van de vraag en lokale geohydrologie. Voor dit project is gekozen voor MicroFEM 4.10.72: semi-3D, eindige elementen methode, uniforme dichtheid. Vanwege de rekensnelheid (vele malen kleiner dan bijvoorbeeld IMOD), stabiliteit, betrouwbaarheid en flexibiliteit van het rekengrid. We hebben ervoor gekozen om randvoorwaardelijkheden voor het grondwatersysteem, zoals de onverzadigde zone en bovengrondse stedelijke invloeden, via separate scripts	

<table>
<tr><th>Modelonderdeel</th><th>Grootte</th><th>Onderbouwing</th></tr>
<tr><td></td><td>buiten het rekenhart te houden. Dan houden we het zo eenvoudig mogelijk, houden we overzicht bij wat berekend wordt en belangrijk: kunnen we instaan voor ons betrouwbaar stedelijk grondwatermodel.</td><td></td></tr>
<tr><td>Constante dichtheid</td><td>Ja</td><td>ondiepe grondwatersysteem is brak door waterkwaliteit kanaalwater (ca. 5000 mg/l), vermoedelijk is het grondwater tot circa NAP -20 m brak. We gaan in de modelberekeningen uit van een constante dichtheid.</td></tr>
<tr><td>Dimensies</td><td>5,2 * 6,5 km</td><td>Groter dan spreidingslengte 1e WVP</td></tr>
<tr><td>Knooppuntafstand</td><td>96 m (buitengebied tot aan modelgrens)
24 m (buiten stedelijk gebied)
6 m (stedelijk gebied Sluiskil)
1 tot 2 m (damwanden, kade)</td><td>Voldoende klein om stedelijke invloeden (watergangen, drainage, (zand)cunetten in de openbare weg, doorsnijding van scheidende lagen en damwanden) in model te brengen en grondwaterstanden op perceelniveau te kunnen berekenen</td></tr>
<tr><td>Modellagen</td><td colspan="2">kD = Transmissiviteit C = weerstand
<table>
<tr><th>MODELLAAG, BODEMPARAMETER</th><th>DIEPTE m NAP</th><th>RANGE kD / C</th><th>BESCHRIJVING</th><th>GEOHYDROLOGIE</th></tr>
<tr><td>Topsysteem,
dh1, dc1, rh1, rc1, ri1</td><td></td><td>NAP -1,3 m tot NAP +2,13 m
0 - 20 dagen</td><td>Specifieke drainageweerstand en infiltratieweerstand van afzonderlijke drainagesystemen, sloten en het kanaal</td><td></td></tr>
<tr><td>Drainageweerstand oppervlaktewatersystemen
h0, c1 (d)</td><td></td><td>NAP -1,60 tot NAP +0,60 m
50 dagen</td><td>Poldersystemen buiten interessegebied</td><td></td></tr>
<tr><td>Freatisch pakket (modellaag 1); ophoogzand en deklaagafzettingen tot NAP -1,5 m
kD1 (m²/d)</td><td>Maaiveld tot NAP -1,5 m</td><td>0,005 tot 0,01 m²/d (damwanden)
1 tot 3 m²/d (natuurlijke bodem + ophooglaag)
5 m²/d (zandcunet)</td><td>Fijn tot grof zandige afzettingen uit formatie van Naaldwijk lp. Walcheren (getijdegeul afzettingen)</td><td>Formatie van Naaldwijk; lp. Walcheren</td></tr>
<tr><td>Hollandveen en fijnzandige / kleiige afzettingen uit getijdegeul
C2 (d)</td><td>Maaiveld tot NAP -1,5 m</td><td>125 – 225 dagen</td><td>Fijnzandige tot kleiige afzettingen uit getijdegeul o.k. steenbestorting Noordzijde
Weerstand ontbreekt t.p.v.: westelijke waterleiding watergang en kanaal Gent-Terneuzen</td><td>Formatie van Naaldwijk; lp. Walcheren; Formatie van Nieuwkoop hollandveen</td></tr>
<tr><td>Geulafzettingen en Boxtel zand
kD2 (m²/d)</td><td>NAP -1,5 m tot NAP -4,0 m</td><td>6 m²/d</td><td>Holocene (fijn)zandige geulafzetting uit Braakmangeul,</td><td>Formatie van Naaldwijk; lp. Walcheren; Boxtel formatie</td></tr>
<tr><td>fijnzandige / kleiige afzettingen uit getijdegeul
C3 (d)</td><td>NAP -4,0 m tot NAP -5,0 m</td><td>1 – 225 dagen</td><td>Fijnzandige tot kleiige afzettingen uit getijdegeul o.k. damwand Seaport
Weerstand ontbreekt t.p.v.: kanaal Gent-Terneuzen</td><td>Formatie van Naaldwijk; lp. Walcheren</td></tr>
<tr><td>Geulafzettingen en Boxtel zand
kD3 (m²/d)</td><td>NAP -5,0 m tot NAP -8,0 m</td><td>5 – 30 m²/d</td><td>Holocene matig fijne geulafzetting uit Braakmangeul</td><td>Formatie van Naaldwijk; lp. Walcheren; Boxtel z3, z4</td></tr>
<tr><td>fijnzandige / kleiige afzettingen uit getijdegeul
C4 (d)</td><td>NAP -8,0 m tot NAP -8,5 m</td><td>1 (braakmangeul) – 50 (opvulling geul zijkanten) dagen</td><td>Fijnzandige tot kleiige afzettingen uit getijdegeul o.k. damwand Sluiskil
Weerstand t.p.v. kanaalbodem op basis van diepte kanaalbodem: weerstand aan weerszijden, geen weerstand in vaargeul.</td><td>Formatie van Naaldwijk; lp. Walcheren</td></tr>
<tr><td>Geulafzettingen en Boxtel zand
kD4 (m²/d)</td><td>NAP -8,5 m tot NAP -15,0 m</td><td>5 – 25 m²/d</td><td>Holocene matig fijne geulafzetting uit Braakmangeul</td><td>Formatie van Naaldwijk; lp. Walcheren; Boxtel z3, z4</td></tr>
<tr><td>fijnzandige / kleiige afzettingen uit getijdegeul
C5 (d)</td><td>NAP -15,0 m tot NAP -16,0 m</td><td>5 – 250 dagen</td><td>Fijnzandige tot kleiige afzettingen uit getijdegeul. Verbreiding op basis van geotop en aangevuld met expert kennis Deltares en Aveco de Bondt (op basis van sonderingen) betreft de verbreiding van de diepte van de geul.
Weerstand t.p.v. kanaalbodem op basis van lodingen kanaalbodem.</td><td>Formatie van Naaldwijk; lp. Walcheren</td></tr>
<tr><td>Zandige afzettingen Koewacht
kD5 (m²/d)</td><td>NAP -16,0 m tot NAP -20,0 m</td><td>5 – 165 m²/d</td><td>Holocene (grof)zandige geulafzetting uit formatie van Naaldwijk lp. Walcheren (Braakmangeul)</td><td>Formatie van Koewacht</td></tr>
<tr><td>Boomse klei
C6 (d)</td><td>NAP -19,0 m tot NAP -22,0 m</td><td>5 dagen (afwezig)
1*10^6 tot 2.4*10^7 dagen (aanwezig)</td><td>kleiige afzettingen uit Boomse Klei, aanwezig vanaf Sluiskil tot het westen van modelgebied. Afwezig westelijk en zuidelijk van Sluiskil</td><td>Formatie van Rupel; lp. Boom</td></tr>
<tr><td>Zandig pakket Tongeren
kD6 (m²/d)</td><td>NAP -22,0 m tot NAP -37,0 m</td><td>12 - 125 m²/d</td><td>Eerste watervoerend pakket</td><td>Formatie van Tongeren, z2</td></tr>
</table></td></tr>
</table>

Modelonderdeel	Grootte	Onderbouwing

Tongeren klei C7(d)	NAP -37,0 m Tot NAP -40,0 m	18.000 tot 45.000 dagen (aanwezig)	Tongeren klei	Formatie van Rupel; lp. Boom
Zandig pakket Tongeren kD7 (m^2/d)	NAP -40,0 m tot NAP -70,0 m	14 – 62 m^2/d	Tweede watervoerend pakket	Formatie van Tongeren, z3

kD en c-waarden o.b.v.:

- Archiefgegevens Aveco de Bondt: Rapportages drainageadviezen, grondwateronderzoeken.
- Regionale gegevens vanuit REGIS II v2.2 (verdeling weerstanden en doorlatendheden diepere pakketten).
- Regionale gegevens uit de Geologische kaart van Nederland.
- Lokale bodemgegevens vanuit GeoTOP v1.4.
- Landschapsmorfologie uit de Archeologische landschappenkaart, BRO geomorfologiekaart en BRO bodemkaart.
- Boringen, sonderingen vanuit Dinoloket.
- Boringen, sonderingen i.h.k.v. dit project (Van Straaten sonderingen, d.d. 27-06-2022).
- Afstemming tussen Aveco de Bondt en Deltares d.d. 8-9-22 en 26-9-22.
- Modelkalibratie.

Grote wijzigingen ten opzichte van REGIS, en op basis van de sonderingen en metingen zijn:

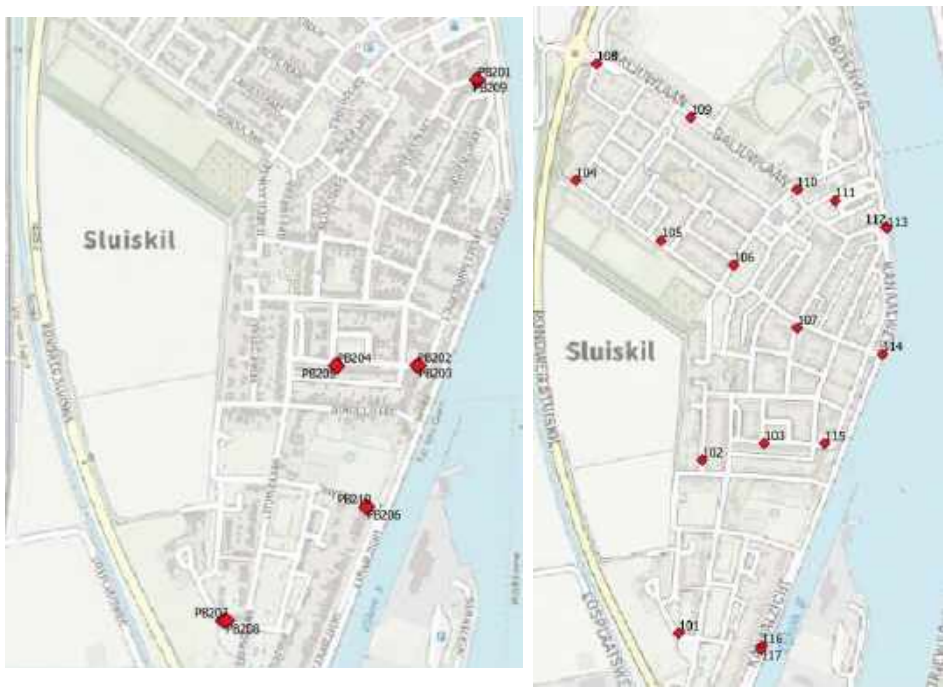
- Weerstand van Rupel laag (c6) westelijk van Kanaal aangepast naar 10.000 dagen;
- Verbreiding van Rupel laag (c6) doorsneden ter plaatse van diepste deel van Braakmangeul;
- Doorlatendheid van de geul opgesplitst in 'diepe deel' en 'ondiepe deel' van de geul. De doorlatendheden en weerstanden hierop aangepast. In het diepe deel hogere doorlatendheden en lagere weerstanden, in het ondiepe deel lagere doorlatendheden en hogere weerstanden;
- Doorlatendheid Koewacht omlaag ter plaatse van de Braakmangeul (de braakmangeul zoals deze in REGIS stond verder doorgetrokken);
- Doorlatendheid in het 'midden/diepste' deel van de Braakmangeul verhoogd (laag 4), en verlaagd aan de zijkanten van de geul;

Een aantal aanpassingen zijn gemaakt op basis van constatering in het veld of communicatie met gemeente Sluiskil / Rijkswaterstaat / TAUW na kalibratie van het model:

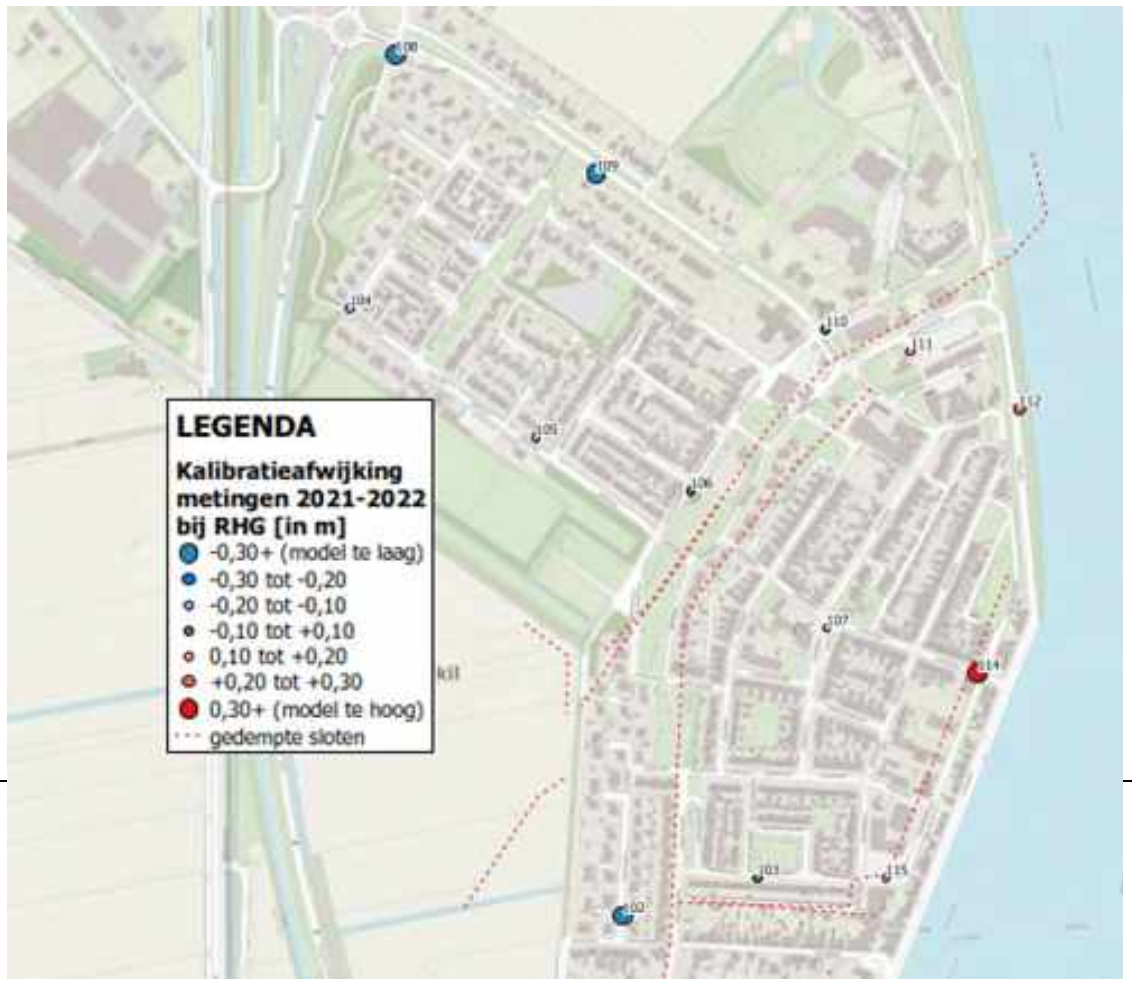
- De metingen zijn na de stationaire kalibratie aangepast (wijziging inmeting kop peilbuis) waardoor er op een nieuwe set data gekalibreerd moest worden;
- Aan de Noordwestzijde van Sluiskil is geen damwand aanwezig. Hier ligt een steenbestorting. Het is onbekend tot hoe diep dit doorloopt. We nemen aan dat de steenbestorting tot circa NAP -3,25 m doorloopt en stroming in de eerste twee modellagen gedeeltelijk afsluit;
- Ter plaatse van de Stroodorperstraat is een maaivelddrainage toegepast op een grasveld direct achter het talud, dit omdat er tijdens een veldbezoek is geconstateerd dat er een hemelwaterafvoer op dit grasveld is aangebracht.

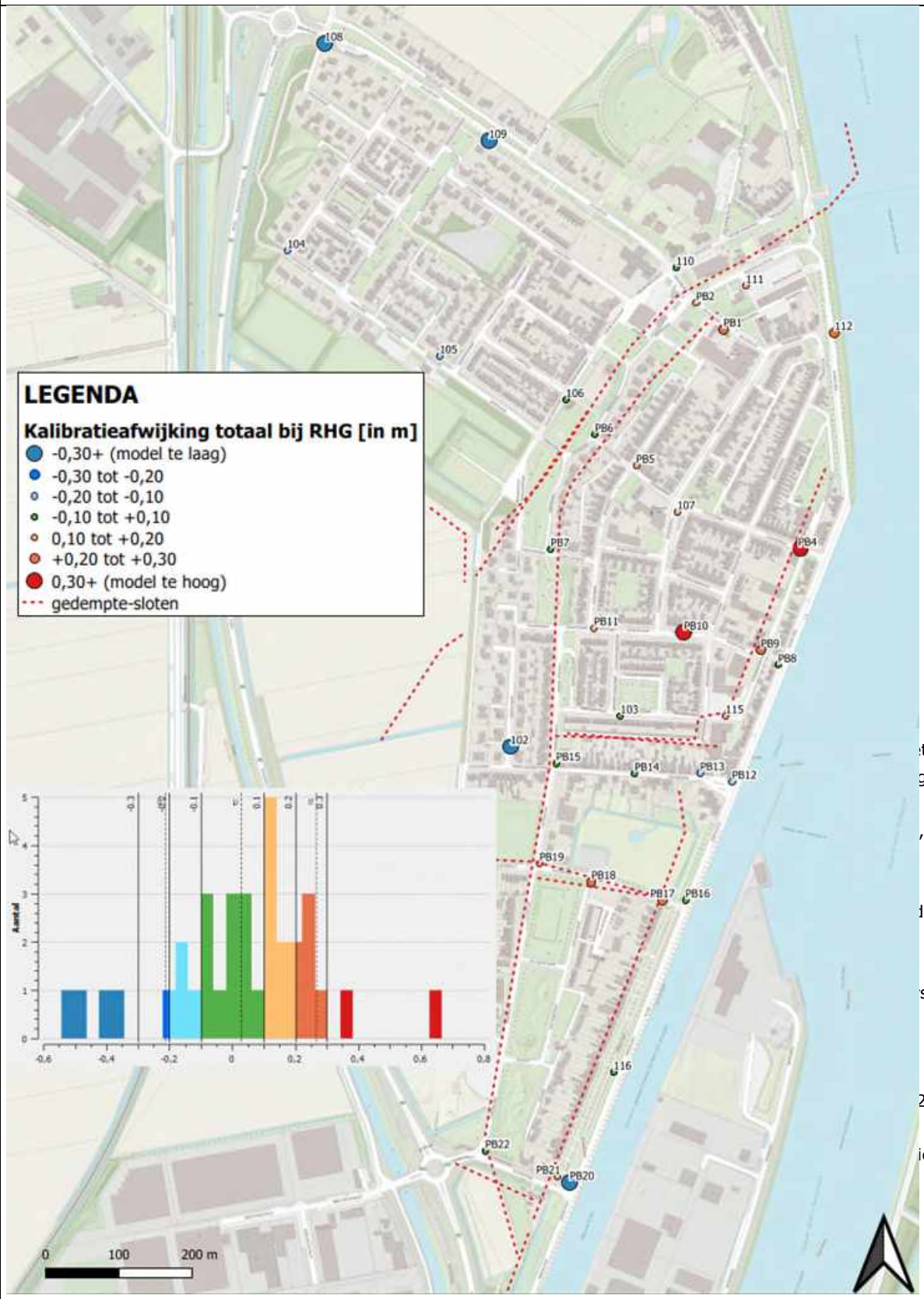
Neerslag (stationair)	Stationair: 2,5 mm/dag (netto neerslag) * neerslagfactor die variabel is. Per modelknooppunt is er een neerslagfactor toegevoegd. De factoren zijn ruimtelijk gebaseerd op de landgebruiktypes volgens het BGT. Gebruikte factoren: • Oppervlaktewater: 1 • Verhard oppervlak (daken, gesloten wegen, etc..): 0 tot 0.10 • Open wegen: 0.10 tot 0.30 • Stedelijk groen (tuinen, parken, grasvelden, etc..): 0.50 (voor/achtertuinen in stedelijk gebied) tot 0.90 (onverhard; groen, bermen etc) • Buitengebied: 0.80 Een hoge neerslagfactor leidt tot een grote grondwateraanvulling. Een neerslagfactor van nul betekent in het stedelijk gebied dat al het regenwater in het rioolstelsel terecht komt.	Verharding op basis van verhard oppervlakte kaarten (gemeente) en BGT. Aan de BGT types (pand, grasland, groenvoorziening, open verharding etc) zijn factoren toegekend. Deze factoren geven aan hoeveel van de 2,5 mm neerslag het grondwater bereikt.
Effectieve porositeit bodem	De effectieve porositeit per modellaag betreft: S1 = 0,07 S2 = 0,001 S3 = 0,0001 S4 = 0,0001 S5 = 0,0001 S6 = 0,0001 S7 = 0,0001 De effectieve porositeit wordt in de maanden mei tot en met augustus verhoogd naar 0,14 voor modellaag 1.	In de metingen is een verlaagde reactie op aanvulling (neerslag) en verdamping in de maanden mei tot en met augustus geconstateerd. In het grondwatermodel wordt dit gesimuleerd door een hogere effectieve porositeit te hanteren. We verklaren dit door dat er in deze periode een grotere ontwateringsdiepte is.
Riolering en drainage	De doorlatendheid (k-waarde) is verhoogd en de weerstand naar het eerste watervoerend pakket (c-waarden) zijn verlaagd op locaties waar: - riolering/cunetten aanwezig zijn; - van nature een slecht doorlatende bodem voorkomt. Drainageniveaus zijn afgeleid uit ontwerptekeningen (Kanaalzicht) en foto's van aanleg (Bosjesweg). Drainageweerstand ingeschat o.b.v. metingen nabij drainage tijdens modelkalibratie.	Riolering en drainage bepaald op basis van gegevens uit de gemeentelijke database van de gemeente Sluiskil. Ook zijn er drainagestrengen toegevoegd vanuit nageleverde ontwerptekeningen (Kanaalzicht en Bosjesweg).
Damwanden	In het grondwatermodel zijn de volgende damwanden en kadebeschoeiingen opgenomen:	Gegevens zijn opgevraagd of aangeleverd door de gemeenten / Rijkswaterstaat.

Modelonderdeel	Grootte	Onderbouwing
	- Aanname steenbestorting noordzijde: tot onderzijde modellaag 2 (NAP -3,25 m); - Damwanden Rijkswaterstaat: o.k. damwand op NAP -8,00 m - Damwanden Seaports: o.k. damwand op NAP -3,25 m Langs het kanaal zijn (gedeeltelijk) bovenstaande kademuren in het model ingevoerd. De horizontale stroming wordt hierdoor grotendeels beperkt in de desbetreffende modellagen.	
Oppervlaktewater	De watergangen (en gedempte watergangen) binnen het stedelijk gebied zijn in het model nauwkeurig verwerkt. Waterpeilen zijn bepaald op basis van de peilgebieden. Wanneer het peilgebied een ander praktijkpeil heeft, is het praktijkpeil aangehouden. Buiten het stedelijk gebied zijn peilgebieden ingevoerd als bovenrandvoorwaarde (Cauchy randvoorwaarde). De weerstand van de watergangen / sloten is bepaald op basis van de afstand tussen de sloten in het peilgebied. Voor de Westelijke waterleiding watergangen met peil NAP -0,9 m (bodemdiepte NAP -1,4 m) is er bij kalibratie voor gekozen om de weerstand naar de tweede modellaag te verlagen naar 5 dagen. Drainageweerstand watergangen stedelijk gebied betreft tussen de 5 – 25 dagen. Infiltratieweerstand van de watergangen in het stedelijk gebied betreft tussen de 5 - 25 dagen. De peilen van het kanaal zijn in het model ingevoerd op basis van daadwerkelijk gemeten uurniveaus. Deze zijn verwerkt naar gemiddelden per dag, die als invoer zijn gebruikt voor instationaire berekeningen. Tijdens kalibratie van het instationaire grondwatermodel zijn peilen van sloten aangepast o.b.v. de kalibratiebevindingen. Voor elke watergang rondom het stedelijk gebied is beoordeeld wat het laagste maaiveldniveau betreft rondom de watergang en is de waterhoogte van de sloot op dat niveau aangepast.	Ligging, waterpeilen en peilgebieden van Waterschap Scheldestromen Drainage- en infiltratieweerstanden o.b.v. expertise grondwatermodellering en controle in de waterbalans.
Onttrekkingen / permanente bemalingen	Voor zover bekend zijn er geen onttrekkingen aanwezig in het interessegebied.	
Zijranden	Vaste stijghoogtes, t.p.v. van modelranden	Via Grondwatertools.nl is een vlakdekkend beeld van de grondwaterstand berekend voor het eerste en tweede watervoerend pakket. Deze waarden gelden als randvoorwaarde voor de modellagen 5 – 7. Voor de modellagen 1 – 4 is het gehanteerde peilniveau in de polders gebruikt.
Basis model	Ondoorlatend (Formatie van Dongen, laagpakket van Assen is als ondoorlatende basis aangenomen).	De invloeden van deze pakketten op freatische grondwaterstanden zijn miniem/verwaarloosbaar.
Kalibratiesets	Grondwatermeetnet van: - Gemeente Sluiskil (huidig) o Totaal 17 Reeksen. o 15 reeksen freatisch. o 2 reeksen 1e tussenzandlaag (modellaag 2). - Gemeente Sluiskil (voormalig) o Totaal 30 reeksen. - Nieuw geplaatste peilbuizen (freatisch + diep) o Totaal 10 reeksen.	.

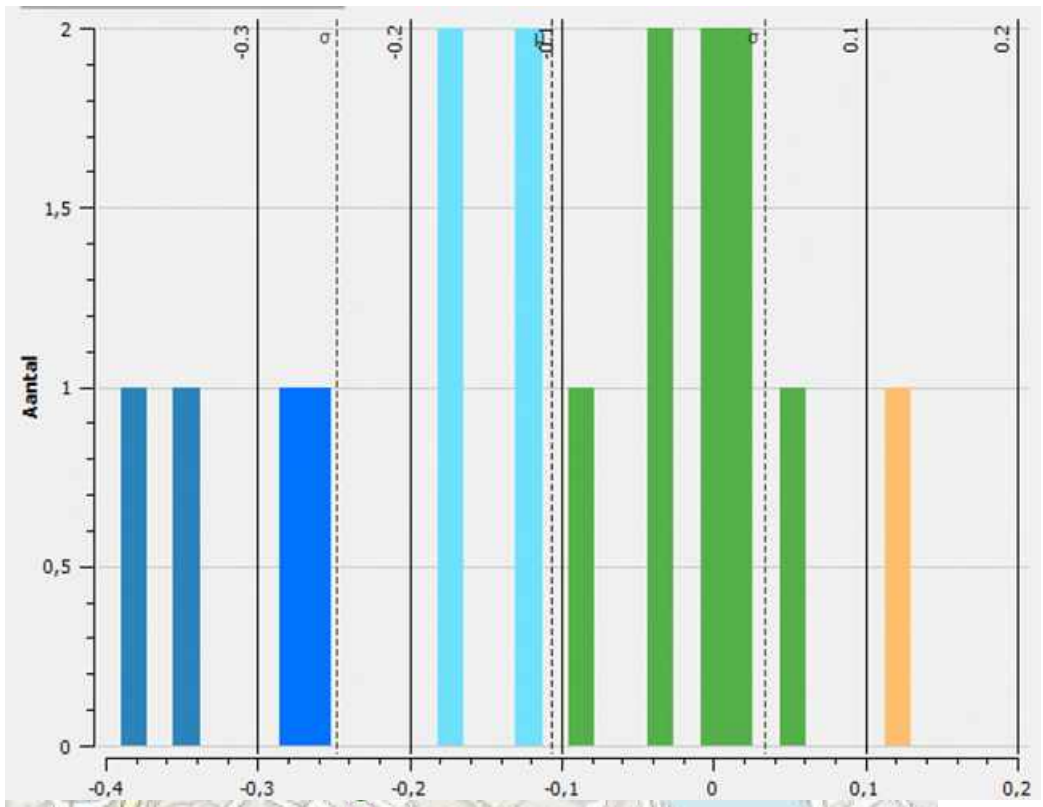
Modelonderdeel	Grootte	Onderbouwing
	Nieuw geplaatst: Huidig meetnet: 	

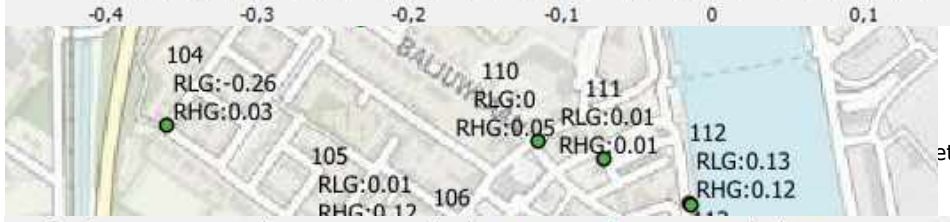
Tabel 2: Toelichting kalibratie

#	Scenario
Kalibratiebevindingen	Tijdens het opstellen van het stationaire model en de vergelijking met de meetresultaten zijn de volgende bevindingen gemaakt. Hieronder worden deze opgesomd en beoordeeld: **1.** De verbreiding van de Boomse Klei (c6) is een gevoelige parameter voor de grondwaterstanden in Sluiskil. Volgens REGIS (gele lijnen) is de Boomse klei aanwezig tot aan de polders westelijk van Sluiskil. In sonderingen is de Boomse Klei niet sterk zichtbaar aanwezig. Het grondwatermodel is hierop aangepast, dit is de kalibratie ten goede gekomen. **2.** Verbreiding van het Braakman geulsysteem. De grofzandige lagen (onder in de geul) die onderdeel zijn van de opvulling van de Braakmangeul variëren ruimtelijk sterk. Dit heeft invloed op de hoeveelheid grondwater die vanuit het kanaal onder Sluiskil door stroomt. **3.** De westelijke waterleiding watergangen zijn de westelijke randvoorwaarde wat betreft ontwatering. De bodemweerstand van de watergang is een gevoelige parameter. **4.** De slibdiepte onder het kanaal is een gevoelige parameter. Dit bepaald hoeveel water er uit het kanaal in het grondwater kan stromen. De variatie van slibdiepte over de breedte van het kanaal (lodingen) dient als basis voor de inschaling van de bodemweerstand van het kanaal.
Stationair grondwatermodel (concept model)	**Kalibratie stationair basismodel, representatieve wintersituatie met hoge grondwaterstanden.** De getoonde resultaten zijn op basis van eerste berekeningen. De gemiddelde afwijking in een stationair natte situatie betreft -0,03 m. De minimale en maximale afwijking betreft -0,6 m te laag (peilbuis 108) en +0,7 m te hoog (peilbuis 114). Peilbuis 108 staat in de Noordwesthoek van Sluiskil. Hier wordt de grondwaterstand onderschat door een te grote invloed van de peilgestuurde gebieden die middels een Cauchy bovenrandvoorwaarde aangestuurd worden in het model. We verwachten dat dit mogelijk komt door een grotere weerstand in de ondiepe bodem of een kleinere doorlatendheid in de ondiepe bodem dan waar we nu vanuit gaan. Door het gebied heen komen oude gedempte sloten voor. Deze zijn met rode stippellijnen geplot in onderstaand figuur. Mogelijk vindt er een verhoogde waterstroming plaats via deze oude sloten, dit zou voor een deel van de kalibratieverschillen een verklaring zijn. 

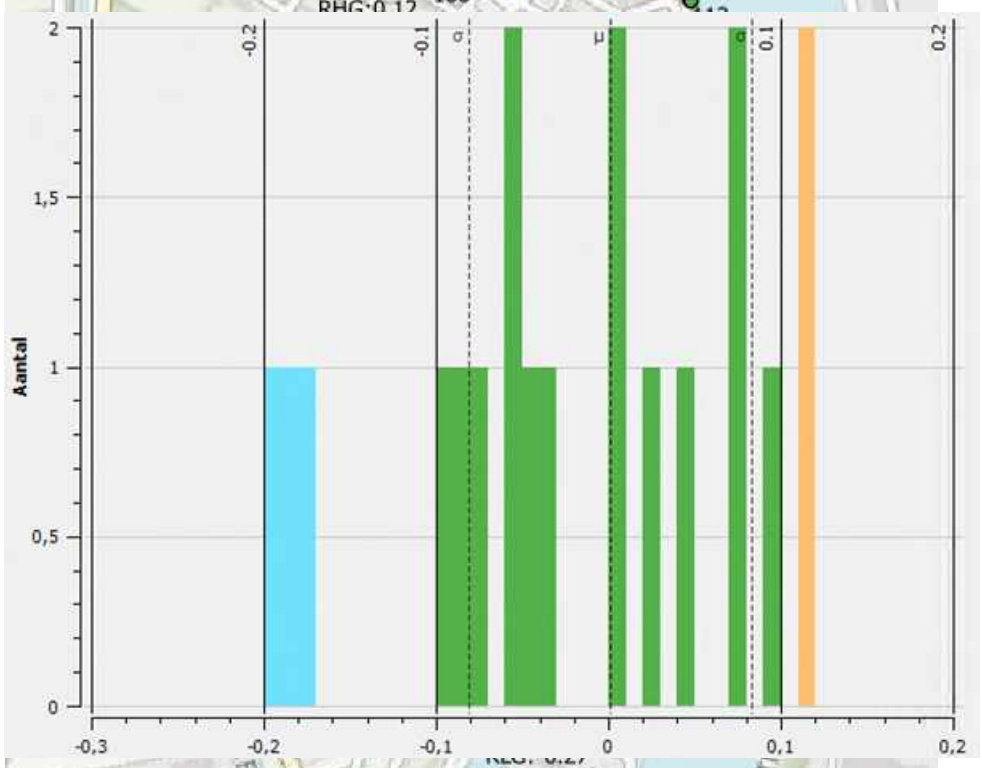
#	Scenario
	 **Figuur 4: Resultaten kalibratie freatisch grondwater, RHG-situatie (historisch en huidig meetnet)**
Kalibratie instationair grondwatermodel (definitief model)	Na de stationaire kalibratie is het grondwatermodel tijdsafhankelijk (instationair) gekalibreerd. N.B. De meetgegevens waarop het model gekalibreerd is zijn na de stationaire kalibratie gewijzigd, op basis van nieuwe inmetingen van de kop peilbuis niveaus. Deze niveaus weken voor een groot deel van de peilbuizen af. De nieuwe waarden zorgen met name bij peilbuis 111 en 114 een betere fit met de modelresultaten. Het model is doorgerekend voor de periode 2012-2022, waarbij gevalideerd is op de metingen van het historische meetnet van 2012-2017 en gekalibreerd op de metingen van het huidige meetnet van 2021-2022. Het gemiddelde verschil tussen gemeten en gemodelleerde grondwaterstand betreft 0,00 m voor de hoge grondwaterstanden (RHG; 90^{e} percentielwaarde) en -0,10 m voor de lage grondwaterstanden (RLG; 10^{e} percentielwaarde). De kalibratieverschillen zijn weergegeven in de histogrammen in figuur 5 en figuur 6. De verschillen zijn in figuur 7 op kaart weergegeven. De kalibratiegrafieken waarin de grondwaterstandsmetingen en gemodelleerde grondwaterstanden worden vergeleken, zijn weergegeven in bijlage 5. Op basis van onderstaand kalibratieresultaten wordt het grondwatermodel geschikt geacht om effectberekeningen uit te voeren. **Kalibratieverschillen (RLG)**

#	Scenario
	In onderstaand figuur wordt het verschil tussen model en meting getoond (model – meting) voor de lage grondwaterstanden. De meeste peilbuizen gebruikt voor de kalibratie vallen binnen 0,30 m verschil. Afwijkingen hierop zijn peilbuis 101 en 102. De verschillen bij deze peilbuizen worden hieronder nader toegelicht.



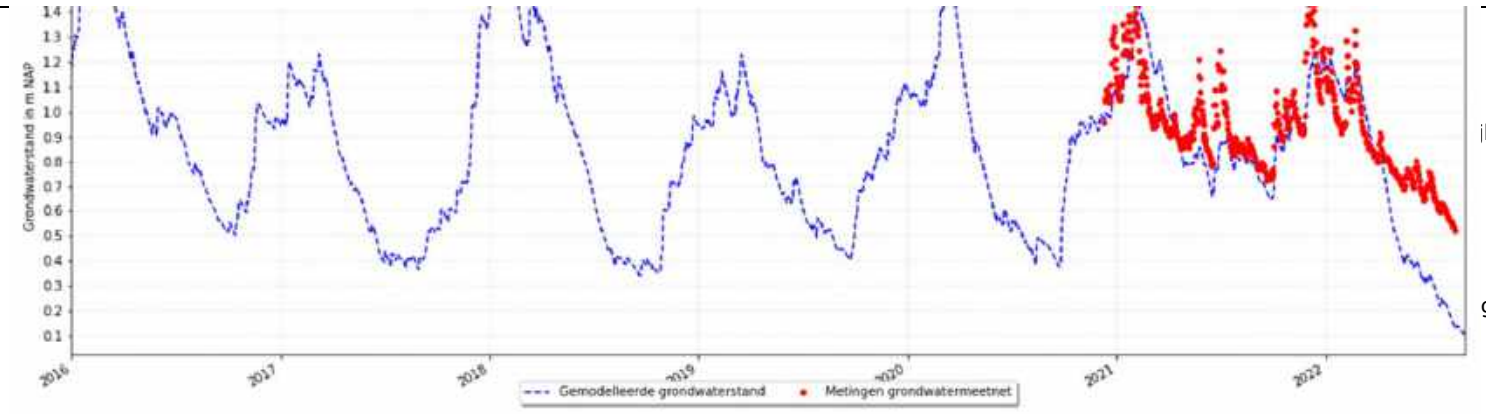


eting). Alle peilbuizen gebruikt voor de kalibratie

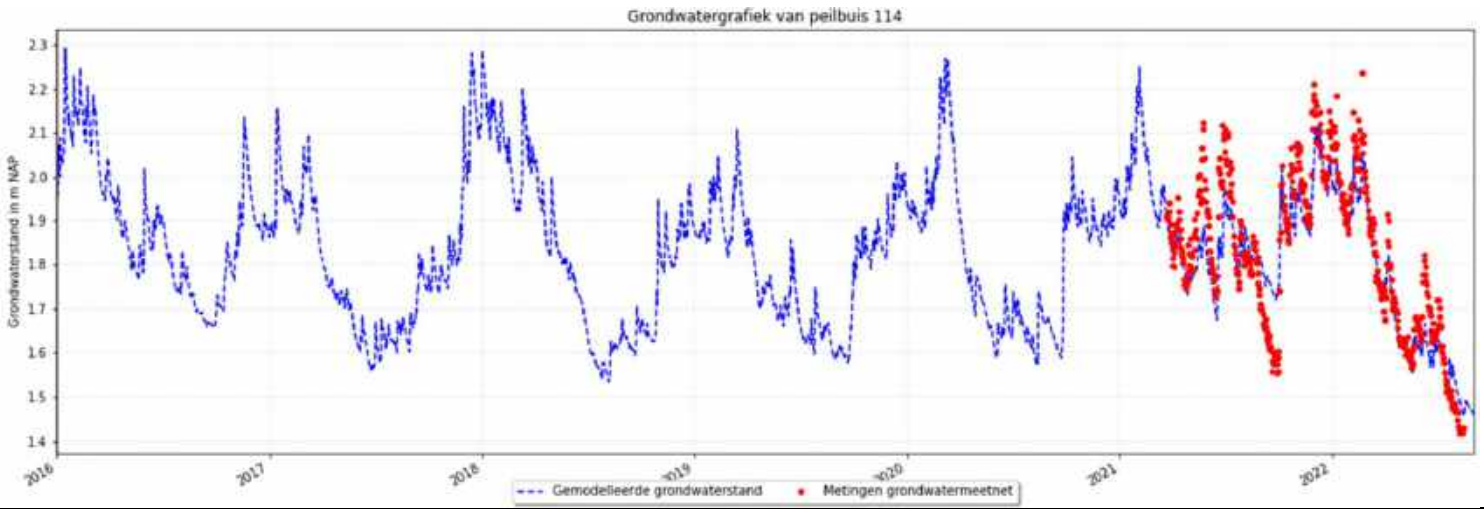




Figuur 7 Overzicht resultaten instationaire kalibratie (verschil meetreeksen met modelresultaten)

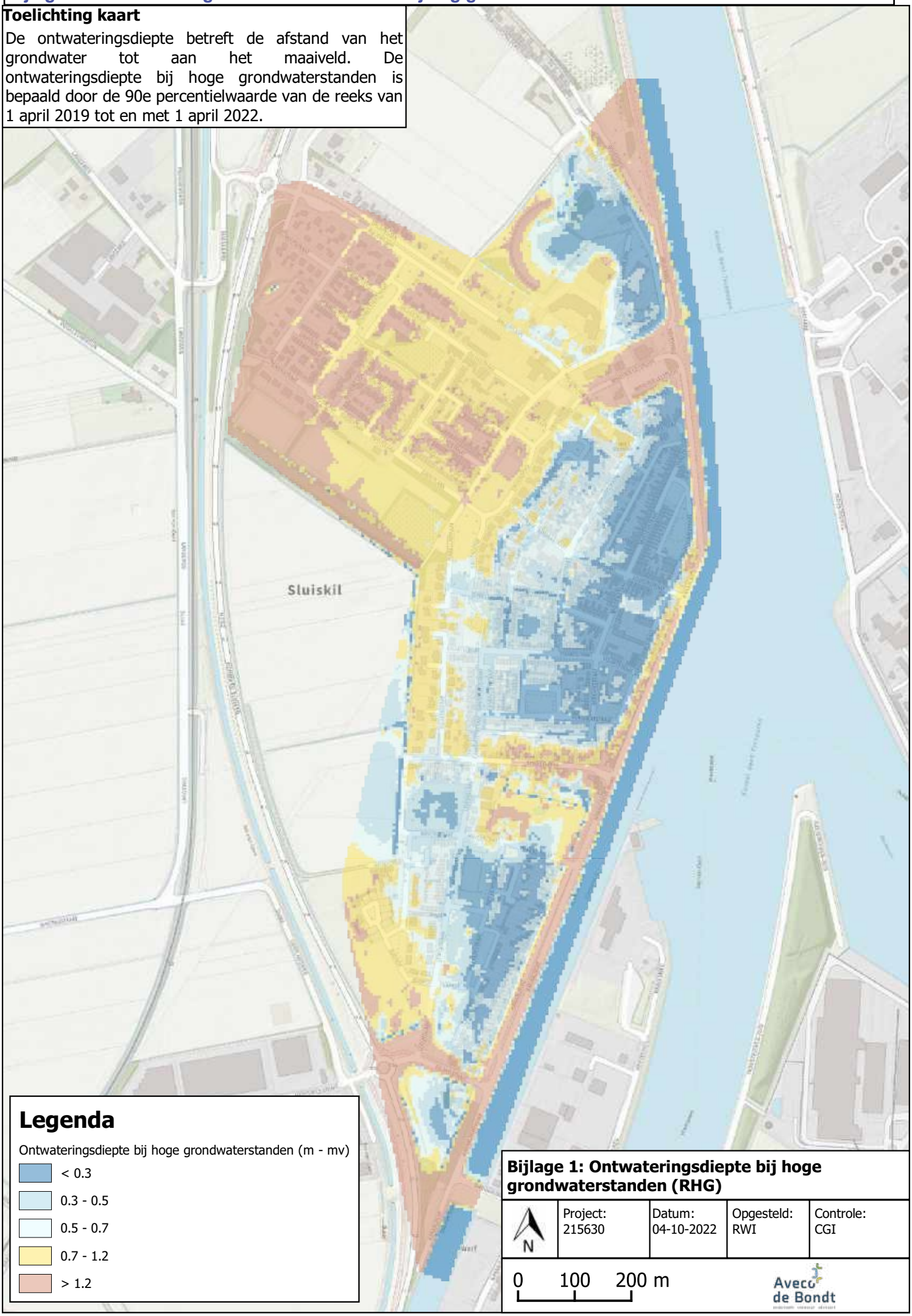
Kalibratieresultaten per peilbuis	 ik g

Peilbuis 110 is een peilbuis op de kruising Baljuwlaan/Nieuwe Kerkstraat. Het model benadert de hoge grondwaterstanden zeer goed. In de zomer van 2021 verschillen de metingen van het model. Dit (kleine) verschil zien we terug bij meerdere meetpunten. De verschillen verklaren we door neerslag die in het grondwatermodel (op basis van KNMI station Westdorpe) wel bij het station is gevallen, maar niet

#	Scenario
	in Sluiskil.  Peilbuis 114 is een peilbuis aan de Kanaalweg, die direct achter de damwand de freatische grondwaterstand meet. De reactie op neerslag en verdamping wordt in het model goed nagebootst waarbij zowel de hoge als lage grondwaterstanden goed benaderd worden. 
Resultaten instationair grondwatermodel	Over de periode 1-4-2019 tot 1-4-2022 zijn statistieken voor de hoge grondwaterstanden (RHG) en lage grondwaterstanden (RLG) bepaald voor het gehele model. Hieruit zijn vlakdekkende beelden van de grondwaterstanden en ontwateringsdiepte bij maatgevende grondwtersituaties opgesteld. De grondwaterstanden en ontwateringsdiepten zijn weergegeven bijlage @@@.

Toelichting kaart

De ontwateringsdiepte betreft de afstand van het grondwater tot aan het maaiveld. De ontwateringsdiepte bij hoge grondwaterstanden is bepaald door de 90e percentielwaarde van de reeks van 1 april 2019 tot en met 1 april 2022.



Legenda

Ontwateringsdiepte bij hoge grondwaterstanden (m - mv)

- < 0.3
- 0.3 - 0.5
- 0.5 - 0.7
- 0.7 - 1.2
- > 1.2

Bijlage 1: Ontwateringsdiepte bij hoge grondwaterstanden (RHG)

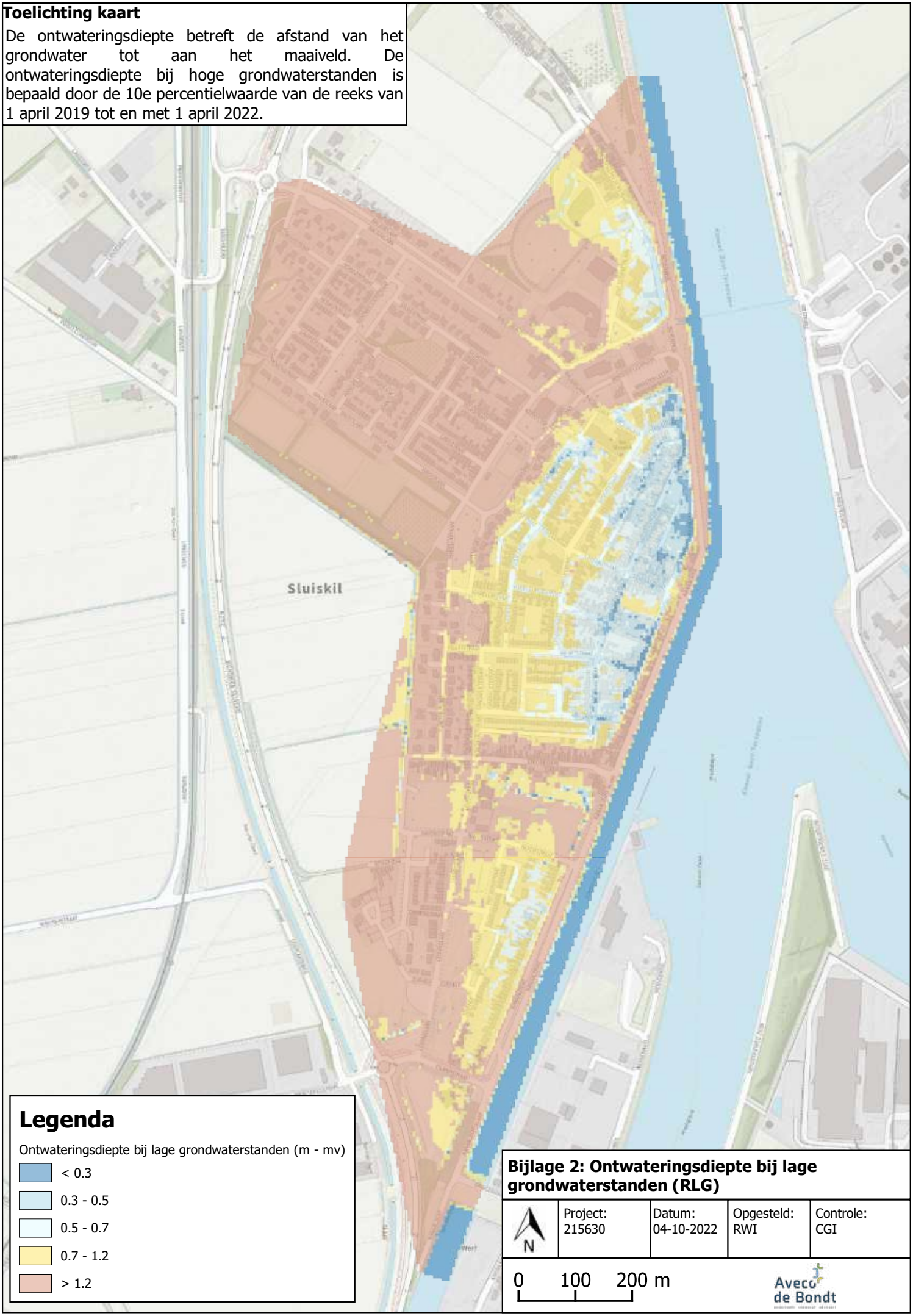
	Project:	Datum:	Opgesteld:	Controle:
N	215630	04-10-2022	RWI	CGI

0 100 200 m

Aveco de Bondt

Toelichting kaart

De ontwateringsdiepte betreft de afstand van het grondwater tot aan het maaiveld. De ontwateringsdiepte bij hoge grondwaterstanden is bepaald door de 10e percentielwaarde van de reeks van 1 april 2019 tot en met 1 april 2022.



