

WATERBEELDEN ARK-NZK REGIO

IN HET KADER VAN DE BOVENREGIONALE
STRESSTEST WATEROVERLAST



Waterbeelden ARK-NZK regio

In het kader van de bovenregionale stresstest wateroverlast

Datum: 23 juni 2025

Dit rapport is opgesteld door:

Elwin Leusink (Sweco), Harm Nomden (Sweco), Bram Schnitzler (HydroLogic), Anne Versleijen (HydroLogic)

In opdracht van: Provincie Noord-Holland, Provincie Utrecht en Provincie Zuid-Holland

Contactpersoon: Bas van de Pas (Provincie Noord-Holland)

Mede mogelijk gemaakt door:

Rijkswaterstaat, hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier, waterschap Amstel Gooi en Vecht, hoogheemraadschap De Stichtse Rijnlanden, hoogheemraadschap van Rijnland, gemeente Amsterdam, gemeente Utrecht en gemeente De Ronde Venen



Inhoudsopgave

BEGRIPPENLIJST	4	4. CONCLUSIES	26
SAMENVATTING	5	4.1 Conclusies	27
1. INLEIDING	7	4.2 Aandachtspunten	27
1.1 Aanleiding	8	4.2.1 Kwaliteit waterbeelden	27
1.2 Bovenregionale stresstest wateroverlast	8	4.2.2 Uitgangspunten die resultaten beïnvloeden	27
1.2.1 Boven-normatief	8	4.3 Aanbevelingen	28
1.2.2 Bovenregionaal	8	4.3.1 Communicatie	28
1.2.3 Grootschalige (sociale) ontwrichting	9	4.3.2 Gebruik resultaten voor een (boven)regionaal beeld	28
1.3 ARK-NZK regio	9	4.3.3 Samenwerking betrokken partijen - Een goede basis voor verdere bovenregionale modelstudies	29
1.4 Genereren waterbeelden ARK-NZK regio	10	REFERENTIES	30
1.5 Verhaallijnen en scenario's	11	BIJLAGE A - OPZET MODELLERING WATERSYSTEMEN	33
1.6 Resultaten van deze opdracht	11	A.1 Algemene uitgangspunten modellering	33
1.7 Leeswijzer	12	A.2 Modellering hoofdwatersysteem en buitenwateren	34
2. SYSTEEMBESCHRIJVING	13	A.2.1 Modellering ARK-NZK	34
2.1 Hoofdwatersysteem en buitenwateren	14	A.2.2 Modellering buitenwateren en overige delen hoofdwatersysteem	34
2.1.1 Het ARK-NZK	14	A.3 Modellering beheergebieden waterschappen	34
2.1.2 Spui- en gemaalcomplex IJmuiden	14	A.3.1 Hoogheemraadschap de Stichtse Rijnlanden	34
2.1.3 Buitenwateren en overige hoofdwatersystemen	14	A.3.2 Waterschap Amstel, Gooi en Vecht (AGV)	35
2.2 Beheergebieden waterschappen	14	A.3.3 Hoogheemraadschap van Rijnland (HHR)	35
2.2.1 Hoogheemraadschap De Stichtse Rijnlanden (HDSR)	14	A.3.4 Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier (HHNK)	35
2.2.2 Waterschap Amstel, Gooi en Vecht (AGV)	15	A.4 Modellering stedelijk gebied Amsterdam	35
2.2.3 Hoogheemraadschap van Rijnland (HHR)	15	A.5 Modellentrein biedt kansen voor vervolgstudies	35
2.2.4 Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier (HHNK)	16	BIJLAGE B - RESULTATEN MODELLERING	37
3. WATERBEELDEN	17	B.1 Het ARK-NZK	37
3.1 Analyse knikpunten watersysteem	18	B.2 Hoogheemraadschap De Stichtse Rijnlanden	42
3.1.1 Introductie	18	B.3 Waterschap Amstel Gooi en Vecht	50
3.1.2 Waterstand op het ARK-NZK en maalbeperkingen	18	B.4 Hoogheemraadschap van Rijnland	57
3.1.3 ARK-NZK regio	19	B.5 Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier	61
3.2 Invloed afvoercapaciteit spui- en gemaalcomplex IJmuiden	22	BIJLAGE C – STEDELIJKE MODELLERING	67
3.2.1 Introductie	22	C.1 Aanleiding	67
3.2.2 Waterstanden op het ARK-NZK en maalbeperkingen	22	C.2 Methode	67
3.2.3 ARK-NZK regio	22	C.3 Resultaten	67
3.3 Invloed op stedelijk gebied	25	C.4 Discussie	68
3.3.1 Introductie	25	C.5 Conclusie	68
3.3.2 Kwetsbaar stedelijk gebied	25	BIJLAGE D – VOORBEELDANALYSE GEVOLGEN - ELECTRICITEITSVOORZIENINGEN	70
3.3.3 Invloed op stedelijk gebied: nadere analyse	25		

Begrippenlijst

Bovenregionaal: (werk)regio-overstijgend. Zie ook regio-indeling voor de hier gebruikte bovenregionale indeling van Nederland op basis van stroomgebiedsgrenzen.

Watersysteem: het waterhuishoudkundig stelsel bestaande uit watergangen, sloten, stuwen, duikers, gemalen (pompen), riolen, bergingsgebieden en waterkeringen.

Hoofdwatersysteem: Voor deze regio de volgende RWS-wateren: het ARK-NZK, IJsselmeer en Markermeer (met IJmeer en randmeren) en de rivieren Lek en Hollandse IJssel. Ook de buitenwateren (Noordzee, Waddenzee) kunnen hieronder vallen.

Boezem: Het boezemsysteem is een aan- en afvoersysteem van water. In natte tijden malen de poldergemalen het water van de polder naar de boezem en malen boezemgemalen het naar het buitenwater of hoofdwatersysteem.

Gebeurtenis: situatie/scenario waarvoor wateroverlast beschouwd wordt.

Wateroverlast: overlast door extreme neerslag en/of dijkdoorbraken in zowel stedelijke als landelijke omgeving. Wateroverlast kan worden uitgedrukt in:

- Waterdiepte in het gebied
- Duur: de tijd dat de wateroverlast aanhoudt
- Omvang van het wateroverlast gebied

Waterbeeld: Kaartbeeld van de wateroverlast. Hier specifiek beelden van de maximale inundatiediepte, overlast duur en maalstopduur.

Knelpunt: Locatie in het watersysteem waar een probleem ontstaat of waar de afvoer van water beperkt wordt, waardoor er op een andere locatie een probleem ontstaat.

Maalbeperking (ook wel afvoerbeperking): Is een opgelegde beperking voor het malen middels gemalen van het ene watersysteem naar het andere. Gedurende een bepaalde periode mag een maximale hoeveelheid afgevoerd worden vanuit polder naar boezem of van boezem naar hoofdwatersysteem of zelfs naar buitenwater.

Maalstop: Extreme variant van de afvoerbeperking, waarbij er gedurende een periode helemaal niet meer gemalen mag worden met een gemaal.

Maalstopduur: Lengte van de periode waarop er sprake is van maalbeperking of maalstop. Duur maalbeperking wordt vertaald naar de duur van een volledige maalstop.

Uitvalhoogte (ook wel kritieke uitvalhoogte): waterdiepte waarbij een object uitvalt.

Gevolg: de wateroverlast (waterdiepte en/of duur), of hieruit volgende consequenties, als gevolg van een gebeurtenis.

Risico: kans maal gevolg.

Vitale objecten/funcities/netwerken: functies die de ruggengraat van de samenleving vormen. Uitval van deze functies kan leiden tot maatschappelijke ontwrichting en grote schade. Afhankelijk van het object/de functie kan het functioneren van een object van belang zijn op lokaal, regionaal en (inter) nationale schaal.

Keteneffecten of cascade effecten: gevolg van het (niet) functioneren van een (vitale) functie op een andere (vitale) functie.

Redundantie: er is sprake van redundantie als een object uitvalt, maar de functie niet. Voorbeeld: ringstructuur van elektriciteitsnetwerken.

Crisisbeheersingsmaatregelen (of noodmaatregelen): beperken van gevolgen door rampenbestrijding (inzet van mensen en middelen).
Directe schade: materiële en immateriële schade door wateroverlast. Bijvoorbeeld de schade aan de apparatuur van een winkel, maar ook het verlies van inkomsten.
Indirecte schade: schade door bedrijfsonderbreking.

Meerlaagsveiligheid (MLV): benadering voor wateroverlast en overstromingen, redenerend in lagen om ontwrichting te voorkomen.

- Laag 0: Waterbewustzijn: bewustzijn bij iedereen dat niet alle gevolgen voorkomen kunnen worden.
- Laag 1: Preventie: kans op een overstroming of wateroverlast situatie verkleinen, bijvoorbeeld door aanleg of versterken van dijken.
- Laag 2: Gevolgenbeperking: minimaliseren van gevolgen, bijvoorbeeld door een duurzame ruimtelijke inrichting.
- Laag 3: Crisisbeheersing: betere (organisatorische) voorbereiding op een overstroming of wateroverlastsituatie.
- Laag 4: Herstel: ontwrichting wordt beperkt door na schadelijke gevolgen snel te kunnen herstellen.

Samenvatting

Inleiding

In juli 2021 werden Zuid-Limburg en aangrenzende delen van Duitsland en België getroffen door extreme wateroverlast en overstromingen. De impact was groot: de overstromingen eisten meerdere slachtoffers en veroorzaakten aanzienlijke schade. De oorzaak was langdurige, hevige neerslag in een gebied groter dan de helft van Nederland. In het centrum van de bui viel in 48 uur circa 200mm neerslag.

Deze gebeurtenis onderstreepte de noodzaak om een beter inzicht te krijgen in de mogelijke gevolgen van neerslag op deze bovenregionale schaal. Naar aanleiding hiervan heeft de Beleidstafel Wateroverlast en Hoogwater geadviseerd om na te gaan wat de impact is van een dergelijke neerslaggebeurtenis in andere delen van Nederland (Min I&W, 2022). Vervolgens is in 2023 landelijk gewerkt aan de methode en de handreiking om bovenregionale stresstesten wateroverlast vorm te geven die per regio worden uitgevoerd om een eerste landelijk beeld te vormen (De Bruijn & Maas, 2023; De Vries et al., 2024).

Deze opdracht is onderdeel van de bovenregionale stresstest wateroverlast voor één van de dertien regio's, namelijk de ARK-NZK regio. De ARK-NZK regio omvat de beheergebieden van waterschap Amstel, Gooi en Vecht (AGV), het Hoogheemraadschap De Stichtse Rijnlanden (HDSR), Hoogheemraadschap van Rijnland (HHR) en Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier (HHNK) inclusief het hoofdwatersysteem ARK-NZK dat door Rijkswaterstaat wordt beheerd.

Doel van deze opdracht is het generen van de waterbeelden: de maximale inundatiediepte, de duur van wateroverlast, waterstanden en afvoeren op belangrijke locaties. Dit als input voor de vervolgfase waarin de gevolgen, respons en herstel worden bepaald en samen als input dienen voor de risicodialoog. De bovenregionale stresstest gaat uit in de basis uit van een bovennormatief buivolume van 200mm dat in 48 uur over de complete regio valt. Vanuit het basisscenario zijn een zestal scenario's opgesteld, die als basis dienen voor de narratieven/verhaallijnen die hieronder zijn uitgewerkt.

De zes scenario's zijn doorgerekend door de vier waterschappen met de meest actuele modellen die hun gehele beheergebied bedekken. De interactie met het hoofdsysteem ARK-NZK en de afvoer via het spui- en gemaalcomplex IJmuiden zijn berekend middels een apart systeemmodel. Dit systeemmodel berekent ook of er maalbeperkingen of maalstops opgelegd moeten worden aan de waterschappen om overbelasting van het ARK-NZK te voorkomen. Samen genereren deze modellen een totaalbeeld van de complete ARK-NZK regio.

Analyse knippunten watersysteem

In deze stresstest zijn drie neerslagsscenario's doorgerekend: 150 mm, 200 mm en 300 mm in 48 uur. Uit de modellering blijkt dat bij 150 mm al maaiveld begint te inunderen, wat betekent dat het oppervlaktewater en de bodem dan al niet alles kan bergen. Bij 200 en 300mm leidt die extra hoeveelheid neerslag tot een (erg) grote toename van het geïnundeerde oppervlak.

Deze hoge waterstanden houden lang aan: na een bui van 150 mm duurt het gemiddeld 4 tot 5 dagen voordat het waterpeil in de polders weer het streefpeil bereikt, 9 tot 11 dagen na een bui van 200 mm en 16 tot 18 dagen na een bui van 300 mm. Gekeken naar maalbeperkingen voor de poldergemalen zijn er duidelijke verschillen per deelgebied. Waar deze maalbeperkingen bij 150mm nog beperkt zijn, worden deze bij de buien met 200mm en 300mm veel groter, en duren deze langer. De mate van maalbeperking en duur van maalbeperking per poldergemaal verschilt flink per deelsysteem afhankelijk van of de polders direct verbonden zijn met het ARK-NZK of via een boezem en of er afgevoerd kan worden via andere routes:

- Het boezemsysteem van de Oude Rijn kan bijna niet afvoeren naar de boezem van Rijnland als daar de waterstand verhoogd is. De polders van de Oude Rijn krijgen hierdoor direct te maken met flinke maalbeperkingen. Zeker bij de nog extremere buien.
- De afvoer van de Lopikerwaard via de Gekanaliseerde Hollandsche IJssel en de Waaiersluis is beperkt waardoor ook hier maalbeperkingen gaan gelden.
- Polders die direct malen richting het ARK-NZK (of indirect via de Leidsche Rijn of de Vecht) krijgen te maken met de maalbeperkingen door overbelasting van het hoofdsysteem.
- Vanwege de verhoogde waterstanden op het ARK-NZK worden het IJ-front en het ARK-front gesloten. Hierdoor kan de Amstelboezem maar beperkt afvoeren via gemaal Zeeburg. Maalbeperkingen worden verdeeld over de polders op basis van prioritering.
- Binnen de Schermerboezem krijgt een selectie van 10-15% polders bij 200mm een maalbeperking opgelegd. Bij 300mm geldt deze voor alle polders binnen de Schermerboezem. De duur van de maalbeperkingen blijft nog enigszins beperkt, mede doordat afvoer naar het Markermeer en de Waddenzee nog wel mogelijk is.
- Bij de buien met 200mm en 300mm in 48 uur krijgen alle polders binnen Rijnland te maken met maalbeperkingen, nog wel beperkt omdat afvoer naar de Noordzee via gemaal Katwijk en naar de Hollandsche IJssel via gemaal Gouda wel mogelijk is.

Analyse invloed spui- en gemaalcomplex IJmuiden

In deze stresstest is middels drie scenario's ook gekeken naar de invloed van het spui- en gemalencomplex IJmuiden door te bepalen hoe de complete regio reageert op 1) lagere buitenwaterstanden, 2) uitval van het gemaalcomplex en 3) uitbreiding van het gemaalcomplex.

De maximale inundatiediepte wordt slechts in beperkte mate beïnvloed door deze scenario's in vergelijking met het basisscenario. De maximale inundatiediepte is afhankelijk van de gebeurtenissen tijdens de bui en in die 48 uur wordt maar een beperkte hoeveelheid water vanuit de polders weggemalen, het grootste deel gebeurt daarna. Wel is er een duidelijke invloed op de inundatieduur die nodig is om terug te keren naar het streefpeil, hoewel dit erg varieert tussen de waterschappen en ook erg varieert binnen ieder beheergebied:

- Lagere buitenwaterstanden zorgen ervoor dat er beter gespuid kan worden. Echter kunnen de oude pompen binnen het gemaalcomplex IJmuiden alleen omhoog malen (alleen als de zeewaterstand hoger is dan op het kanaal), waardoor deze minder lang kunnen malen. *Er kan hier geen duidelijke conclusie getrokken worden, mede omdat er sprake is van voortschrijdend inzicht en er momenteel nieuwe studies uitgevoerd worden, specifiek over de afvoercapaciteit van het spuicomplex.*
- Bij uitval van het gemaalcomplex IJmuiden moeten alle gemalen die afvoeren richting het ARK-NZK direct stoppen, om verdere stijging van het waterpeil op het hoofdwatersysteem te voorkomen. Gebieden die alleen afvoeren richting het ARK-NZK worden hierdoor hard geraakt want die kunnen de gehele duur van de uitval niet malen. De impact op de Schermerboezem (HHNK) en de Rijnlandse boezem valt relatief mee omdat die niet alleen via het ARK-NZK afvoeren, maar voor een groot deel direct op de Noordzee, de Hollandsche IJssel of het Markermeer.
- Substantiële uitbreiding van het gemaalcomplex IJmuiden van 260 m³/s naar 550 m³/s zorgt er bij het scenario met 200mm in 48uur voor dat er geen maalbeperkingen meer nodig zijn richting het ARK-NZK. Het waterpeil op het ARK-NZK blijft zo laag dat het niet nodig is de fronten bij Amsterdam en de Amstelboezem te sluiten, dus kan de Amstelboezem vrij blijven afvoeren. Vooral de polders binnen de Amstelboezem, langs de Vecht en bij de Leidsche Rijn krijgen veel minder maalbeperkingen en kunnen hierdoor sneller al het water afvoeren (dit scheelt 3-5 dagen aan maalbeperkingen). Ook de Schermerboezem en de Rijnlandse boezem profiteren mee, maar daar scheelt het bij dit scenario maar uren.

Analyse invloed op stedelijk gebied

Binnen de ARK-NZK-regio bevindt zich veel stedelijk gebied en wonen er miljoenen mensen. Binnen deze stresstest is verkend wat de gevolgen kunnen zijn van langdurige neerslag voor bebouwd gebied. Door de stijgende waterstanden ontstaan risico's voor laaggelegen bebouwing waar straten kunnen onder lopen en water zelfs tegen de huizen kan staan, maar ook kan het functioneren van het rioolstelsel problemen ondervinden. Overstorten kunnen namelijk 'verdrinken' doordat het oppervlaktewater te veel stijgt en het water op de laagste punten van het riool weer omhoog kan komen.

In tegenstelling tot de korte hevige buien in de stedelijke stresstesten waar het water hooguit enkele uren op straat blijft staan, kunnen deze extreme bovenregionale buien resulteren in wateroverlast die dagen of zelfs weken aanhoudt.

Met de waterbeelden gegenereerd in dit project is al goed te zien welke laaggelegen stedelijk gebieden te maken kunnen krijgen met wateroverlast bij deze bovenregionale neerslaggebeurtenissen. Het vermoeden is dat er meer stedelijk gebieden kwetsbaar zijn. Voor een deelgebied in de gemeente Amsterdam, de Watergraafsmeerpolder, is dit in kaart gebracht door middel van geïntegreerd modelleren van stedelijk water (riolering+maaiveld) en het oppervlaktewatersysteem. Dit laat zien dat de hoge waterstanden in het oppervlaktewater ook kunnen resulteren in problemen binnen het rioolstelsel en dat daarmee nieuwe locaties ook met wateroverlast te maken krijgen.

De voornaamste conclusie is dat hele andere locaties naar voren komen dan uit de andere (stedelijke) stresstesten voor wateroverlast. Integrale modellering helpt hierbij om het functioneren van het rioolstelsel in beeld te brengen en daarmee ook meer overlastlocaties. Het blijkt goed mogelijk te zijn om de resultaten van de bovenregionale stresstest te gebruiken voor een gedetailleerdere studie voor een stedelijk gebied.

Concluderend

Het is goed om te benadrukken dat het voor deze regio de eerste keer is dat extreme neerslaggebeurtenissen en met dit detailniveau volledig zijn doorgerekend. Hierbij is gebruik gemaakt van de meest actuele modellen van ieder deelsysteem, welke in bijna alle gevallen specifiek voor dit project nog verbeterd om een nog beter regiobreed beeld te genereren. Voor het eerst is hiermee het complete systeem doorgerekend, waarbij ook de interacties tussen de deelsystemen onderling en tussen de deelsystemen en het hoofdwatersysteem zijn meegenomen. De maalbeperkingen richting het ARK-NZK zijn hierbij iteratief bepaald, terwijl de waterschappen zelf verantwoordelijk bleven voor het doorrekenen van hun eigen beheergebied.

De resultaten brengen de gevolgen van de bovenregionale neerslaggebeurtenissen in beeld: grootschalige tot zelfs extreme inundaties buiten het oppervlaktewatersysteem en een overbelast hoofdwatersysteem waardoor maalbeperkingen richting het ARK-NZK opgelegd moeten worden. Dus terwijl men maximaal wil afvoeren, kan dit niet en moeten er keuzes gemaakt worden over welke polders voorrang (kunnen) krijgen. Aangezien overbelasting van het hoofdwatersysteem in de praktijk nog niet is voorgekomen, levert dit vele waardevolle inzichten op over de knelpunten, de afvoercapaciteiten van het hoofdwatersysteem en de deelsystemen, vereiste maalbeperkingen en de consequenties voor resulterende inundaties en (extreme) waterstanden.

De waterbeelden samen met de informatie uit dit rapport kunnen gebruikt worden in vervolgstudies naar gevolgen en herstel en uiteindelijk de risicodialoog. De resultaten zijn vooral bruikbaar op (boven) regionaal schaalniveau. Voor lokale toepassingen, bijvoorbeeld op straat- of gebouwniveau, is verdere uitwerking of detailanalyse nodig en het is altijd belangrijk om waterbeheerders met uitgebreidere gebiedskennis erbij te betrekken voor interpretatie van de beelden.

De analyses rondom de afvoercapaciteit van het spui- en gemaalcomplex IJmuiden laten vooral zien dat dit complex een sleutelrol vervult voor het gehele watersysteem. Aanpassingen hier of uitval of veranderende condities die de afvoercapaciteit beperken of vergroten hebben direct invloed op een groot deel van de regio. Anno 2025 lopen er diverse studies naar de benodigde afvoercapaciteit voor de vernieuwing en renovatie van het spui- en gemaalcomplex IJmuiden.

Naast modellen en data is ook veel (gebieds)kennis gebruikt om deze modellering op te zetten. De uitgangspunten vormen de basis voor de representatieve scenario's en bijbehorende resultaten en zijn door de betrokken partijen samen opgesteld op basis van de actuele kennis. Op basis daarvan is een aanzet gedaan voor verdere verkenningen.

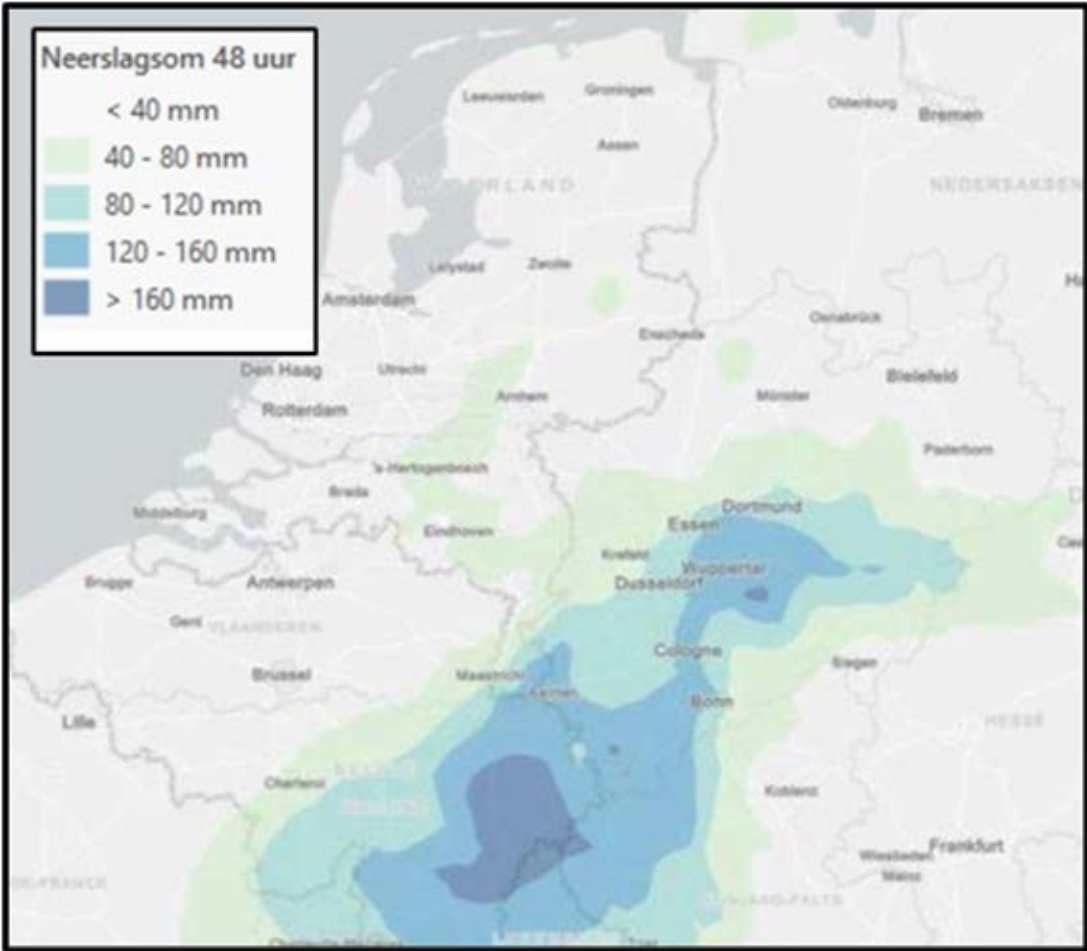
1. INLEIDING

1.1 Aanleiding

In juli 2021 werden Zuid-Limburg en omliggende gebieden in Duitsland en België getroffen door extreme wateroverlast en overstromingen, met slachtoffers en veel schade tot gevolg. De oorzaak hiervan was aanhoudende hevige neerslag in een erg groot gebied. In het centrum van de bui viel 200 mm aan neerslag in 48 uur, terwijl het totale gebied waar meer dan 80 mm neerslag veel groter is dan de helft van Nederland. De kans van voorkomen van dit type gebeurtenis is ingeschat op één keer in de 300 tot 1000 jaar.

De Beleidstafel Wateroverlast en Hoogwater heeft eind 2022 in haar eindrapportage geadviseerd om na te gaan wat de impact is als een dergelijke neerslaggebeurtenis in Nederland zou plaatsvinden (Min I&W, 2022). Vervolgens is in 2023 landelijk gewerkt aan een methode en een handreiking voor het vormgeven van het proces van bovenregionale stresstesten wateroverlast die per regio worden uitgevoerd om samen een eerste landelijk beeld te vormen (De Bruijn & Maas, 2023; De Vries et al., 2024).

Deze opdracht voor het genereren van de waterbeelden is onderdeel van de bovenregionale stresstest wateroverlast voor één van de dertien regio's, namelijk de ARK-NZK regio.



Buivolume 13-15 juli 2021 afgeleid uit rapport Deltares (De Bruijn et al, 2022)

1.2 Bovenregionale stresstest wateroverlast

Het doel van de bovenregionale stresstesten wateroverlast is om mogelijke ontwrichtingen in beeld te brengen bij neerslaggebeurtenissen zoals in Limburg, België en Duitsland in juli 2021, de gevolgen te bespreken en na te gaan welke maatregelen er nodig zijn om deze ontwrichting te beperken in de toekomst.

De bovenregionale stresstest wateroverlast is dan ook direct gebaseerd op die bovenregionale bui in juli 2021. Het buivolume was hoger dan die waarop de watersystemen in Nederland ontworpen zijn en het gebied dat werd getroffen door de bui was net zo groot als de helft van Nederland.

De positie van de bovenregionale stresstest ten opzichte van de bestaande normering en andere stresstesten is weergegeven in onderstaande figuur.

1.2.1 Boven-normatief

Gemeenten, provincies en waterschappen voeren meer stresstesten uit voor wateroverlast waarbij gerekend wordt met boven-normatieve buivolumes. Dit om te bepalen waar het mis gaat als het systeem overbelast wordt en te kijken welke mogelijkheden er zijn voor gevolgenbeperking. Tot nu toe werd binnen de DPRA stresstesten voor wateroverlast alleen gekeken naar de stedelijke riolering en maaiveld en het stedelijk oppervlaktewatersysteem en het regionale watersysteem.

Conform de handreiking voor de bovenregionale stresstest wateroverlast wordt gerekend met een buivolume van 200 mm in 48 uur over een groot gebied, waarbij de neerslaggebeurtenis een geschatte herhalingsjijd heeft van 300-1000 jaar. Ondanks dat de neerslagintensiteit laag is, zijn zowel het buivolume als de herhalingsjijd hoger dan die gebruikt worden in de normering voor het ontwerp van zowel het stedelijke als regionale watersysteem.

Bij de bovenregionale stresstest wordt het complete watersysteem boven-normatief belast, waarbij de bergingscapaciteit van het totale watersysteem niet voldoende zal zijn. Omdat de neerslagintensiteit van maximaal 15 mm per uur, is afstroming niet het probleem. Waar het water zich verzamelt zal de waterstand echter stijgen tot niveaus waar in ontwerpen niet rekening mee is gehouden resulterend in mogelijk wateroverlast.

1.2.2 Bovenregionaal

De neerslaggebeurtenis van juli 2021 in Limburg, Duitsland en België trof een erg groot gebied bijna ter grootte van de helft van Nederland. Dat is een verschil met de lokale of regionale buien waar wordt gekeken wat het lokale of regionale watersysteem aan kan en waar problemen ontstaan.

De bovenregionale stresstest gaat ervanuit dat het buivolume van 200 mm in 48 uur op homogene wijze verdeeld wordt over de gehele regio en daarbuiten. Een bui op een dergelijk grote schaal resulteert in wateroverlast op veel plekken tegelijk. Daarbij komt dat alle deelstroomgebieden en polder-boezemsystemen maximaal willen afvoeren, waardoor het hoofdwatersysteem overbelast kan raken. Als de afvoer naar het hoofdwatersysteem beperkt wordt houdt de wateroverlast langere tijd aan.



Beschikbare neerslaginformatie: (boven)normatief en ruimtelijke schaal (Stowa - 2024)

1.2.3 Grootschalige (sociale) ontwricting

De combinatie van een boven-normatief buivolume en een bui op bovenregionale schaal betekent dat het watersysteem van de complete regio (en daarbuiten) overbelast wordt waarbij er lokaal op veel plekken wateroverlast kan ontstaan die langere tijd kan aanhouden.

Hogere waterstanden dan waarop het systeem ontworpen is, leiden tot schade of uitval van objecten en functies. Als dit vitale functies zijn, kan dit de nodige cascade-effecten hebben: inundatie van wegen of vollopen van onderdoorgangen leidt tot problemen met bereikbaarheid, uitval van elektriciteitsvoorzieningen op straat- of wijkniveau, uitval van poldergemalen zorgt voor nog langere wateroverlast voor de betreffende polders, riool-overstorten verdrinken als het oppervlaktewater te veel stijgt, uitval van rioolgemalen resulteert in ongecontroleerde overstorten en problemen met waterkwaliteit, etc.

Uitval op grote schaal zorgt daarnaast voor problemen met herstel: het duurt dagen of mogelijk weken tot het water weg is en herstel van die objecten kan tot maanden duren door gebrek aan experts, materiaal en/of materieel of door een niet (optimaal) functionerende crisisorganisatie.

Daarnaast kunnen er tijdens of na een dergelijke neerslaggebeurtenis extra calamiteiten ontstaan die de gehele ontwricting verergeren, de zogenoemde cascade-effecten. Voorbeelden zijn een bres in een kering als gevolg van langdurig hoge waterstanden, uitval van boezemgemalen of uitval van grotere elektrastations die grote gebieden of essentiële functies van elektriciteit voorzien.

Waar bestaande stresstesten zich vooral richten op lokale of regionale (water)systemen, wordt bij een

extreme bovenregionale neerslaggebeurtenis ook het hoofdwatersysteem overbelast met gevolgen voor de onderliggende systemen. Dit kan gevolgen hebben voor crisisbeheersing, ruimtelijke ordening en het ontwerp en inrichting van gebieden waar tot nu toe nog geen rekening wordt gehouden met wateroverlast.

Binnen de vervolgtrajecten (risicodialoog) kan bijvoorbeeld ook gekeken worden naar maatregelen om het hoofdwatersysteem (het ARK-NZK) beter op orde te brengen, zodat deze geen blokkade meer vormt voor afvoer vanuit de verschillende deelgebieden. De wateroverlast blijft hierdoor, maar de overlastduur kan hierdoor wel drastisch afnemen.

1.3 ARK-NZK regio

De ARK-NZK regio omvat de beheergebieden van waterschap Amstel, Gooi en Vecht (AGV), het Hoogheemraadschap De Stichtse Rijnlanden (HDSR), het Hoogheemraadschap van Rijnland (HHR) en het Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier (HHNK) inclusief het hoofdwatersysteem ARK-NZK.

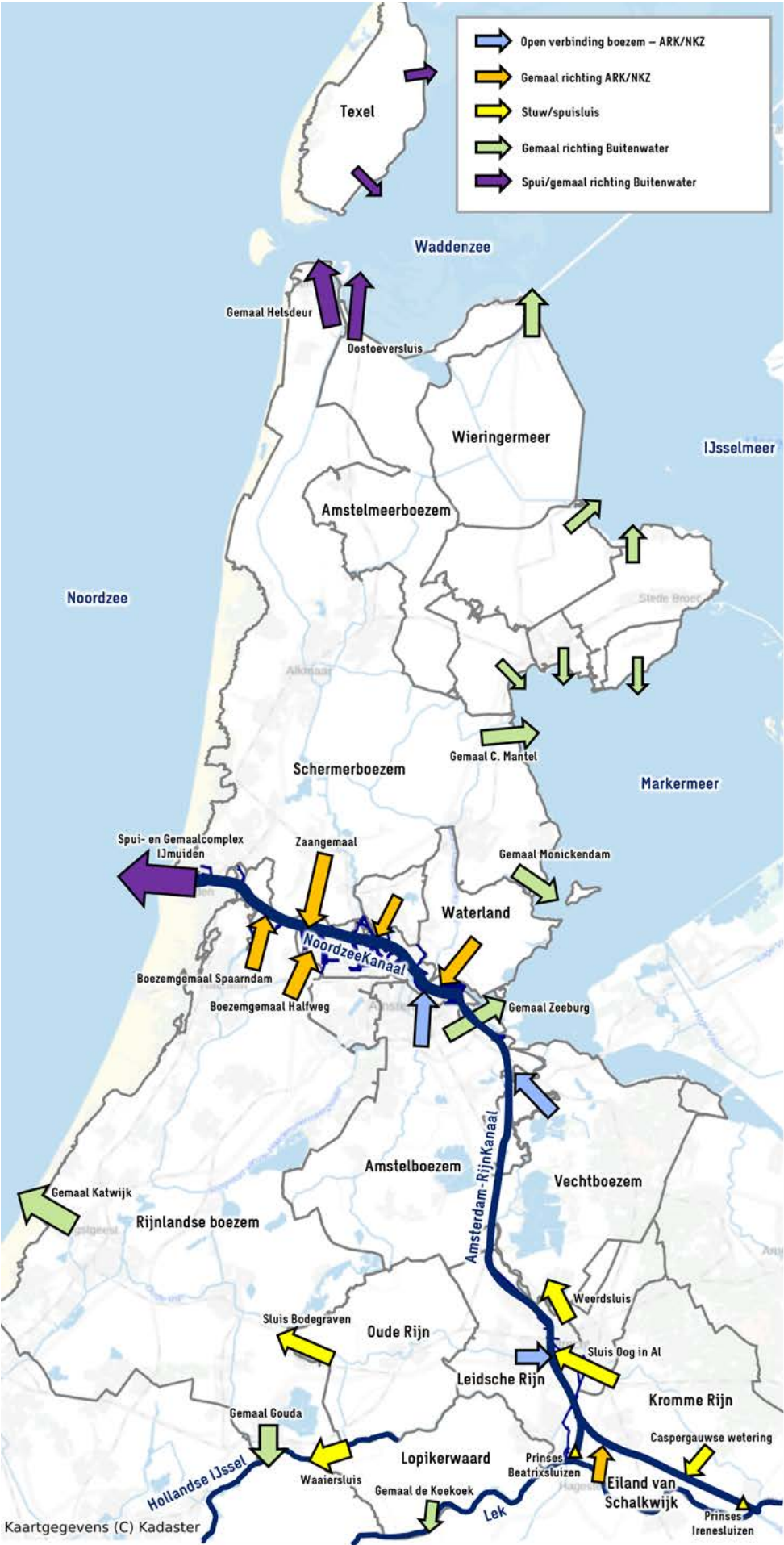
De ARK-NZK regio bestaat uit meerdere stroomgebieden en polder-boezemsystemen. Een groot deel van de regio voert af richting het ARK-NZK, waarbij het water via gemaal- en spuicomplex IJmuiden wordt afgevoerd naar de Noordzee. Daarnaast voeren de vier waterschappen ook water af naar de rivier de Lek, de Hollandse IJssel, de Noordzee, de Waddenzee, het IJsselmeer en het Markermeer.

Een deel van de Utrechtse Heuvelrug en het gebied van de Kromme Rijn samen met enkele kleinere gebieden binnen de regio wateren onder vrij verval af richting het ARK-NZK. In deze hogere gronden kan veel infiltreren, maar bij een hevige bui zal een deel snel afstromen naar het hoofdwatersysteem of de boezems.

Een groot deel van de regio bestaat uit polder-boezemsystemen. Binnen de polders stroomt het water naar het laagste punt waar het poldergemaal zich bevindt. De poldergemalen malen het water vanuit de polders naar de boezems en boezemgemalen malen het water vervolgens naar het ARK-NZK of direct naar de buitenwateren. De poldergemalen hebben normaal gesproken een maalcapaciteit waarmee ze maximaal 20 mm aan neerslag per dag kunnen wegmalen (rekening houdend met het oppervlak van de polder). Dat betekent dat bij een extreme bui met 200 mm neerslag een poldergemaal ongeveer 10 dagen maximaal moet malen om al het water weg te krijgen.

De polder-boezemsystemen zijn deels afhankelijk van elkaar, doordat ze met elkaar verbonden zijn of omdat ze afvoeren richting het ARK-NZK. Het streefpeil van het ARK-NZK is NAP-0,40 m, maar zeker als alle waterschappen maximaal gaan afvoeren kan het waterpeil gaan stijgen. De kritieke waterstand op het ARK-NZK is NAP +0,00 m, de maatgevende waterstand waarop kades en keringen berekend zijn. Bij NAP +0,00m op het ARK-NZK is er een afgesproken maalstop tussen waterbeheerders: alle gemalen richting het ARK-NZK dienen dan uitgezet te worden.

Bij verhoogde waterstanden worden diverse maatregelen getroffen om wateroverlast en calamiteiten op het hoofdwatersysteem te voorkomen. Bij NAP-0,20 m worden het IJ-front en het ARK-front gesloten waardoor de Amstelboezem (inclusief Amsterdamse grachten) geen open verbinding meer hebben met het ARK-NZK. Er is dan alleen afvoer mogelijk richting het Markermeer via gemaal Zeeburg.



Voor het ARK-NZK betekent een bovenregionale neerslaggebeurtenis dat er gedurende lange periode (dagen/weken) maximaal afgevoerd wordt. Het gemaal- en spuicomplex bij IJmuiden is bepalend voor de afvoer via het ARK-NZK en als een groot deel van de regio afvoert richting het ARK-NZK, wordt dit mogelijk (tijdelijk) te veel. Dit zal dan moeten resulteren in maaltbeperkingen.

1.4 Genereren waterbeelden ARK-NZK regio

De methode voorgeschreven in de handreiking bovenregionale stresstest wateroverlast bestaat uit verschillende fases (zie onderstaande figuur). In fase 1 wordt een brede scoping-studie uitgevoerd om de precieze aanpak en het proces vast te stellen. In fase 2 wordt geanalyseerd wat er gebeurt bij een grootschalige neerslaggebeurtenis door waterbeelden te genereren, de gevolgen te bepalen inclusief de respons en het herstel. Tenslotte worden maatregelen verkend als basis voor de risicodialoog.

Na uitvoering van de scoping studie voor de ARK-NZK regio door Deltares (De Bruijn & Juch, 2024) richt dit rapport richt zich op het eerste onderdeel van stap 2: het genereren van de waterbeelden. De resultaten van dit onderdeel bestaan uit:

- 1. Overzichtskaarten van de waterdiepte en een indicatie van de duur tot het water weer is gezakt naar het reguliere streefpeil;
- 2. Afvoeren naar het hoofdwatersysteem (HWS) en buitenwater en voor relevante locaties de waterstanden ten opzichte van het kritieke niveau en stroomsnelheden.
- 3. Narratief: verhaallijnen die op basis van de scenario's vertellen hoe het watersysteem reageert, waar de knelpunten ontstaan en hoe de resultaten geïnterpreteerd dienen te worden.

Methode bovenregionale stresstesten		
1. Scoping	- Welk gebied hebben we het over? - Welke vragen/ontwikkelingen zijn relevant - Welke kennis en modellen zijn beschikbaar? - Welke scenario's - Wie doen de stresstest en wie is betrokken en afspraken proces	
	Genereren Waterbeeld	- Waterdiepte, duur, Afvoer naar HWS en of buitenwater, Waterstanden tov kritiek niveau, stroomsnelheden
	Bepalen Gevolgen	- Vitaal en kwetsbaar (bv. wegen, nutsvoorzieningen, ziekenhuizen) - Totaal aantal getroffen, en oppervlaktes landbouw, glastuinbouw, stedelijk gebied, recreatie en % van totaal - Schade
2. Wat gebeurt er bij grootschalige neerslag?	Bepalen respons en herstel	- Volgens bestaande protocollen en leidraden
	- Eerste Screening van typen (watersysteem) maatregelen tbv ondersteuning risicodialoog	
3. Verkenning handelings-perspectieven		

Stappenplan bovenregionale stresstest

1.5 Verhaallijnen en scenario’s

Drie werksessies zijn georganiseerd voor dit project met de relevante partijen voor dit onderdeel van de stresstest: de drie provincies Noord-Holland, Zuid-Holland en Utrecht, Rijkswaterstaat, de vier waterschappen en de gemeentes Amsterdam en Utrecht. Naast afstemming over systeemwerking, uitgangspunten en aannames die basis vormen voor de modellering en de scenario’s, zijn de drie doelstellingen vertaald naar drie verhaallijnen.

- 1. Knikpunten watersysteem:** Voor het eerste narratief/verhaallijn is gekeken hoe het complete systeem reageert onder verschillende buivolumes. Het buivolume en de buiduur die zijn aangehouden in de handreiking zijn enigszins arbitrair en het is erg inzichtelijk als men kan zien bij welk buivolume er welke knelpunten ontstaan. Er wordt ook verkend wat er gebeurt bij een minder extreme bui met een buivolume van 150mm en een nog veel extremere bui met een hoger buivolume van 300mm.
- 2. Afvoercapaciteit spui- en gemaalcomplex IJmuiden:** Voor het tweede narratief/verhaallijn wordt middels een drietal extra scenario’s verkend welke invloed de afvoercapaciteit van het spui- en gemaalcomplex IJmuiden kan hebben op het systeem. Door uit te gaan van het basisscenario met 200 mm kan gekeken worden naar de verschillen in maalstopduur en overlastduur.
- 3. Integrale modellering stedelijk watersysteem:** Voor het derde narratief/verhaallijn wordt uitgegaan van het basisscenario. Voor enkele stedelijke gebieden is gekeken wat de effecten van het basisscenario op het watersysteem zijn.

Er zijn waterbeelden gegenereerd voor zes scenario’s die volledig zijn doorgerekend: zowel voor het hoofdwatersysteem als de watersystemen van de vier aanliggende waterschappen en de interactie ertussen.

Bij scenario’s 1, 2 en 3 wordt het buivolume aangepast om de knikpunten in kaart te brengen. De scenario’s 4, 5 en 6 worden gebruikt om de gevoeligheid van het systeem te testen op de afvoercapaciteit van IJmuiden (doelstelling 2).

Zes scenario’s voor de bovenregionale stresstest voor de ARK-NZK regio

Scenario inclusief buikarakteristiek	Initiële condities	Randvoorwaarde buitenwater	Functioneren watersysteem	Respons
1. Bovenregionale bui 200mm/48 uur	Natte zomer (zomerstreefpeil/GVG)	Periode met beperkte spui (zeewaterstand 30cm hoger)	Zoals bedoeld	Volgens bestaande protocollen
2. Bovenregionale bui 150mm/48 uur	Natte zomer (zomerstreefpeil/GVG)	Periode met beperkte spui (zeewaterstand 30cm hoger)	Zoals bedoeld	Volgens bestaande protocollen
3. Bovenregionale bui 300mm/48 uur	Natte zomer (zomerstreefpeil/GVG)	Periode met beperkte spui (zeewaterstand 30cm hoger)	Zoals bedoeld	Volgens bestaande protocollen
4. Bovenregionale bui 200mm/48 uur + Grotere spui	Natte zomer (zomerstreefpeil/GVG)	Periode met normale/grote spui (periode Limburg-bui)	Zoals bedoeld	Volgens bestaande protocollen
5. Bovenregionale bui 200mm/48 uur + Uitval gemaal Ijmuiden	Natte zomer (zomerstreefpeil/GVG)	Periode met beperkte spui (zeewaterstand 30cm hoger)	Langdurige uitval (24uur) gemaalcomplex IJmuiden (Vindt plaats 48 uur na de bui)	Volgens bestaande protocollen
6. Bovenregionale bui 200mm/48 uur + Extra pompcapaciteit hoofdwatersysteem	Natte zomer (zomerstreefpeil/GVG)	Periode met beperkte spui (zeewaterstand 30cm hoger)	Extra pompcapaciteit hoofdwatersysteem:	Volgens bestaande protocollen

1.6 Resultaten van deze opdracht

De resultaten van deze studie bestaan uit kaarten en figuren. De data hierachter wordt deels ontsloten via de Landelijke Database Overstromingsinformatie (LDO). De overige resultaten zijn zo goed mogelijk beschreven in dit rapport en in de bijlage van dit rapport.

Kaarten maximale inundatiediepte

De maximale inundatiediepte bovenop het maaiveld die tijdens of na de bovenregionale bui bereikt wordt is beschikbaar met een resolutie van 2x2m op het LDO. Alleen scenario 1, 2 en 3 worden gedeeld omdat die bedoeld zijn als input voor de risicodialoog.

Kaarten duur verhoogde waterstand

Vanuit de stresstest wordt gevraagd om een kaart te genereren van de inundatieduur, uitgedrukt in dagen. In deze studie is samen met de waterschappen geconcludeerd dat de duur dat het maaiveld geïnundeerd is, (op dit moment) niet te berekenen is. Hierbij zou iedere cel op een resolutie van 2x2m een andere inundatieduur hebben. De simulatiemodellen die op dit moment door de waterschappen in gebruik zijn, kunnen geen betrouwbare resultaten met dat detailniveau aanleveren.

Daarom is ervoor gekozen om per peilgebied (of per polder) te bepalen hoe lang er sprake is van verhoogde waterstanden. Dus hoelang het duurt voordat de waterstand weer gelijk is aan het streefpeil. Dit geeft een goed beeld van hoe lang het duurt voordat de waterbeheerders het watersysteem weer volledig onder controle hebben. Hierbij zijn alle waterbeheerders zich ervan bewust dat de werkelijke overlastduur korter is en afhangt van de specifieke locatie en hoogteligging van een object of functie.

