

Analyse hoogwater Roermond

Watersysteemevaluatie Waterschap Limburg



Analyse hoogwater Roermond
Watersysteemevaluatie Waterschap Limburg

Auteur(s)

Tjitske Geertsema
Nathalie Asselman

Analyse hoogwater Roermonding

Watersysteemevaluatie Waterschap Limburg

Opdrachtgever	Waterschap Limburg
Contactpersoon	de heer drs. A.G.A Janssen
Referenties	-
Trefwoorden	Hoogwater juli 2021, Roer, Maas, Roer-overlaat

Documentgegevens

Versie	0.3
Datum	05-05-2022
Projectnummer	11207700-000
Document ID	11207700-000-ZWS-0020
Pagina's	46
Classificatie	
Status	definitief

Auteur(s)

	Tjitske Geertsema	
	Nathalie Asselman	

Samenvatting

Tijdens het hoogwater van juli 2021 waren de afvoeren van de Roer en de Maas extreem hoog. Deze afvoeren waren hoger dan de afvoeren die we verwachten bij een 1/100 jaar gebeurtenis. De Roer en de Maas komen samen in de Roerdelta. In de Roerdelta is tijdens deze gebeurtenis geen sprake geweest van grootschalige overstromingen. Wel zijn de hockeyvelden van Concordia overstroomd en zijn bewoners van de wijken langs de Hambeek in Roermond geëvacueerd op basis van de afvoervoorstellingen van de Roer. Met deze effecten in het achterhoofd vragen omwonenden en beleidsmakers zich af of met andere keuzes in het waterbeheer deze effecten waren afgewend. Een mogelijke beheersmaatregel was het inzetten van de Roer-overlaat. Waterschap Limburg heeft de Roer-overlaat niet ingezet tijdens het hoogwater van juli 2021, omdat de dijken rond de Roer-overlaat zijn afgekeurd en er daarom een kans bestond dat de dijken rond de Roer-overlaat zouden doorbreken met grootschalige overstromingen tot gevolg.

Om antwoord te geven op de vraag of en in welke mate inzet van de Roer-overlaat leidt tot lagere waterstanden in de Roerdelta en wat het effect van een eventuele dijkdoorbraak is, hebben we hydrodynamische 1D en 1D2D modellen gebruikt. De modellen bevatten de Roer van Stah naar de Roermonding, maar tijdens de bespreking van de modelresultaten concentreren we op de Roerdelta, het gebied langs Roer en Hambeek in de bebouwde kom van Roermond. De modelresultaten laten zien dat het overstromingspatroon niet of nauwelijks zou zijn gewijzigd bij de inzet van de Roer-overlaat tijdens het hoogwater van 2021. De waterstanden in de Roerdelta zouden maximaal 14 cm lager zijn geweest. Ondanks deze verlaging overstroomt de dijk rond de hockeyvelden nog steeds, waardoor de hockeyvelden onder water komen te staan. Als er een dijkdoorbraak in de Roer-overlaat had plaatsgevonden, dan had dat geleid tot grootschalige overstromingen in de voor- en binnenstad van Roermond, met grote schade aan huizen en bedrijven als gevolg.

Naast de effectiviteit van de Roer-overlaat voor het hoogwater van juli 2021 is de effectiviteit van de Roer-overlaat bij verschillende combinaties van Maas- en Roerafvoeren onderzocht. Uit dit onderzoek blijkt dat hoge waterstanden in de Roerdelta vooral veroorzaakt worden door hoge waterstanden op de Maas. Het aantakken van de Roer-overlaat blijkt het meest effectief bij hoge Maasafvoeren. Bij lage waterstanden op de Maas, blijven de waterstanden in de Roerdelta ook laag, waardoor de Roer-overlaat niet effectief instroomt.

Een ander aspect dat is onderzocht, betreft de waterstandseffecten van de keersluizen. Het sluiten van de keersluizen in Roermond leidt in de nabije omgeving van keersluis Zuid tot 17 cm opstuwing. Deze opstuwing is bij St. Odiliënberg (8 km bovenstrooms van balgstuw Hoge Bat) afgenomen tot minder dan een centimeter. De locaties bovenstrooms van St. Odiliënberg, inclusief Duitse gedeelte van het stroomgebied (de Duitse grens ligt op 19 km van balgstuw Hoge Bat), ondervinden geen invloed van het sluiten van de keersluizen.