Legenda

Ontwateringsdiepte bij lage grondwaterstanden (m - mv)

- < 0.3
- 0.3 - 0.5
- 0.5 - 0.7
- 0.7 - 1.2
- > 1.2

Bijlage 2: Ontwateringsdiepte bij lage grondwaterstanden (RLG)

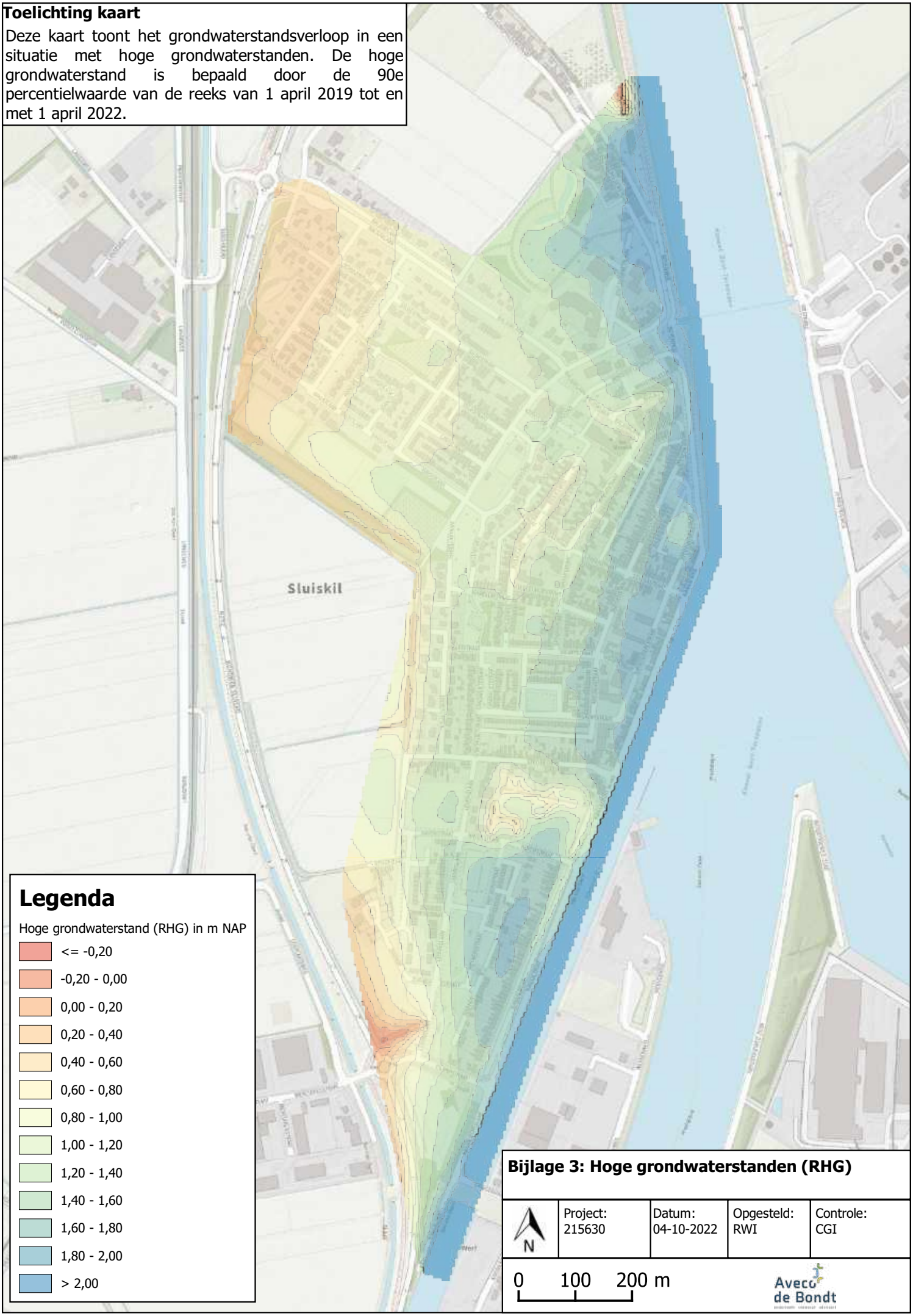
	Project:	Datum:	Opgesteld:	Controle:
N	215630	04-10-2022	RWI	CGI

0 100 200 m

Aveco de Bondt

Toelichting kaart

Deze kaart toont het grondwaterstandsverloop in een situatie met hoge grondwaterstanden. De hoge grondwaterstand is bepaald door de 90e percentielwaarde van de reeks van 1 april 2019 tot en met 1 april 2022.



Legenda

Hoge grondwaterstand (RHG) in m NAP

- <= -0,20
- -0,20 - 0,00
- 0,00 - 0,20
- 0,20 - 0,40
- 0,40 - 0,60
- 0,60 - 0,80
- 0,80 - 1,00
- 1,00 - 1,20
- 1,20 - 1,40
- 1,40 - 1,60
- 1,60 - 1,80
- 1,80 - 2,00
- > 2,00

Bijlage 3: Hoge grondwaterstanden (RHG)

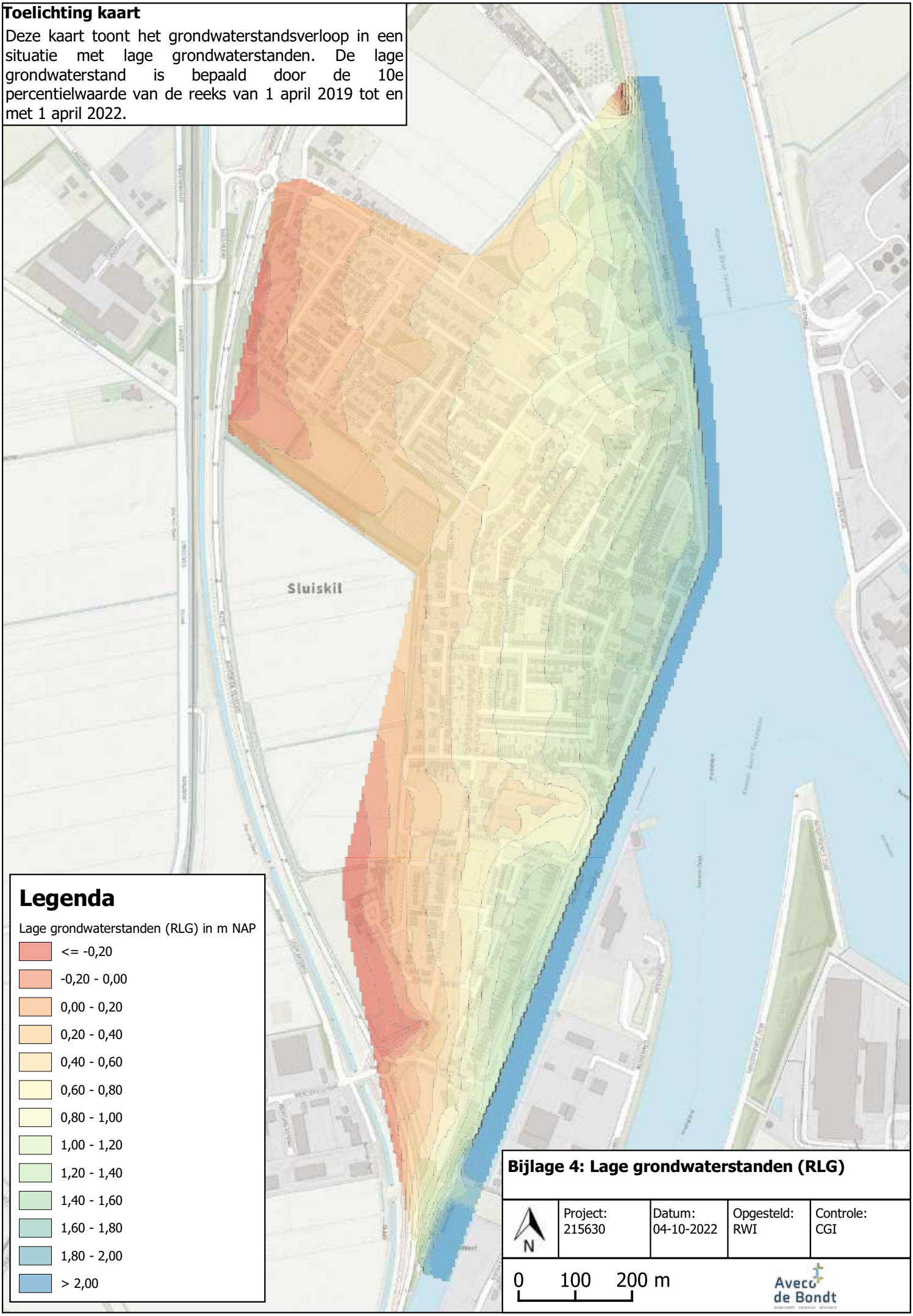
N	Project: 215630	Datum: 04-10-2022	Opgesteld: RWI	Controle: CGI

0 100 200 m

Aveco de Bondt

Toelichting kaart

Deze kaart toont het grondwaterstandsverloop in een situatie met lage grondwaterstanden. De lage grondwaterstand is bepaald door de 10e percentielwaarde van de reeks van 1 april 2019 tot en met 1 april 2022.



Legenda

Lage grondwaterstanden (RLG) in m NAP

- <= -0,20
- -0,20 - 0,00
- 0,00 - 0,20
- 0,20 - 0,40
- 0,40 - 0,60
- 0,60 - 0,80
- 0,80 - 1,00
- 1,00 - 1,20
- 1,20 - 1,40
- 1,40 - 1,60
- 1,60 - 1,80
- 1,80 - 2,00
- > 2,00

Bijlage 4: Lage grondwaterstanden (RLG)

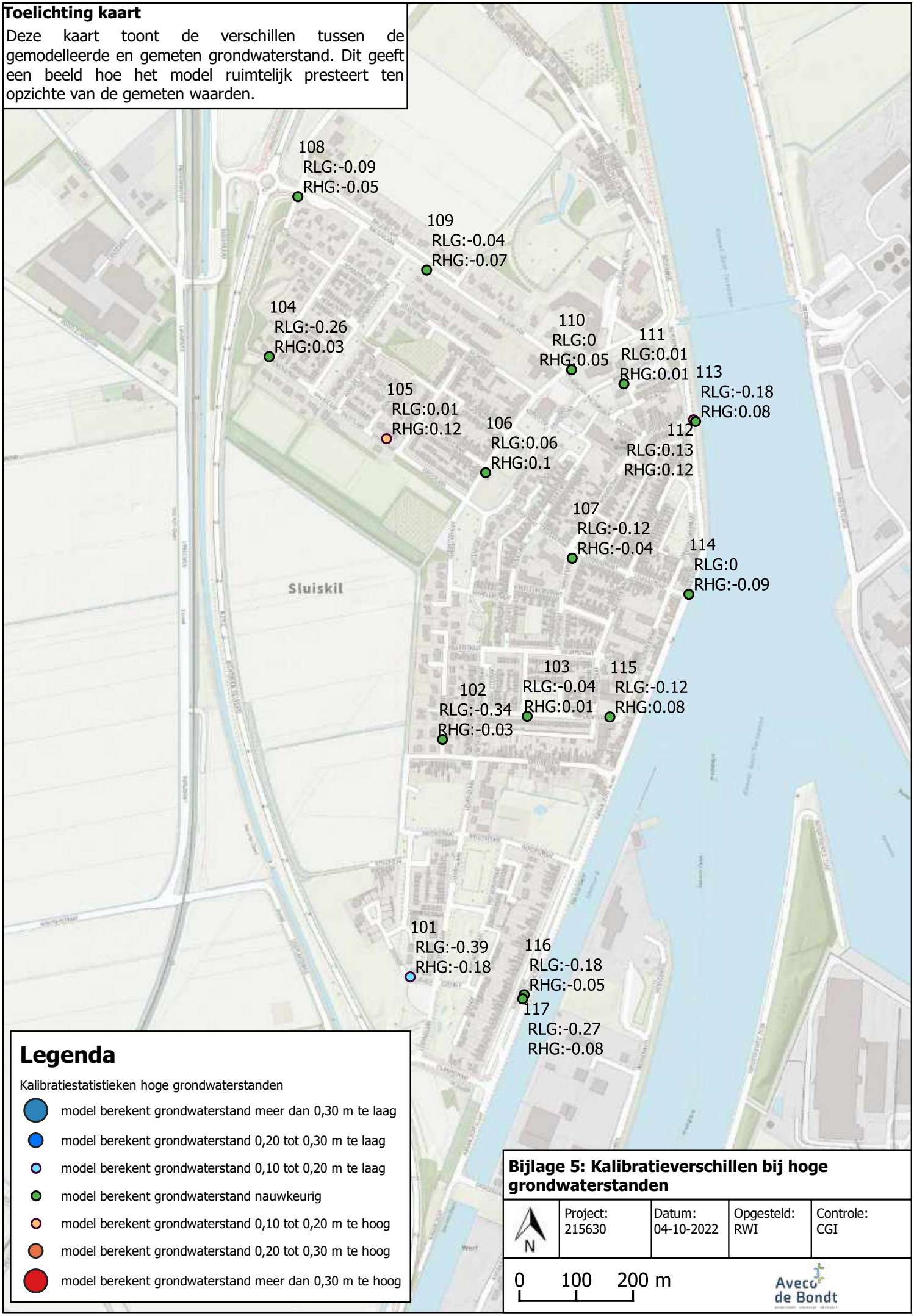
N	Project: 215630	Datum: 04-10-2022	Opgesteld: RWI	Controle: CGI

0 100 200 m

Aveco de Bondt

Toelichting kaart

Deze kaart toont de verschillen tussen de gemodelleerde en gemeten grondwaterstand. Dit geeft een beeld hoe het model ruimtelijk presteert ten opzichte van de gemeten waarden.



Legenda

Kalibratiestatistieken hoge grondwaterstanden

- model berekent grondwaterstand meer dan 0,30 m te laag
- model berekent grondwaterstand 0,20 tot 0,30 m te laag
- model berekent grondwaterstand 0,10 tot 0,20 m te laag
- model berekent grondwaterstand nauwkeurig
- model berekent grondwaterstand 0,10 tot 0,20 m te hoog
- model berekent grondwaterstand 0,20 tot 0,30 m te hoog
- model berekent grondwaterstand meer dan 0,30 m te hoog

Bijlage 5: Kalibratieverschillen bij hoge grondwaterstanden

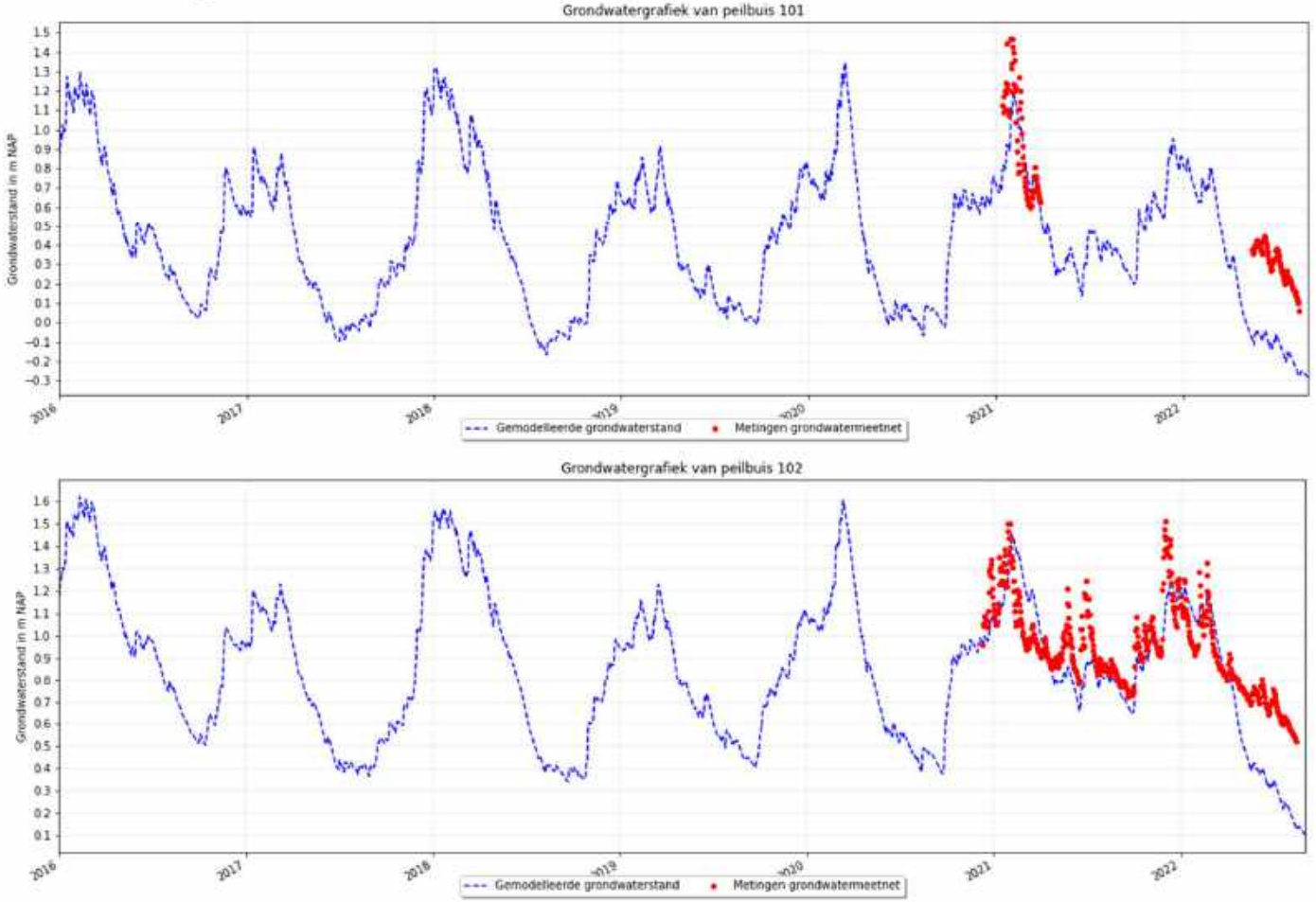
	Project: 215630	Datum: 04-10-2022	Opgesteld: RWI	Controle: CGI

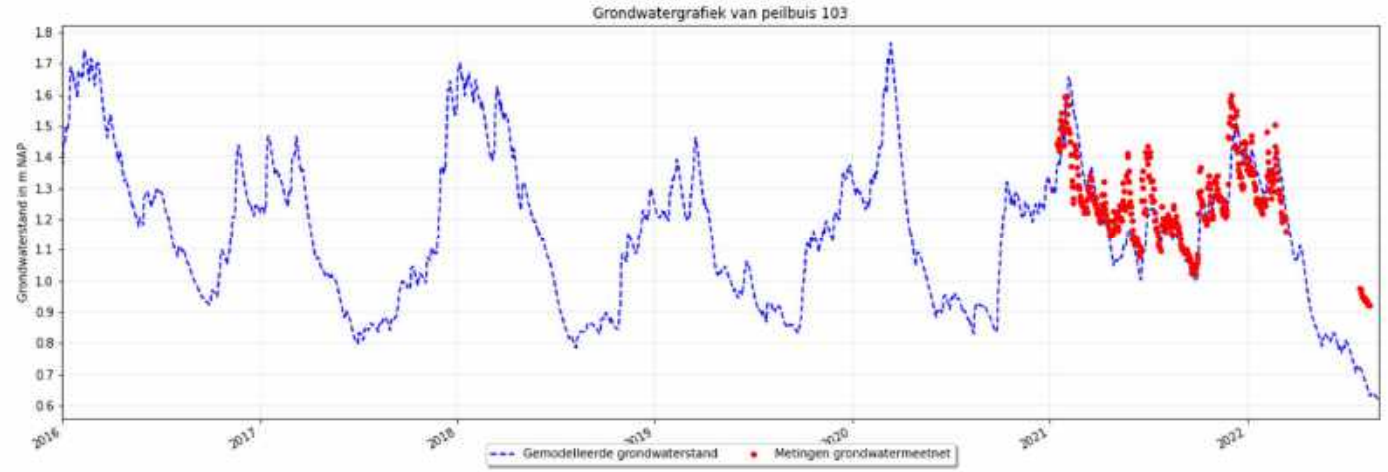
N

0 100 200 m

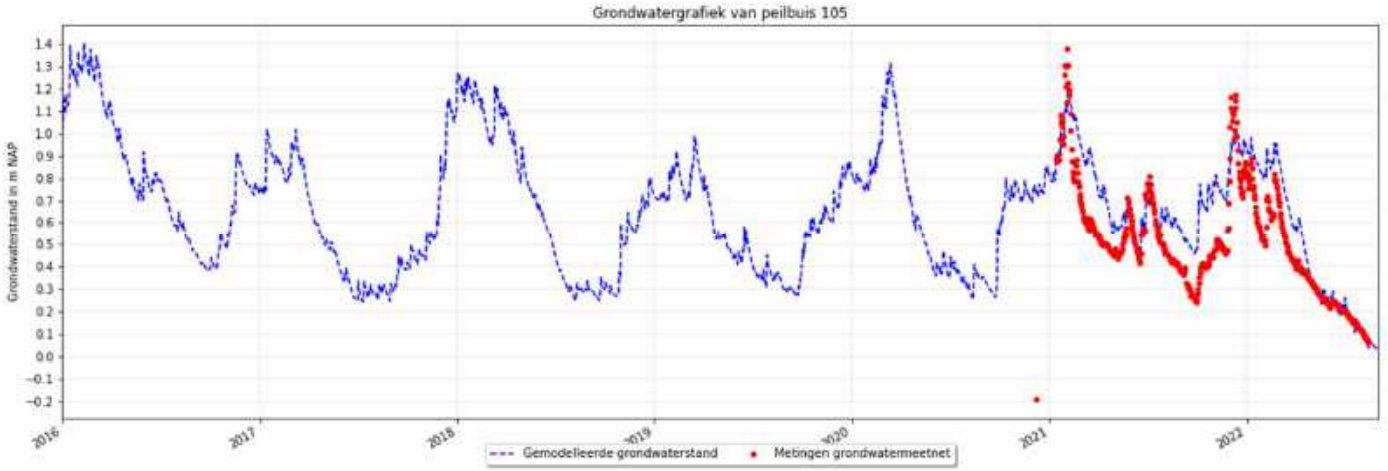
Aveco de Bondt

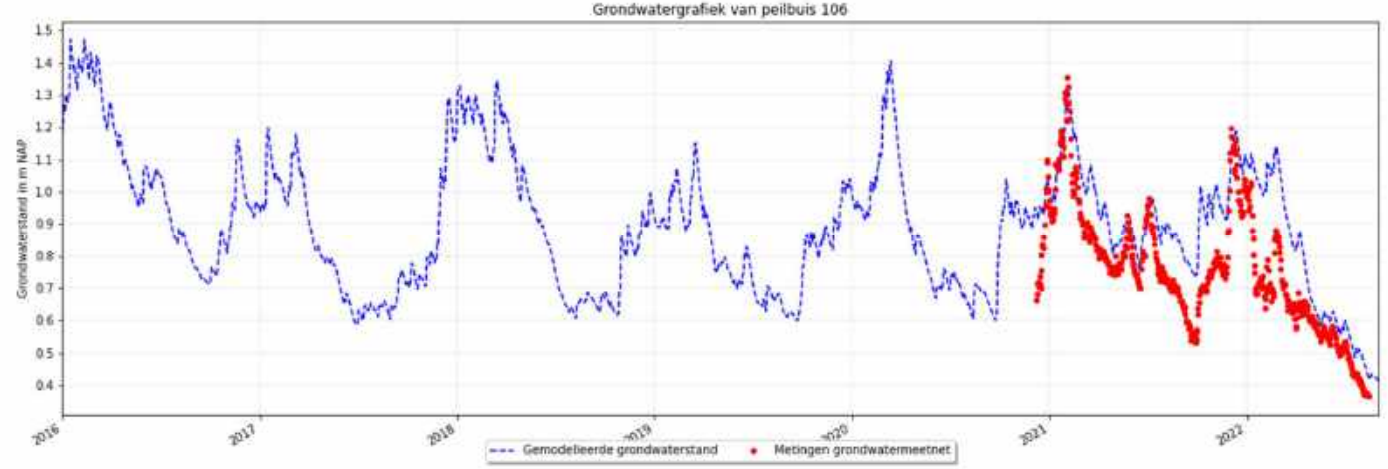
Bijlage 5 kalibratiegrafieken

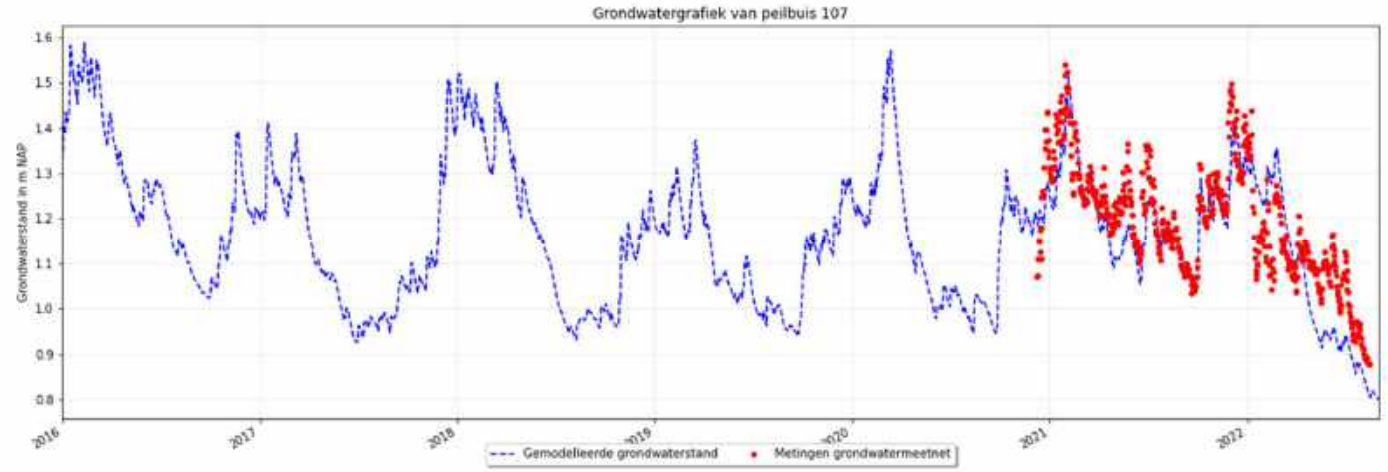


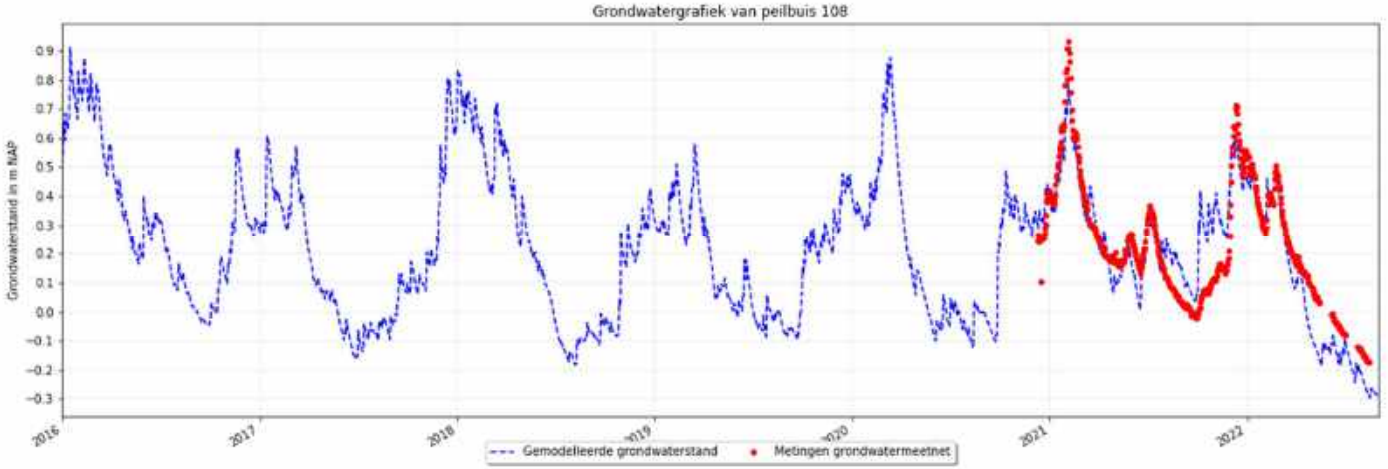

Grondwatergrafiek van peilbuis 103
Grondwaterstand in m NAP
Gemodelleerde grondwaterstand
Metingen grondwatermeetnet

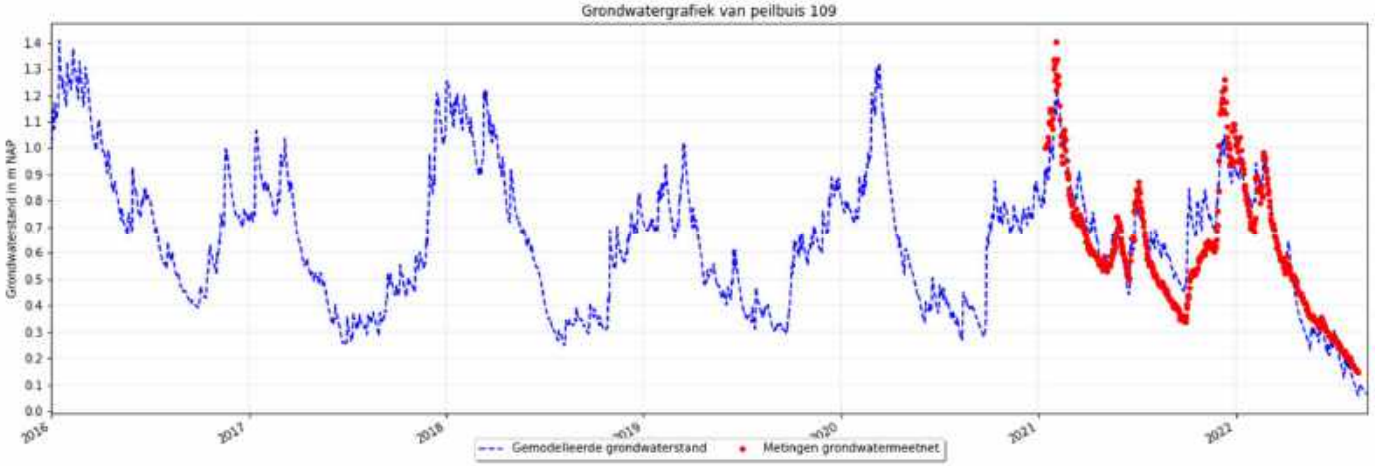

Grondwatergrafiek van peilbuis 104
Grondwaterstand in m NAP
Gemodelleerde grondwaterstand
Metingen grondwatermeetnet

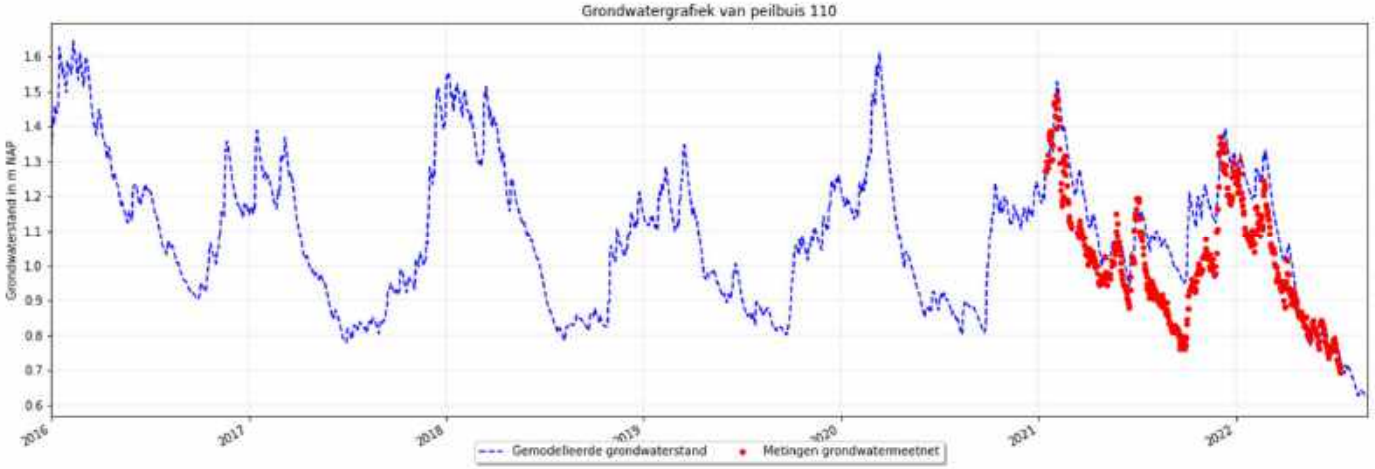

Grondwatergrafiek van peilbuis 105
Grondwaterstand in m NAP
Gemodelleerde grondwaterstand
Metingen grondwatermeetnet

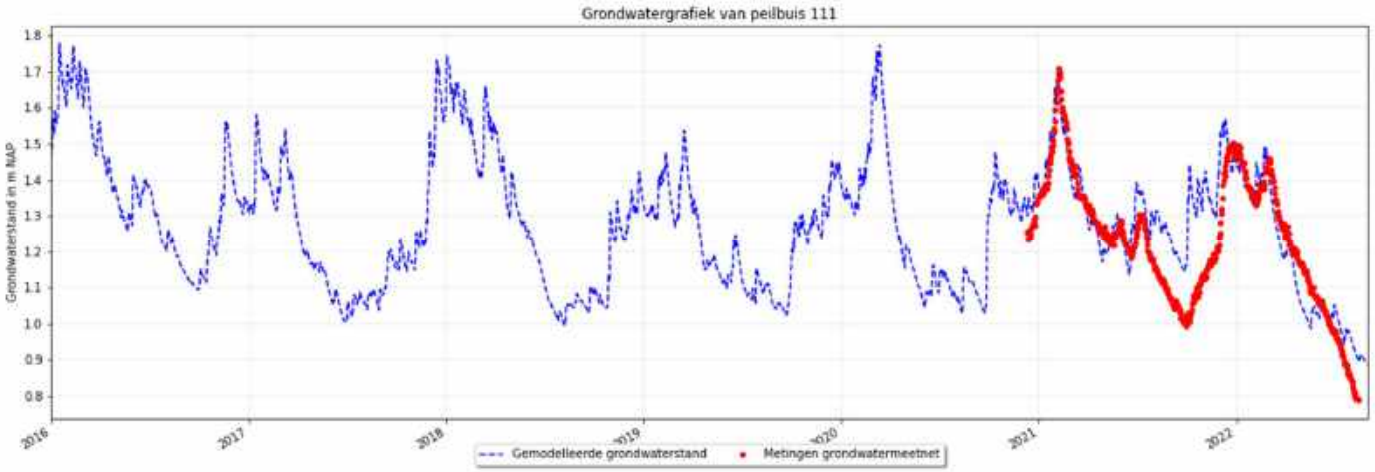

Grondwatergrafiek van peilbuis 106
Grondwaterstand in m NAP
Gemodelleerde grondwaterstand
Metingen grondwatermeetnet

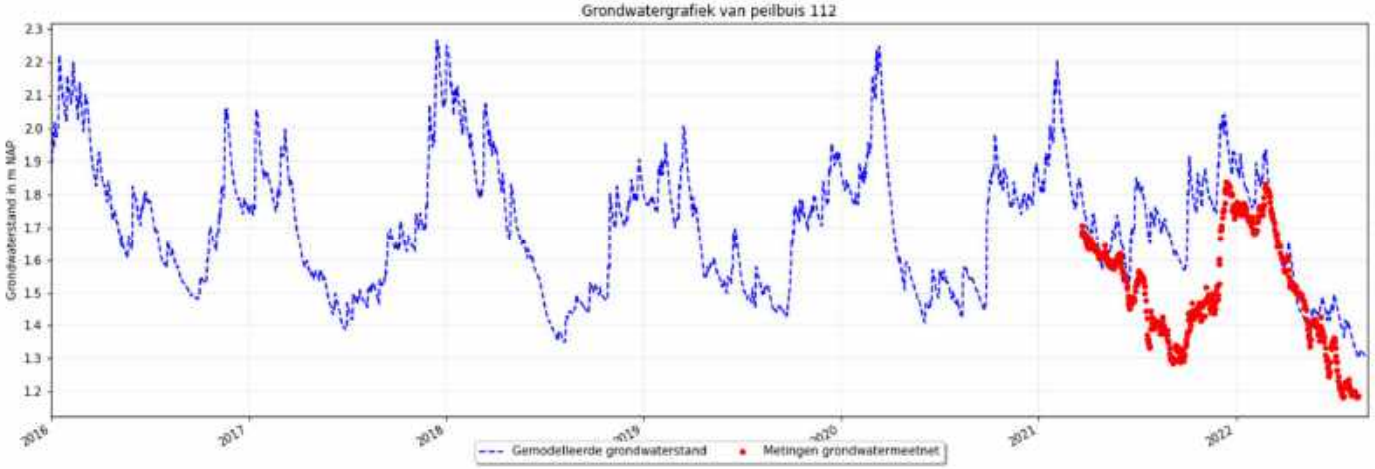

Grondwatergrafiek van peilbuis 107
Grondwaterstand in m NAP
1.6
1.5
1.4
1.3
1.2
1.1
1.0
0.9
0.8
2016
2017
2018
2021
2022
Gemodelleerde grondwaterstand
Metingen grondwatermeetnet

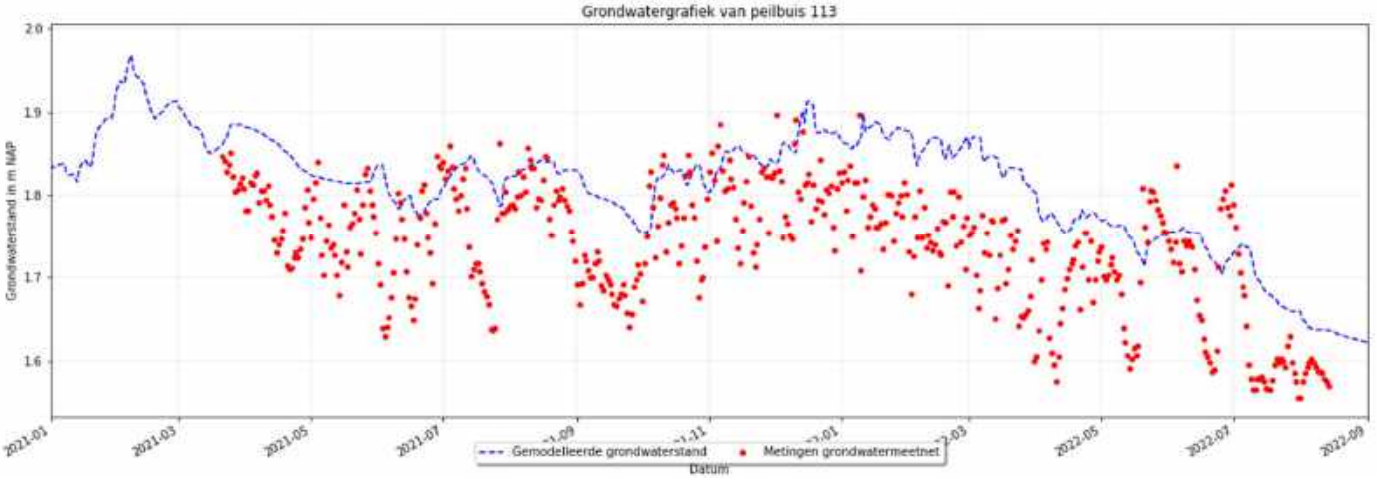

Grondwatergrafiek van peilbuis 108
Grondwaterstand in m NAP
0.9
0.8
0.7
0.6
0.5
0.4
0.3
0.2
0.1
0.0
−0.1
−0.2
−0.3
2016
2017
2018
2021
2022
Gemodelleerde grondwaterstand
Metingen grondwatermeetnet

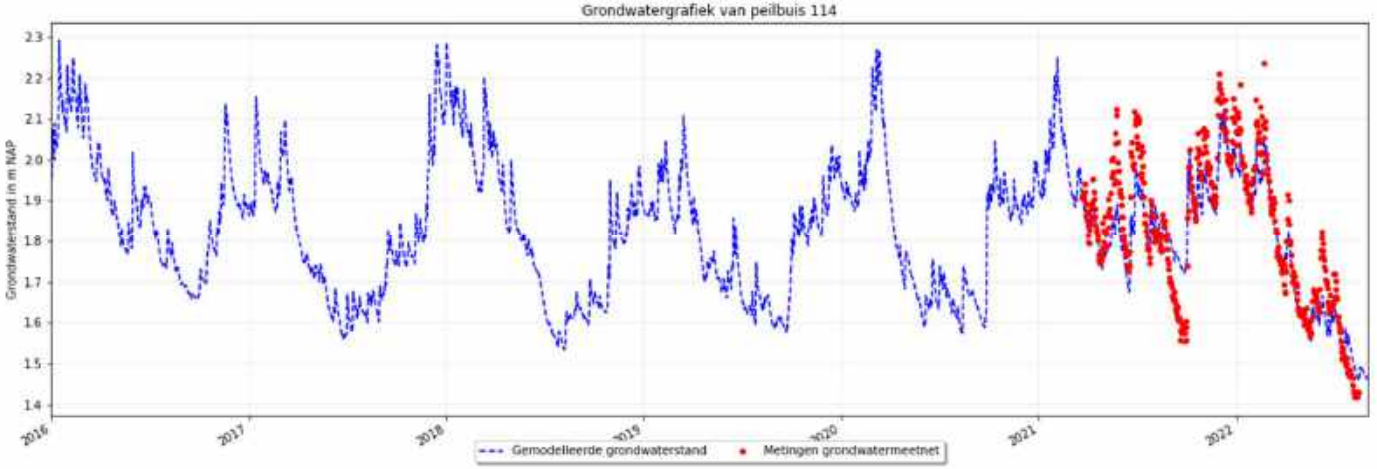

Grondwatergrafiek van peilbuis 109
Grondwaterstand in m NAP
Gemodelleerde grondwaterstand
Metingen grondwatermeetnet

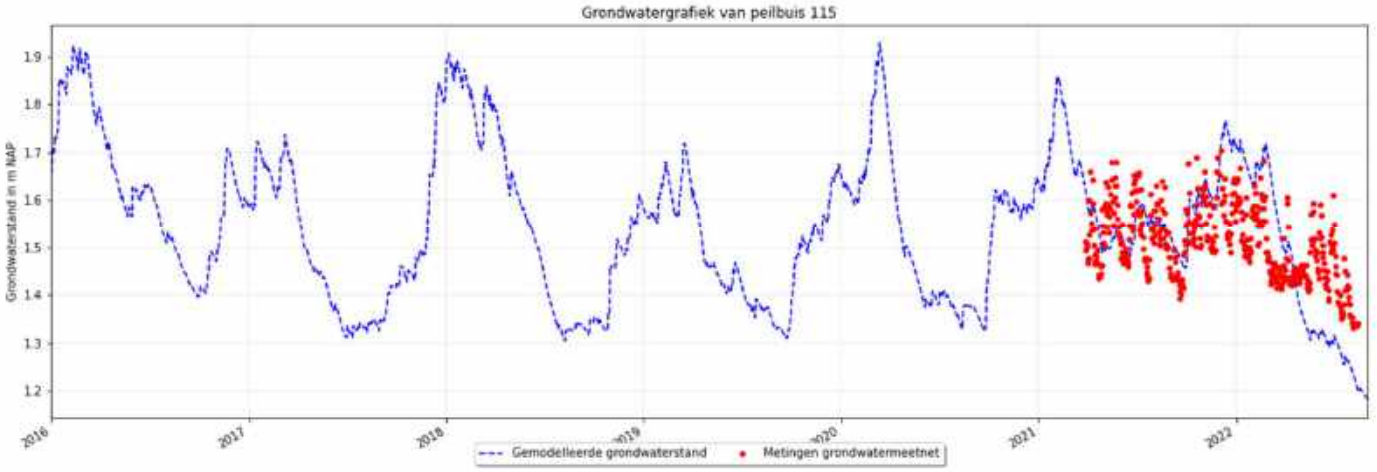

Grondwatergrafiek van peilbuis 110
Grondwaterstand in m NAP
Gemodelleerde grondwaterstand
Metingen grondwatermeetnet

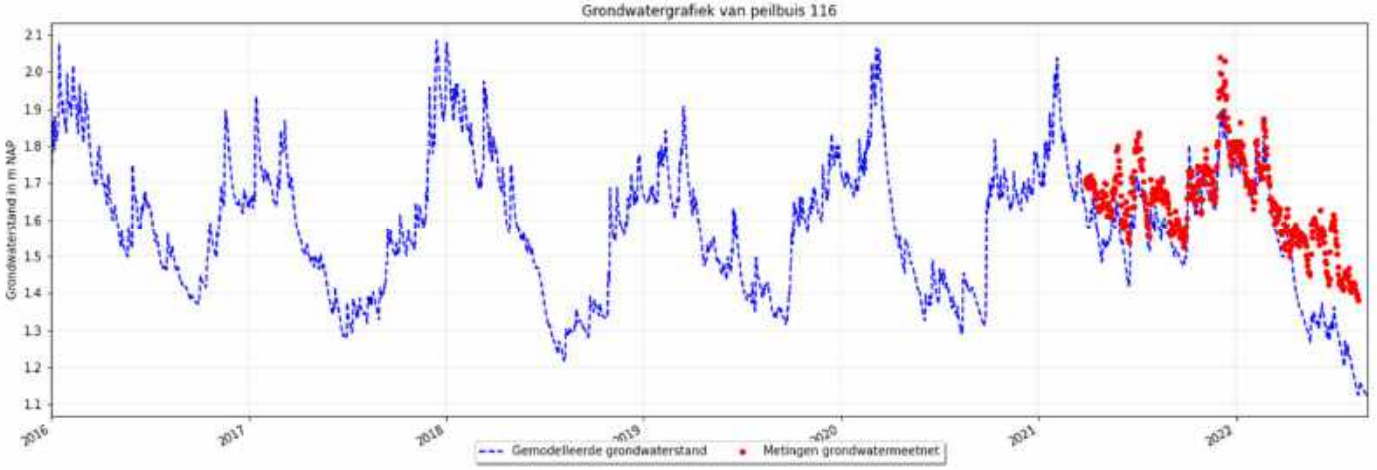

Grondwatergrafiek van peilbuis 111
Grondwaterstand in m NAP
Gemodelleerde grondwaterstand
Metingen grondwatermeetnet

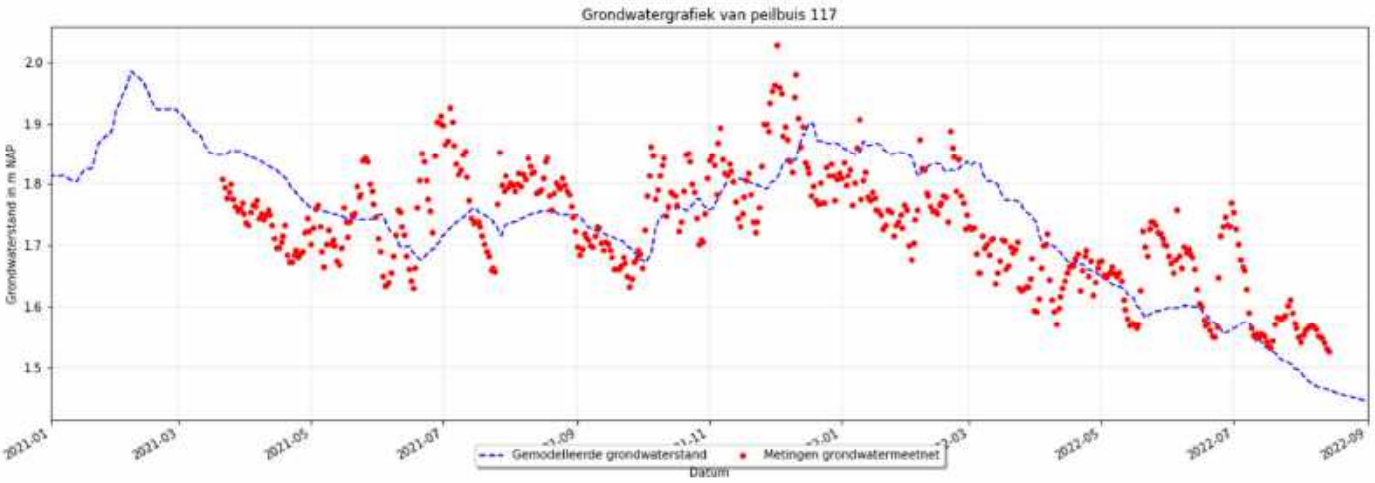

Grondwatergrafiek van peilbuis 112
Grondwaterstand in m NAP
Gemodelleerde grondwaterstand
Metingen grondwatermeetnet


Grondwatergrafiek van peilbuis 113
Grondwaterstand in m NAP
Datum
Gemodelleerde grondwaterstand
Metingen grondwatermeetnet

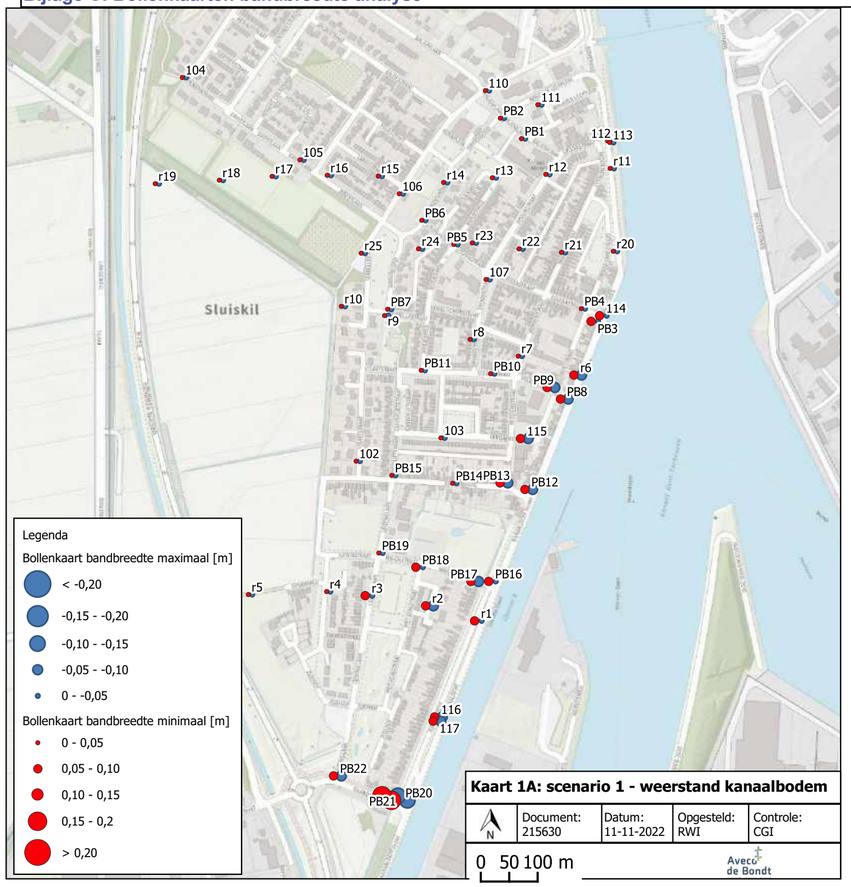

Grondwatergrafiek van peilbuis 114
Grondwaterstand in m NAP
Gemodelleerde grondwaterstand
Metingen grondwatermeetnet