De duur van verhoogde waterstanden wordt ontsloten via het LDO. Alleen scenario 1, 2 en 3 worden gedeeld omdat die gebruikt kunnen/mogen worden voor het vervolg.

Kaarten duur maalbeperkingen

De bovenregionale impact en de grootschalige overlast is vooral te zien in de duur van de maalbeperkingen of maalstops. Dat is de periode dat de gemalen (gedeeltelijk) uit moeten als gevolg van overbelasting van de boezem en/of het hoofdwatersysteem. De duur van de maalbeperkingen per polder wordt gepresenteerd in dit rapport. Deze kaarten zijn niet beschikbaar via de LDO.

De waterschappen hebben voor belangrijke locaties in hun beheergebied de berekende waterstanden en afvoeren aangeleverd. Hierbij gaat het vooral om de waterstanden op de grote boezems en de afvoeren richting het hoofdwatersysteem en het buitenwater. Deze worden gepresenteerd in dit rapport en in de bijlage. Deze figuren en tijdseries zijn niet beschikbaar via de LDO.

1.7 Leeswijzer

Middels dit rapport worden de uitkomsten van de studie naar de bovenregionale stresstest wateroverlast voor de ARK-NZK regio gepresenteerd. Hoofdstuk 2 bevat een systeembeschrijving van zowel het ARK-NZK als ook de waterschappen. In hoofdstuk 3 worden de verhaallijnen uitgewerkt met de impact voor het hoofdwatersysteem ARK-NZK waarbij ook het totaalbeeld wordt gegeven voor de gehele regio. Voor gedetailleerdere resultaten over het ARK-NZK en de deelsysteem van de waterschappen wordt verwezen naar de bijlages. Hoofdstuk 4 beschrijft de conclusies, aandachtspunten en aanbevelingen.

Disclaimer bij het gebruik van de waterbeelden (kaarten)

Om de waterbeelden (kaarten) op te stellen, is gebruik gemaakt van de actuele modellen van de betrokken waterschappen en Rijkswaterstaat die speciaal voor dit project nog verbeterd zijn. Hierbij wordt dus wel uitgegaan van de status van gegevens en modellen van eind 2024 aangevuld met op dat moment actuele kennis en inzichten.

De uitgangspunten en aannames zijn besproken en afgestemd met de vertegenwoordigers van de betrokken partijen, om te borgen dat ze leiden tot zo realistisch en betrouwbaar mogelijke uitkomsten. De schaal van de modellering zorgt ervoor dat specifieke onderdelen of details van het watersysteem niet konden worden meegenomen en controles op uitkomsten niet uitgevoerd kunnen worden op het hoogste detailniveau.

- Aangeraden wordt om deelgebieden in een detailstudie nader te onderzoeken als:
- De waterbeelden wateroverlast laten zien in de directe omgeving van stedelijk gebied en het vermoeden bestaat dat bijvoorbeeld door de interactie met het rioolsysteem er ook op andere plekken wateroverlast kan ontstaan.
 - De waterbeelden geen wateroverlast laten zien, maar men op basis van gebiedskennis (ervaringen uit het verleden) dat er grote hoeveelheden water kunnen afstromen over het maaiveld. Dit kan bijvoorbeeld een rol spelen op de flanken van de Utrechtse Heuvelrug.

2. SYSTEEMBESCHRIJVING

In dit hoofdstuk wordt het watersysteem van de ARK-NZK regio uitgebreider beschreven. Dit is de basis voor de verhaallijnen en de waterbeelden van de bovenregionale neerslaggebeurtenissen.

2.1 Hoofdwatersysteem en buitenwateren

2.1.1 Het ARK-NZK

De combinatie van het Amsterdam-Rijnkanaal (ARK) en Noordzeekanaal (NZK) vormt met een totale lengte van 93 km voor de scheepvaart één van de belangrijkste transportaders voor Nederland en het Ruhrgebied. Niet alleen is dit één van de drukst bevaren kanalen ter wereld, ook speelt het kanaal een essentiële rol in de waterhuishouding van Nederland. Naast aanvoer van water heeft het ook een afvoerfunctie die het water vanuit bijna de gehele regio afvoert naar de Noordzee via spui- en gemaalcomplex IJmuiden.

Het ARK heeft een breedte van 100-120m en een lengte van 59km, het NZK heeft een breedte van 270m met een lengte van 26 km. Het streefpeil van het ARK-NZK is vastgelegd in het peilbesluit op NAP-0,40 m. De afgesproken beheermarge ligt tussen de NAP-0,55 m en NAP-0,30 m. De kritieke waterstand voor het ARK-NZK ligt op NAP+0,00 m, dit is de maatgevende waterstand waarvoor de kades en kunstwerken van het ARK-NZK berekend zijn. Hogere waterstanden kunnen leiden tot overslag en/of een risico vormen voor de stabiliteit van de keringen.

2.1.2 Spui- en gemaalcomplex IJmuiden

De afvoercapaciteit van het spui- en gemaalcomplex IJmuiden wordt bepaald door de combinatie van spuien en malen en is voor beide afhankelijk van de waterstanden op de Noordzee en het ARK-NZK:

- Spuien kan alleen als de zeewaterstand lager is dan die van het ARK-NZK. Dit kan door verschil in getij variëren tussen een grote/goede spui van maximaal 400-500m³/s (spuiduur van 4 uur) en een kleine/slechte spui met maximaal 100m³/s (spuiduur <3 uur). Bij windopzet kunnen spui mogelijkheden zelfs helemaal wegvallen. Door zeespiegelstijging worden de spui mogelijkheden richting 2050 erg beperkt.
- Het gemaalcomplex heeft 6 maalgangen waar pompen in gezet kunnen worden: Er zijn 7 pompen, waardoor er altijd één reserve pomp waar onderhoud uitgevoerd kan worden en/of ingezet kan worden bij uitval van een andere pomp. Hierbij gaat het om 4 oude pompen met een capaciteit van 40m³/s en 3 nieuwe pompen met een capaciteit van 50m³/s. De totale afvoercapaciteit ligt daarmee tussen de 260 en 270m³/s. De oude pompen zijn alleen inzetbaar als er sprake is van een negatief verval (zeewaterstand hoger dan op het ARK-NZK) terwijl de nieuwe pompen ook tijdens een positief verval kunnen malen.

2.1.3 Buitenwateren en overige hoofdwatersystemen

De waterstanden op de buitenwateren en in de rest van het hoofdwatersysteem kunnen bepalend zijn voor de afvoermogelijkheden voor de regio. De waterstanden op het Markermeer, de rivieren (Lek, Hollandsche IJssel) en de buitenwaterstanden (Noordzee bij IJmuiden en Den Helder) zijn daarom meegenomen in deze studie.

Er is voor gekozen om zoveel mogelijk uit te gaan van de condities die representatief waren tijdens de Limburg-bui in juli 2021 en de karakteristieken van die bui (denk aan wind, buivolume en buivorm).

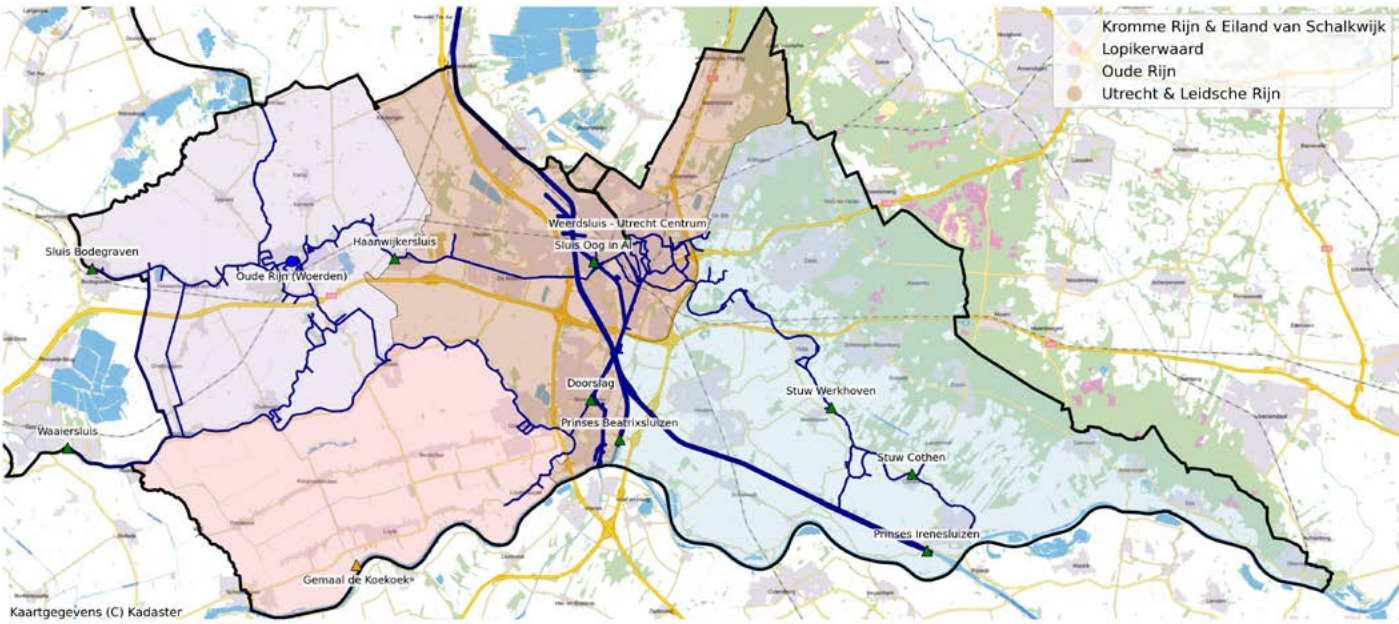
2.2 Beheergebieden waterschappen

2.2.1 Hoogheemraadschap De Stichtse Rijnlanden (HDSR)

Het beheergebied van HDSR bestaat uit een aantal deelgebieden die voornamelijk gescheiden worden door het ARK en het Lekkanaal. Het ARK en het Lekkanaal eindigen bij de Prinses Irenesluizen en de Prinses Beatrixsluizen. Het beheergebied van HDSR omvat de stedelijke gebieden van o.a. Utrecht, De Bilt, Zeist, Houten, Wijk bij Duurstede, Nieuwegein, IJsselstein, Woerden en meer.

Het oostelijk deel van het beheergebied bestaat vooral uit de Utrechtse Heuvelrug van waaruit het water afstroomt naar de Kromme Rijn. Het gebied bovenstrooms van stuw Werkhoven kan via de Caspergauwe wetting al naar het ARK afvoeren. Via de Kromme Rijn stroomt de rest richting Utrecht waar het via de stadsgrachten en de Weerdsuis de Vecht op kan stromen, al gaat het grootste deel richting het Merwedekanaal en stroomt het via de spuisluis bij Oog in Al direct naar het ARK. Tussen de Lek en het ARK en het Lekkanaal ligt het eiland van Schalkwijk dat deels uit polders bestaat.

Het westelijk deel van het beheergebied bestaat grofweg uit drie delen: 1) Leidse Rijn / Nieuwegein dat afvoert richting het ARK, 2) het polder-boezemsysteem Oude Rijn dat via de sluis van Bodegraven afvoert richting de boezem van Rijnland en 3) de Lopikerwaard die afvoert via gemaal de Koekoek naar de Lek en via de Gekanaliseerde Hollandsche IJssel (GHIJ) naar de Hollandsche IJssel via de Waaiersluis, en naar het ARK via de Doorslag, het Merwedekanaal en spuisluis Oog in Al.



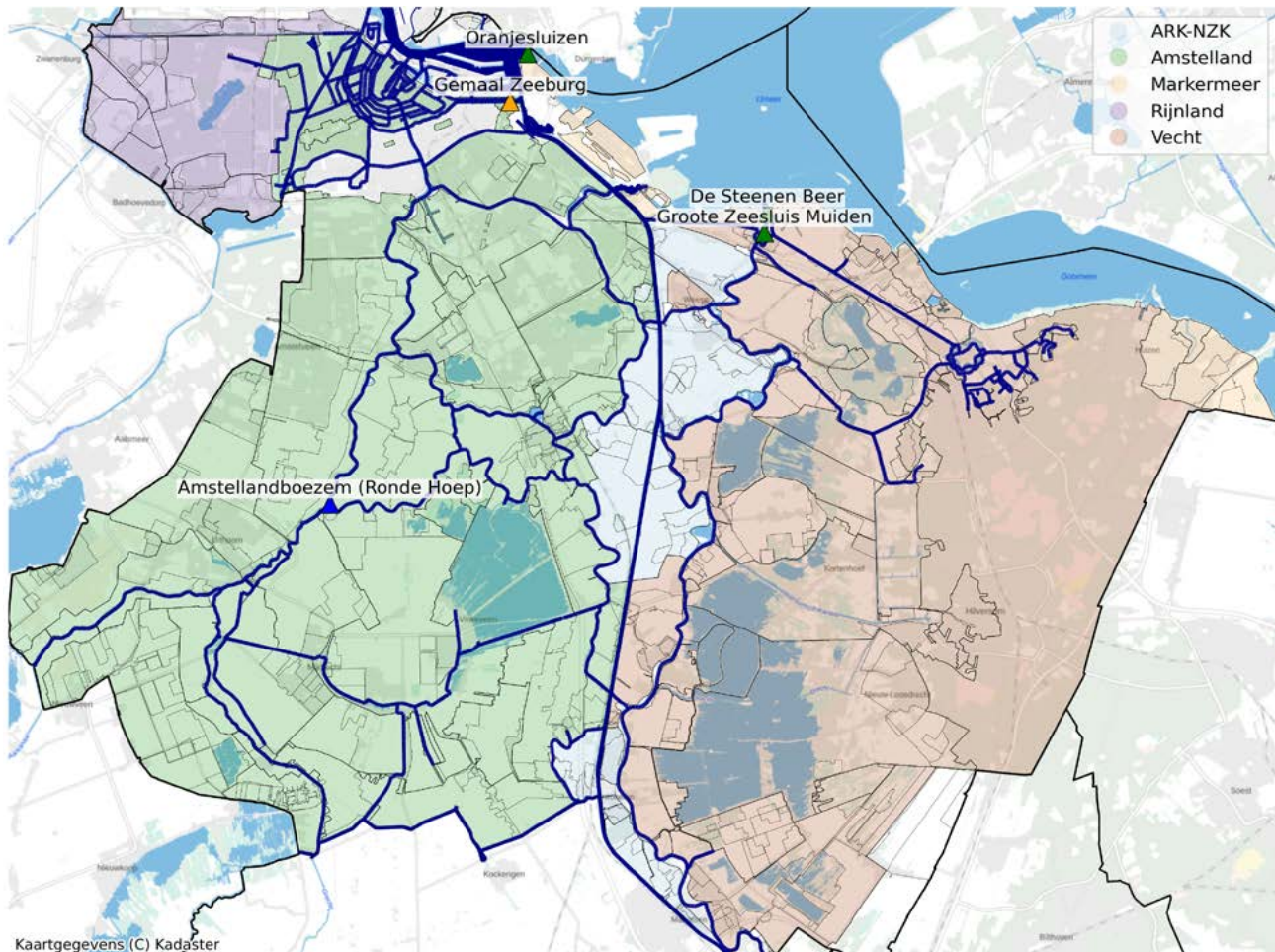
Beheergebied Hoogheemraadschap De Stichtse Rijnlanden

2.2.2 Waterschap Amstel, Gooi en Vecht (AGV)

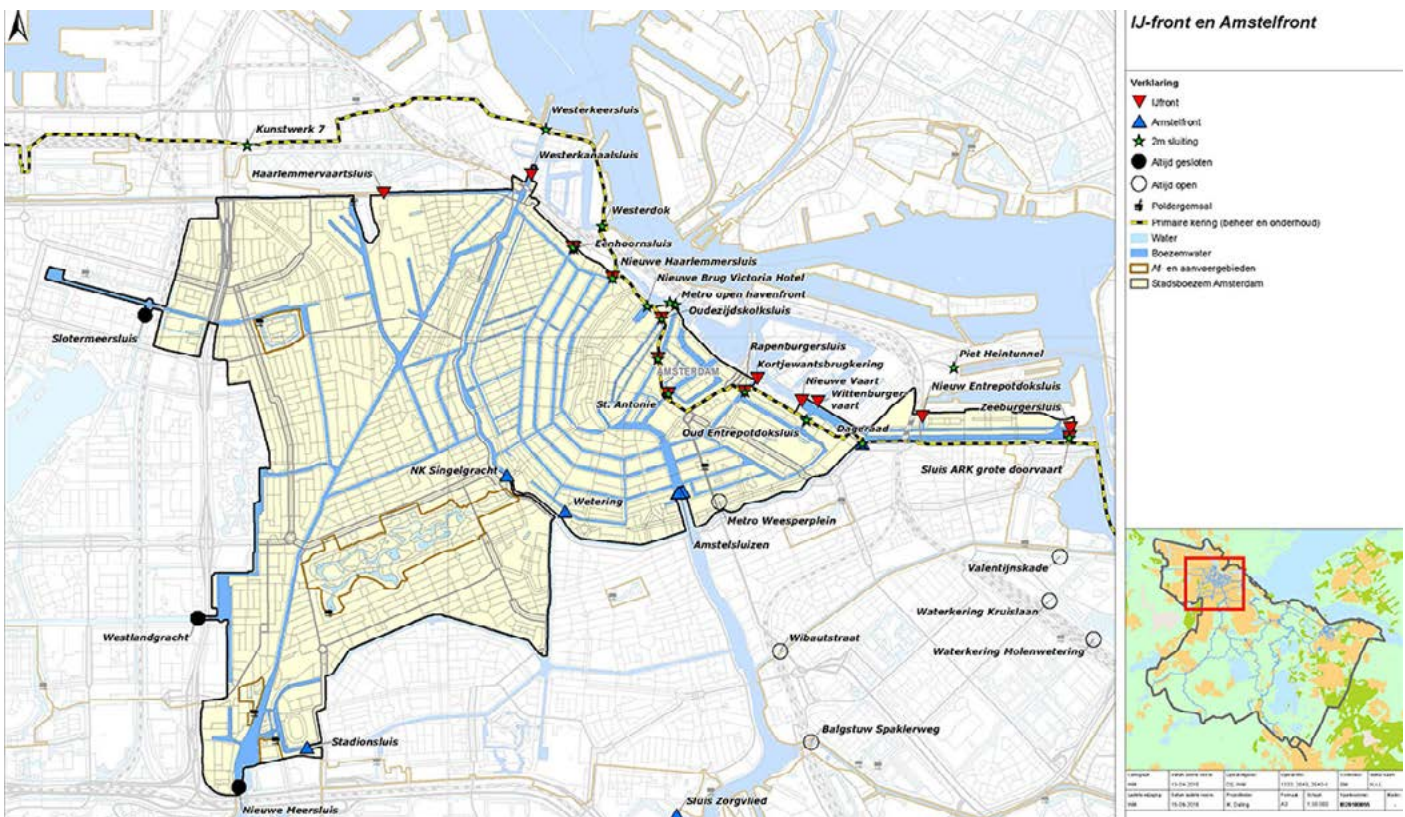
Het beheersgebied van waterschap AGV ligt in de provincies Noord-Holland, Utrecht en een klein stukje in Zuid-Holland en bestaat uit een aantal deelgebieden waarbij het ARK de voornaamste scheiding vormt tussen de Vecht en de Amstelboezem.

Aan de oostzijde van het ARK bevindt zich het gebied van de Vecht met diverse polders waarin zich diverse grote plassen/meren bevinden zoals de Loosdrechtse plassen, maar ook stedelijk gebied zoals Weesp, Hilversum en Bussum. De Vechtboezem staat in open verbinding met het ARK. Via Muiden en de Steenen Beer kan het gebied ook afwateren richting het Markermeer, maar alleen onder vrijverval. Aan de westzijde van het ARK bevindt zich de Amstelboezem met diverse polders met o.a. de Vinkeveense Plassen, maar ook veel stedelijk gebied met Mijdrecht, Uithoorn, Aalsmeer, Amstelveen, Amsterdam Zuid, Oost en Zuid-Oost en het centrum van Amsterdam. De Amstel staat via de stadsgrachten in het centrum van Amsterdam in open verbinding met het NZK.

Echter, als de waterstand op het ARK-NZK stijgt boven de NAP-0,20m, sluit het IJ-front (zie afbeelding centrum Amsterdam) om te voorkomen dat het waterpeil in de grachten meestijgt. De andere verbindingen tussen de Amstelboezem met het ARK worden ook gesloten en de Amstelboezem kan dan alleen via gemaal Zeeburg en de syphon onder het ARK naar het Markermeer malen. Gemaal Zeeburg heeft een maalcapaciteit van 60m3/s.



Beheergebied Waterschap Amstel, Gooi en Vecht



Amsterdam inclusief het IJ-front (zijde Noordzeekanaal), Gemaal Zeeburg en het Amstelfront (Amstelsluizen)

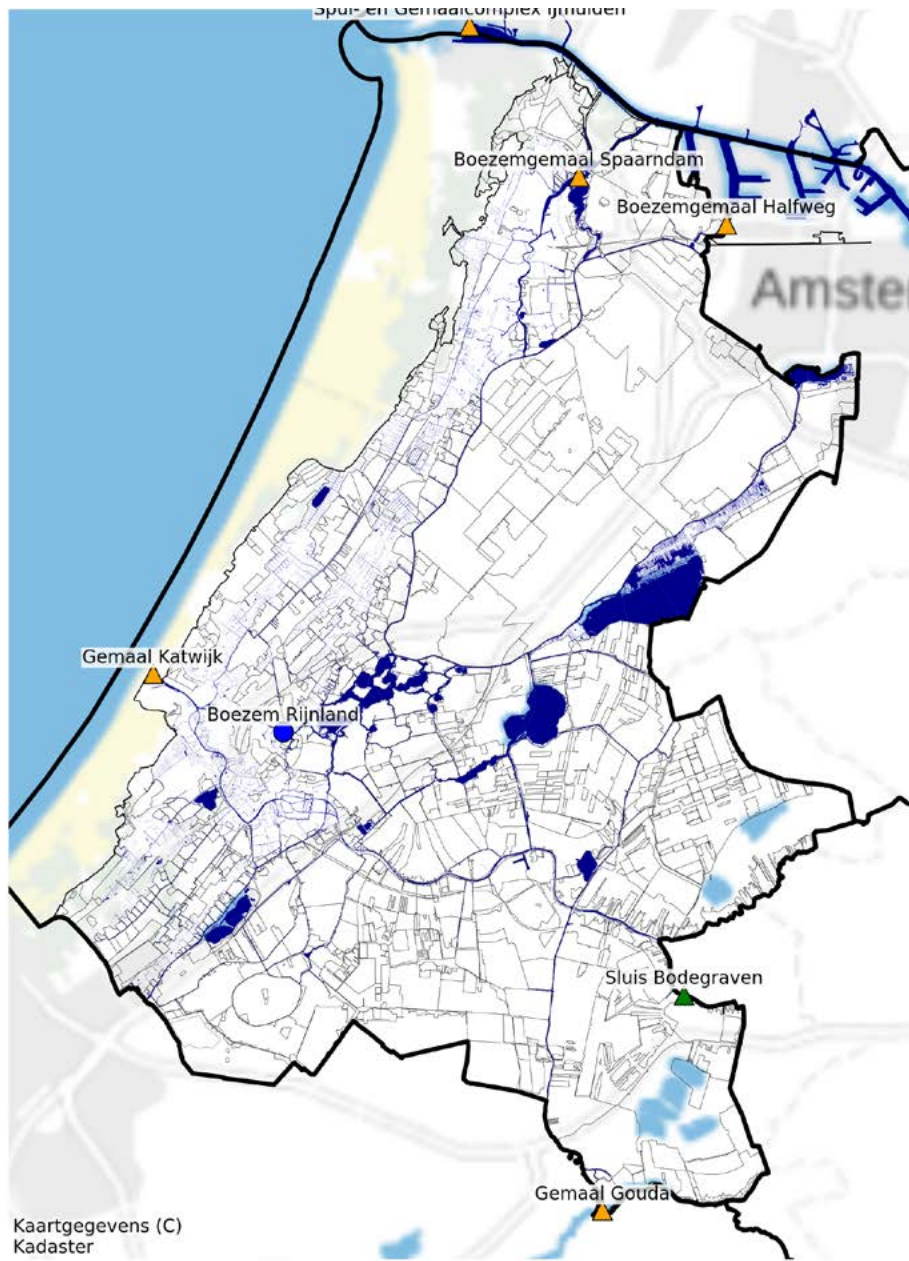
2.2.3 Hoogheemraadschap van Rijnland (HHR)

Het beheersgebied van Rijnland beslaat het gebied tussen het Noordzeekanaal, Gouda en Wassenaar. Het omvat de stedelijk gebieden van deze laatste twee plaatsen, maar onder meer ook Haarlem, Hoofddorp, Leiden en Alphen aan de Rijn. Het watersysteem bestaat voornamelijk uit een groot polder-boezemsysteem, waarbij ongeveer 200 polders afvoeren op de Rijnlandse boezem. Aan de noordkant voeren een aantal polders direct af op het NZK en in de zuidoostelijke hoek van het beheersgebieden voeren een aantal polders direct af op de GHIJ. Enkele polders voer hier af richting de boezem van de Oude Rijn van HDSR.

Er zijn vier grote boezemgemaal:

- 1. Gemaal Katwijk voert direct af richting de Noordzee (capaciteit 94m3/s);
- 2. Gemaal Gouda richting de Hollandsche IJssel (capaciteit 40m3/s);
- 3. Gemaal Spaarndam richting het NZK (capaciteit 34m3/s);
- 4. Gemaal Halfweg richting het NZK (capaciteit 33m3/s).

De boezem omvat een aantal grote meren (oa. Westeinderplassen en Kagerplassen) en heeft daarmee veel wateroppervlak. In het westen is er ook veel boezemland dat direct afwatert op de boezem zelf, voor een deel gaat het hier om stedelijk gebied (met name in Haarlem en Leiden). De Rijnlandse boezem heeft een zomerstreefpeil van NAP-0,61m. Voor de boezem gaat een algehele maalstop gelden als de waterstand hoger wordt dan NAP-0,37m. In de berekeningen is aangenomen dat deze maalstop wordt opgeheven als de waterstand gedaald is tot NAP-0,52m.



Beheergebied Hoogheemraadschap van Rijnland

2.3.4 Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier (HHNK)

Het beheersgebied van HHNK omvat Texel en het deel van de provincie Noord-Holland boven het NZK met daarin o.a. de stedelijke kernen Amsterdam-Noord, Zaandam, Purmerend, Beverwijk, Alkmaar, Heerhugowaard, Hoorn en Den Helder.

Het watersysteem bestaat uit meerdere boezemsystemen die verschillende afvoerrichtingen hebben. De Schermerboezem omvat hierbij het grootste gebied en voert het water af richting het NZK, het Markermeer en de Waddenzee. De Schermerboezem levert de grootste bijdrage aan de afvoer richting het ARK/NZK. Het kan afvoeren via vier boezemgemaalen:

1. Helsdeur via zowel gemaal (60 m³/s) als spui richting de Waddenzee;
2. Gemaal C.Mantel (capaciteit 33,3 m³/s) richting het Markermeer
3. Gemaal Monnickendam (capaciteit 20 m³/s)
4. Het Zaangemaal richting het NZK (capaciteit 36 m³/s).

Aan de IJsselmeerkant van het beheersgebied liggen diverse polders die afvoeren richting het IJsselmeer (VNK, Grootslag) of het Markermeer (Zeevang, Westerkogge, Drieban, Hoorn). De Amstelmeerboezem voert af richting de Waddenzee. De Wieringermeerpolder wordt voor een groot deel bemalen via het gemaal Leemans waarbij het water wordt afgevoerd richting de Waddenzee. Direct ten noorden van het NZK liggen nog de Waterlandsboezem die zowel naar NZK als Markermeer afvoert en enkele kleinere polders die direct richting het NZK malen.



Beheergebied Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier

3. WATERBEELDEN

In dit hoofdstuk zijn per narratief de berekende scenario's en de resultaten en conclusies toegelicht. Zie bijlage B voor meer details.

3.1 Analyse knikpunten watersysteem

3.1.1 Introductie

Onder verder gelijke uitgangspunten zijn drie buien doorgerekend om te bepalen waar en wanneer er knelpunten ontstaan in het watersysteem:

- Bovenregionale bui 150mm/48uur (Sc2)
- Bovenregionale bui 200mm/48uur (Sc1, Basisscenario)
- Bovenregionale bui 300mm/48uur (Sc3)

De resultaten van deze drie scenario's worden in dit hoofdstuk besproken. Bij het vergelijken van de resultaten zijn deze drie scenario's op volgorde van buivolume gezet.

3.1.2 Waterstand op het ARK-NZK en maalbeperkingen

Door maalbeperkingen in te voeren wordt voorkomen dat het waterpeil op het ARK-NZK te hoog stijgt. In de figuur hieronder worden de waterstanden op het ARK-NZK voor de drie scenario's met 150, 200 en 300mm in 48 uur gepresenteerd. De waterstand ter hoogte van Utrecht (Leidsche Rijn) is hier als referentie gebruikt.

In ieder van de drie grafieken zijn twee waterstanden te zien: 1) de waterstand als de waterschappen maximaal mogen afvoeren richting het ARK-NZK en 2) de waterstand als er maalbeperkingen worden opgelegd om overal onder de NAP 0m te houden. De resultaten zijn in de tabel samengevat.

Bij het scenario met 150mm zijn al maalbeperkingen vereist, waarbij de gemalen gedurende 3 dagen 15% minder mogen malen. De waterstand op het ARK-NZK blijft 8 dagen lang hoog omdat er zo lang maximaal afgevoerd wordt. Bij een buivolume van 200mm en 300mm, zien we dat de duur en de mate van maalbeperking flink toeneemt en dat de hoge waterstand op het ARK-NZK respectievelijk 12 en 15 dagen aanhoudt.

Resultaten voor scenario 1, 2 en 3 voor het ARK-NZK

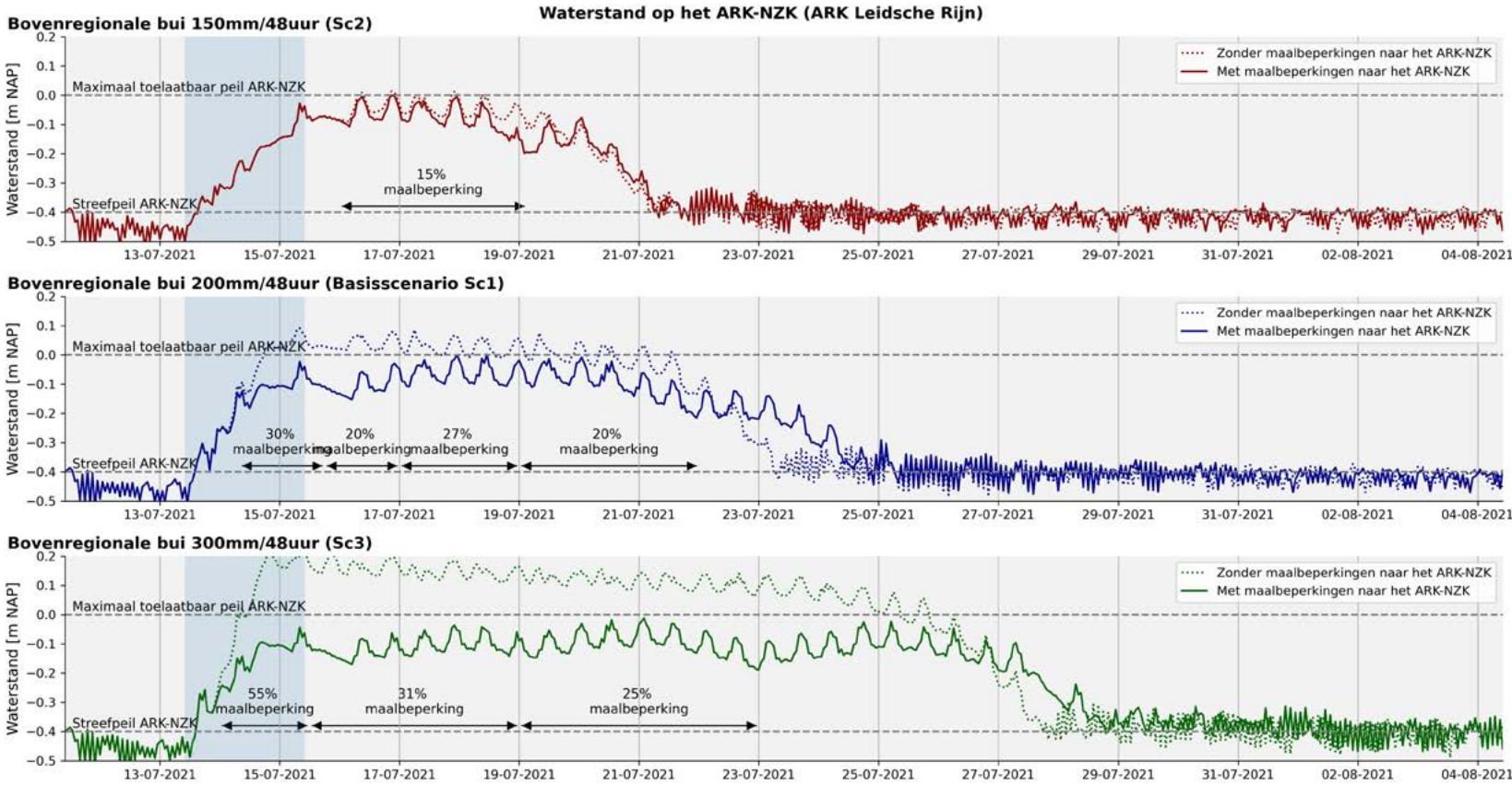
Scenario nummer	Scenario naam	Duur maalbeperking	Opgelegde maalbeperking	Duur verhoogde waterstand
2	150mm/48uur (lager buivolume)	3,0 dagen	15%	8,0 dagen
1	200mm/48uur (basisscenario)	7,5 dagen	20-30%	12,0 dagen
3	300mm/48uur (hoger buivolume)	9,0 dagen	25-55%	15,0 dagen

Extra toelichting bij berekende afvoer via Spui- en Gemaalcomplex IJmuiden (voor scenario 1 t/m 5):

Tijdens de afronding van het project is vastgesteld dat zowel de spuiformule als de gemaalinstellingen waarmee in de modellen gerekend is tijdens laagwatersituatie, niet volledig overeenkomen met de werkelijkheid:

- De daadwerkelijke afvoer via de spui tijdens het spuivenster is hoogstwaarschijnlijk 200-300 m3/s hoger dan meegenomen is in de modellering (zowel met gesloten als geopende zakdeur in de selectieve onttrekking).
- De verwachte pompafvoer is daarnaast in werkelijkheid lager: in het model malen de twee nieuwere pompen tijdens laagwater met 100 m3/s terwijl dit niet het geval blijkt te zijn. De nieuwe pompen zijn namelijk beveiligd, waardoor ze tijdens laagwater niet malen (i.v.m. trillingsmeldingen).

Dit betekent dat tijdens de perioden van laagwater de afvoer in IJmuiden circa 100-200 m3/s wordt onderschat. Voor periode met hoogwater is de afvoer in IJmuiden wel accuraat berekend. In scenario's 1-5 zal de waterstand op het ARK-NZK daardoor minder snel stijgen en wordt het maalstoppeil enkele uren later bereikt. De maalbeperkingen worden hierdoor ook iets lager of duren iets korter. De impact op de maximale inundatiediepte is nihil, het waterpeil in de polders gaan mogelijk wel iets sneller terug naar streefpeil.



3.1.3 ARK-NZK regio

Maximale inundatiediepte

In onderstaande figuur is de inundatiediepte weergegeven. Het totale gebied dat inundeert neemt flink toe vanaf de 150mm bui naar de 200mm en 300mm buien. Bij 150mm is het inundatieoppervlak relatief gezien laag, waarbij een groot deel van het volume kan worden geborgen in het watersysteem en de bodem. De extra neerslag bij 200mm en 300mm wordt volledig geborgen op het wateroppervlak of maaiveld.

Het valt op dat in het gebied bij HHNK relatief meer maaiveld inundeert dan bij de andere waterschappen. Dit wordt deels veroorzaakt door de wijze waarop wordt gemodelleerd: doordat HHNK gedetailleerd in 1D-2D modelleert wordt voor iedere locatie berekend of water op het maaiveld blijft staan en hoe dit tijdens en na de bui afstroomt richting de watergangen en daarna richting de gemalen. Als het water korte tijd over het maaiveld stroomt of als er plassen ontstaan die niet direct afstromen richting de watergangen, wordt dit als inundatie gezien (HHNK noemt dit plasvorming i.t.t. tot inundatie vanuit het watersysteem). Bij de andere waterschappen wordt aan de hand van de waterstand in de watergangen bepaald of het maaiveld inundeert, dus hier zie je de inundatie uitsluitend als de waterstand in de watergangen te hoog wordt.

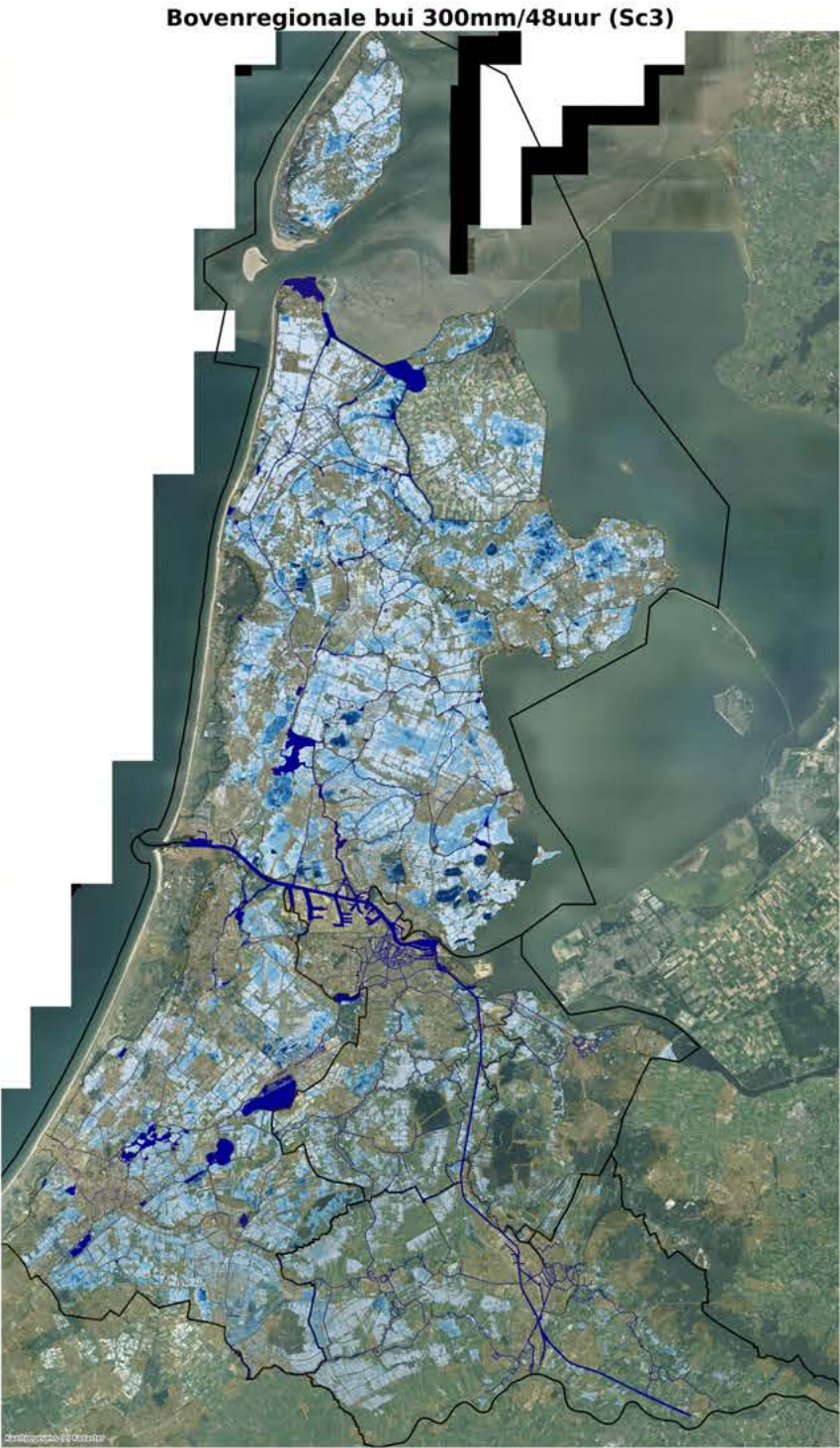
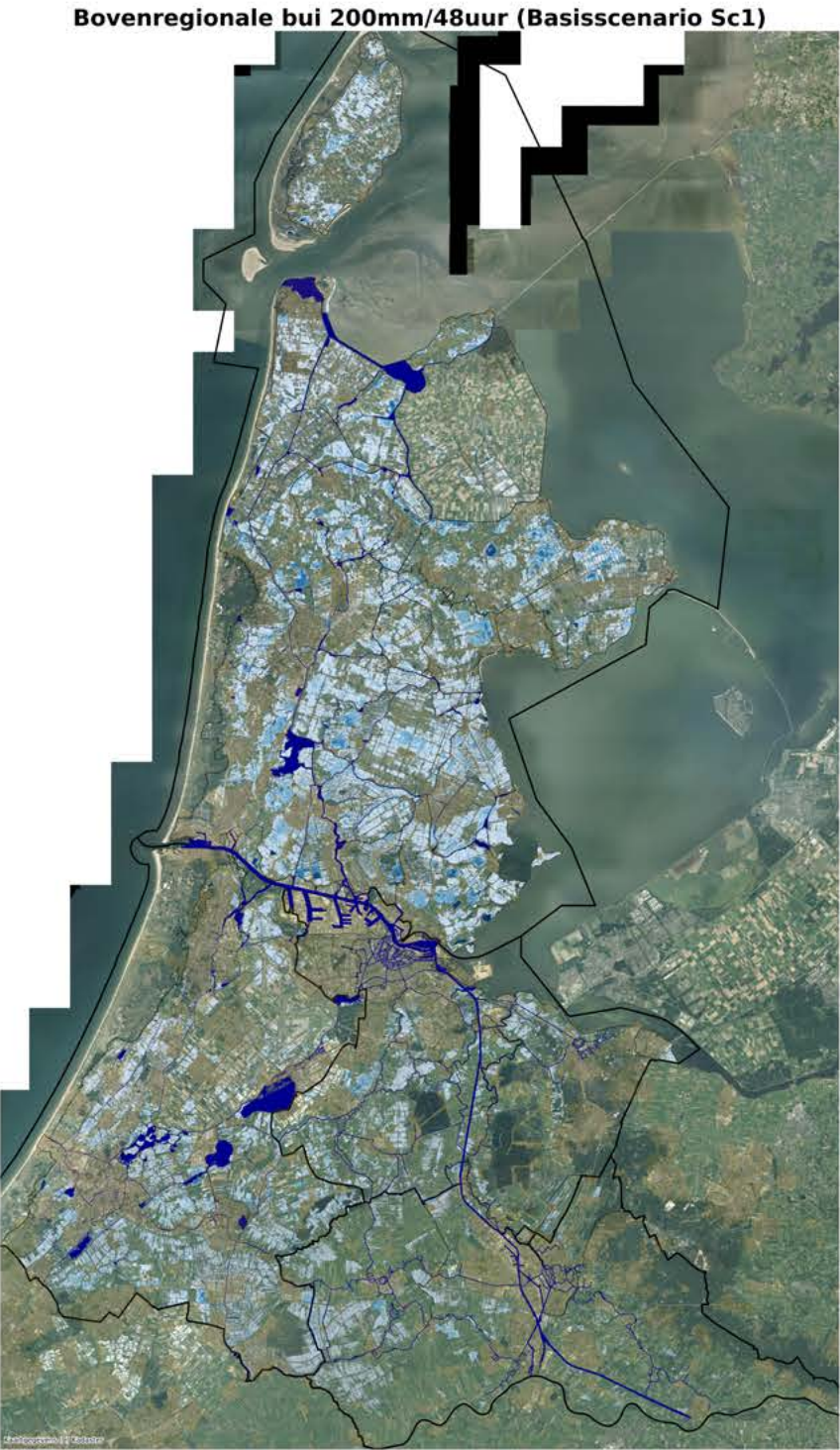
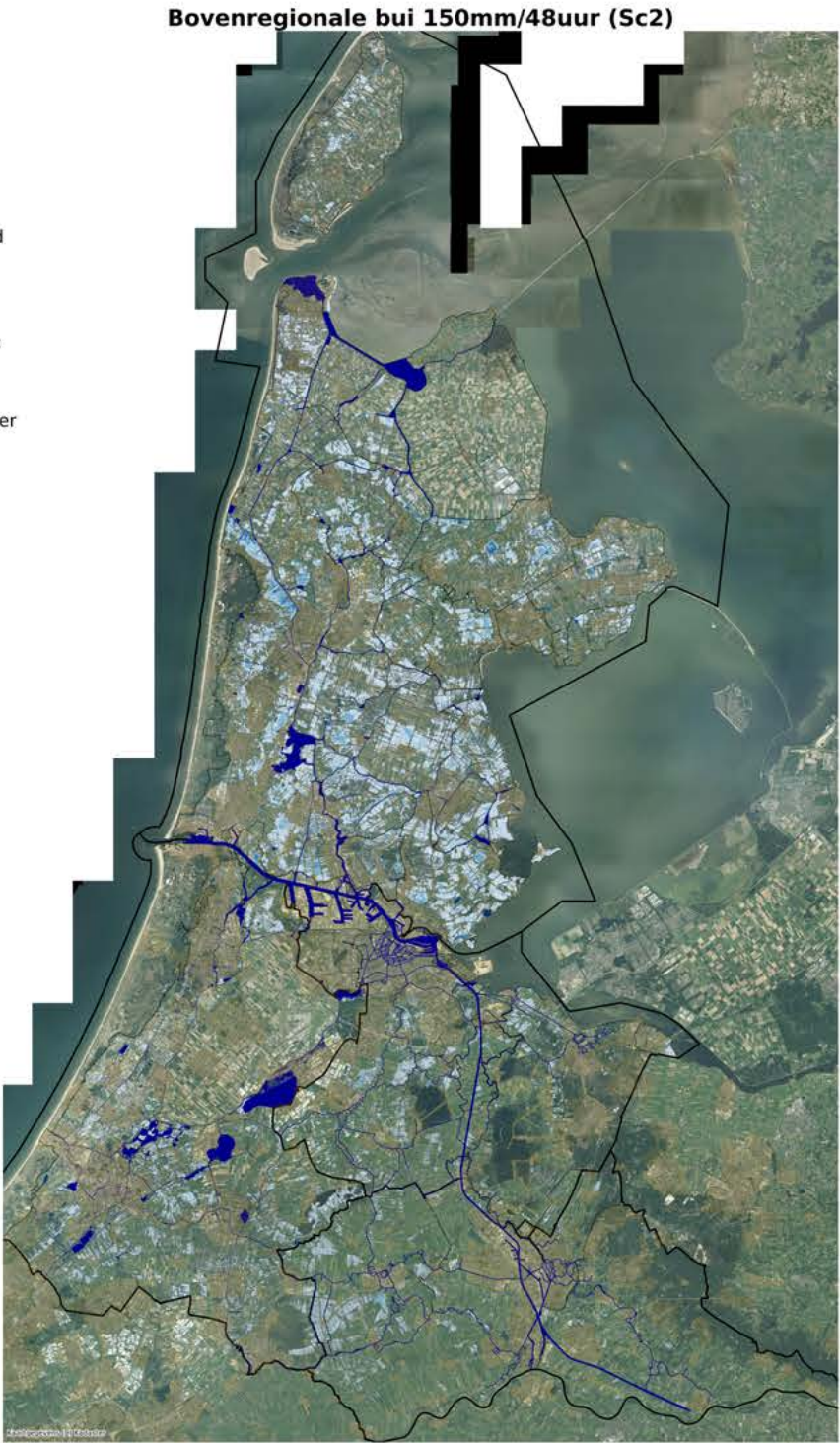
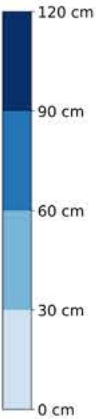
Bovenregionale Stresstest Wateroverlast

Waterbeelden ARK-NZK regio

In opdracht van:
- Provincie Noord-Holland
- Provincie Zuid-Holland
- Provincie Utrecht

Met modelresultaten van:
- Hoogheemraadschap van Rijnland
- Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier
- Hoogheemraadschap De Stichtse Rijnlanden
- Waternet

Inundatiediepte

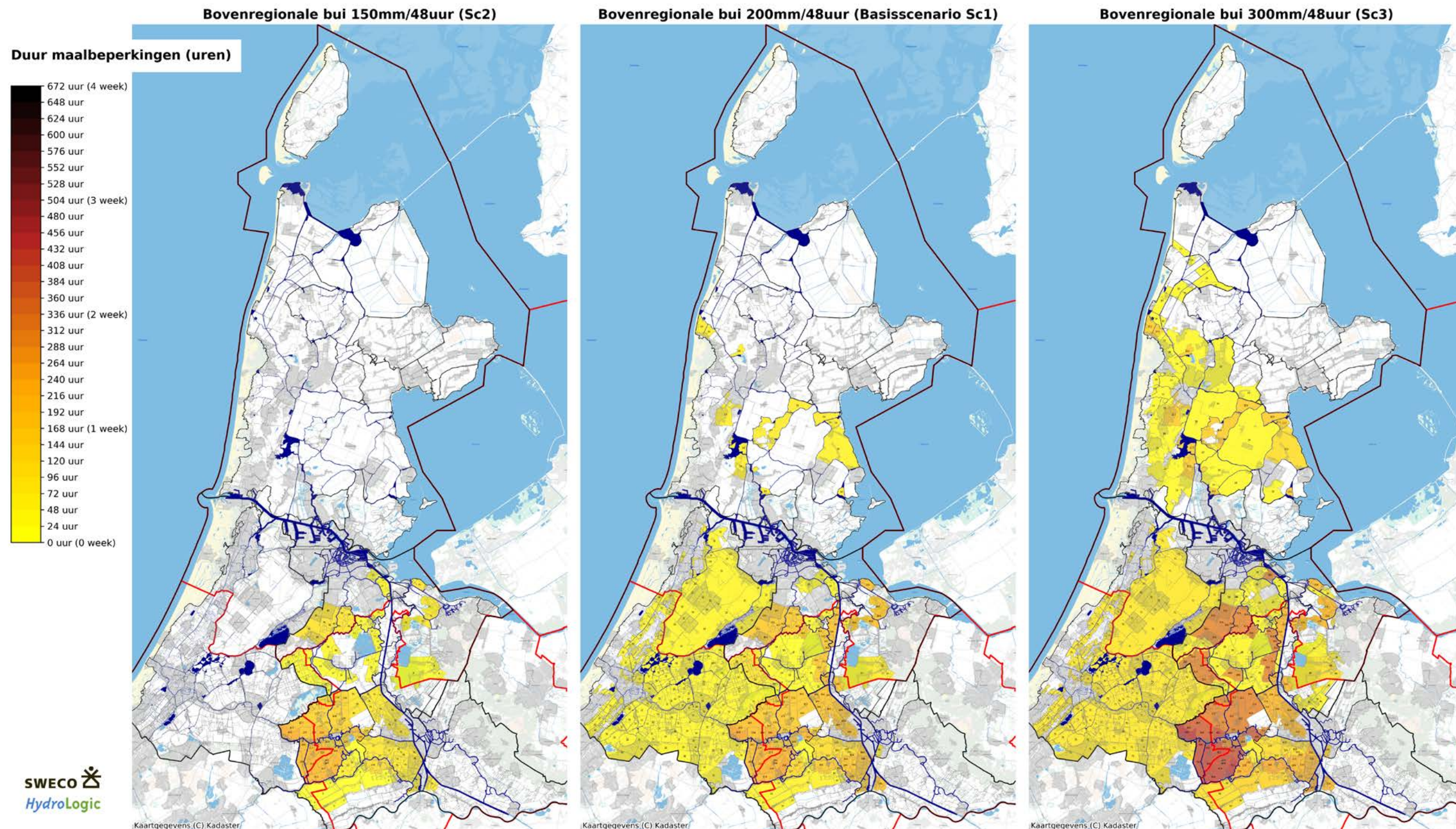


Duur maalbeperkingen

Hieronder wordt per peilgebied/polder weergegeven hoelang er maalbeperkingen gelden. De maalbeperkingen laten een duidelijk verschil zien tussen de scenario's:

- Bij 150mm zijn er maalbeperkingen in het westen van HDSR (vooral de Oude Rijn) en bij AGV vooral de Amstelboezem. De Oude Rijn is een bekend knelpunt waar de boezem beperkt kan afvoeren, zeker als de waterstand op de Rijnlandse boezem verhoogd is. De Amstelboezem ondervindt maalbeperkingen vanwege het sluiten van de fronten en het beperkt kunnen afvoeren via gemaal Zeeburg.