Inhoud

	Samenvatting	4
1	Inleiding	6
1.1	Achtergrond	6
1.2	Casestudie Roerdelta	7
1.3	Onderzoeksvragen	7
1.4	Aanpak	8
1.5	Leeswijzer	8
2	Gebiedsbeschrijving	9
2.1	Algemeen	9
2.2	Hydrologie	10
2.2.1	Roerdelta	10
2.2.2	Afvoerstatistiek Maas en Roer	11
2.2.3	Piekafvoer juli 2021	12
2.3	Toegepaste normering en stresstesten	13
3	Systeemanalyse Roerdelta	17
3.1	Wat is er gebeurd in juli 2021 bij de Roerdelta?	17
3.2	Wat zou er zijn gebeurd als de Roer-overlaat was ingezet?	19
3.3	Wat zou er zijn gebeurd als er een dijkdoorbraak had plaatsgevonden bij het inzetten van de Roer-overlaat?	22
3.4	Zou de Roer-overlaat effectiever zijn bij andere Maas- en Roerafvoeren?	25
3.5	Kan het sluiten van de keersluizen effecten hebben op de waterstanden in Duitsland?	30
4	Conclusies en aanbevelingen	32
4.1	Conclusies	32
4.2	Aanbevelingen	33
	Referenties	34
A	Analyse maximale afvoer bij Stah	35
B	Gebruikte modellen	40
B.1	D-HYDRO 1D2D Roer-Maas-model	40
B.2	SOBEK-RE 1D Roer model	42
C	Waterstanden op de Maas bij Roermond bij verschillende Maasafvoeren	45

1 Inleiding

1.1 Achtergrond

In juli 2021 zijn grote delen van Limburg getroffen door hevige regenval. In korte tijd steeg het water in de Limburgse beken tot recordhoogte. Dit leidde op verschillende plaatsen tot overstromingen en daarmee tot schade aan huizen en bedrijven. Ook delen van België en Duitsland overstromden met zeer veel schade en verlies aan mensenlevens tot gevolg. De neerslag en de daarmee gepaard gaande hoogwaters op rivieren en beken, betrof een extreme en unieke gebeurtenis met enorme impact.

Naar aanleiding van het hoogwater van juli 2021 is vanuit de samenwerkende partijen de behoefte ontstaan om te starten met een watersysteemevaluatie. Tevens is vanuit de beleidstafel Hoogwater en Wateroverlast de opdracht geformuleerd om te onderzoeken wat de aanleiding was van het hoogwater (spoor 1) en wat mogelijke oplossingsrichtingen zijn om dit soort situaties beter het hoofd te bieden (spoor 2). De provincie Limburg en het waterschap Limburg hebben Deltares gevraagd om te starten met een watersysteemevaluatie en daarbij ook mogelijke maatregelen te verkennen die ingezet kunnen worden om de risico's gekoppeld aan dit soort overstromingen te verkleinen en de veerkracht van het systeem te vergroten.

Voorafgaand aan de systeembrede evaluatie voor heel Zuid-Limburg is aan Deltares gevraagd de wateroverlast en overstromingen in vier 'casestudies' te analyseren. Deze casestudies zijn:

- Valkenburg,
- De Geulmonding nabij Meerssen en Bunde,
- De Roerdelta nabij Roermond,
- Eygelshoven.

De casestudies zijn niet 'belangrijker' dan andere locaties in Zuid-Limburg waar sprake was van overstromingen. En op basis van de analyses die zijn uitgevoerd voor de casestudies worden ook nog geen besluiten genomen over te realiseren maatregelen. De analyses voor de casestudies zijn vooral bedoeld om van te leren. Met behulp van de casestudie wordt een eerste beeld verkregen van het functioneren van het watersysteem in Limburg en de verschillende soorten wateroverlast en overstromingen die zich daar voor kunnen doen. Na afronding van de casestudies wordt gestart met de systeembrede evaluatie. Daarbij zal ook de wateroverlast in andere gebieden en gemeenten worden onderzocht.

In alle vier geselecteerd gebieden hebben zich afgelopen zomer problemen voor gedaan, maar de aard van de problemen waren verschillend. Zo was in Valkenburg sprake van grootschalige overstromingen vanuit de Geul. Dit gold ook voor de Geulmonding, maar hier speelde de interactie met het hoogwater op de Maas een grote rol. Bij Roermond was de vraag of waterstanden op de Roer lager zouden zijn geweest wanneer de Roer-overlaat zou zijn ingezet en of de hockeyvelden daarbij niet zouden zijn overstroomd, en evacuatie van de omliggende wijken mogelijk niet nodig was geweest. En bij Eygelshoven stonden straten onder water doordat grote hoeveelheden neerslag oppervlakkig afstroomden.

Voor iedere casestudie wordt een aanscherping van de *fact finding* uitgevoerd. Er wordt gekeken naar het functioneren van het watersysteem en een eerste handelingsperspectief. Omdat de analyses binnen 4 maanden gereed moeten zijn, zijn de analyses vooral kwalitatief of gebaseerd op principeberekeningen. De kwaliteit van de resultaten wordt gelimiteerd door de beschikbare tijd. Gedetailleerdere analyses maken deel uit van de systeembrede evaluatie met een langere doorlooptijd.