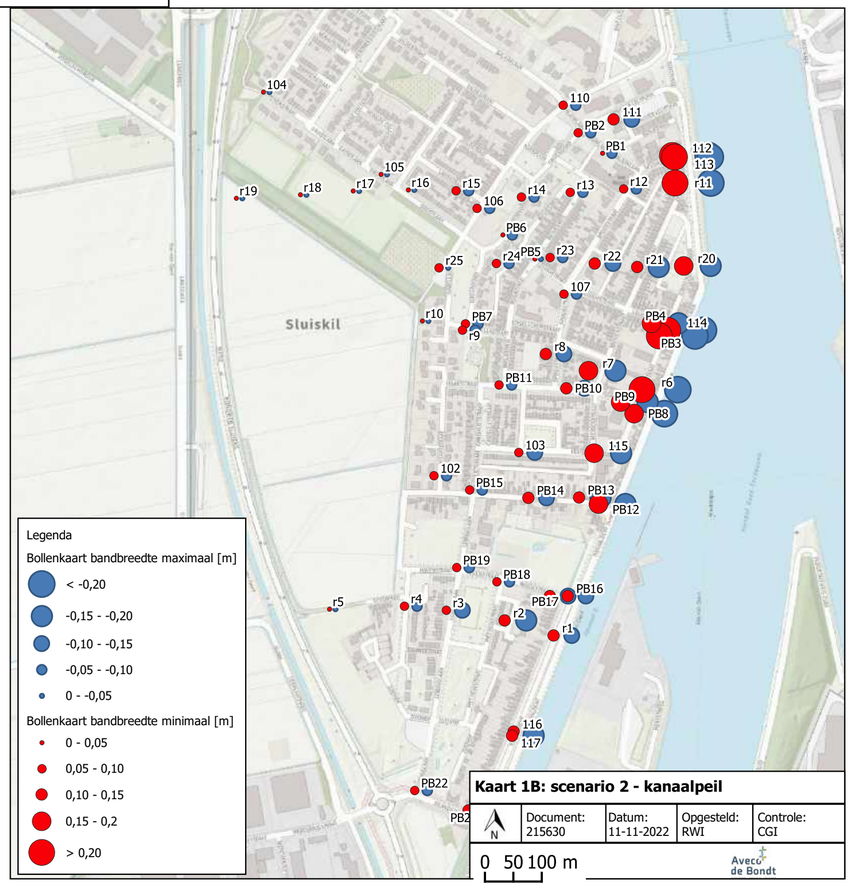

Grondwatergrafiek van peilbuis 115
Grondwaterstand in m NAP
1.9
1.8
1.7
1.6
1.5
1.4
1.3
1.2
2016
2017
2018
2021
2022
Gemodelleerde grondwaterstand
Metingen grondwatermeetnet

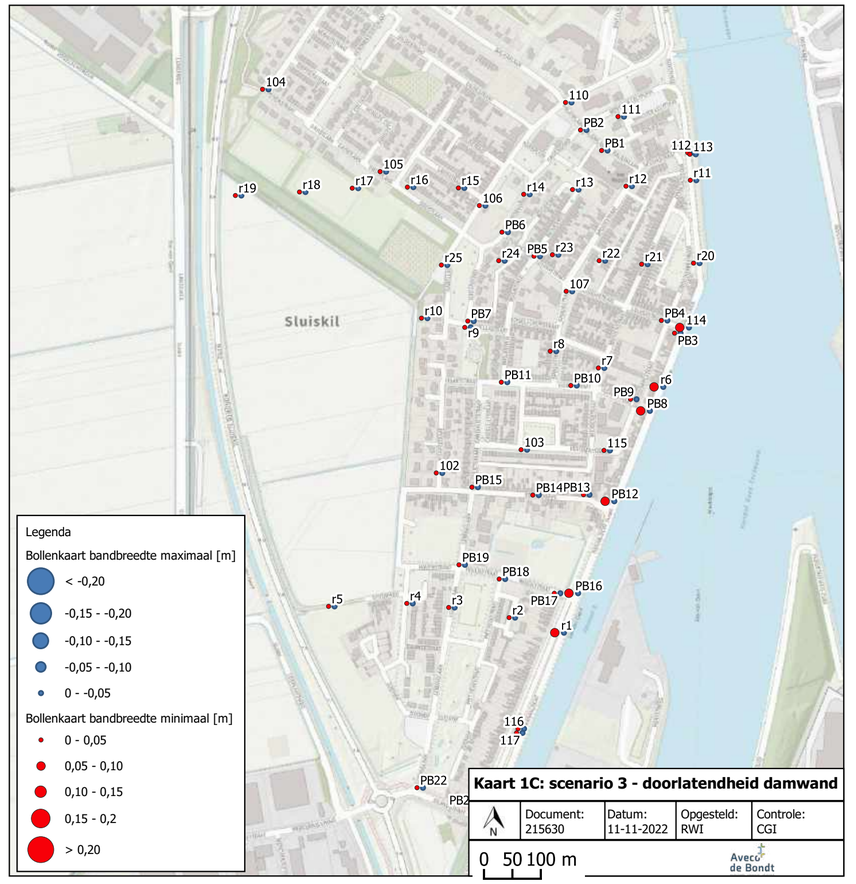

Grondwatergrafiek van peilbuis 116
Grondwaterstand in m NAP
2.1
2.0
1.9
1.8
1.7
1.6
1.5
1.4
1.3
1.2
1.1
2016
2017
2018
2021
2022
Gemodelleerde grondwaterstand
Metingen grondwatermeetnet

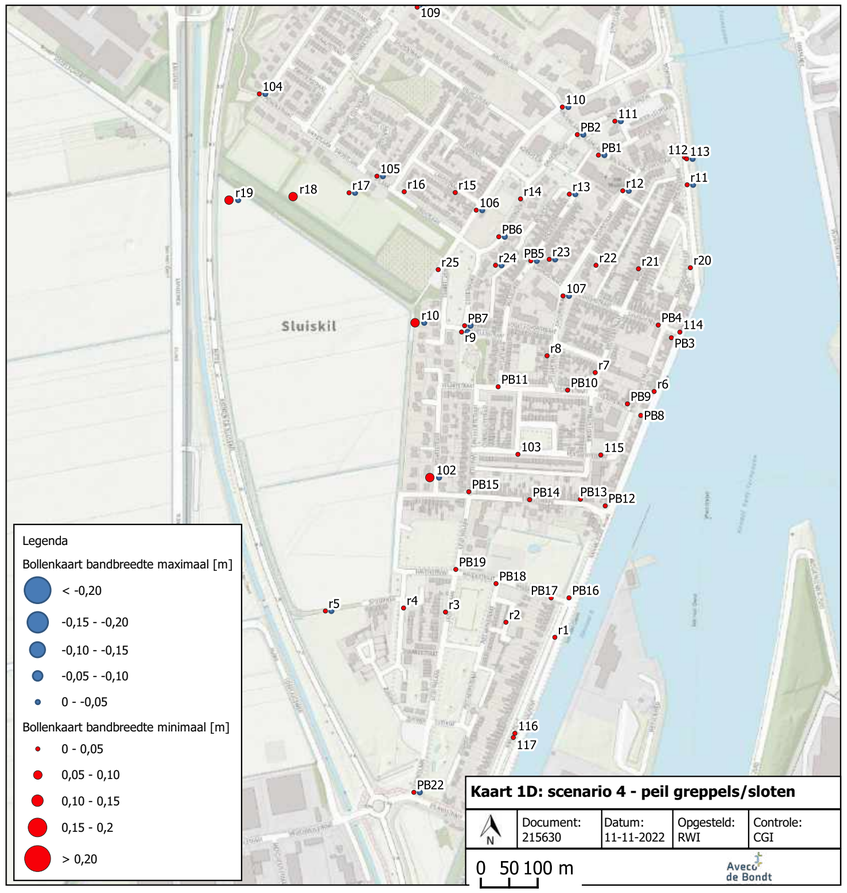

Grondwatergrafiek van peilbuis 117
Grondwaterstand in m NAP
2.0
1.9
1.8
1.7
1.6
1.5
2021-01
2021-03
2021-05
2021-07
2022-05
2022-07
2022-09
Gemodelleerde grondwaterstand
Metingen grondwatermeetnet
Datum

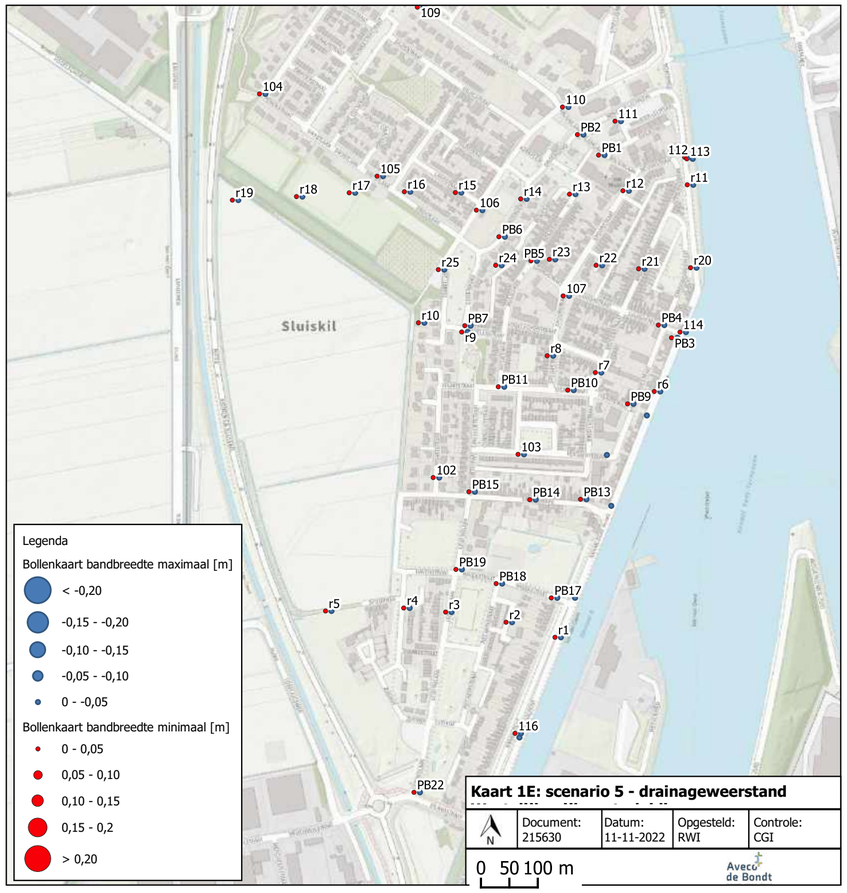
Bijlage C: Bollenkaarten bandbreedte analyse

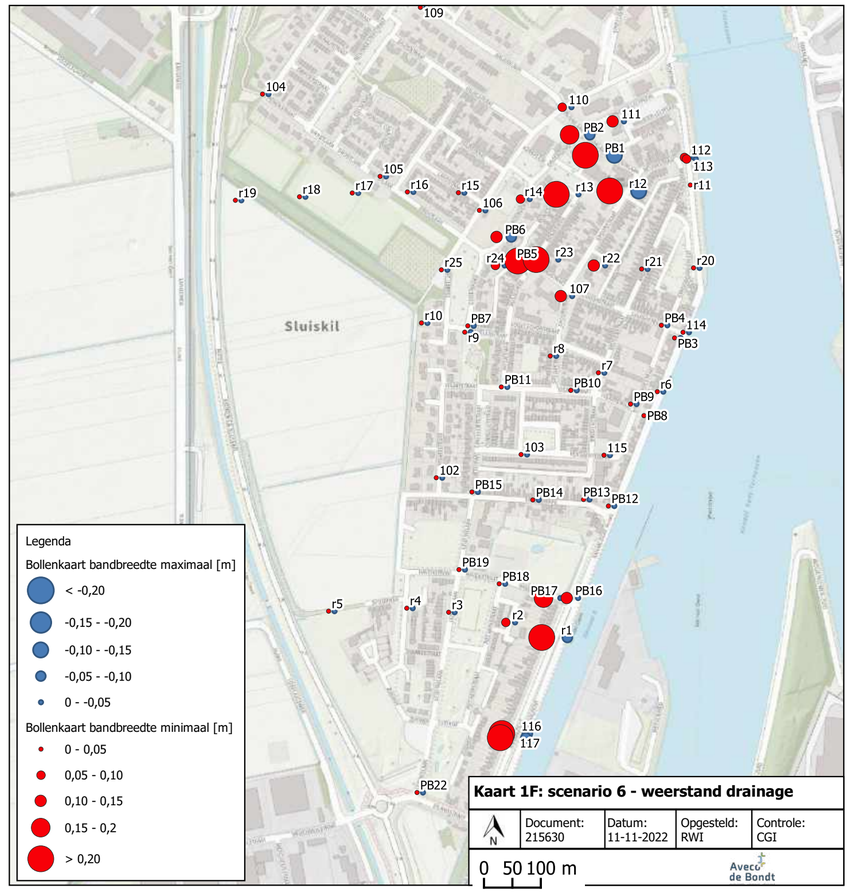




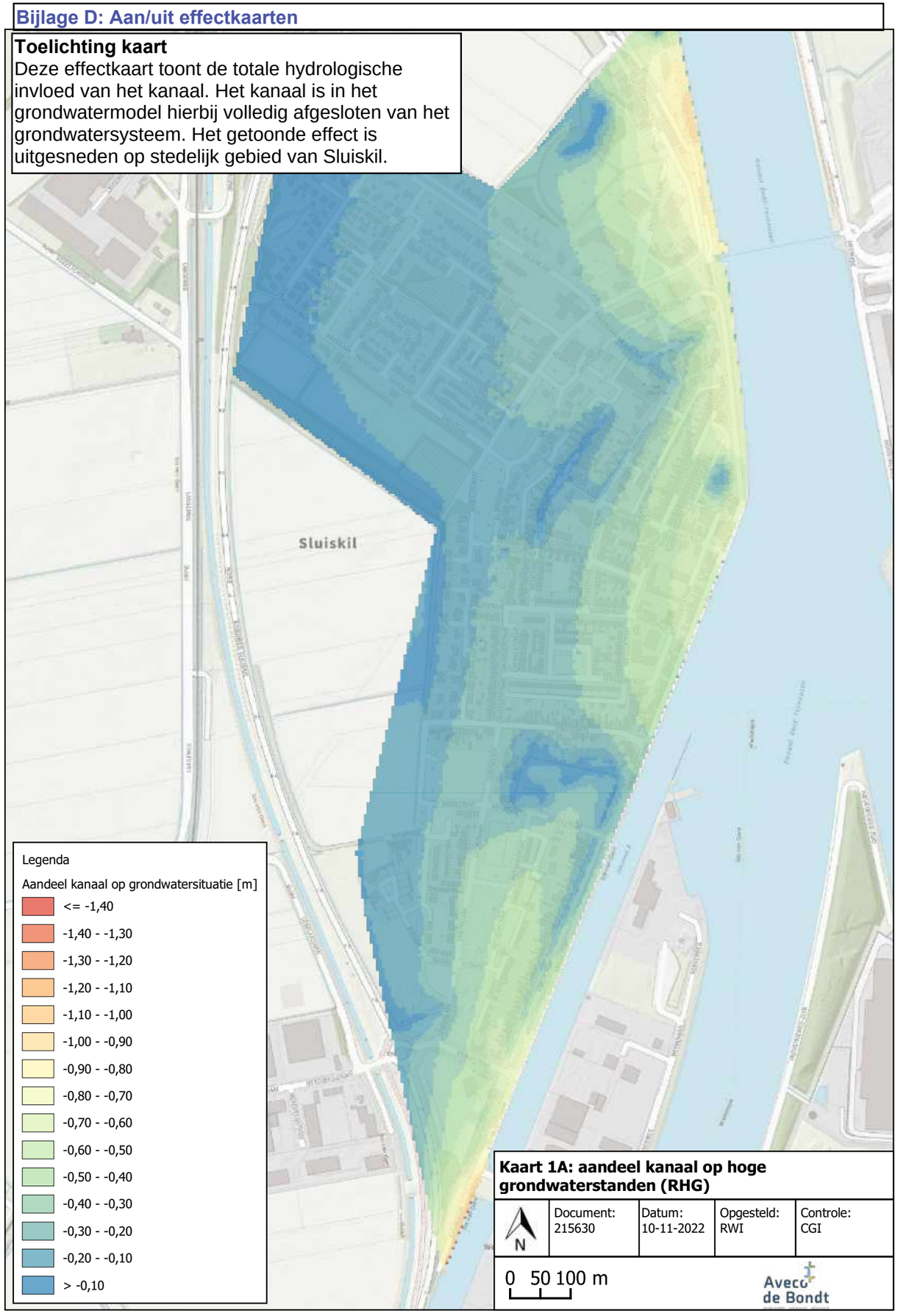








Toelichting kaart
Deze effectkaart toont de totale hydrologische invloed van het kanaal. Het kanaal is in het grondwatermodel hierbij volledig afgesloten van het grondwatersysteem. Het getoonde effect is uitgesneden op stedelijk gebied van Sluiskil.



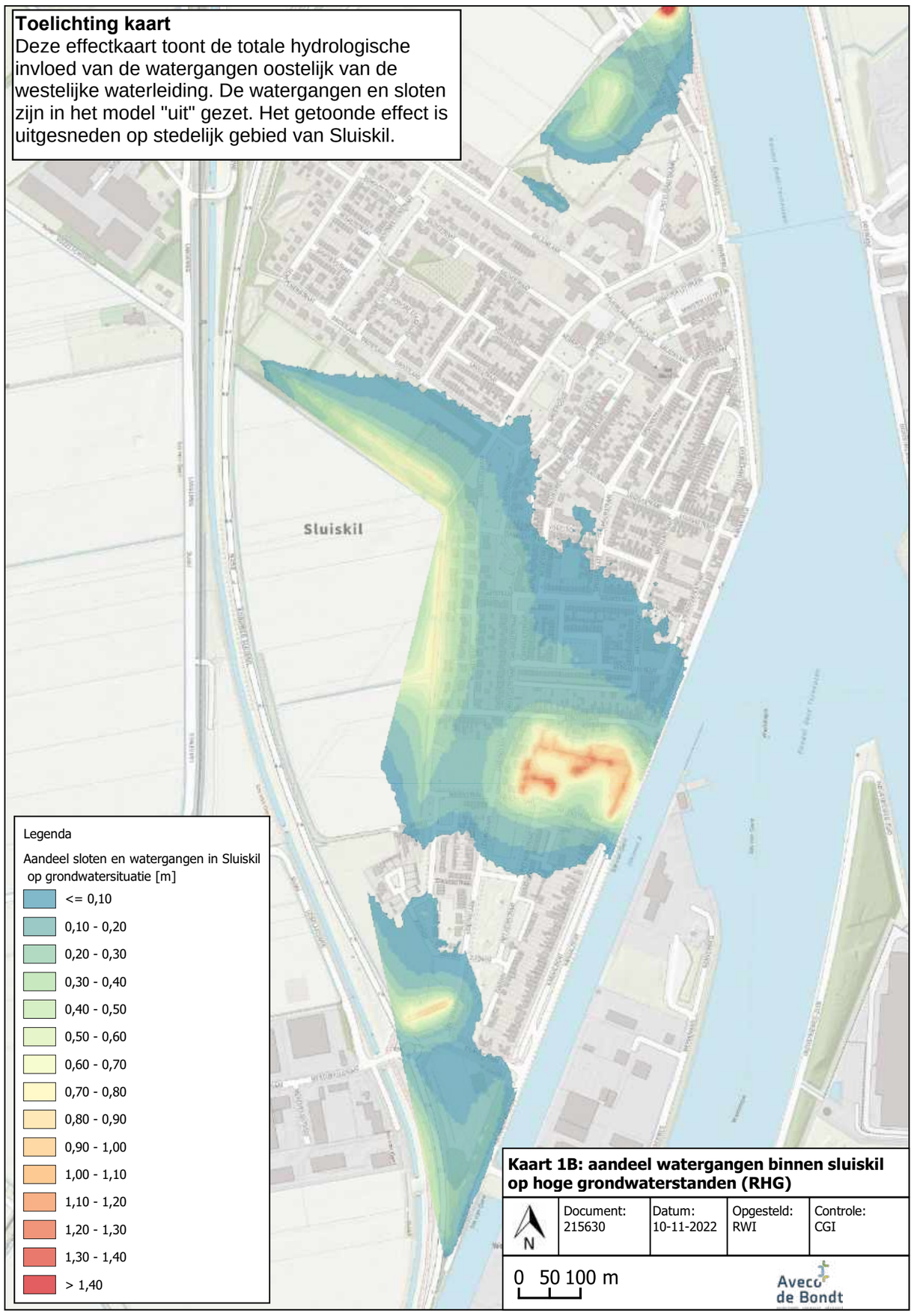
Kaart 1A: aandeel kanaal op hoge grondwaterstanden (RHG)

N	Document: 215630	Datum: 10-11-2022	Opgesteld: RWI	Controle: CGI

0 50 100 m

Aveco de Bondt

Toelichting kaart
Deze effectkaart toont de totale hydrologische invloed van de watergangen oostelijk van de westelijke waterleiding. De watergangen en sloten zijn in het model "uit" gezet. Het getoonde effect is uitgesneden op stedelijk gebied van Sluiskil.



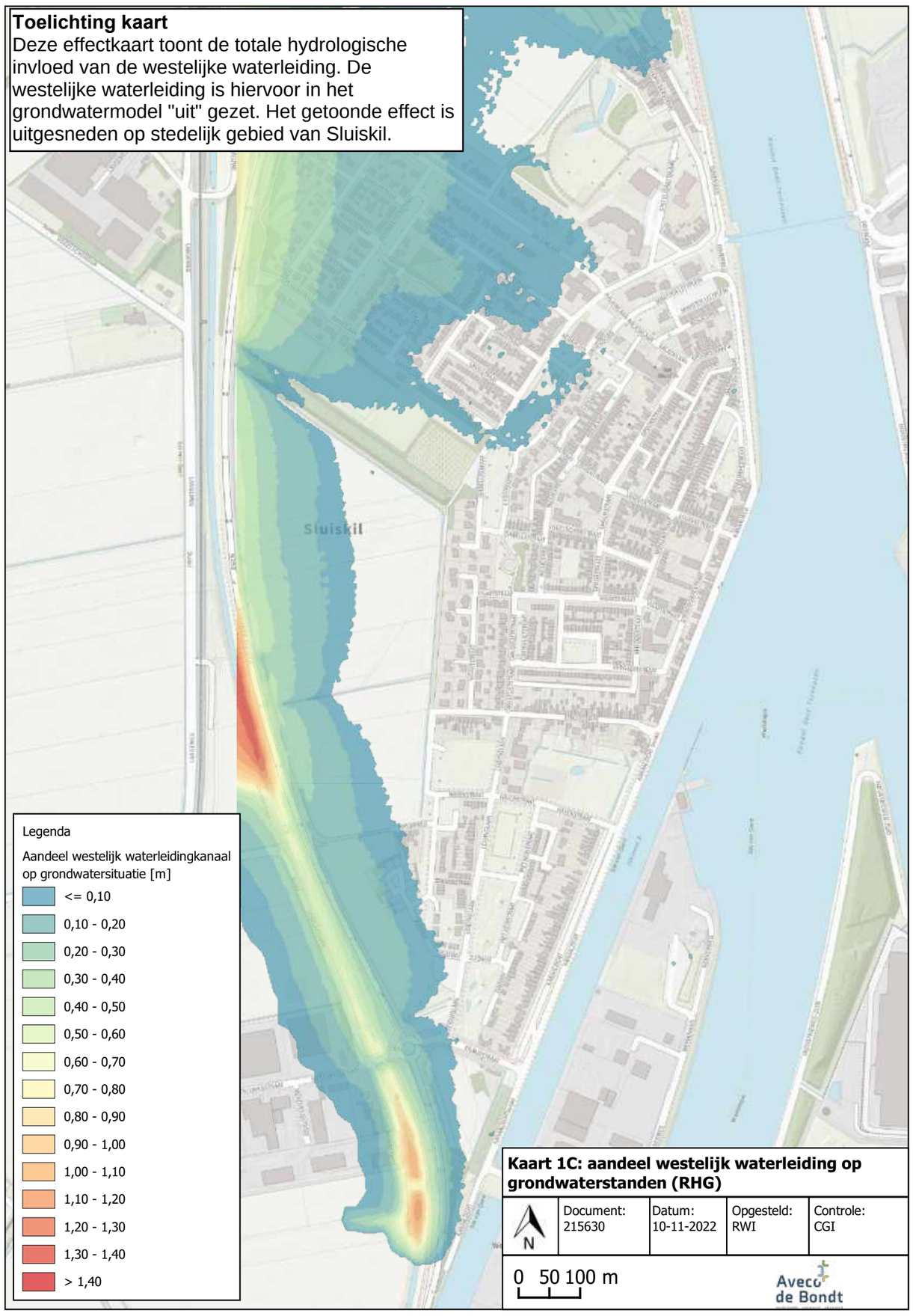
Kaart 1B: aandeel watergangen binnen sluiskil op hoge grondwaterstanden (RHG)

N	Document: 215630	Datum: 10-11-2022	Opgesteld: RWI	Controle: CGI

0 50 100 m

Aveco de Bondt

Toelichting kaart
Deze effectkaart toont de totale hydrologische invloed van de westelijke waterleiding. De westelijke waterleiding is hiervoor in het grondwatermodel "uit" gezet. Het getoonde effect is uitgesneden op stedelijk gebied van Sluiskil.



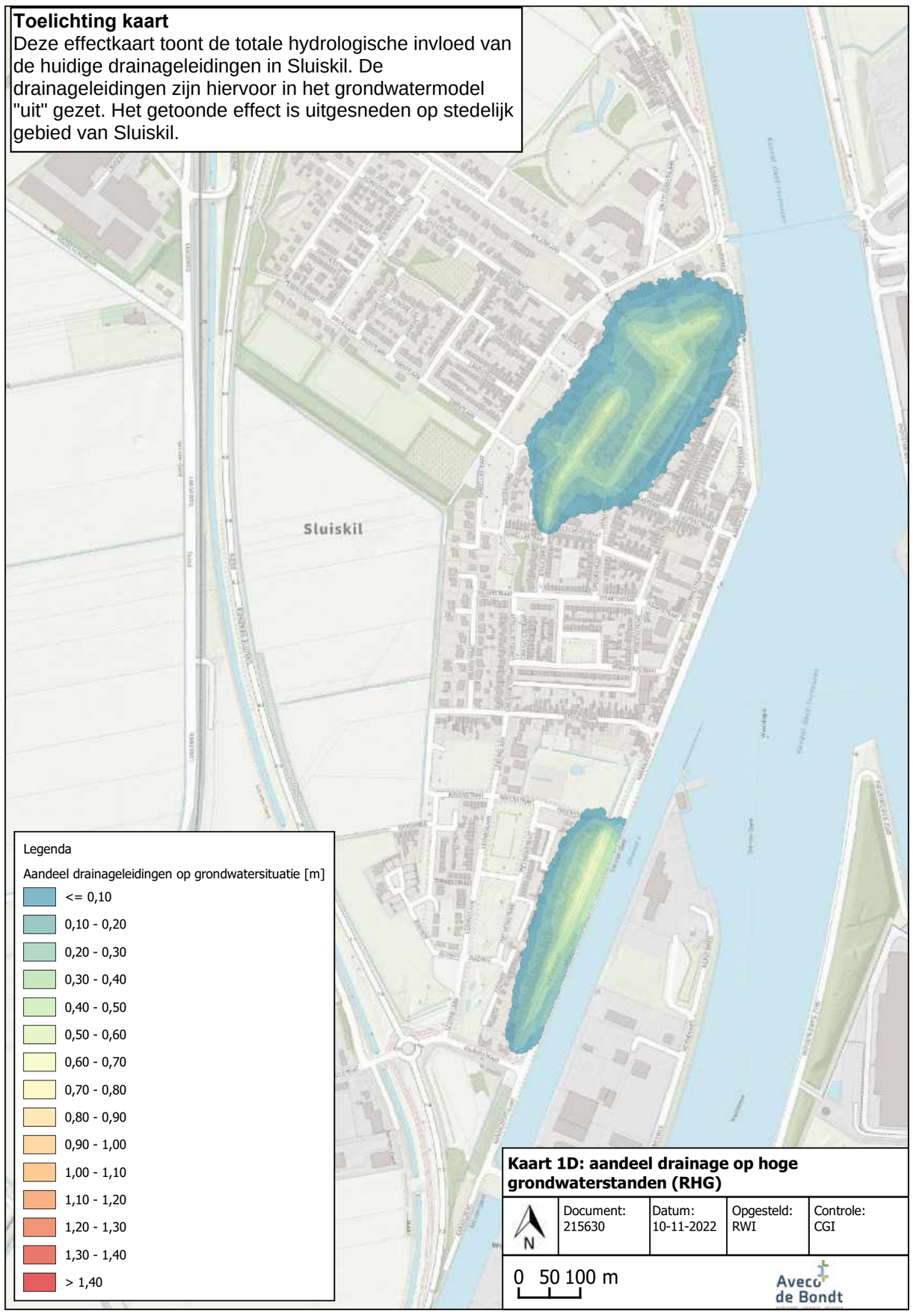
Kaart 1C: aandeel westelijk waterleiding op grondwaterstanden (RHG)

N	Document: 215630	Datum: 10-11-2022	Opgesteld: RWI	Controle: CGI

0 50 100 m

Aveco de Bondt

Toelichting kaart
Deze effectkaart toont de totale hydrologische invloed van de huidige drainageleidingen in Sluiskil. De drainageleidingen zijn hiervoor in het grondwatermodel "uit" gezet. Het getoonde effect is uitgesneden op stedelijk gebied van Sluiskil.



Kaart 1D: aandeel drainage op hoge grondwaterstanden (RHG)

N	Document: 215630	Datum: 10-11-2022	Opgesteld: RWI	Controle: CGI

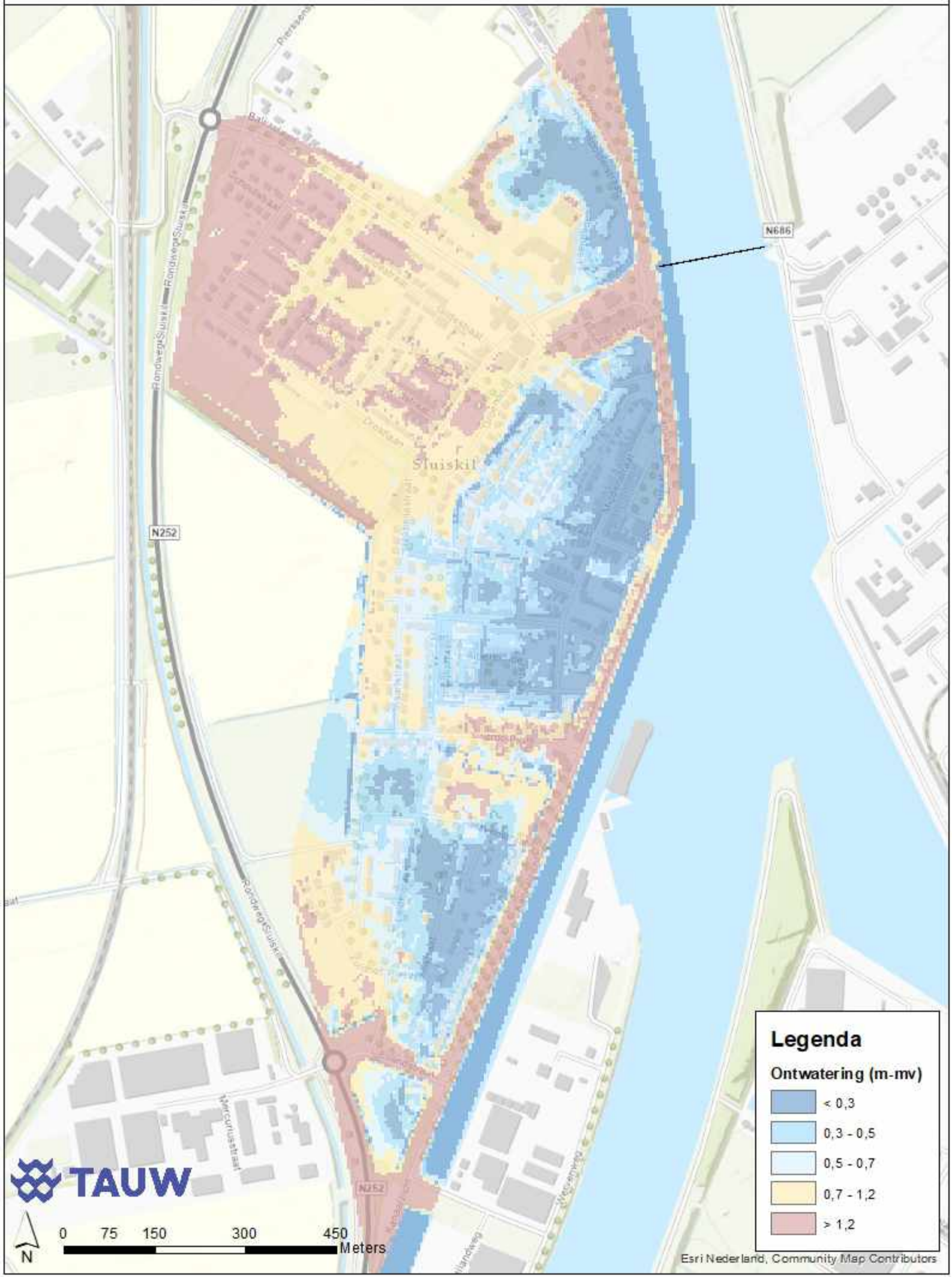
0 50 100 m

Aveco de Bondt

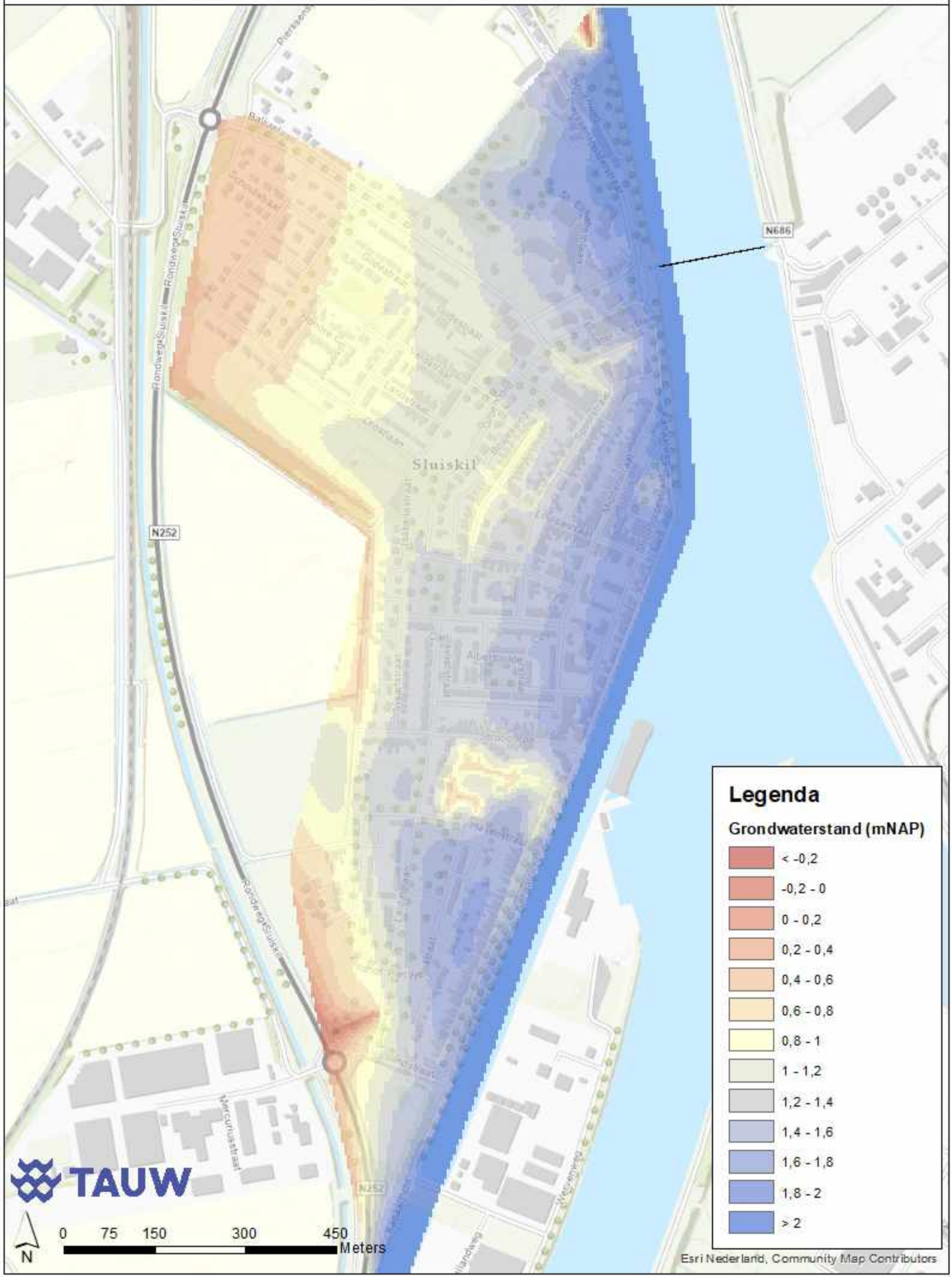
Kenmerk R001-1284768NJH-V02-agv-NL

Bijlage 7 Resultaten grondwatermodellering oorzaken en oplossingsrichtingen

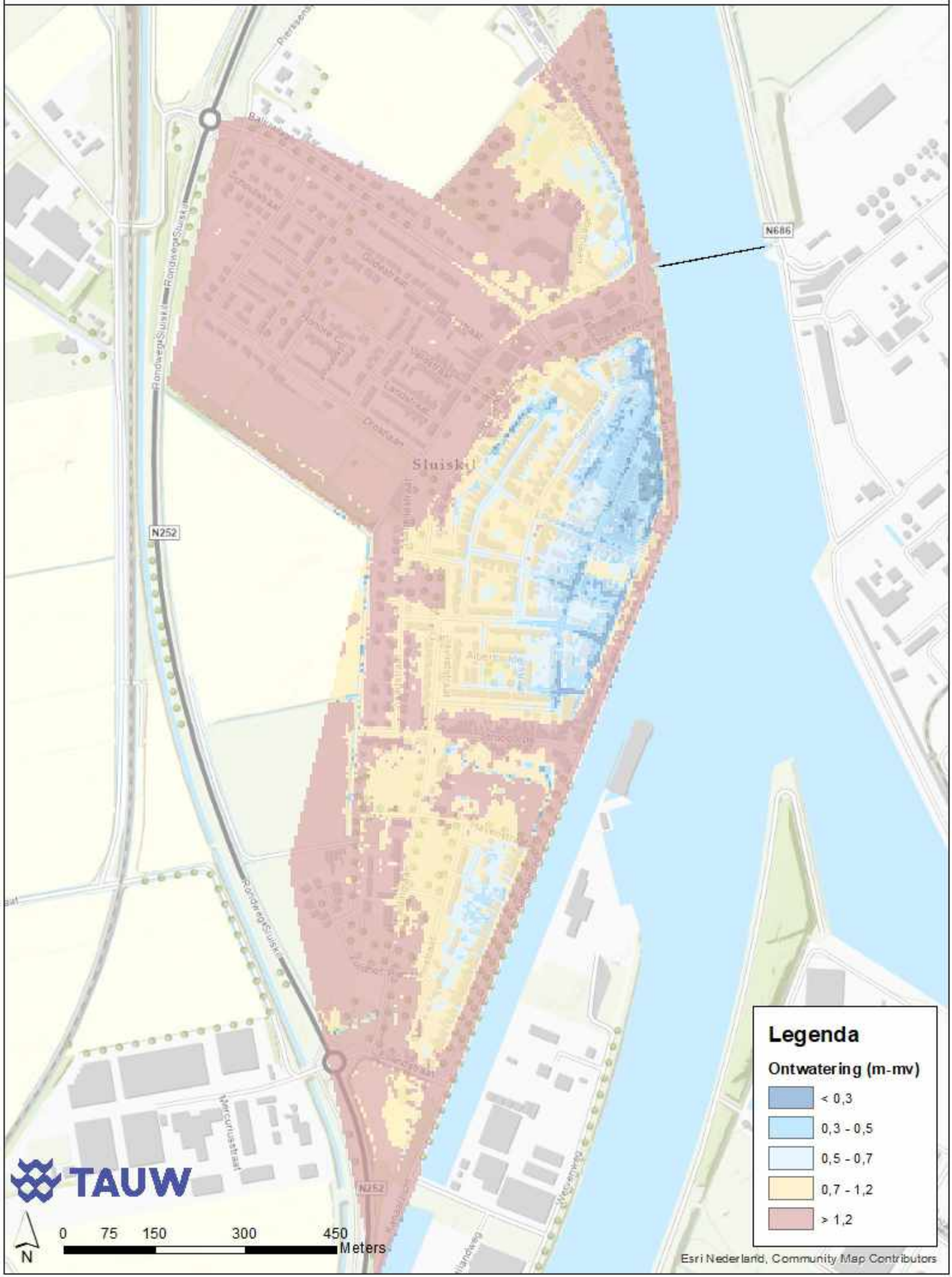
Representatieve hoge grondwaterstand (RHG) ten opzichte van maaiveld



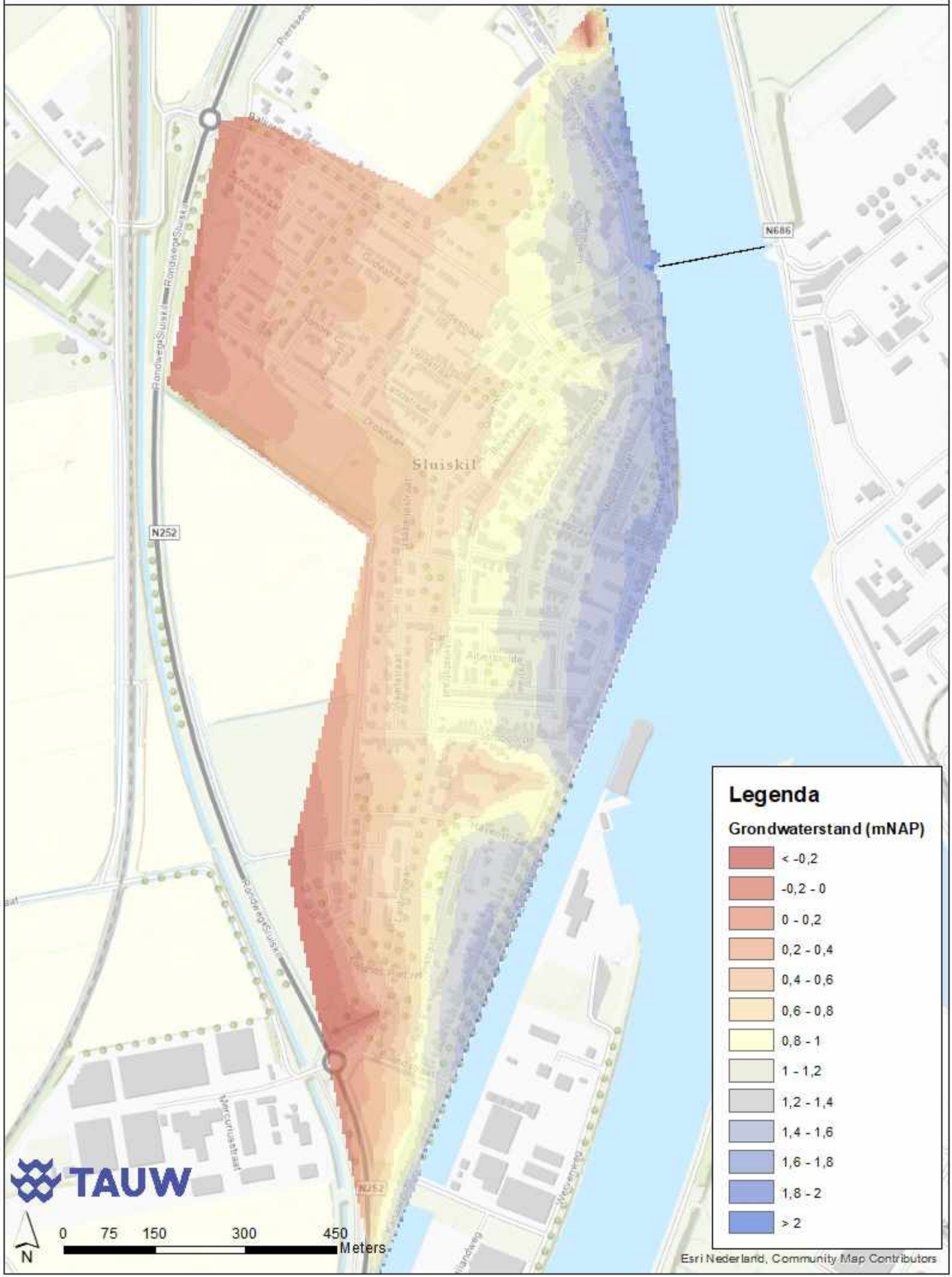
Representatieve hoge grondwaterstand (RHG) ten opzichte van NAP



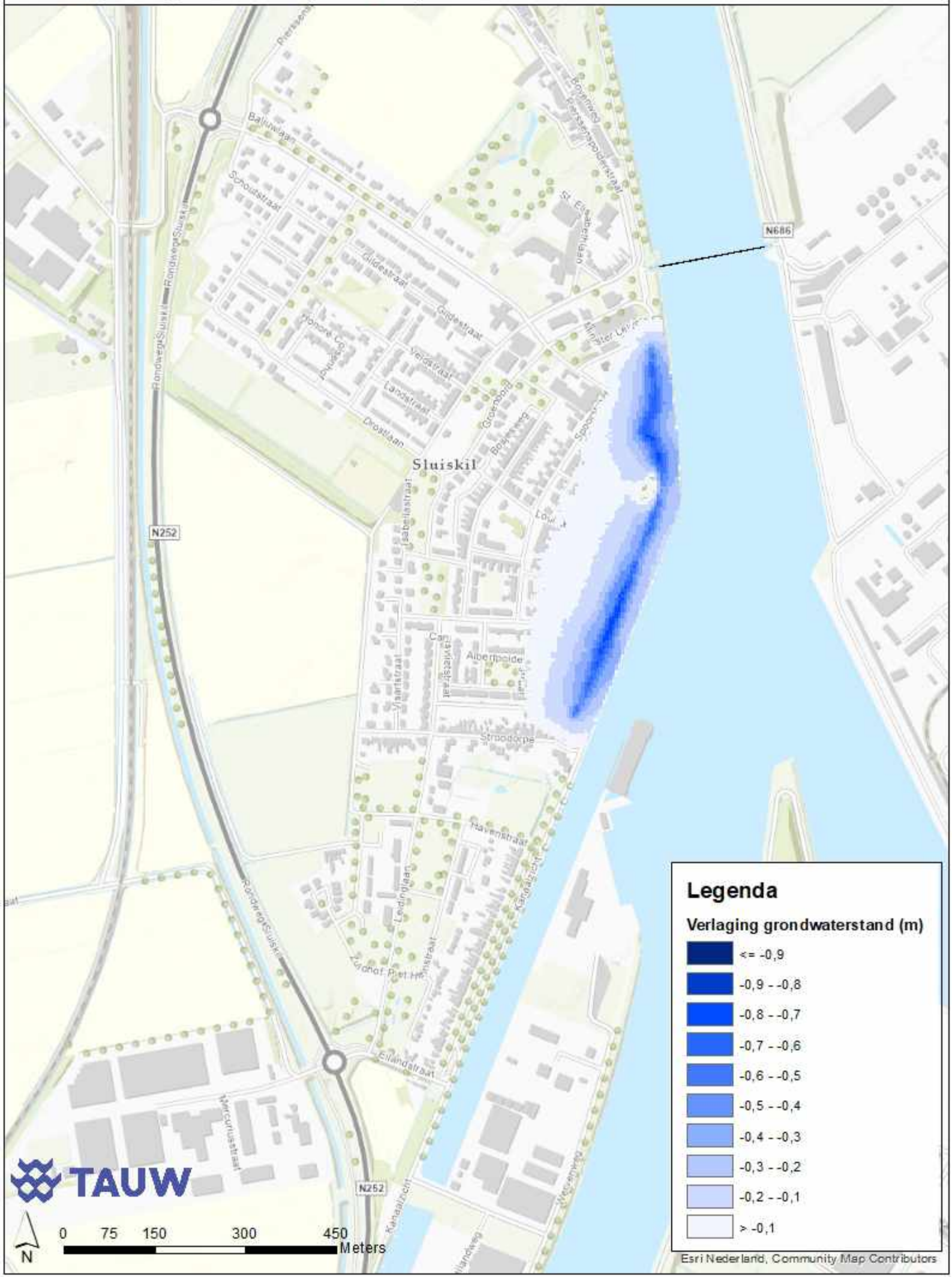
Representatieve lage grondwaterstand (RLG) ten opzichte van maaiveld



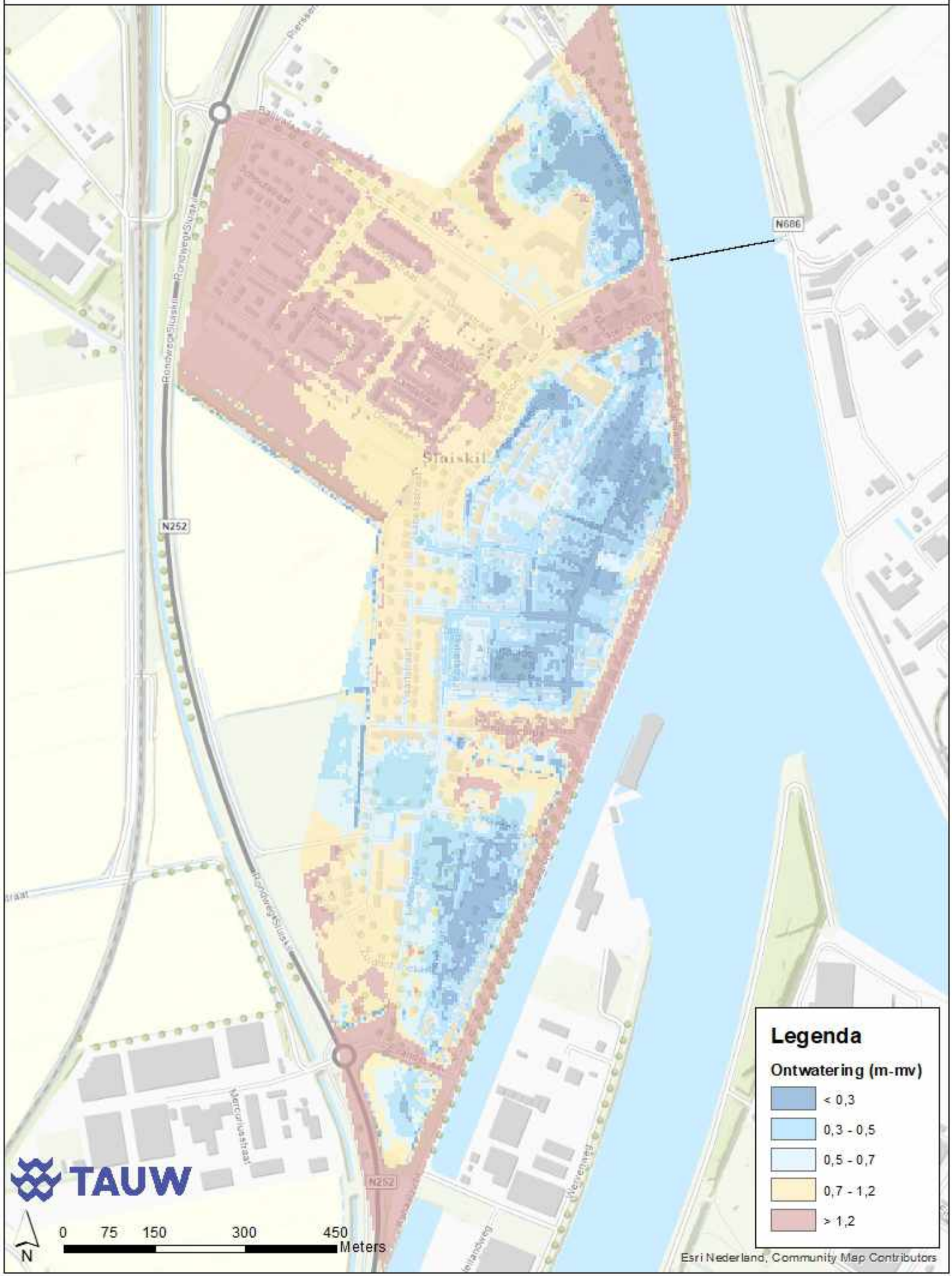
Representatieve lage grondwaterstand (RLG) ten opzichte van NAP