- Bij 200mm wordt de duur van de maalbeperkingen langer en daarbij krijgen ook de polders van Rijnland te maken met maalbeperkingen richting de boezem, omdat het boezempeil te hoog stijgt. Ook enkele polders van HHNK krijgen een maalbeperking opgelegd van 2 dagen (categorie-1 polders).
- Bij 300mm wordt de duur van de maalbeperkingen overal nog langer en krijgen vooral bij HHNK veel meer polders maalbeperkingen opgelegd.

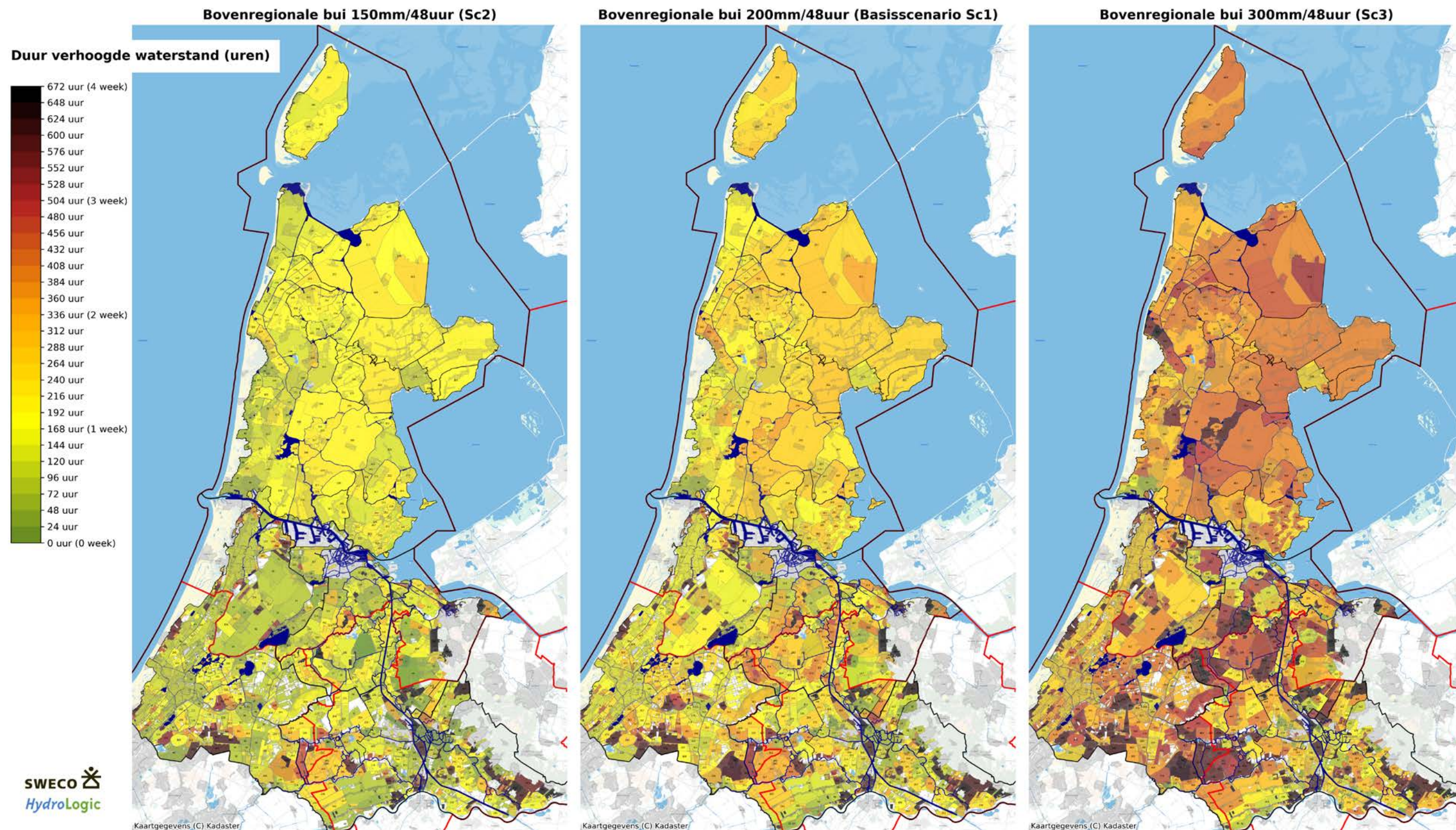


Duur verhoogd peil

De duur van verhoogd waterpeil verschilt veel per scenario. Gemiddeld over het gehele gebied duurt het bij een bui met 150mm neerslag 4-5 dagen voordat het waterpeil weer gelijk is aan streefpeil. Bij de bui met 200mm neerslag is dit 9-11 dagen en bij de bui met 300mm neerslag is dat 16-18 dagen. Verder valt op:

- HHNK lijkt een homogener beeld te geven, dat afwijkt van die van de andere waterschappen. HDSR, AGV en Rijnland hebben per peilgebied bepaald hoe lang de waterstand hoog blijft. HHNK heeft echter per polder berekend hoelang de gemalen maximaal blijven malen, wat een goede indicatie is.

- Bij HDSR, Rijnland en AGV zijn er enkele losse peilgebieden die erg lang nodig hebben om op streefpeil te komen, ook al bij de bui met 150mm in 48 uur. Door de drie waterschappen is aangegeven dat dit vooral gestuwde peilgebieden zijn die bij veel neerslag en hoge waterpeilen eerst snel afvoeren, maar waarbij de stuw de afvoer daarna beperkt. Hierdoor duurt het uiteindelijk lang voordat het streefpeil is bereikt.



Waterpeilen boezems en hoofdwat ergangen

Uit de analyse van de modelresultaten van ieder waterschap (zie bijlage B) blijkt dat zeker bij een buivolume van 300mm, de waterpeilen erg sterk stijgen waarbij de stijging niet te beperken is. Op de boezem van Rijnland komt het waterpeil boven het toegestane peil, wat problematisch kan zijn voor kades en keringen. Op de Kromme Rijn stijgt het waterpeil bij de bui met 300mm flink (bijvoorbeeld 1,50m net benedenstrooms van Werkhoven). Bij die bui stijgt het waterpeil in het centrum van Utrecht tot 70cm boven het streefpeil.

3.2 Invloed afvoercapaciteit spui- en gemaalcomplex IJmuiden

3.2.1 Introductie

Om de gevoeligheid van het achterliggende systeem op de spui- en gemaalcomplex IJmuiden in kaart te brengen, is uitgegaan van het basis-scenario (Bovenregionale bui met 200mm in 48uur) en zijn de volgende scenario’s opgesteld:

- Grotere spui (Sc4): Gevoeligheid in kaart brengen op de buitenwaterstand. In dit scenario wordt gerekend met een 30cm lagere zeewaterstand in vergelijking met het basisscenario.
- Uitval gemaal IJmuiden (Sc5): Uitval van het gemaalcomplex door grootschalige storing of een cyberaanval. Hierbij wordt gerekend met 24 uur uitval die plaatsvindt 48 uur na de bui.
- Vergroten gemaalcapaciteit IJmuiden (Sc6): In dit scenario is uitgegaan van een substantiële toename van de afvoercapaciteit van het gemaal. Door Rijkswaterstaat wordt nu onderzoek gedaan naar de vernieuwing en renovatie van het complex.

3.2.2 Waterstanden op het ARK-NZK en maalbeperkingen

In de figuur op de volgende pagina is de tijdserie van de waterstand op het ARK-NZK te zien tijdens en na de bui. Hierbij is gekeken naar de drie scenario’s in vergelijking met het basisscenario (scenario 1: 200mm in 48uur).

Grotere spui (Sc4)

Bij een grotere spui (spuimogelijkheid (door een lagere zeewaterstand) duurt de maalbeperking korter, maar is de op te leggen maalbeperking tijdens de bui groter. De lagere zeewaterstand in dit scenario heeft een positief effect op de spuimogelijkheden, terwijl het tegelijkertijd de gemaalcapaciteit beperkt. Of de totale afvoercapaciteit van het spui- en gemaalcomplex IJmuiden toeneemt of afneemt, is afhankelijk van meerdere factoren en kan daarmee over de tijd verschillen. In dit scenario heeft het tijdens de bui een negatief effect waardoor er hogere maalbeperkingen gelden, terwijl er in de periode na de bui lagere en kortere maalbeperkingen nodig zijn. De totale duur van verhoogde waterstand op het ARK-NZK is in dit geval ongeveer gelijk. Als de bui op een ander moment was gevallen, had dit mogelijk tot lagere en kortere maalbeperkingen geleid. De bij deze studie betrokken waterbeheerders bevestigen de gevoeligheid van het spui- en gemaalcomplex op de buitenwaterstanden.

24 uur uitval gemaalcomplex IJmuiden (Sc5)

Bijuitval van het gemaalcomplex van IJmuiden wordt een complete maalstop afgekondigd voor het gehele ARK-NZK. Tijdens de uitval van het gemaalcomplex stijgt de waterstand op het ARK-NZK tot net boven het maximaal toelaatbare peil van NAP+0,00m, ondanks de algehele maalstop. Dit komt doordat deel van het systeem onder vrijval blijft afwateren richting het ARK-NZK. De maalstop van ruim 24 uur zorgt er uiteindelijk voor dat de totale duur van maalbeperkingen een dag langer duurt en datzelfde geldt voor de duur van verhoogde waterstand (13 dagen in plaats van 12).

Vergroten gemaalcapaciteit IJmuiden (Sc6)

Bij een aanzienlijke vergroting van de gemaalcapaciteit bij IJmuiden is het niet langer nodig om maalbeperkingen op te leggen, omdat de waterstanden op het ARK-NZK laag genoeg blijven. Gedurende 4 dagen is er sprake van een verhoogd waterpeil, maar met een maximale waterstand van NAP-0,30m is dit erg beperkt. Het IJ-front en het ARK-front hoeven bij die waterstand ook niet gesloten te worden.

Resultaten voor scenario 4, 5 en 6 voor het ARK-NZK

Scenario nummer	Scenario naam	Duur maalbeperking	Opgelegde maalbeperking	Duur verhoogde waterstand
1	200mm/48uur (Basisscenario)	7,5 dagen	20-30%	12,0 dagen
4	Grote spui	4,0 dagen	10-50%	12,0 dagen
5	24uur uitval gemaal IJmuiden	8,5 dagen	17-100%	13,0 dagen
6	Uitbreiding gemaal IJmuiden	--	--	4,0 dagen

3.2.3 ARK-NZK regio

Om het effect op de ARK-NZK regio in beeld te brengen is een directe vergelijking gemaakt met het basisscenario. De verschillen tussen de scenario’s tijdens de bui van 48 uur is maar beperkt, waardoor de verschillen in maximale inundatiediepte erg beperkt zijn. Wel zijn verschillen te zien in de duur van de maalbeperkingen en daarmee de duur van de overlast (de periode om weer terug te gaan naar streefpeil). Een rode kleur laat zien dat het peilgebied een langere periode een verhoogd waterpeil heeft, bij een groene kleur duurt het korter.

Grotere spui (Sc4)

De grotere spui heeft een wisselende impact op de polders die afvoeren richting het ARK-NZK, waarbij het bepalend is of de bewuste polders in de referentiesituatie (basisscenario) al een maalbeperking of maalstop opgelegd kregen of niet. Doordat er in het scenario met de grotere spui tijdens en direct na de bui grotere maalbeperkingen gelden richting het ARK-NZK, betekent dit dat diverse polders eerder een maalbeperking opgelegd krijgen en dat ook meer polders een maalbeperking opgelegd krijgen. Voor deze polders heeft dit scenario dus een negatief effect (rood in de figuur). De polders die in het basisscenario al een lange maalbeperking opgelegd krijgen, kunnen juist een positief effect ondervinden omdat de maalbeperkingen richting het ARK-NZK eerder stoppen.

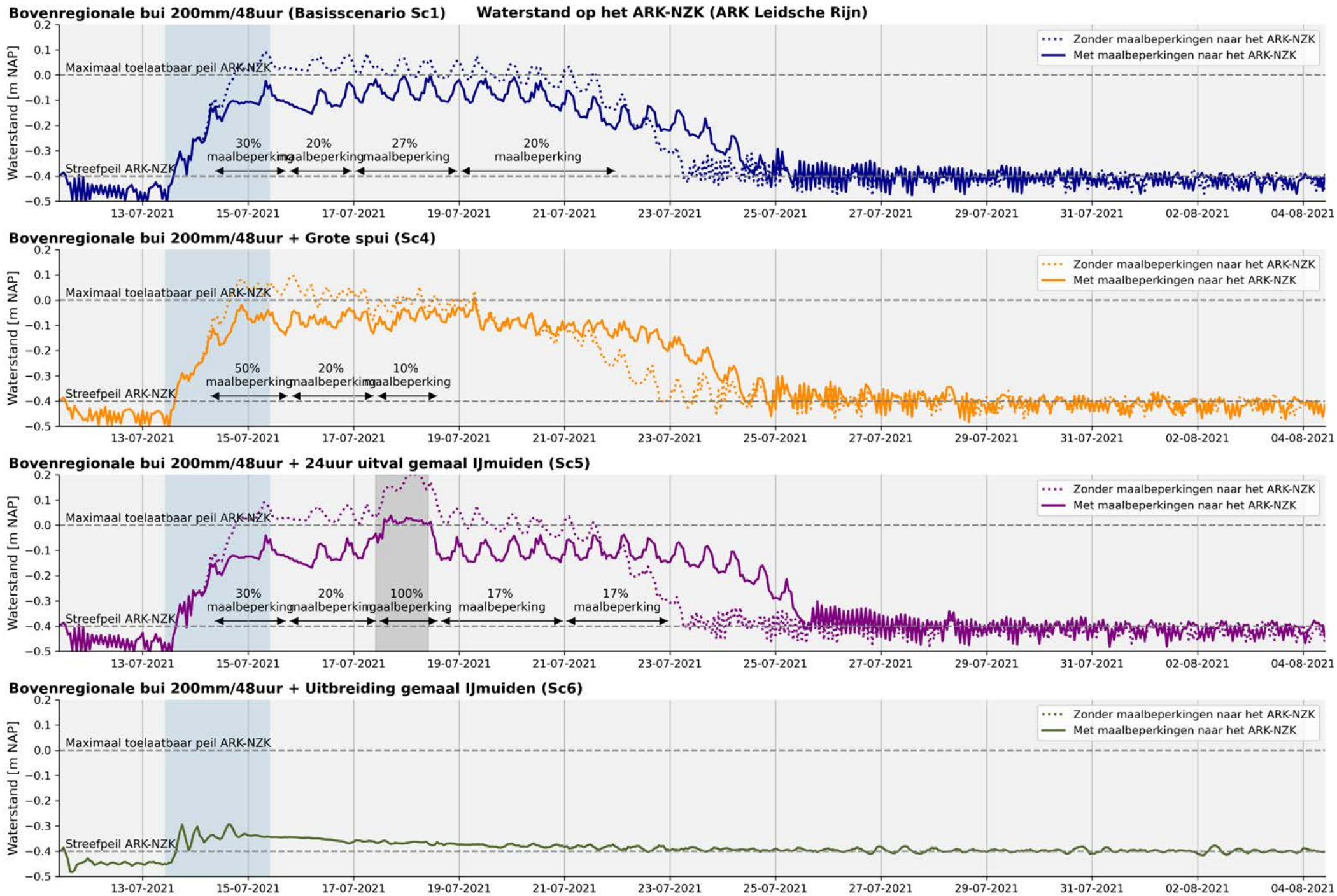
Vanwege voortschrijdend inzicht dat de afvoer via de spui in de berekeningen onderschat is, kan voor dit scenario geen duidelijke conclusie worden getrokken (zie kader in 3.1.1)

24 uur uitval gemalencomplex IJmuiden (Sc5)

Om te voorkomen dat de waterstand op het ARK-NZK te hoog wordt, worden bij het uitvallen van het gemalencomplex IJmuiden direct alle gemalen die afvoeren op het ARK-NZK stilgezet. In de figuur op de volgende pagina is te zien dat de 24 uur durende uitval doorwerkt naar de polders die via gemalen afvoeren richting het ARK-NZK. Voor HDSR en AGV betekent dit dat een aantal polders een dag langer een maalbeperking krijgen. Voor HHNK geldt hetzelfde voor enkele polders, doordat andere gemalen wel kunnen afvoeren is er voor een deel van de polders een kortere maalstop nodig. Voor Rijnland heeft het in deze doorrekening geen gevolgen, omdat het moment van uitvallen gelijk valt met een algehele maalstop naar de Rijnlandse boezem die nodig is voor het functioneren van de Rijnlandse boezem. Als het gemaal IJmuiden eerder of later uitvalt, dan heeft het wel gevolgen.

Om te voorkomen dat de waterstand op het ARK-NZK te hoog wordt, worden bij het uitvallen van het gemalencomplex IJmuiden direct alle gemalen die afvoeren op het ARK-NZK stilgezet.

De 24 uur durende uitval werkt door naar de polders die via gemalen afvoeren richting het ARK-NZK. Voor HDSR en AGV betekent dit dat een aantal polders een dag langer een maalbeperking opgelegd krijgen en daarmee langer een verhoogd peil hebben. Voor HHNK geldt hetzelfde voor enkele polders, maar omdat er geen maalbeperkingen gelden voor Helsdeur en naar het Markermeer, is de extra maalstop korter dan 24 uur.

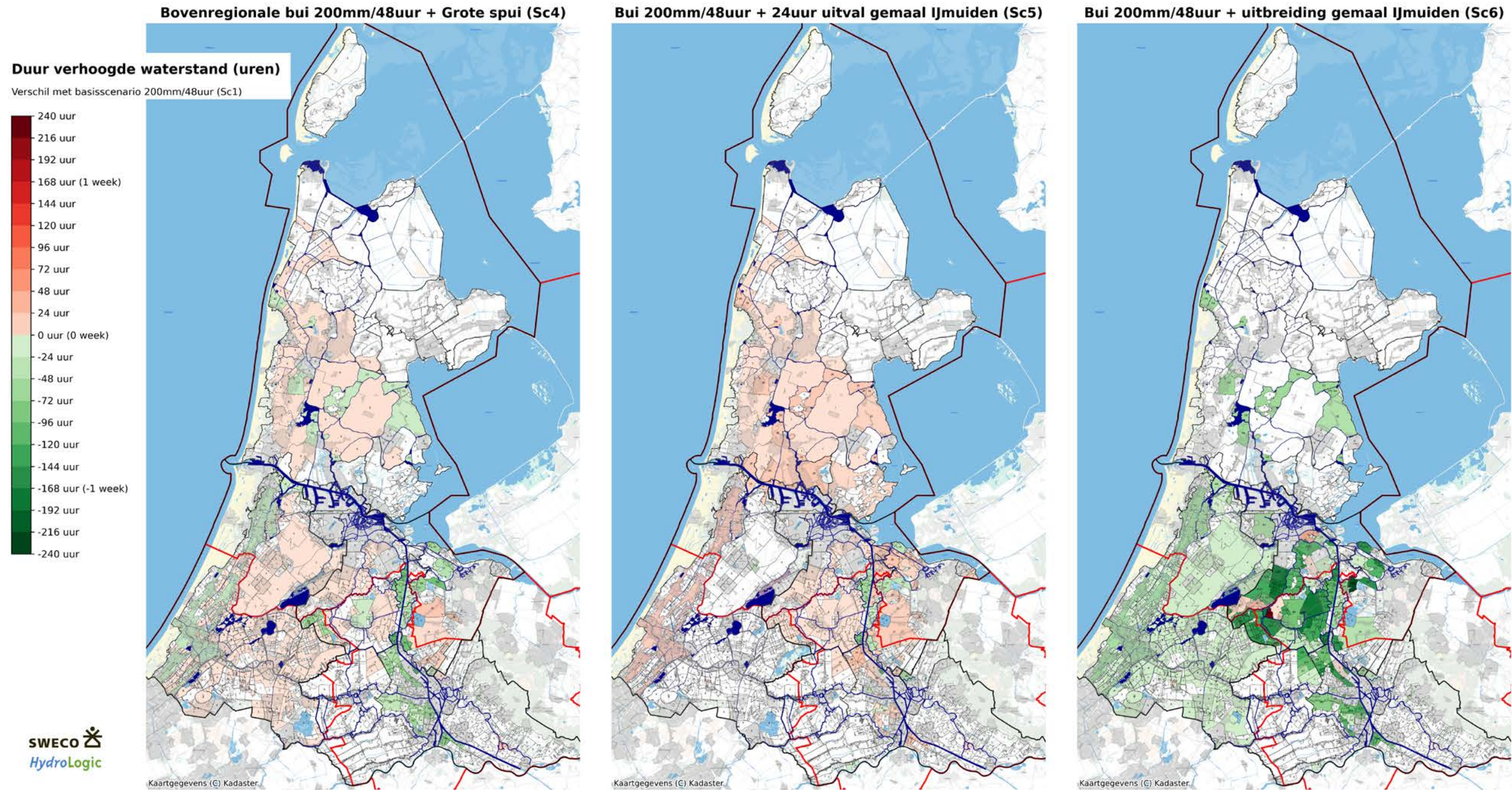


Voor Rijnland heeft het in deze doorrekening geen gevolgen, omdat het moment van uitvallen gelijk valt met een algehele maalstop naar de Rijnlandse boezem, die nodig is voor het functioneren van de Rijnlandse boezem. Als het gemaal IJmuiden eerder of later uitvalt, dan heeft het wel gevolgen.

De timing van de uitval is erg bepalend voor de impact. In dit scenario vindt de 24 uur uitval plaats 48 uur na het einde van de bui. Hierdoor heeft de uitval geen invloed op wat er tijdens de bui gebeurt en daarmee ook niet op de maximale waterdiepte. Alleen op de duur van de wateroverlast (de periode dat nodig is om de polders weer op streefpeil te krijgen) heeft het impact.

Vergroting gemaalcapaciteit IJmuiden

Substantiële uitbreiding van de gemaalcapaciteit bij IJmuiden zorgt ervoor dat er geen maalbeperkingen gaan gelden richting het ARK-NZK. Ook blijven de fronten (IJ-front en ARK-front) geopend, waardoor de Amstel in open verbinding blijft met het NZK. Doordat er geen maalbeperkingen zijn op het ARK-NZK kunnen de waterschappen meer water uit hun beheergebieden afvoeren. Hierdoor is er (veel) korter sprake van een verhoogd waterpeil. Vooral de Amstelboezem en de polders langs de Vecht hebben hier profijt van, maar ook bij de polders bij HDSR die afvoeren richting het ARK-NZK (o.a. bij Leidsche Rijn).



3.3 Invloed op stedelijk gebied

3.3.1 Introductie

In de ARK-NZK regio bevindt zich een groot deel van de Randstad met in totaal 4.650.000 inwoners. Door flinke stijging van de waterpeilen binnen de polders en op de boezemsystemen, kunnen laaggelegen bebouwde gebieden onderlopen. Dit levert al een totaal ander inundatiebeeld op dan wat uit de normale stresstesten volgt.

Daarbovenop komt dat de riolering problemen kan ondervinden: riooloverstorten kunnen ‘verdrinken’, waarbij het water het rioolstelsel instroomt en vervolgens afvoer via dit stelsel belemmert wordt of waarbij het rioolwater op de laagste plekken zelfs vanuit het riool door de rioolputten het maaiveld of de straat op stroomt.

Doordat de waterpeilen juist bij deze buien langdurig hoog blijven, kan dit in het stedelijk gebied resulteren in langdurige wateroverlast. Dit heeft invloed op de bereikbaarheid, maar kan ook leiden tot schades aan gebouwen, funderingen, wegfunderingen of objecten langs de weg.

3.3.2 Kwetsbaar stedelijk gebied

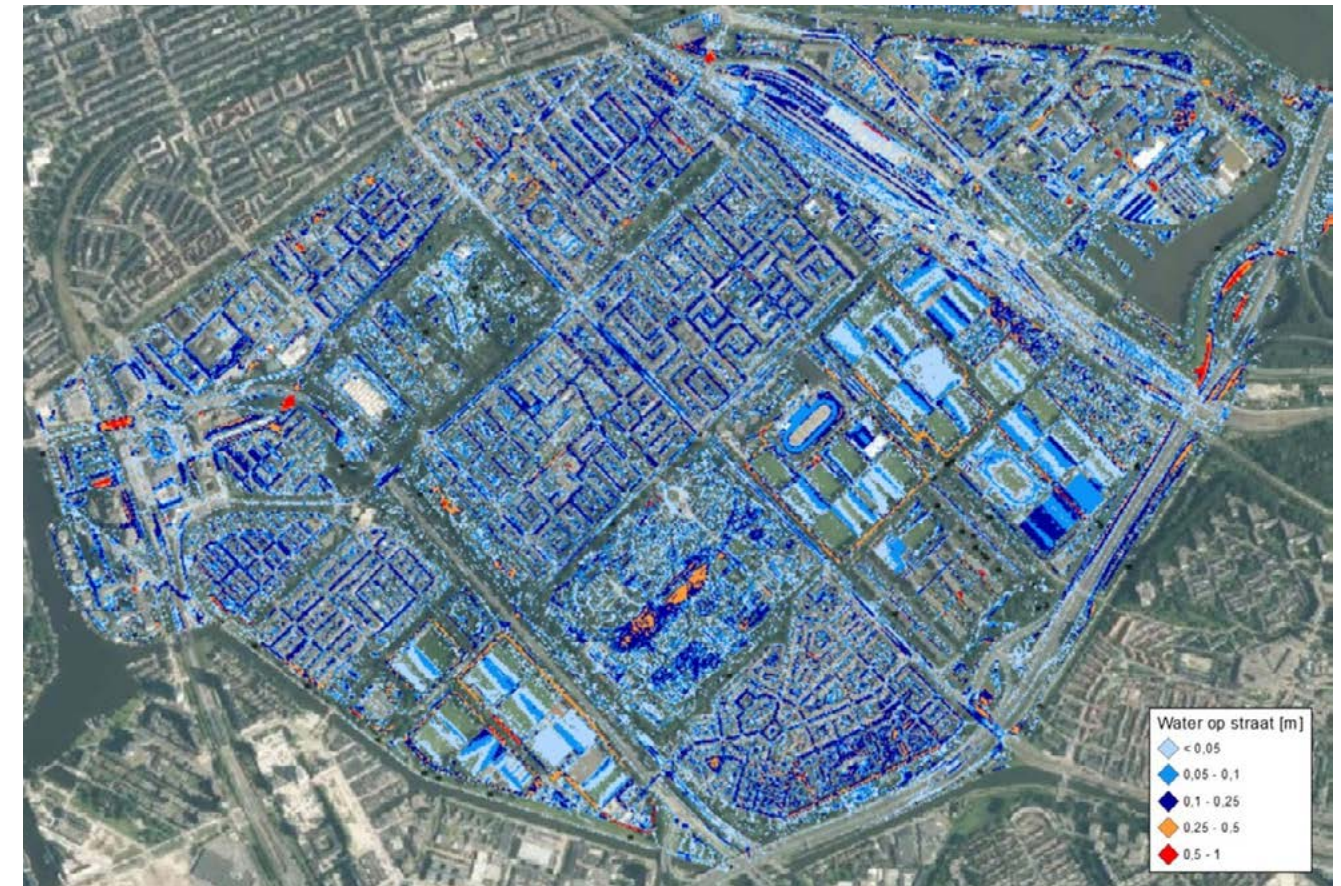
De waterbeelden die volgen uit de modellering van de waterschappen laten zien welke stedelijke gebieden kwetsbaar zijn bij de verschillende scenario's. De verwachting is echter dat grootschalige wateroverlast op meer plekken kan optreden. Door de wijze van modelleren is het niet in beeld als water via een rioolstelsel of over maaiveld afstroomt naar een andere plek, waarbij overlast kan geven. In hellend gebied kan afstroming over maaiveld zorgen voor wateroverlast. Dit is niet zichtbaar in de waterbeelden. Vooral op de flanken van de Utrechtse Heuvelrug kan dit ervoor zorgen dat er op andere locaties wateroverlast optreedt.

3.3.3 Invloed op stedelijk gebied: nadere analyse

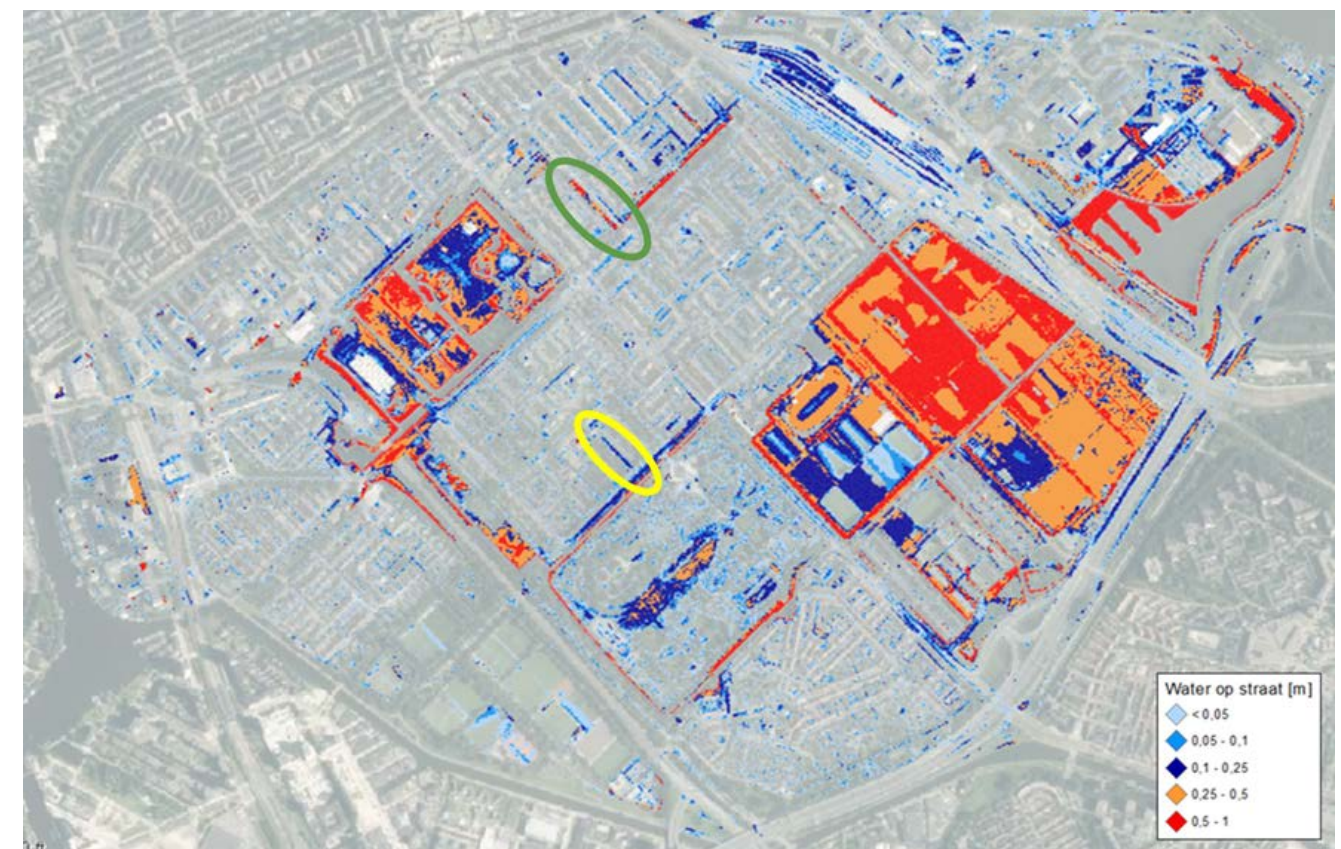
Met de doorgaans gedetailleerdere stedelijke modellen is de invloed op het stedelijk gebied beter uit te werken. De waterstanden bij de verschillende scenario's zijn berekend binnen deze studie kunnen als input worden gebruikt voor het stedelijk model. Vervolgens kan de bui die in het scenario wordt gebruikt voor het stedelijk model worden gebruikt.

Eén polder, de Watergraafsmeer, in de gemeente Amsterdam is als test op deze manier doorgerekend. Hier werd zichtbaar dat ten opzichte van de gangbare toetsbuien voor het stedelijk gebied (kortdurende hevige buien) er op veel locaties geen overlast meer is omdat het water eenvoudig kan wegstromen, maar dat rondom het oppervlaktewater en de lage delen van polder er erg hoge waterstanden optreden met flinke overlast tot gevolg. Het aantal locaties waar overlast optreedt ligt lager, maar de waterstand en daarmee overlast op die locaties is wel hoger en houdt wel (veel) langer aan.

Op de locaties waar op basis van de waterbeelden of op basis van gebiedskennis het vermoeden bestaat dat er wateroverlast kan ontstaan, is het aan te raden met een meer gedetailleerd model na te gaan of er meer problemen ontstaan.



Resultaat stresstest wateroverlast bij een bui van 70mm/uur (InfoWorks ICM door Waternet)



Resultaat doorrekening wateroverlast bij een bui van 200mm/ 48uur met randvoorwaarden oppervlaktewater op basis van SOBEK modellering (InfoWorks ICM door Waternet)

4. CONCLUSIES

4.1 Conclusies

Het is goed om te benadrukken dat het de eerste keer is dat scenario's op deze schaal volledig zijn doorgerekend. Hierbij is gebruik gemaakt van de meest actuele modellen voor deze complete regio die in bijna alle gevallen specifiek voor dit project nog zijn verbeterd om een beter regiobreed beeld te genereren.

Voor het eerst is het complete systeem en de interacties tussen deze deelsystemen onderling en tussen deze deelsystemen en het hoofdwatersysteem doorgerekend. Ook de maalbeperkingen richting het ARK-NZK zijn hierin meegenomen voor de drie extreme buien. Aangezien dit in de praktijk nog niet is voorgekomen, levert dit vele waardevolle inzichten op in welke afvoercapaciteit het systeem heeft, waar mogelijke knelpunten zitten, hoelang er sprake is van wateroverlast en wat er voor nodig is om het overvloedige water zo snel mogelijk af te voeren.

De resulterende waterbeelden voor deze bovenregionale stresstest bieden waardevolle inzichten in de gevolgen van extreme neerslag voor het hoofdwatersysteem en stedelijk gebied binnen de ARK-NZK-regio. De resulterende waterbeelden kunnen gebruikt in vervolgstudies naar gevolgen, herstel en uiteindelijk de risicodialoog. De resultaten zijn vooral bruikbaar op (boven)regionaal schaalniveau. Voor lokale toepassingen, bijvoorbeeld op straat- of gebouwniveau, is mogelijk verdere uitwerking of detailanalyse nodig.

De analyses rondom de afvoercapaciteit van het spui- en gemaalcomplex IJmuiden laten vooral zien dat dit complex een sleutelrol vervult voor het gehele watersysteem. Uitbreiding van de afvoercapaciteit kan veel invloed hebben op de maalbeperkingen en daarmee de overlastduur flink beperken. Echter is dit wel erg afhankelijk van de situatie en omstandigheden.

4.2 Aandachtspunten

4.2.1 Kwaliteit waterbeelden

Deze studie heeft gebruik gemaakt van de uitkomsten van de rekenmodellen van de waterbeheerders. Iedere waterbeheerder heeft hierbij gebruik gemaakt van het meest actuele modelinstrumentarium waarmee het gehele beheersgebied gemodelleerd kan worden. Voor het hoofdwatersysteem van het ARK-NZK is gerekend met een actueel systeemmodel van AGV. Voor deze studie hebben de waterbeheerders hun eigen modellen verbeterd en uitgebreid, maar er heeft geen uitgebreide kalibratie en validatie plaatsgevonden.

Deze rekenmodellen zijn goed bruikbaar om een algemeen waterbeeld te genereren over het hele ARK/NZK watersysteem en per polder. Maar op detailniveau (lees huis/wijk/gemaal niveau) zijn de waterbeelden niet geschikt. Dit komt voornamelijk doordat de modellen zijn gebaseerd op databases met tienduizenden gegevens en waardes welke onjuistheden kunnen bevatten die alleen bij een gedetailleerde analyse (validatie) eruit gehaald kunnen worden. De waterschappen hebben voor veel deelgebieden gedetailleerdere modellen die beter gevalideerd zijn en die gebruikt worden bij toetsingen en gebiedsinrichting.

Alle rekenmodellen zijn geschikt om hydrodynamische berekeningen uit te voeren en waterstanden, inundaties en afvoeren af te leiden, maar er zijn ook verschillen tussen de modellen van de waterschappen.

4.2.2 Uitgangspunten die resultaten beïnvloeden

Er zijn een aantal uitgangspunten die flink invloed hebben op de resultaten: deze hebben betrekking op de startsituatie (initiële condities), het functioneren van het systeem en de randvoorwaarden op het buitenwater of in het hoofdwatersysteem. Hieronder volgt een opsomming:

- **Watersysteem functioneert zoals het hoort**

In deze studie is uitgegaan van optimale omstandigheden zoals een goede voorbereiding op de naderende bui, goede afstemming tussen de waterbeheerders en een goed werkende techniek om het watersysteem mee aan te sturen. In de werkelijkheid is het waarschijnlijk dat niet alles optimaal verloopt, bijvoorbeeld dat er ergens te laat actie wordt ondernomen omdat men onderbemand is, dat er poldergemalen (tijdelijk) uitvallen, etc.

- **Geen uitval van vitale functies zoals gemalen, spuisluizen en stuwen**

De modelresultaten laten zien dat de waterstanden van het oppervlaktewater hoger kunnen komen dan waarmee rekening gehouden is in ontwerpen waardoor ook werken als polder- en boezemgemalen, spuisluizen en stuwen (of de bijbehorende elektriciteitsvoorziening) mogelijk uitvallen. Met vele honderden gemalen die dagenlang of wekenlang maximaal gaan malen is (tijdelijke) uitval van gemalen wel te verwachten, maar is het niet eenvoudig daar een schatting van te maken over aantallen en locaties. Er is voor de analyses in deze studies vanuit gegaan dat alles blijft functioneren en de gemalen op maximale capaciteit kunnen (blijven) pompen.

- **Geen doorbraak van keringen of overslag van keringen**

De langdurig hoge waterstanden op de boezems of het ARK-NZK kunnen gevolgen hebben voor de stabiliteit van de keringen, maar er is vanuit gegaan dat er geen doorbraken komen. Alleen de polders/gebieden die zijn aangewezen en ingericht als noodoverloopgebied (polder Ronde Hoep) en noodwaterberging lopen vanuit de boezems (gecontroleerd) vol. Vooral bij de bui met 300mm in 48 uur kunnen waterstanden op de boezems of belangrijke watergangen sterk stijgen. De boezem van Rijnland met veel boezemland laat dit zien waarbij het maalstoppeil flink overschreden wordt. Ook op de Kromme Rijn en bij Utrecht stijgt het waterpeil flink met mogelijk wateroverlast.

- **Geen extra noodmaatregelen meegenomen**

De waterschappen beschikken over noodpompen en uit ervaringen blijkt verder dat agrariërs massaal hun eigen pompen kunnen inzetten (zie evaluatie wateroverlast bestrijding juni 2021 van HHNK). Inzet van noodpompen kan een verschil maken voor een deel van de polders of specifieke gebieden als daar op gefocust wordt. Daarmee kan vooral de overlastduur erg ingekort worden.

Omdat de overlast zo grootschalig is en bij de inzet van noodmaatregelen diverse factoren en vooral ook keuzes een rol spelen, is dit niet meegenomen. Belangrijk is wel om te beseffen dat zowel de boezems als het hoofdwatersysteem al overbelast zijn en maximaal afvoeren, dus lokaal meer pompcapaciteit inzetten kan leiden tot meer maalbeperkingen op andere locaties.

Het inzetten van andere maatregelen zoals bijvoorbeeld mobiele keringen is lokaal maatwerk en is niet meegenomen, ondanks dat deze schade flink kunnen beperken of zelfs voorkomen. Hier kan in vervolgstudies naar de gevolgen en maatregelen op lokale schaal naar gekeken worden.

- **Startcondities bij de bui (48 uur voor de bui): natte zomersituatie**

De startcondities van het water- en bodemsysteem bepalen hoeveel water er geborgen kan worden zonder dat er sprake is van inundatie.

De bovenregionale neerslaggebeurtenis zoals in juli 2021 kan alleen plaatsvinden in de zomer. Bij het watersysteem wordt dus uitgegaan van zomerstreefpeilen als startpeil. Hierbij is de verwachting dat de waterschappen en Rijkswaterstaat op basis van voorspellingen 48 uur van te voren voorzorgsmaatregelen gaan nemen zoals voormalen. In hoeverre dit mogelijk is, is per waterschap of deelgebied verschillend.

Voor het bodemsysteem wordt uitgegaan van een startsituatie waarbij de grondwaterstand gelijk is aan het zomerstreefpeil of de gemiddelde voorjaars-grondwaterstand (GVG). Voor de zomer is dit vergelijkbaar met een natte voorgeschiedenis. Een droge voorgeschiedenis (lagere grondwaterstand) of een erg natte voorgeschiedenis (extreem hoge grondwaterstand op de zandgronden zoals na 2023-2024) kunnen een ander eindbeeld opleveren.

- **Geen maalbeperking richting buitenwater zoals Markermeer, IJsselmeer, Hollandsche IJssel en Lek**

In de analyses en modelsimulaties voor dit project is vooral gekeken naar maalbeperkingen richting het ARK-NZK en de beperkingen die het spui- en gemaalcomplex IJmuiden meebrengen.

Voor de andere afvoerrichtingen is het uitgangspunt geweest dat er geen maalbeperkingen worden opgelegd. Vooral bij afvoer richting de andere meren (Markermeer en IJsselmeer) en de rivieren (Hollandsche IJssel en Lek) is er een kans dat er ook maalbeperkingen gaan gelden met mogelijk grotere gevolgen voor deze regio.

Maalbeperkingen richting het Markermeer hebben direct grote impact op de Amstelboezem en de Schermerboezem. Een korte analyse voor het Markermeer laat zien dat de kans op erg hoge waterstanden op het Markermeer enkel bestaat als ook naastgelegen regio's worden geraakt en de afvoermogelijkheden via het IJsselmeer/Afsluitdijk erg beperkt worden.

- **Gelijke verdeling maalbeperkingen richting ARK-NZK**

Per scenario is inzichtelijk gemaakt hoe groot de maalbeperkingen moeten worden richting het ARK-NZK en hoe lang deze moeten aanhouden. Deze maalbeperkingen zijn gelijkmatig verdeeld over de polder- en boezemgemalen die naar het ARK-NZK malen. Een aanpassing van de verdeling van maalbeperkingen kan veel invloed hebben op de wateroverlast en de daaruit volgende schade.

- **Buikarakteristieken (verdeling ruimtelijk en over de tijd)**

In deze studie is uitgegaan van een bui van 48 uur met een bepaalde verdeling over de tijd, waarbij dit buivolume uniform over het gehele gebied valt. In de praktijk zal een dergelijke bui niet uniform ruimtelijk verdeeld zijn en kan de duur/vorm ook erg verschillend zijn (zie ook juli 2021 in België/ Duitsland/Limburg).

- **Afvoercapaciteit Spui- en Gemaalcomplex IJmuiden**

Tijdens deze studie is uitgegaan van de gegevens en modellen die eind 2024 beschikbaar waren. Nieuw inzichten en gegevens laten zien dat de afvoercapaciteit van dit complex mogelijk onderschat is voor de perioden van laagwater. Aangezien de totale afvoercapaciteit van dit complex een sleutelrol speelt nu en vooral in de toekomst, is dit een belangrijk aandachtspunt. Dit is van belang voor de resultaten van scenario 1-5.

In scenario 6 wordt het spui- en gemaalcomplex IJmuiden vervangen door een gemaal met vergrote maalcapaciteit. Resultaten laten zien dat zelfs bij deze extreme bovenregionale neerslaggebeurtenis de waterstanden op het ARK-NZK onder controle blijven en niet te hoog worden. Maalstops naar het hoofdwatersysteem hoeven daardoor niet opgelegd te worden en ook het IJfront en ARK-front kunnen open blijven.

4.3 Aanbevelingen

4.3.1 Communicatie

Zorg voor een goede communicatie van de resultaten. Hierin is het belangrijk om een goede balans te vinden tussen de grootschalige en (mogelijk) extreme wateroverlast die veroorzaakt wordt als gevolg van deze bovenregionale neerslaggebeurtenis en de kleine kans van voorkomen en de onzekerheden die horen bij deze complexe modelstudie.

Van belang is het om de nuttige en leerzame resultaten die uit deze studie(s) voortkomen te delen en op de juiste manier te interpreteren en toe te passen, zeker ook in de vervolgstudies naar gevolgen en mogelijke maatregelen.

4.3.2 Gebruik resultaten voor een (boven)regionaal beeld

Het is van belang te beseffen dat de resultaten van deze bovenregionale stresstest vooral gebruikt dienen te worden voor een bovenregionaal en regionaal beeld van de gevolgen van deze buien.

Op lokaal niveau (denk aan het niveau van wijk/straat/huis) kunnen resultaten afwijken van wat werkelijk zal gebeuren. De modellen zijn wel gekalibreerd en gevalideerd, maar op regionaal niveau. De uitgangspunten zijn weloverwogen gekozen, maar kunnen een grote impact hebben op de resultaten. Voor de verdere vertaling van deze beelden naar gevolgen en bij het inventariseren van maatregelen voor de risicodialoog dient men hier ook rekening mee te houden.

Bij ieder waterschap of zelfs deelgebied hoort ook een verhaal inclusief de uitgangspunten en aannames die naast de resultaten gehouden moeten worden. Dit rapport geeft hierbij een algemene

indicatie. Voor de juiste interpretatie van de resultaten van ieder deelgebied, wordt verwezen naar de waterschappen zelf die hun beheergebied het beste kennen. Zij kunnen ook de verbinding leggen met de resultaten van andere stresstesten, bestaande en bekende knelpunten en lopende projecten en programma's.

Om een gedetailleerder beeld te krijgen, kan het nuttig zijn om voor (deel)gebieden een nadere analyse te maken. Vooral voor stedelijke gebieden kan een detailanalyse (gedetailleerdere modellering) van belang zijn om de gevolgen beter in kaart te hebben. Het is afhankelijk van de locatie en kenmerken van het stedelijk gebied en watersysteem, maar het lijkt aan te raden om de riolering in deze analyse mee te nemen. De resultaten van deze bovenregionale stresstest kunnen wel als randvoorwaarde gebruikt worden voor de detailanalyses.

4.3.3 Samenwerking betrokken partijen - Een goede basis voor verdere bovenregionale modelstudies

Voor de vier waterschappen en het hoofdwatersysteem liggen nu sterk verbeterde rekenmodellen klaar waarmee de complete regio is doorgerkend. Het is mogelijk gebleken die te koppelen en de voorziene resultaten te behalen.

Deze studie heeft juist de overeenkomsten en verschillen laten zien in de wijze waarop de rekenmodellen zijn ontwikkeld en zijn gebruikt en ook waar de resultaten in verschillen. Ook is gebleken dat het ondanks de verschillen wel mogelijk is keuzes te maken.

Er is samen met de betrokken partijen (provincies, Rijkswaterstaat, waterschappen en betrokken gemeenten) veel aandacht besteed aan:

1. het opzetten van de modellen door de waterschappen zelf voor hun eigen beheergebieden en het doorrekenen van de scenario's;
2. het opzetten van het systeemmodel voor het ARK-NZK en het koppelen van de resultaten van de modellen van de vier waterschappen;
3. het nogmaals doorrekenen van de scenario's door de waterschappen inclusief de met het systeemmodel bepaalde maalbepalingen richting het ARK-NZK;
4. het definiëren van de scenario's en uitgangspunten;
5. het analyseren en bespreken van de resultaten.

Omdat dit traject nu geheel en goed is doorlopen is het ook mogelijk om de gehele analyse vaker uit te voeren en bijvoorbeeld extra scenario's door te rekenen en de impact te bepalen van aanpassingen aan het systeem en randvoorwaarden of andere keuzes in aansturing/controle.

Voor verdere gevoeligheidsstudies is het aan te raden om dieper in te gaan op de belangrijkste uitgangspunten die in paragraaf 4.1.2 zijn benoemd. Belangrijkste onderzoeksthema's lijken hierbij:

- Afvoercapaciteit Spui- en Gemaalcomplex IJmuiden;
- Verdeling maalbepalingen richting ARK-NZK;
- Buikarakteristieken: verdeling over de tijd en vooral ruimtelijke verdeling;
- Extra maalbepalingen naar andere delen van het hoofdwatersysteem;
- Amstelboezem inclusief sluiten fronten en gemaal Zeeburg (omdat hier de grootste winst lijkt te behalen).

REFERENTIES

Referenties

Scoping studie Bovenregionale stresstest wateroverlast ARK-NZK 2024

Bruijn, K. de, Juch, S. (2024). Bovenregionale stresstest grootschalige wateroverlast - Scoping studie voor het afwateringsgebied van het Amsterdam-Rijnkanaal – Noordzeekanaal. Deltares.

Handreiking bovenregionale stresstesten wateroverlast 2024

De Vries, L., Honingh, D., Klopstra, D., de Graaff, R. (2024). Handreiking bovenregionale stresstesten wateroverlast. In opdracht van het ministerie van Infrastructuur en Waterstaat.

Stowa 2024

Praatplaat ‘Welke Neerslaginformatie is er beschikbaar?’

Methode bovenregionale stresstesten 2023

Bruijn, K. de, Maas, B. (2023). Methode voor bovenregionale stresstesten voor grootschalige neerslag ten behoeve van een landelijk uniform beeld. Deltares

NKWK 2023

Honingh, D., Kolen, B., Strijker, B., Lugt, D., Caspers, J., Kind, J., Nomden, H., Niet, J. de, Suijkens, S., Tillaart, S., van den, Kouwen, M. van, Damen, C. (2024). NKWK Werkpakket Wateroverlast en overstroming. Methodiek voor een kwantitatieve risicodialoog en het opstellen van een bibliotheek met kritieke uitvalwaarden inclusief voorbeelden van beschermingsmogelijkheden van vitale infra.

NKWK 2022

Kolen, B., Strijker, B., Honingh, D., Lugt, D., Hoogvliet, M., Dolman, N., Nomden, H., Swinkels, R., Hulsman, R., Tillaart, S., Kind, J. (2022). NKWK Werkpakket Wateroverlast en overstroming 2022. Methodiek voor uitwerken bovenregionale extreme neerslagsscenario’s als input voor stresstesten, ruimtelijke ordening, crisisbeheersing en risico analyse.

Case studie Zuid-Holland 2022

Bruijn, K. de, Slager, K, Juch, S. (2022). Case studie Zuid-Holland: ‘Analyse grootschalige wateroverlast’. Deltares

BIJLAGEN

Bijlage A - Opzet modellering watersystemen

A.1 Algemene uitgangspunten modellering

Het nabootsen van een bovenregionale neerslaggebeurtenis met de verschillende modellen is heel complex, omdat allerlei componenten meespelen zoals voorspellingen en monitoring, crisiscommunicatie en bovenregionale besluitvorming, uitval van vitale objecten, keteneffecten, noodmaatregelen, etc. Het doel van deze studie is om beelden te genereren van hoe de situatie eruit kan komen te zien. Zodat men dit kan gebruiken voor het nemen van maatregelen of ter voorbereiding op hoe te reageren op een dergelijke neerslaggebeurtenis. Voor het genereren van die beelden is uitgegaan van diverse uitgangspunten die deels zijn voorgeschreven en deels zijn opgesteld samen met de betrokken partijen.

Buikarakteristieken

De neerslagverdeling over de 48uur is voorgeschreven en gebaseerd op de metingen van de gebeurtenissen op 13-15 juli 2021 in Limburg, België en Duitsland. De neerslagverdeling gepresenteerd in onderstaande grafiek wordt homogeen ruimtelijk verdeeld over de hele ARK-NZK regio.



De initiële condities van oppervlaktewater en bodem

De handreiking voor de bovenregionale stresstest geeft aan dat als startconditie voor berekeningen moet worden uitgegaan van natte zomer-condities. De initiële waterpeilen zijn daarom gelijk gesteld aan het zomerstreefpeil. Voor de grondwaterstand wordt bij HHNK, AGV en Rijnland uitgegaan van zomerstreefpeil, terwijl bij HDSR (veelal hoger afwaterend gebied) wordt uitgegaan van de gemiddelde voorjaars grondwaterstand (GVG). De GVG is ook vrij hoog voor de zomer.

Wind

De neerslaggebeurtenis waar vanuit wordt gegaan ontstaat vanuit een weersituatie die een “koudeput” wordt genoemd. De neerslag gaat daar samen met weinig wind waardoor de bui ook lang blijft hangen. Tijdens en direct rondom de bui wordt dus geen hevige wind verwacht.

Functioneren watersysteem

Uitgangspunt is dat het watersysteem functioneert zoals bedoeld. Dat betekent dat alle gemalen blijven functioneren; dat noodbergingen kunnen worden ingezet en dat er geen bressen ontstaan in de keringen.

Respons water- en crisisbeheerders:

Er wordt uitgegaan van bestaand protocol. Dit gaat onder andere over het voormalen door de waterschappen, de inzet van noodbergingen en overloopgebieden en maalstop of maalbeperkingen van polders naar boezems conform protocol.

Extra inzet van noodpompen wordt niet meegenomen, vooral omdat het de vraag is hoeveel daarvan tijdig kunnen worden ingezet en waar. Ook het mogelijk spuien via de scheepsluizen bij IJmuiden is niet meegenomen.

Maalbeperkingen naar ARK-NZK

Omdat er geen duidelijk protocol bestaat voor het opleggen van maalbeperkingen of een maalstop richting het ARK-NZK, is er besloten om de maalbeperkingen naar rato van de pompcapaciteit te verdelen over de waterschappen. Er is gekeken hoe groot de capaciteit is van de gemalen die naar het ARK-NZK malen en wat vervolgens het totaal volume is per waterschap. De maalbeperkingen worden vervolgens naar rato opgelegd aan de waterschappen, waarbij die waterschappen de mogelijkheid hebben die maalbeperking te verdelen over hun gemalen.

De modellen worden hierbij niet letterlijk gekoppeld. De modelresultaten van de waterschappen worden gebruikt als input voor het model van het hoofdwatersysteem. Als blijkt dat de waterschappen minder mogen afvoeren dan ze zouden willen, vindt er een terugkoppeling plaats. Dit gaat als volgt:

1. De waterschappen rekenen ieder met hun model door wat er gebeurt bij een bepaalde bui en bepalen hoeveel water er vanaf hun waterschap naar het ARK-NZK of de Amstel- en Vechtboezem afgevoerd wordt, zowel voor de bui, tijdens de bui als de weken na de bui.
2. Met het model van het hoofdwatersysteem wordt gesimuleerd hoe het aangevoerde watervolume naar het Markermeer of via IJmuiden naar zee gaat en welke waterstanden er op het hoofdwatersysteem gaan plaatsvinden. Er wordt bepaald gedurende welke periode bij Amsterdam de fronten (IJ-front en ARK-front) gesloten moeten worden en welke maalbeperkingen opgelegd moeten worden aan de gemalen om te voorkomen dat de waterstanden te hoog worden.
3. De maalbeperkingen gelden voor specifieke periodes en deze worden doorgegeven aan de waterschappen, zodat zij nogmaals een simulatie kunnen uitvoeren waarin de gemaalcapaciteit beperkt is over de gespecificeerde periodes. Dit betekent dat de waterschappen minder kunnen afvoeren via de boezems en dus langer water moeten vasthouden in hun eigen gebied.

A.2 Modelling hoofdwatersysteem en buitenwateren

A.2.1 Modelling ARK-NZK

Modelling van het hoofdwatersysteem ARK-NZK is uitgevoerd middels een eerder vervaardigd en voor deze studie verbeterd hydrodynamisch model (D-HYDRO 1D). Dit model is in beheer bij Waternet. Het model bevat:

- Spui- en gemaalcomplex IJmuiden inclusief spui-relaties, oude pompen en nieuwe pompen inclusief relaties die rekening houden met afvoerreductie bij stijgende opvoerhoogtes. In de sturing is ook meegenomen:
 - Er wordt vanuit gegaan dat alle zes pompen ingezet kunnen worden (ongeveer 260m³/s), dus dat als er een pomp in onderhoud is, dat deze op tijd teruggeplaatst kan worden. De maalcapaciteit is afhankelijk van de opvoerhoogte en bij hogere opvoerhoogte neemt deze af van 280 tot 230m³/s.
 - De geavanceerde RTC-sturing in het systeemmodel is gebaseerd op het model van het IWP van Rijkswaterstaat (Instrumentarium voor de Waterhuishouding van Peilgereguleerde Watersystemen).
 - Voor het verval over de zoutdam is 15cm aangehouden. Dat is 10cm door dichtheidsverschil en 5cm door weerstand. Dit is van invloed op zowel de spui als de opvoerhoogte van de gemalen.
 - Om een spui op te kunnen starten moet er een verval zijn van 24cm en de spui eindigt bij een verval van 20cm.
 - Het ARK-NZK is voor de bui voorgemalen tot een waterstand van NAP-0,45m.
- De Amstelboezem en de Vechtboezem zitten in het systeemmodel inclusief de sturing van het IJ-front, het ARK-front en de uitwisseling met het Markermeer via het gemaal Zeeburg. Ook de uitlaatpunten richting het Markermeer zijn opgenomen (alleen onder vrij verval).
- Alle gemalen en spuisluizen vanuit de vier waterschappen die afvoeren op het ARK-NZK of de Amstel- en Vechtboezem zijn op het model gezet als laterale instroompunten. De afstroming van gebieden langs het ARK-NZK die direct afwateren en de directe neerslag op het wateroppervlak van het ARK-NZK zijn opgenomen als laterale instroom of via neerslag-afvoer binnen D-HYDRO.

A.2.2 Modelling buitenwateren en overige delen hoofdwatersysteem

De waterstanden op het Markermeer, de rivieren (Lek en Hollandsche IJssel) en de buitenwaterstanden (Noordzee bij IJmuiden en Den Helder) worden in deze studie opgenomen als randvoorwaarde. Dit betekent dat vooraf de waterstand is ingeschat en die is gebruikt in de modellering.

Er is voor gekozen om uit te gaan van de condities die representatief waren tijdens de Limburg-bui in juli 2021. Rijkswaterstaat heeft metingen voor alle locaties op het hoofdwatersysteem en die zijn in de basis gebruikt als input voor de scenario's.

Noordzee en Waddenzee

Voor de waterstanden op zee (Katwijk, IJmuiden, Den Helder) is uitgegaan van de gemeten waterstanden tijdens en rondom de Limburg-bui van 13 tot 15 juli 2021. De zeewaterstanden zijn voor het basisscenario integraal verhoogd met 30cm, omdat de zeewaterstanden tijdens de Limburg-bui opvallend laag waren en dit een meer realistisch uitgangspunt lijkt.

Rivieren Lek en Hollandsche IJssel

Voor de rivieren de Hollandsche IJssel en de Lek is ook gerekend met de waterstanden tijdens en rondom de Limburg-bui. Hier is nog sprake van getijde. Er wordt vanuit gegaan dat de waterstand niet sterk beïnvloed wordt als gevolg van de bui.

Markermeer en IJsselmeer

Het Markermeer en het IJsselmeer hebben beiden een zomerstreefpeil van NAP -0,20m. Aangezien ervanuit wordt gegaan dat de bui ook valt op deze meren, stijgt het waterpeil gedurende die 48 uur ook met 15/20/30cm (afhankelijk van buivolume). Er wordt in deze studie vanuit gegaan dat de waterstand op het Markermeer daarna constant blijft.

Of de waterstand op het Markermeer constant blijft na de bui is echter niet zeker. Doordat de gemalen van AGV (Zeeburg), HHNK (Schardam, Monickendam, Westerkogge), Zuiderzeeland (De Blocq van Kuffeler, Wortman) lange tijd blijven malen en ook vanuit Vallei & Veluwe (vooral de rivier de Eem) er veel water wordt aangevoerd, kan de waterstand mogelijk gaan stijgen.

Afhankelijk van de buikarakteristieken (welke regio wordt geraakt) en de afvoermogelijkheden richting het IJsselmeer en door de Afsluitdijk kan de waterstand op het Markermeer doorstijgen. Een versimpelde waterbalans berekening laat zien dat dit maximaal kan resulteren in een waterstand van NAP+0,25m (bij een 150mm bui), NAP+0,40m (bij een 200mm bui in 48uur) of zelfs NAP+0,70m (bij 300mm in 48uur). In het waterakkoord van het ARK-NZK (2022) staat hier geen duidelijk protocol voor, alleen dat gezamenlijk een besluit wordt genomen over een eventuele maalstop op basis van waar de meeste wateroverlast kan ontstaan. Een algehele maalstop richting het Markermeer kan dan overwogen worden.

Ditzelfde geldt voor het IJsselmeer, waar vanuit HHNK en andere waterschappen naartoe wordt gemalen en waar bij een bovenregionale neerslaggebeurtenis ook vanuit de complete Drents-Overijsselse delta en de IJssel en Vecht een hoge afvoer mogelijk is.

A.3 Modelling beheergebieden waterschappen

A.3.1 Hoogheemraadschap de Stichtse Rijnlanden

Modelling van het gehele beheergebied is uitgevoerd middels een geohydrologisch model (MODFLOW+MetaSWAP) in combinatie met een oppervlaktewatermodel (D-HYDRO 1D). MODFLOW+MetaSWAP berekent hoeveel afvoer er per uur in het oppervlaktewatersysteem stroomt en D-HYDRO berekent de daaruitvolgende waterstanden en afvoeren waar sturing van stuwen en gemalen is meegenomen.

Maalstops en maalbepalingen (aftoeren) worden automatisch meegenomen door de poldergemalen, waarbij wordt gekeken naar het boezempeil op de Oude Rijn en de GHJ. Maalbepalingen richting het ARK en de Amstelboezem moeten wel opgelegd worden net als de waterstand op het ARK voor het vrij-afwaterende deel van het beheergebied.

A.3.2 Waterschap Amstel, Gooi en Vecht (AGV)

Modellering van de polders: in het beheersgebied is dit uitgevoerd middels een bakjes-model voor het oppervlaktewater met neerslag-afvoer (SOBEK RR) die op basis van de neerslag berekent hoeveel afvoer er per uur in het oppervlaktewatersysteem stroomt en ook de waterstanden en afvoeren inclusief sturing van de gemalen tussen de polders en de boezems. De maximale waterstanden worden vertaald naar een inundatievlak.

Modellering van de boezems: Omdat zowel de Amstelboezem als de Vecht-boezem in open verbinding staan met het ARK-NZK, zijn deze boezems geïntegreerd in het model van het hoofdwatersysteem (D-HYDRO 1D). De sturing van het IJ-front en het ARK-front en het gemaal Zeeburg is ook meegenomen net als de overige uitstroompunten in het ARK-NZK of richting het Markermeer.

A.3.3 Hoogheemraadschap van Rijnland (HHR)

Modellering van het gehele beheersgebied is uitgevoerd middels een oppervlaktewatermodel (D-HYDRO 1D) dat de waterstanden en afvoeren voor zowel de boezem als alle peilgebieden in de polders berekent. Neerslag-afvoer modellering vindt plaats door koppeling met RR-module. Sturing van alle gemalen wordt meegenomen inclusief maalstop voor de poldergemalen als de boezem te hoog wordt. De maximale waterstanden worden vertaald naar een inundatievlak.

A.3.4 Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier (HHNK)

Modellering van de polders: Ten behoeve van het inundatiebeeld is modellering van de polders in het beheersgebied van HHNK uitgevoerd met de software 3Di op een subgrid resolutie van 0.5x0.5m. Het 2D model is gekoppeld aan een 1D waterlopenmodel. Door de polders in 2D te modelleren wordt zowel berging op maaiveld meegenomen als maaiveldafstroming. Er zit echter geen grondwaterstroming in (wel infiltratie en bodemberging). De modellen zijn per polder(cluster) opgezet en leveren de inundatiediepte.

Modellering van de boezems: Voor de boezems wordt gerekend met een waterbalans-model in Excel. De afvoeren vanuit de polders worden berekend met gekalibreerde Walrus-modellen per polder die de neerslag omrekenen naar afvoer. Het boezemmodel berekent het boezempeil de afvoer naar de boezemgemalen en in hoeverre de poldergemalen mogen afvoeren. De afvoeren van de RWZI's worden ook meegenomen. Aan de hand van de resultaten van dit model wordt ook per polder bepaald hoe lang de maalstop is en de overlastduur (periode dat het gemaal maximaal draait).

A.4 Modellering stedelijk gebied Amsterdam

Er is een deel van het stedelijk gebied van Amsterdam doorgerekend. Dit is gedaan met InfoWorks ICM met randvoorwaarden uit de modellering van AGV. Voor de modellering van het stedelijk gebied worden de door het waterschap AGV berekende waterstanden op het oppervlaktewater als randvoorwaarde opgelegd. Hierbij gaat het om zowel de waterstanden in het open water van de polders als de berekende waterstand in de boezems of zelfs het hoofdwatersysteem.

A.5 Modellentrein biedt kansen voor vervolgstudies

In de studie is veel aandacht besteed aan:

- het opzetten van de modellen door de waterschappen zelf voor hun eigen beheergebieden en het doorrekenen van de scenario's;
- het opzetten van het systeemmodel voor het ARK-NZK en het koppelen van de resultaten van de modellen van de waterschappen;
- het samen met alle partijen definiëren van de scenario's en uitgangspunten;
- het samen met betrokken partijen het analyseren en bespreken van de resultaten.

Omdat dit traject nu geheel is doorlopen is het ook mogelijk om samen de gehele analyse vaker uit te voeren en bijvoorbeeld extra scenario's door te rekenen en daarvan de impact te bepalen van aanpassingen aan het systeem of de gevolgen binnen de verschillende beheergebieden. Hieronder wordt een aanzet gedaan voor mogelijke verkenningen.

• Afvoercapaciteit spui- en gemaalcomplex IJmuiden

Er wordt aanbevolen om een nadere analyse uit te voeren naar de frequentie en omvang van gunstige spuimomenten en de relatie tot de gemaalcapaciteit van het gemaalcomplex.

Daarmee kan in kaart worden gebracht hoeveel extra water in deze perioden kan worden gespuid ten opzichte van een situatie waarin geen spui Mogelijkheid aanwezig is en hoe zich dat verhoudt tot beperktere afvoermogelijkheden via het gemaal. Na de realisatie van de zoutdam ontonden er de nodige onzekerheden, zeker in relatie tot het onderzoek naar uitbreiding van het gemaalcomplex.

• Verdeling maalbeperkingen richting ARK-NZK

In de huidige aanpak worden de maalstops of maalbeperkingen gelijkmatig verdeeld over de waterschappen, door de capaciteit van alle gemalen die naar het ARK-NZK malen te beperken. De totale afvoerbeperking naar het ARK-NZK moet hierbij genoeg zijn om de waterstand op het ARK-NZK onder een bepaald niveau te houden.

Door strategisch te variëren in de mate van beperking per gemaal, kan mogelijk efficiënter worden gestuurd op het beperken van de wateroverlast en kan schade worden voorkomen. Door na te gaan welke polders (of waterschappen) het meeste of juist minste overlast ondervinden kan men keuzes rondom het verdelen van de afvoerbeperkingen beter onderbouwen. Denk hierbij ook aan het aanwijzen van polders die als noodoverloopgebied aan te wijzen zijn tijdens dit soort neerslaggebeurtenissen of calamiteiten.

• Amstelboezem: sluiten fronten en gemaal Zeeburg

Ook wordt aanbevolen om met het ontwikkelde modelinstrumentarium het effect van uitbreiding van gemaal Zeeburg en het moment van sluiten van de fronten te onderzoeken. In het scenario van 300 mm is te zien dat op de Amstelboezem de duur van de afvoerbeperkingen significant langer is dan voor de overige gemalen. Er wordt aanbevolen om het effect van uitbreiding van de gemaalcapaciteit van gemaal Zeeburg in beeld te brengen en de effecten van het eerder openen van de fronten, zodat het water ook gedeeltelijk via IJmuiden afgevoerd kan worden.

- **Buikarakteristieken**

Een verdere analyse van de verdeling van afvoerbeperingen is mogelijk te combineren met het variëren van de buikarakteristieken.

Om inzicht te krijgen in handelingsperspectieven als de bui niet gelijkmatig valt, wordt aanbevolen om scenario's te modelleren waarbij de neerslag ruimtelijk varieert. Hierbij kan bijvoorbeeld gekeken worden of waterschappen die minder neerslag krijgen (en daarmee minder wateroverlast ondervinden) het water langer vasthouden, zodat de zwaarst getroffen waterschappen zoveel mogelijk kunnen afvoeren. Dit kan meer inzicht geven in het handelingsperspectief van waterschappen binnen een regionale samenwerking.

- **Maalbeperkingen naar overig hoofdwatersysteem**

In dit project zijn maalbeperkingen richting het Markermeer door een verhoogde waterstand op het Markermeer niet meegenomen. Analyse van de impact van deze bovenregionale neerslaggebeurtenis(sen) op het totale hoofdwatersysteem kan meer inzicht geven over het feit of er sprake kan zijn van maalbeperkingen richting het Markermeer of andere delen van het hoofdwatersysteem.

Bijlage B - Resultaten modellering

B.1 Het ARK-NZK

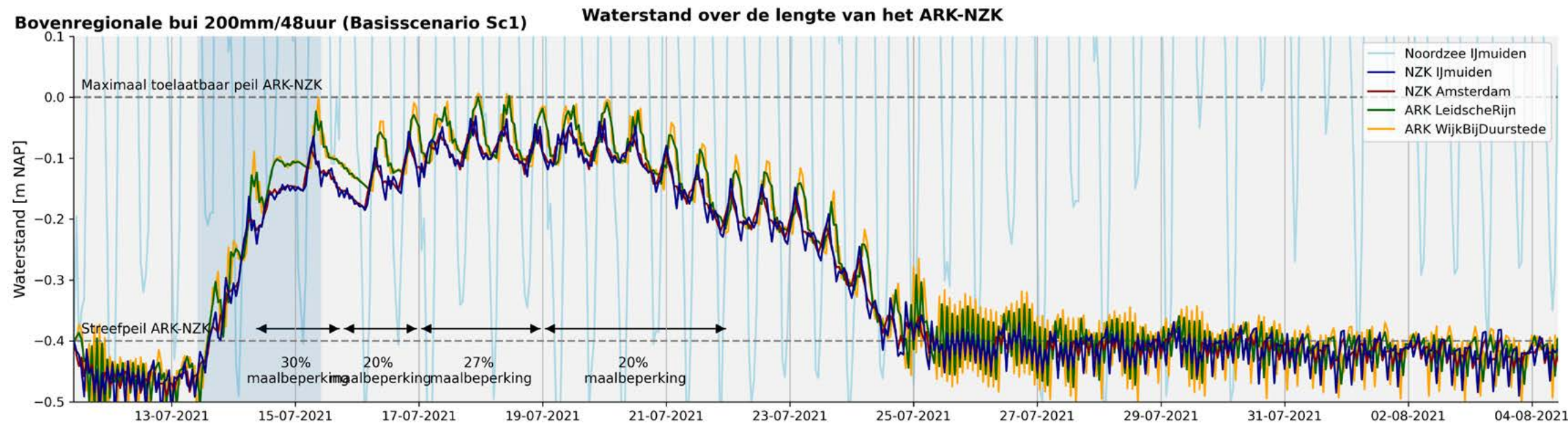
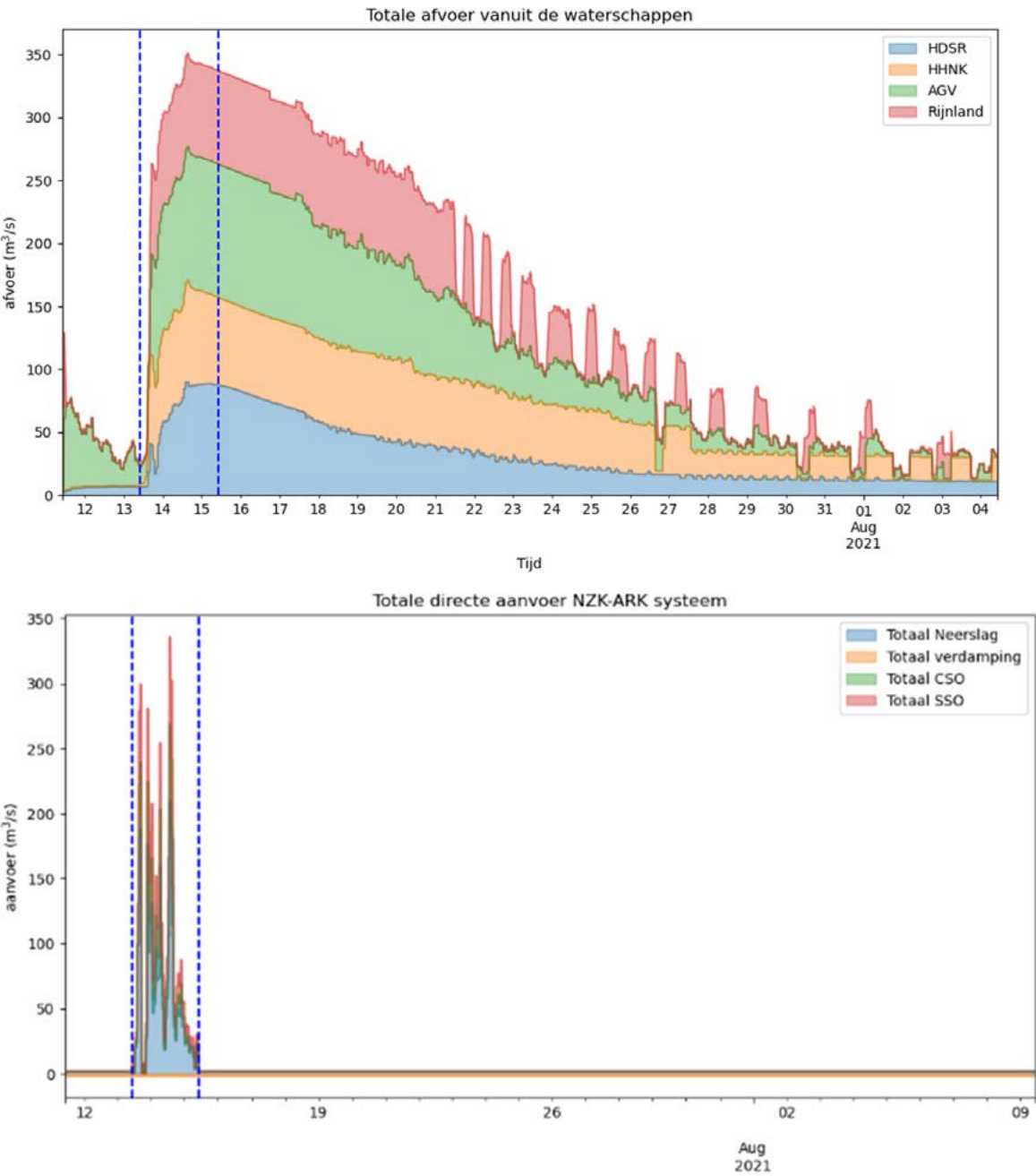
Basisscenario (200mm in 48uur)

Als gevolg van de extreme neerslag tijdens de buien zal het ARK-NZK te maken krijgen met een snelle korte piekafvoer tijdens de bui en een grote langdurige afvoer na de bui. De korte piekafvoer komt door neerslag op het ARK-NZK zelf en de gebieden die direct naar het ARK-NZK afvoeren (of verhard oppervlak dat direct via gemengde of gescheiden riolering afvoert). De grote langdurige afvoer komt vanuit de vier waterschappen.

De twee grafieken rechts tonen de aanvoer naar het ARK-NK voor het basisscenario met 200mm in 48 uur. De piekafvoer kan tijdens de bui kort pieken tot 300m3/s. De afvoer vanuit de waterschappen is nog hoger en groeit tijdens de bui tot 350m3/s. De afvoer vanuit de waterschappen houdt lang aan en neemt gedurende 10 dagen geleidelijk af. De bijdrages van de waterschap verschillen enigszins, maar zijn redelijk vergelijkbaar.

Onderstaande figuur laat de waterstand op meerdere locaties op het ARK en het NZK zien. Voor de bui daalt de waterstand op het ARK-NZK met 5 cm vanaf het streefpeil NAP-0,40m tot aan NAP-0,45m door het voormalen/voorspuien van het ARK-NZK. Vanwege de voorspelde neerslag en stijging van de afvoer zal men maximaal proberen af te voeren. Tijdens de bui stijgt de waterstand snel door de neerslag op het ARK-NZK zelf en de afvoer vanuit de waterschappen. De waterstand blijft hoog zolang de waterschappen aan het afvoeren zijn richting het ARK-NZK.

Het verhang op het ARK-NZK is maar beperkt. De waterstand op het ARK bij de Prinses Irenesluizen (Wijk bij Duurstede) is maximaal 5cm hoger dan op het NZK bij IJmuiden. In een situatie met veel wind kunnen de waterstandsverschillen over het ARK/NZK wel degelijk groter zijn: met storm kan er tot wel 20cm verhang optreden. Voor de scenario's in deze stresstest is dit niet van toepassing. Wind is niet meegenomen omdat er nauwelijks sprake van wind is tijdens een bovenregionale neerslaggebeurtenis.



Scenario's met 150mm, 200mm en 300mm in 48uur

In de onderstaande figuur worden de waterstanden op het ARK-NZK voor de drie scenario's met 150, 200 en 300mm in 48 uur gepresenteerd. De waterstand ter hoogte van Utrecht (Leidsche Rijn) is hier als referentie gebruikt.

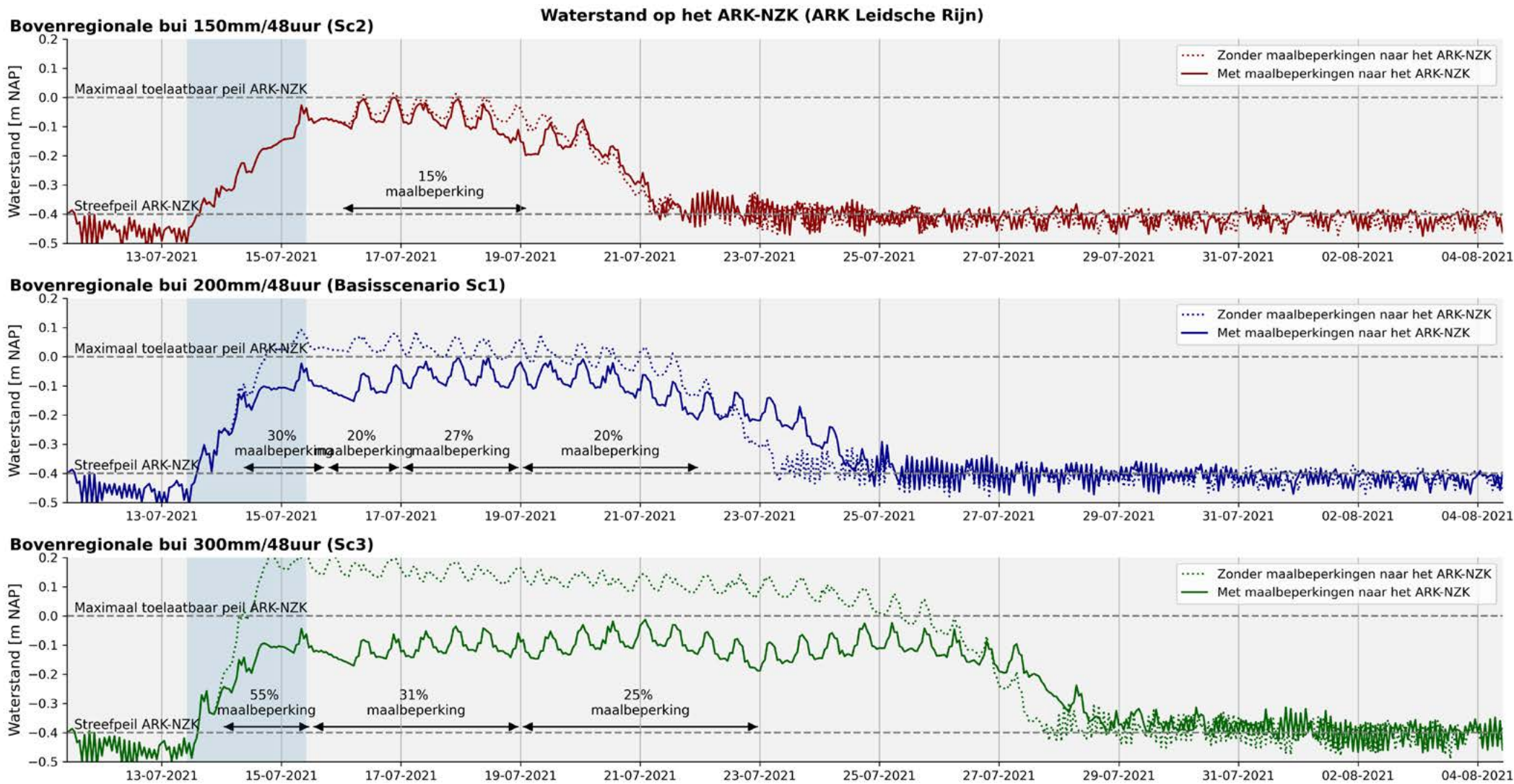
In ieder van de drie grafieken zijn twee waterstanden te zien: 1) de meer theoretische waterstand zonder maalbeperkingen (in de praktijk zal het water over kades stromen en daardoor niet zo hoog komen) waarbij de waterschappen maximaal mogen afvoeren richting het ARK-NZK en 2) als er maalbeperkingen worden opgelegd om de waterstand onder de NAP+0,00m te houden.

In de figuur valt een aantal zaken op:

- In alle scenario's (150, 200, 300mm) wordt het maalstoppeil NAP 0,00m overschreden.
- Door maalbeperkingen toe te passen, kan men voorkomen dat de waterstand op het ARK-NZK boven de NAP 0,00m komt. Hoe groter het buivolume hoe forser de maalbeperkingen, waarbij de grootste maalbeperkingen tijdens/kort na de bui nodig zijn.

- De duur van verhoogde waterstand op het ARK-NZK en de duur van de op te leggen maalbeperkingen en mate van maalbeperking neemt toe bij een hoger buivolume.
- Vanaf de start van de bui duurt het respectievelijk 8 dagen (150mm), 10 dagen (200mm) en 14 dagen (300mm), voordat het ARK/NZK peil weer tussen de normale beheermarge van NAP –0,30 en -0,55m is gekomen.
- De schommelende beweging op het ARK waterpeil wordt voornamelijk veroorzaakt door het aan/uit gaan van de oude pompen in IJmuiden en de overgang naar spuien.

Scenario	Buivolume	Duur verhoogde waterstand	Duur maalbeperking	Mate van maalbeperking
1	150mm/48uur	8 dagen	3,0 dagen	15%
2	200mm/48uur	12 dagen	7,5 dagen	20-30%
3	300mm/48uur	15 dagen	9,0 dagen	25-50%



De figuur hieronder presenteert de afvoer die bij IJmuiden door de spuisluis en het gemaal naar de Noordzee gaat. In de eerder benoemde periodes van 8, 12 en 15 dagen blijft het gemaal maximaal afvoeren. De invloed van een lage zeewaterstand (tijdens eb) is te zien in de afvoer, omdat enkele pompen alleen kunnen afvoeren bij een negatief verval. Er kan tijdens eb ook gespuid worden via de spuisluis, maar de spuicapaciteit is beperkt.

Over het spui- en gemalencomplex IJmuiden is het nog goed om te benoemen:

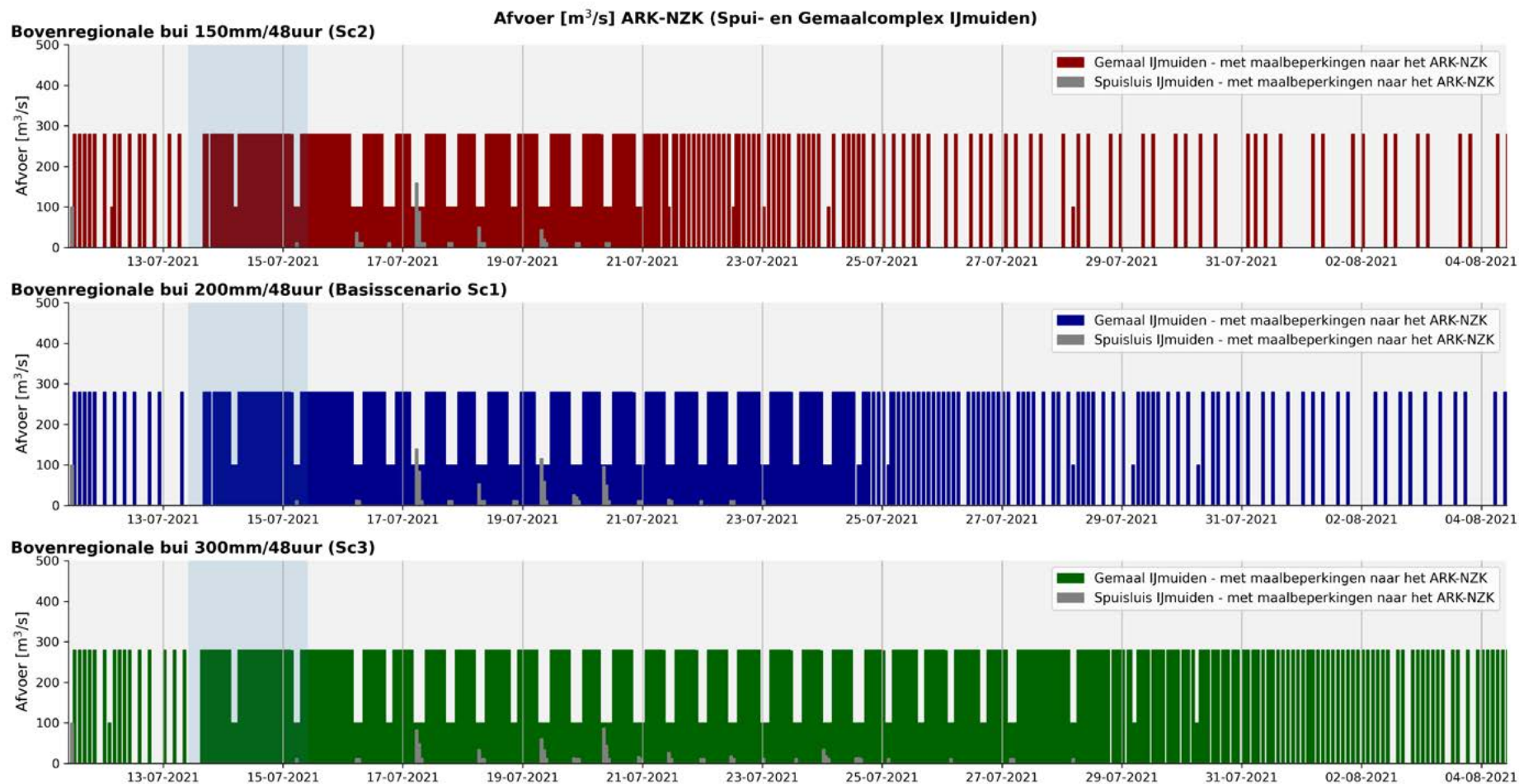
- De zeewaterstanden op de Noordzee zijn in alle scenario's verhoogd t.o.v. de werkelijke zeewaterstanden tijdens de 'Limburg-bui'. Ze zijn met 30cm verhoogd, omdat dit een meer realistische inschatting lijkt voor de omstandigheden tijdens zo'n bui. In de praktijk is het vaak mogelijk om meer te spuien. Daarentegen kunnen twee pompen door de hogere zeewaterstand langer door blijven draaien. Beide effecten effenen elkaar daarmee voor een deel uit.
- Noodmaatregelen zoals spuien via de Zeesluis IJmuiden zijn niet doorgerekend. Dit kan helpen, maar is alleen mogelijk bij laagwater/eb en zal daarom maar beperkt invloed hebben.

Zoals ook in hoofdtekst benoemd -- Extra toelichting bij berekende afvoer via Spui- en Gemaalcomplex IJmuiden (voor scenario 1 t/m 5):

Tijdens de afronding van het project is vastgesteld dat zowel de spuiformule als de gemaalinstellingen waarmee in de modellen gerekend is tijdens laagwatersituatie, niet volledig overeenkomen met de werkelijkheid:

- De daadwerkelijke afvoer via de spui tijdens het spuienster is hoogstwaarschijnlijk 200-300 m3/s hoger dan meegenomen is in de modellering (zowel met gesloten als geopende zakdeur in de selectieve onttrekking).
- De verwachte pompafvoer is daarnaast in werkelijkheid lager: in het model malen de twee nieuwere pompen tijdens laagwater met 100 m3/s terwijl dit niet het geval blijkt te zijn. De nieuwe pompen zijn namelijk beveiligd, waardoor ze tijdens laagwater niet malen (i.v.m. trillingsmeldingen).