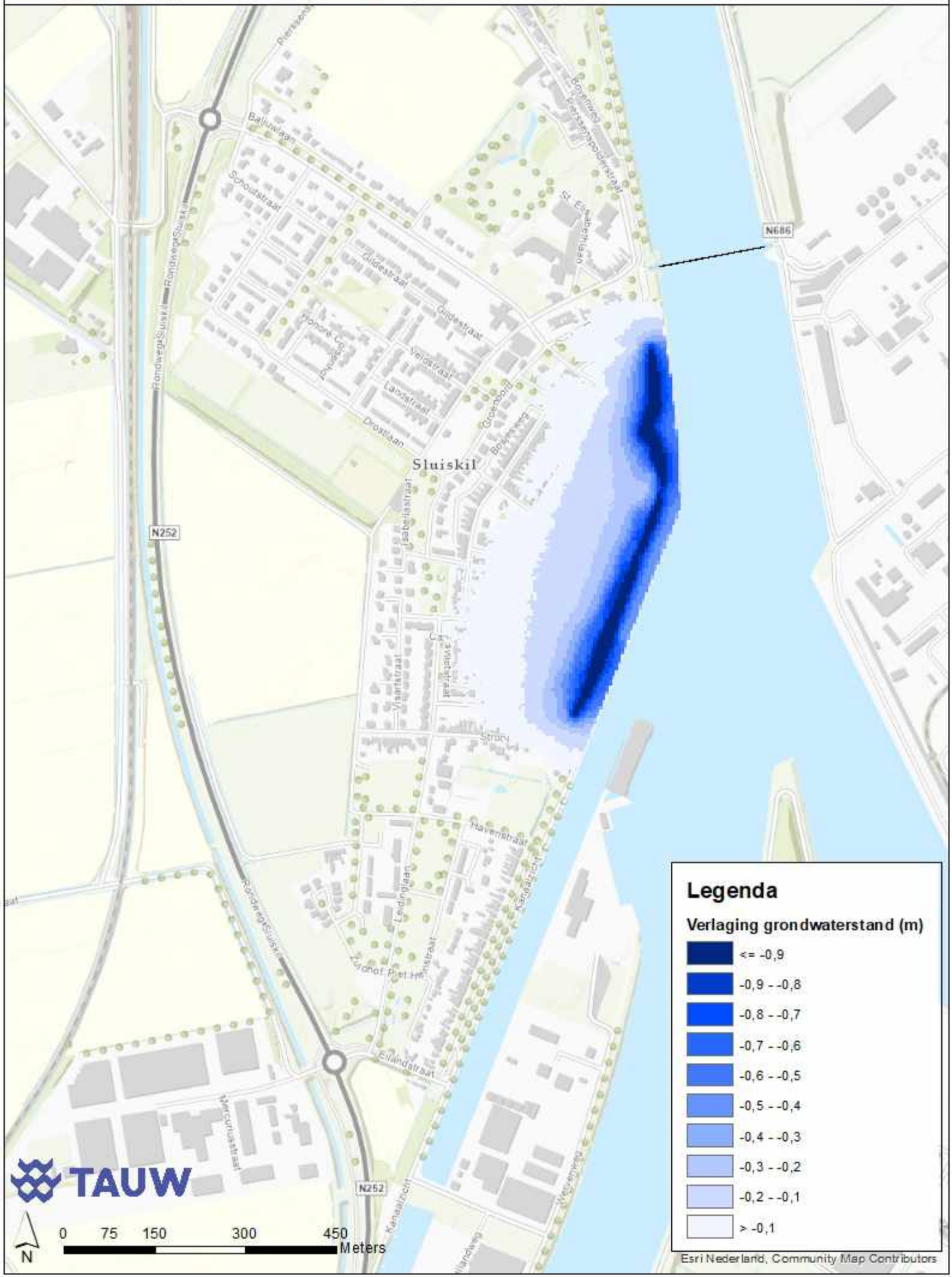
Verlaging RHG bij scenario 1a:
Drainage langs kanaal op 1 m diepte



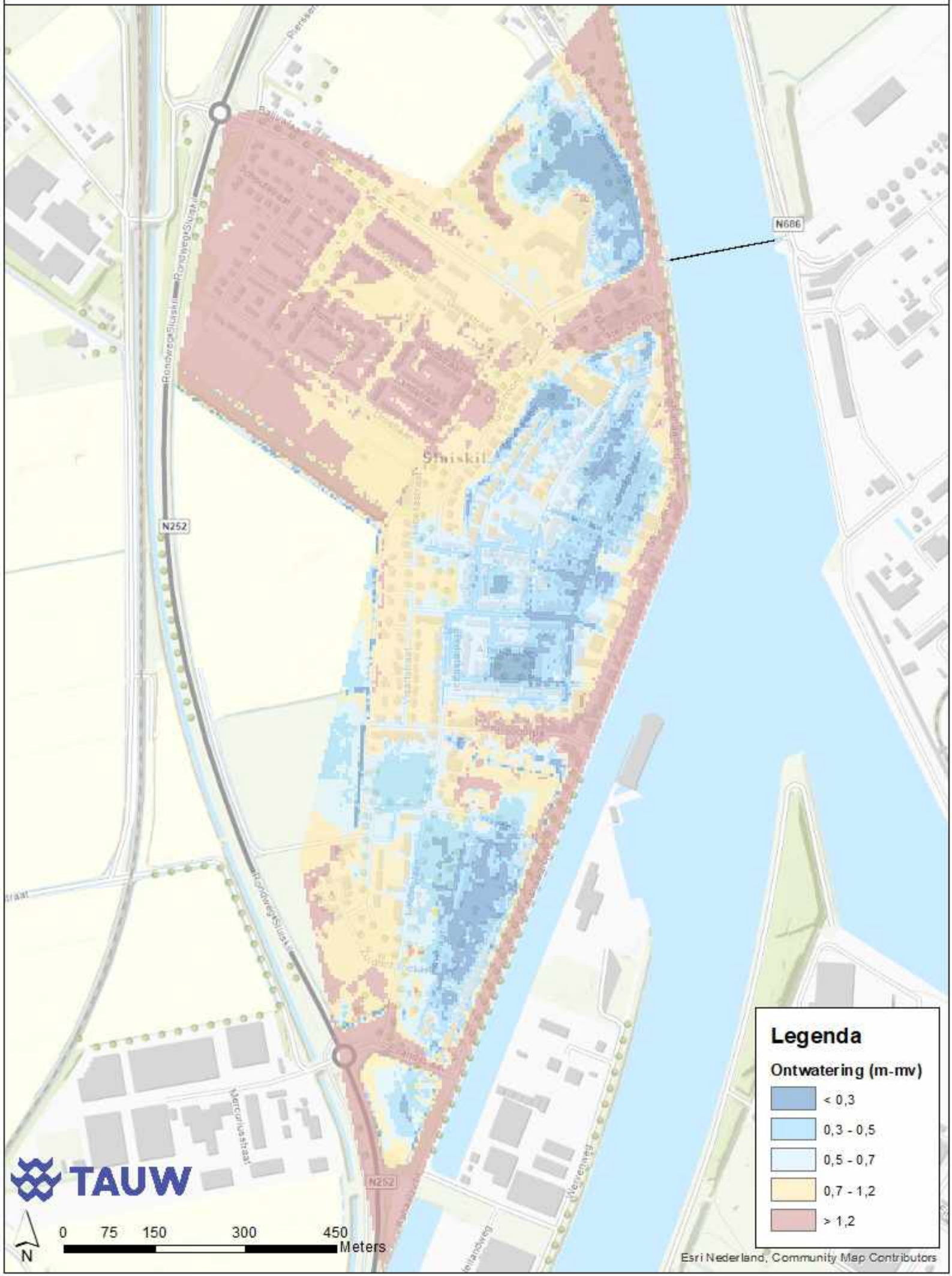
Ontwateringsdiepte bij RHG bij scenario 1a:
Drainage langs kanaal op 1 m diepte



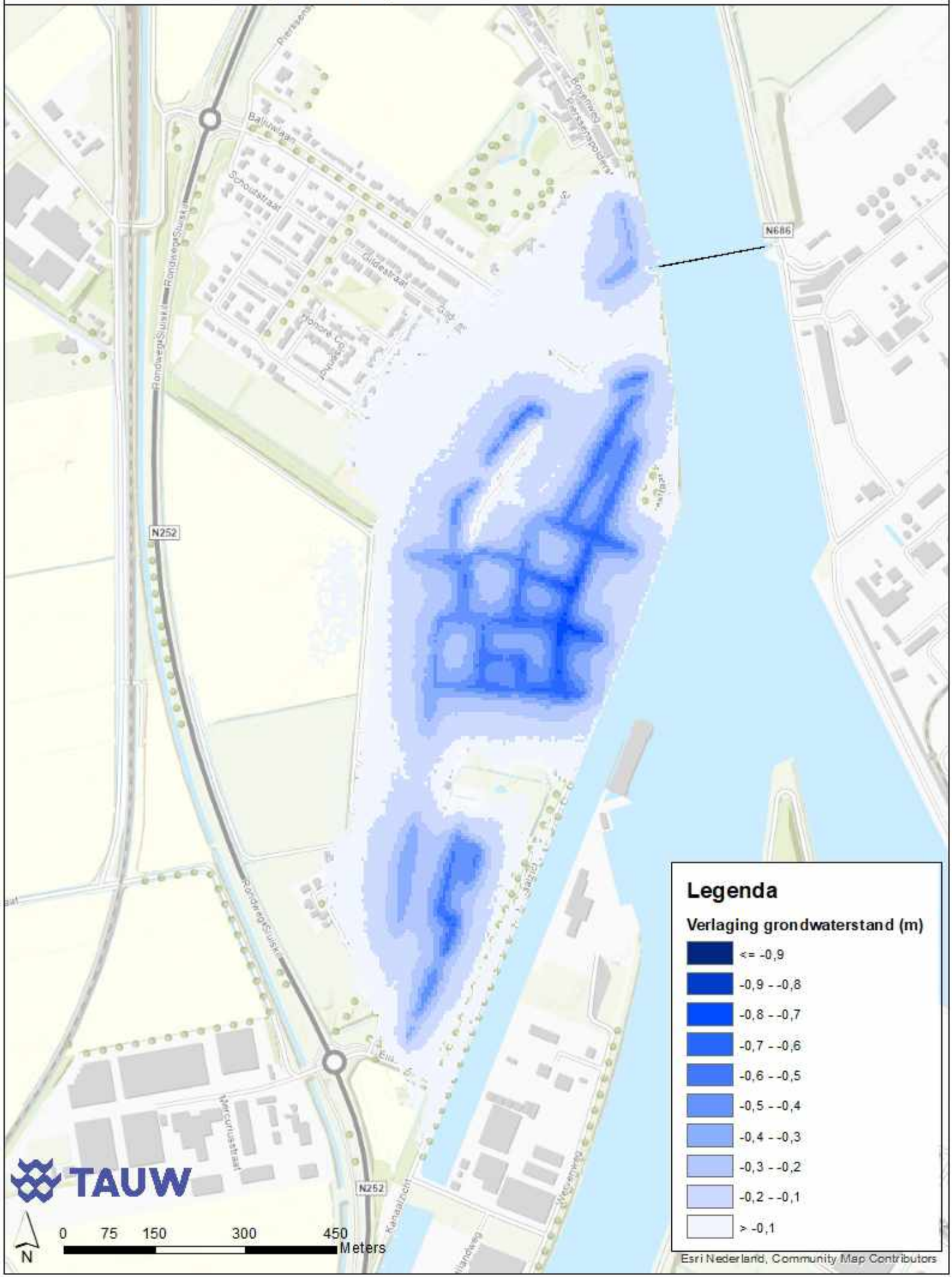
Verlaging RHG bij scenario 1b:
Drainage langs kanaal op 2 m diepte



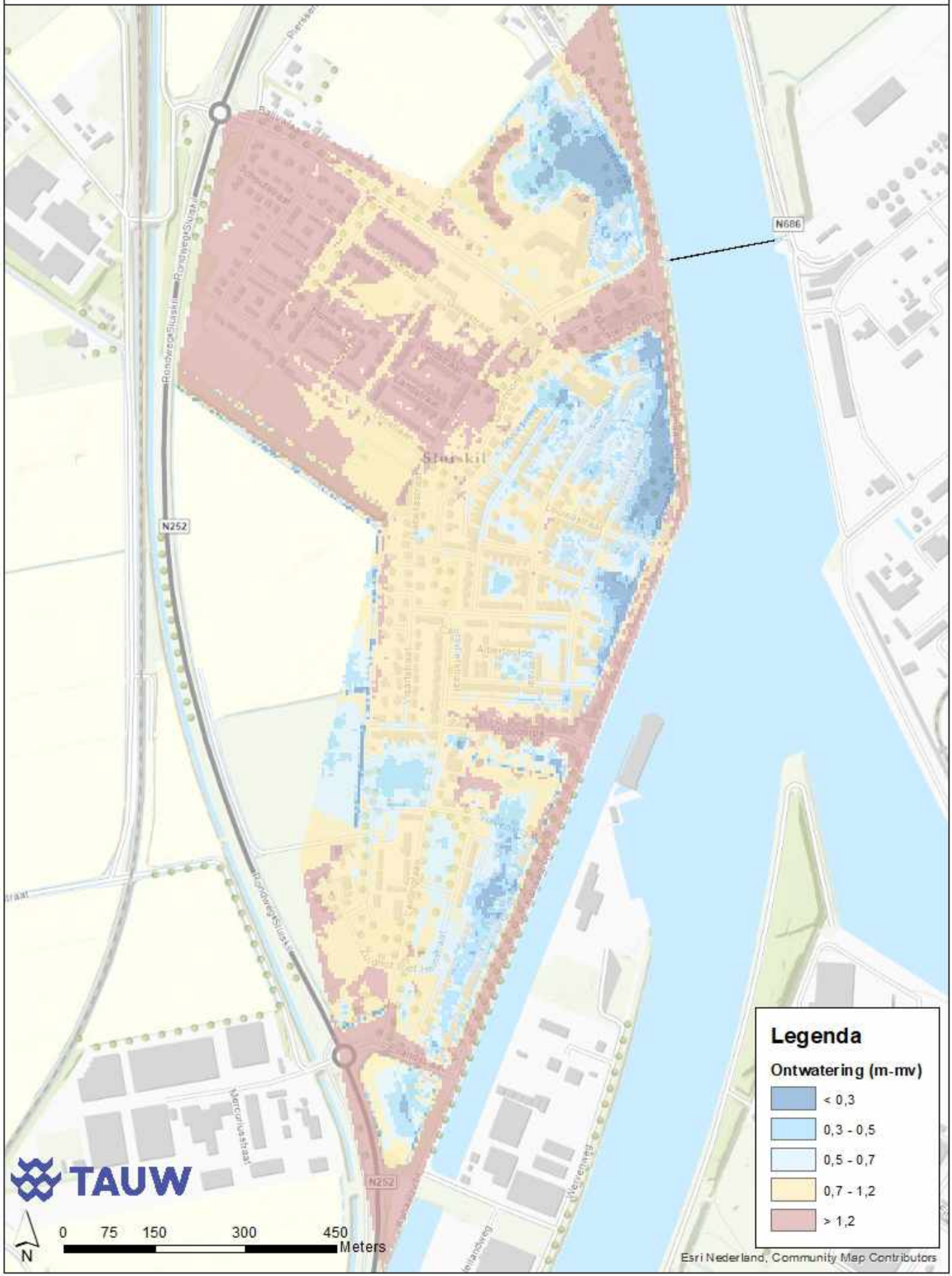
Ontwateringsdiepte bij RHG bij scenario 1b: Drainage langs kanaal op 2 m diepte



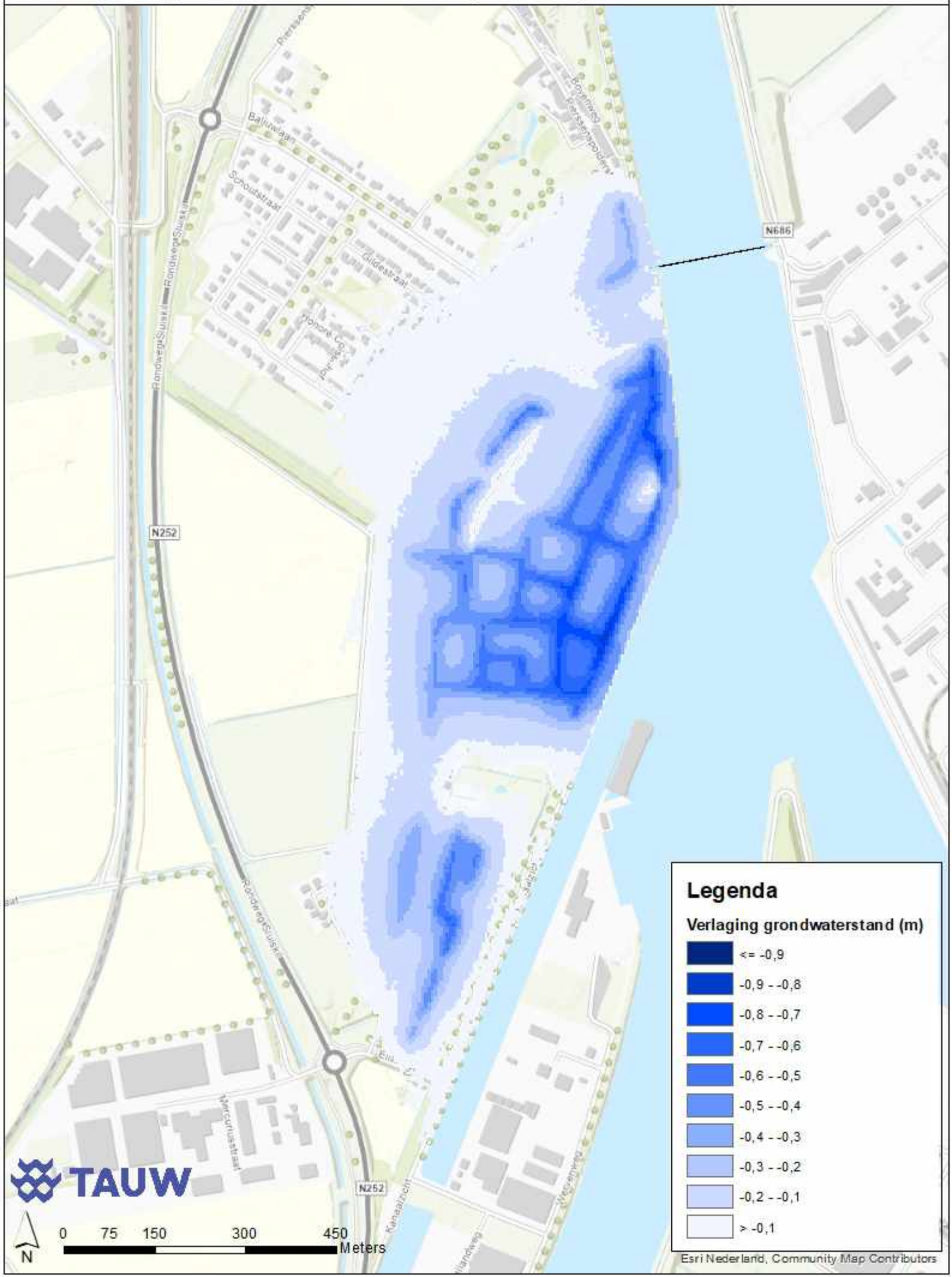
Verlaging RHG bij scenario 2a:
Drainage in Sluiskil op 1 m diepte



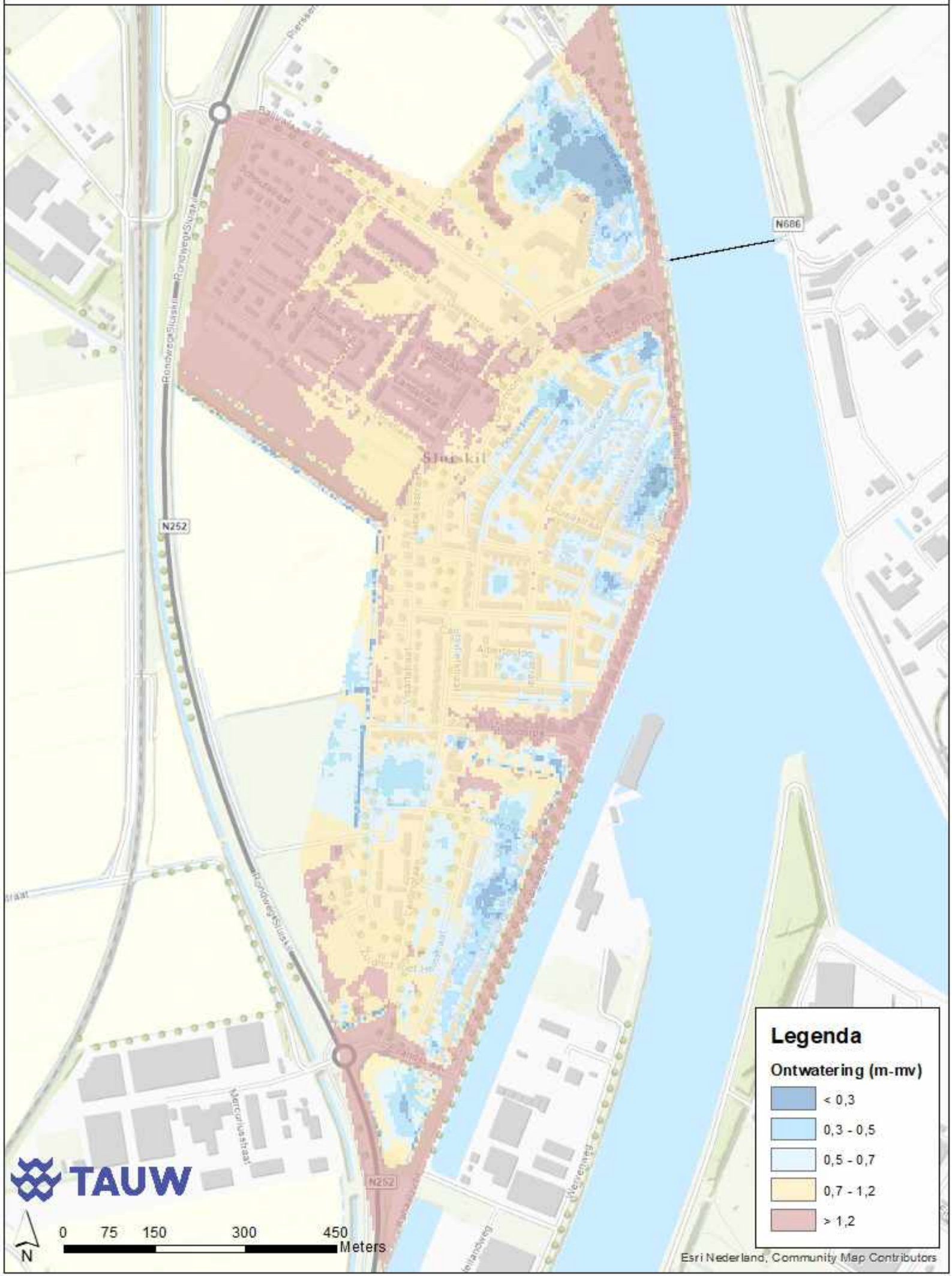
Ontwateringsdiepte bij RHG bij scenario 2a: Drainage in Sluiskil op 1 m diepte



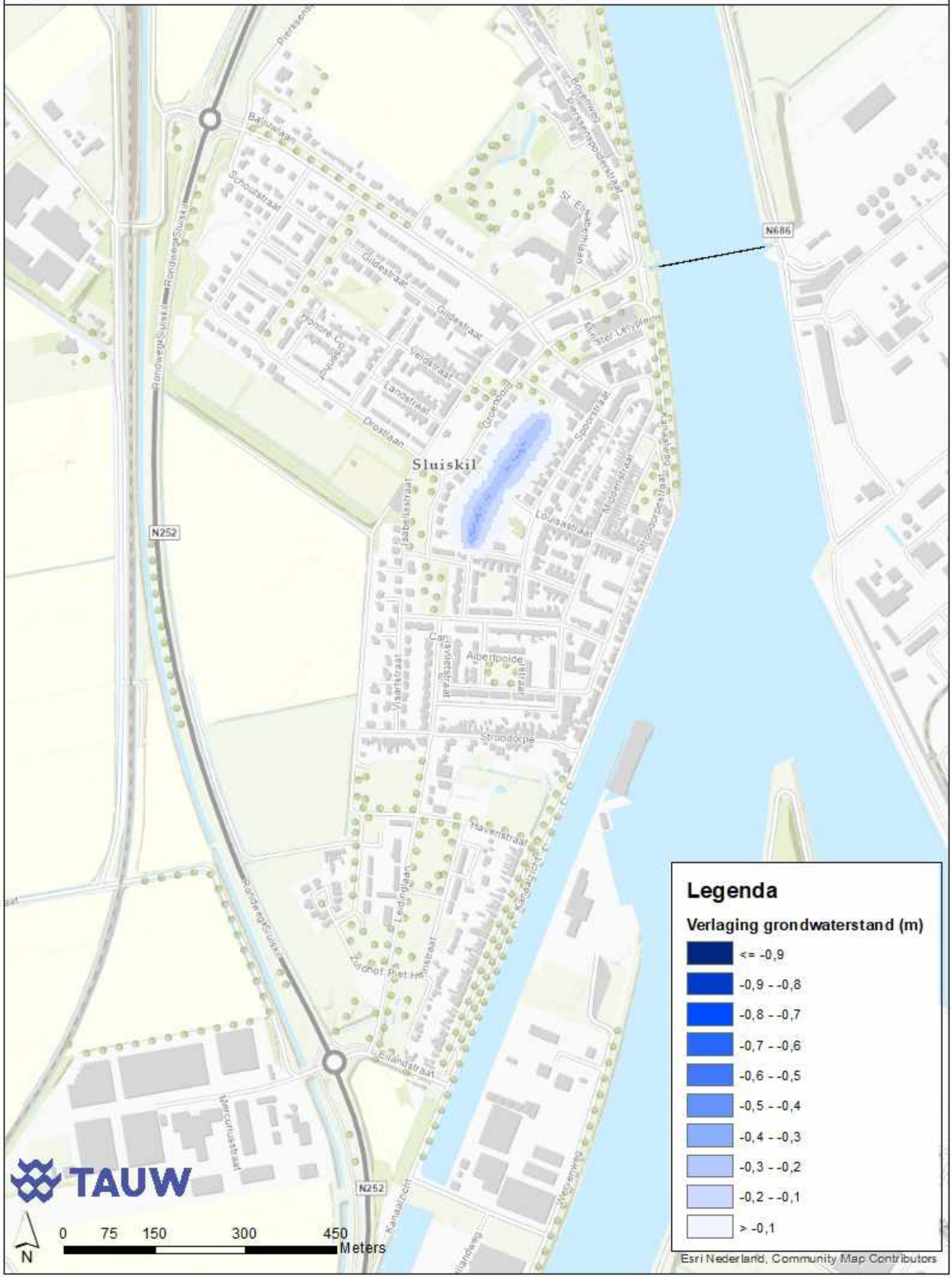
Verlaging RHG bij combinatie scenario 1a en 2a:
Drainage langs kanaal en in Sluiskil op 1 m diepte



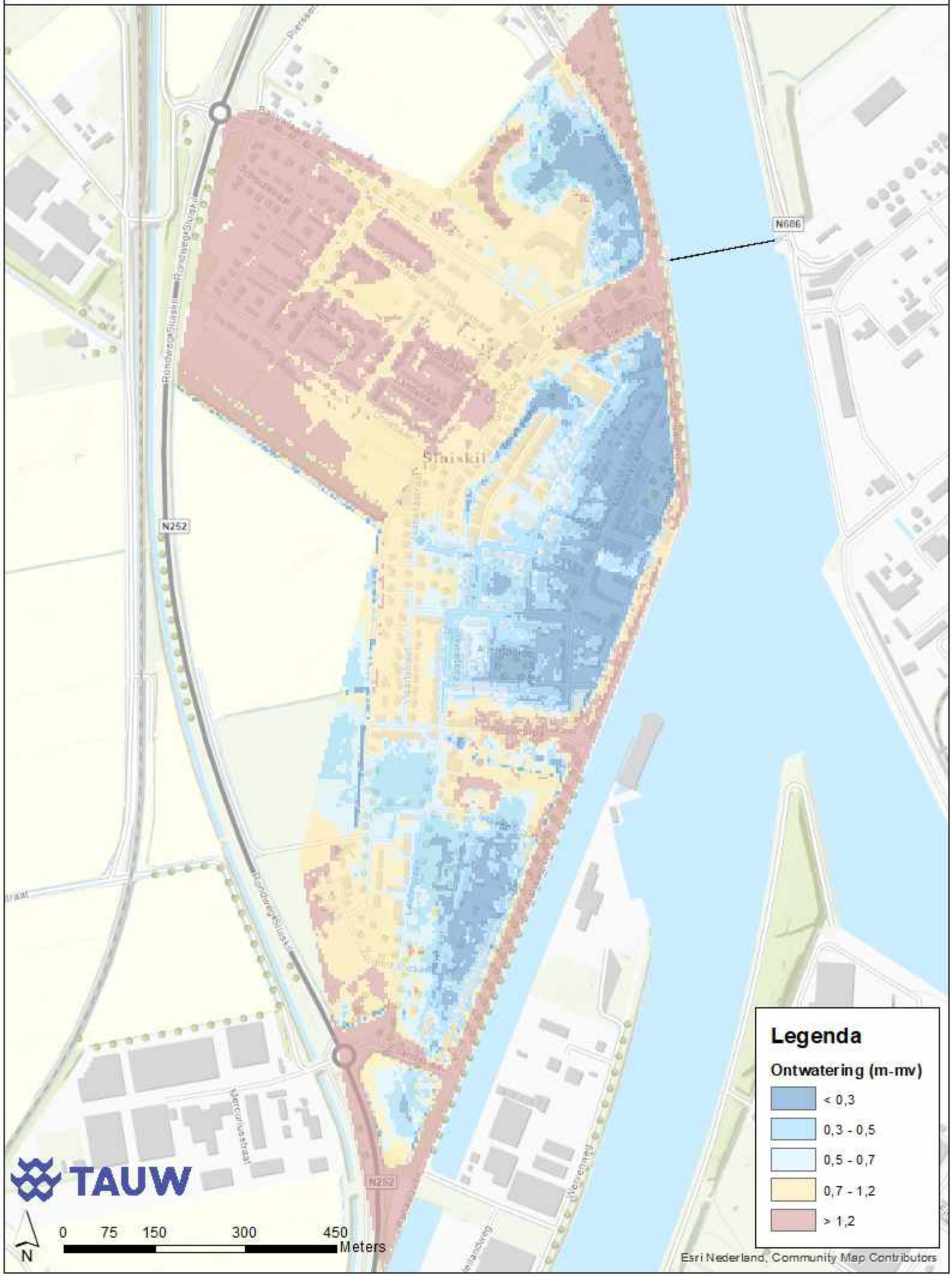
Ontwateringsdiepte bij RHG bij combinatie scenario 1a en 2a: Drainage langs kanaal en in Sluiskil op 1 m diepte



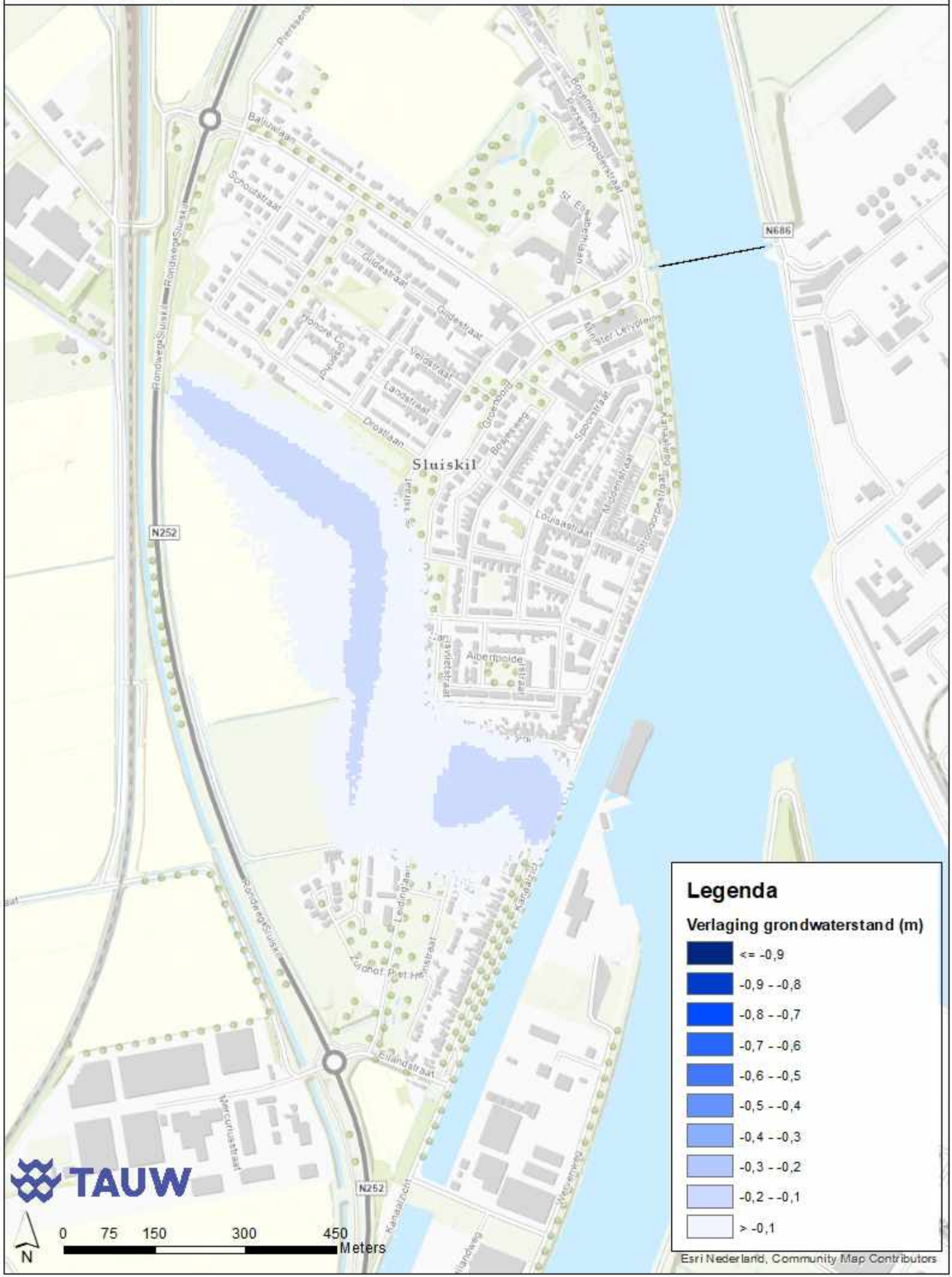
Verlaging RHG bij scenario 3a:
Opwaarderen bestaande drainage naar 1 m diepte



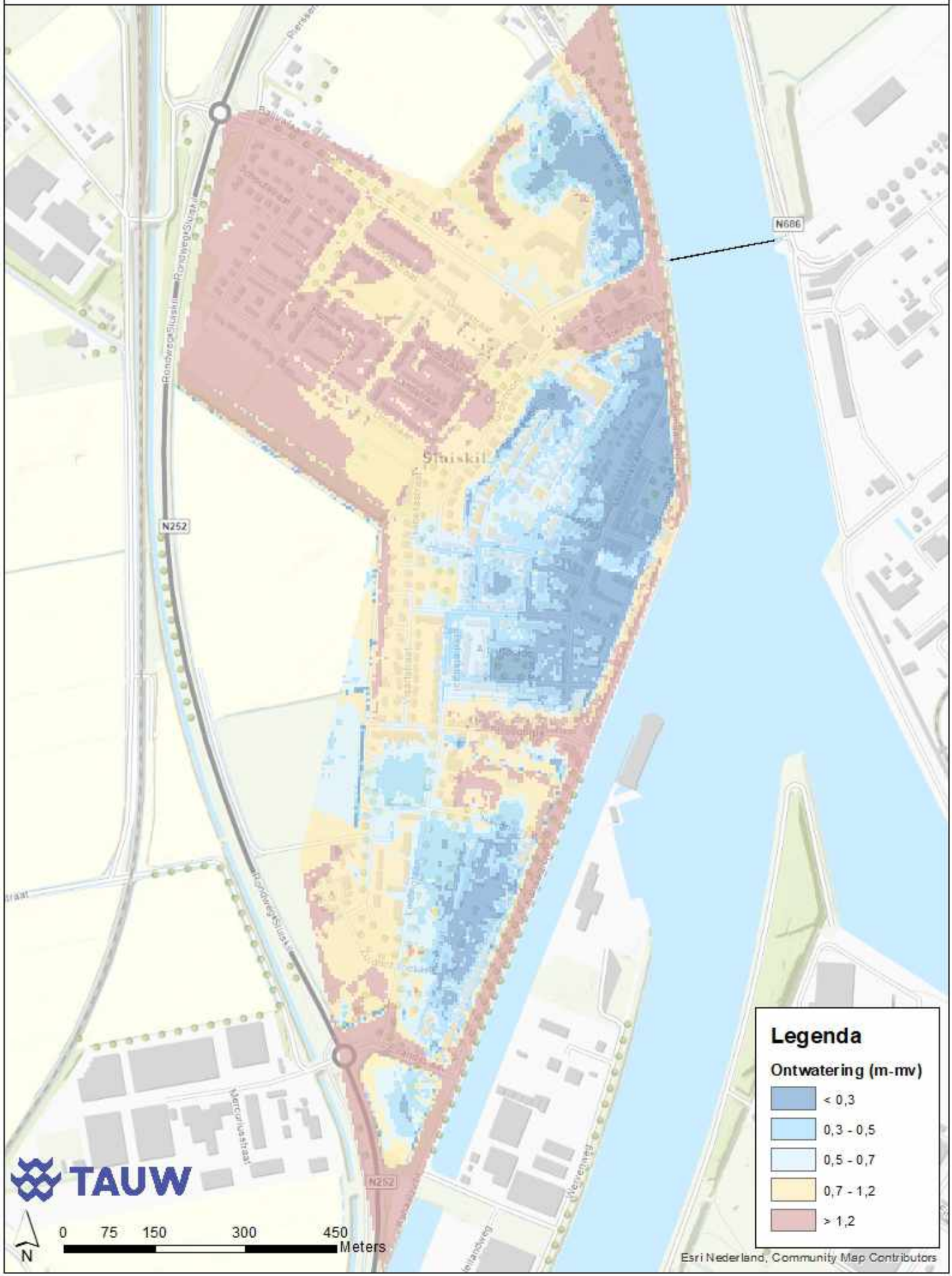
Ontwateringsdiepte bij RHG bij scenario 3a: Opwaarderen bestaande drainage naar 1 m diepte



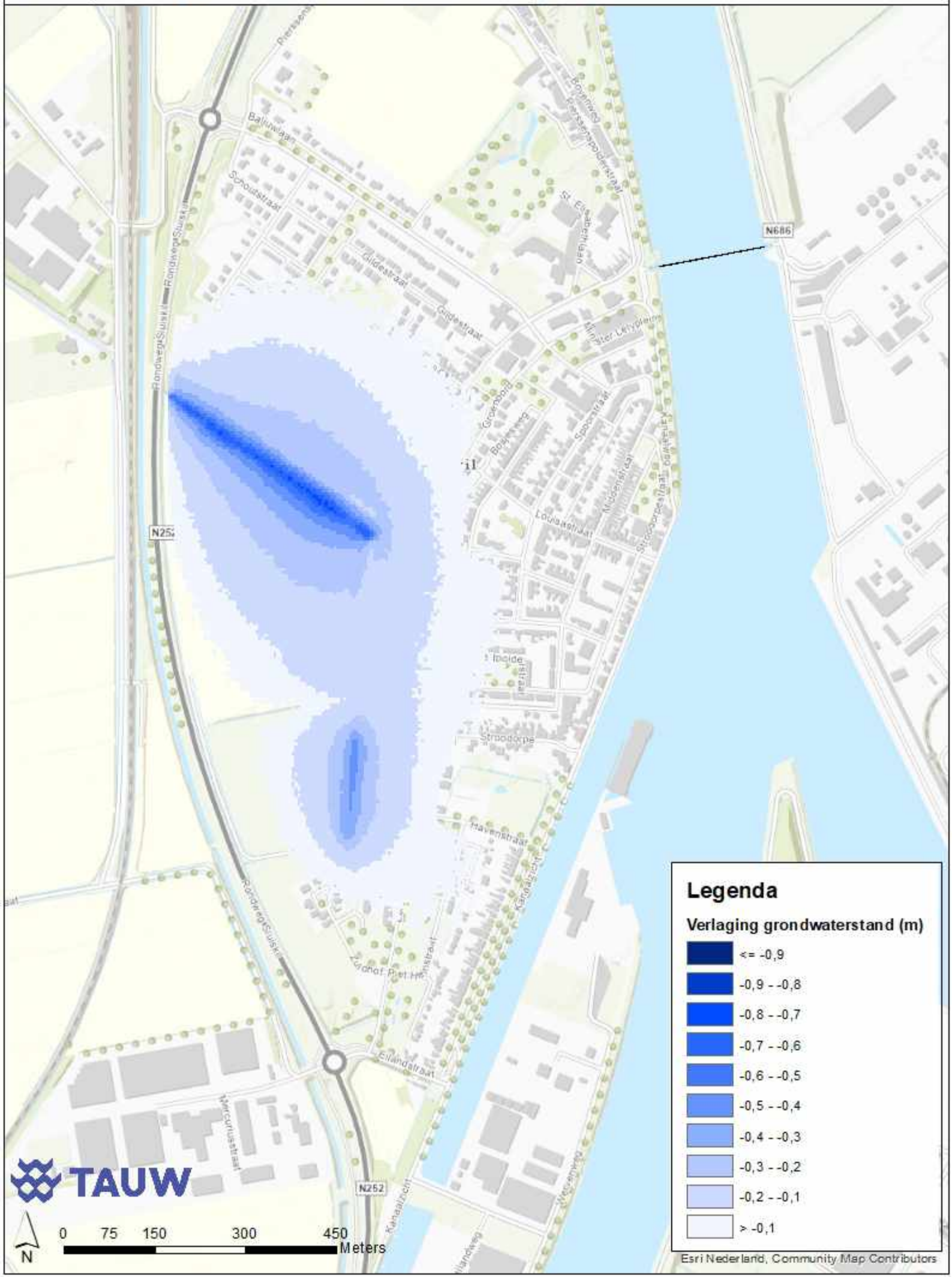
Verlaging RHG bij scenario 4a:
Peilverlaging bestaande waterlopen



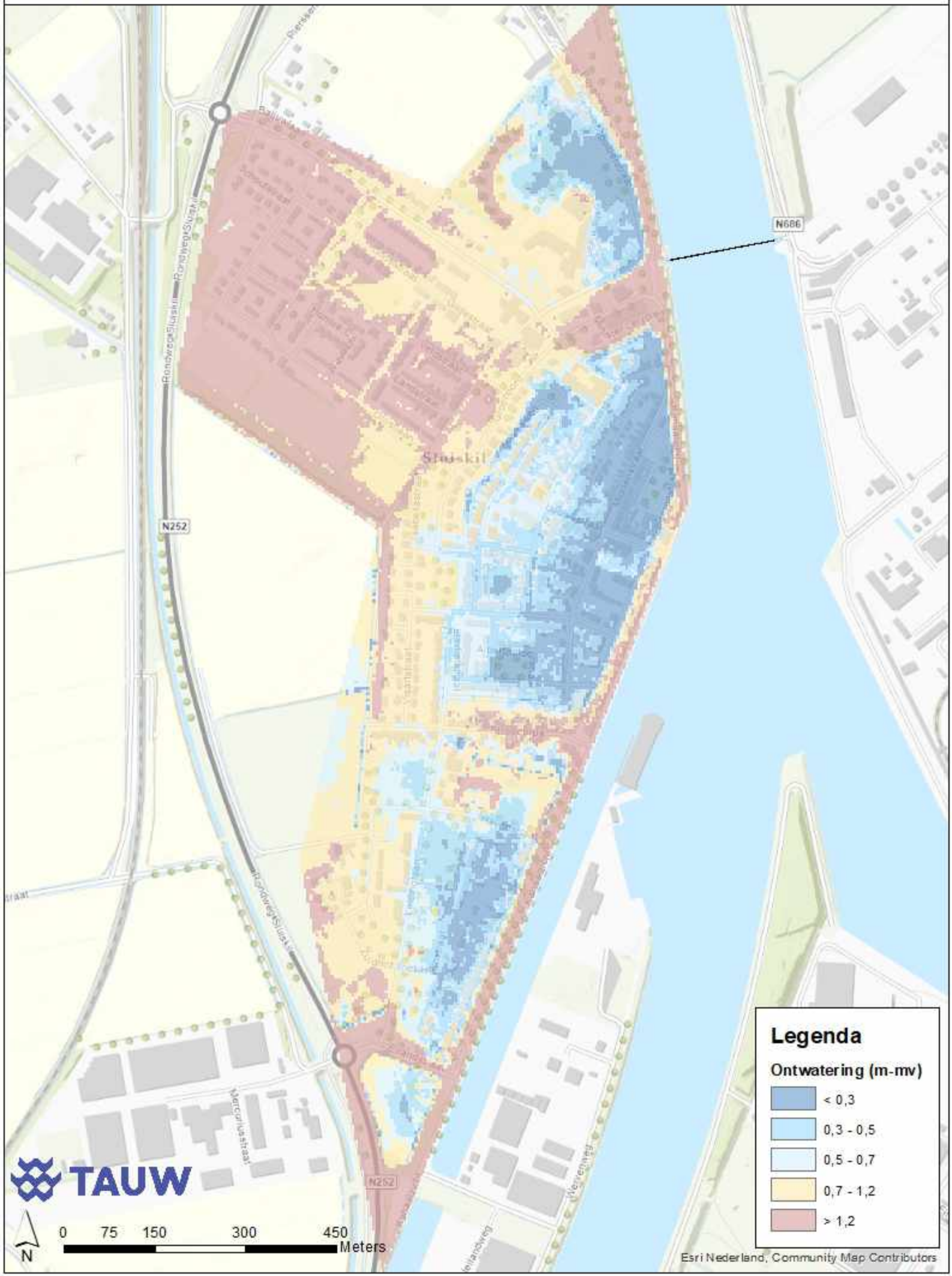
Ontwateringsdiepte bij RHG bij scenario 4a: Peilverlaging bestaande waterlopen



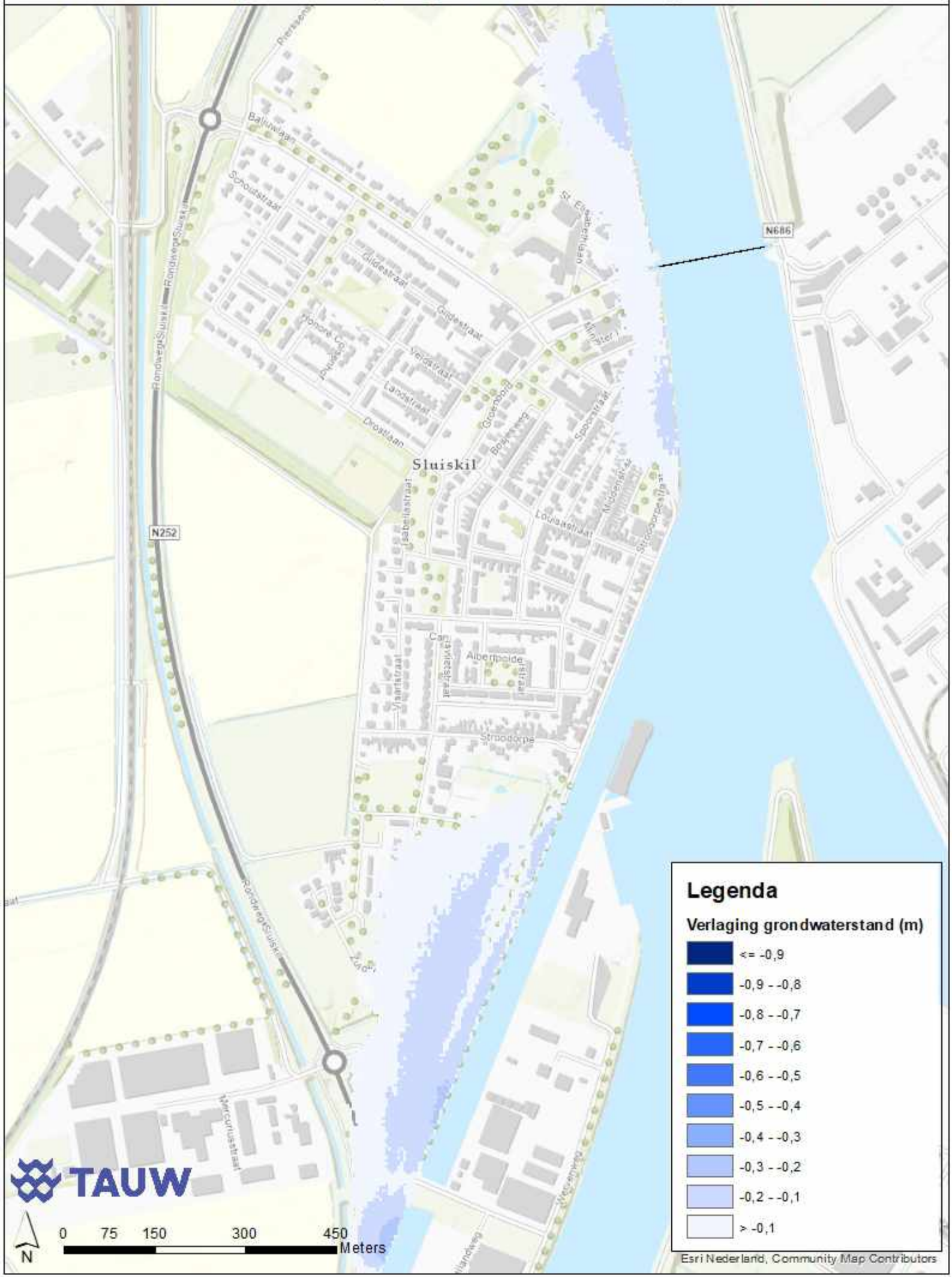
Verlaging RHG bij scenario 4b:
Verdiepen en verbreden bestaande waterlopen