Dit betekent dat tijdens de perioden van laagwater de afvoer in IJmuiden circa 100-200 m3/s wordt onderschat. Voor periode met hoogwater is de afvoer in IJmuiden wel accuraat berekend. In scenario's 1-5 zal de waterstand op het ARK-NZK daardoor minder snel stijgen en wordt het maalstoppeil enkele uren later bereikt. De maalbeperkingen worden hierdoor ook iets lager of duren iets korter. De impact op de maximale inundatiediepte is nihil, het waterpeil in de polders gaan mogelijk wel iets sneller terug naar streefpeil.

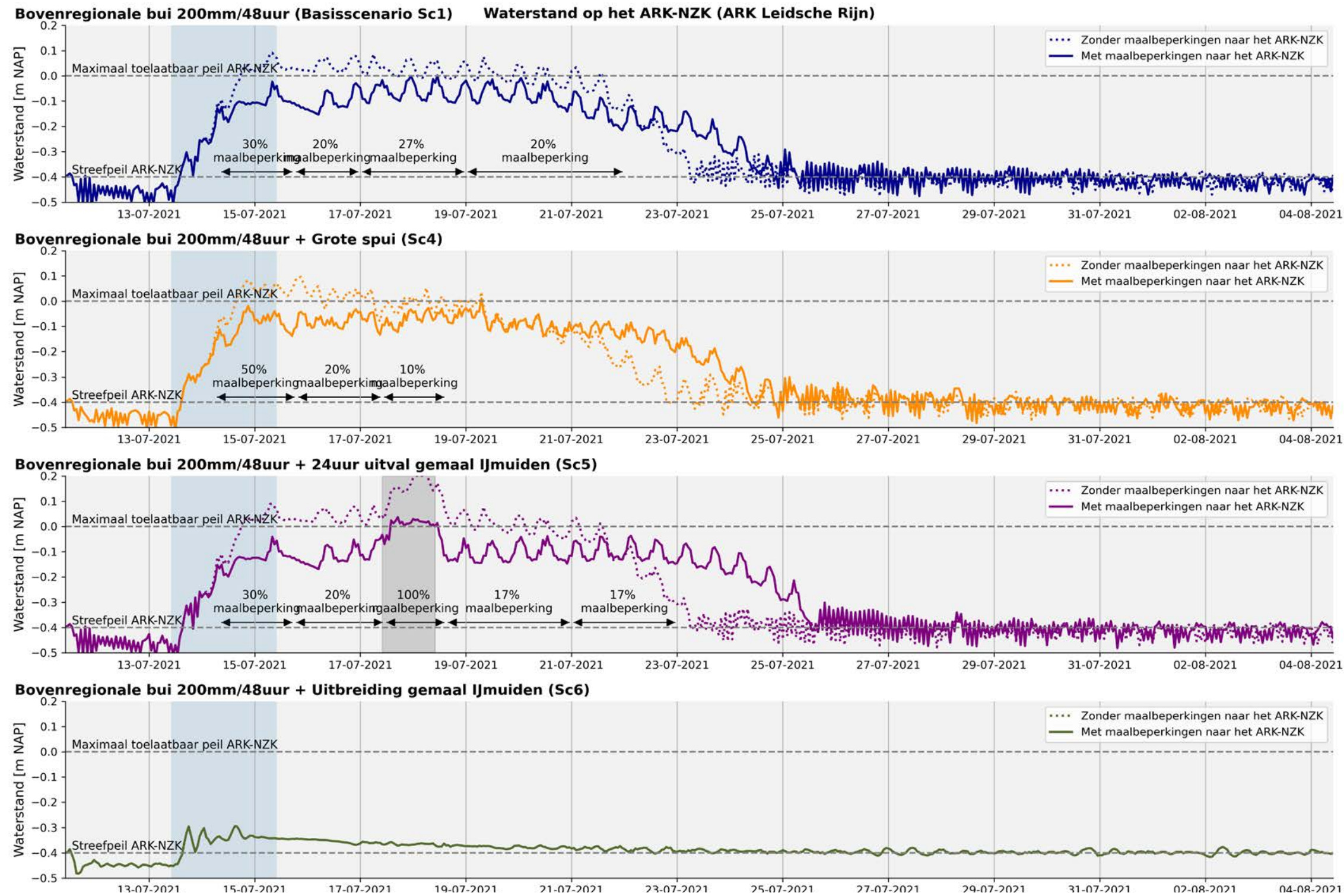


Invloed afvoercapaciteit Spui- en Gemaalcomplex IJmuiden

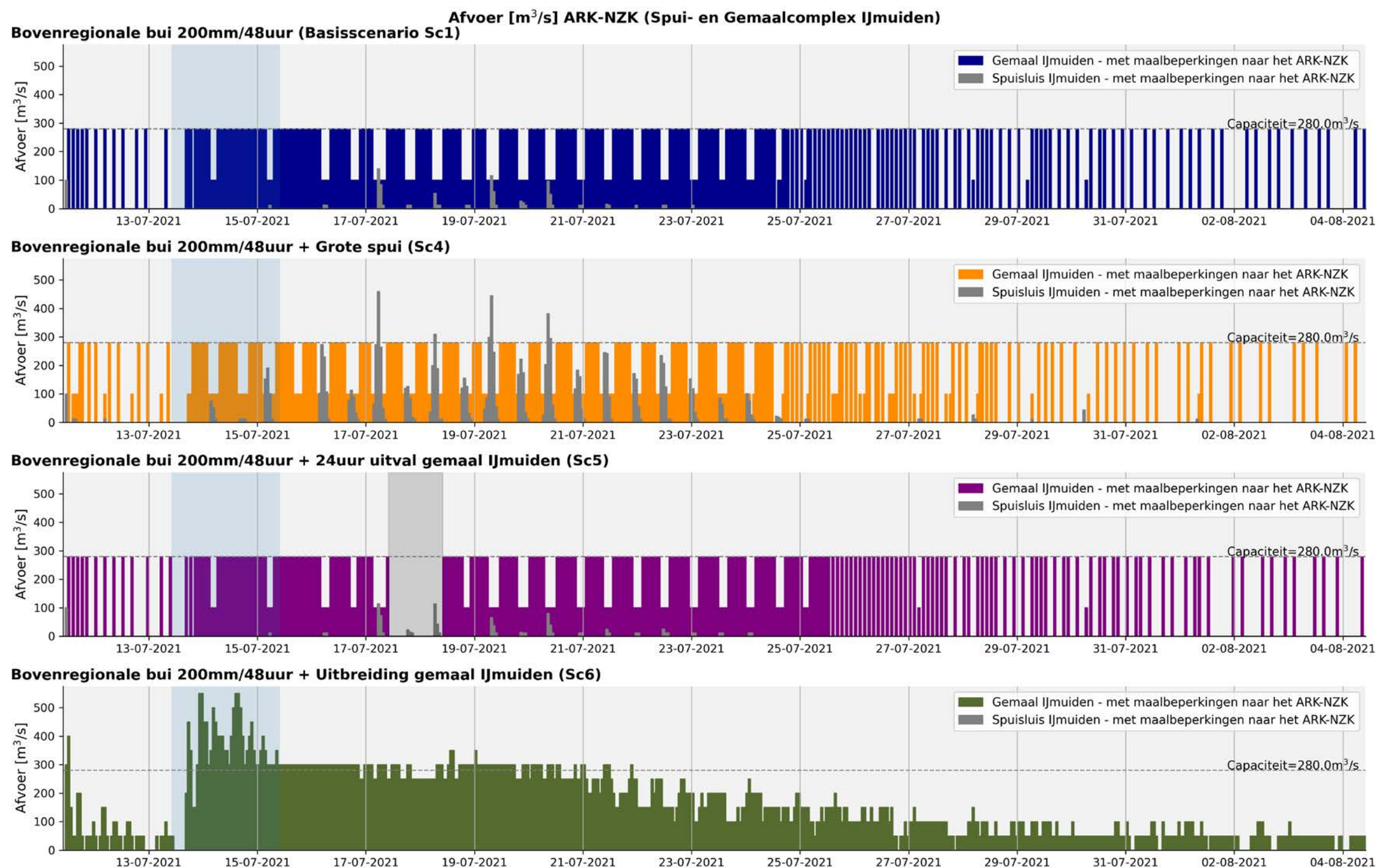
In de onderstaande figuur worden de waterstanden op het ARK-NZK gepresenteerd voor het basisscenario met 200mm in 48 uur plus de drie scenario's met grotere spui (scenario 4), 24 uur uitval gemaal IJmuiden (scenario 5) en uitbreiding van gemaal IJmuiden (scenario 6). Op de volgende pagina zijn voor dezelfde scenario's de bijbehorende afvoeren door spui- en gemaalcomplex IJmuiden weergegeven. De maalbeperkingen staan weergegeven in de figuren met waterstanden.

- Grotere spui (scenario 4):** Bij een grotere spui (spuimogelijkheid (door een lagere zeewaterstand) duurt de maalbeperking korter, maar is de op te leggen maalbeperking tijdens de bui groter. De

lagere zeewaterstand in dit scenario heeft een positief effect op de spuimogelijkheden, terwijl het tegelijkertijd de gemaalcapaciteit beperkt. Of de totale afvoercapaciteit van het spui- en gemaalcomplex IJmuiden toeneemt of afneemt, is afhankelijk van meerdere factoren en kan daarmee over de tijd verschillen. In dit scenario heeft het tijdens de bui een negatief effect waardoor er hogere maalbeperkingen gelden, terwijl er in de periode na de bui lagere en kortere maalbeperkingen nodig zijn. De totale duur van verhoogde waterstand op het ARK-NZK is in dit geval ongeveer gelijk. Als de bui op een ander moment was gevallen, had dit mogelijk tot lagere en kortere maalbeperkingen geleid. De bij deze studie betrokken waterbeheerders bevestigen de gevoeligheid van het spui- en gemaalcomplex op de buitenwaterstanden.



- **24 uur uitval gemaalcomplex IJmuiden (scenario 5):** Bijuitval van het gemaalcomplex van IJmuiden wordt een complete maalstop afgekondigd voor het gehele ARK-NZK. Tijdens de uitval van het gemaalcomplex stijgt de waterstand op het ARK-NZK tot net boven het maximaal toelaatbare peil van NAP+0,00m, ondanks de algehele maalstop. Dit komt doordat deel van het systeem onder vrijval blijft afwateren richting het ARK-NZK. De maalstop van ruim 24 uur zorgt er uiteindelijk voor dat de totale duur van maalbeperkingen een dag langer duurt en datzelfde geldt voor de duur van verhoogde waterstand (13 dagen in plaats van 12).
- **Vergroten gemaalcapaciteit IJmuiden (Sc6):** Bij het aanzienlijk vergroten van de gemaalcapaciteit bij IJmuiden is het niet meer nodig om maalbeperkingen op te leggen, omdat de waterstanden op het ARK-NZK laag genoeg blijven. Gedurende 4 dagen is er sprake van een verhoogd waterpeil, maar met een maximale waterstand van NAP-0,30m is dit erg beperkt. Het IJ-front en het ARK-front hoeven bij die waterstand ook niet gesloten te worden.



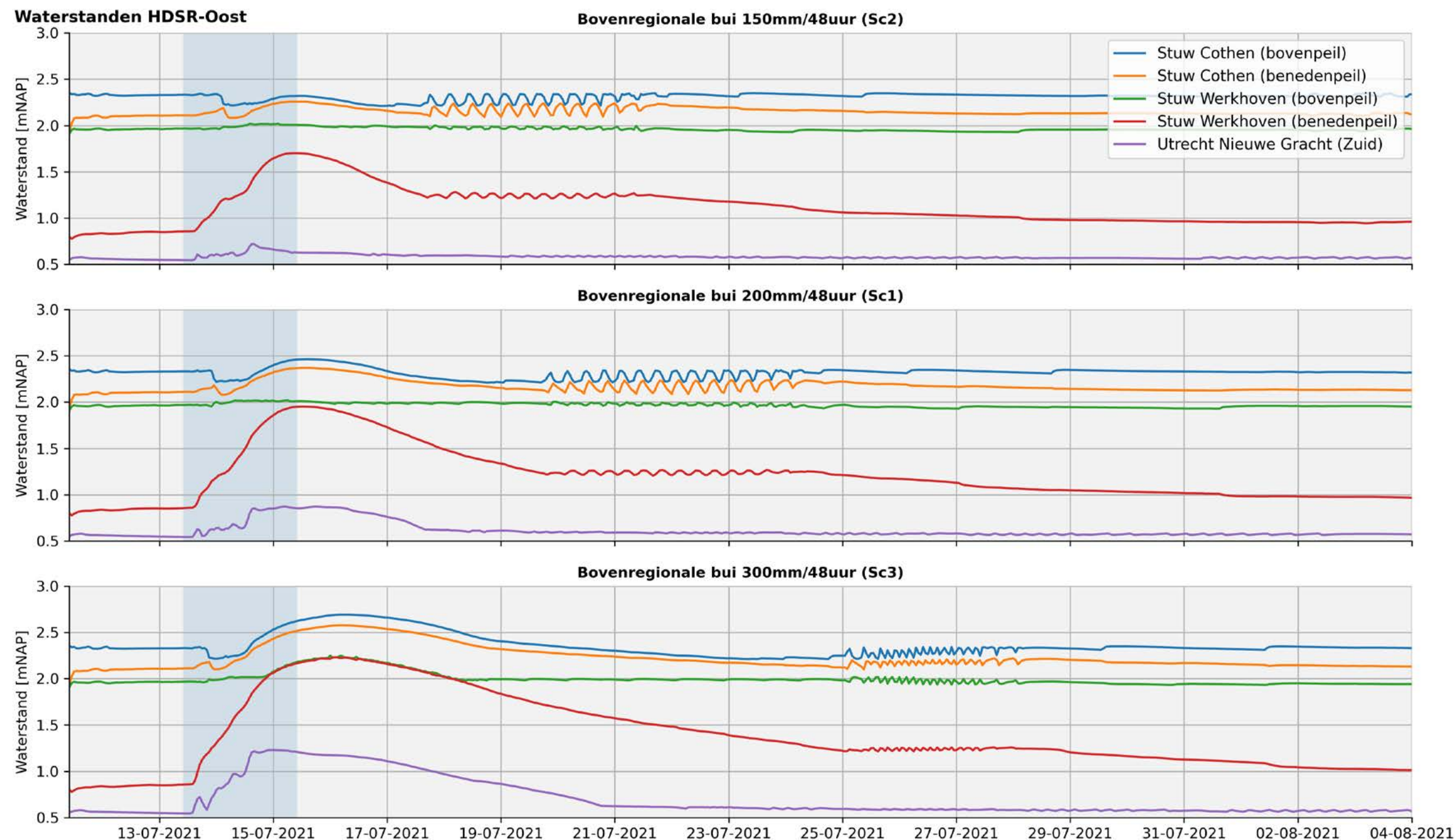
B.2 Hoogheemraadschap De Stichtse Rijnlanden

HDSR-Oost: Utrechtse Heuvelrug, Kromme Rijn, Eiland van Schalkwijk, Utrecht

Het oostelijk deel van het beheergebied van HDSR (met hierbinnen Utrecht centrum, Eiland van Schalkwijk en de Kromme Rijn) voert het water voornamelijk af onder vrijverval. Het westelijk deel heeft voornamelijk polders. In het oostelijk deel zijn er relatief weinig gebieden die inunderen, doordat het water vrij kan wegstromen. Onder aan de flanken van de Utrechtse Heuvelrug zijn enkele geïnundeerde gebieden te zien bij de 300mm bui. Ook in enkele polders op het eiland van Schalkwijk is inundatie te zien.

De grafiek met de waterstanden laat zien:

- Boven- en benedenstrooms van de stuw Cothen de waterstand redelijk gelijk blijft bij de 150mm bui, maar dat bij een hoger buivolume de waterstand stijgt tot boven de NAP+2,50m.
- Bij de stuw Werkhoven is vooral te zien dat de waterstand benedenstrooms (richting Utrecht) tijdens de bui flink stijgt ten opzichte van streefpeil: 1,00meter stijging bij de 150mm bui, 1,20meter bij de 200mm bui en 1,50meter bij de 300mm bui. Na de bui daalt de waterstand snel, maar is nog wel langere tijd verhoogd.
- In Utrecht centrum geldt een streefpeil van NAP+0,58. Bij de 150mm bui stijgt de waterstand 15cm, bij de 200mm bui stijgt de waterstand 30cm en bij de 300mm bui stijgt de waterstand 90cm tot bijna NAP+1,50m. De waterstand daalt wel weer snel na de bui. Benedenstrooms van de Weerdsluis zijn dezelfde stijgingen in waterstand gemodelleerd.

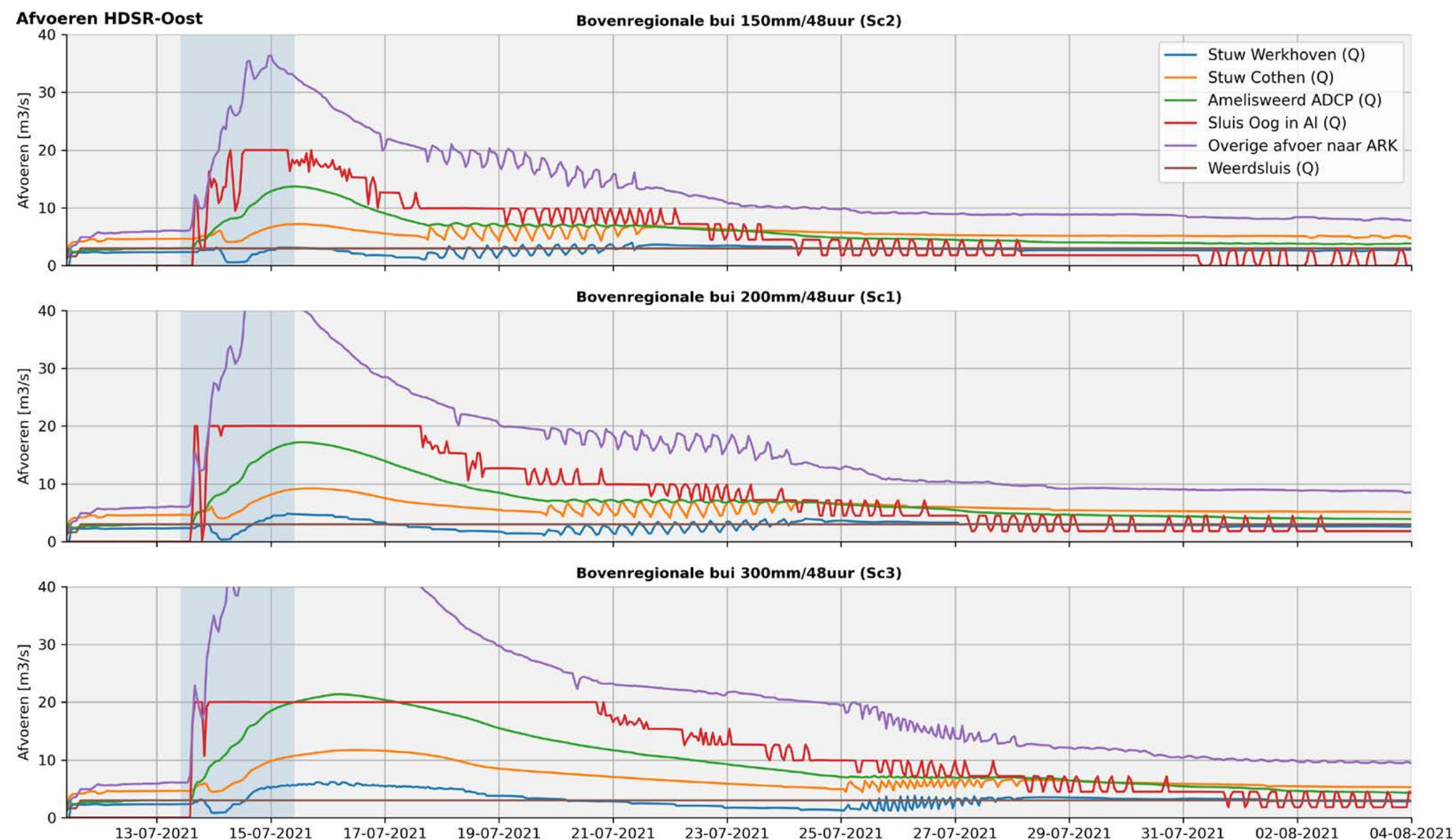


De onderstaande figuur laat de afvoeren voor HDSR-Oost zien. Hieruit kan opgemaakt worden:

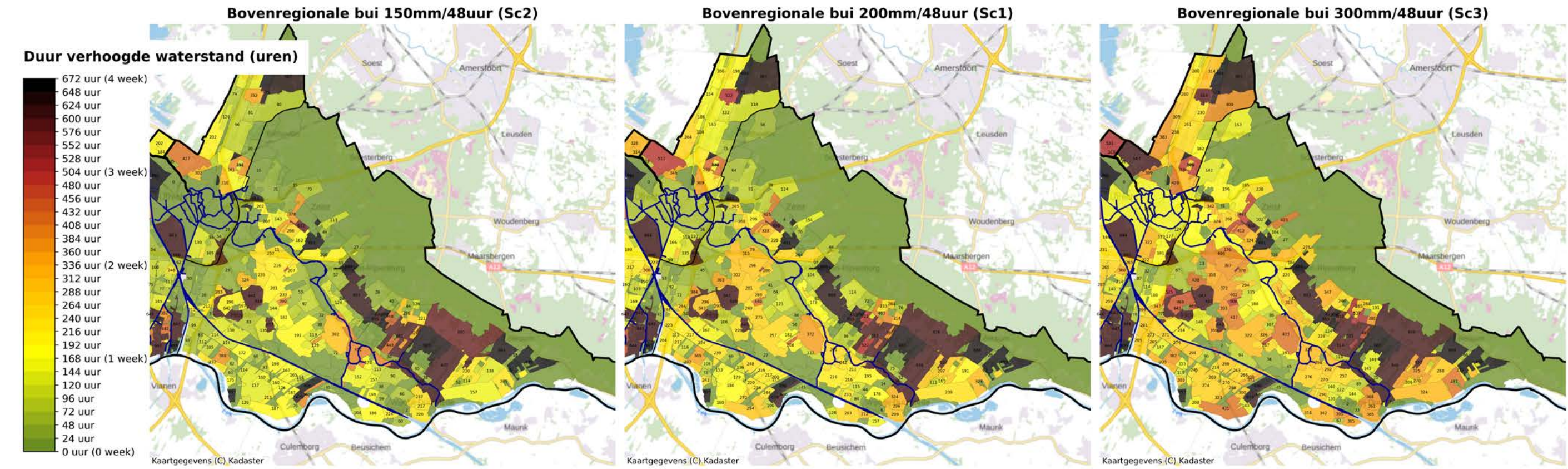
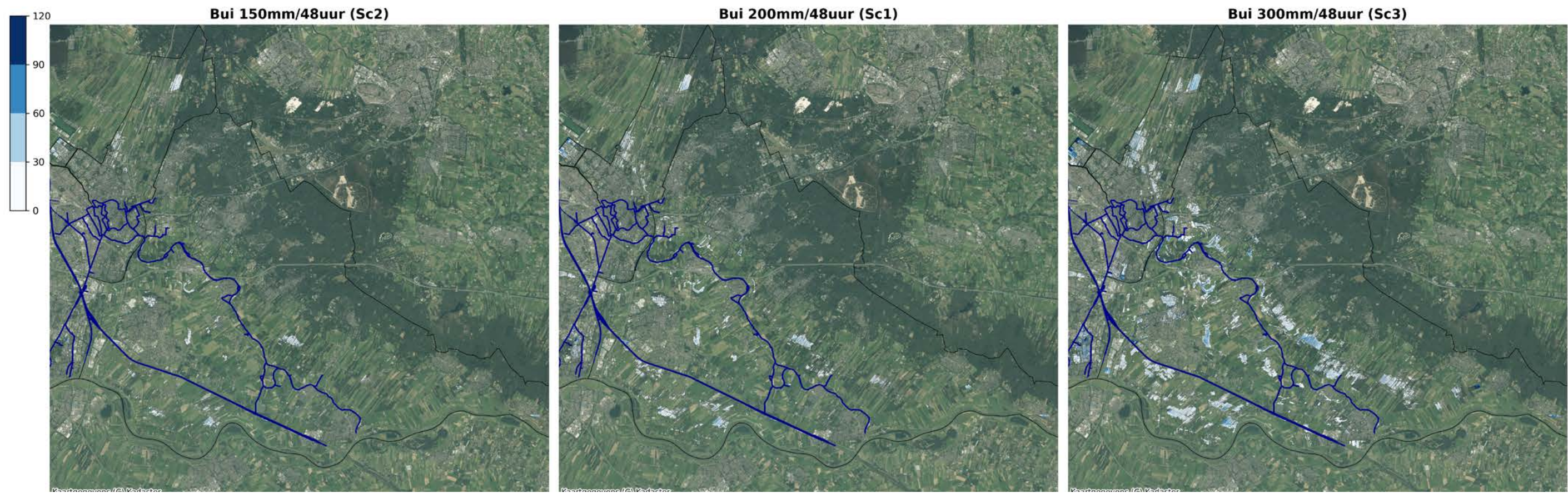
- Via de Kromme Rijn neemt in benedenstroomse richting de afvoer steeds toe, waarbij de piekafvoer steeds plaatsvindt aan het eind van de bui. Duidelijk is dat het systeem voor een groot deel direct afvoert, en dat de afvoer gestaag afneemt na de bui.
- De afvoer bij stuw Werkhoven bij 200mm is maximaal 5m³/s, bij Stuw Cothen 9m³/s en bij Amelisweerd 17m³/s.
- De afvoer over de Weerdsluis naar de Vecht is en blijft tijdens en na de bui beperkt tot maximaal 2,5 m³/s.
- Er zijn veel locaties waar het water afvoert naar het ARK. Het grootste deel van de afvoer vanuit dit deel van HDSR gaat via Sluis Oog in AI, die apart in de figuur is gezet. Via de sluis stroomt maximaal 20m³/s. Bij de 150mm/200mm/300mm houdt de maximale afvoer respectievelijk 0,5 dag, 4 dagen en 7 dagen aan.

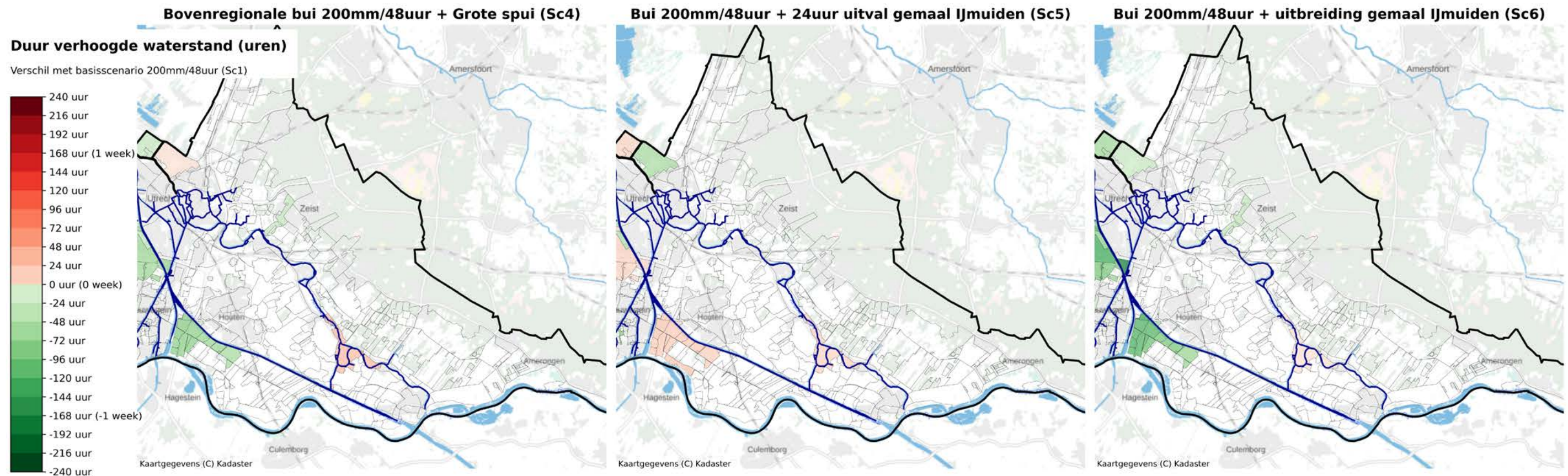
- De overige afvoer richting het ARK (dus niet via Sluis Oog in AI) is ongeveer anderhalf tot twee keer zo hoog als de afvoer door Sluis Oog en AI. Dit bevat de afvoer vanaf de Kop van Schalkwijk en de Kromme Rijn.

De waterstanden en afvoeren voor scenario 4, 5 en 6 zijn niet opgenomen in dit rapport, omdat ze nauwelijks afwijken van het basisscenario met 200mm in 48 uur. De invloed van deze scenario's op het ARK-NZK is te beperkt en dit deel watert voornamelijk onder vrij verval af. De duur van verhoogd peil wordt in het oostelijk deel van het beheergebied van HDSR dan ook nauwelijks beïnvloed. Alleen in het Eiland van Schalkwijk zie je een verschil ontstaan door de verandering in maalbeperkingen die gaan gelden voor de poldergemalen die malen op het ARK-NZK. Bij een grotere spui heeft dit een positief effect door lagere maalbeperkingen. Bij 24uur uitval van gemaal IJmuiden en de bijbehorende maalstop zorgt dit ook voor een 24 uur langere verhoogde waterstand. Bij uitbreiding van gemaalcomplex IJmuiden gelden er geen maalbeperkingen meer.



Inundatiediepte (cm)





HDSR-West: Leidsche Rijn, Oude Rijn, Lopikerwaard:

In het westelijk gebied (met hierbinnen de gebieden Leidsche Rijn, Nieuwegein en de Lopikerwaard) zijn het de polders waarvan de lage delen inunderen, vooral de westelijke polders van het Oude Rijn boezemsysteem en de noordwestelijke hoek van de Lopikerwaard. Op de volgende pagina's zijn de kaarten van de inundatiediepte, duur maalbeperkingen, duur verhoogd peil en de impact van de scenario's over gemaalcomplex IJmuiden weergegeven.

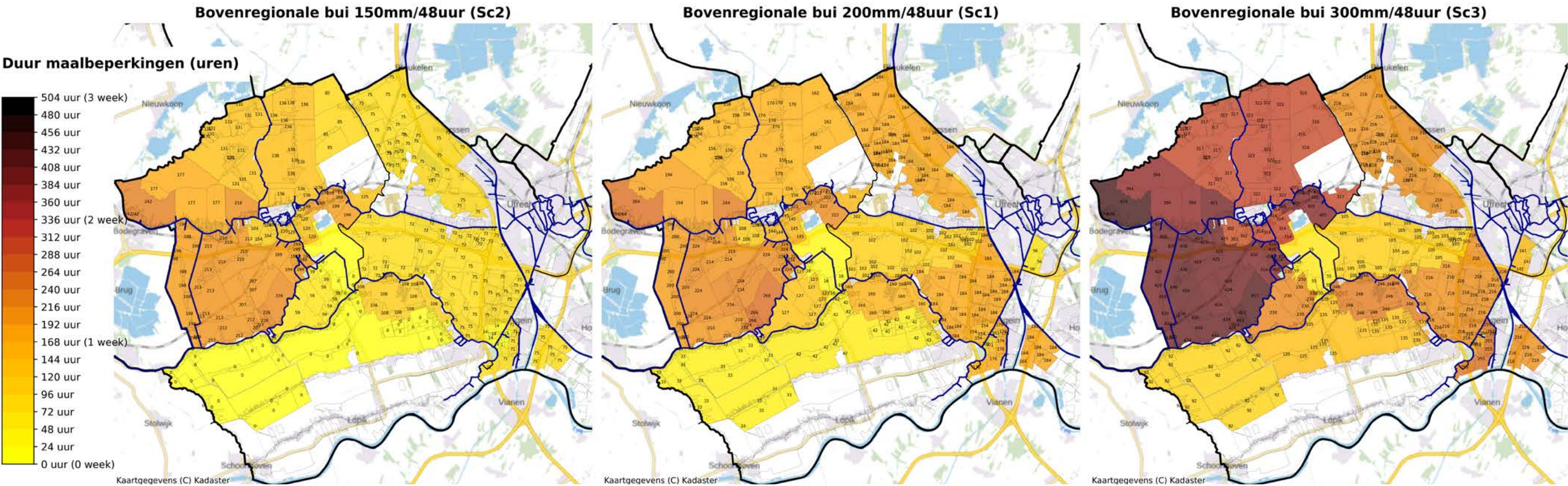
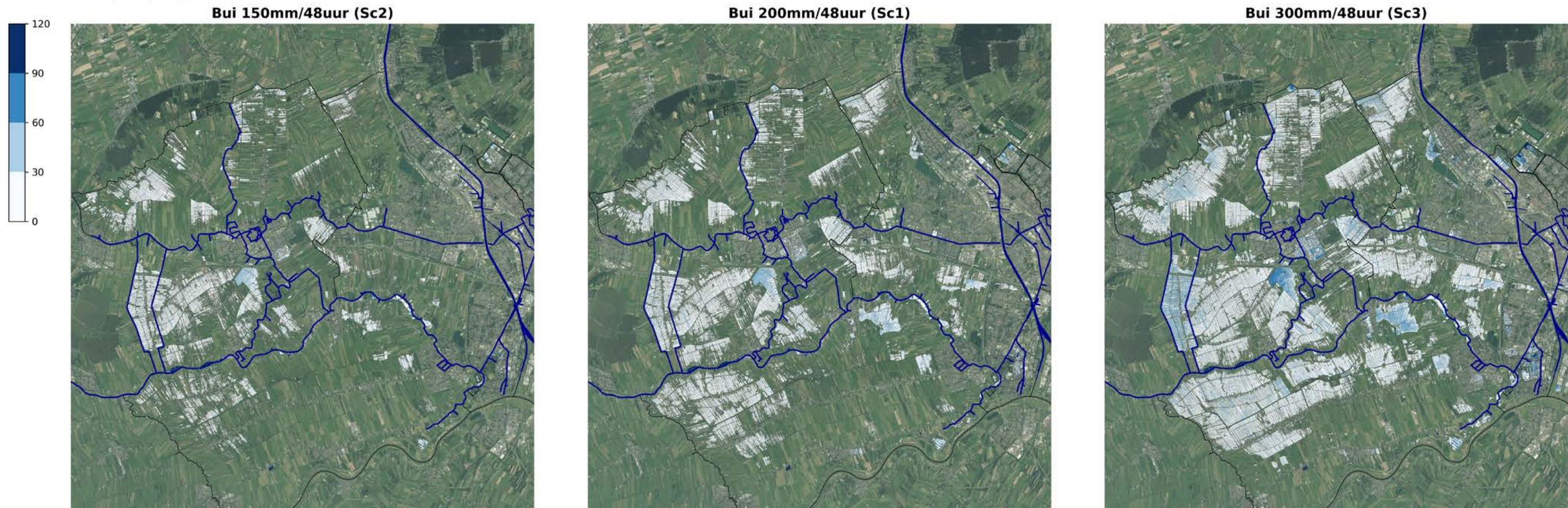
Uit de kaart van de maalstopduur blijkt dat het westelijk deel van het beheersgebied van HDSR te maken krijgt met langdurige maalbeperkingen. Deze voeren grotendeels niet af richting het ARK-NZK.

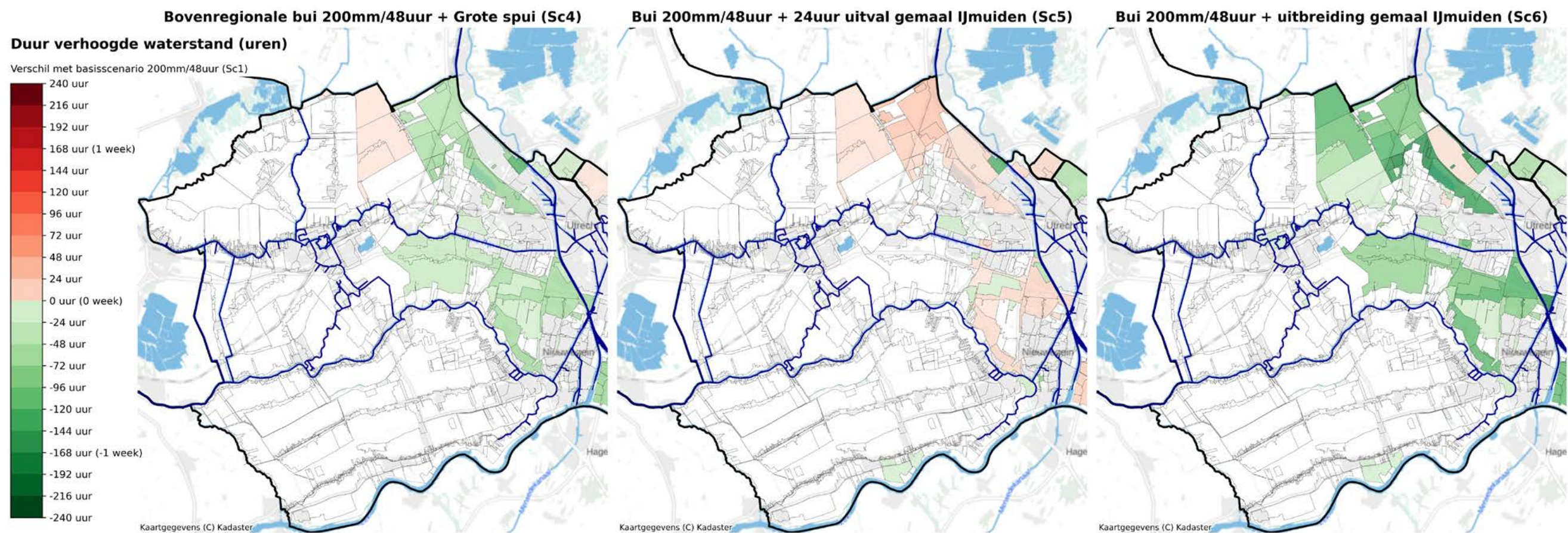
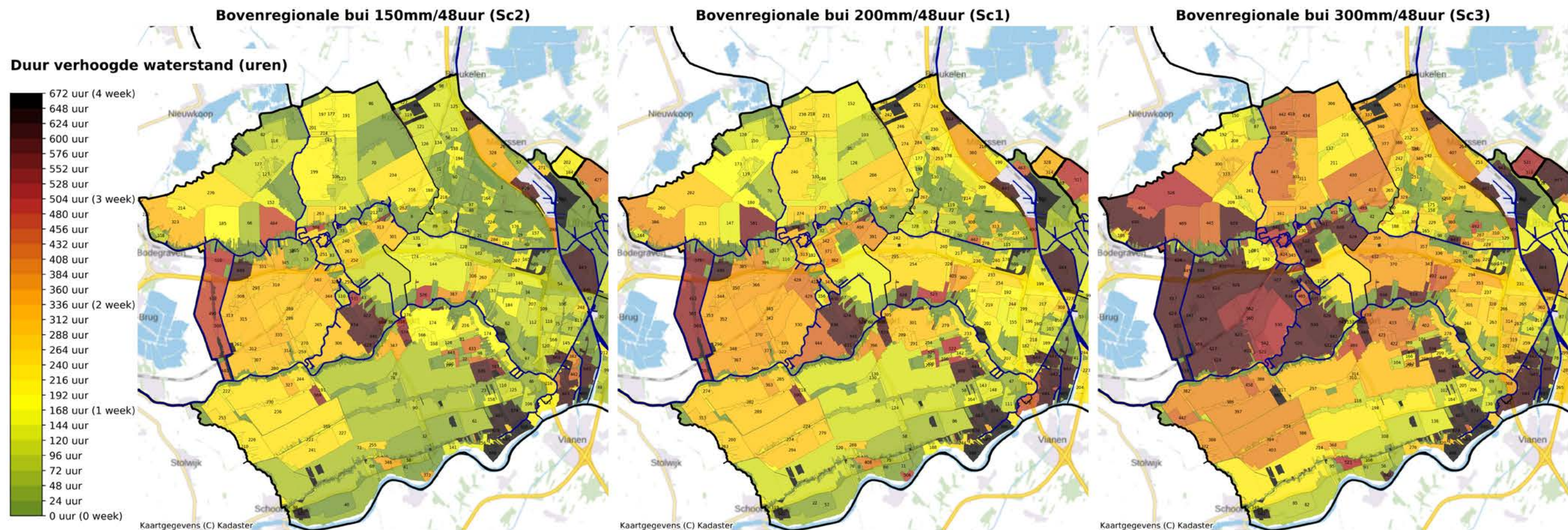
De polders van de Oude Rijn hebben al bij 150mm een week lang maalbeperkingen. De Oude Rijn voert water af via sluis Bodegraven naar Rijnland. De afvoer van de Oude Rijn is daardoor afhankelijk van de waterstand op de boezem van Rijnland. Omdat die waterstand lang hoog blijft, kan er weinig afgevoerd worden en daardoor zijn er langdurige maalbeperkingen. Te zien is dat HDSR een aantal polders eerder en langer maalbeperkingen oplegt, juist om de andere polders te ontzien en de wateroverlast en overlastduur zoveel mogelijk te beperken.

Bij de 200mm en de 300mm bui blijven dezelfde gebieden maalbeperkingen houden, alleen duren deze overall langer. Bij de 200mm gaat het richting 1,5 week maalbeperkingen op de Oude Rijn en bij 300mm 2,5 week. De Lopikerwaard heeft duidelijk minder lange maalbeperkingen. De maalbeperkingen vertalen zich door naar de lange duur van verhoogde waterpeilen.

Bij scenario 4, 5 en 6 verandert de duur van verhoogd peil (ten opzichte van het basisscenario) alleen in de polders die malen richting het ARK-NZK, omdat de duur en mate van de maalbeperkingen veranderen. Bij het westelijk deel van het beheergebied van HDSR gaat dit dus om de gebieden langs het ARK en de Leidsche Rijn. En dit heeft dus geen impact op het boezemsysteem van de Oude Rijn en niet op de Lopikerwaard. De grotere spui (scenario 4) heeft een positief effect door lagere maalbeperkingen. Bij 24uur uitval van gemaal IJmuiden (scenario 5) zorgt de bijbehorende maalstop voor een 24 uur langere verhoogde waterstand. Bij uitbreiding van gemaalcomplex IJmuiden (scenario 6) gelden er geen maalbeperkingen meer.

Inundatiediepte (cm)

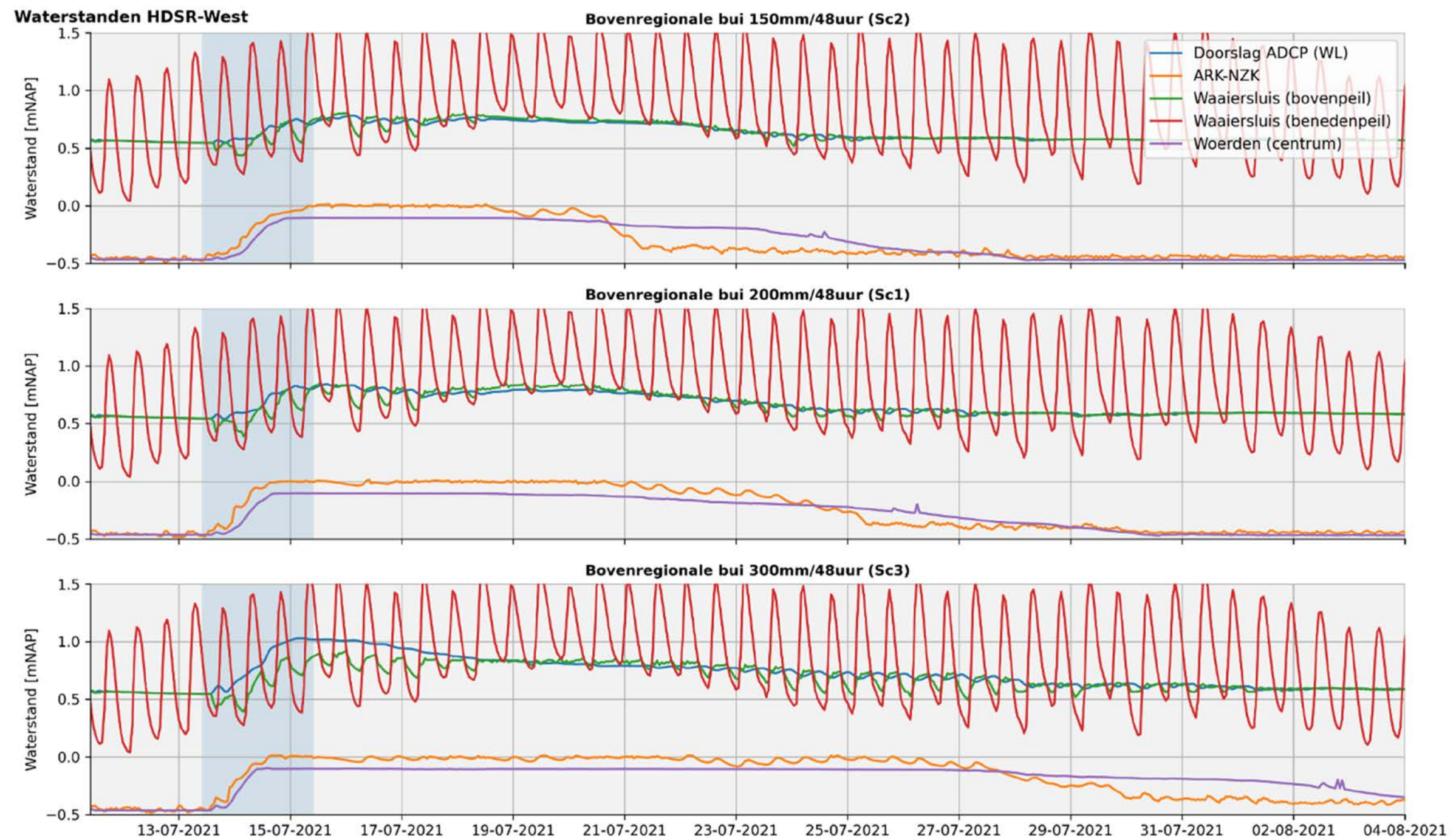




De onderstaande grafiek met waterstanden geeft informatie over hoe hoog de waterstanden worden op de boezems en buitenwateren en hoe lang ze hoog blijven:

- De waterstanden in de Oude Rijn bij Woerden blijven in vergelijking met het ARK-NZK erg lang hoog. Vergeleken met het ARK-NZK blijft de waterstand op de Oude Rijn bij elk scenario 4 dagen langer hoog. Bij de buien van 150, 200 en 300mm blijft de waterstand op de Oude Rijn respectievelijk 10, 14 en 18 dagen lang hoog.
- De waterstanden op de gekanaliseerde Hollandsche IJssel zijn ook lange tijd hoger dan het streefpeil van NAP+0,58m. De afvoer is erg afhankelijk van het benedenstroomse getij op de Hollandsche IJssel. Het leidt tot een maximale stijging van respectievelijk 25, 30 en 40cm bij Doorslag, wat zich ten oosten van de GHJ bevindt.