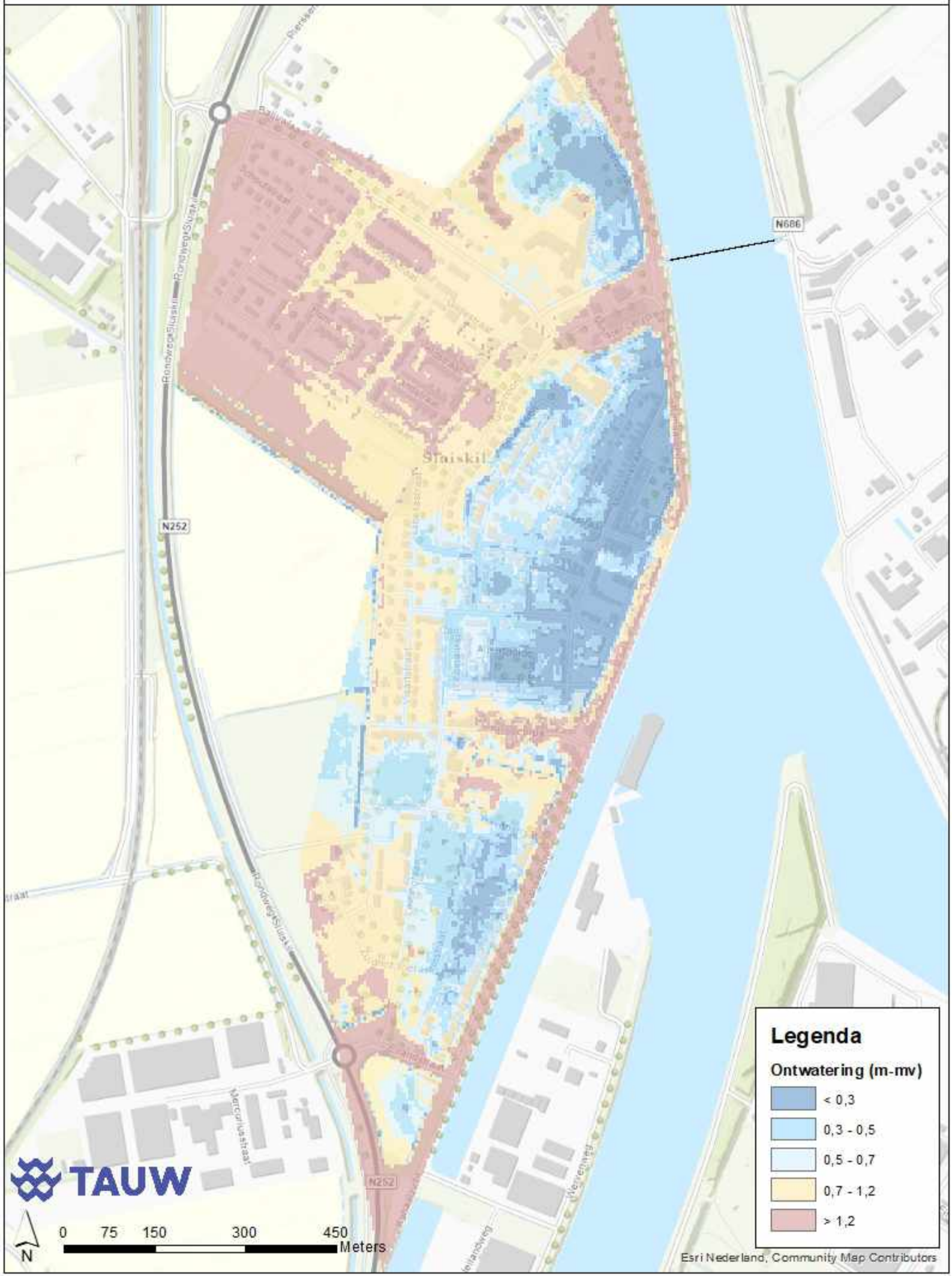
Ontwateringsdiepte bij RHG bij scenario 4b: Verdiepen en verbreden bestaande waterlopen



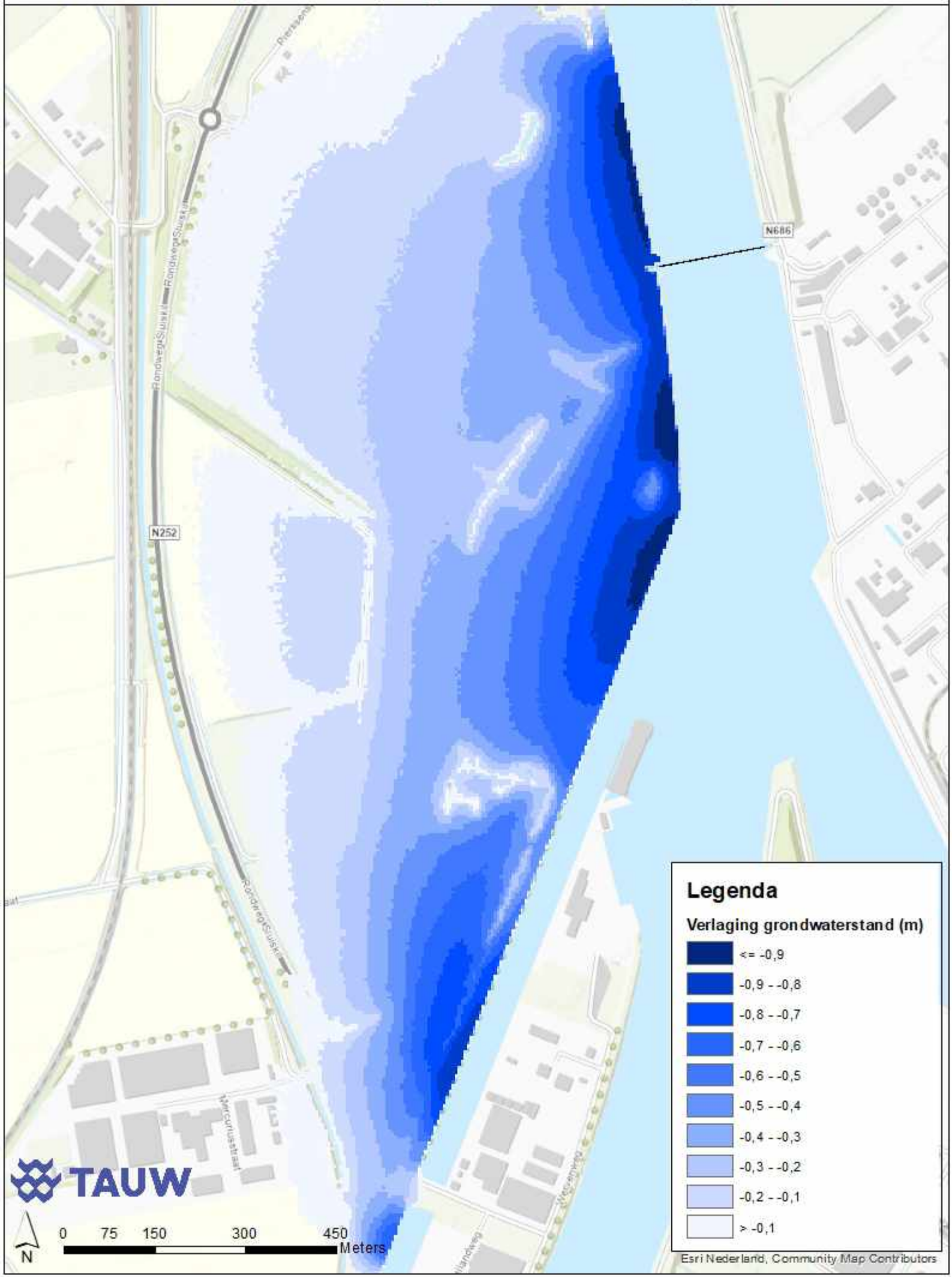
Verlaging RHG bij scenario 5b:
Damwand / verlengde kwelweglengte tot NAP -9 m langs heel Sluiskil



Ontwateringsdiepte bij RHG bij scenario 5b: Damwand / verlengde kwelweglengte tot NAP -9 m langs heel Sluiskil



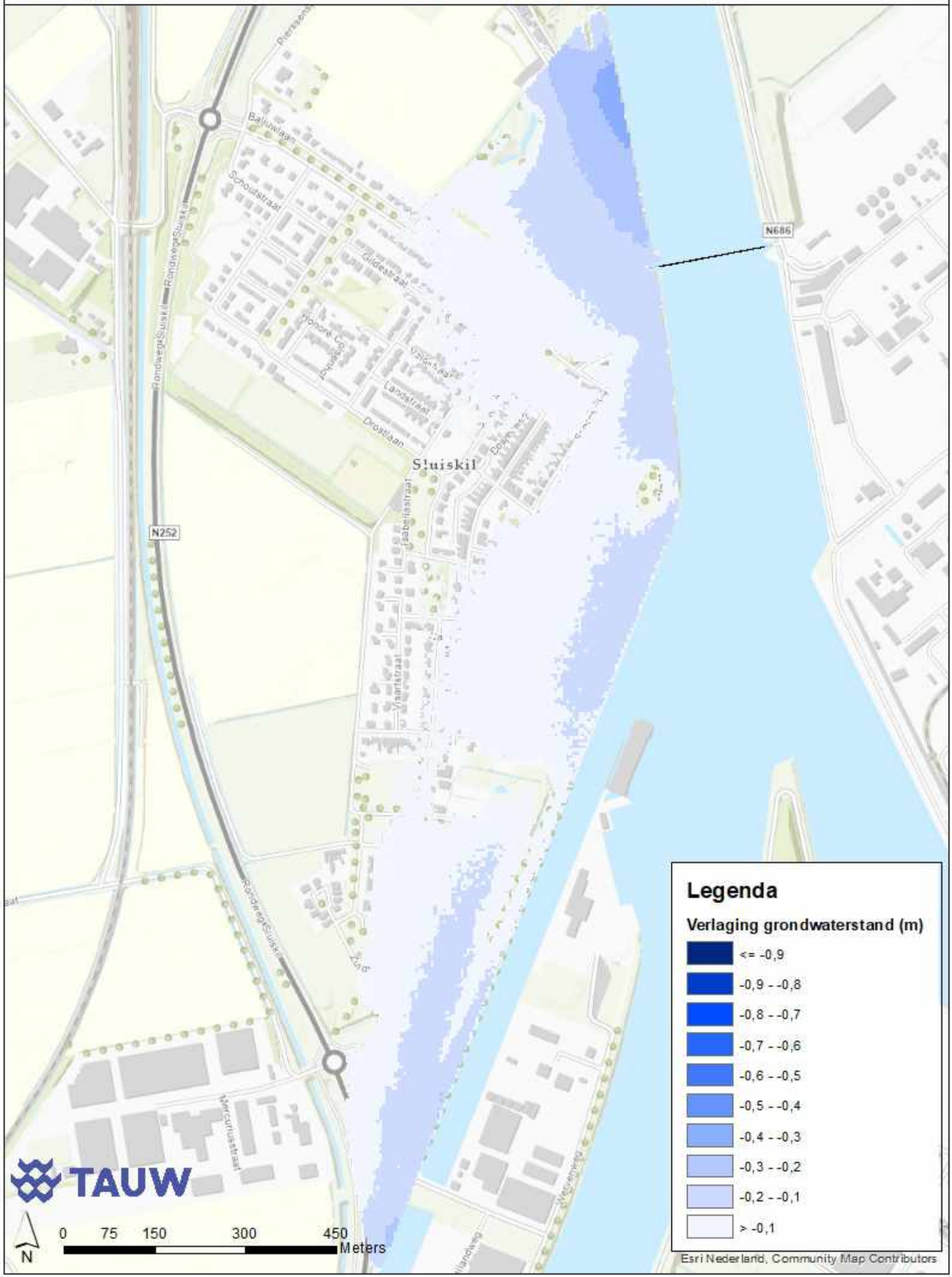
Verlaging RHG bij scenario 5c:
Damwand / verlengde kwelweglengte tot NAP -17 m langs heel Sluiskil



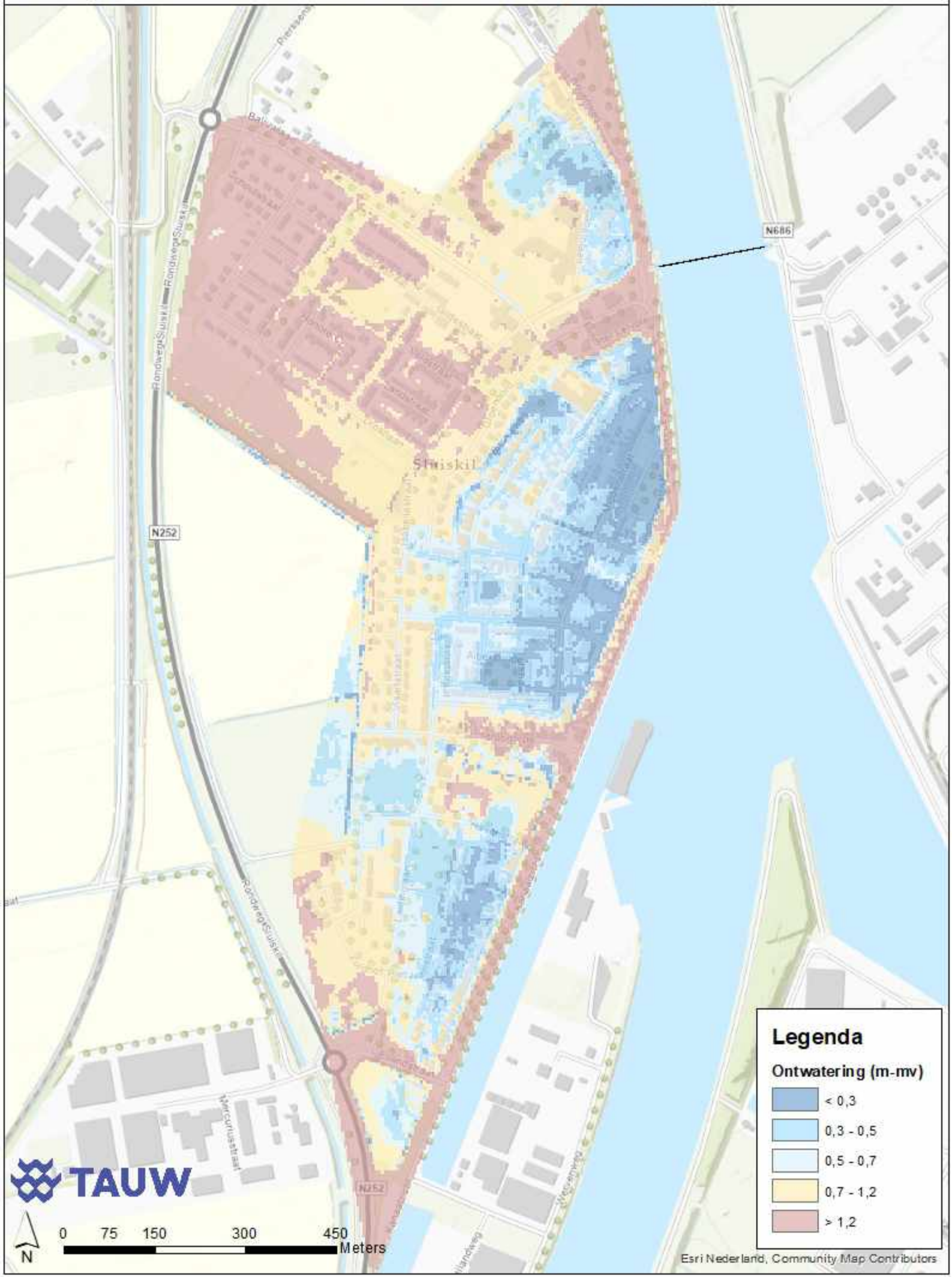
Ontwateringsdiepte bij RHG bij scenario 5c:
Damwand / verlengde kwelweglengte tot NAP -17 m langs heel Sluiskil



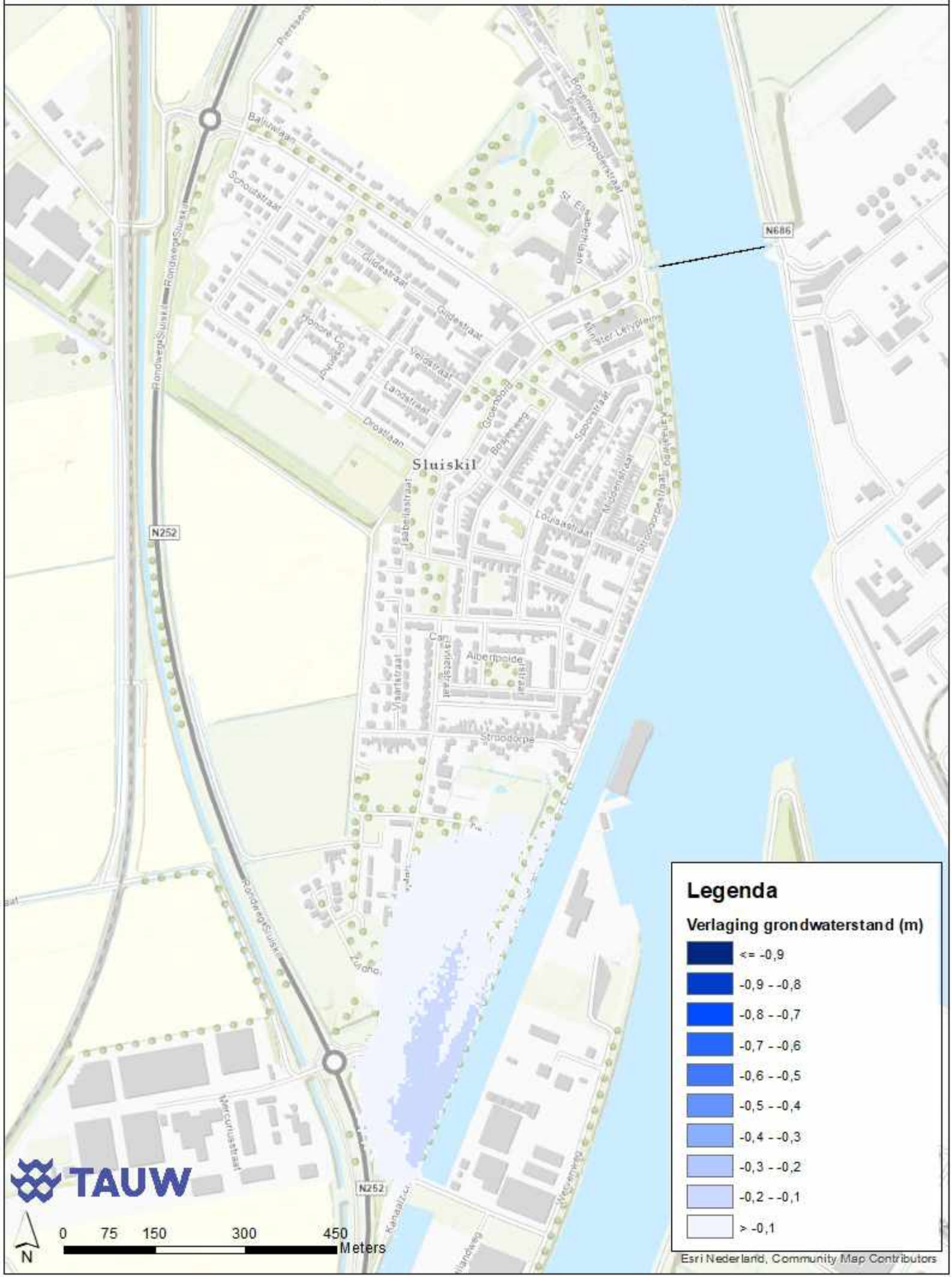
Verlaging RHG bij scenario 6a:
Verhogen bodemweerstand hoofdkanaal naar 60 - 120 dagen



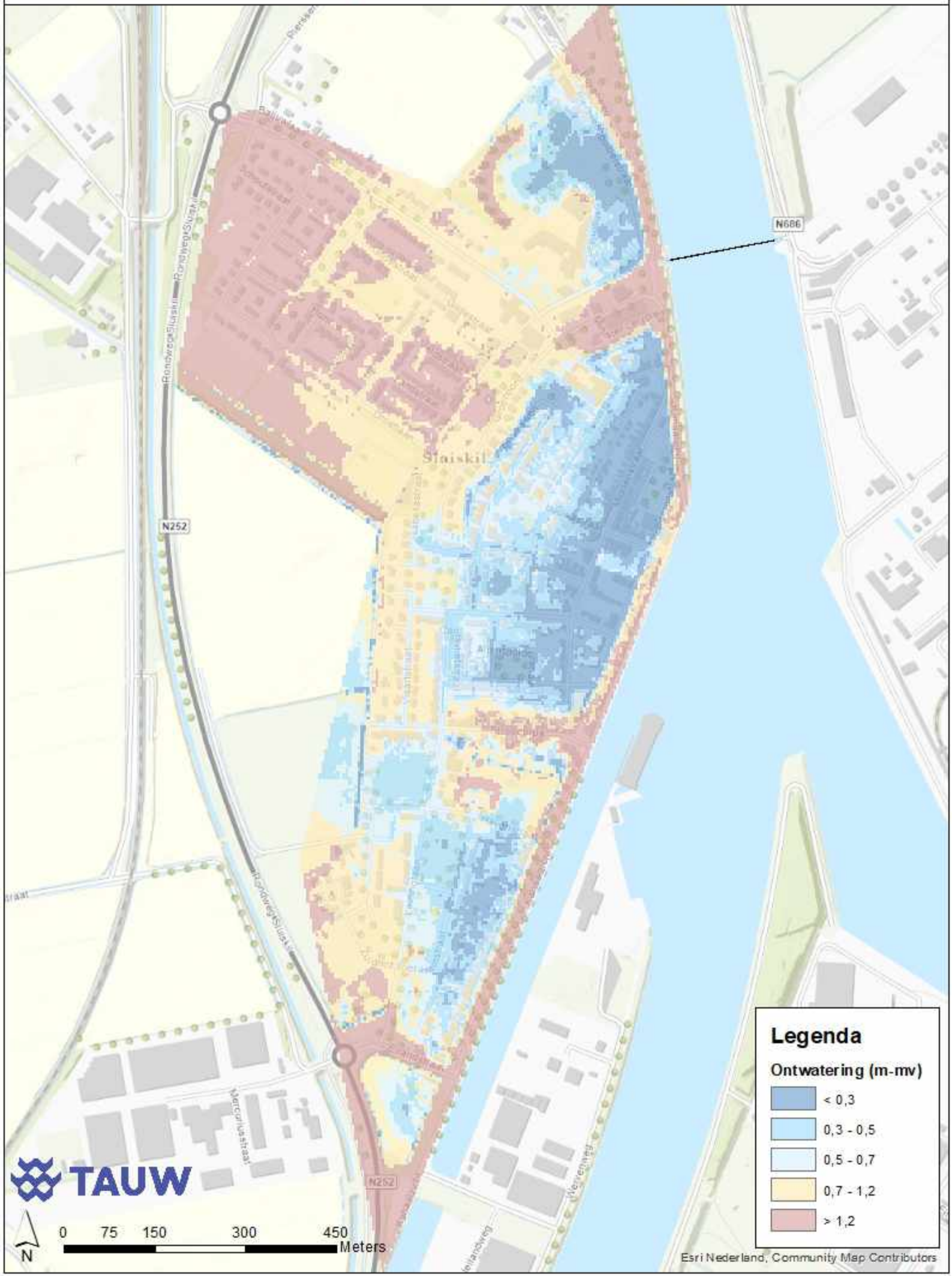
Ontwateringsdiepte bij RHG bij scenario 6a:
Verhogen bodemweerstand hoofdkanaal naar 60 - 120 dagen



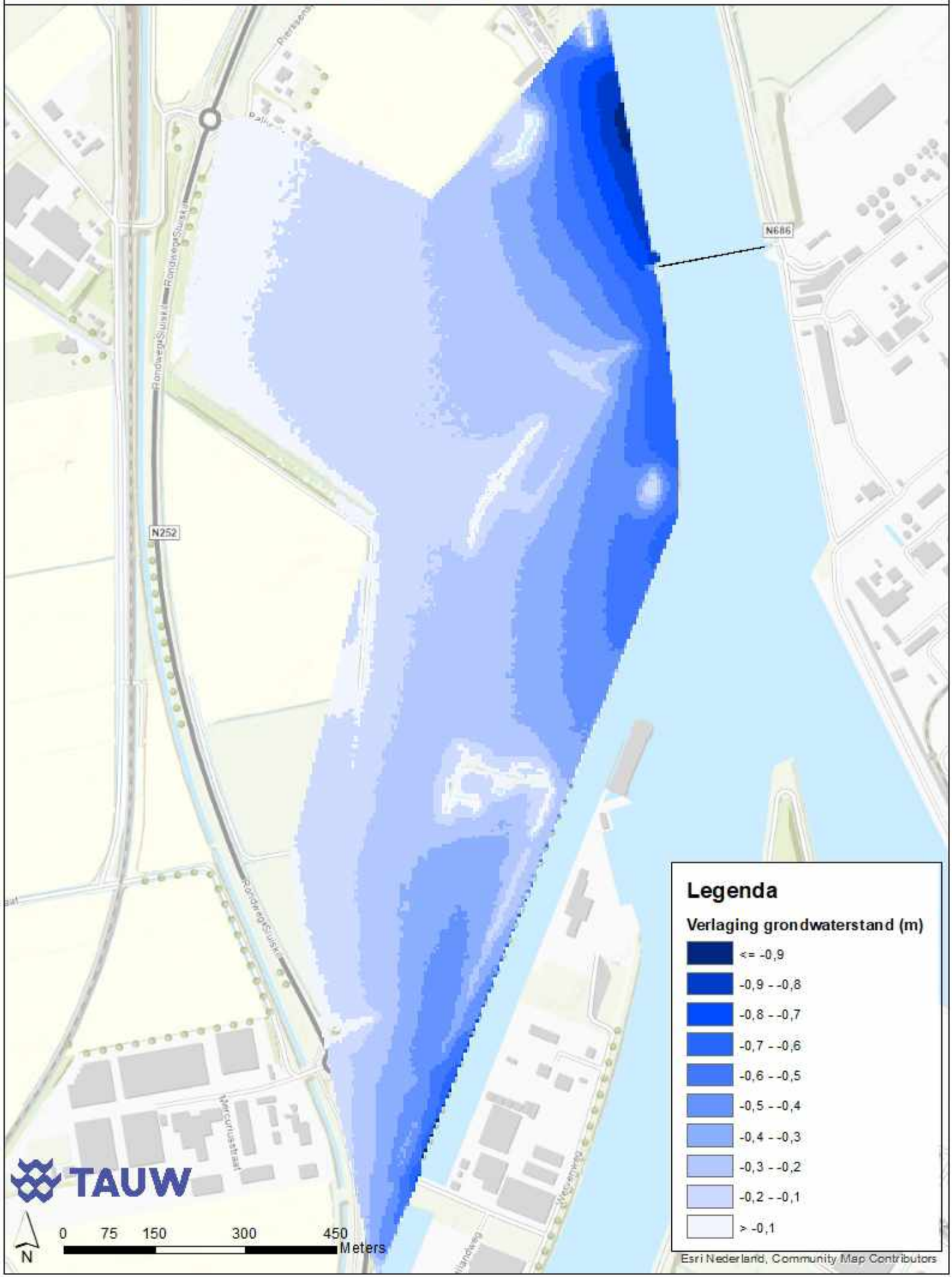
Verlaging RHG bij scenario 6b:
Verhogen bodemweerstand zijkanaal B naar 60 - 120 dagen



Ontwateringsdiepte bij RHG bij scenario 6b: Verhogen bodemweerstand zijkanaal B naar 60 - 120 dagen



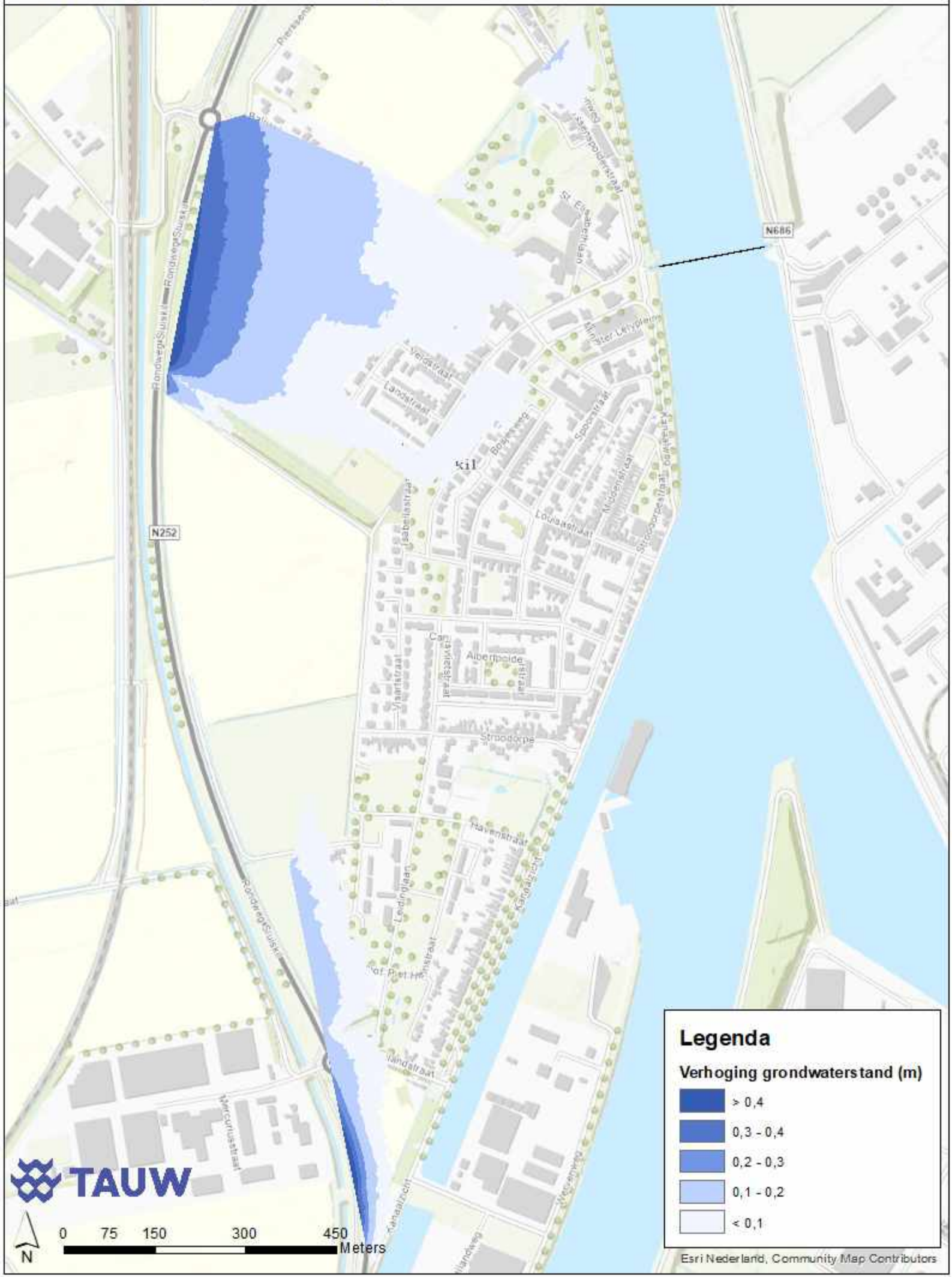
Verlaging RHG bij scenario 6c:
Volledig waterdicht maken van het kanaal



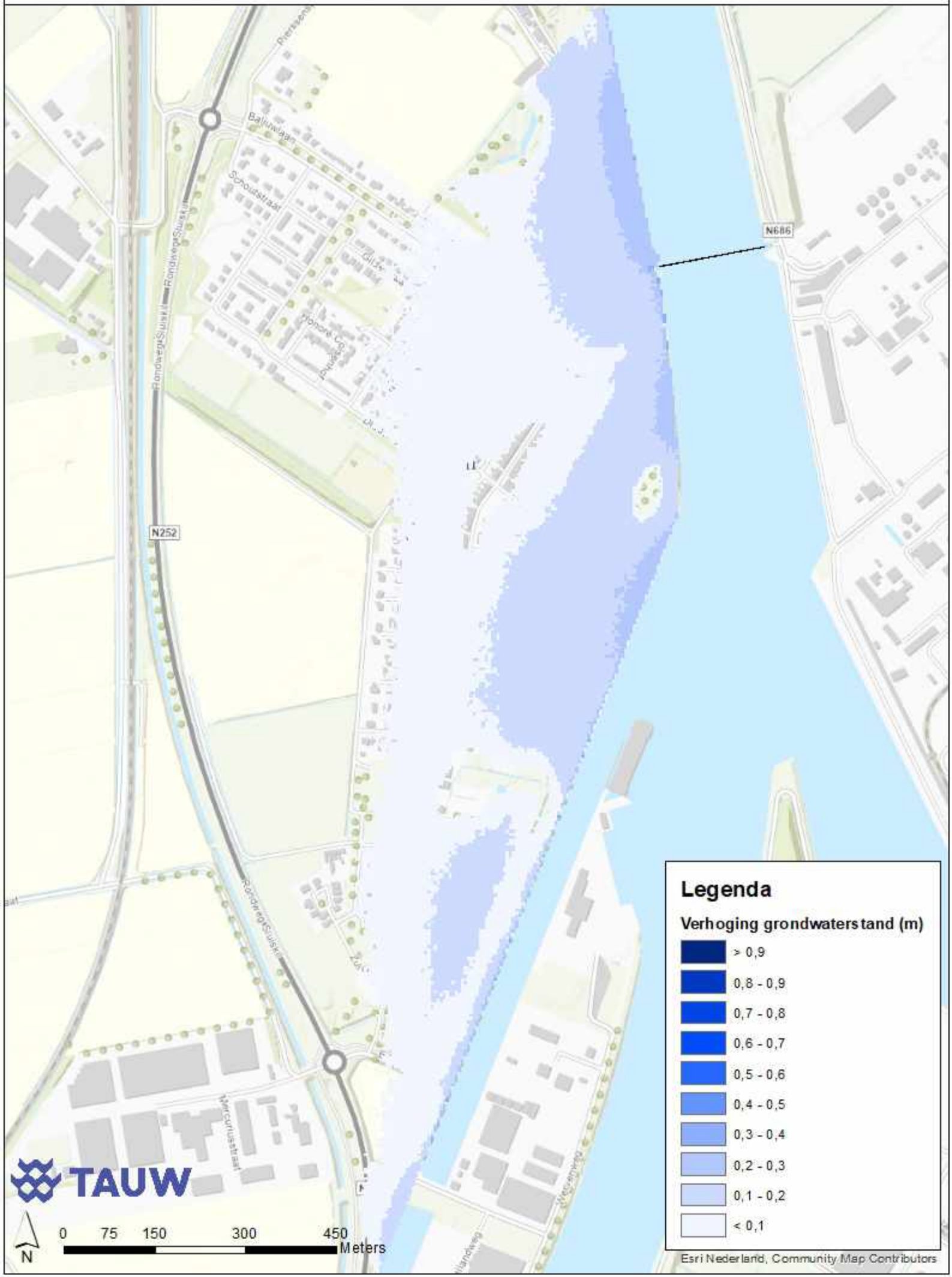
Ontwateringsdiepte bij RHG bij scenario 6c: Volledig waterdicht maken van het kanaal



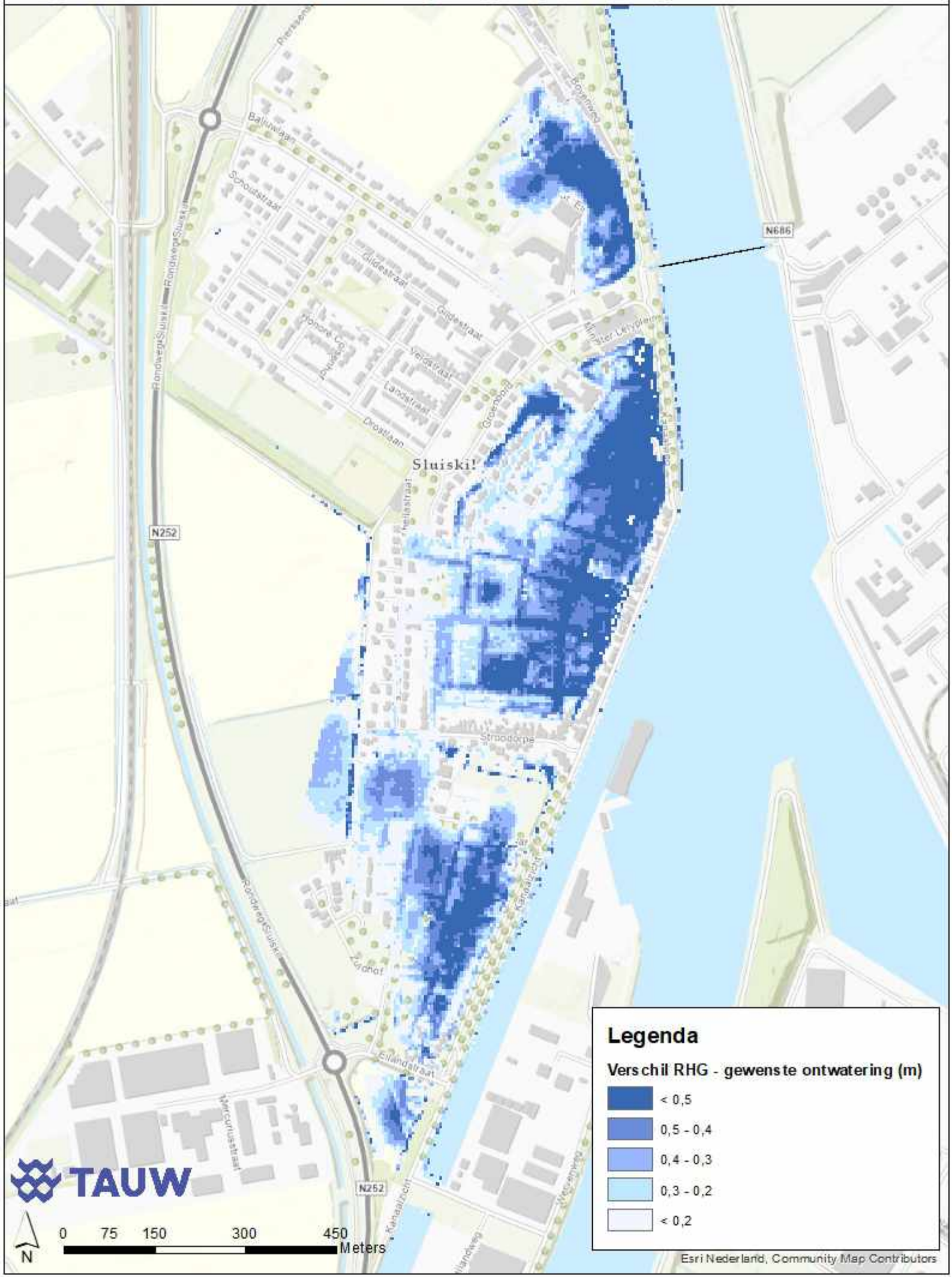
Verhoging grondwaterstand in RHG door het uitzetten van de invloed van de Westelijke Rijkswaterleiding



Verhoging RHG door 30 cm peilverhoging op kanaal



Verschil tussen berekende representatieve hoogste grondwaterstand (RHG) en gewenste minimale ontwateringsdiepte (70 cm-mv)



Kenmerk R001-1284768NJH-V02-agv-NL

Bijlage 8 Resultaten nieuwe sonderingen



Rapport geotechnisch bodemonderzoek

Rapportnummer : **220436**

Plaats : **SLUISKIL**

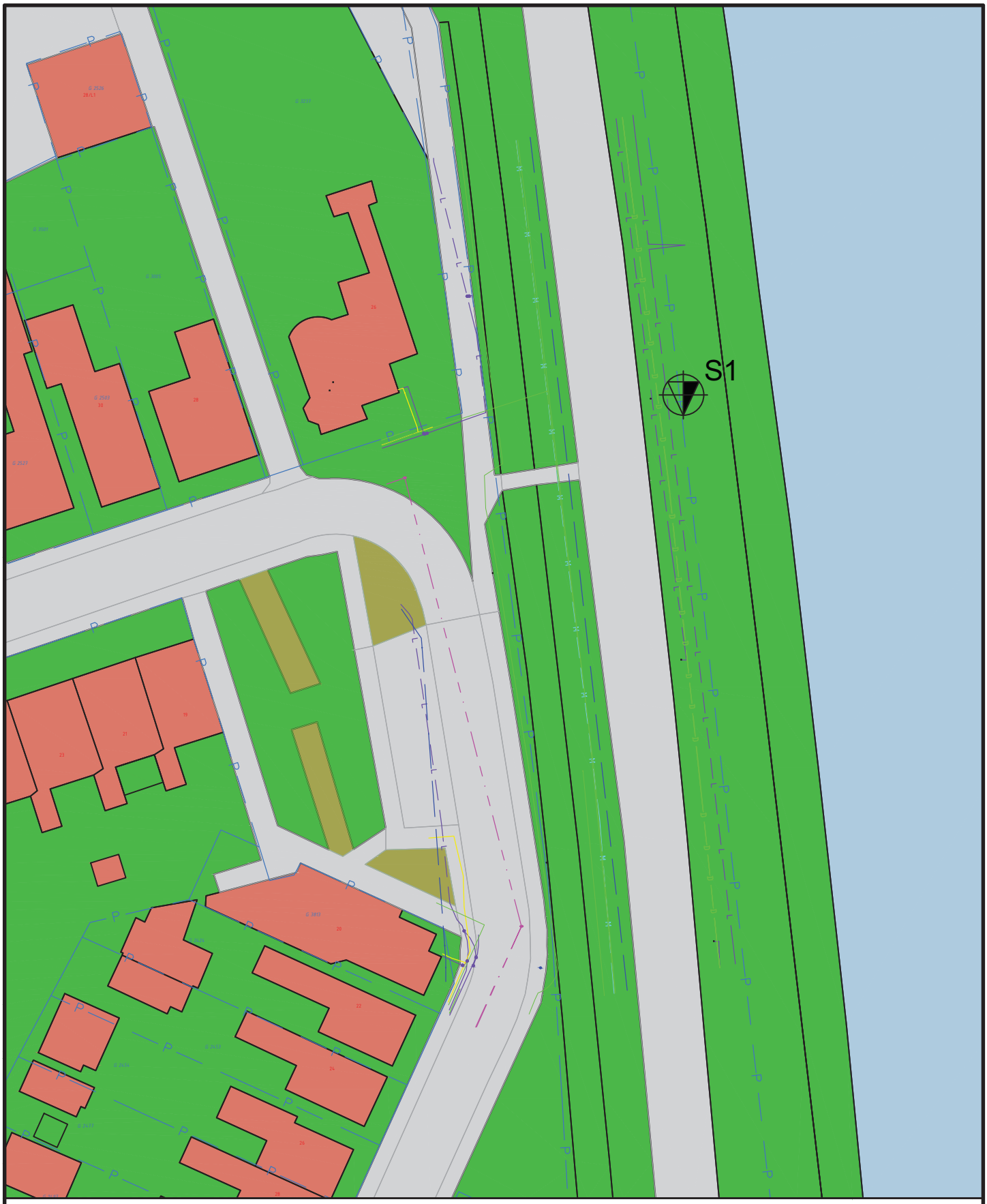
Omschrijving : **KERN SLUISKIL**

VAN DER STRAATEN
GEOTECHNIEK B.V.

Versie	Wijziging	Datum rapport
0	Definitief	23 juni 2022
1	-	-
2	-	-
3	-	-
4	-	-
5	-	-

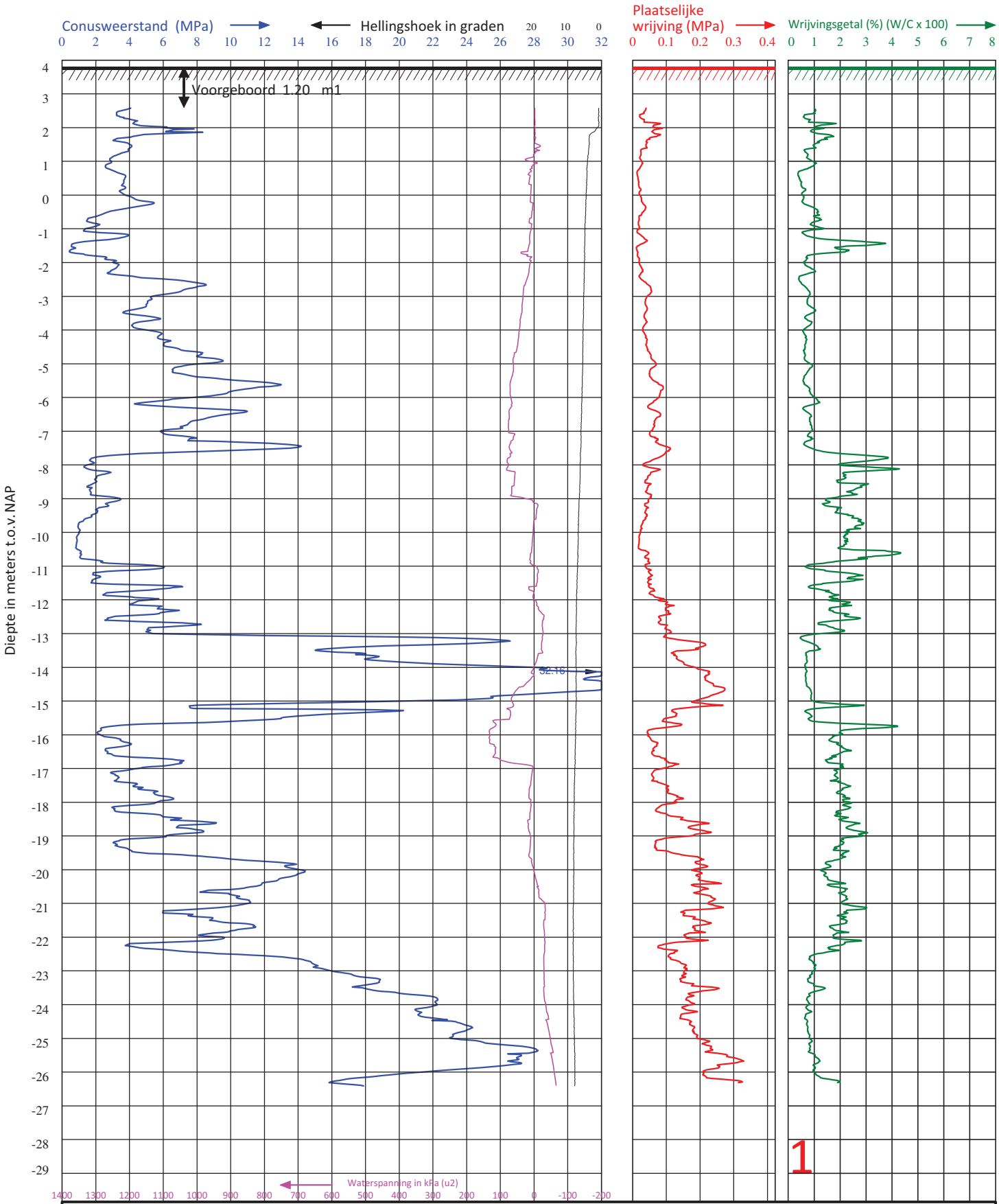
Inhoudsopgave

1	Tekening onderzoeklocatie(s)	Pag. div.
2	Sondeergrafiek(en)	Pag. div.
3	Boring(en)	n.v.t.
4	Resultaten laboratoriumonderzoek	n.v.t.
5	Waterpasstaat	Pag. 31
6	Toelichting / verklaring	Pag. 32



Opdrachtgever:	Combinatie Scaldis VOF		
Plaats:	Sluiskil	Locatie:	Kanaalweg
Projectnr.:	220436	Getekend:	PCM
Schaal:	----	Datum:	22 juni 2022

VAN DER STRAATEN GEOTECHNIEK B.V.



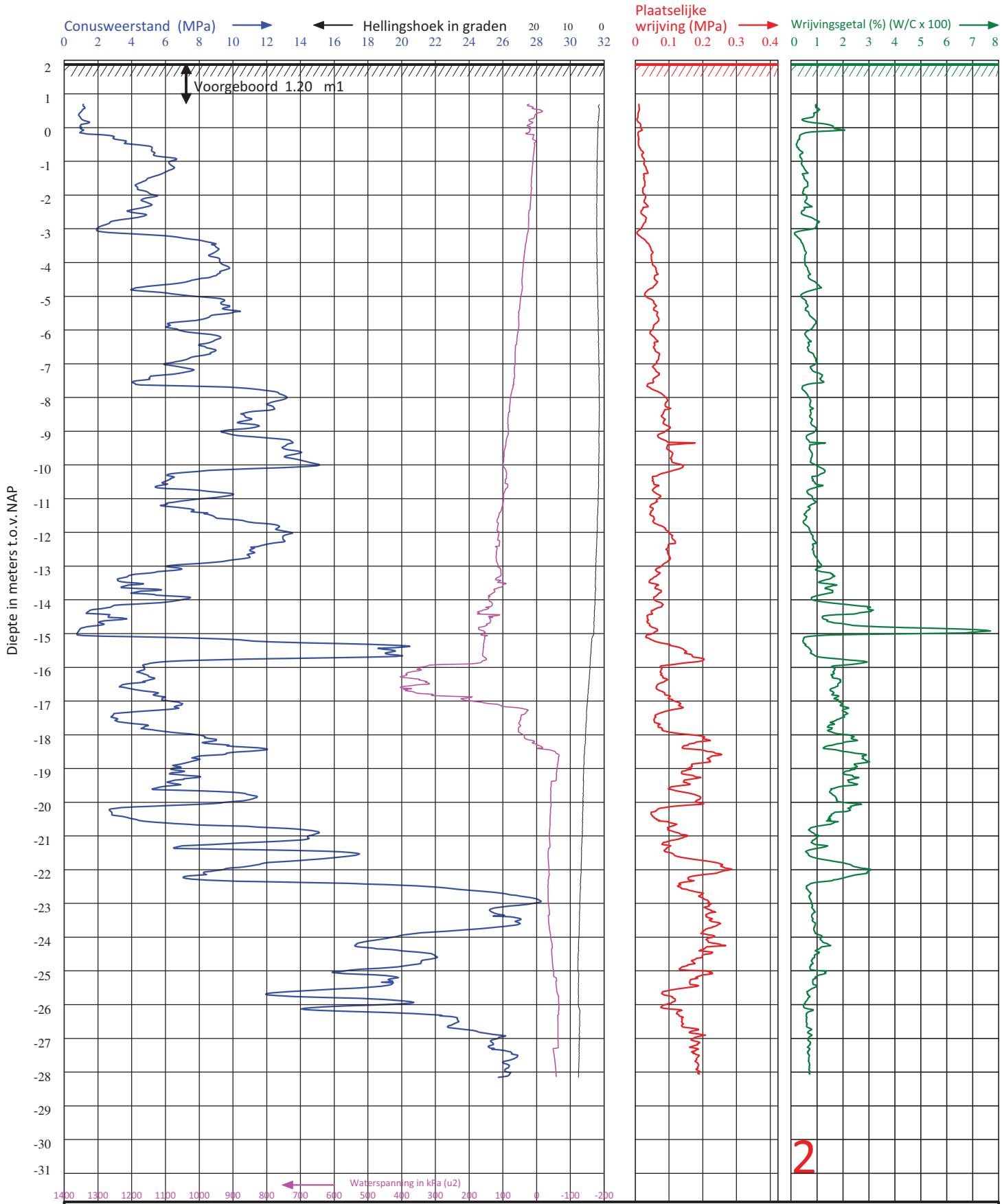
Van der Straaten Geotechniek B.V.			**Telefoon (0031) 113-382510**			**E-mail : geotechniek@vd-straaten.nl**	
PLAATS	:	**Sluiskil**	HOOGTE MAAIVELD	:	**3.80** m1 t.o.v. **NAP**	CONUS TYPE	: S15CFIIP.S19523
LOCATIE	:	**Diverse locaties**	GRONDWATERSTAND	:	m1- MAAIVELD	ID CONUS	: S19523
OPDRACHTGEVER	:	**Combinatie Scaldis VOF**	DATUM	:	13-6-2022	SONDERING VOLGENS	: - NEN-EN-ISO 22476-1 - TOEPASSINGSKLASSE 3
PROJECTNUMMER	:	**220436**	TIJD	:	10:21		
ID SONDERING	:	**1**	X-COÖRDINAAT (RD)	:	**46971.71**	Y-COÖRDINAAT(RD) :	**366832.56**

Diepteschaal: 65 mm = 1 m1



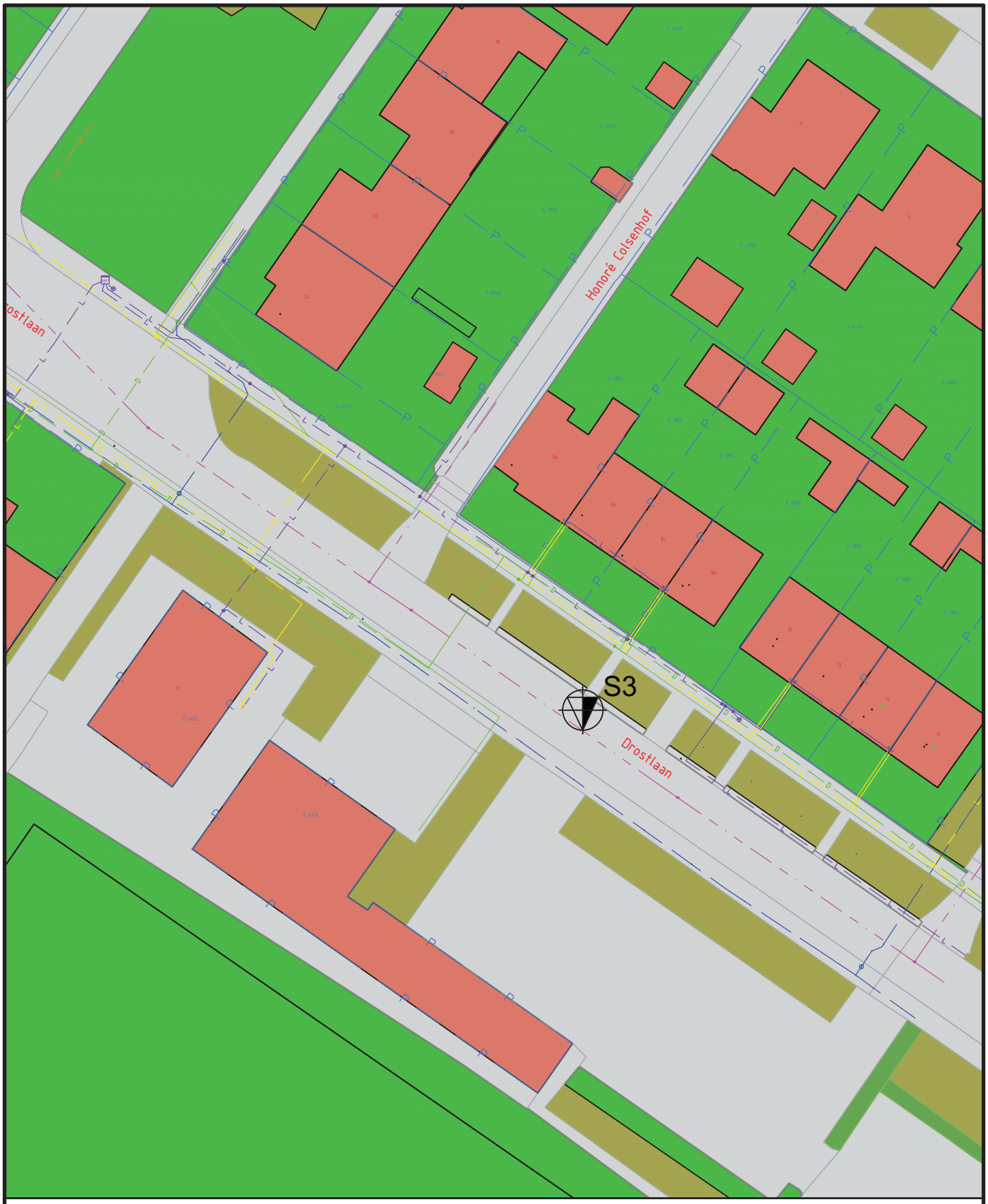
Opdrachtgever:	Combinatie Scaldis VOF		
Plaats:	Sluiskil	Locatie:	Regentenstraat thv 40
Projectnr.:	220436	Getekend:	PCM
Schaal:	----	Datum:	22 juni 2022

VAN DER STRAATEN GEOTECHNIEK B.V.



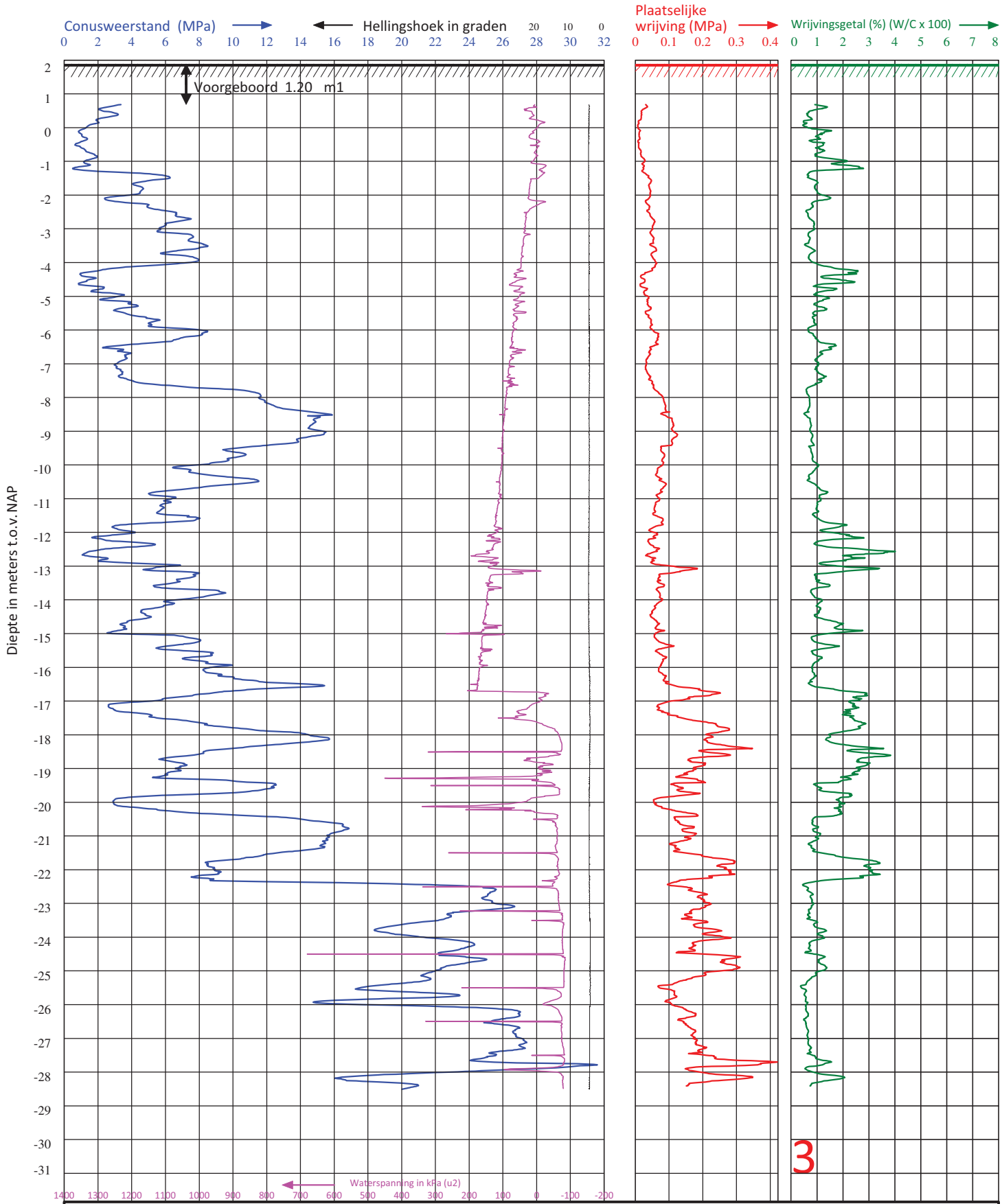
Van der Straaten Geotechniek B.V.			**Telefoon (0031) 113-382510**			**E-mail : geotechniek@vd-straaten.nl**	
PLAATS	:	**Sluiskil**	HOOGTE MAAIVELD	:	**1.91** m1 t.o.v. **NAP**	CONUS TYPE	: S15CFIIP.S19523
LOCATIE	:	**Diverse locaties**	GRONDWATERSTAND	:	m1- MAAIVELD	ID CONUS	: S19523
OPDRACHTGEVER	:	**Combinatie Scaldis VOF**	DATUM	:	20-6-2022	SONDERING VOLGENS	: - NEN-EN-ISO 22476-1 - TOEPASSINGSKLASSE 3
PROJECTNUMMER	:	**220436**	TIJD	:	8:44		
ID SONDERING	:	**2**	X-COÖRDINAAT (RD)	:	**46476.09**	Y-COÖRDINAAT(RD) :	**366807.18**

Diepteschaal: 65 mm = 1 m1



Opdrachtgever:	Combinatie Scaldis VOF		
Plaats:	Sluiskil	Locatie:	Drostlaan thv 8d
Projectnr.:	220436	Getekend:	PCM
Schaal:	----	Datum:	22 juni 2022

VAN DER STRAATEN GEOTECHNIEK B.V.



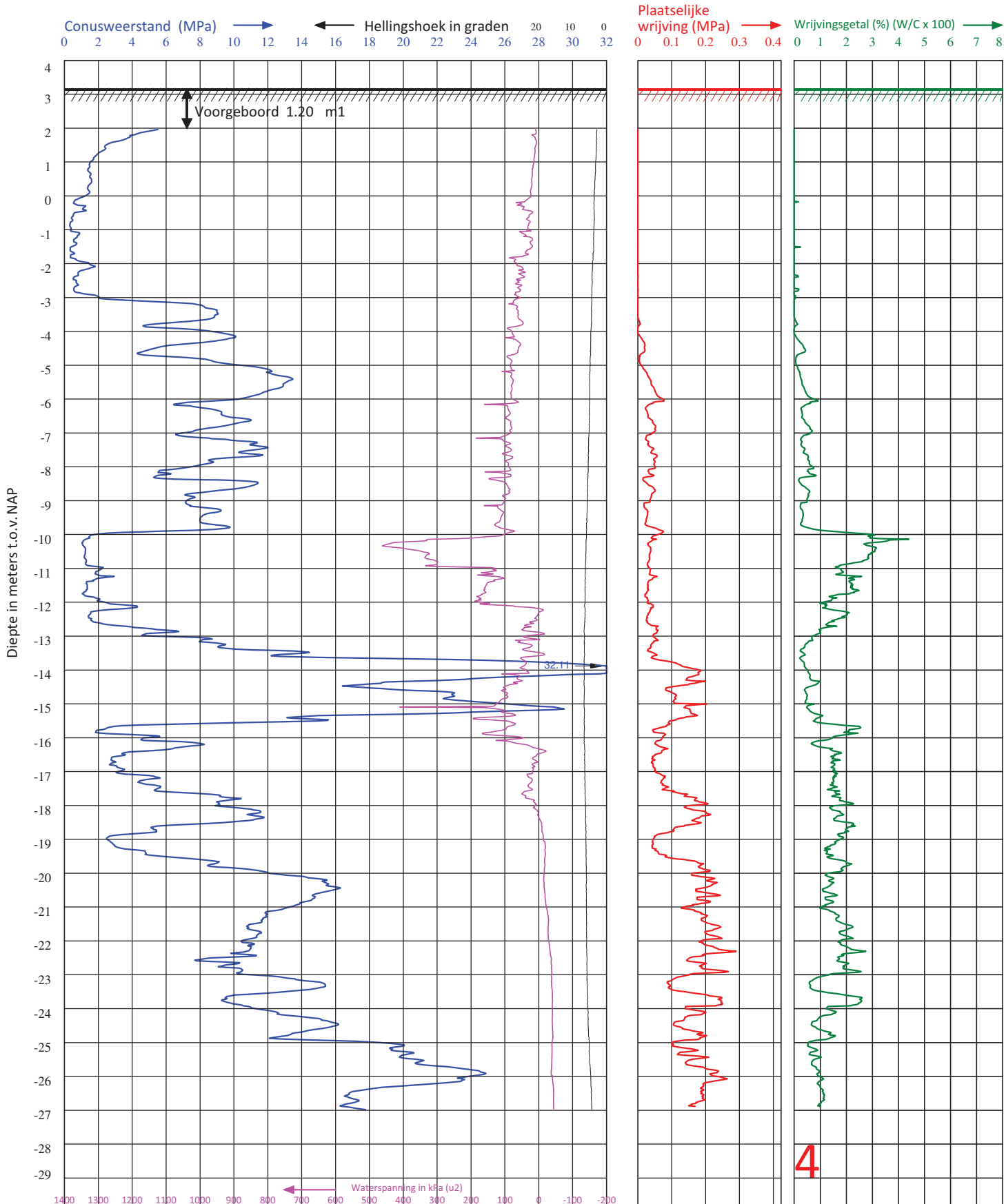
Van der Straaten Geotechniek B.V.			**Telefoon (0031) 113-382510**			**E-mail : geotechniek@vd-straaten.nl**	
PLAATS	:	**Sluiskil**	HOOGTE MAAIVELD	:	**1.89** m1 t.o.v. **NAP**	CONUS TYPE	: SUBP10-15
LOCATIE	:	**Diverse locaties**	GRONDWATERSTAND	:	m1- MAAIVELD	ID CONUS	: 210202
OPDRACHTGEVER	:	**Combinatie Scaldis VOF**	DATUM	:	16-6-2022	SONDERING VOLGENS	: - NEN-EN-ISO 22476-1 - TOEPASSINGSKLASSE 3
PROJECTNUMMER	:	**220436**	TIJD	:	10:45		
ID SONDERING	:	**3**	X-COÖRDINAAT (RD)	:	**46359.05**	Y-COÖRDINAAT(RD) :	**366832.63**

Diepteschaal: 65 mm = 1 m1



Opdrachtgever:	Combinatie Scaldis VOF		
Plaats:	Sluiskil	Locatie:	Kanaalweg thv 89
Projectnr.:	220436	Getekend:	PCM
Schaal:	----	Datum:	22 juni 2022

VAN DER STRAATEN GEOTECHNIEK B.V.



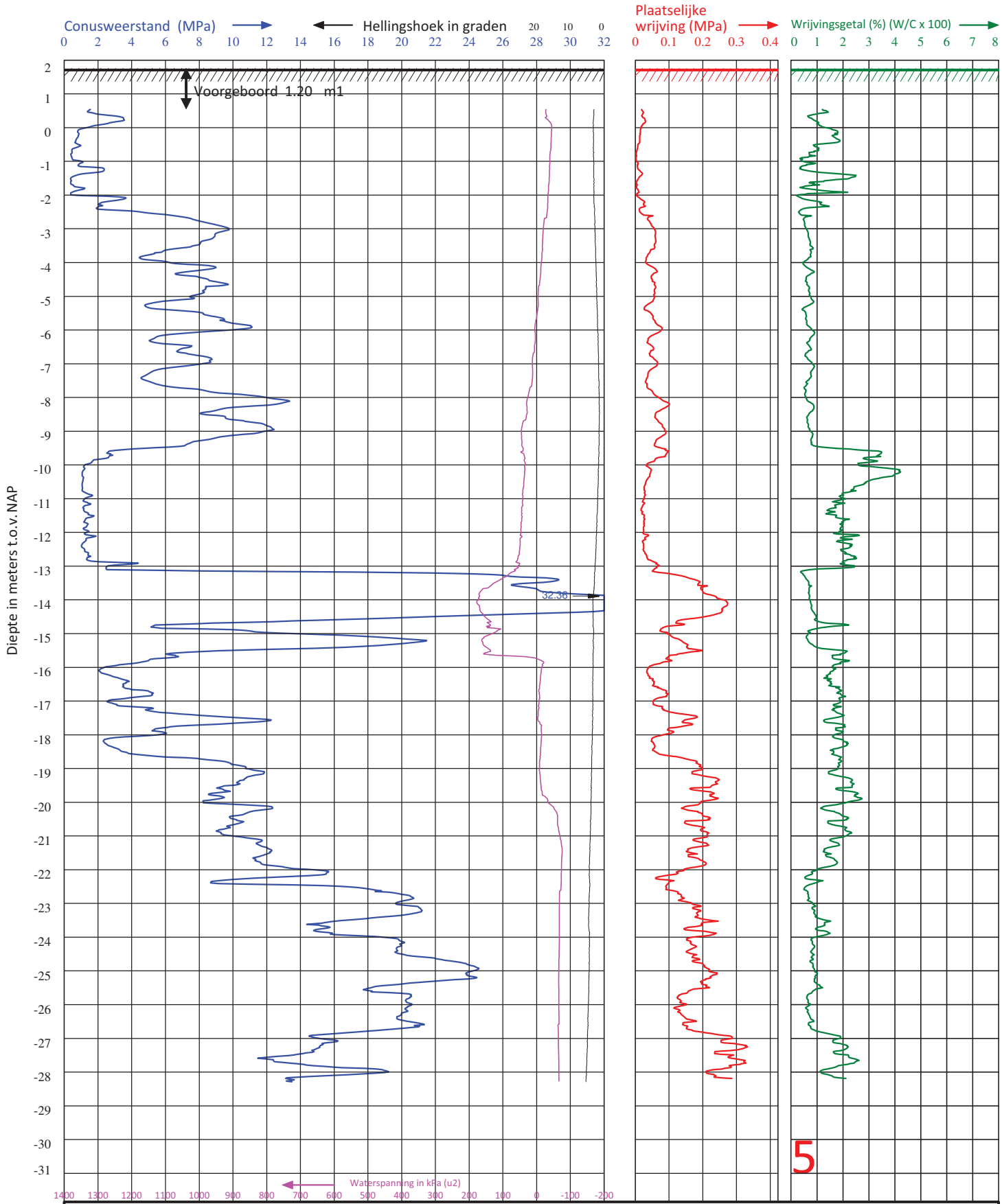
Van der Straaten Geotechniek B.V.			**Telefoon (0031) 113-382510**			**E-mail : geotechniek@vd-straaten.nl**	
PLAATS	:	**Sluiskil**	HOOGTE MAAIVELD	:	**3.18** m1 t.o.v. **NAP**	CONUS TYPE	: S15CFIIP.S19523
LOCATIE	:	**Diverse locaties**	GRONDWATERSTAND	:	m1- MAAIVELD	ID CONUS	: S19523
OPDRACHTGEVER	:	**Combinatie Scaldis VOF**	DATUM	:	13-6-2022	SONDERING VOLGENS	: - NEN-EN-ISO 22476-1 - TOEPASSINGSKLASSE 3
PROJECTNUMMER	:	**220436**	TIJD	:	12:19		
ID SONDERING	:	**4**	X-COÖRDINAAT (RD)	:	**46950.34**	Y-COÖRDINAAT(RD) :	**366494.84**

Diepteschaal: 65 mm = 1 m1



Opdrachtgever:	Combinatie Scaldis VOF		
Plaats:	Sluiskil	Locatie:	Louisastraat thv 32
Projectnr.:	220436	Getekend:	PCM
Schaal:	----	Datum:	22 juni 2022

VAN DER STRAATEN GEOTECHNIEK B.V.



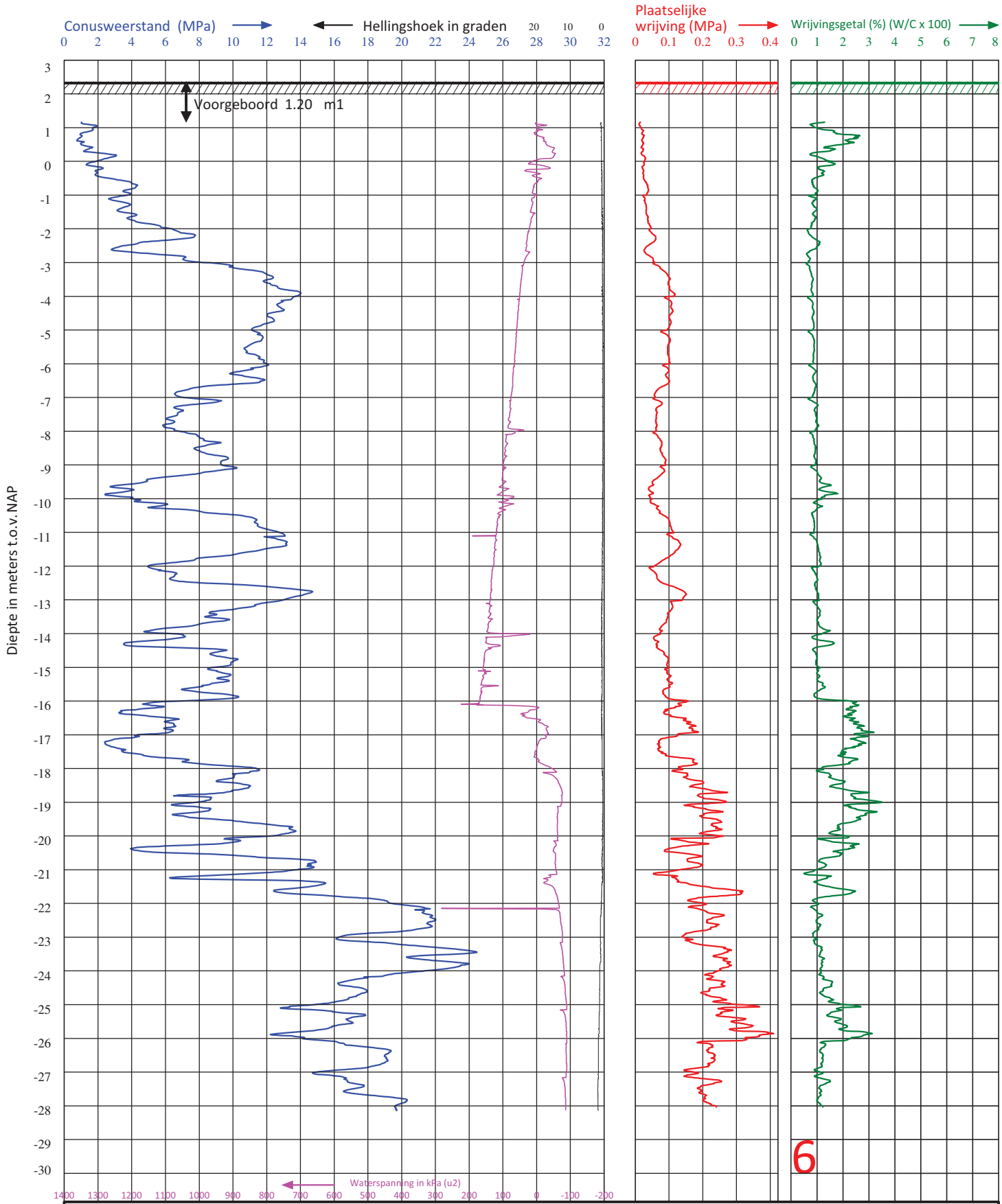
Van der Straaten Geotechniek B.V.			**Telefoon (0031) 113-382510**			**E-mail : geotechniek@vd-straaten.nl**	
PLAATS	:	**Sluiskil**	HOOGTE MAAIVELD	:	**1.76** m1 t.o.v. **NAP**	CONUS TYPE	: S15CFIIP.S19523
LOCATIE	:	**Diverse locaties**	GRONDWATERSTAND	:	m1- MAAIVELD	ID CONUS	: S19523
OPDRACHTGEVER	:	**Combinatie Scaldis VOF**	DATUM	:	20-6-2022	SONDERING VOLGENS	: - NEN-EN-ISO 22476-1 - TOEPASSINGSKLASSE 3
PROJECTNUMMER	:	**220436**	TIJD	:	9:52		
ID SONDERING	:	**5**	X-COÖRDINAAT (RD)	:	**46809.49**	Y-COÖRDINAAT(RD) :	**366590.17**

Diepteschaal: 65 mm = 1 m1



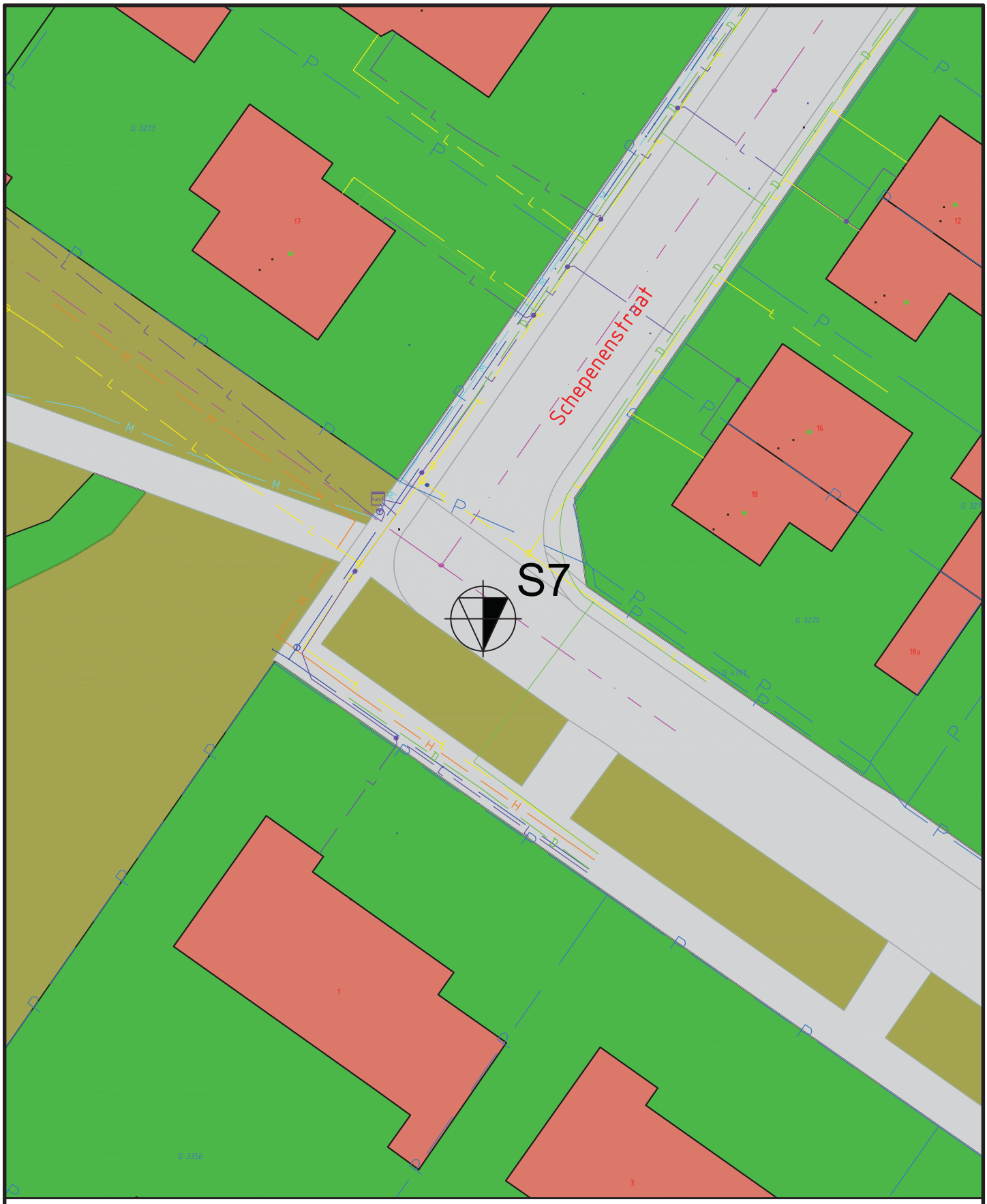
Opdrachtgever:	Combinatie Scaldis VOF		
Plaats:	Sluiskil	Locatie:	Drostlaan
Projectnr.:	220436	Getekend:	PCM
Schaal:	----	Datum:	22 juni 2022

VAN DER STRAATEN GEOTECHNIEK B.V.



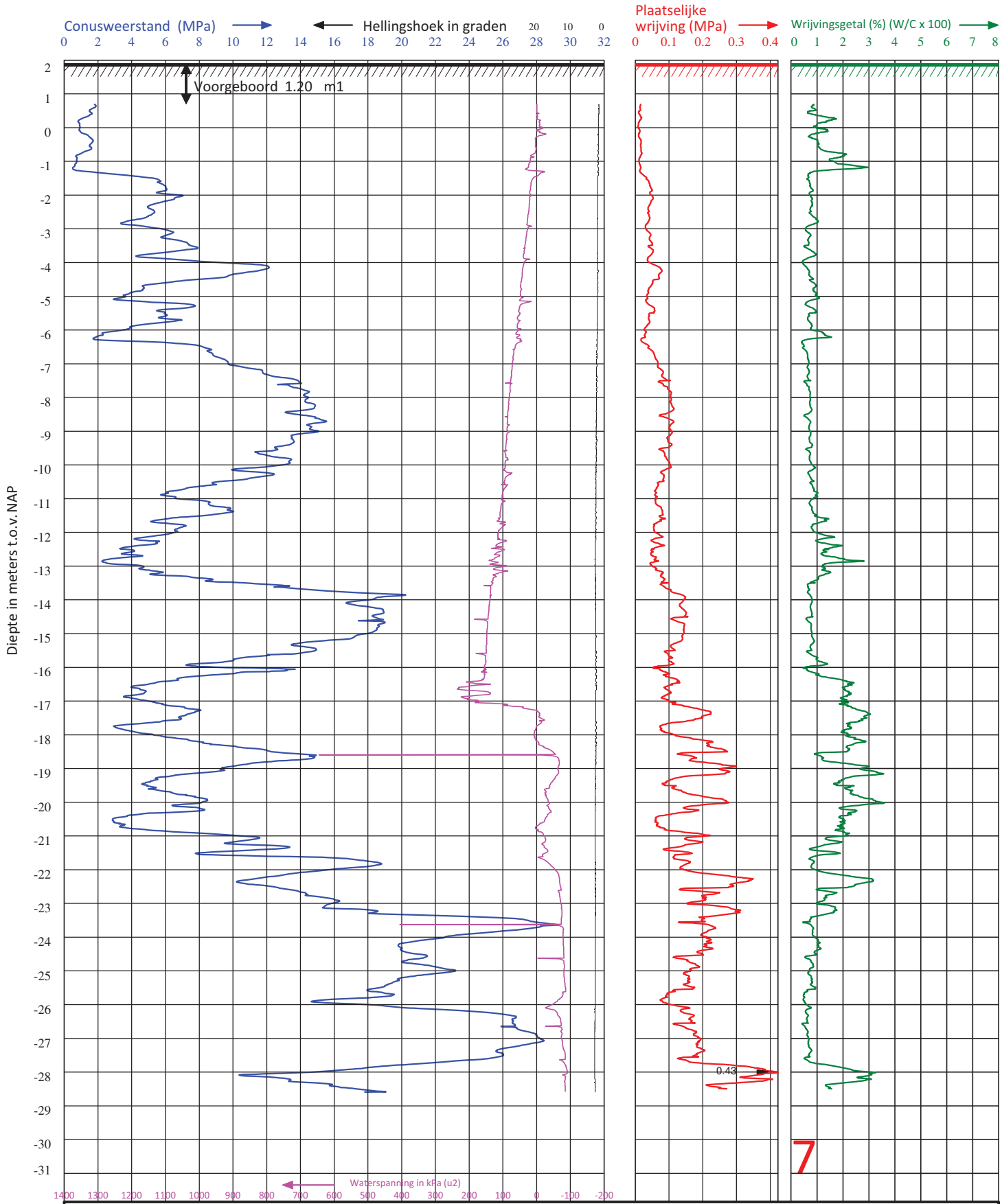
Van der Straaten Geotechniek B.V.			**Telefoon (0031) 113-382510**			**E-mail : geotechniek@vd-straaten.nl**	
PLAATS	:	**Sluiskil**	HOOGTE MAAIVELD	:	**2.37** m1 t.o.v. **NAP**	CONUS TYPE	: SUBP10-15
LOCATIE	:	**Diverse locaties**	GRONDWATERSTAND	:	m1- MAAIVELD	ID CONUS	: 210202
OPDRACHTGEVER	:	**Combinatie Scaldis VOF**	DATUM	:	16-6-2022	SONDERING VOLGENS	: - NEN-EN-ISO 22476-1 - TOEPASSINGSKLASSE 3
PROJECTNUMMER	:	**220436**	TIJD	:	14:01		
ID SONDERING	:	**6**	X-COÖRDINAAT (RD)	:	**46579.45**	Y-COÖRDINAAT(RD) :	**366683.78**

Diepteschaal: 65 mm = 1 m1



Opdrachtgever:	Combinatie Scaldis VOF		
Plaats:	Sluiskil	Locatie:	Schepenstraat thv 18
Projectnr.:	220436	Getekend:	PCM
Schaal:	----	Datum:	22 juni 23022

VAN DER STRAATEN GEOTECHNIEK B.V.



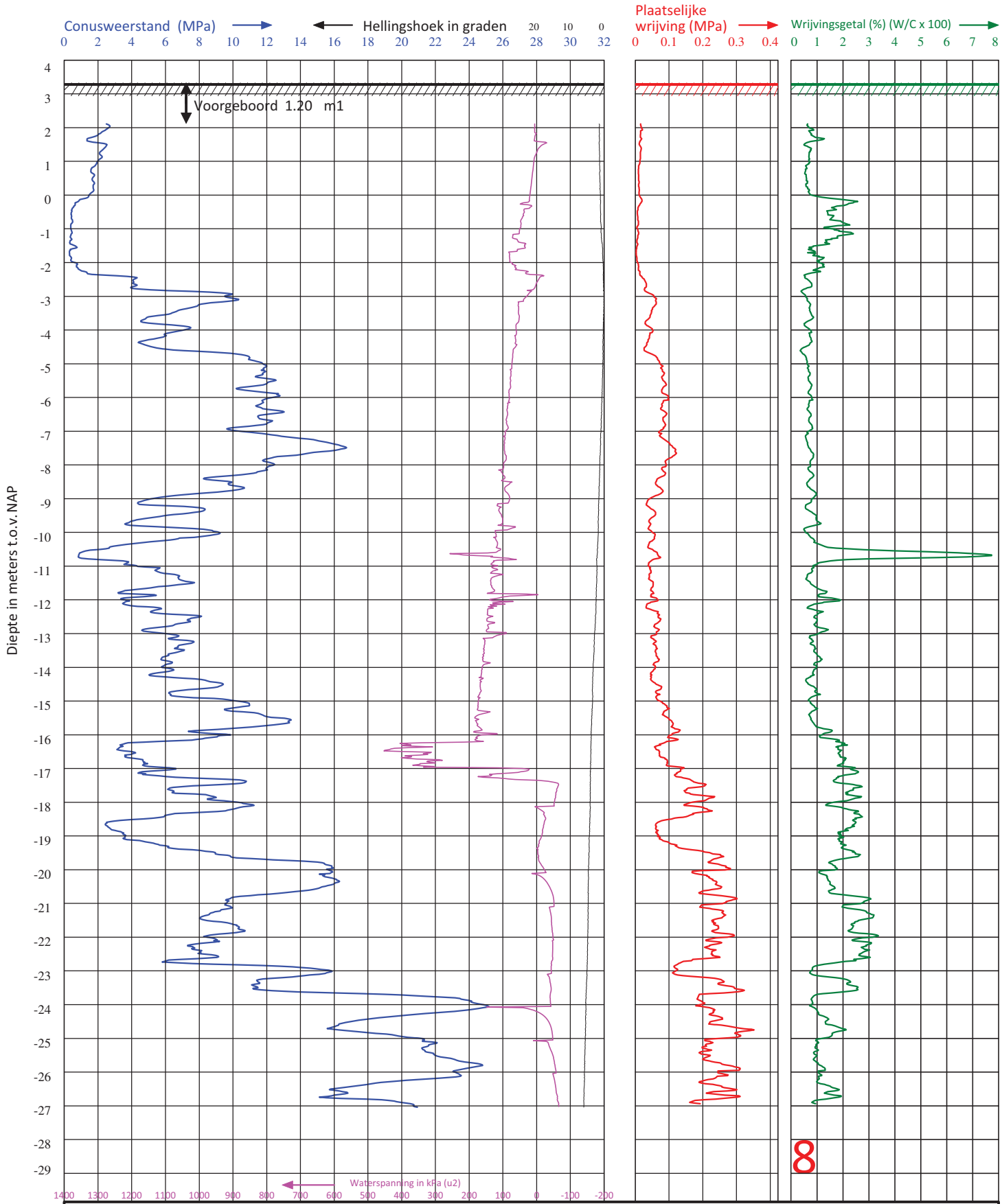
Van der Straaten Geotechniek B.V.			**Telefoon (0031) 113-382510**			**E-mail : geotechniek@vd-straaten.nl**	
PLAATS	:	**Sluiskil**	HOOGTE MAAIVELD	:	**1.90** m1 t.o.v. **NAP**	CONUS TYPE	: SUBP10-15
LOCATIE	:	**Diverse locaties**	GRONDWATERSTAND	:	m1- MAAIVELD	ID CONUS	: 210202
OPDRACHTGEVER	:	**Combinatie Scaldis VOF**	DATUM	:	16-6-2022	SONDERING VOLGENS	: - NEN-EN-ISO 22476-1 - TOEPASSINGSKLASSE 3
PROJECTNUMMER	:	**220436**	TIJD	:	8:52		
ID SONDERING	:	**7**	X-COÖRDINAAT (RD)	:	**46223.78**	Y-COÖRDINAAT(RD) :	**366929.49**

Diepteschaal: 65 mm = 1 m1



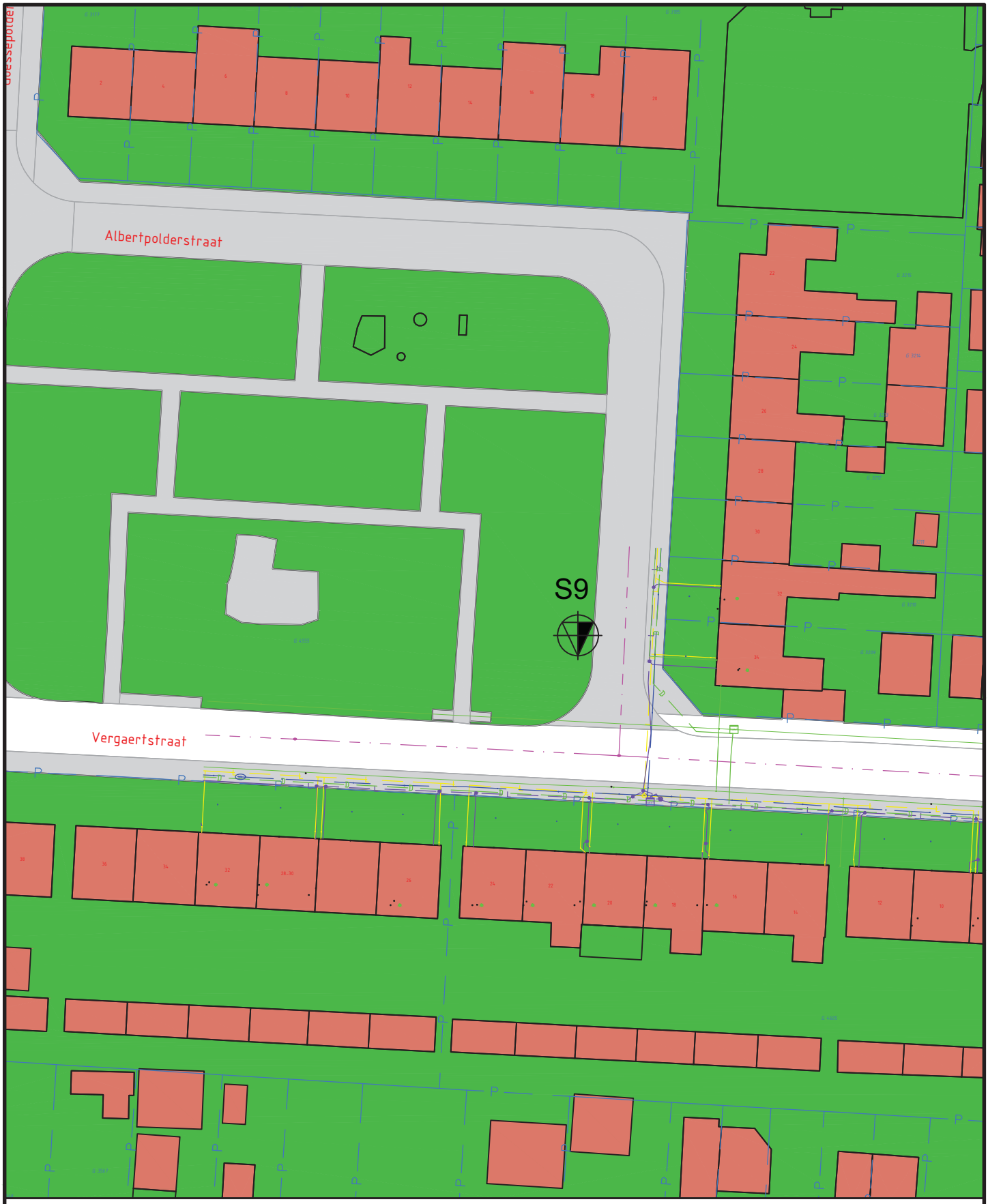
Opdrachtgever:	Combinatie Scaldis VOF		
Plaats:	Sluiskil	Locatie:	Kanaalweg thv 107
Projectnr.:	220436	Getekend:	PCM
Schaal:	----	Datum:	22 juni 2022

VAN DER STRAATEN GEOTECHNIEK B.V.



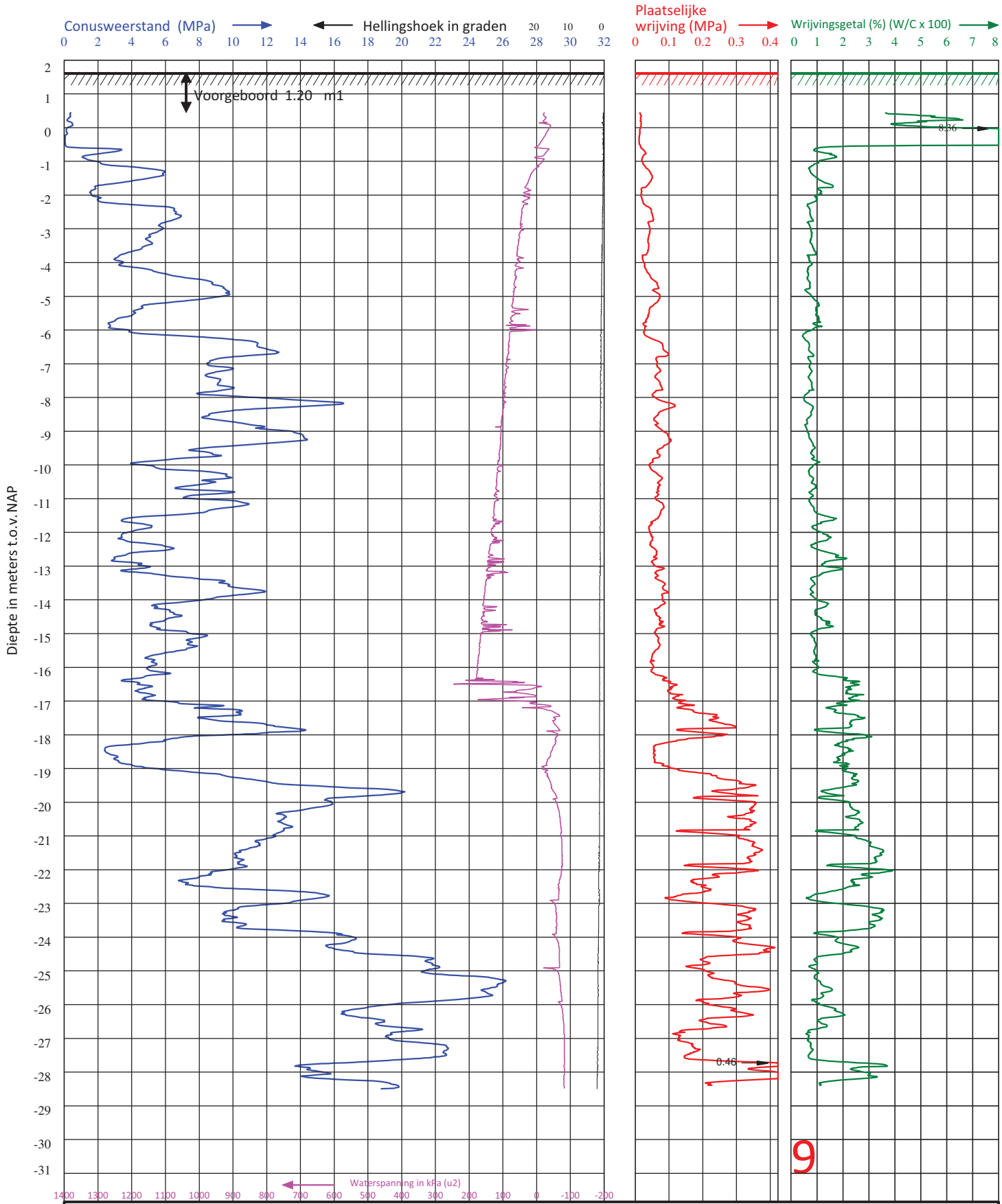
Van der Straaten Geotechniek B.V.			**Telefoon (0031) 113-382510**			**E-mail : geotechniek@vd-straaten.nl**	
PLAATS	:	**Sluiskil**	HOOGTE MAAIVELD	:	**3.33** m1 t.o.v. **NAP**	CONUS TYPE	: S15CFIIP.S19523
LOCATIE	:	**Diverse locaties**	GRONDWATERSTAND	:	m1- MAAIVELD	ID CONUS	: S19523
OPDRACHTGEVER	:	**Combinatie Scaldis VOF**	DATUM	:	13-6-2022	SONDERING VOLGENS	: - NEN-EN-ISO 22476-1 - TOEPASSINGSKLASSE 3
PROJECTNUMMER	:	**220436**	TIJD	:	15:06		
ID SONDERING	:	**8**	X-COÖRDINAAT (RD)	:	**46869.81**	Y-COÖRDINAAT(RD) :	**366291.93**

Diepteschaal: 65 mm = 1 m1



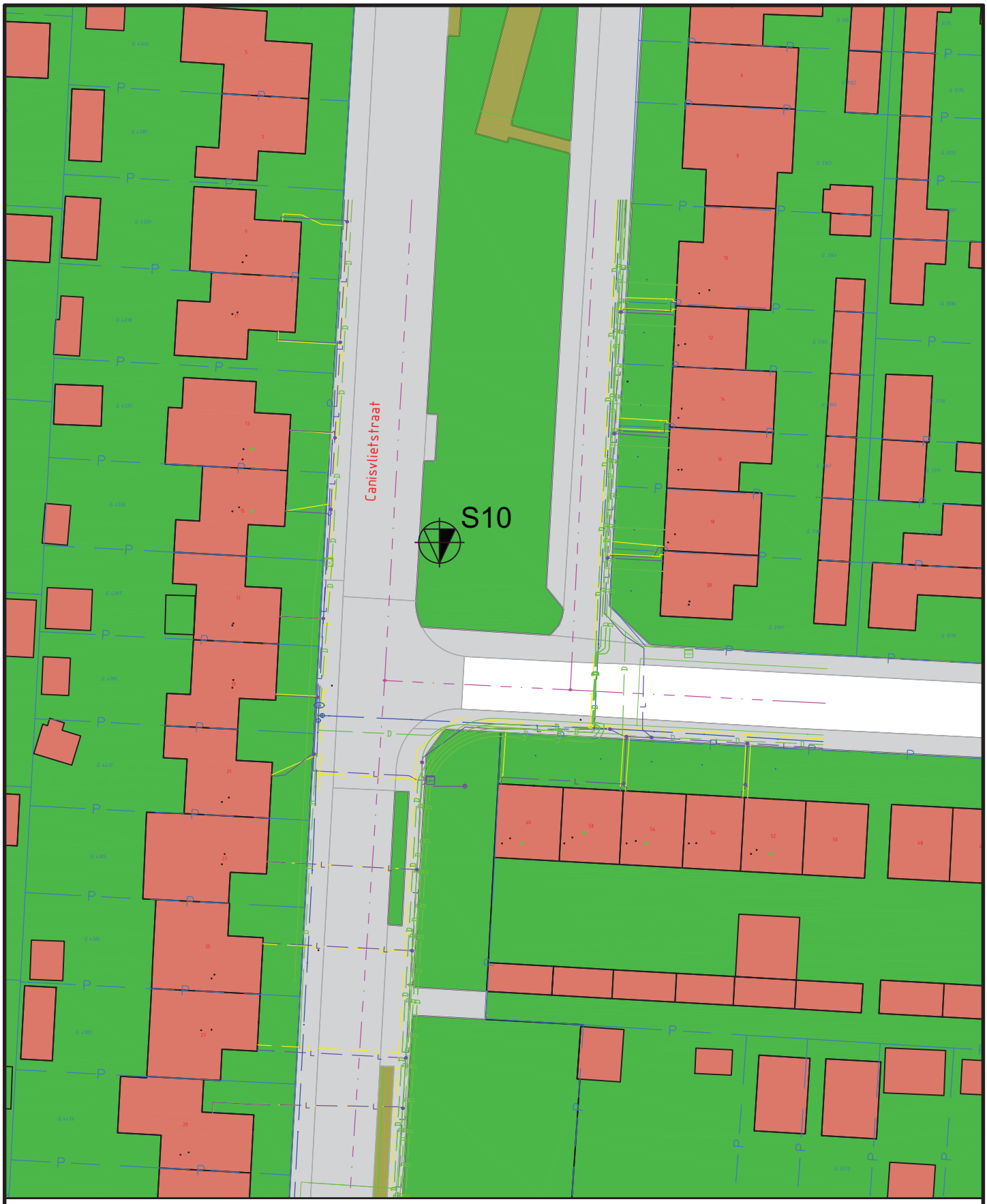
Opdrachtgever:	Combinatie Scaldis VOF		
Plaats:	Sluiskil	Locatie:	Albertpolderstraat 32
Projectnr.:	220436	Getekend:	PCM
Schaal:	----	Datum:	22 juni 2022

VAN DER STRAATEN GEOTECHNIEK B.V.