De waterstanden voor scenario 4, 5 en 6 zijn niet opgenomen in dit rapport, omdat de waterstanden voor deze locaties nauwelijks afwijken van het basisscenario met 200mm in 48 uur.

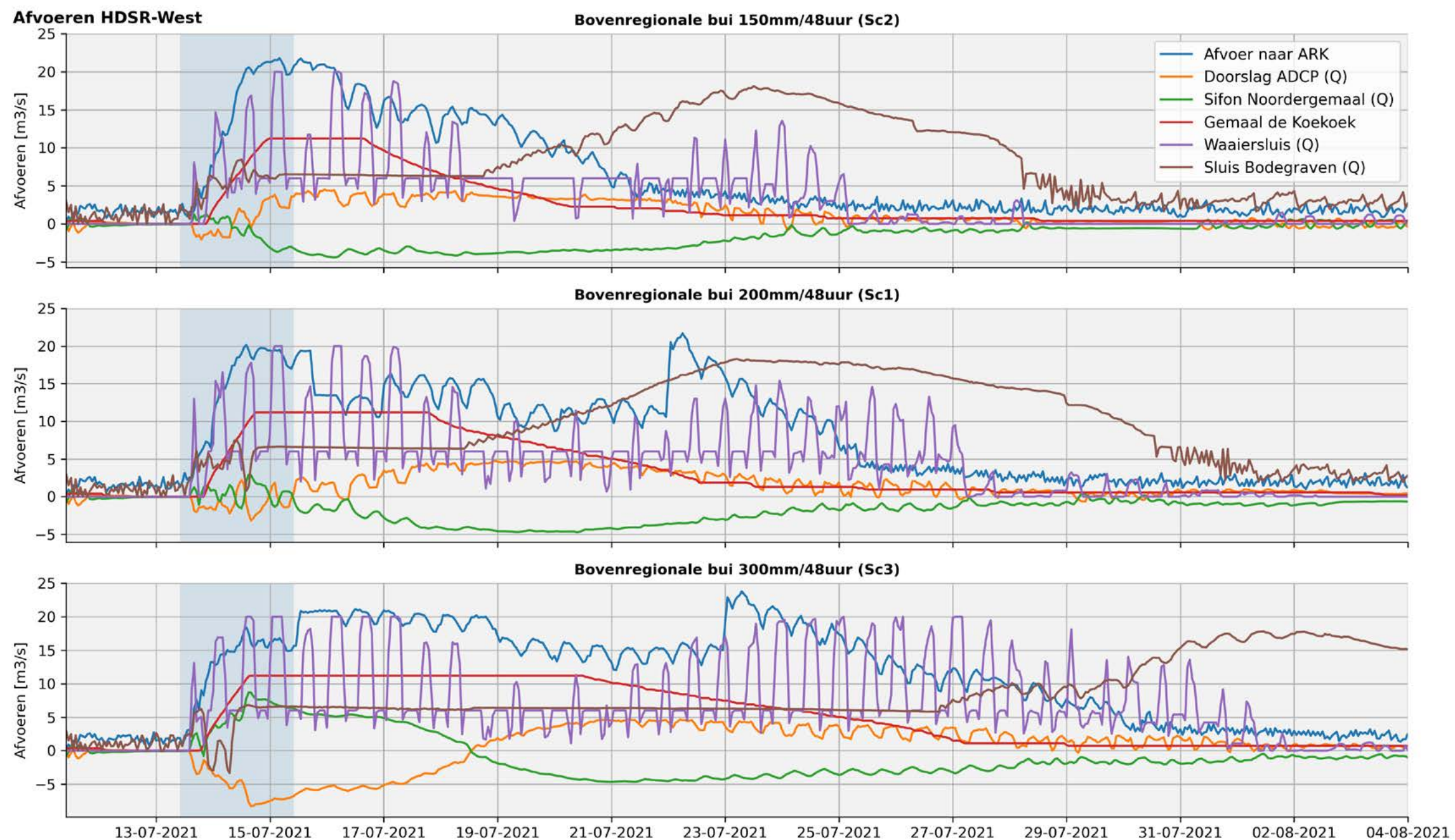


De onderstaande grafiek met afvoeren geeft informatie over hoe hoog de afvoeren worden in het westelijk deel van HDSR. Er staan nogal veel lijnen in, maar toch kunnen er de volgende conclusies uitgehaald worden:

- De afvoer via sluis Bodegraven neemt tijdens de bui toe tot 7 m³/s en neemt pas later toe tot de maximale afvoercapaciteit van 17-18 m³/s. Zolang de Rijnlandse boezem te maken heeft met een verhoogd peil is afvoeren via Bodegraven erg beperkt mogelijk. Als de waterstand op de Rijnlandse boezem daalt tot streefpeil (zie B.4), dan kan er pas goed afgevoerd worden. De maalbeperkingen en wateroverlast binnen het gebied van de Oude Rijn wordt dus vooral bepaald door de Rijnlandse boezem.
- De afvoer van de Lopikerwaard vindt plaats via Gemaal de Koekoek en de GHIJ/Waaiersluis. Afvoer houdt bij de 150mm/200mm/300mm bui ongeveer 9/12/18 dagen aan.

- Door de sifon bij het Noordergemaal kan er uitwisseling plaatsvinden tussen de oostelijke en westelijke zijde van het ARK. De afvoer door de sifon is eerst positief met maximaal 5-7 m³/s (in westelijke richting), wat veroorzaakt wordt doordat de waterstand in Utrecht sneller stijgt dan de waterstand op de GHIJ. De waterstand op de GHIJ blijft echter lang hoog, terwijl in Utrecht de waterstand snel daalt. Daarom wisselt de afvoer door de sifon van richting en stroomt het water vanuit de GHIJ ook in oostelijke richting om uiteindelijk ook in het ARK te belanden.
- De tijdserie Doorslag geeft de afvoer vanuit het GHIJ in de richting van het sifon van het Noordergemaal en is dus gelijk daaraan (gaat uit van andere richting, dus eerst negatief, daarna positief).

De afvoeren voor scenario 4, 5 en 6 zijn niet opgenomen, omdat de afvoeren voor deze locaties nauwelijks afwijken van het basisscenario met 200mm in 48 uur.



B.3 Waterschap Amstel Gooi en Vecht

AGV-Oost: Vecht, ‘s Gravenlandse Vaart Boezem

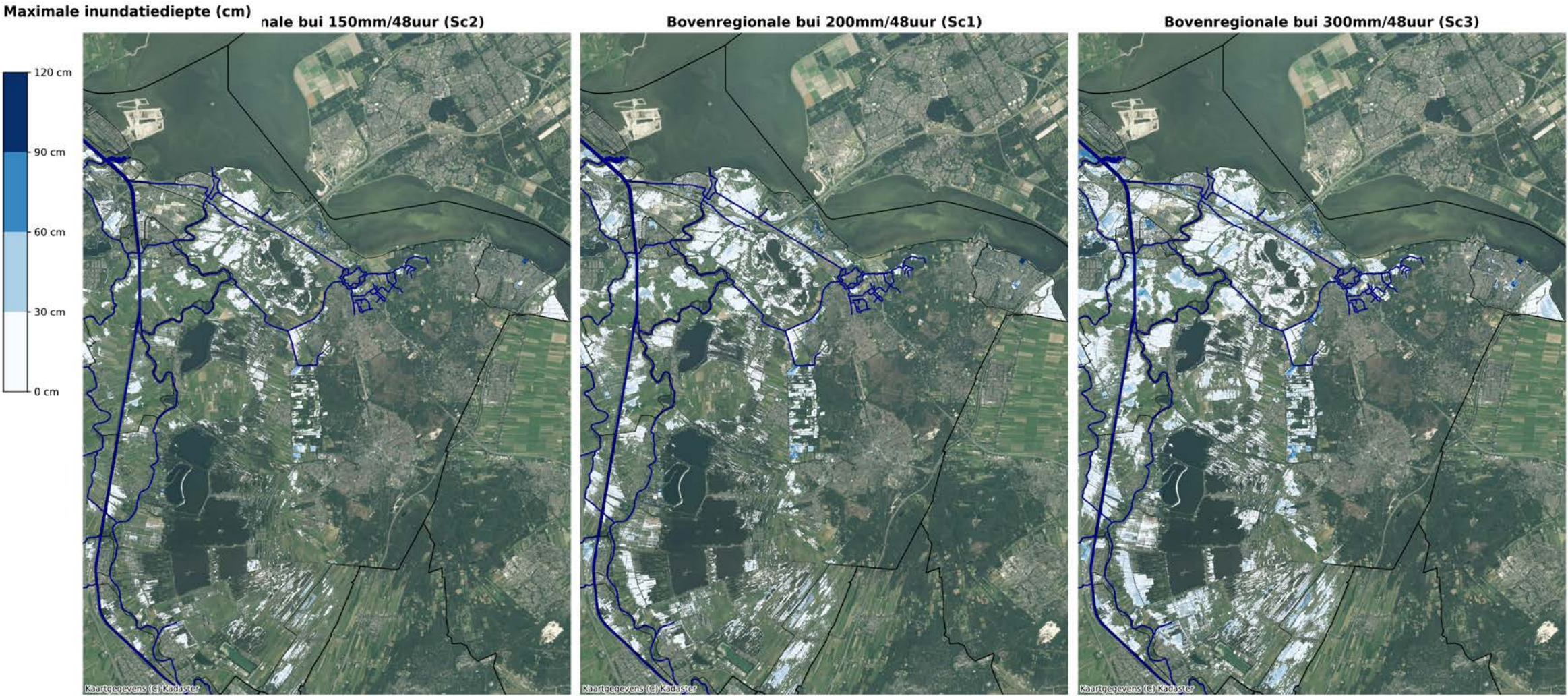
De Vechtboezem is op zes locaties met het ARK verbonden. Het peilverloop in deze boezem is daarmee gelijk aan die in het NZK/ARK. Het heeft een streefpeil van NAP -0,40 m en stijgt in de scenario's tot NAP 0,00 m. Bij grote wateroverschotten kan het waterschap in overleg met RWS pogen een wateroverschot via de spuisluis in Muiden naar het Markermeer af te voeren. In een scenario als de Bovenregionale Stresstest is dat helaas niet mogelijk, want ook het waterpeil op het Markermeer zal sterk stijgen wat een vrije aflaat verhindert.

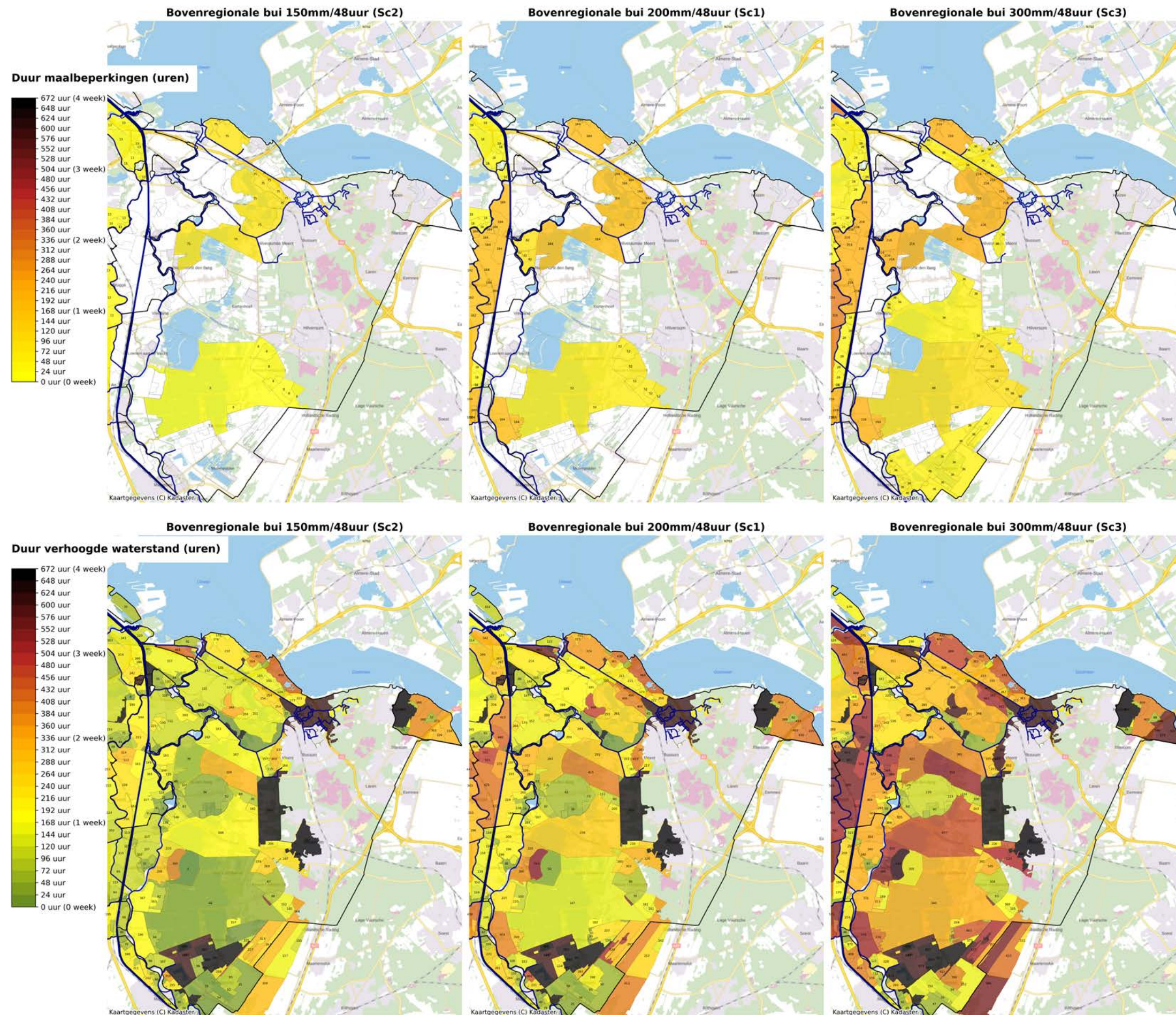
De 's Gravenlandse Vaart Boezem is een kleine tussenboezem, afgegrensd van de Vecht met een iets hoger streefpeil. Onder normale omstandigheden stroomt overtollig water naar de Vecht, maar in uitzonderlijke situaties kan in overleg met RWS water via het kunstwerk Steenen Beer onder vrijval naar het Markermeer worden afgelaten. Omdat het waterpeil in deze tussenboezem hoger ligt dan op de Vecht, en ook boven de NAP 0,00 m mag stijgen, kan deze boezem wel op het Markermeer zijn water kwijt. Ook tijdens een scenario als in de bovenregionale stresstest.

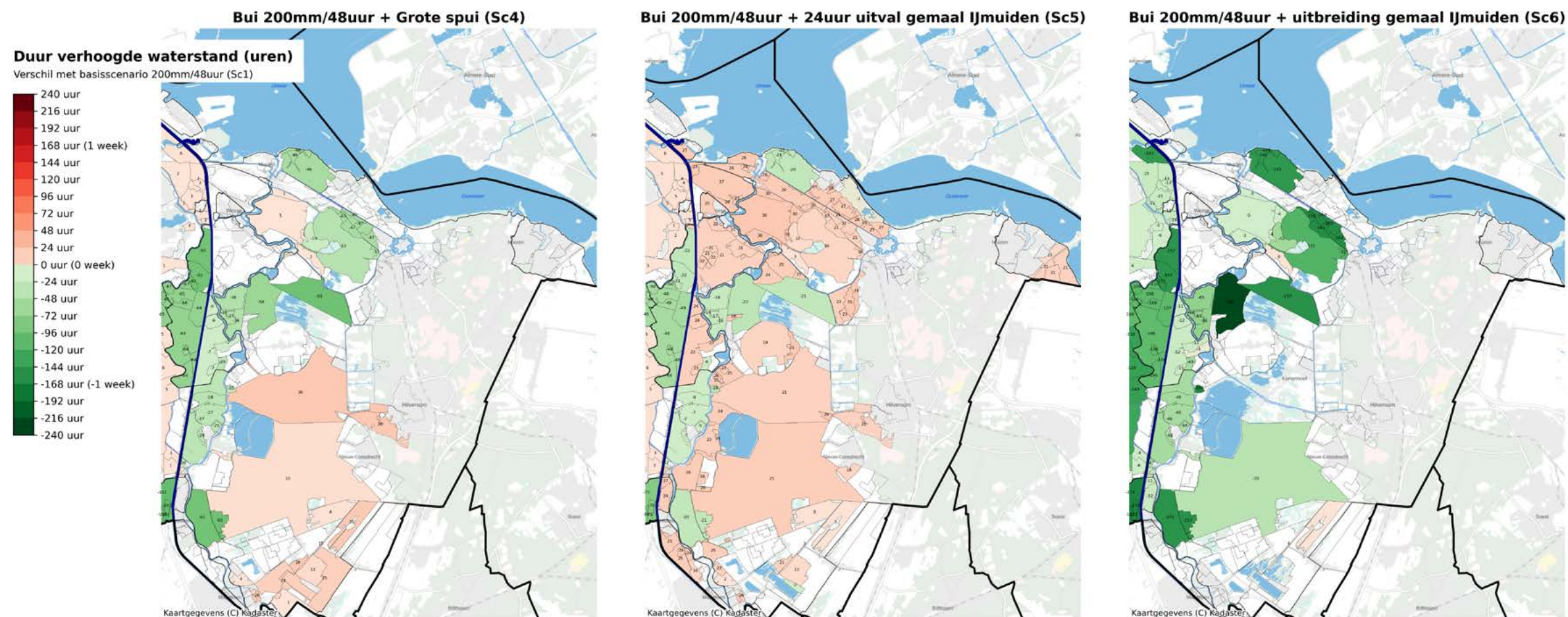
Via Muiden kan men vanuit de Vecht onder vrijval water afvoeren naar het Markermeer. Er kan in de berekende scenario's geen water richting het Markermeer worden afgelaten, omdat de bovenregionale bui ook het Markermeer treft stijgt het meerpeil daar namelijk ook met 20cm.

Op de Vechtboezem gelden dezelfde maalbeperkingen als op het ARK-NZK. Dit is door het waterschap vertaald naar hoge maalbeperkingen voor enkele polders, waarbij de andere polders zoveel mogelijk worden ontzien.

Bij scenario 4, 5 en 6 verandert de duur en mate van de maalbeperkingen ten opzichte van het basisscenario van de polders die malen richting het ARK-NZK, wat effect heeft op de duur van verhoogd peil. Omdat het waterschap ervoor heeft gekozen de maalbeperkingen vooral te focussen op enkele polders is daar het verschil vooral te zien. De grotere spui (scenario 4) heeft een positief effect door lagere maalbeperkingen. Bij 24 uur uitval van gemaal IJmuiden (scenario 5) zorgt de bijbehorende maalstop voor een 24 uur langere verhoogde waterstand in de polders die malen naar het ARK. Bij uitbreiding van gemaalcomplex IJmuiden (scenario 6) gelden er geen maalbeperkingen meer.







AGV-West: Amstellandboezem en Amsterdam

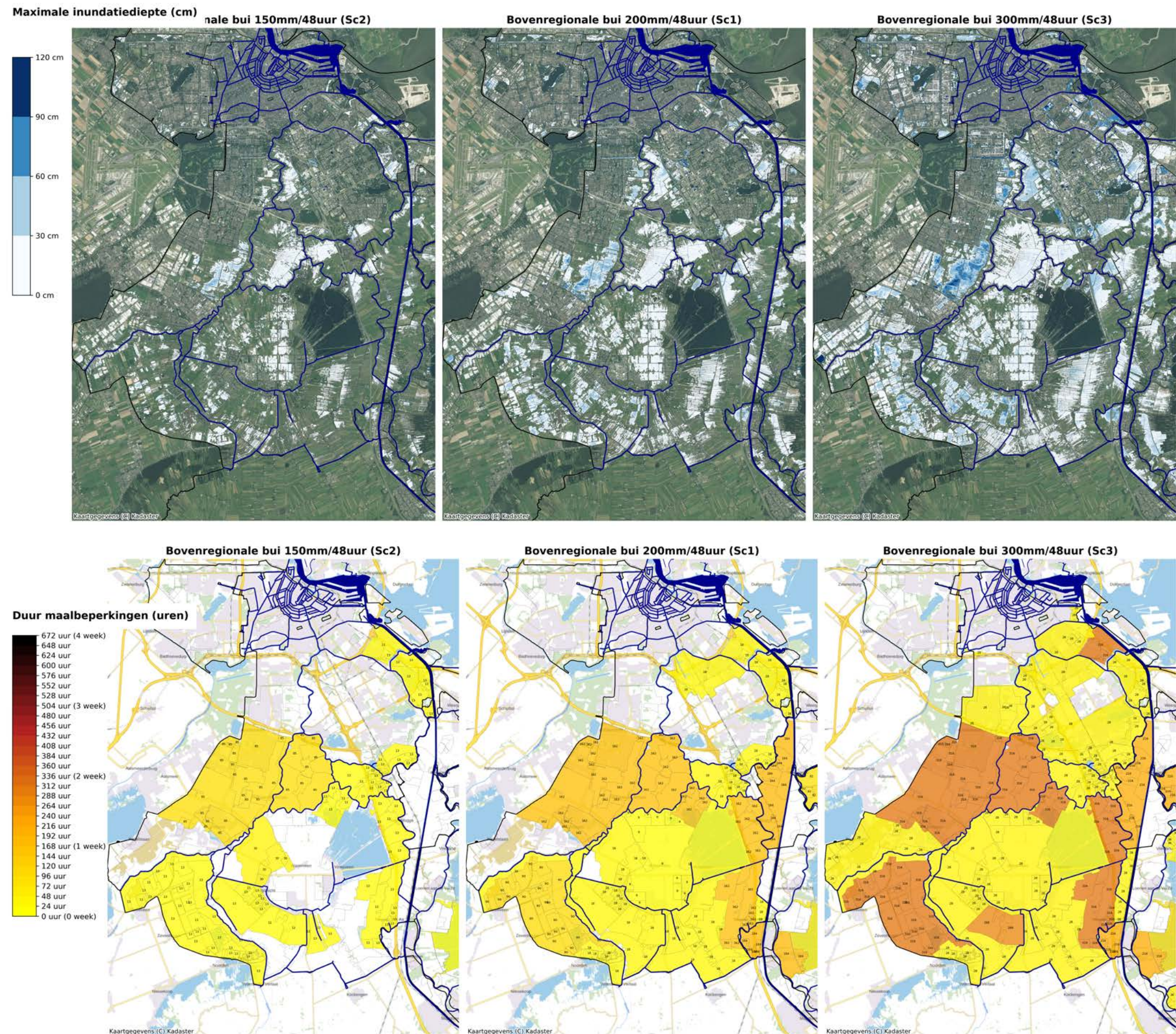
Voor de stad Amsterdam en de Amstellandboezem geldt een maximaal toelaatbare waterstand van NAP-0,20m. Dat betekent dat wanneer de waterstand op het ARK-NZK te veel stijgt, het IJ-front en de ARK-fronten gesloten moeten worden. In die periode kan er alleen afgevoerd worden via gemaal Zeeburg naar het Markermeer.

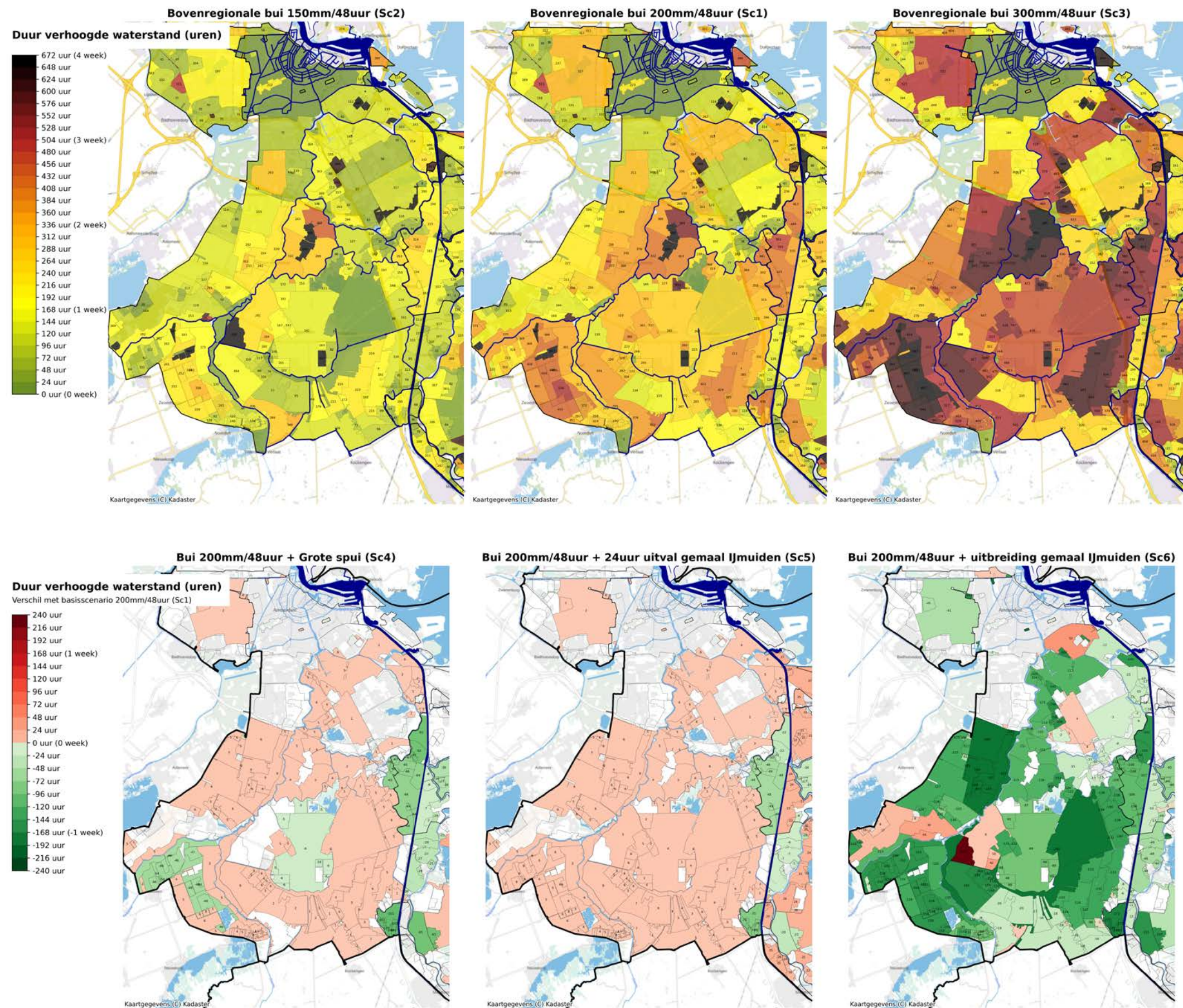
Bij de 150mm bui zijn de fronten 6 dagen gesloten, bij de 200mm bui is dit bijna 10 dagen en bij de 300mm bui 13 dagen lang.

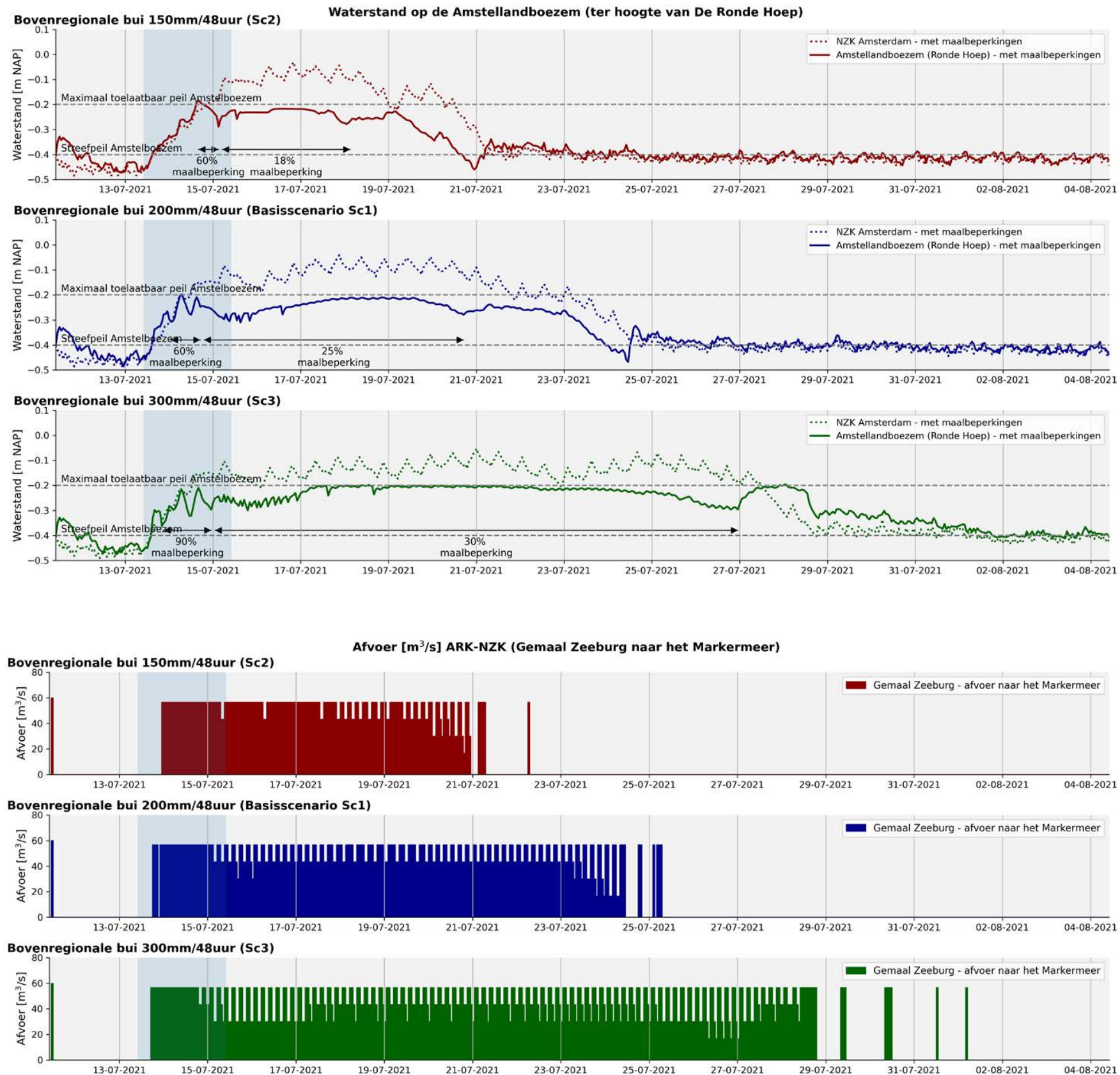
Gemaal Zeeburg heeft een maalcapaciteit van 57m³/s. Deze afvoer is kleiner dan wat alle poldergemalen en RWZI's op deze boezem onder deze omstandigheden aanvoeren, waardoor er maalbeperkingen opgelegd moeten worden voor de poldergemalen die richting de Amstellandboezem malen. De maalbeperkingen voor de Amstellandboezem zijn hierdoor ook veel langer en hoger dan voor de ARK-NZK. Er zijn een aantal polders aangewezen die eerder maalbeperkingen krijgen en daarmee ook een grotere maalbeperking. Bij de 150mm bui krijgen ongeveer de helft van de polders maalbeperkingen van enkele dagen. Bij de 200mm bui krijgen dezelfde polders een week lang maalbeperkingen opgelegd, terwijl de resterende polders één dag maalbeperkingen krijgt. Bij de 300mm wordt de duur van de maalbeperkingen verdubbeld. De keuze welke polders te maken krijgen met een maalbeperking is bepaald met de vasthoudpoldertool.

De langere en grotere maalbeperkingen hebben invloed op de overlastduur of de periode die nodig is om het watersysteem weer op streefpeil te krijgen. Bij de 150mm bui duurt het bijna een week, bij de 200mm bui duurt het bijna twee weken en bij de 300mm bui duurt het gemiddeld 3 weken. De polders die voorrang krijgen bij het malen (en dus geen of minder maalbeperkingen hebben) zijn een paar dagen eerder weer op streefpeil, terwijl de polders met maalbeperkingen er dus langer over doen.

Bij scenario 4, 5 en 6 verandert de duur en mate van de maalbeperkingen ten opzichte van het basisscenario van de polders die malen richting het ARK-NZK, wat effect heeft op de duur van verhoogd peil. De maalbeperkingen op de Amstelboezem worden echter bepaald door het sluiten van het IJ-front en het ARK-front, waardoor alleen via gemaal Zeeburg afgevoerd worden. De grotere spui (scenario 4) zorgt voor een iets langere sluiting van de fronten en daarmee langere maalbeperkingen binnen de Amstelboezem. De 24 uur uitval van het gemaal IJmuiden (scenario 5) zorgt voor 24 uur langere hoge waterstanden op het ARK-NZK en dus ook een langere sluiting van de fronten. Substantiële uitbreiding van het gemaalcomplex zorgt ervoor dat de waterstand op het ARK-NZK laag genoeg blijft, de fronten geopend kunnen blijven en er veel polders geen maalbeperking meer krijgen.

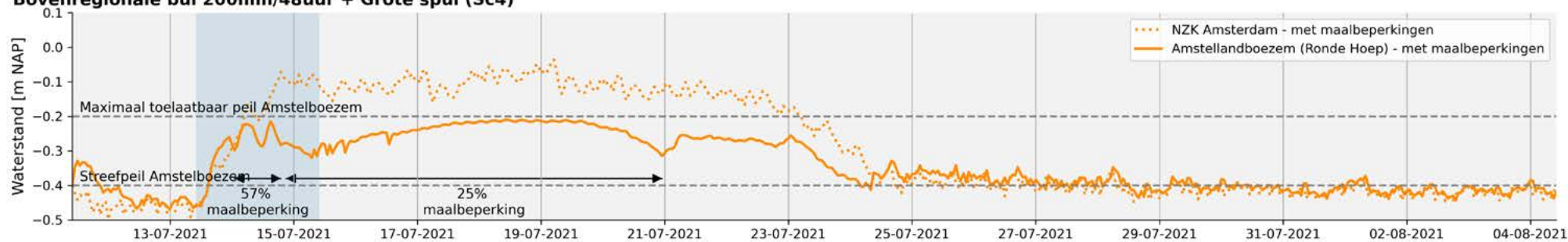




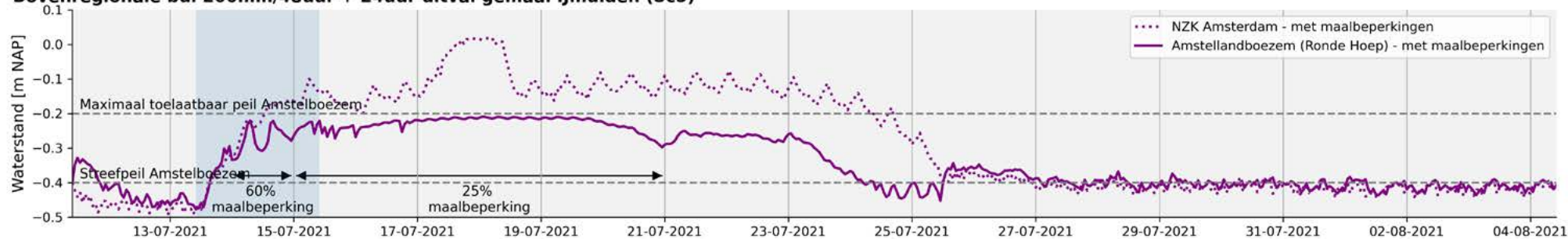


Waterstand op de Amstellandboezem (ter hoogte van De Ronde Hoep)

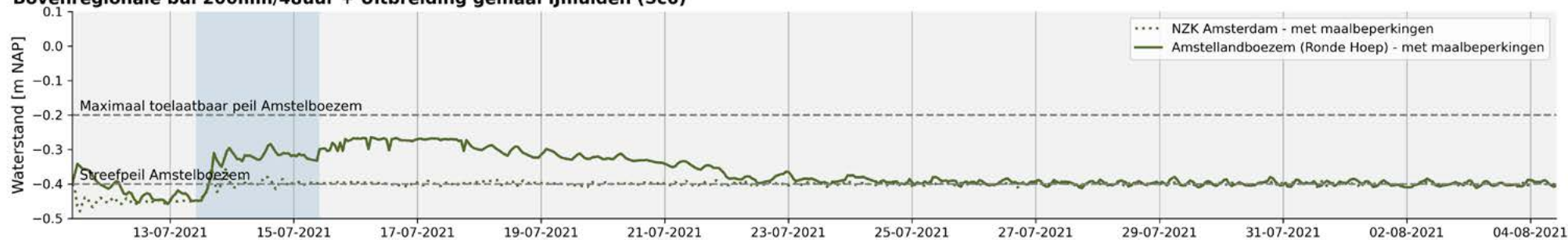
Bovenregionale bui 200mm/48uur + Grote spui (Sc4)



Bovenregionale bui 200mm/48uur + 24uur uitval gemaal IJmuiden (Sc5)

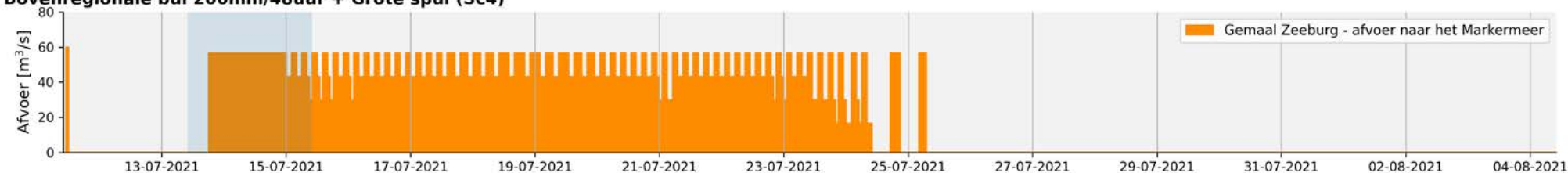


Bovenregionale bui 200mm/48uur + Uitbreiding gemaal IJmuiden (Sc6)

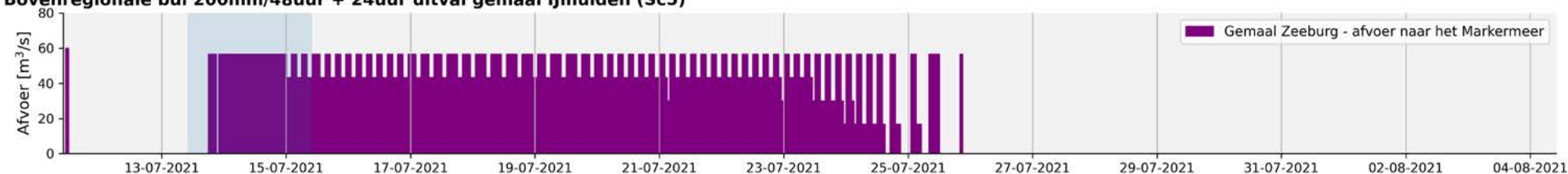


Afvoer (m³/s) ARK-NZK (Gemaal Zeeburg naar het Markermeer)

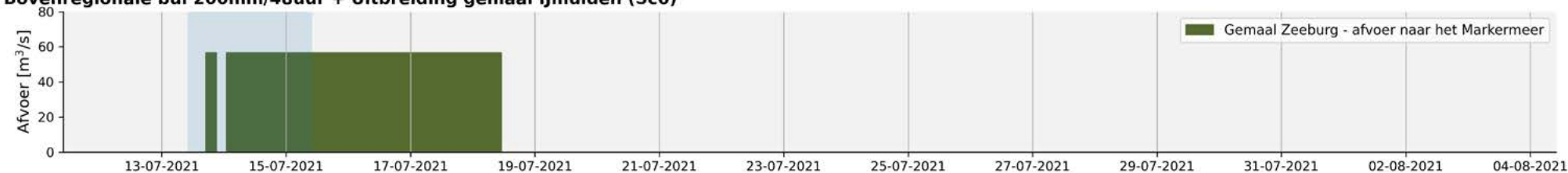
Bovenregionale bui 200mm/48uur + Grote spui (Sc4)



Bovenregionale bui 200mm/48uur + 24uur uitval gemaal IJmuiden (Sc5)



Bovenregionale bui 200mm/48uur + Uitbreiding gemaal IJmuiden (Sc6)



B.4 Hoogheemraadschap van Rijnland

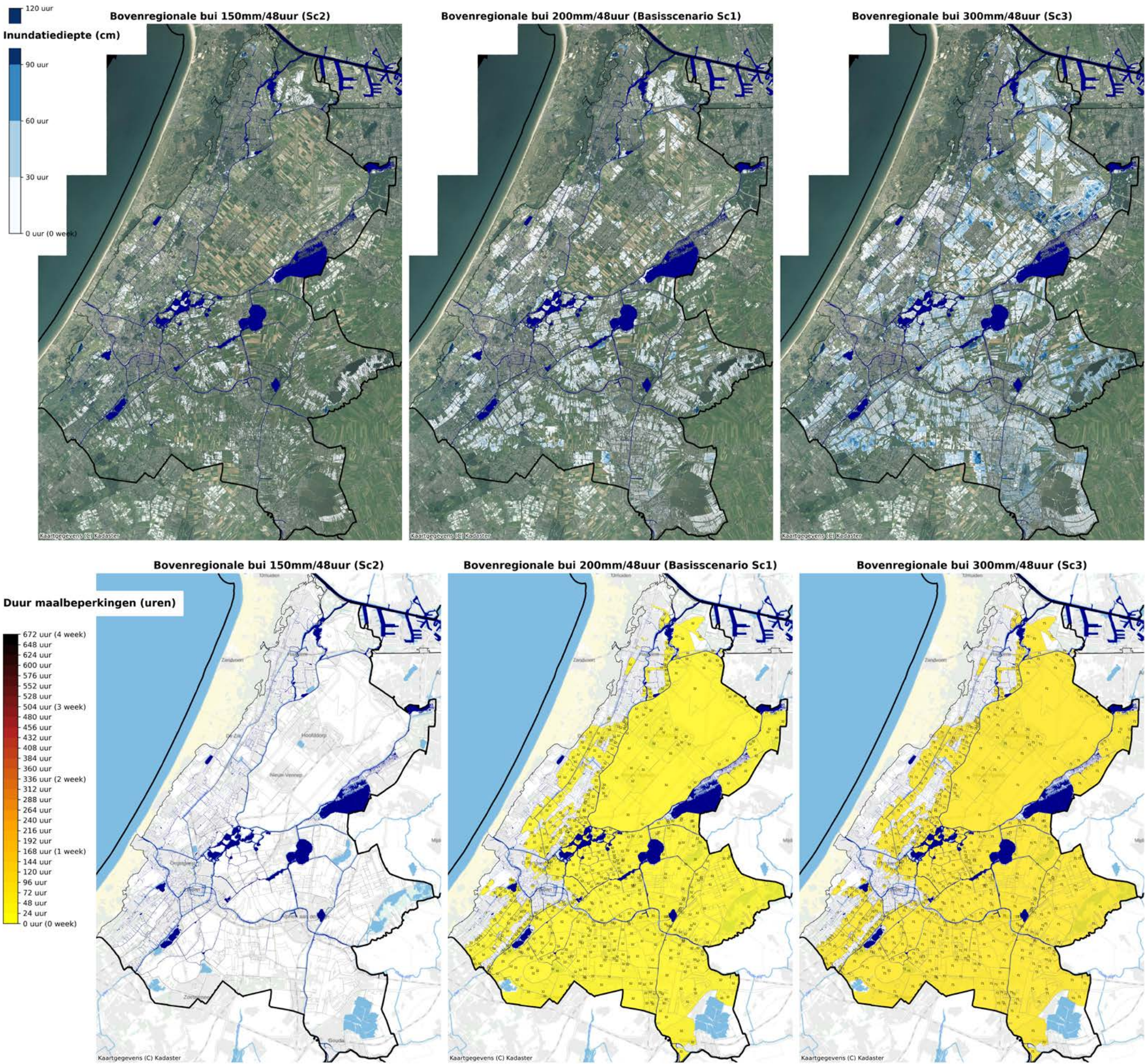
Knikpunten watersysteem met drie scenario's met 150mm, 200mm en 300mm

Op deze en de volgende pagina's zijn achtereenvolgens de kaarten te zien met de maximale inundatiediepte, de duur van de maalbeperkingen en de duur van verhoogd peil voor scenario met de buivolumes 150/200/300mm in 48 uur.

De kaarten met inundatiediepte laten zien dat bij de bui met 150mm de inundatie van maaiveld beperkt blijft. Bij de bui met 200mm is het al veel meer en bij de bui met 300mm nog veel meer. Het lijkt er daarom op dat het bodem- en watersysteem de eerste 150mm nog grotendeels kan bergen, zowel in de polders als op de boezem. Bij de 200mm wordt deze grens overschreden. Bij de bui met 300mm, zorgt de extra 100mm voor grootschalige berging op maaiveld, waarbij ook locaties ontstaan met meer dan 90cm waterdiepte boven op het maaiveld. Ook diverse stedelijke gebieden lijken te inunderen.

Bij de Rijnlandse boezem kan de boezem voorgemalen worden door de vier boezemgemalen: men kan in de twee dagen voor de bui de waterstand laten dalen van het streefpeil NAP-0,61m tot NAP-0,69m. In de uitgevoerde berekeningen wordt hierdoor al uitgegaan van een startpeil van NAP-0.69m. Ook in de polders wordt voorgemalen en in de berekeningen wordt daar dus ook rekening gehouden met een verlaagde initiële waterstand. Afhankelijk van de polder gaat het om een verlaging van 5 – 20cm.