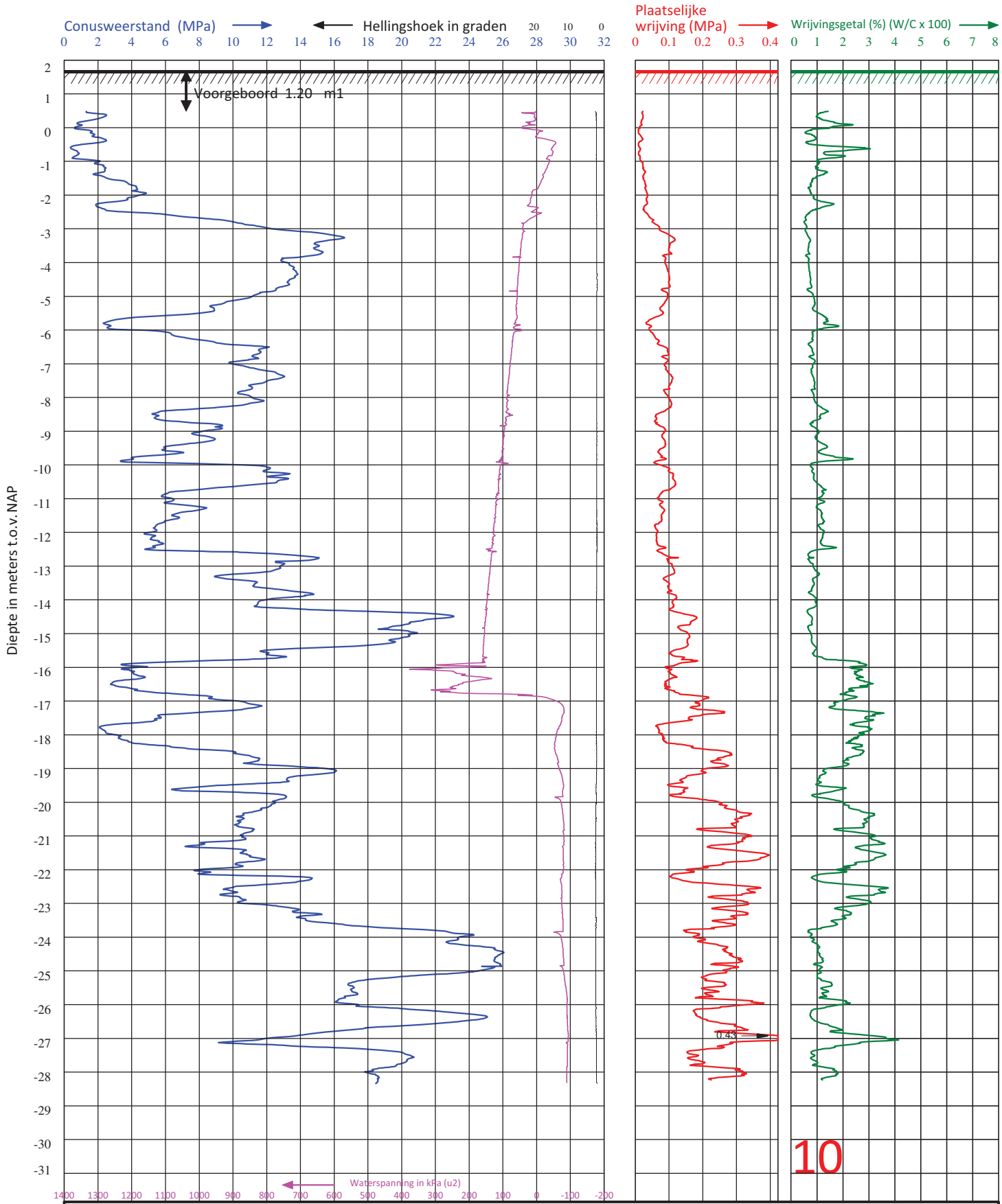
Van der Straaten Geotechniek B.V.			**Telefoon (0031) 113-382510**			**E-mail : geotechniek@vd-straaten.nl**	
PLAATS	:	**Sluiskil**	HOOGTE MAAIVELD	:	**1.65** m1 t.o.v. **NAP**	CONUS TYPE	: SUBP10-15
LOCATIE	:	**Diverse locaties**	GRONDWATERSTAND	:	m1- MAAIVELD	ID CONUS	: 210202
OPDRACHTGEVER	:	**Combinatie Scaldis VOF**	DATUM	:	16-6-2022	SONDERING VOLGENS	: - NEN-EN-ISO 22476-1 - TOEPASSINGSKLASSE 3
PROJECTNUMMER	:	**220436**	TIJD	:	15:27		
ID SONDERING	:	**9**	X-COÖRDINAAT (RD)	:	**46726.32**	Y-COÖRDINAAT(RD) :	**366315.38**

Diepteschaal: 65 mm = 1 m1



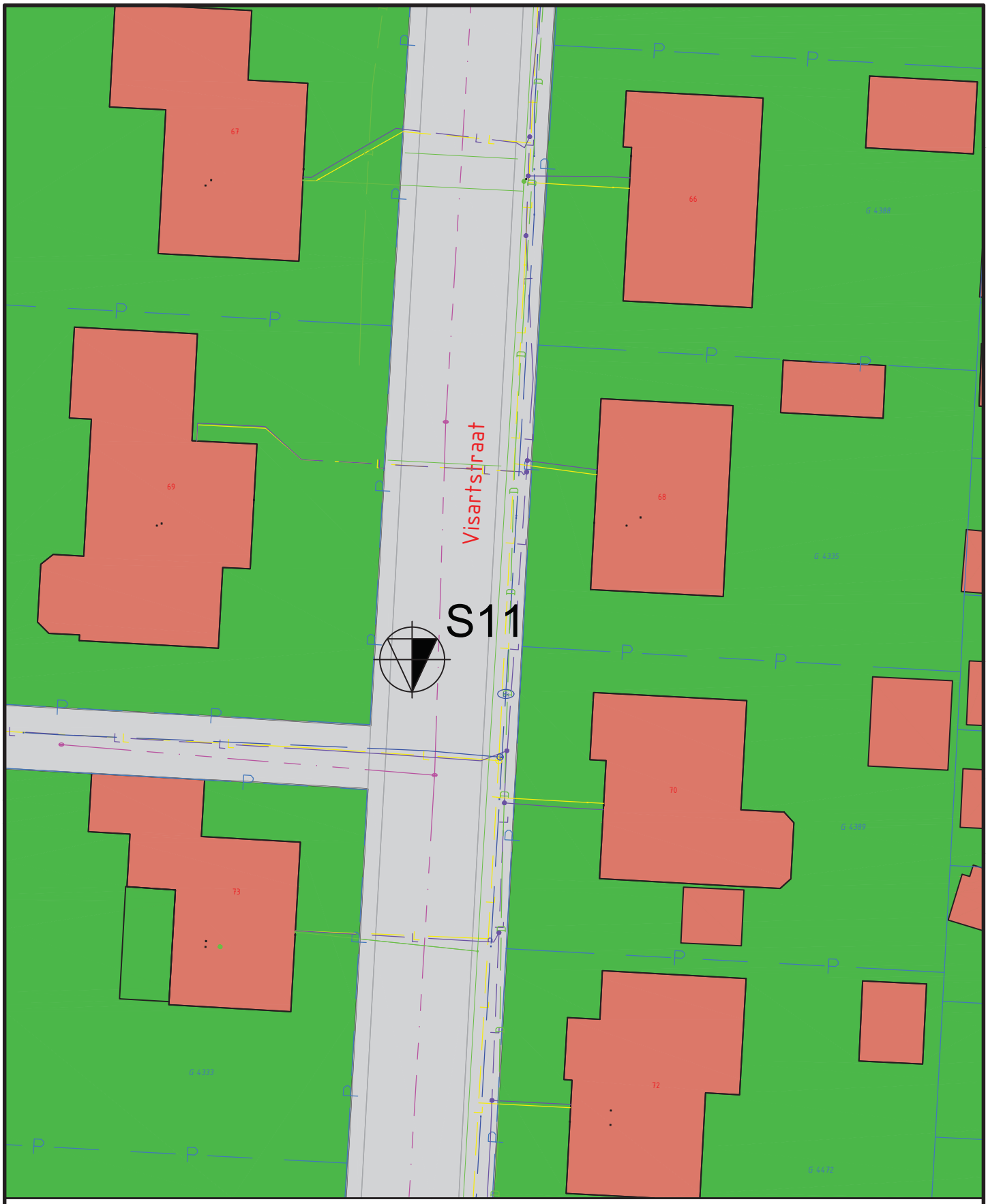
Opdrachtgever:	Combinatie Scaldis VOF		
Plaats:	Sluiskil	Locatie:	Canisvlietstraat thv 18
Projectnr.:	220436	Getekend:	PCM
Schaal:	----	Datum:	22 juni 2022

VAN DER STRAATEN GEOTECHNIEK B.V.



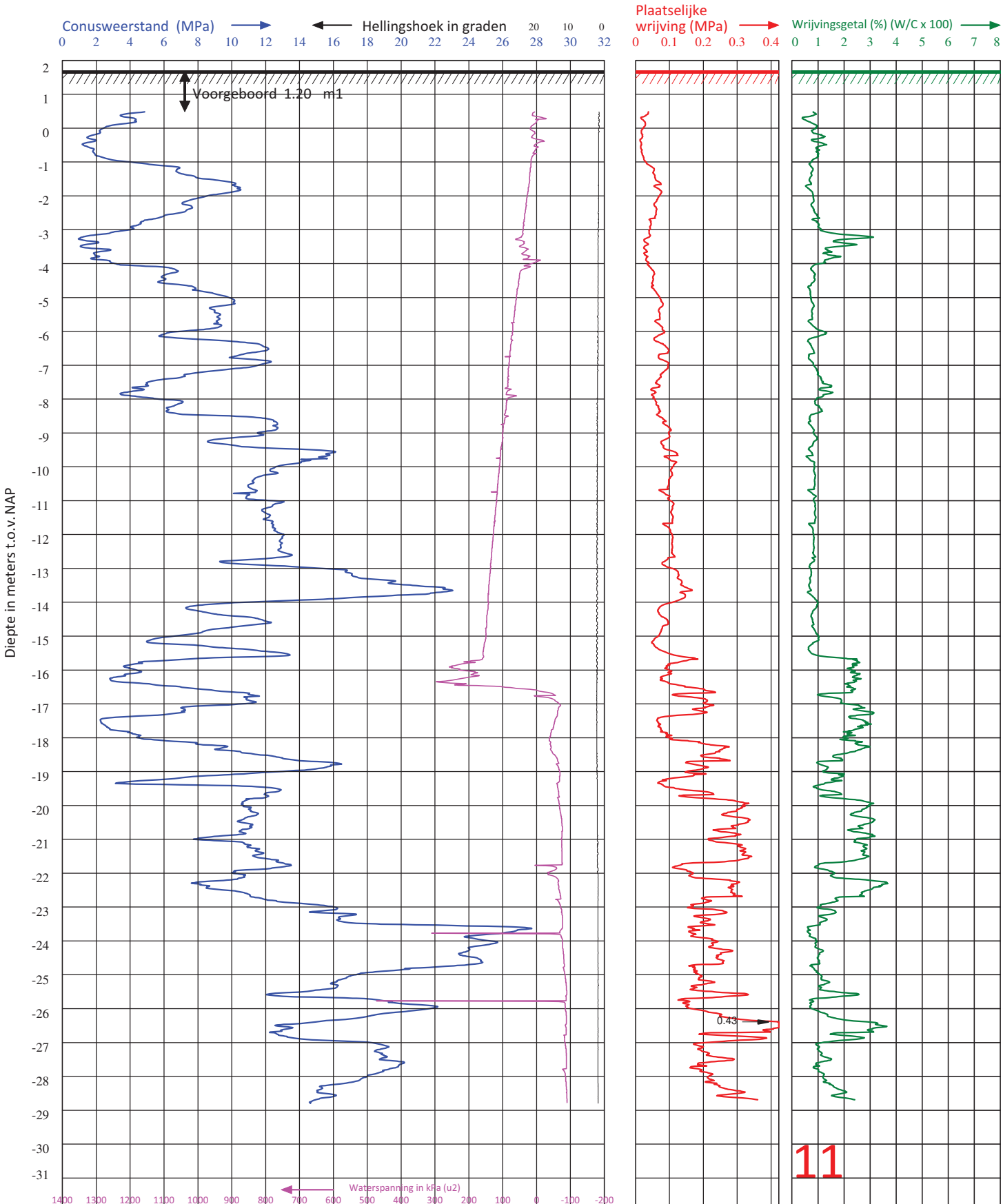
Van der Straaten Geotechniek B.V.			**Telefoon (0031) 113-382510**			**E-mail : geotechniek@vd-straaten.nl**	
PLAATS	:	**Sluiskil**	HOOGTE MAAIVELD	:	**1.69** m1 t.o.v. **NAP**	CONUS TYPE	: SUBP10-15
LOCATIE	:	**Diverse locaties**	GRONDWATERSTAND	:	m1- MAAIVELD	ID CONUS	: 210202
OPDRACHTGEVER	:	**Combinatie Scaldis VOF**	DATUM	:	10-6-2022	SONDERING VOLGENS	: - NEN-EN-ISO 22476-1 - TOEPASSINGSKLASSE 3
PROJECTNUMMER	:	**220436**	TIJD	:	15:33		
ID SONDERING	:	**10**	X-COÖRDINAAT (RD)	:	**46595.97**	Y-COÖRDINAAT(RD) :	**366323.99**

Diepteschaal: 65 mm = 1 m1



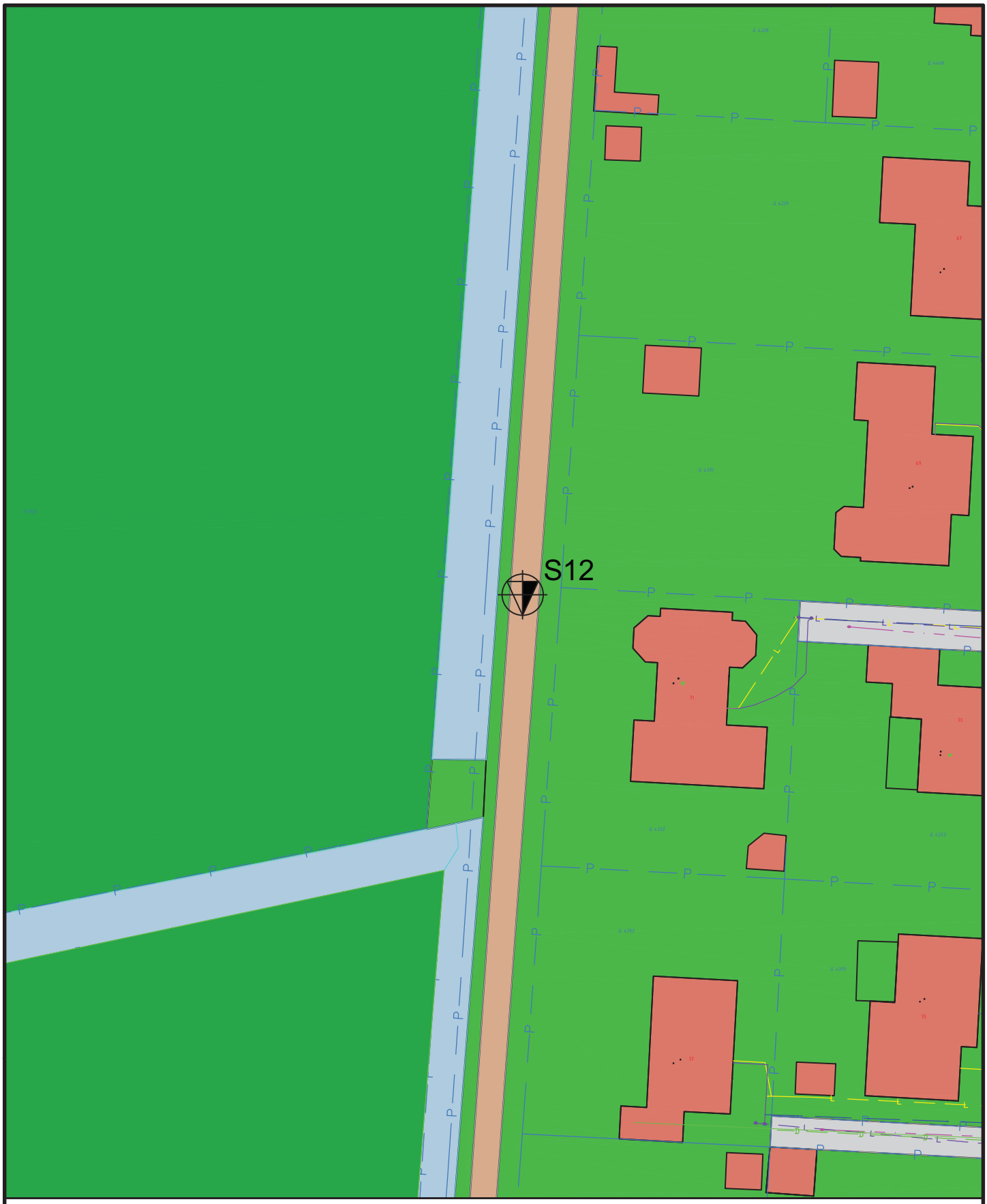
Opdrachtgever:	Combinatie Scaldis VOF		
Plaats:	Sluiskil	Locatie:	Visartstraat thv 70
Projectnr.:	220436	Getekend:	PCM
Schaal:	----	Datum:	22 juni 2022

VAN DER STRAATEN GEOTECHNIEK B.V.



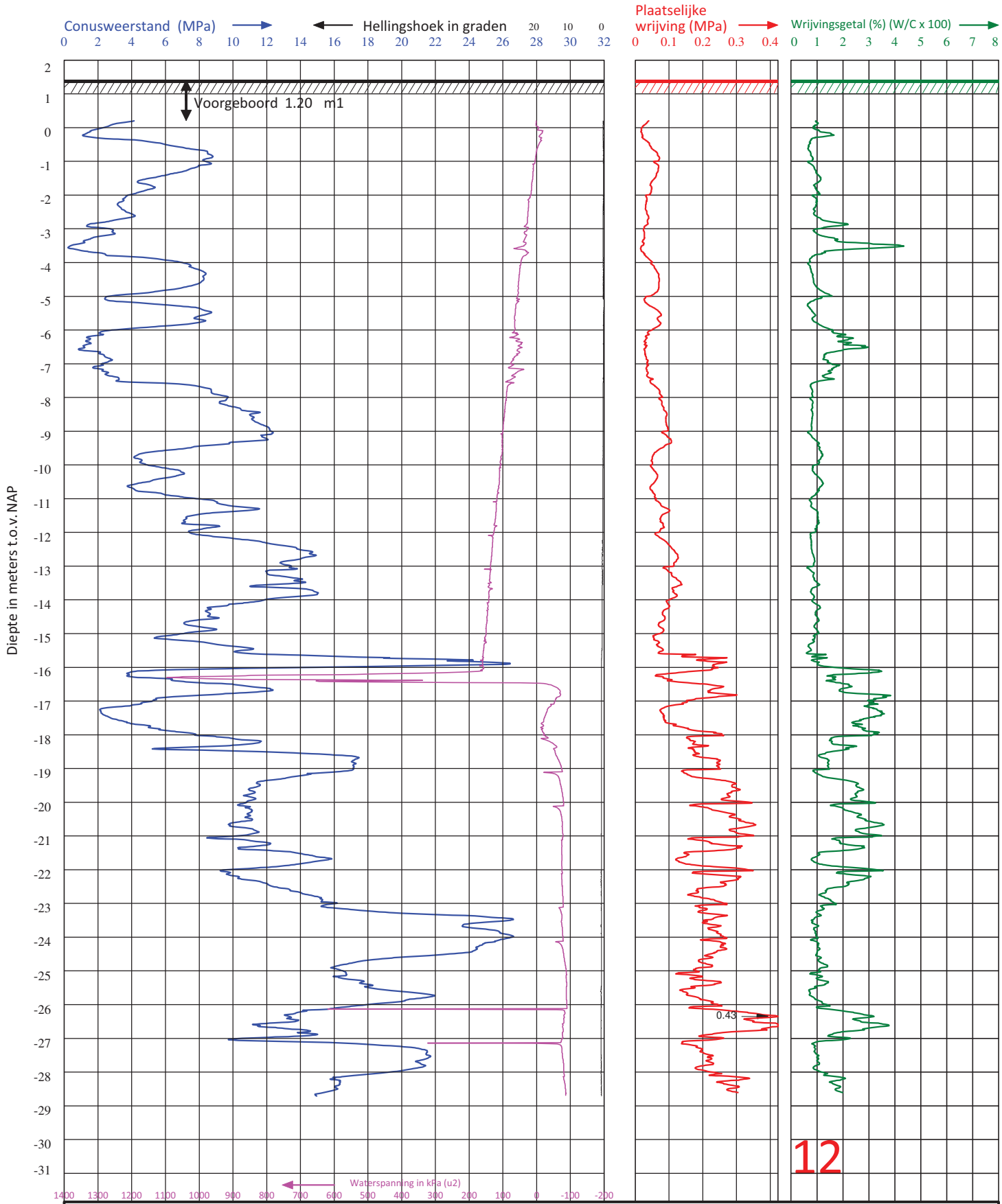
Van der Straaten Geotechniek B.V.			**Telefoon (0031) 113-382510**			**E-mail : geotechniek@vd-straaten.nl**	
PLAATS	:	**Sluiskil**	HOOGTE MAAIVELD	:	**1.69** m1 t.o.v. **NAP**	CONUS TYPE	: SUBP10-15
LOCATIE	:	**Diverse locaties**	GRONDWATERSTAND	:	m1- MAAIVELD	ID CONUS	: 210202
OPDRACHTGEVER	:	**Combinatie Scaldis VOF**	DATUM	:	13-6-2022	SONDERING VOLGENS	: - NEN-EN-ISO 22476-1 - TOEPASSINGSKLASSE 3
PROJECTNUMMER	:	**220436**	TIJD	:	15:49		
ID SONDERING	:	**11**	X-COÖRDINAAT (RD)	:	**46523.76**	Y-COÖRDINAAT(RD) :	**366319.73**

Diepteschaal: 65 mm = 1 m1



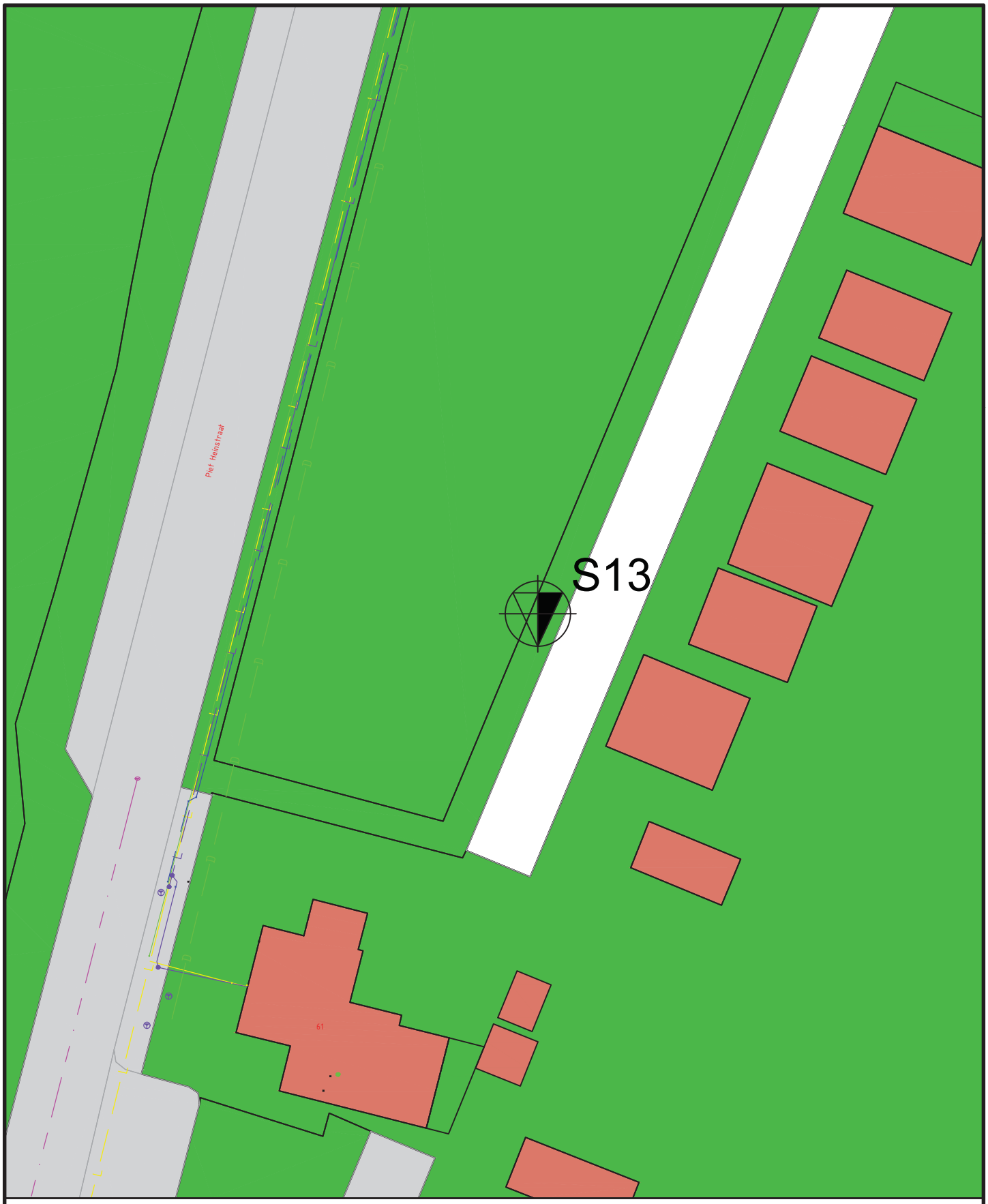
Opdrachtgever:	Combinatie Scaldis VOF		
Plaats:	Sluiskil	Locatie:	Achter Visartstraat 71
Projectnr.:	220436	Getekend:	PCM
Schaal:	----	Datum:	22 juni 2022

VAN DER STRAATEN GEOTECHNIEK B.V.



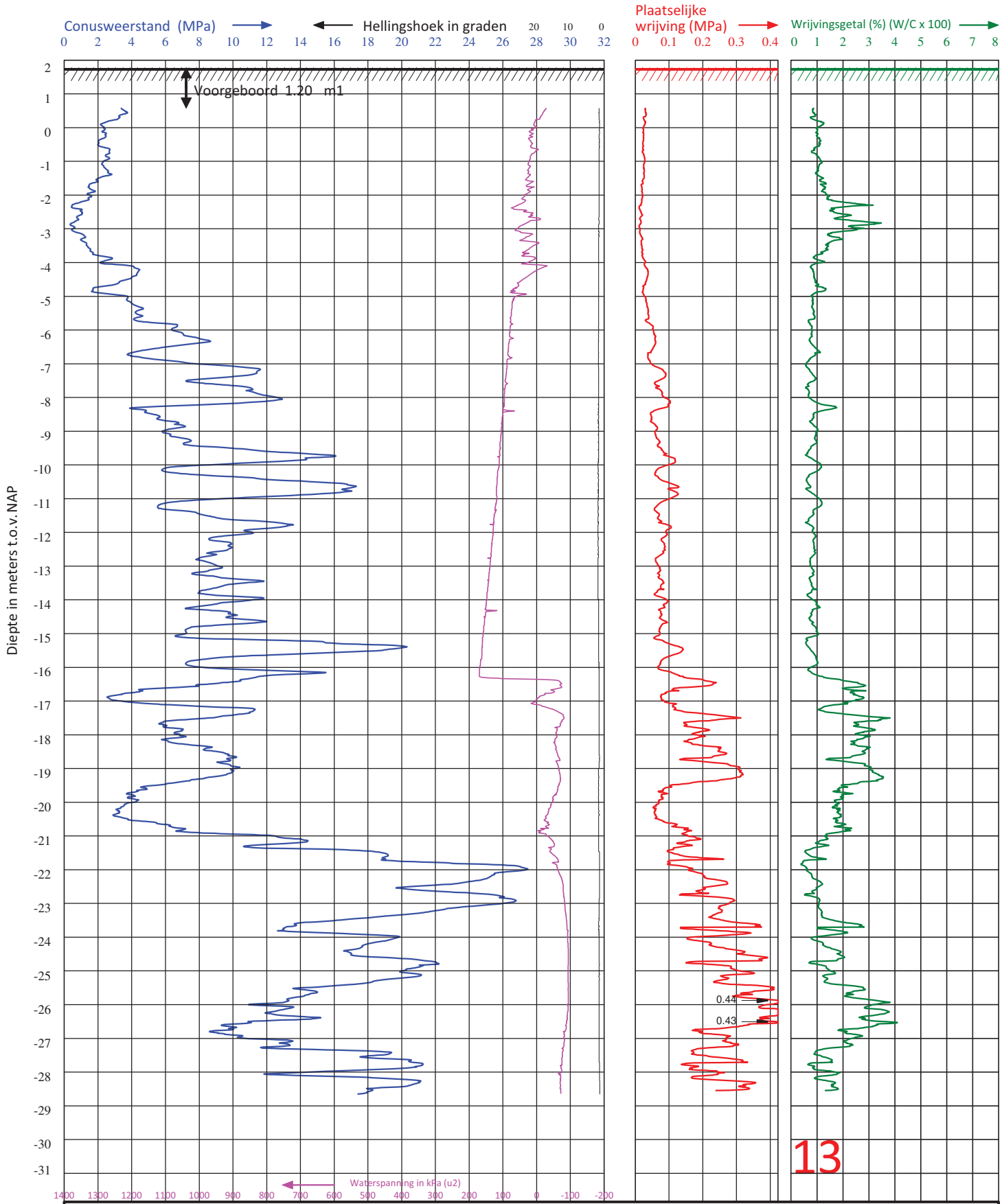
Van der Straaten Geotechniek B.V.			**Telefoon (0031) 113-382510**			**E-mail : geotechniek@vd-straaten.nl**	
PLAATS	:	**Sluiskil**	HOOGTE MAAIVELD	:	**1.41** m1 t.o.v. **NAP**	CONUS TYPE	: SUBP10-15
LOCATIE	:	**Diverse locaties**	GRONDWATERSTAND	:	m1- MAAIVELD	ID CONUS	: 210202
OPDRACHTGEVER	:	**Combinatie Scaldis VOF**	DATUM	:	10-6-2022	SONDERING VOLGENS	: - NEN-EN-ISO 22476-1 - TOEPASSINGSKLASSE 3
PROJECTNUMMER	:	**220436**	TIJD	:	14:04		
ID SONDERING	:	**12**	X-COÖRDINAAT (RD)	:	**46470.31**	Y-COÖRDINAAT(RD) :	**366317.61**

Diepteschaal: 65 mm = 1 m1



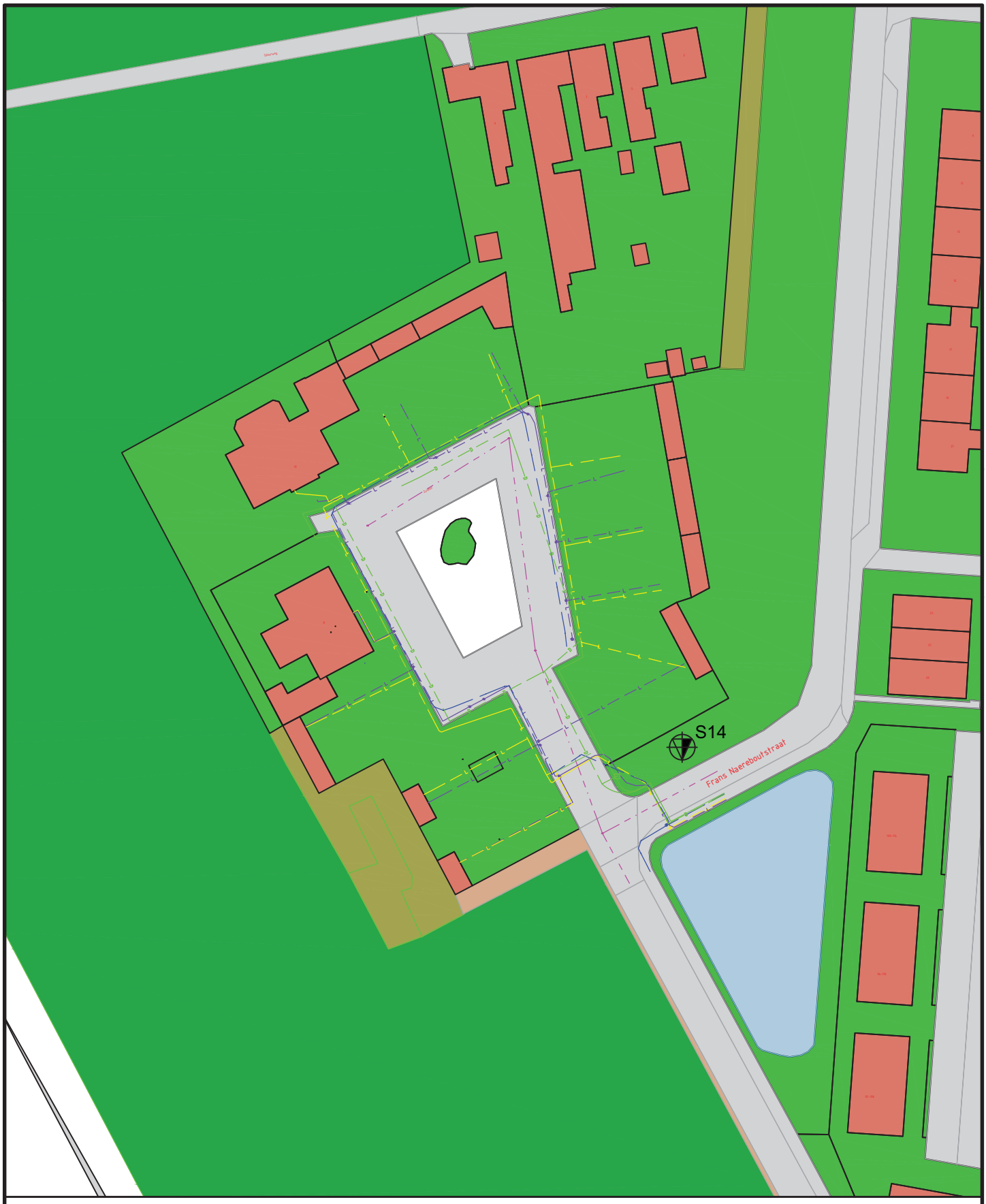
Opdrachtgever:	Combinatie Scaldis VOF		
Plaats:	Sluiskil	Locatie:	Piet Heinstraat
Projectnr.:	220436	Getekend:	PCM
Schaal:	----	Datum:	22 juni 2022

VAN DER STRAATEN GEOTECHNIEK B.V.



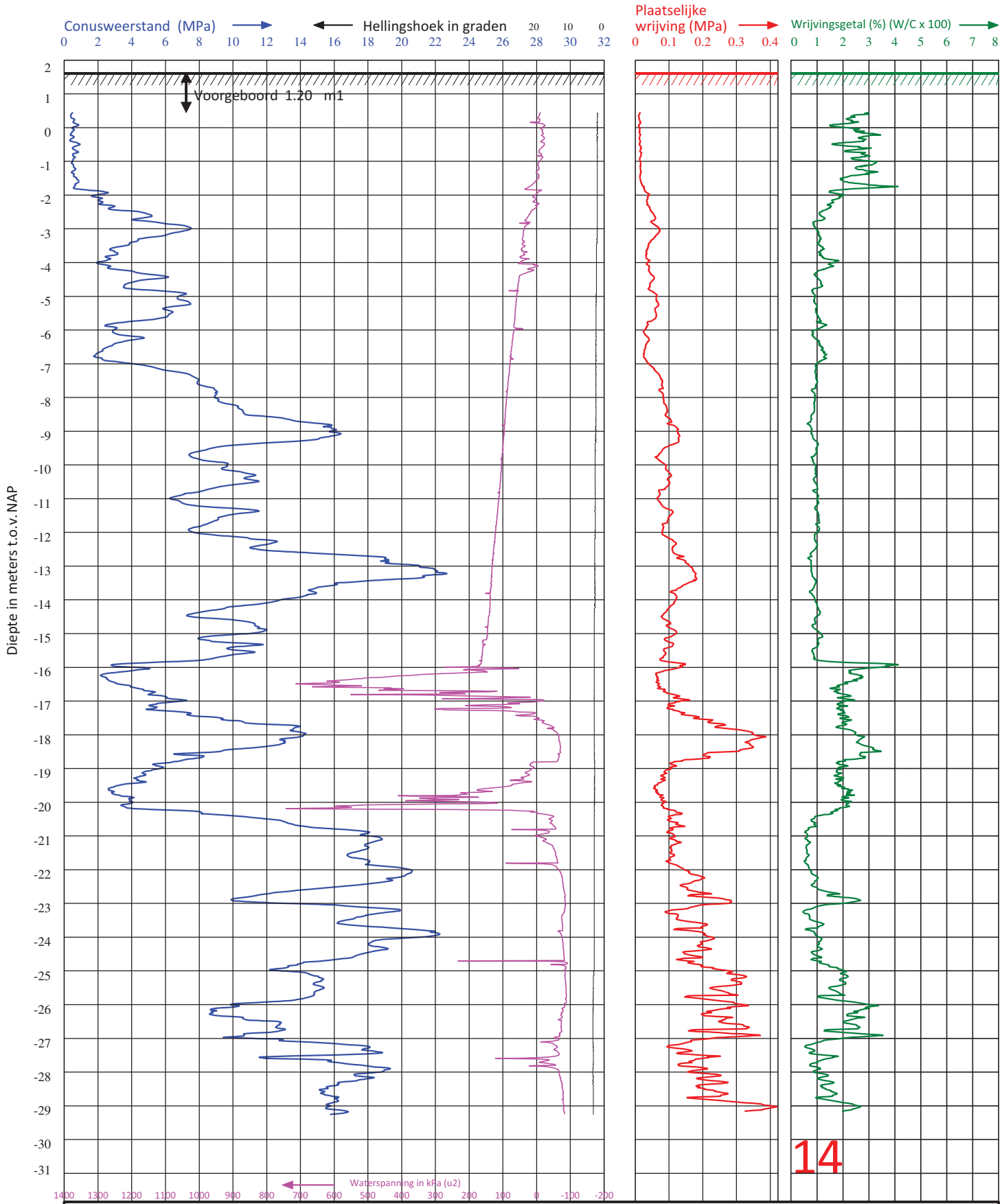
Van der Straaten Geotechniek B.V.			**Telefoon (0031) 113-382510**			**E-mail : geotechniek@vd-straaten.nl**	
PLAATS	:	**Sluiskil**	HOOGTE MAAIVELD	:	**1.78** m1 t.o.v. **NAP**	CONUS TYPE	: SUBP10-15
LOCATIE	:	**Diverse locaties**	GRONDWATERSTAND	:	m1- MAAIVELD	ID CONUS	: 210202
OPDRACHTGEVER	:	**Combinatie Scaldis VOF**	DATUM	:	10-6-2022	SONDERING VOLGENS	: - NEN-EN-ISO 22476-1 - TOEPASSINGSKLASSE 3
PROJECTNUMMER	:	**220436**	TIJD	:	11:15		
ID SONDERING	:	**13**	X-COÖRDINAAT (RD)	:	**46604.16**	Y-COÖRDINAAT(RD) :	**365876.27**

Diepteschaal: 65 mm = 1 m1



Opdrachtgever:	Combinatie Scaldis VOF		
Plaats:	Sluiskil	Locatie:	Frans Naerboutstraat
Projectnr.:	220436	Getekend:	PCM
Schaal:	----	Datum:	22 juni 2022

VAN DER STRAATEN GEOTECHNIEK B.V.



Van der Straaten Geotechniek B.V.			**Telefoon (0031) 113-382510**			**E-mail : geotechniek@vd-straaten.nl**	
PLAATS	:	**Sluiskil**	HOOGTE MAAIVELD	:	**1.65** m1 t.o.v. **NAP**	CONUS TYPE	: SUBP10-15
LOCATIE	:	**Diverse locaties**	GRONDWATERSTAND	:	m1- MAAIVELD	ID CONUS	: 210202
OPDRACHTGEVER	:	**Combinatie Scaldis VOF**	DATUM	:	10-6-2022	SONDERING VOLGENS	: - NEN-EN-ISO 22476-1 - TOEPASSINGSKLASSE 3
PROJECTNUMMER	:	**220436**	TIJD	:	8:36		
ID SONDERING	:	**14**	X-COÖRDINAAT (RD)	:	**46436.93**	Y-COÖRDINAAT(RD) :	**365928.02**

Diepteschaal: 65 mm = 1 m1

Waterpasstaat

Projectnummer: 220436

Omschrijving meetpunt	X-coördinaat	Y-coördinaat	Hoogte t.o.v. maaiveld (in m' NAP)
S1	46971.71	366832.56	3.80
S2	46476.09	366807.18	1.91
S2	46498.21	366847.06	1.85
S3	46359.05	366832.62	1.88
S4	46950.34	366494.84	3.18
S5	46809.49	366590.17	1.76
S6	46579.44	366683.77	2.37
S7	46223.78	366929.49	1.90
S8	46869.81	366291.93	3.33
S9	46726.31	366315.37	1.64
S10	46595.97	366323.99	1.69
S11	46523.75	366319.72	1.69
S12	46470.31	366317.61	1.40
S13	46604.16	365876.27	1.78
S14	46436.93	365928.02	1.65

Wat is een sondering ?
Bij het sonderen wordt een conus met een basisoppervlak van 10 of 15 cm2 en een tophoek van 60 graden met een snelheid van 2 cm/s de grond ingedrukt. De daarbij optredende weerstand wordt continu gemeten in MPa (1 MPa = 1 N/mm2).

Er wordt gesondeerd conform de NEN-EN-ISO 22476-1, waarbij dus ook de plaatselijke wrijvingsweerstand en de helling van de sonderingstreng ten opzichte van de verticaal gemeten wordt.

Er wordt gestreefd om alle sonderingen aan klasse 2 te laten voldoen doch minimaal klasse 3 te zijn.

De gemeten waarden worden in de wagen digitaal vastgelegd en op kantoor verwerkt tot een rapport zoals hier voor u ligt.

Het rapport
In dit rapport vindt u een grafische weergave van de meetresultaten en een situatietekening, waarop staat aangegeven waar de sonderingen gemaakt zijn.

In de meetstaat staat de hoogte van het maaiveld ter plaatse van de sonderingen ten opzichte van een referentiepunt en/of NAP aangegeven. Ook zijn de sonderingen (indien mogelijk) ingemeten in coördinaten (RD), welke ook worden vermeld.

Gezien de importantie van de hoogtemeting in het verdere verloop van het project is het van belang deze te verifiëren aan de hand van meting van derden of e.e.a. zelf te controleren voordat bestellingen worden gedaan of met de werkzaamheden wordt begonnen.

Indicatie grondsoort en grondwaterstand
Met het meten van de plaatselijke wrijvingsweerstand is het mogelijk het wrijvingsgetal in procenten te bepalen. Dit getal geeft mede een indicatie van de grondsoorten die gedurende de meting passeren.

In de onderstaande tabel is een overzicht gegeven van enkele waarden en de over het algemeen bij die waarden behorende grondsoorten.

(hoofd) Grondsoort	Conusweerstand	Wrijvingsgetal
Zand :	2.0 à 25	0.2 à 1.5
Klei, Silt, Leem, Löss :	0.2 à 6.0	1.5 à 6.0
Veen :	0.1 à 4.0	5.0 à 10.0

Als service vermelden wij (indien mogelijk) de gemeten grondwaterstanden in het sondeer(boor)gat t.o.v. het maaiveld. Wij willen u er op wijzen dat dit slechts een éénmalige opname is en de gemeten grondwaterstand ten tijde van de sondering kan afwijken van de normale grondwaterstand o.a. door invloeden van het weer en/of spanningswater uit de ondergrond.

Plaatsbepaling c.q. inmeting.
De sondeerpunten worden ingemeten m.b.v. een dGPS-RTK, afhankelijk van de omstandigheden zijn de waarden in de x en y binnen de 3 cm nauwkeurig en de z-hoogte heeft een maximale afwijking van 5 cm. Vaak vallen de gemeten waardes ruim binnen deze toleranties.

Een enkele keer zal het door omstandigheden (bv. bomen, gebouwen e.d.) niet mogelijk zijn om de punten in te meten. Deze worden dan handmatig ingemeten en vastgelegd aan een vast punt.

Mei 2021
Van der Straaten Geotechniek BV
www.vd-straaten.nl

Wat nu?
Voor u ligt een geotechnisch rapport, opgesteld door Van der Straaten Geotechniek BV. Een dergelijk rapport bevat vaak de gegevens voor de start van uw project.

Wat kan Van der Straaten nog meer betekenen voor uw project?

Van der Straaten Geotechniek
Van der Straaten Geotechniek is een onderzoeksbureau wat nauwe banden heeft met de Aannemingsmaatschappij. Zij bestrijkt twee onderdelen, nl. Veldwerk Geotechniek en Engineering

Veldwerk Geotechniek
Wij zijn met ons brede pallet aan materieel en uitstekend personeel in staat verder te gaan dan menig collega. Dit geldt voor op het land, maar ook op het water zijn we uitgegroeid tot een specialist met een voorliefde voor getijdewateren.

Naast sonderingen met waterspanning, geleiding, magnetisme of seismisch beheersen wij ook alle andere onderzoeksmethodes, zoals boringen en laboratoriumonderzoeken om een nauwkeuriger beeld te krijgen van de karakteristieken van de ondergrond.

Ook monitoring van grondwater, trillingen en zettingen als ook b.v. een weerstandsmeting (resistivity testing) kunnen wij voor u uitvoeren.

Engineering
Onze afdeling Engineering binnen de afdeling Geotechniek is vooral gespecialiseerd in civiele constructies en vraagstukken. (Paal)fundaties, bouwputproblematiek, zettingsberekeningen, maar ook beton -en staalconstructies kunnen wij berekenen en op verzoek ook tekenen.

Naast de constructieve vraagstukken voor Van der Straaten Aannemingsmaatschappij werken wij ook voor alle klanten van de Geotechniek.

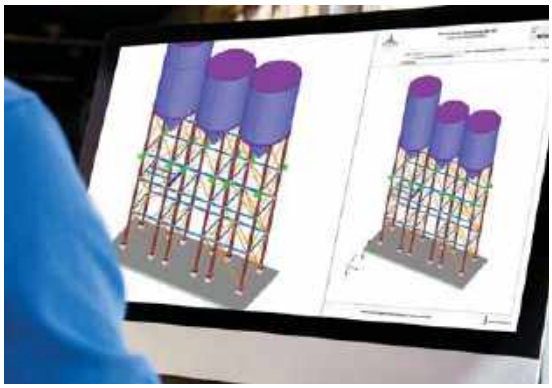
Van der Straaten Aannemingsmaatschappij BV
Van der Straaten Aannemingsmaatschappij is een aannemer in de civiele techniek die bijna alle disciplines op civiel gebied voor u uit kan voeren.

Ter zake kundig op het gebied van:
- Grond- en waterkerende constructies en paalfundaties, zowel nat als droog.
- Betonwerken, civiel en industrieel
- Civiele staalconstructies
- Waterbouwkundige werken
- Grond-, wegen- en leidingbouw.









Kenmerk R001-1284768NJH-V02-agv-NL

Bijlage 9 Verslag kwaliteitsborging Deltares

Memo

Aan
[redacted], RWS 5.1.2.e

Datum	**Ons kenmerk**		**Aantal pagina's**
20 juli 2022	11207905-002-GEO-0001		1 van 17
Contactpersoon	**Doorkiesnummer**	**E-mail**	
[redacted]	[redacted]	[redacted]	

Onderwerp
Verslag kwaliteitsborging model

1 Aanleiding

5.1.2.e

Op 4 juli is een overleg gevoerd tussen AVECO ([redacted]) en Deltares ([redacted]) om de volgende kwestie te bespreken:

> Voortgang van de modellering op basis van beschikbare data en aanvullend grondonderzoek.

Het overleg tussen de geohydrologisch adviseurs heeft plaatsgevonden uit het oogpunt van kwaliteitsborging van het model van AVECO door Deltares.

Vanwege de complexiteit die volgde uit het aanvullende grondonderzoek is een vervolgoverleg gevoerd op 12 juli met de geoloog van Deltares ([redacted]) en de geoloog van het project Sluis Terneuzen ([redacted]) om meer grip te krijgen op de vastgestelde heterogeniteit van de ondergrond en eventuele vereenvoudiging daarvan in het model.

5.1.2.e

2 Verslag van de discussie

2.1 Keuze van het model

Het enkele jaren geleden door WARECO (voorloper van AVECO) gebruikte model is gemaakt o.b.v. MicroFEM. Daarom wordt het nieuwe model ook hier op gebaseerd. Het oude model voldeed volgens AVECO goed bij kalibratie (orde 0,1 m verschil in grondwaterstand).
Voor de huidige modellering in het onderzoek naar mogelijke oorzaken van en oplossingen voor de wateroverlast moeten de ondergrond en de hydrologische randvoorwaarden (damwanden, rioolsleuven) in meer detail worden meegenomen en de stroming op grotere diepte moeten worden beschouwd om het effect van het kanaal en wanden te modelleren.
Het model is verder gedetailleerd met betrekking tot de gelaagdheid en voorkomen van plaatselijke afzettingen.

Het model o.b.v. MicroFEM uit 2017 was opgezet met 2 waterremmende en 2 watervoerende lagen. Die beperkte onderverdeling is bij de nu gebleken sterke variatie van de ondergrond in de verticaal vrij weinig om het stromingspatroon dat vanuit de diepere ondergrond en onder de damwanden kan optreden, goed te modelleren. Daarom is het model door AVECO nu uitgebreid naar 7 watervoerende lagen met om en om evenzoveel waterremmende lagen. Dat lijkt Deltares een verstandige keuze.
Het model is vergroot naar een gebied van 5,2 * 6,5 km. Dat is voldoende om effect van modelranden op het studiegebied te vermijden. Ook de elementgrootte is sterk gedetailleerd om de kanaaloevers met of zonder damwand en waterlopen goed te representeren.

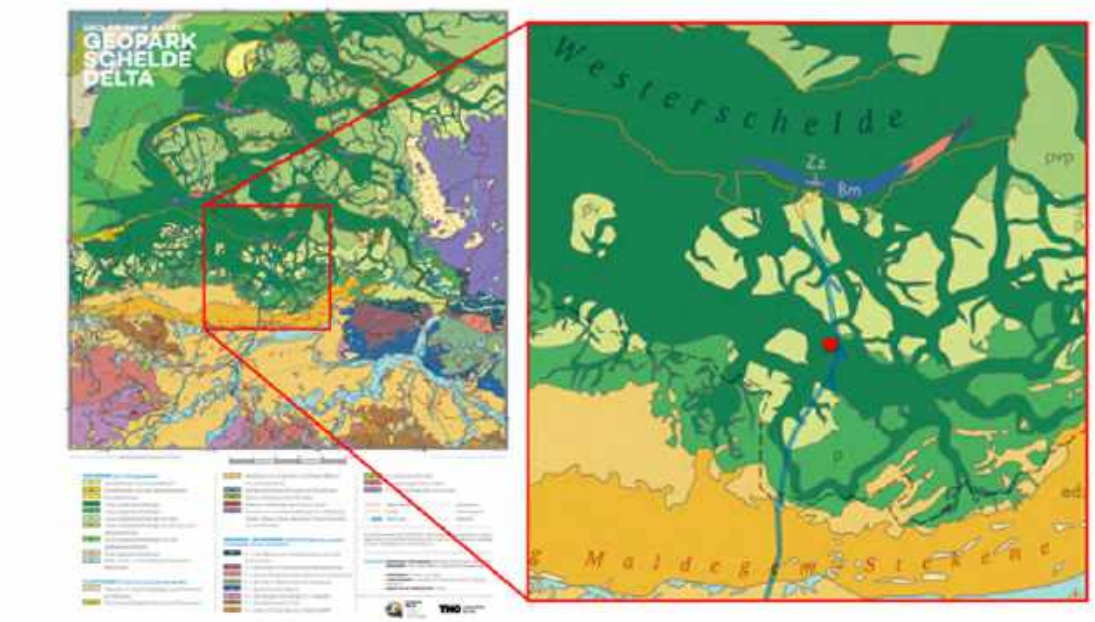
2.2 Geologische schematisatie

Over de opbouw van de afzettingen en geulstructuren zijn afgelopen maanden vragen gerezen bij de betrokken bureaus en Deltares. Met het oog op de gewenste detaillering van het model is overleg met een geoloog van Deltares gevoerd (zie vorig verslag).

In de regio is sprake van een oorspronkelijke ondergrond bestaande uit:

- ondiep voorkomende afzettingen van holocene lagen op een pleistocene ondergrond (vanaf NAP-3m). Deze holocene laag is kleiig.
- In Pleistoceen bovenin Boxtel Singraven Formatie beekafzettingen. Dit zijn fijne zanden met lokaal ingeschakelde lemen.
- Hieronder vanaf rond NAP-16m Scheldeafzettingen (Formatie van Koewacht onder andere) met grove zanden.
- Daaronder ligt Rupel Boom Formatie, bestaande uit glauconiethoudende zanden die kleiig zijn ontwikkeld.