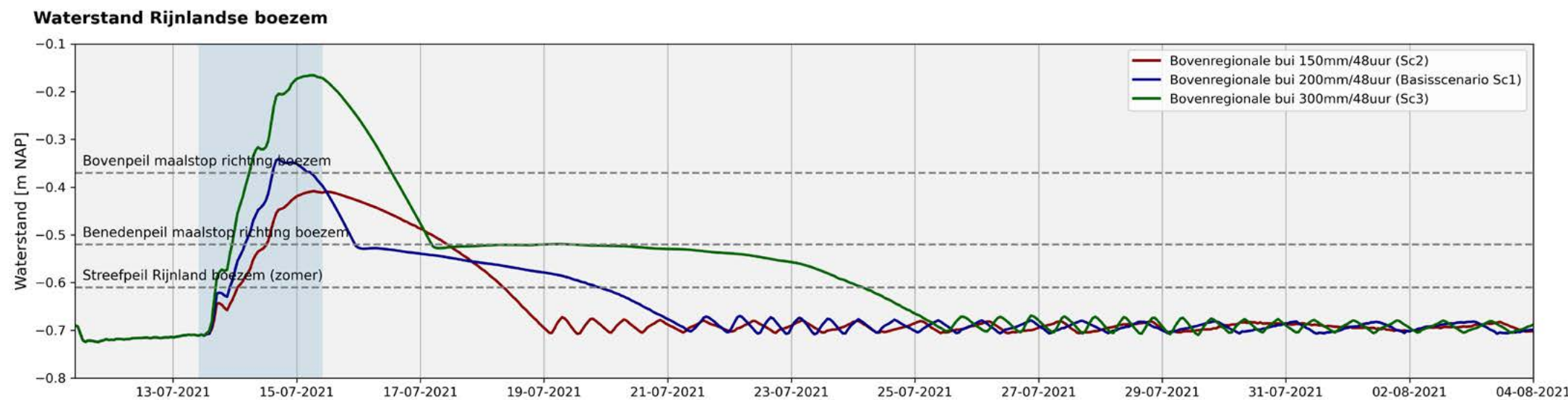
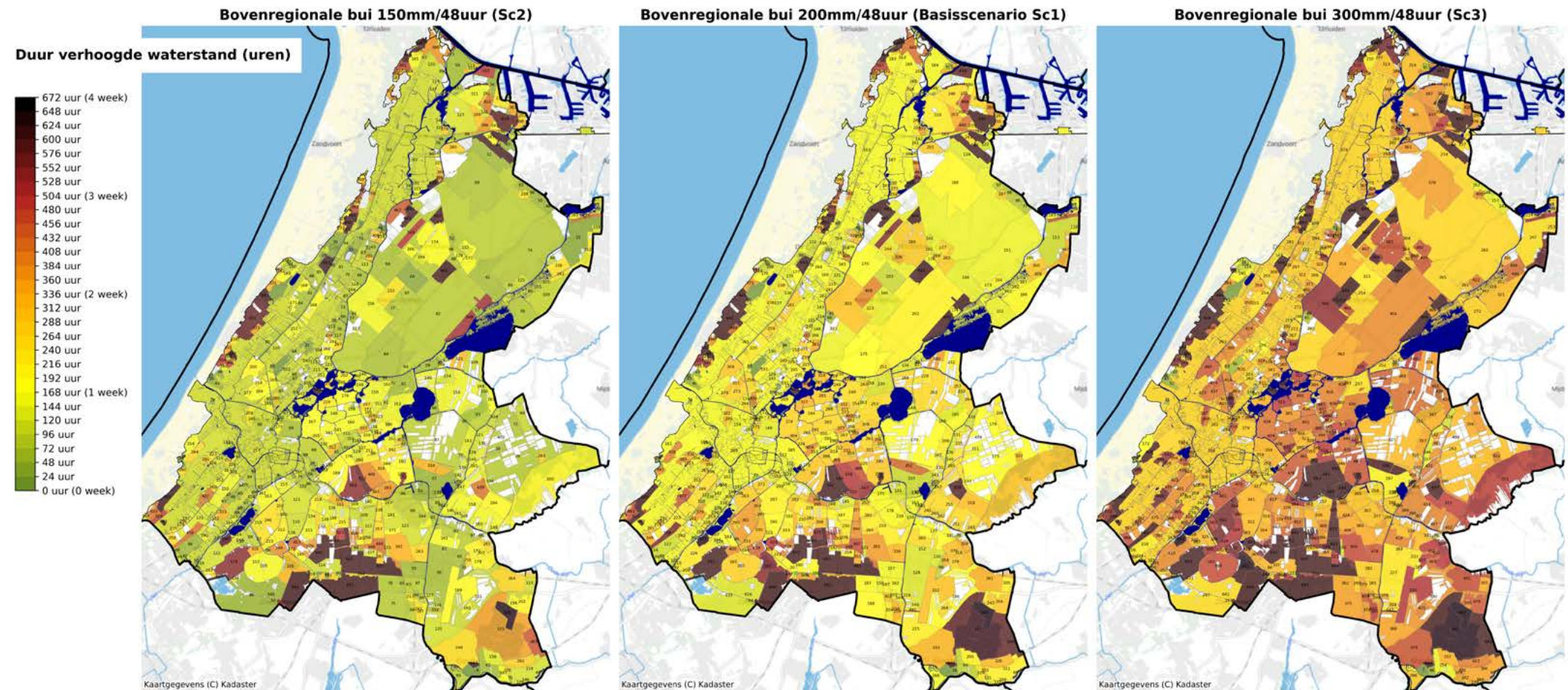
De kaarten met de periode van verhoogde waterstanden laten zien dat er veel variatie is tussen de peilgebieden. Een aantal polders waaronder de grote Haarlemmermeerpolder komt relatief snel terug naar streefpeil, in respectievelijk 3 dagen, 7 dagen en 14 dagen bij de buien met 150, 200 en 300mm aan neerslag. Andere gebieden zijn langer bezig om



terug te komen tot streefpeil. Dit zijn de hoger gelegen peilgebieden die langzaam leeglopen via stuwen.

De figuur hiernaast met de berekende waterstanden op de Rijnlandse boezem laat zien dat de waterstand snel stijgt tijdens de bui. Naast de vele poldergemalen die malen richting de boezem, wordt dit mede veroorzaakt door de neerslag op de boezem zelf en op het boezemland dat direct richting de boezem afstroomt. De volgende punten vallen op:

- Tijdens de bui met 150mm stijgt het boezempeil tot NAP-0,40m, wat nog niet resulteert in een maalstop (waarschijnlijk zullen er in de praktijk al wel gedeeltelijke maalstops worden afgekondigd). Gedurende 5 dagen is het boezempeil hoger dan streefpeil. In dit scenario worden de 2 piekbergingen van Rijnland (Nieuwe Driemanspolder en Haarlemmermeerpolder) wel volledig ingezet.
- Tijdens de bui met 200mm stijgt het boezempeil snel en wordt na 30uur al het maalstopniveau behaald. De waterstand stijgt alsnog verder tot NAP-0,35m. Gedurende 32 uur is er sprake van een algehele maalstop die voor alle poldergemalen geldt. Gedurende 6 dagen is het boezempeil hoger dan streefpeil.
- Bij de bui met 300mm stijgt het boezempeil in 20uur tot maalstoppeil en stijgt daarna nog 20cm door tot NAP-0,17m. Dit leidt tot een algehele maalstop gedurende 71uur. Gedurende 10 dagen is het boezempeil hoger dan streefpeil. Het waterschap heeft aangegeven dat het maximale boezempeil van NAP-0,17m een probleem wordt voor de boezemkeringen (stabiliteit/overtopping). Het leidt ook tot inundatie van boezemland met bebouwing. In het geval er een boezemkade bezwijkt, zal de boezem van Rijnland mogelijk gecompartmenteerd worden door de inzet van noodkeringen (o.a. balgstuwen).



De afvoer verloopt via de gemalen Halfweg, Spaardam, Gouda en Katwijk (zie de figuren op de volgende pagina aan de linkerkant). Via het gemaal Katwijk wordt het grootste deel afgevoerd. De figuren met de afvoeren per scenario per boezemgemaal laten zien dat maximaal gemalen wordt zolang het boezempeil te hoog is. Ook zijn de opgelegde maalbeperkingen voor gemaal Halfweg en Spaarndam te zien.

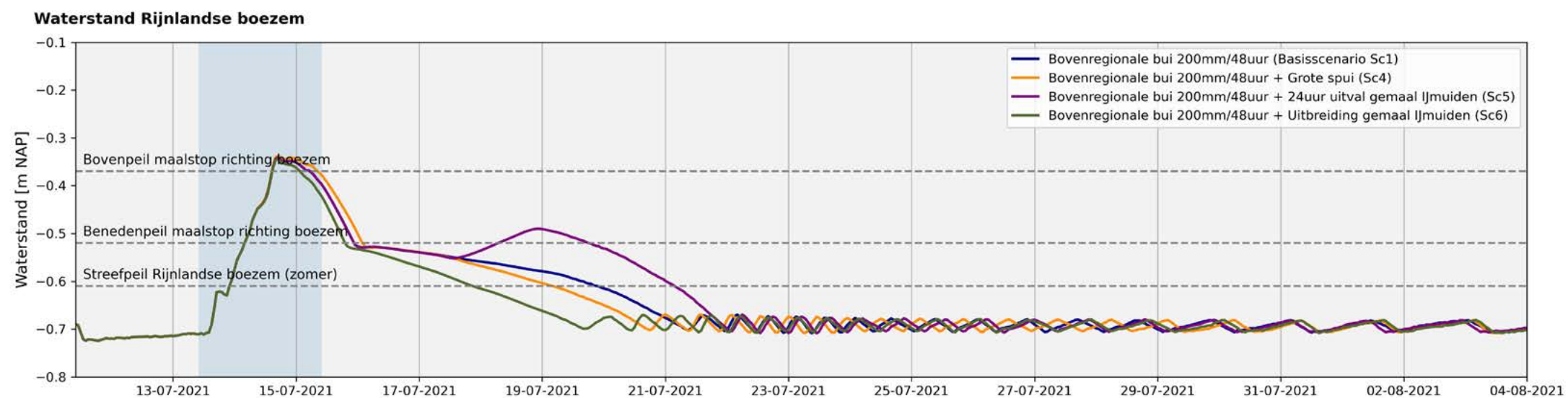
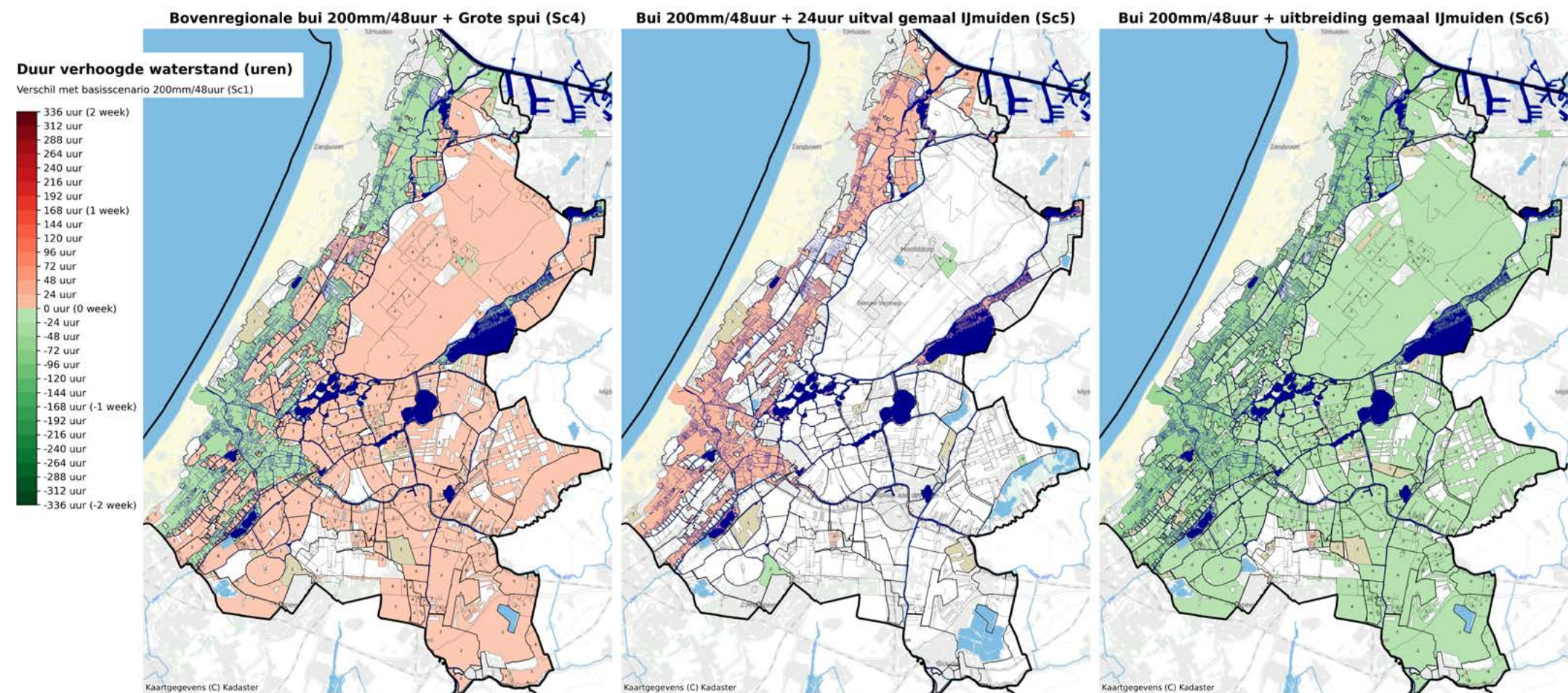
Invloed Afvoercapaciteit Spui- en Gemaalcomplex IJmuiden

Scenario's 4, 5 en 6 veranderen voor het beheergebied van Rijnland de duur en mate van de maalbeperkingen die gelden voor de boezemgemalen Halfweg en Spaarndam. In de figuren hiernaast wordt de duur verhoogd peil en de waterstand op de boezem vergeleken met het basisscenario.

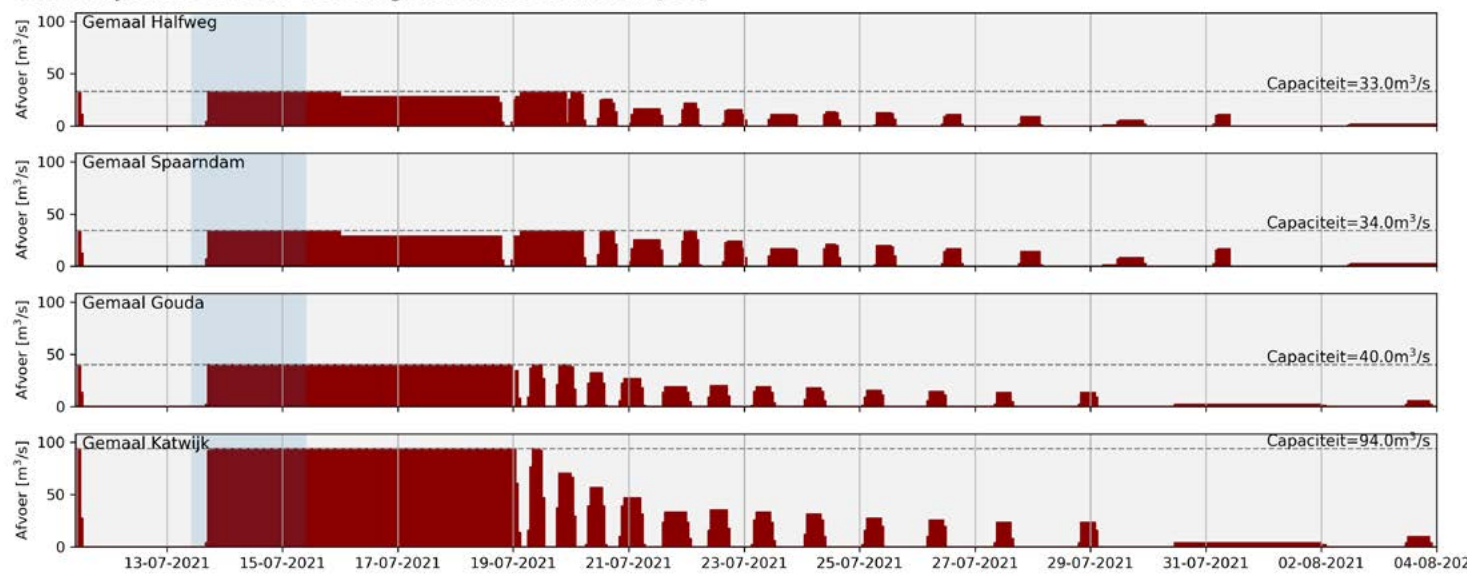
De grotere spui (scenario 4) leidt tot een hogere maalbeperking tijdens de bui, maar vervolgens wel een kortere. Door het samenvallen met de maalstop voor de poldergemalen naar de boezem van Rijnland krijgen de polders een langere maalstop en duurt het dus langer voordat de waterpeilen gelijk zijn aan streefpeil, maar de boezem is uiteindelijk juist sneller op streefpeil.

De 24uur uitval van gemaal IJmuiden (scenario 5) zorgt voor een volledige maalstop voor boezemgemalen Halfweg en Spaarndam. De uitval vindt 48 uur na de bui plaats waarbij de waterstand op de boezem van Rijnland al gedaald is. De maalstop voor Halfweg en Spaarndam leidt wel tot een stijging van het boezempeil, maar dit leidt niet tot een nieuwe maalstop voor de poldergemalen.

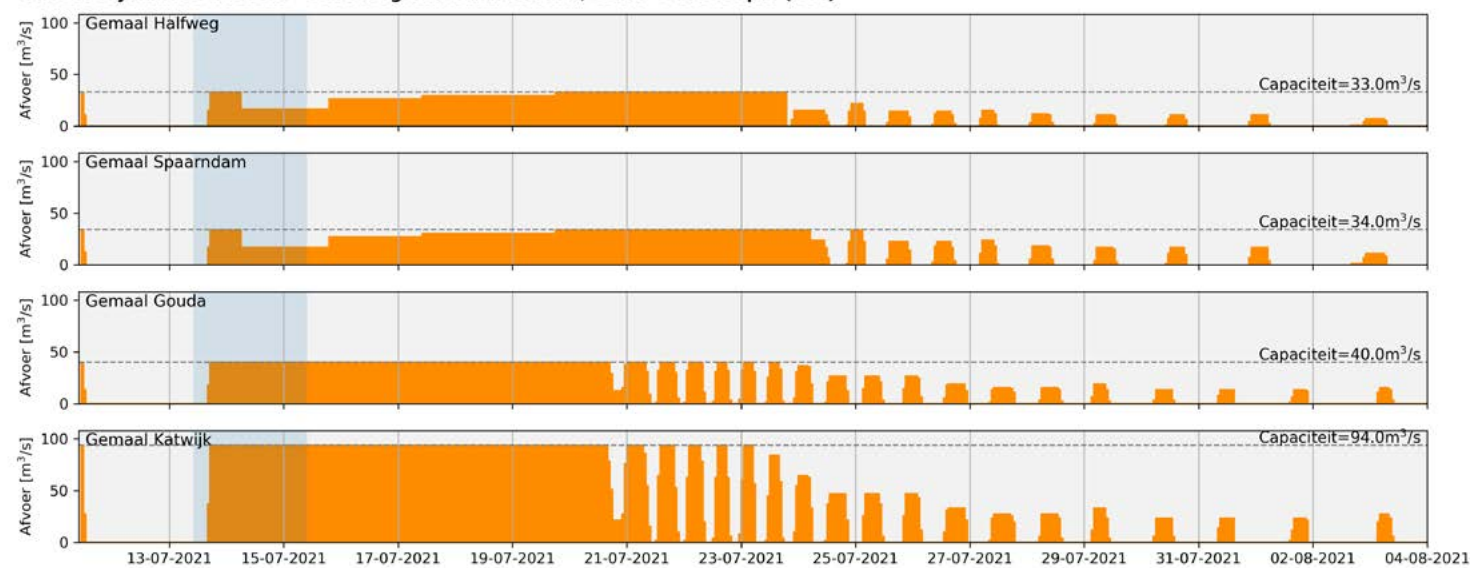
De uitbreiding van gemaal IJmuiden (scenario 6) voorkomt maalbeperkingen en zorgt ervoor dat het boezempeil sneller daalt en de poldergemalen een kortere maalstop ondervinden.



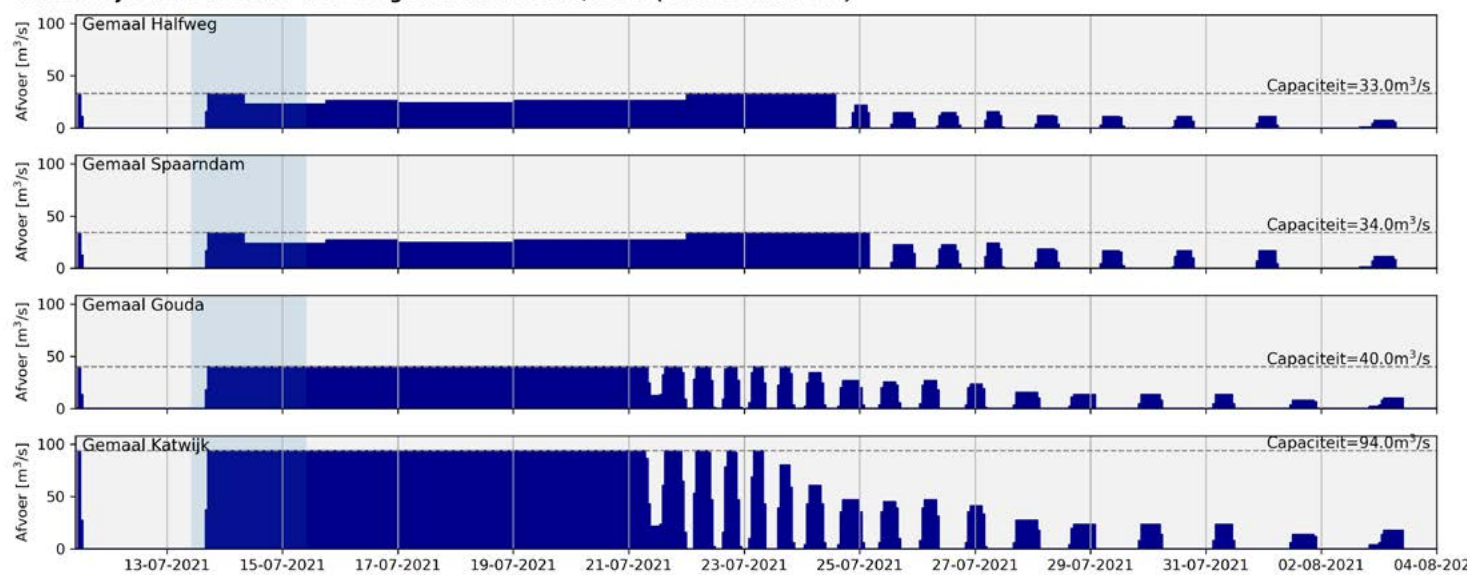
Afvoer Rijnlandse boezem - Bovenregionale bui 150mm/48uur (Sc2)



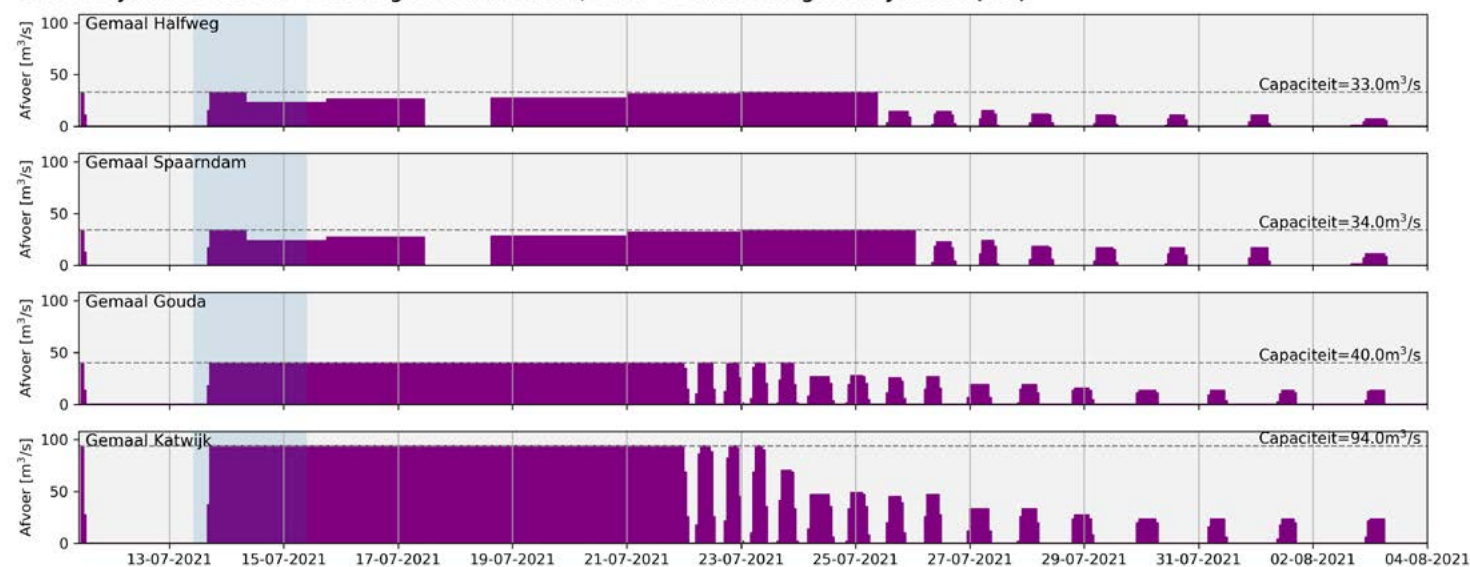
Afvoer Rijnlandse boezem - Bovenregionale bui 200mm/48uur + Grote spui (Sc4)



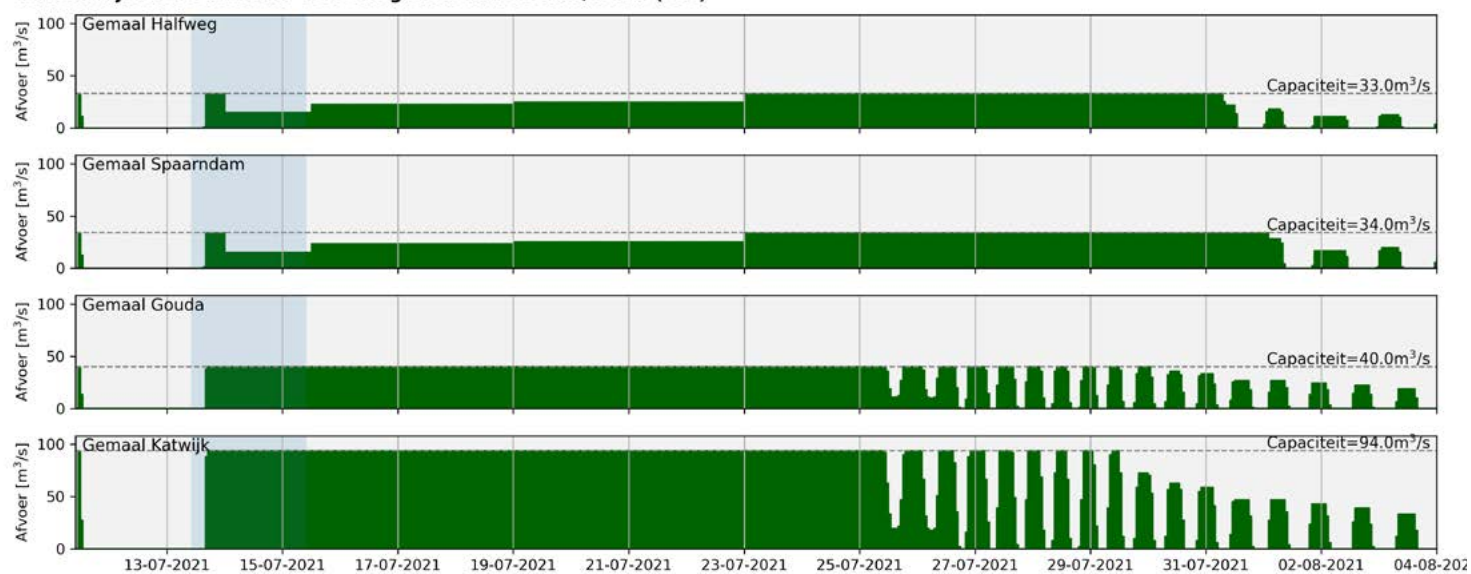
Afvoer Rijnlandse boezem - Bovenregionale bui 200mm/48uur (Basisscenario Sc1)



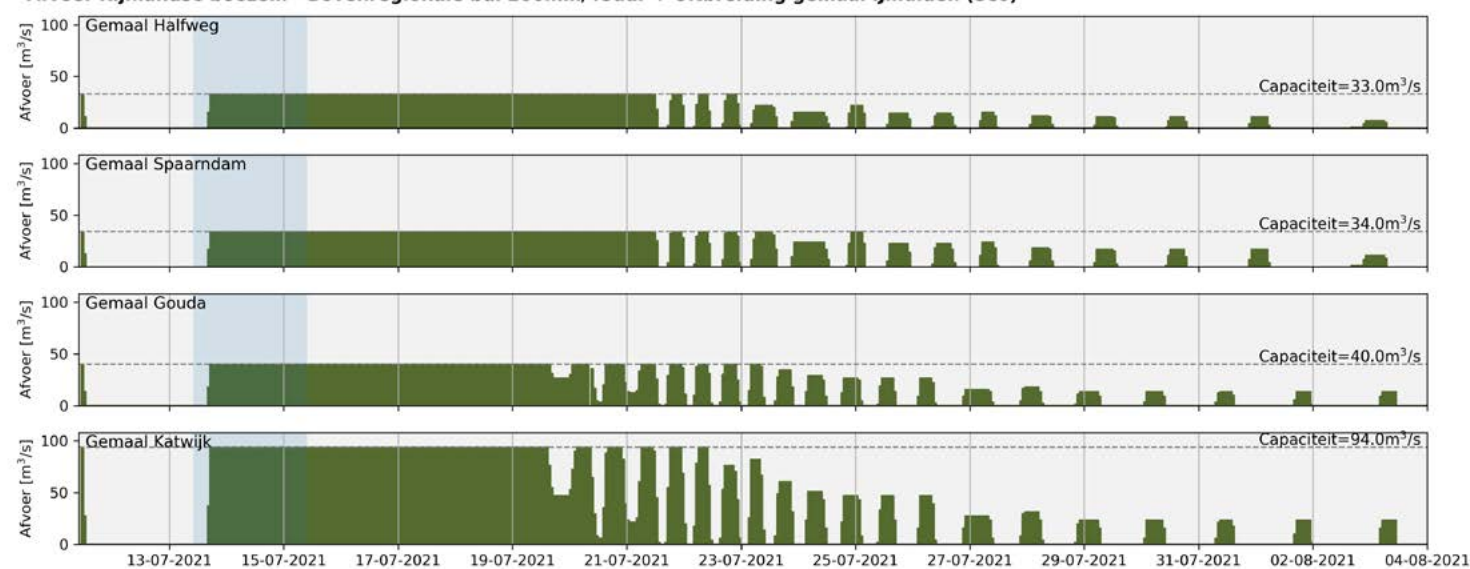
Afvoer Rijnlandse boezem - Bovenregionale bui 200mm/48uur + 24uur uitval gemaal IJmuiden (Sc5)



Afvoer Rijnlandse boezem - Bovenregionale bui 300mm/48uur (Sc3)



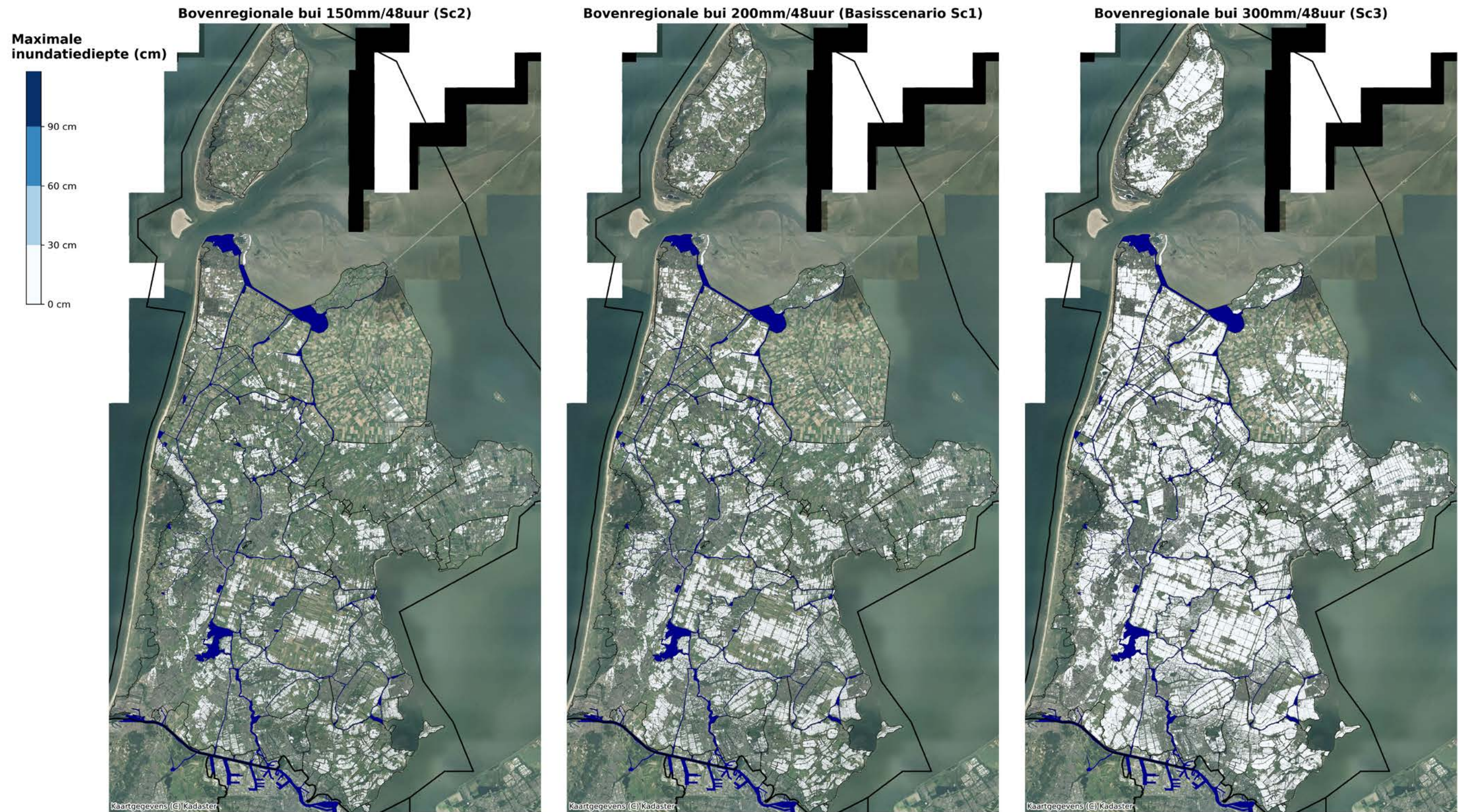
Afvoer Rijnlandse boezem - Bovenregionale bui 200mm/48uur + Uitbreiding gemaal IJmuiden (Sc6)



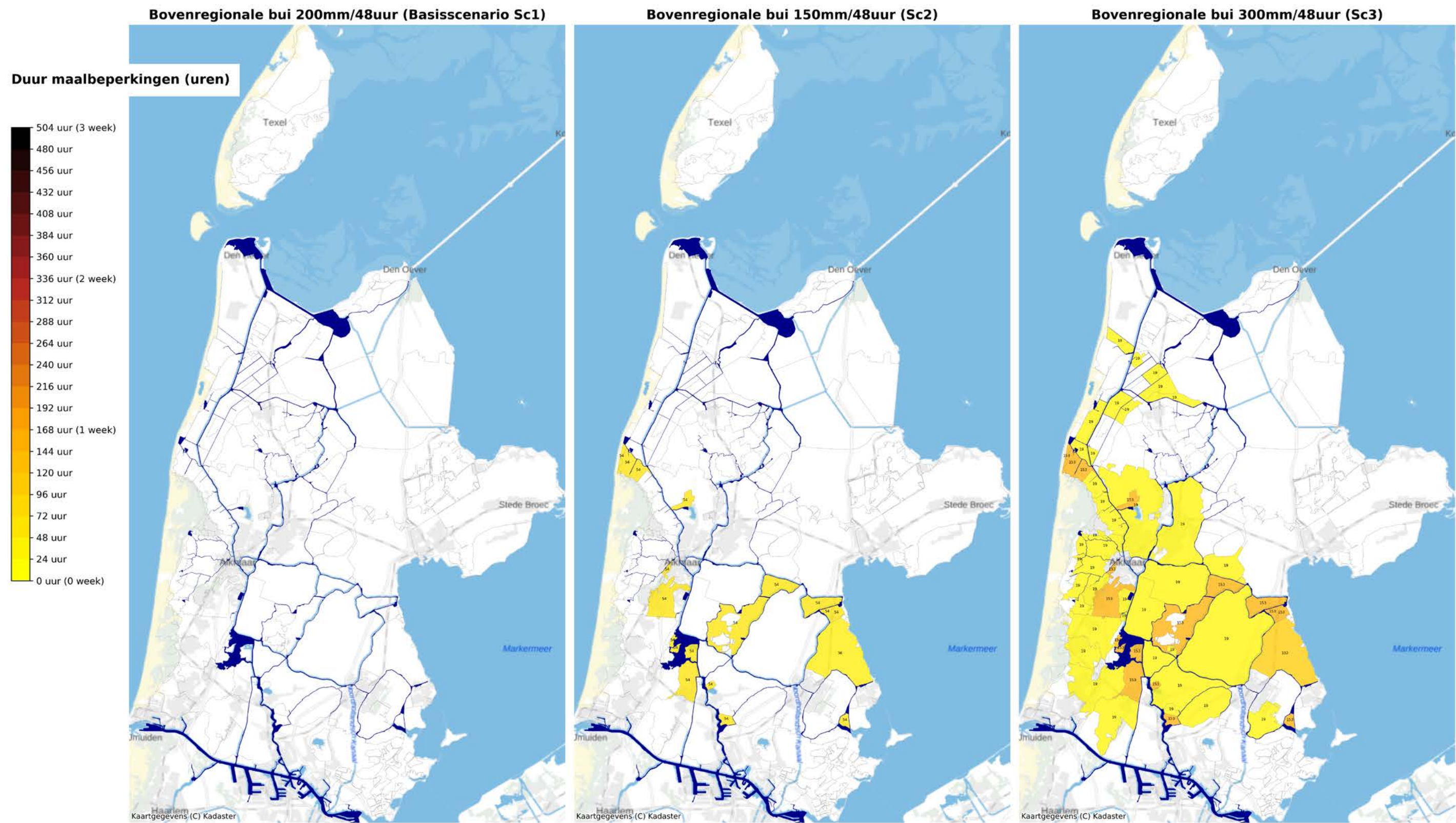
B.5 Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier

Zoals eerder aangegeven laat het gebied van HHNK relatief meer inundatie zien, wat deels te verklaren is aan de wijze van modelleren (1D-2D op hoge resolutie). Bij de bui van 150mm is al redelijk veel inundatie te zien, en dit wordt veel meer bij de hogere buivolumes. Uitzondering vormt de Wieringermeerpolder waar bij 150mm en 200mm nog geen inundatie is te zien, terwijl dit bij de 300mm er wel is. Dit heeft te maken met de relatief grote berging in het watersysteem

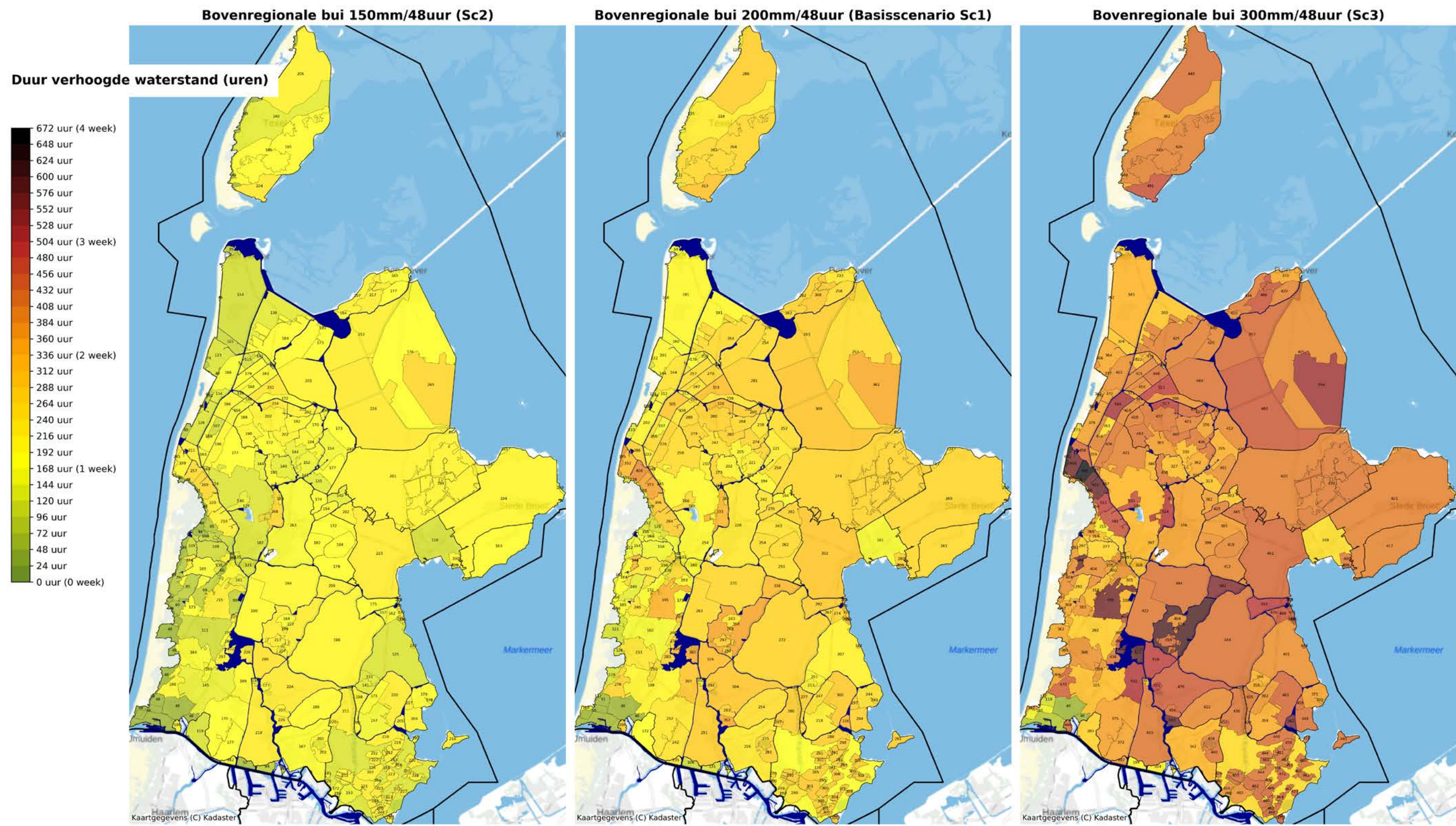
van de Wieringermeer. Verder valt op dat binnen stedelijk gebied veel wijken met inundatie van straten te maken krijgen. Echter is dus niet duidelijk of dit voor korte periode is (tijdens afstroming) of voor langere duur (inundatie vanuit oppervlaktewater). Door het ontbreken van riolering in de poldermodellen blijft er in het model relatief veel water staan in lagere delen van stedelijk gebied, terwijl dit in de praktijk niet zo hoeft te zijn. Ook zal het model hierdoor het niet laten zien als er inundatie optreedt via de riolering.



Bij de bui met 150m is er nog geen sprake van maalbeperkingen voor de poldergemalen. Ondanks een maalbeperking voor het Zaangemaal kan deze en de overige boezemgemalen de aanvoer via de poldergemalen aan. Bij de 200mm bui krijgen de categorie 1 polders een maalstop van 2 dagen opgelegd. Bij de 300mm bui geldt voor de helft van de polders van de Schermerboezem dat ze een maalstop krijgen: de categorie 1 polders in totaal 6 dagen, de categorie 2 polders krijgen bijna 1 dag te maken met een maalstop.



De duur van verhoogd peil neemt toe met het buivolume. De poldergemalen zijn bij de 150mm bui 8 dagen maximaal aan het malen, bij de 200mm bui gemiddeld 10 dagen en bij de 300mm bui 18 dagen. Bij de 200mm en de 300mm valt duidelijk op dat de polders met maalstops langer een verhoogde waterstand hebben. De polders geven verder een redelijk homogeen beeld, ook de polders die niet bij de Schermerboezem horen en afvoeren richting het Markermeer, IJsselmeer of Waddenzee.



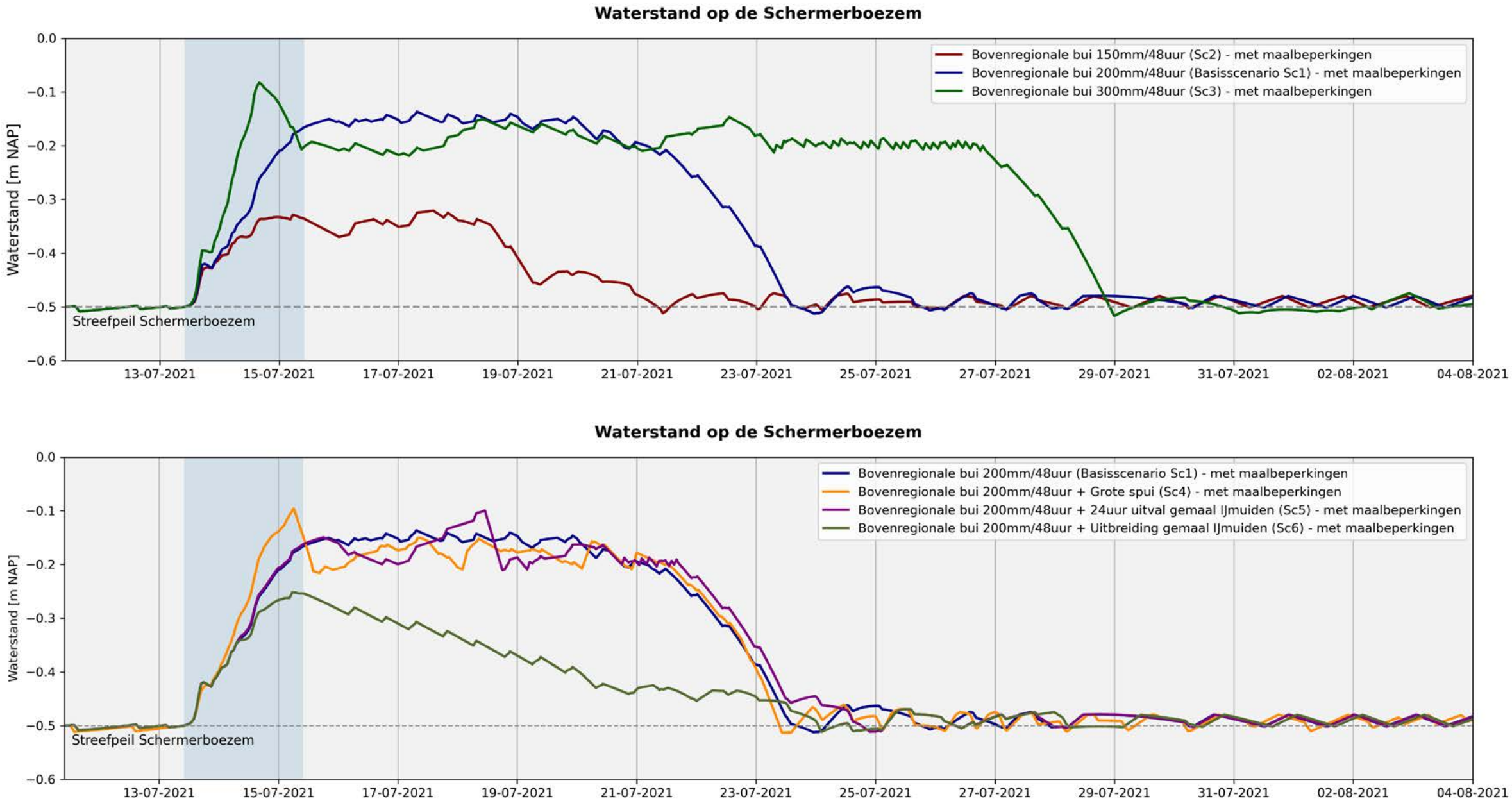
De waterstand op de Schermerboezem is gepresenteerd in de figuur hieronder voor de drie scenario's met verschillend buivolume. Bij 150mm zorgt het 8 dagen lang voor een hoger peil op de Schermerboezem met een maximale verhoging van 15cm. Bij 200mm zorgt het 10 dagen lang voor een 35cm hoger peil op de Schermerboezem waarbij dus ook maalbepelingen gelden om te voorkomen dat het waterpeil te veel stijgt. Bij 300mm zorgt het 16 dagen lang voor een 35cm hoger peil op de Schermerboezem met ook langere periode maalbepelingen.

Twee pagina's verder zijn de afvoeren gepresenteerd tijdens de scenario's voor de vier boezemgemalen van de Schermerboezem. Te zien zijn: 1) de verschillen tussen de scenario's in periodes van malen, 2) dat er een volgorde zit in uitschakelen van de gemalen: Helsdeur, Monickendam, C. Mantel en het Zaangemaal en 3) de maalbepelingen die worden opgelegd op het Zaangemaal.

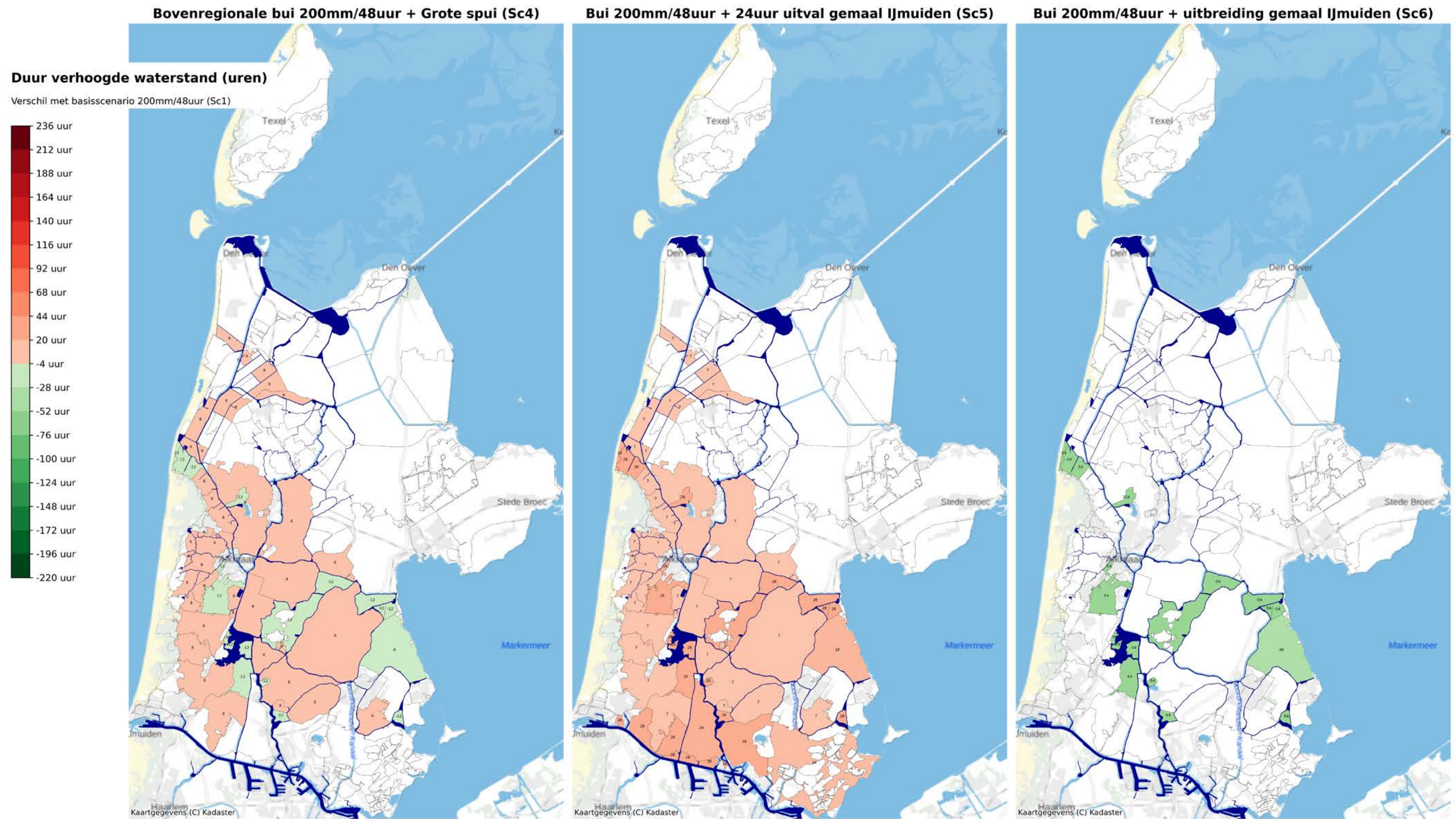
Scenario's 4, 5 en 6 veranderen ten opzichte van het basisscenario de duur en mate van de maalbepelingen die gelden voor het Zaangemaal en de polders die direct malen op het NZK. In de figuur onderaan deze pagina is de waterstand op de Schermerboezem te zien voor deze scenario's en het basisscenario en op de volgende pagina zijn de kaarten te zien met het verschil in duur van verhoogd waterpeil van deze scenario's in vergelijking met het basisscenario.

Omdat scenario 4 (grotere spui) leidt tot een grotere maar wel kortere maalbepeking, heeft dit een negatief effect op de categorie 2 polders die wel extra maalbepeking krijgen opgelegd, maar een positief effect op de categorie 1 polders omdat de maalbepeking sneller wordt opgeheven.

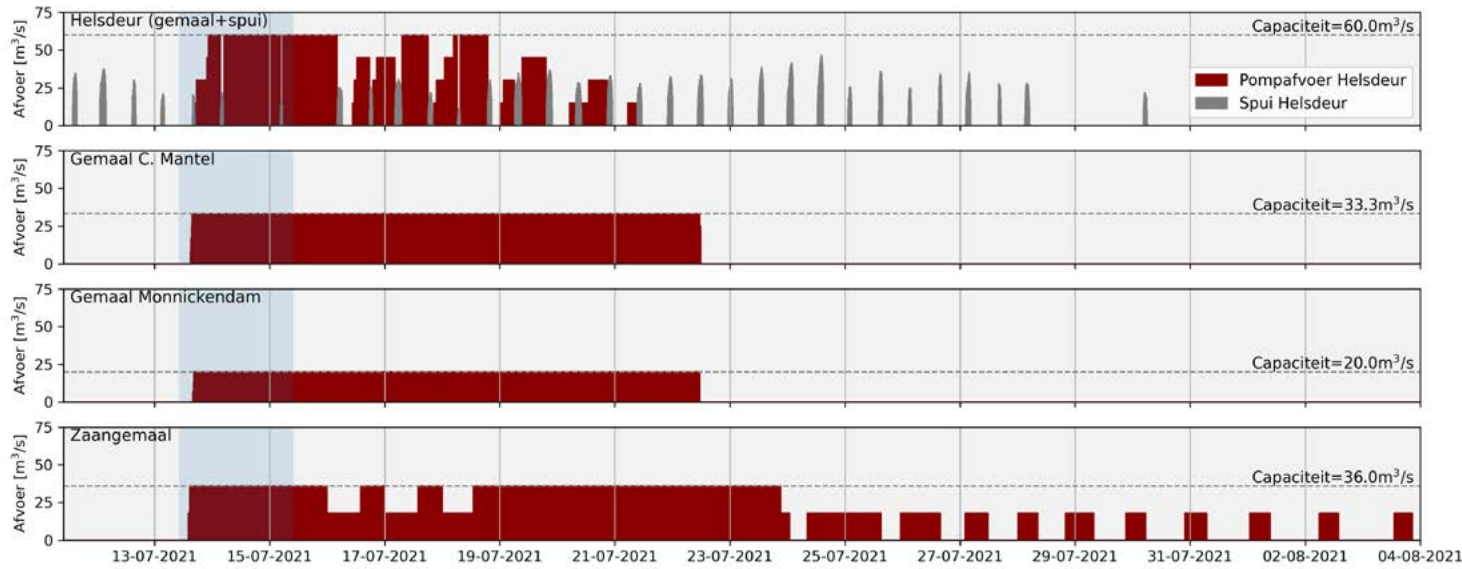
Uitval van gemaalcomplex IJmuiden (scenario 5) vertaald zich door naar de polders langs het NZK en de gehele Schermerboezem. Het verschil met het basisscenario in duur van verhoogd peil is 24 uur voor de categorie 1 polders en 7 uur voor de categorie 2 polders. De volledige maalstop heeft alleen impact op het Zaangemaal, dus afvoer naar het Markermeer en via Helsdeur naar de Waddenzee blijft mogelijk.



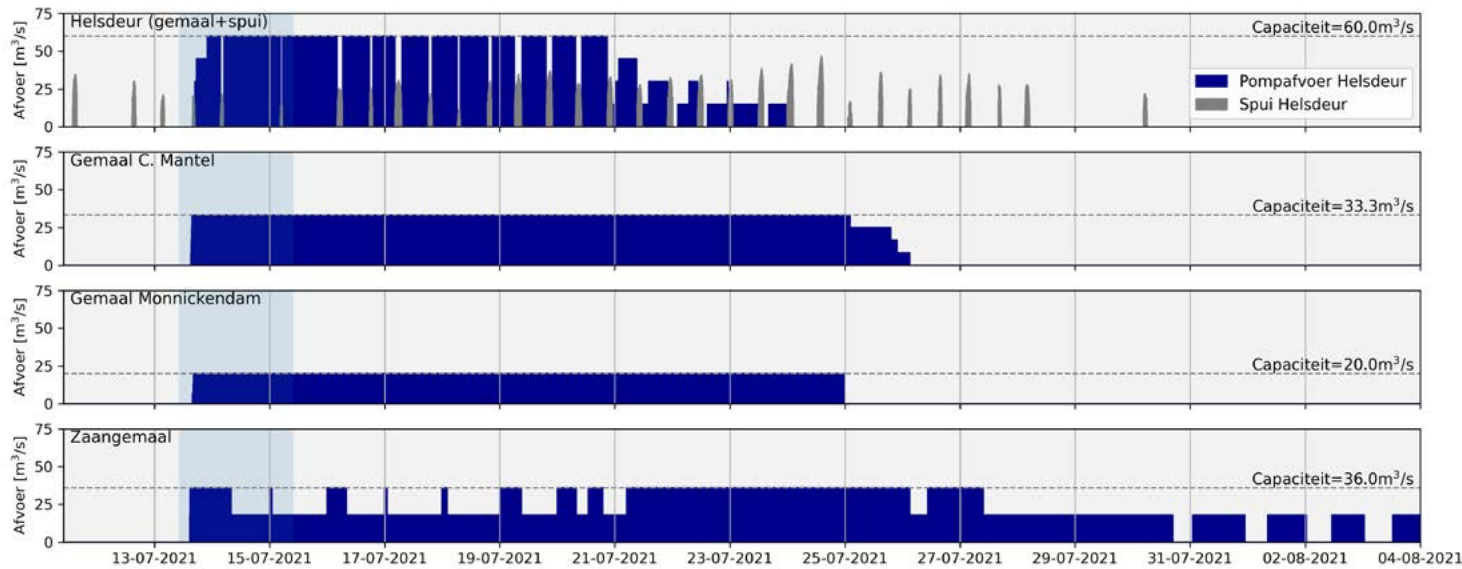
Uitbreiding van gemaalcomplex IJmuiden (scenario 6) resulteert in geen maalbeperkingen meer voor de (categorie 1) polders in de Schermerboezem. De waterstand op de Schermerboezem stijgt dan nog maximaal 25 cm tijdens de bui en daalt daarna snel.



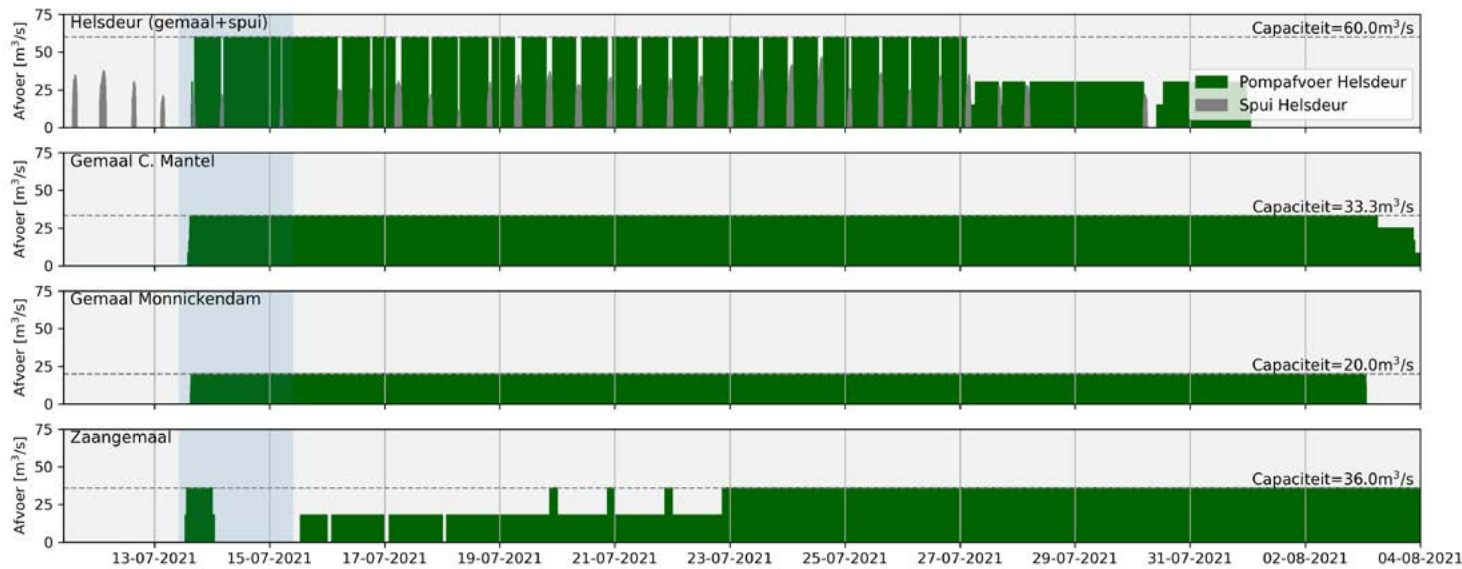
Afvoer Schermerboezem - Bovenregionale bui 150mm/48uur (Sc2)



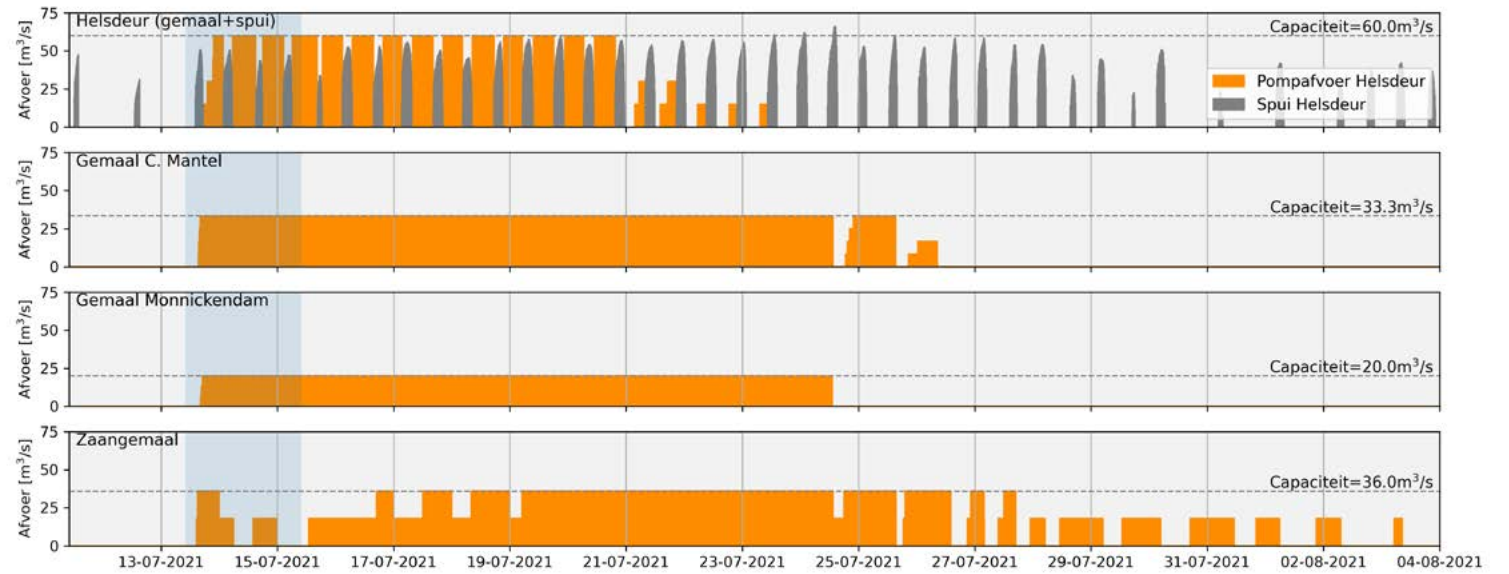
Afvoer Schermerboezem - Bovenregionale bui 200mm/48uur (Basisscenario Sc1)



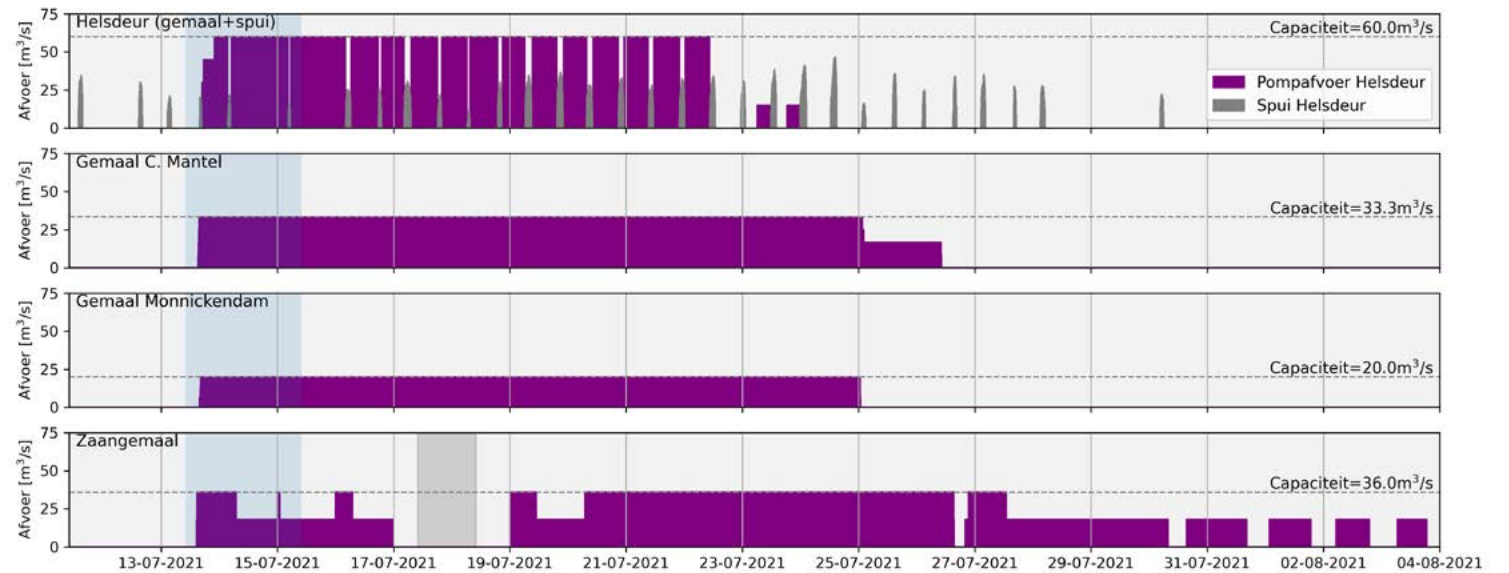
Afvoer Schermerboezem - Bovenregionale bui 300mm/48uur (Sc3)



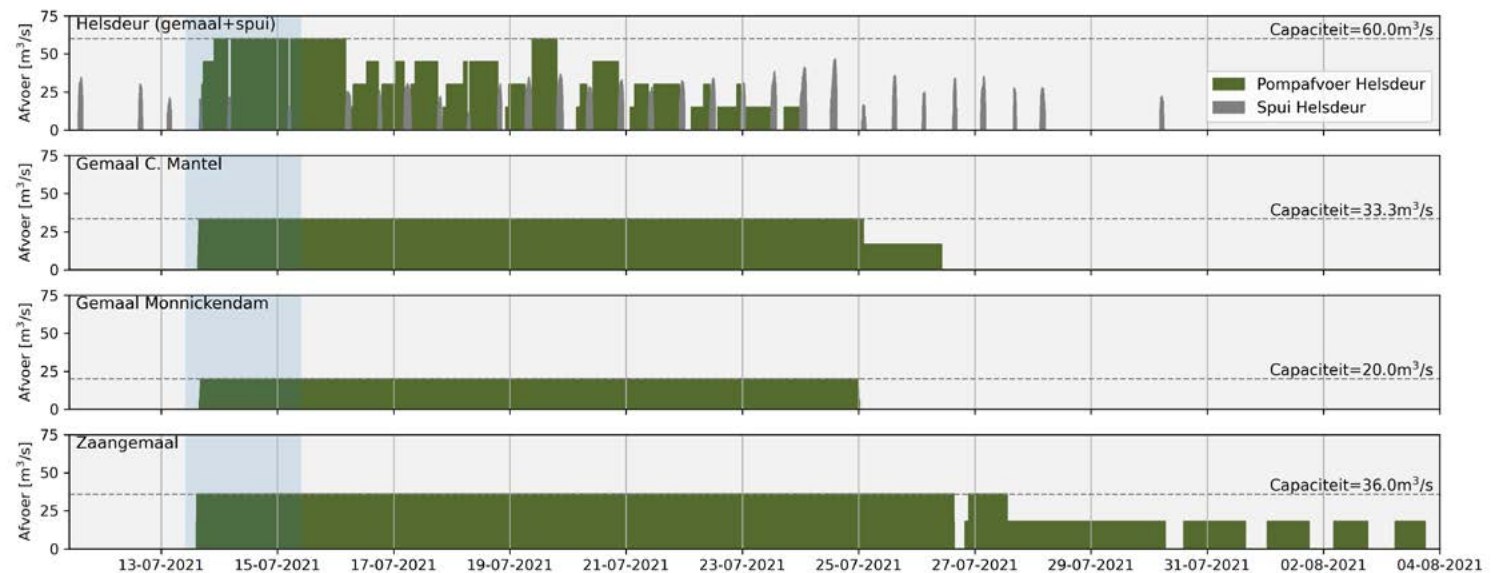
Afvoer Schermerboezem - Bovenregionale bui 200mm/48uur + Grote spui (Sc4)



Afvoer Schermerboezem - Bovenregionale bui 200mm/48uur + 24uur uitval gemaal IJmuiden (Sc5)



Afvoer Schermerboezem - Bovenregionale bui 200mm/48uur + Uitbreiding gemaal IJmuiden (Sc6)



Bijlage C – Stedelijke modellering

Onderstaande analyse is uitgevoerd door Waternet / Gemeente Amsterdam
Contact: Jora Slinger

C.1 Aanleiding

Stedelijk gebied in oppervlaktewatermodellen

In de bovenregionale stresstest wordt met de oppervlaktewatermodellering ook inundatie voor stedelijk gebieden berekend. Net als in het landelijk gebied zijn dit bij AGV, HDSR en Rijnland 1D-berekeningen waar de oppervlaktewateren op maaiveld inunderen, wanneer de maaiveldpixel onder peilniveau ligt. De neerslagafvoer bestaat in bebouwde gebieden uit een combinatie van afstroming over maaiveld en afvoer via gescheiden of gemengde rioolstelsels. Om deze complexiteit en mogelijke inundatie in stedelijk gebied beter in kaart te brengen wordt een koppeling gemaakt van oppervlaktewatermodellen

(Sobek/D-Hydro) met stedelijke modellen (InfoWorks ICM).

Stedelijke modellering

Voor stresstesten extreme neerslag zijn in Amsterdam gedetailleerde 2D neerslag-afvoermodellen gemaakt in InfoWorks ICM, waarin zowel riolering als het maaiveld in 2D is verwerkt. Wanneer deze modellen worden aangepast om een peilstijging te berekenen kan inundatie plaatsvinden direct door neerslag, vanuit het oppervlaktewater op maaiveld en via riolering. Dit geeft een nauwkeuriger beeld van de mogelijke risico's op wateroverlast.

Projectgebied Watergraafsmeer

De Watergraafsmeer in Amsterdam-Oost heeft een streefpeil van -5.5 m NAP en wordt omringd door de Amsterdamse boezem met streefpeil -0.4 m NAP. Bij de 200 mm in 48 uur (het basisscenario) wordt in de bovenregionale stresstest een peilstijging in de polder berekend van ruim 0.9 m (naar -4.6 m NAP). De boezem wordt gehandhaafd op -0.2 m NAP. Vanwege de grote peilstijging wordt het stedelijk model van de Watergraafsmeer als eerste gebied doorgerekend met het basisscenario van de bovenregionale stresstest.

C.2 Methode

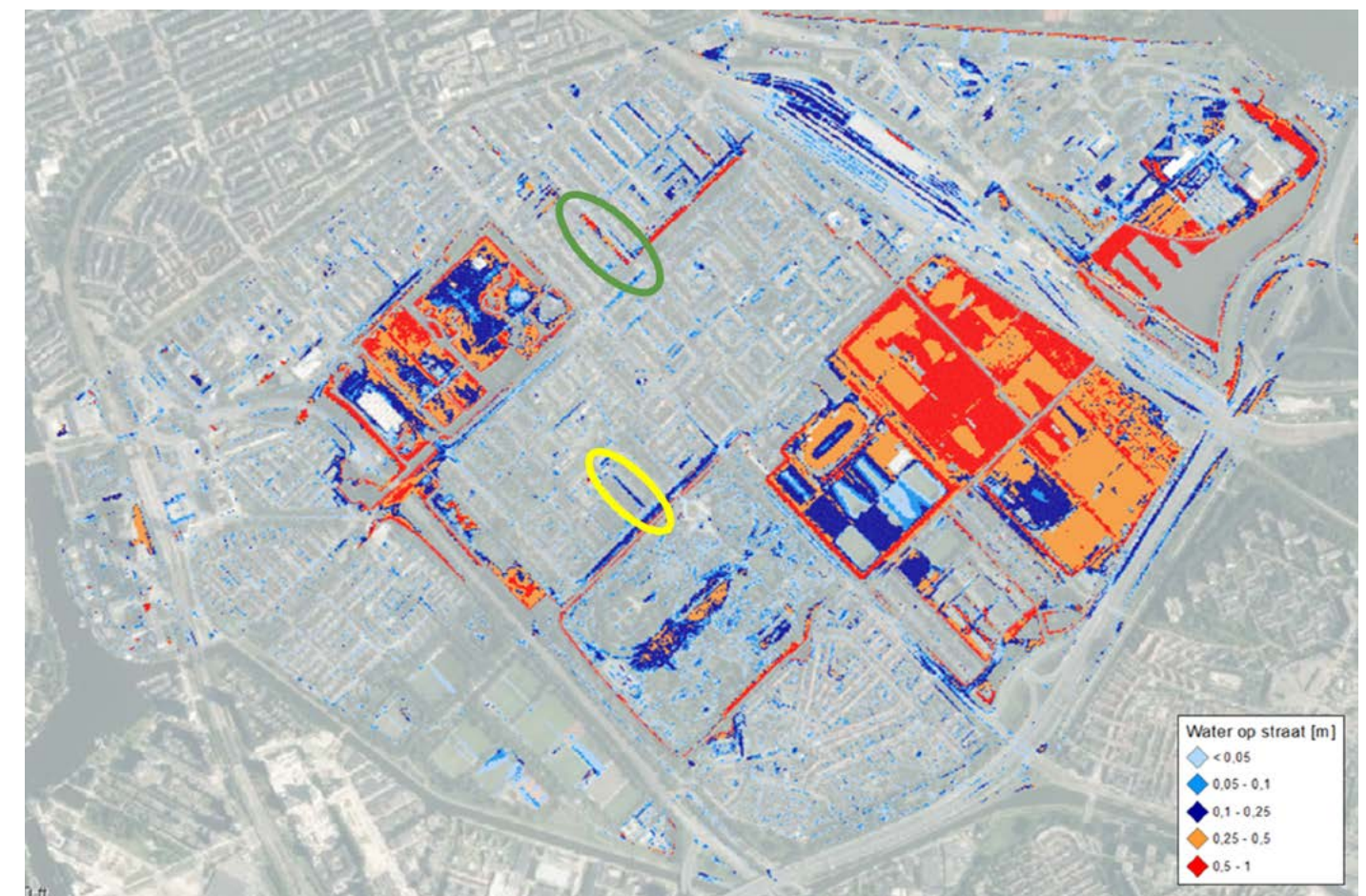
Voor stedelijke stresstesten (70 mm en 90 mm in één uur) zijn InfoWorks ICM modellen beschikbaar voor gemeente Amsterdam. Interactie tussen maaiveld en riolering vindt plaats via de kolken. Het maaiveld bestaat uit elementen vanaf 0.5 m², gebaseerd op de AHN5. Deze neerslag-afvoer modellen worden aangepast om een peilreeks om de maaiveldgrens (2D zone) te kunnen doorrekenen. Hiermee wordt directe inundatie van maaiveld bij peilstijgingen mogelijk. Ook wordt bij de uitlaten van de riolering niet uitgegaan van een peilreeks in plaats van een vast peil. De gebruikte peilreeks is de berekende peilstijging (per uur) voor de polder vanuit de oppervlaktewaterberekening in Sobek. In

InfoWorks ICM wordt een berekening gemaakt met het basisscenario (200 mm in 48 uur) in tijdstappen van 1 minuut.

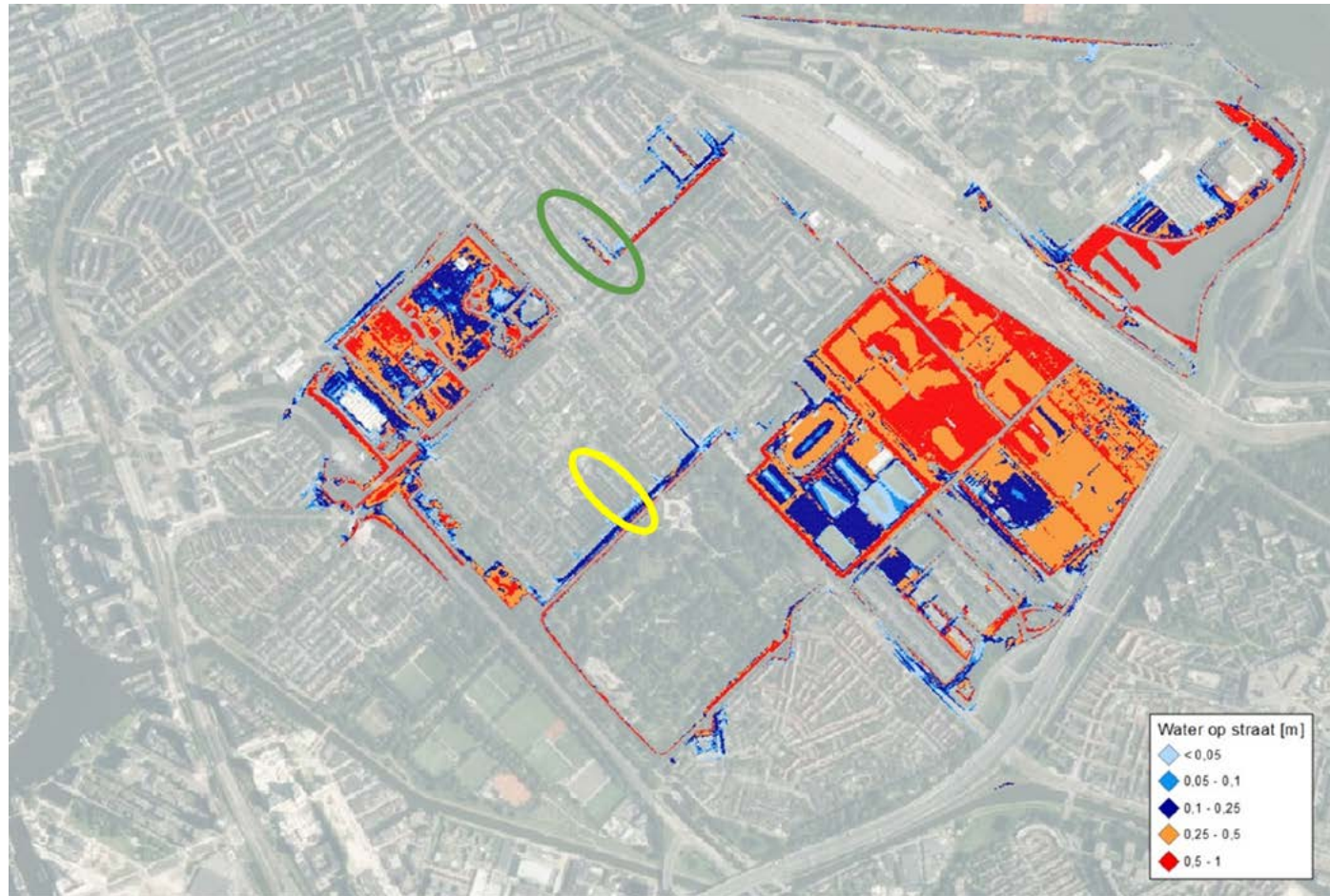
C.3 Resultaten

Bij een berekening met 200 mm in 48 uur wordt er voor de Watergraafsmeer op meerdere locaties water op straat berekend (Figuur C-1). De locaties met de meeste inundatie zijn: sportvelden Park de Meer, park Frankendael en begraafplaats de Nieuwe Ooster. Ook in de Linnaeusparkweg en in de Eisingastraat wordt water op straat berekend.

Figuur C-2 toont de maximale waterdiepte met enkel de berekende peilstijging uit Sobek bij het basisscenario; in de berekening in InfoWorks ICM valt geen neerslag. Hieruit is op te maken dat het grootste deel van het berekende water op straat voortkomt uit inundatie via maaiveld en riolering. Inundatie vindt vooral plaats in de laagste delen nabij het oppervlaktewater en op de sportvelden (die onderdeel zijn van een onderbemaling met een beperkte pompcapaciteit). Water op straat locaties zoals op begraafplaats de Nieuwe Ooster en de Eisingastraat worden duidelijk veroorzaakt door (afstroming van) neerslag in die gebieden.



Figuur C-1. Maximale waterdiepte [m] in Watergraafsmeer bij een (InfoWorks ICM) berekening met 200 mm neerslag in 48 uur inclusief de in Sobek berekende peilstijging. Linnaeusparkweg (groen) en Eisingastraat (geel).



Figuur C-2. Maximale waterdiepte [m] in Watergraafsmeer bij een (InfoWorks ICM) berekening zonder neerslag maar met de in Sobek berekende peilstijging behorende bij de bui met 200 mm in 48 uur. Linnaeusparkweg (groen) en Eisingastraat (geel).

C.4 Discussie

Vergelijking waterdieptes basisscenario Sobek

Voor de bovenregionale stresstest is de stedelijke polder Watergraafsmeer ook berekend in Sobek. Vanuit dit 1D oppervlaktewatermodel wordt inundatie berekend wanneer maaiveldhoogte lager is dan het berekende oppervlaktewaterpeil. De maximale waterdiepte tijdens de berekening van 200 mm in 48 uur is te zien in Figuur C-3. De sportvelden Park de Meer en park Frankendael zijn ook in deze berekening geïnundeerd. Echter, de berekende waterdieptes zijn aanzienlijk lager dan in de modellering in InfoWorks ICM (Figuur C-1). Ook worden er in de stedelijke modellering met InfoWorks meer locaties berekend waar water op straat komt te staan. Dit maakt het risico op wateroverlast groter dan in het waterbeeld van Sobek.

Vergelijking stresstest 70 mm InfoWorks ICM

De gemeente Amsterdam heeft in het Omgevingsprogramma Riolering (2022-2027) tot doel gesteld dat er bij een bui van 70 mm in één uur geen schade moet voorkomen aan bebouwing en infrastructuur. Bij een bui van 90 mm in één uur moet vitale infrastructuur blijven functioneren. Op basis

van deze stedelijke stresstesten worden risico's op wateroverlast gemaakt en programma's opgesteld om in projecten maatregelen te treffen om deze risico's te verminderen.

Figuur C-4 toont de maximale waterdiepte in Watergraafsmeer bij een berekening van 70 mm in één uur. Vergelijking met de berekening met 200 mm in 48 uur (Figuur C-1) geeft een heel ander beeld in de omvang en ernst van wateroverlast. De huidige aanpak om risico's bij 70 mm in één uur te verminderen zal dus niet altijd ook de risico's bij een bui van 200 mm in 48 uur aanpakken. Om de risico's van 200 mm in 48 uur te verminderen zijn maatregelen nodig op andere locaties en van vaak een grotere omvang.

Discussie model

Op het moment van schrijven is slechts één stedelijk model doorgerekend met het basisscenario. Voor andere stedelijke modellen kunnen de resultaten een ander beeld geven dan voor de Watergraafsmeer, een van de polders met de hoogste relatieve peilstijging. In de Watergraafsmeer ligt hoofdzakelijk gescheiden riolering, waarbij hemelwater direct wordt afgevoerd naar het oppervlaktewater. In een gebied met gemengde riolering (waar hemelwater via een gemaal wordt verpompt naar de rioolwaterzuivering) kan de dynamiek bij peilstijging anders zijn, bijv. doordat de stijging van het oppervlaktewater leidt tot verdrongen riooloverstorten.

Verder is enkel de 48 uur van de 200 mm bui doorgerekend, terwijl het oppervlaktewaterpeil nog langere tijd nadien hoog blijft. Naast het basisscenario zijn in de oppervlaktewatermodellen ook 5 andere scenario's doorgerekend. Hiervan resulteren de meeste scenario's in minder grote peilstijgingen, behalve het 300 mm in 48 uur scenario, wat mogelijk relevant is om ook door te rekenen. Tot slot zijn de afvoeren van Sobek en InfoWorks ICM met elkaar vergeleken. In InfoWorks ICM wordt er in totaal 311.262 m³ afgevoerd uit de hemelwaterriolering bij een berekening met 200 mm in 48 uur zonder peilstijging. In Sobek wordt uitgegaan van een afvoer van 334.228 m³ uit riolering bij het basisscenario. De 7% lagere afvoer uit InfoWorks ICM zal zorgen voor een minder grote peilstijging, dus in de inundatie zit nu een (kleine) overschatting. Dit kan worden opgelost door de uitvoer van riolering uit het InfoWorks ICM te gebruiken als input voor de berekeningen in Sobek. Aanbevolen wordt om verdere modellering uit te voeren van stedelijke gebieden binnen de bovenregionale stresstest om in voorgaande punten meer inzicht te krijgen.

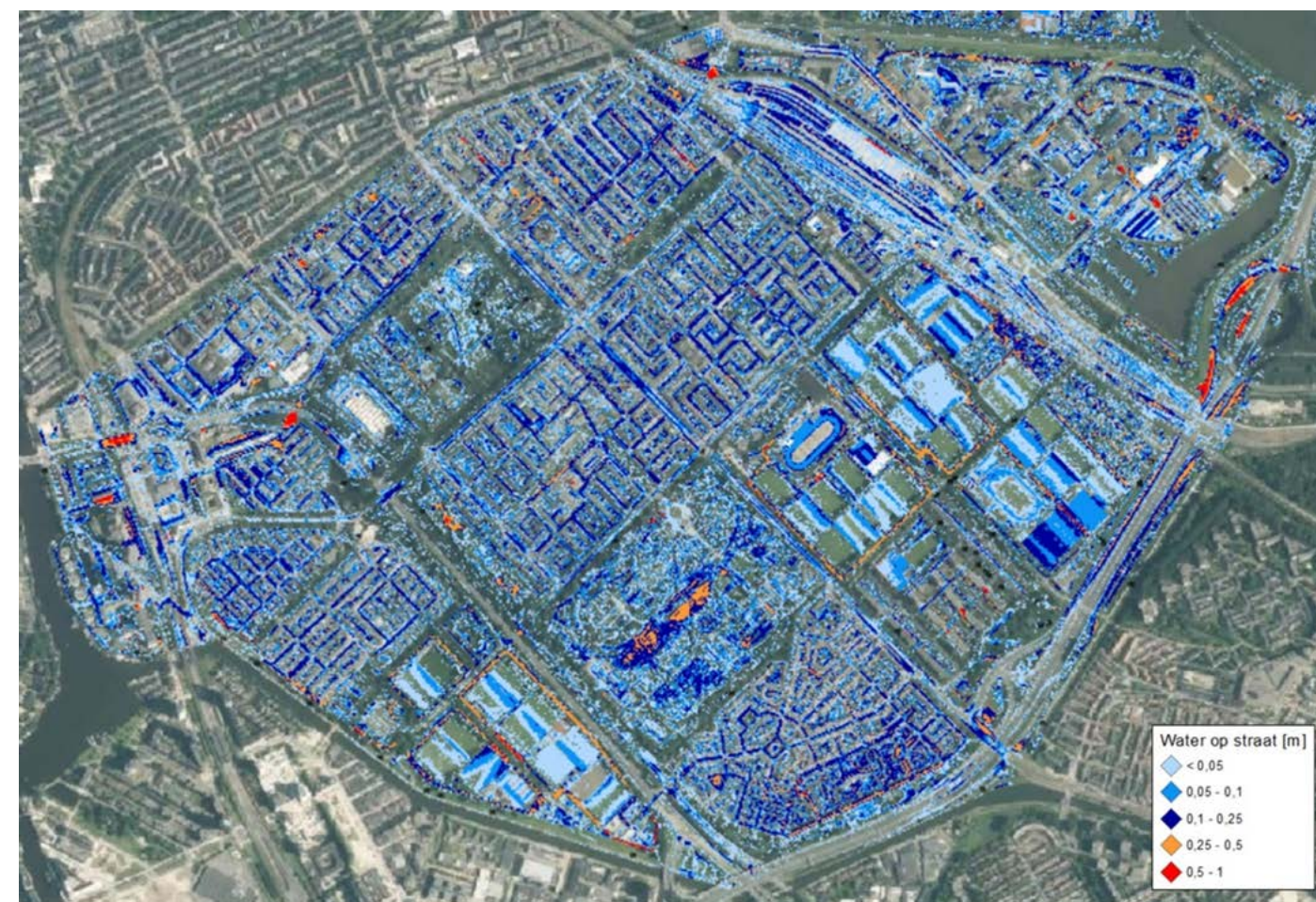
C.5 Conclusie

Stedelijke modellering met peilstijging van het 200 mm basisscenario toont andere risicolocaties voor wateroverlast dan stedelijke stresstesten (70 mm in één uur) of inundatiekaart van oppervlaktewatermodellen met 200 mm basisscenario. Ook de mate waarin wateroverlast optreedt is verschillend. Hieruit kan worden geconcludeerd dat het relevant is om voor stedelijke gebieden met een relevante peilstijging een aanvullende stedelijke modellering uit te voeren (naast de oppervlaktewatermodellering). Vanaf wanneer een peilstijging relevant is dient verder uitgezocht te worden.

Deze conclusie is ook relevant voor vitale netwerken in bebouwd gebied: de betrouwbaarheid van de berekende inundatie is in bebouwd gebied kleiner dan in landelijk gebied.



Figuur C-3. Maximale waterdiepte [m] in Watergraafsmere bij een berekening van 200 mm in 48 uur (met Sobek model)



Figuur C-4. Maximale waterdiepte [m] in Watergraafsmere bij een berekening van 70 mm in één uur (InfoWorks ICM). Bijlage D – Voorbeeldanalyse gevolgen - Electriciteitsvoorzieningen

Bijlage D – Voorbeeldanalyse gevolgen - Electriciteitsvoorzieningen

Door wateroverlast kan uitval plaatsvinden van vitale functies en objecten. Middels GIS-analyses is per functie een inschatting te maken of de wateroverlast ook tot schade of uitval leidt en in welke mate dit optreedt bij de verschillende buivolumes.

Eén van de functies waar naar gekeken wordt in de vervolgfase van de risicodialoog zijn de elektriciteitsvoorzieningen. De relevante objecten zijn uitgesplitst in hoogspanningstations (onderstations), middenspanningstations, midden-laagspanningsstations en laagspanningskasten (straatkasten).

Deze objecten kunnen uitvallen als gevolg van inundatie. Of de levering dan uitvalt en welk gebied hier dan last van krijgt is afhankelijk van mogelijke redundantie (bijvoorbeeld alternatieve routes en systemen die de taak overnemen) en of de beheerder in deze gebieden de kasten preventief uitschakelt. Herstel en herstelduur is afhankelijk van de duur van de wateroverlast en de beschikbaarheid van experts, materiaal en materieel. En daarmee is dit dus ook afhankelijk van de omvang van de overlast en uitval.

Op basis van de maximale inundatiedieptekaarten voor de drie buivolumes is een korte verkennende analyse uitgevoerd. Hiervoor is de actuele openbare dataset van de twee netbeheerders Liander en Stedin voor de ligging van de stations gebruikt (maart 2025). Hierbij wordt ervanuit gegaan dat de maximale berekende inundatiediepte binnen een straal van 5 meter van de ligging van het station representatief is voor de waterdiepte bij het station/kastje zelf.

In de ARK-NZK regio hebben de netbeheerders Liander en Stedin in totaal 197 onderstations (hoogspanning), 25.000 middenspanningsstations, 15.000 midden-laagspanningsstations en 180.000 laagspanningskasten. Voor deze vier categorieën wordt uitgegaan van een uitval bij een waterdiepte van respectievelijk 75cm, 50cm, 30cm en 30cm (uit database uitvalhoogte NKWK-studie Honingh et al., 2023).

Hiermee is per waterschap bepaald worden hoeveel stations er mogelijk uitvallen welke is gepresenteerd op de volgende pagina. Al bij de 150mm bui is er sprake van uitval van honderden stations/kasten, deels gefocust in een aantal stedelijke gebieden/wijken en deels verdeeld over de regio. Er vallen dan geen onderstations uit, maar wel al 171 middenspanningsstations, 78 middenlaagspanningsstations en 394 laagspanningskasten. Bij 200mm verdubbelen deze aantallen zich en van 200mm naar 300mm verdriedubbelen deze aantallen zich zelfs. Bij geen van de buien lijkt een onderstation uit te vallen.

Bij middenspanningsstations is vaak sprake van een vorm van redundantie (in cirkels aangelegd), maar bij laagspanningskasten is dit normaal gesproken niet het geval.

Uitgaande van de uitval van de laagspanningskasten bij een bui van 150mm (0,2%), 200mm (0,4%) en 300mm (1,2%) en door dit te koppelen aan het aantal inwoners van 4.650.000 in deze regio, volgt dat respectievelijk 10.000, 20.000 en 50.000 inwoners zonder elektriciteit komen te zitten. Een herstelduur van weken/maanden is hierbij te verwachten.



Hoogspanningsstations (onderstation) | Midden-laagspanningstation (MS/LS)



Laagspanningskast (wijkkasten/straatkasten)