In de pleistocene bodemlagen zijn geologisch recent (1000 BP) getijdeafzettingen ingesneden (Braakman). Op de bodemkaart en op de nieuwe geologische kaart is ongeveer terug te zien waar deze geulen hebben gelopen. Deze geulen hebben het originele materiaal herwerkt. Het originele pleistocene grondpakket met fijn zand is dus doorsneden door grove tot fijnzandige en kleiige afzettingen van de verlande restgeulen.



2.3 Aanvullend grondonderzoek

Vanwege de onduidelijkheid over de gelaagdheid van de ondergrond is in overleg met TAUW en Aveco grondonderzoek gepland bestaande uit:

- Enkele raaien sonderingen plaatsen om de variatie in beeld te brengen en de kleiige restgeulafzettingen af te bakenen met waterspanningsmeting.
- Plaatsen van boringen tot redelijke diepte uitvoeren (door Rupel/Boom klei heen) om de grondlagen op samenstelling en doorlatendheid te onderzoeken.
- Peibuizen op meerdere niveaus aanbrengen inclusief plaatsing van meetfilters tot op diepte in de grofzandige laag.

2.4 Sondeerbeeld

Op het moment van het overleg van Deltares met AVECO waren de sonderingen uitgevoerd. De sonderingen zijn besproken met AVECO.

Het beeld van de sonderingen bracht nog niet de gewenste duidelijkheid over de bodemopbouw en geohydrologie. De laagdiepten op de meetpunten zijn wel duidelijker geworden maar er is geen duidelijke samenhang tussen de laaginterpretaties van de verschillende meetpunten.

De globale geologische situatie is als volgt:

- ondiep tot circa NAP-1à -3 m voorkomende afzettingen van holocene lagen (Formatie Naaldwijk Afzettingen van Walcheren). Deze holocene laag is kleiig.
- In Pleistoceen (vanaf NAP-3m) komen bovenin Boxtel Singraven Formatie beekafzettingen voor. Dit zijn fijne zanden met lokaal ingeschakelde leemlagen. Deze Pleistocene Formatie komt voor tot de tertiaire klei van de Formatie van Rupel op een diepte van circa NAP-13 à -16 m.
  Echter, in deze Pleistocene afzettingen zijn holocene getijdeafzettingen diep ingesneden (1000 BP, afzettingen van Naaldwijk Walcheren Formatie, Braakman geul). De holocene geulen hebben het originele bodemmateriaal herwerkt. De geulafzettingen zijn sterk gelaagd (door verlandingssequenties van de geulen) met zand en kleilagen. De geulen hebben een beperkte breedte en hebben zich een aantal keren verlegd met wisselende diepten. In de afzonderlijke sonderingen komen in het sondeerbeeld herkenbare holocene kleilagen op verschillende diepten voor. Hieronder komen vanaf rond NAP-13 à -16m Scheldeafzettingen voor (Formatie van Koewacht) met grove zanden. Deze laag heeft varierende dikte in het onderzoeksgebied.
- Daaronder vanaf NAP-17 à -18 m ligt de Rupel Formatie met de afzetting van Boom, bestaande uit klei en zandige klei. Deze laag heeft een variërende dikte tot enkele meters maar is in het gebied discontinu en komt meer continu voor ten noordoosten van Sluiskil.
- Vervolgens komen zanden van de Tongeren Formatie voor, die glauconiethoudend en kleiig zijn.

Het met de sonderingen gemeten waterspanningsverloop is hydrostatisch tot circa NAP-15 à -16 m (onderkant Koewacht grof zand). Daaronder valt de tijdens sonderen gemeten waterspanning terug naar een negatieve waarde. Dit is mogelijk gerelateerd aan het voorkomen van glauconiet en klei in het zand. Een schatting van de grondwaterstand in de laag van Tongeren is dan helaas niet te geven. De meting van de waterspanning lijkt bij een enkele sondering niet correct te zijn (nr 12, nulstand verschoven).

Omdat de laagherkenning in de sonderingen niet tot een duidelijk doorlopend patroon leidt is een vervolgbespreking met de geoloog van Deltares gevoerd op 12 juli. Besproken interpretaties van de sonderingen zijn toegevoegd in de bijlagen.

Uit het gesprek kwam naar voren dat een detaillering van de bodemopbouw op basis van de sonderingen erg lastig is. De heterogeniteit van de bodemlagen is groot, vooral in het holocene deel van de afzettingen.
Voor wat de afzettingen tot circa NAP-16 m betreft is door geologen opgemerkt dat er in geohydrologische zin eigenlijk weinig verschil bestaat tussen fijnzandige matrix van de Boxtel Formatie met plaatselijke leemlenzen en fijnzandige matrix van de Naaldwijk Formatie met lokale kleilenzen. Wellicht is de Naaldwijk Formatie iets sterke fijngelaagd.
Dit laatste lijkt ook te volgen uit foto’s van uitgelegde boringen uit het geotechnisch dossier van de Tunnel Sluiskil.

2.5 Geohydrologische schematisatie

AVECO heeft ten behoeve van de nieuwe modellering de verfijning van het model al opgepakt. De omschrijving van de conceptualisatie is aan Deltares ter bespreking voorgelegd. AVECO heeft gebruik gemaakt van juiste brondata volgens vermelding bij opzet van het model.

Volgens de appelboor raadpleging in DINOloket/REGIS is in Sluiskil sprake van de volgende opbouw en parameterwaarden (diepte in m-MV, MV=1,4+NAP):

- MV-16 Holoceen complex kh=1 a 10 m/d c=dikte*100 d/m?
- MV-17 Boxtel fijn zand kh=1 a 10 m/d
- MV-19,5 Koewacht grof zand kh=2,5 a 25 m/d
- MV-23,2 Rupel Boom klei en zandige klei c=1^{e}6 a 1^{e}9
- MV-36,2 Tongeren fijn/midden fijn kleiig zand kh=2,5 a 5 m/d
- MV-40,5 Tongeren Zelzate klei c=1^{e}4 a 1^{e}5
- MV-64,2 Tongeren kleiig zand tot grof zand kh=1 a 2,5 m/d
- MV-112 Dongen Asse zandige klei, klei

Omdat het gebied weinig boringen zijn kan de in REGIS aangegeven diepte van de lagen nog wel verschillen van de werkelijke situatie.

AVECO kiest ervoor om de geohydrologische basis te leggen op laag van Tongeren Zelzate. Omdat discontinuïteit in laag van Boom kan voorkomen, is het inderdaad verstandig om het bovenste deel van het pakket van Tongeren in de beschouwing mee te nemen. Het doorlaatvermogen daarvan is waarschijnlijk klein.

2.6 Heroverweging schematisatie o.b.v. sonderingen

In bebouwd gebied van Sluiskil is grondonderzoek uitgevoerd met sonderingen in raaien. De sondeerstaten zijn uitgezet in de raaien (zie volgende figuur en profielen in de bijlagen).

In het gesprek van 12 juli zijn de resultaten van sonderingen nader beschouwd met de kennis van de regionale geologie van benaderde geologen. Dit leidde tot de volgende beoordeling:



- De sonderingen geven globaal gelijksoortig patroon maar de 3 noordoostelijke sonderingen zijn anders:
- Noordelijk van de aangegeven begrenzing (groene lijn) komt F.v.Naaldwijk klei en zand voor op pleistocene afzettingen van NAP-12 tot -16m F.v.Boxtel (zand met leemlagen, beeklemen) en F.v.Koewacht (grof zand). De leemlagen zijn vervolgbaar. Daaronder bevinden zich de tertiaire afzettingen.
- Zuidelijk van de aangegeven begrenzing (groene lijn) komen holocene F.v.Naaldwijk geulen voor (Braakman) tot NAP-16m waaronder de tertiaire afzettingen. De geulafzettingen zijn vrij heterogeen (afwisseling zand en kleilenzen), maar wel flink zandig. In geohydrologische zin zijn de afzettingen zeer anisotroop.
- De tertiaire afzettingen zijn uit de sonderingen niet eenvoudig te interpreteren. De afzettingen bestaan bovenin uit F.v.Rupel met klei van Boom, die beperkte variërende dikte heeft in het gebied en discontinu is. Vervolgens wordt zand met glauconiet (kleimineraal) aangetroffen van F.v.Tongeren. Argument voor aanwezigheid van glauconiet is de naar negatieve waarden teruglopende waterspanning in de sonderingen.

Na het gesprek op 12 juli is de volgende geohydrologische schematisatie geopperd door Deltares als mogelijke bodemopbouw voor Sluiskil:

- Kleiige toplaag, onbekende weerstand, dikte * 100 d/m?
- Holoceen zand met kleilenzen of kleiig zand, k= 1 a 10 m/d, anisotropiefactor kh/kv=10?
- Boxtel zand met beeklemen, k= 1 a 10 m/d, anisotropiefactor kh/kv=10?
- Koewacht grof zand, k=5 a 25 m/d

- Klei van Boom, grote weerstand, dikte * 10000 d/m?
- Tongeren top (ca 5m) fijn zand met glauconiet, kh=0,5 a 1 m/d, kv=0,01 m/d?
- Tongeren diep, fijn zand, k= 3 a 5 m/d

Echter, kalibratie van het model aan de peilbuismetingen moet uitwijzen of dit schema passend is en welke waarden exact gelden

Vanwege de lage waarde van doorlaatvermogen is de spreidingslengte van de verschillende (al dan niet gesommeerde watervoerende lagen) gering. Het aangehouden modelgebied is dan ruimschoots voldoende om geen verstorend effect van randvoorwaarden aan modelranden te ondervinden in berekeningen.

2.7 Opmerkingen over invoer van lokale waterbeheersingselementen

De modelverfijning is gedetailleerd genoeg om in het gebied aanwezige hydrologische elementen (damwanden, sloten, wegcunetten, verharding) te kunnen modelleren.

Drainage is naar informatie van Gemeente bij rioolvernieuwing toegepast. Wij hebben sterke twijfels of deze drainage correct is aangebracht (foto’s geven aan dat deze te ondiep in kabelstrook is gelegd).

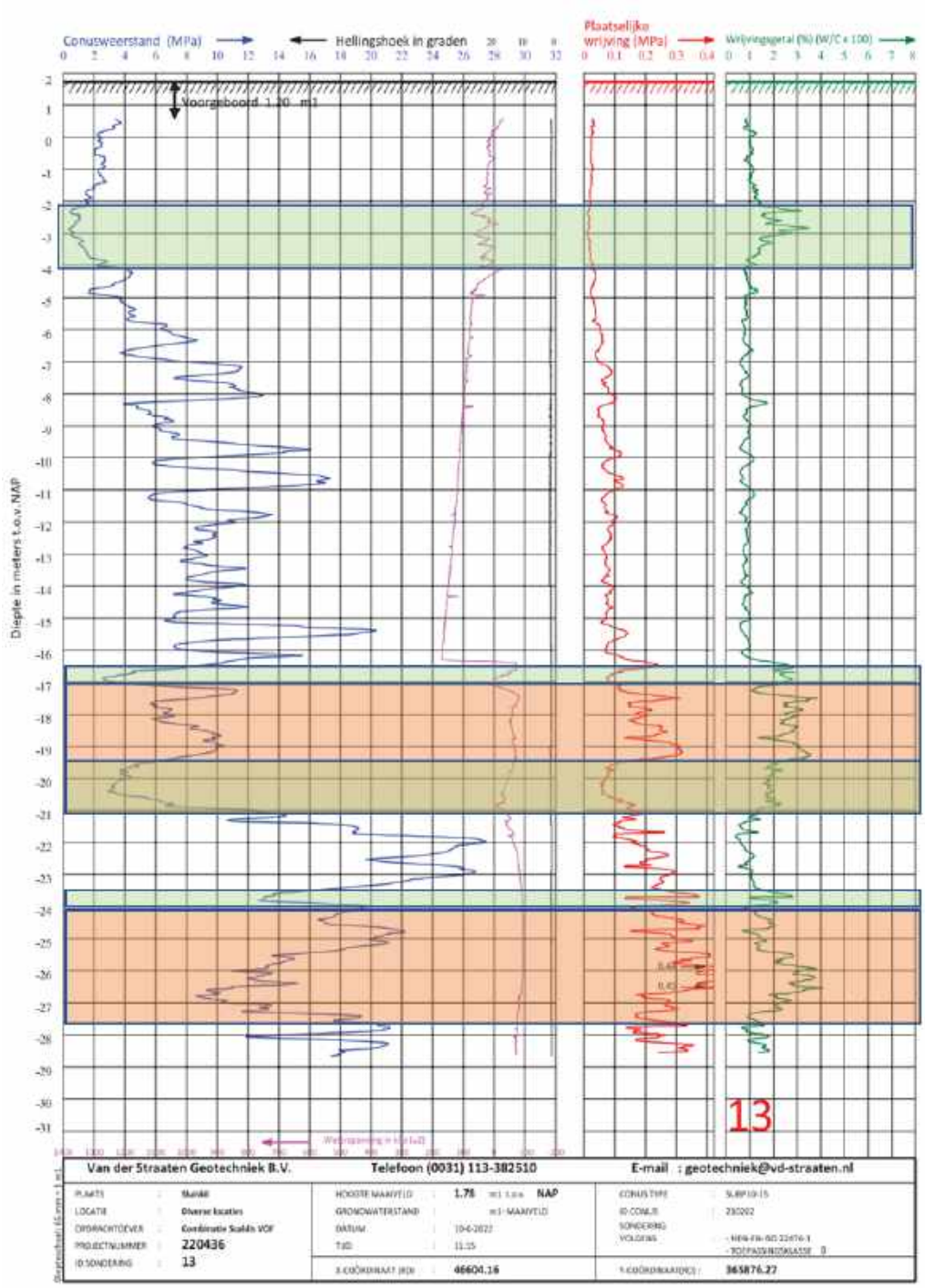
2.8 Kalibratie model en studie oorzaken en maatregelen

AVECO wacht resultaten van peilbuismetingen af voor een serieuze kalibratie van het model kan plaatsvinden. Naar de mening van Deltares is dat nodig. Dit kan wel vertraging opleveren bij de oplevering van de studie. Andere aanpak is op dit moment echter niet mogelijk omdat te grote onzekerheid zou ontstaan in de analyse.

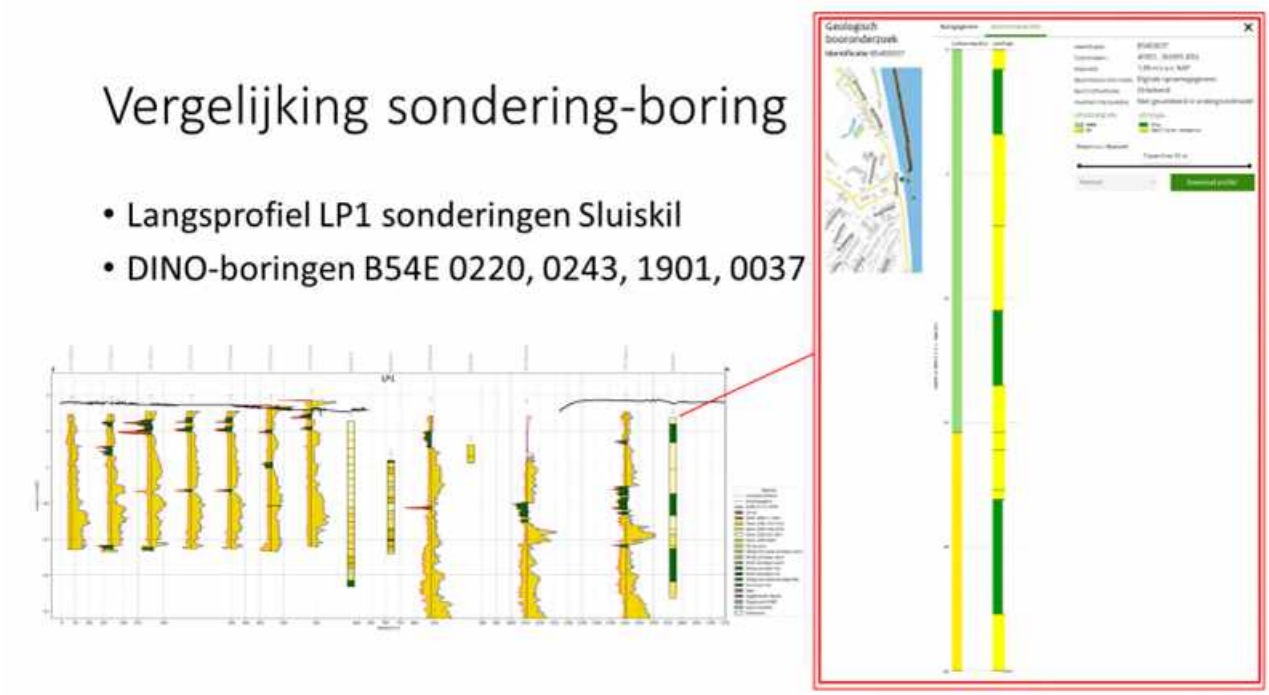
In de toelichting op de kalibratie is door AVECO aangegeven dat in de nu lopende kalibratie enkele belangrijke punten zijn op te merken:

- Onzekerheid over verbreiding en discontinuïteit van de hydraulische weerstand van de Boomse klei is een factor die tot spreiding in de antwoorden kan leiden.
- Ook het doorlaatvermogen van holocene zanden en Koewacht grof zand kan een rol van betekenis geven in de nauwkeurigheid van modelresultaten.
- De bodemweerstand van westelijke waterleiding en kanaal Gent -Terneuzen met slibvoorkomen kan een grote mate van onzekerheid in de modelresultaten leiden.

De kwestie van Boomse klei, maar ook van onderscheid met glauconiethoudend zand blijkt bijvoorbeeld bij interpretatie van sondering 13 (zuidelijke raai DWP4). Waar conusweerstand laag tot matig is en wrijvingsgetal matig tot hoog is kan sprake zijn van Boomse klei, waar conusweerstand matig tot hoog is en wrijvingsgetal matig kan sprake zijn van glauconiethoudend of kleiig zand. Dat is met oranje respectievelijk groene balken in de sondeerstaat gemarkeerd.



Om meer zekerheid te krijgen moeten we de resultaten van boringen voor peilbuizen, peilbuismetingen en kalibratie van het model afwachten. Dit kan tot meer inzicht leiden zoals uit de volgende figuur is af te leiden.
In langsprofiel LP1 (Z-N langs het kanaal) zijn boringen uitgezet. Volgens de interpretatie van de sondering glauconiethoudende zandlagen worden in de boring ook herkend als kleilaag. De interpretatie is dus niet erg eenduidig en vergelijking van enkele sonderingen met ter plekke uitgevoerde diepe boringen is dan verstandig.



Indien kalibratie van het model tot problemen leidt zijn er verschillende mogelijkheden om verder te komen:

- Enkele aanvullende diepe boringen
- Nader onderzoek naar slibvoorkomen in kanaal (eerder aangegeven geofysische metingen)
- Pompproef in holocene zandlagen met meting van waterstandsverandering in meetraaien peilbuizen.

Uitwerking van de studie naar mogelijke oorzaken van wateroverlast en mogelijke maatregelen ter beheersing kan pas plaatsvinden als er voldoende vertrouwen in het model is verkregen. Uitwerking van scenario's met onzekerheden op dit moment zou tot te veel discussie leiden om tot een goed afgewogen oordeel te komen.

2.9 Peilbuizen

De plaatsing van extra (diepe) peilbuizen was op moment van bespreking nog niet gereed.

Gezien de onduidelijkheid van de waterstand in de laag van Tongeren zou het aan te bevelen zijn om ook daarin enkele peilbuizen te plaatsen (hoewel onzeker is of die correct zullen werken bij plaatsing in kleiiig zand).
Plaatsing van meetfilters is aan te bevelen op 3 diepten in:

- NAP-5m zandlaag van afzetting Naaldwijk Walcheren
- NAP-14 à -15 m in afzetting Koewacht grof zand
- NAP-20 m in Tongeren zand.

Voor plaatsing van het diepste filter is aanpassing van de uitvraag bij de uitvoerende partij nodig.

2.10 Geofysische verkenning

De door Deltares aanbevolen geofysische verkenning met sub-bottomprofiler om een grondlagenprofiel te maken in het kanaal is vooralsnog niet gepland. Beschikbaarheid van de apparatuur en schip en (relatief hoge) kosten zijn waarschijnlijk nog niet opgelost.

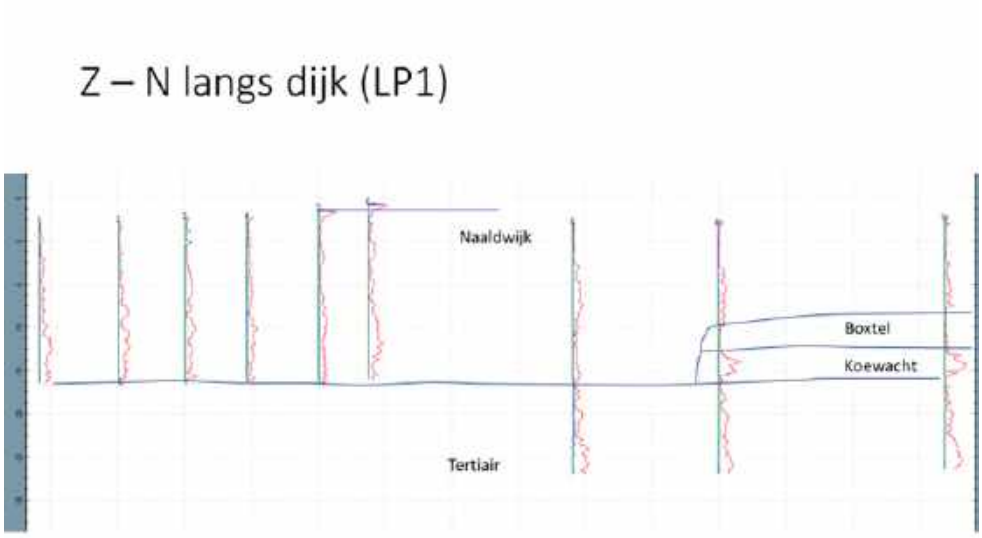
2.11 Conclusie

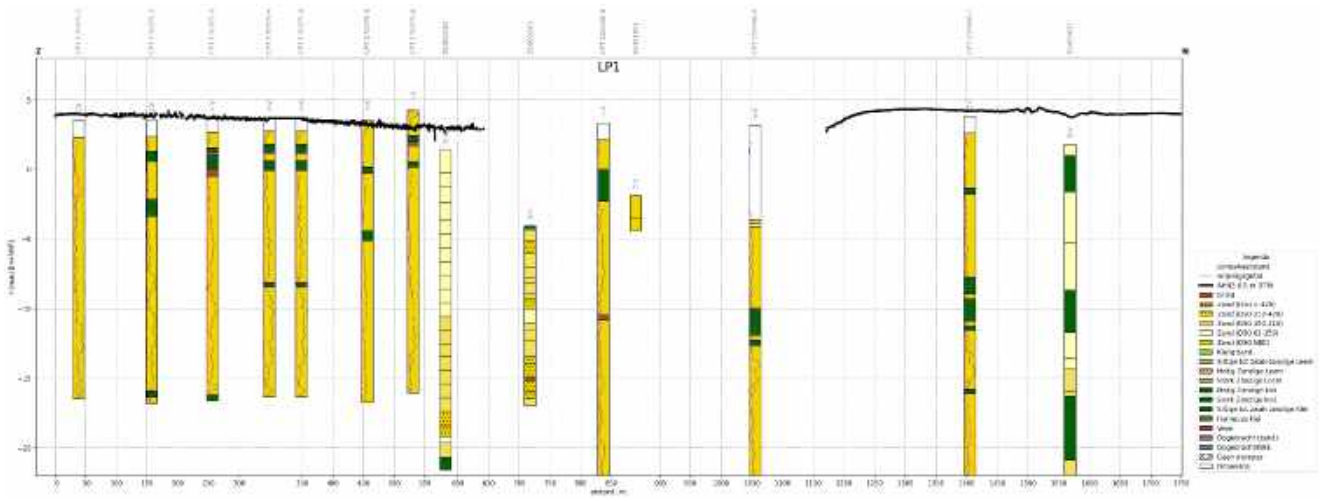
De conceptualisatie van het grondwatermodel van de studie naar wateroverlast in Sluiskil door AVECO beantwoordt volgens Deltares aan de voor dit project vereiste kwaliteitsniveau omtrent numerieke modellering. De complexiteit van de lokale ondergrond maakt het niet eenvoudig om een passende modelschematisatie te genereren. Daarvoor was de uitvoering van aanvullend grondonderzoek absolut noodzakelijk. De voortgang van de modellering is hierdoor enigszins vertraagd omdat meetresultaten van de geplaatste diepe peilbuizen moeten worden afgewacht voordat de kalibratie van het model verder kan worden afgemaakt.

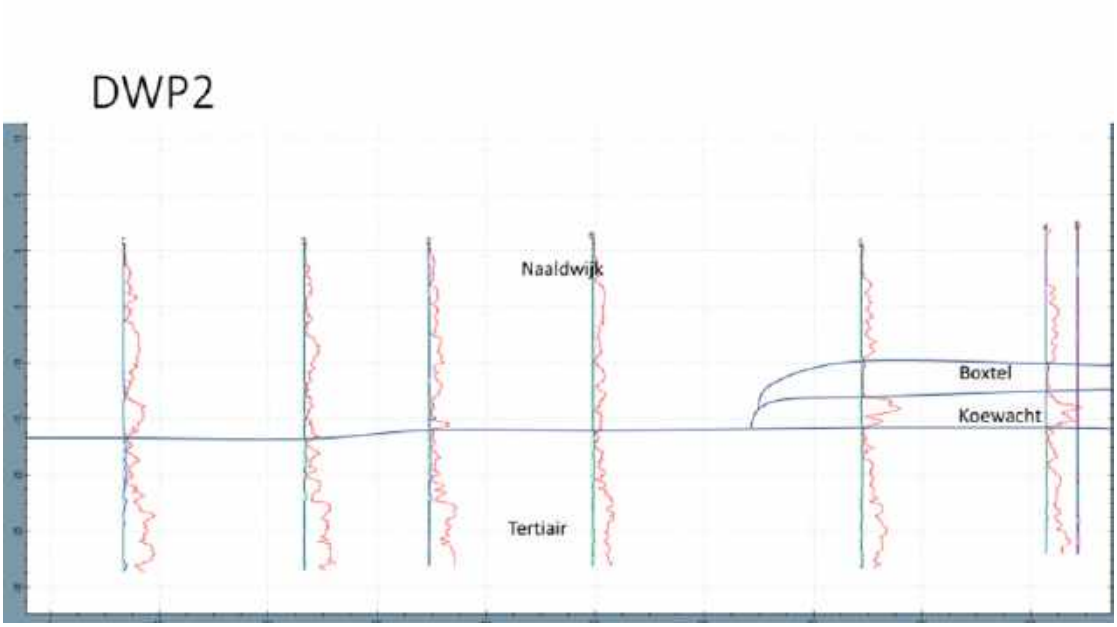
2.12 Verwachte vervolgacties ter verkrijging van goede onderzoekskwaliteit

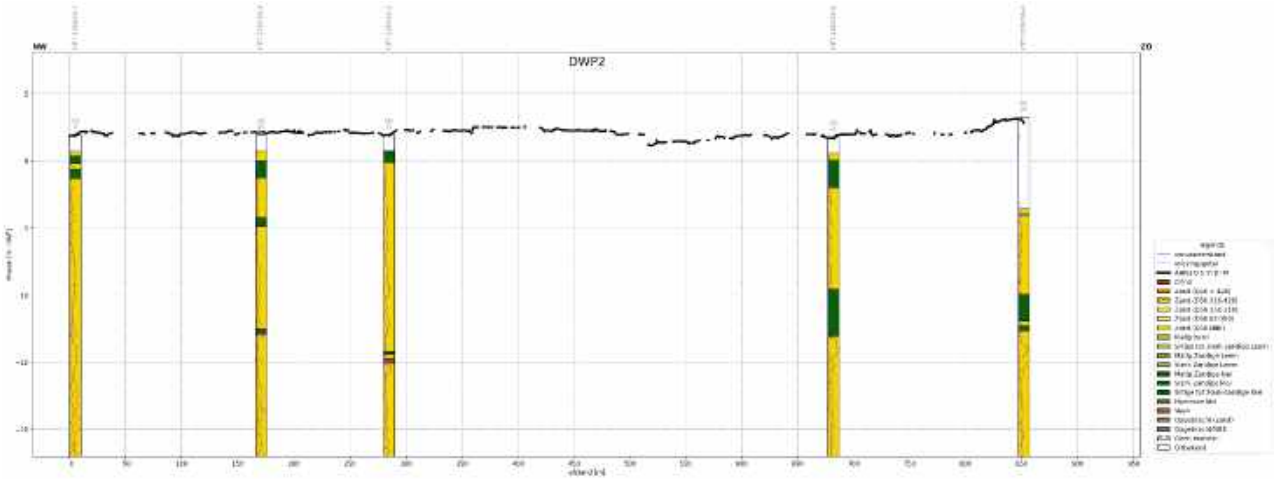
- Afwachten plaatsing peilbuizen en eerste monitoring grondwaterstanden
- Kalibratie model
- Beoordeling eerste resultaat kalibratie
- Afstemming vervolg onderzoek op bereikte nauwkeurigheid van model
- Indien noodzakelijk aanvullend grondonderzoek (pompproef, sub-bottom-profiler, aanvullende boringen)

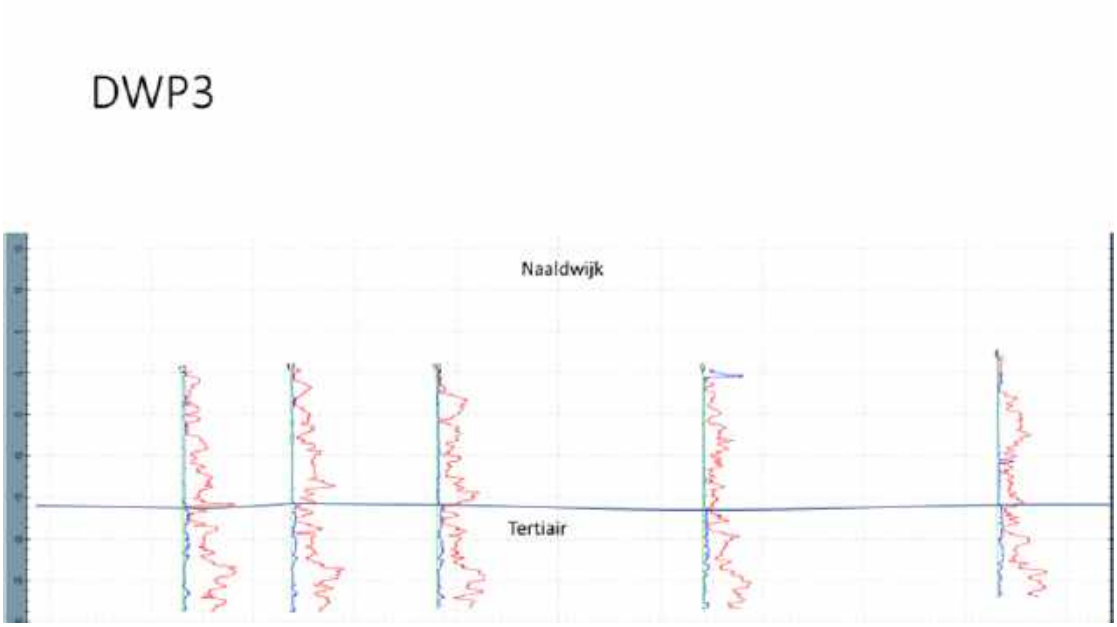
A Bijlagen met sonderingen in profielen

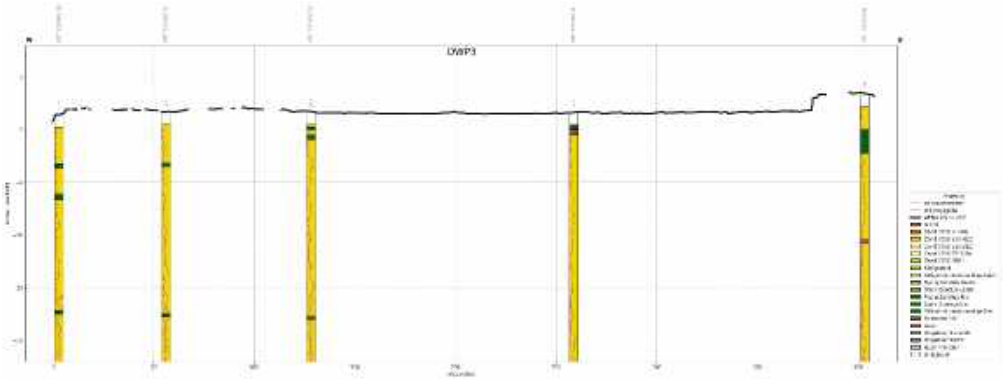

Z – N langs dijk (LP1)
Naaldwijk
Boxtel
Koewacht
Tertiair

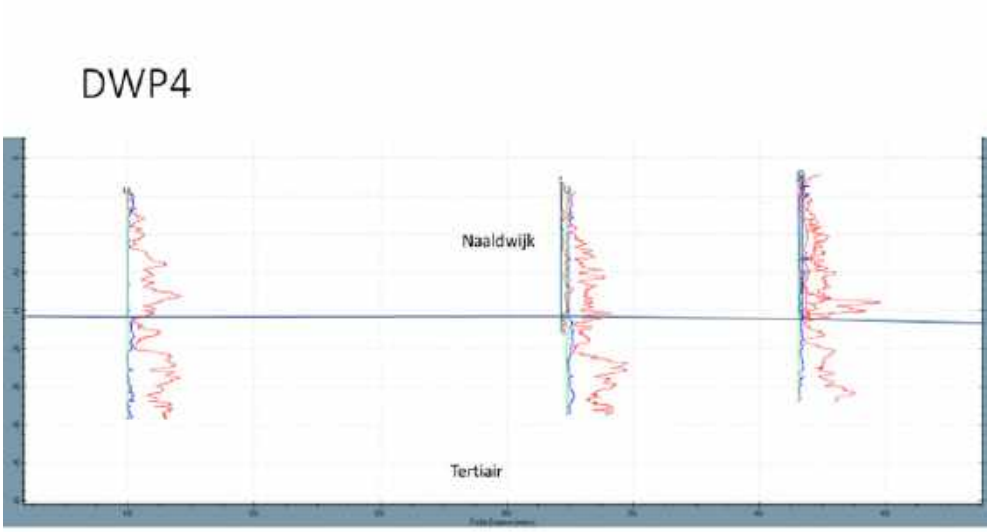

LP1

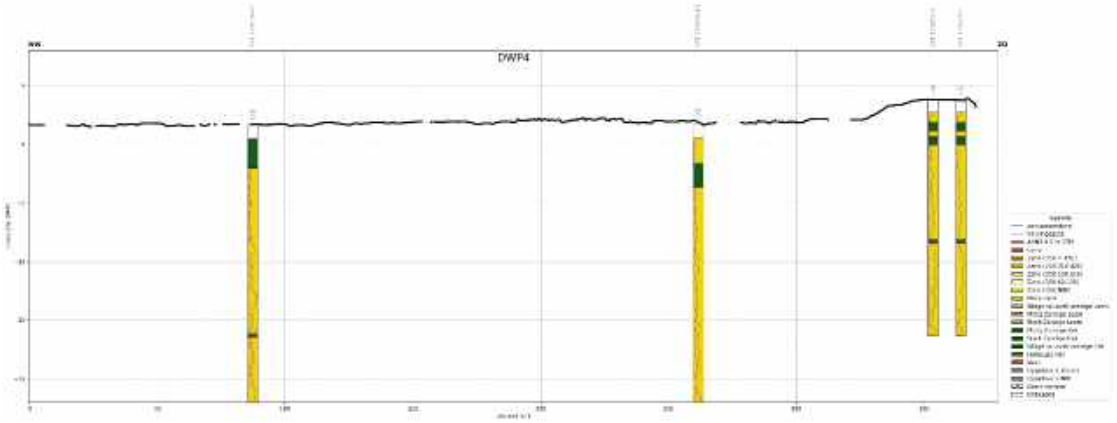

DWP2
Naaldwijk
Boxtel
Koewacht
Tertiair


DWP2


DWP3
Naaldwijk
Tertiair

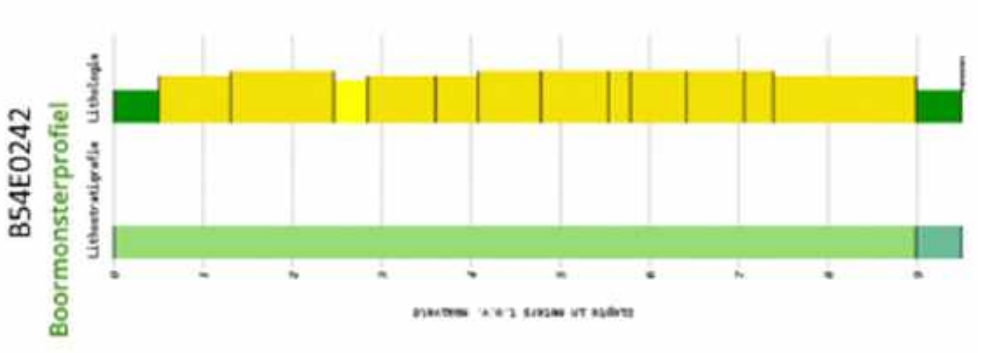

DWP3

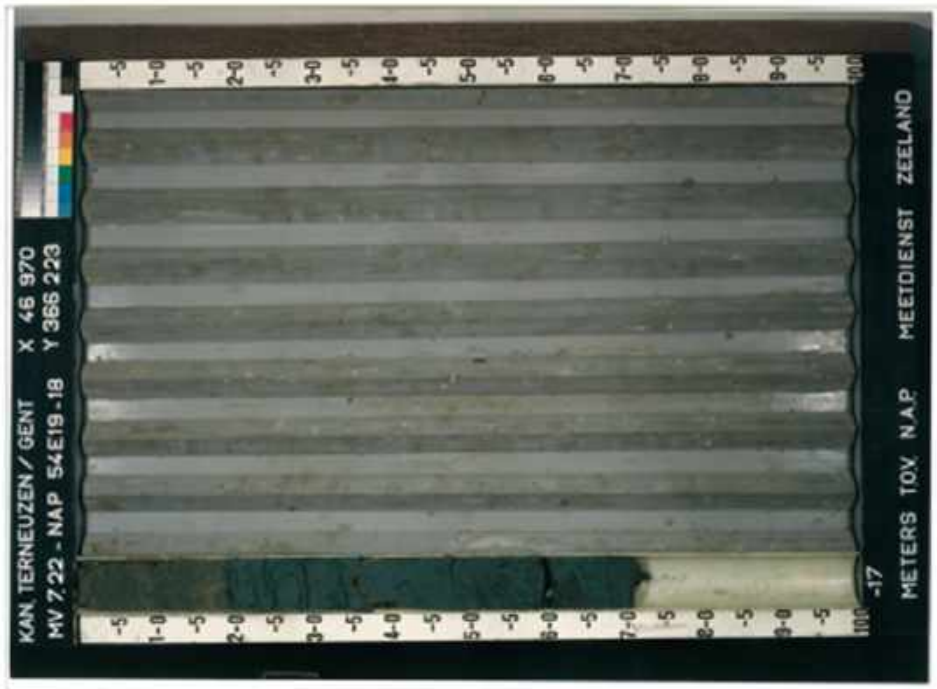

DWP4
Naaldwijk
Tertiair

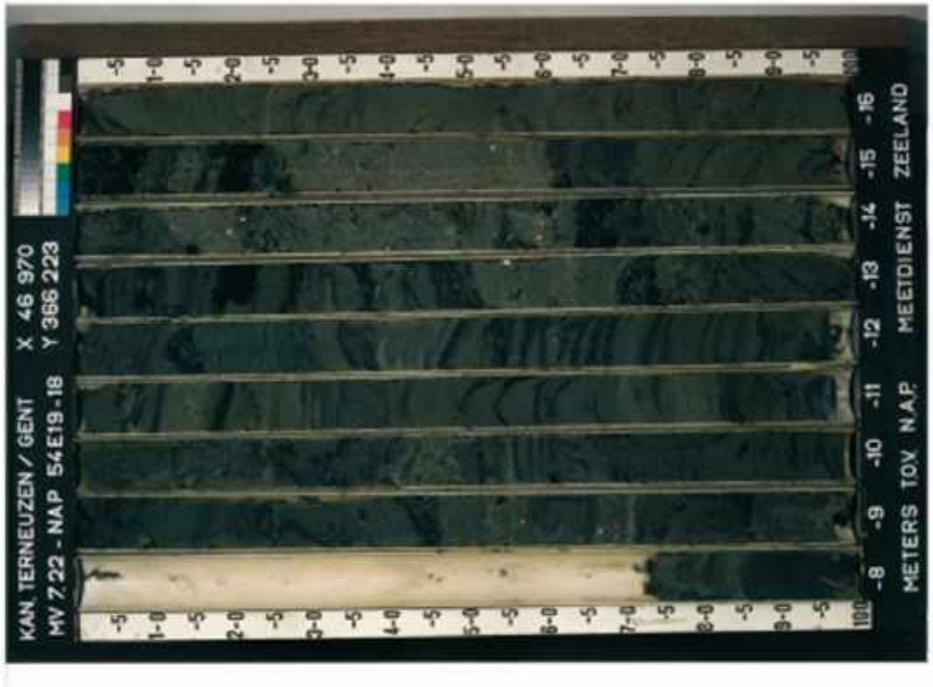

DWP4

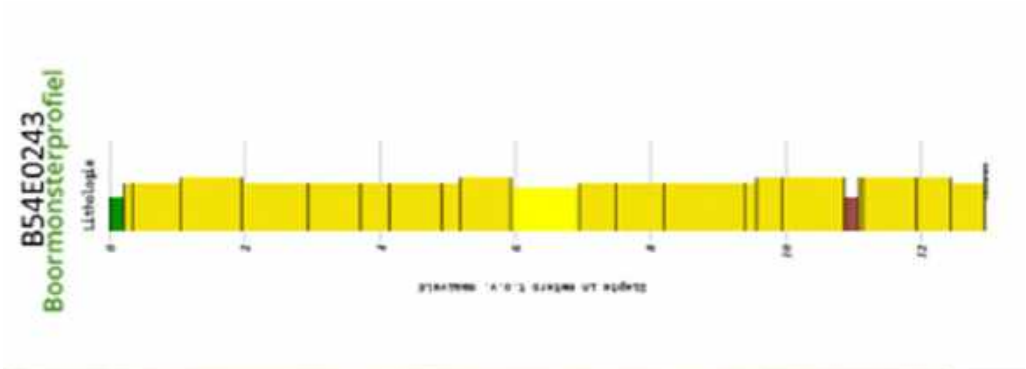
B Boorfoto’s van boringen in kanaal

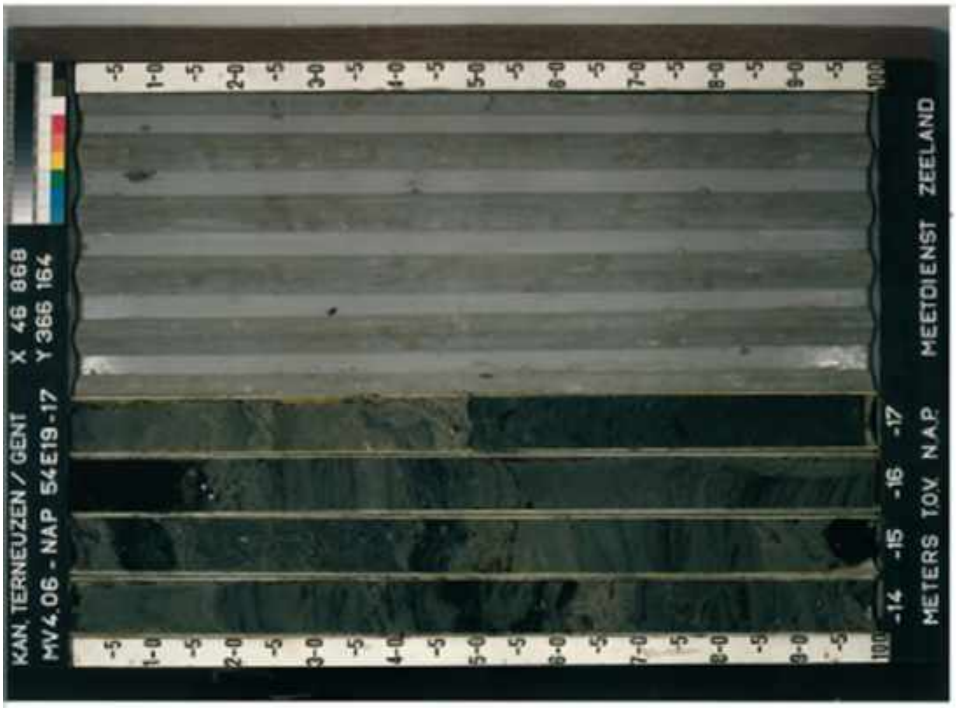


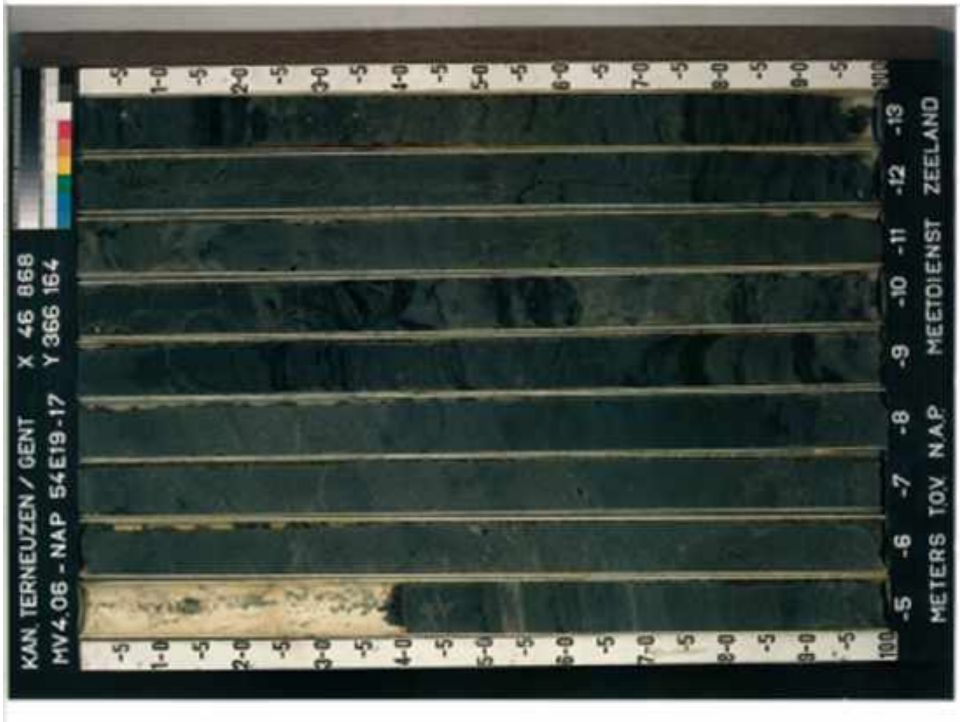

B54E0242
Boormonsterprofiel

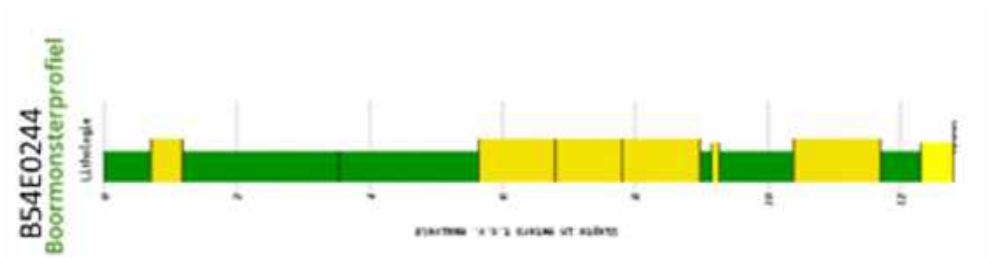

KAN. TERNEUZEN / GENT X 46 970
MV 7.22 - NAP 54E19-18 Y 366 223
METERS TOV N.A.P. MEETDIENST ZEELAND
-17

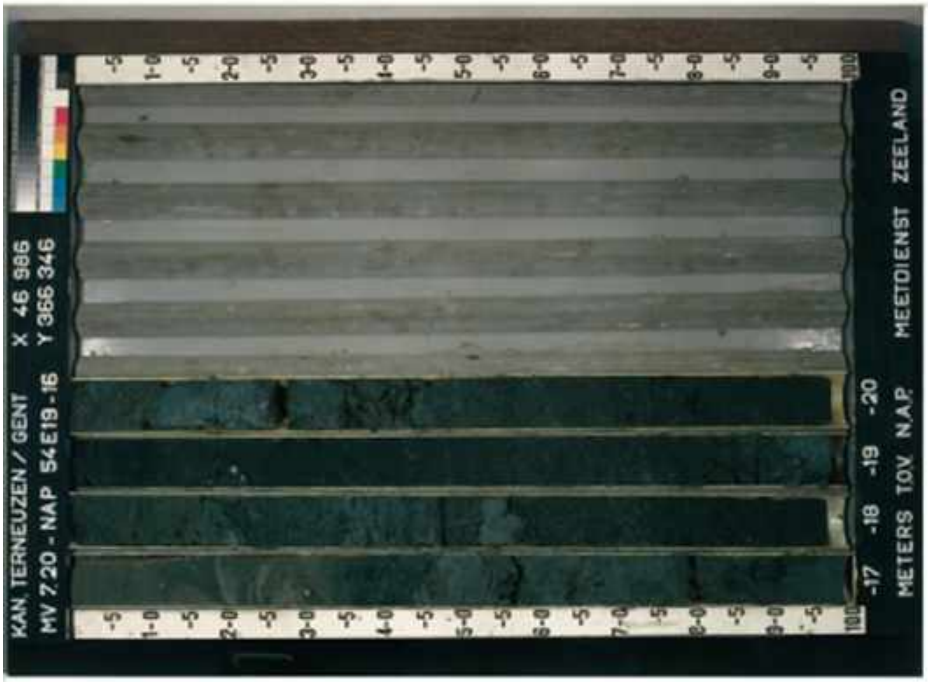

KAN. TERNEUZEN / GENT X 46 970
MV 7.22 - NAP 54E19-18 Y 366 223
METERS TOV N.A.P. MEETDIENST ZEELAND
-8 -9 -10 -11 -12 -13 -14 -15 -16


B54E0243
Boormonsterprofiel


KAN. TERNEUZEN / GENT X 46 868
MV4.06 - NAP 54E19-17 Y 366 164
METERS TOV N.A.P MEETDIENST ZEELAND


KAN. TERNEUZEN / GENT X 46 868
MV4.06 - NAP 54E19-17 Y 366 164
METERS TOV N.A.P MEETDIENST ZEELAND


B54E0244
Boormonsterprofiel


KAN. TERNEUZEN / GENT X 46 986
MV 7.20 - NAP 54E19 -16 Y 366 346
METERS TOV N.A.P. MEETDIENST ZEELAND


KAN. TERNEUZEN / GENT X 46 986
MV 7.20 - NAP 54E19 -16 Y 366 346
METERS TOV N.A.P. MEETDIENST ZEELAND