1.2 Casestudie Roerdelta

De Roerdelta wordt in deze studie beschouwd als het gebied langs Roer en Hambeek in de bebouwde kom van Roermond. In deze delta viel in juli 2021 een extreem hoge Maasafvoergolf met een geschatte herhalingstijd van 200 jaar bij Borgharen (Task Force Fact Finding hoogwater 2021, 2021) samen met een extreem hoge Roerafvoergolf met een herhalingstijd tussen de 100 en 1000 jaar bij Stah (persoonlijke communicatie met Waterschap Limburg en Task Force Fact Finding hoogwater 2021, 2021). De terugkeertijd van het samenvallen van deze Maas- als de Roerafvoer is momenteel nog niet vastgesteld. Dit samenvallen van afvoergolven resulteerde in uitzonderlijk hoge waterstanden bij Roermond met evacuatie en overstroming van de hockeyvelden van Concordia tot gevolg.

Na en tijdens de hoogwatergebeurtenis van juli 2021 zijn er vragen gesteld over de beheersmaatregelen in de Roerdelta. Het niet inzetten van de Roer-overlaat (een extra riviertak van de Roer naar de Maas die alleen bij hoogwater meestroomt) zorgde voor veel aandacht in de media. Het waterschap heeft hierop gereageerd dat zij het risico van een dijkdoorbraak langs de Roer-overlaat en de bijbehorende overstromingen in de stad Roermond te groot achten om deze maatregel in te zetten. De Roer-overlaat wordt overigens in sommige gevallen Groene overlaat of Groene rivier genoemd. Het laatste begrip wordt voornamelijk in de media gebruikt, maar moet niet worden verwart met de Groene Rivier ten noorden van De Weerd, Limburg. Verder waren er klachten vanuit Duitsland dat de beheersmaatregelen in Nederland, zoals het sluiten van de keersluis in Roermond, zou leiden tot extra hoge waterstanden in Duitsland. Deze vragen zijn meegenomen in deze casestudie. In deze casestudie zijn geen andere beheersmaatregelen bestudeerd, zoals optimalisatie van de overstromingsvlaktes van de Roer, omdat in tegenstelling tot andere casestudies in deze reeks de Roerdelta deze extreme gebeurtenis veerkrachtig heeft opgevangen met relatief beperkte schade tot gevolg.

1.3 Onderzoeksvragen

- In de casestudie van de Roerdelta hebben we de volgende vragen bestudeerd:

De hoofdvraag voor de casestudie Roerdelta luidt:

Had inzet van de Roer-overlaat geleid tot lagere waterstanden in de Roerdelta en welke gebieden zouden hebben kunnen overstromen als door inzet de kering zou zijn bezweken?

De onderzoeksvragen die zijn meegegeven aan Deltares zijn gericht op:

- 1 het inzichtelijk maken van de gebeurtenissen tijdens het hoogwater van juli 2021 (fact finding) en hoe de Roer-overlaat die situatie had kunnen beïnvloeden (systeembegrip);
- 2 het vergroten van de kennis over de werking van het systeem en met name de effectiviteit van de Roer-overlaat onder verschillende omstandigheden, dus bij verschillende afvoeren op de Roer en de Maas (systeembegrip).

De volgende onderliggende deelvragen worden behandeld:

- Fact Finding:
 - Wat is er in juli 2021 gebeurd? Welke afvoeren en waterstanden zijn opgetreden?
 - Waar is schade opgetreden?
 - Hoe bijzonder was dit? (overschrijdingskans)
 - Wat was de relatie tot de vigerende norm?
- Systeembegrip: Roer-overlaat
 - Als de Roer-overlaat was ingezet, wat zou dan het verwachte effect zijn geweest op de waterstanden tijdens het hoogwater van juli 2021?
 - Welk gebied in Roermond had kunnen overstromen als de Roer-overlaat zou zijn ingezet en de keringen erlangs waren bezweken?
 - Hoe is het verwachte effect afhankelijk van de afvoer op de Maas?
 - Kan een matrix worden gemaakt voor het verwachte waterstandseffect als functie van de afvoer op de Roer en op de Maas?
- Systeembegrip: Roer bovenstrooms van Roermond
 - Heeft het sluiten van de deuren in de Roerdelta (centrum Roermond) effect gehad op de waterstanden in Duitsland?

1.4 Aanpak

In deze analyse hebben we gebruik gemaakt van waterstands- en afvoermetingen in de Roerdelta en hydrodynamische 1D en 1D2D modellen. De metingen zijn gebruikt om de feiten te bestuderen en, afhankelijk van de metinglocatie, de modellen te voeden of te valideren. Het 1D2D model is gebruikt om de gebeurtenis van juli 2021 te simuleren en ook het effect van het inzetten van de Roer-overlaat met en zonder een mogelijke dijkdoorbraak te bepalen. Omdat het 1D model veel sneller rekent is dat model gebruikt om de effectiviteit van de Roer-overlaat bij verschillende combinaties van Roerafvoer en Maasafvoer te bepalen. Verder details van de modellen volgen in hoofdstuk 3.

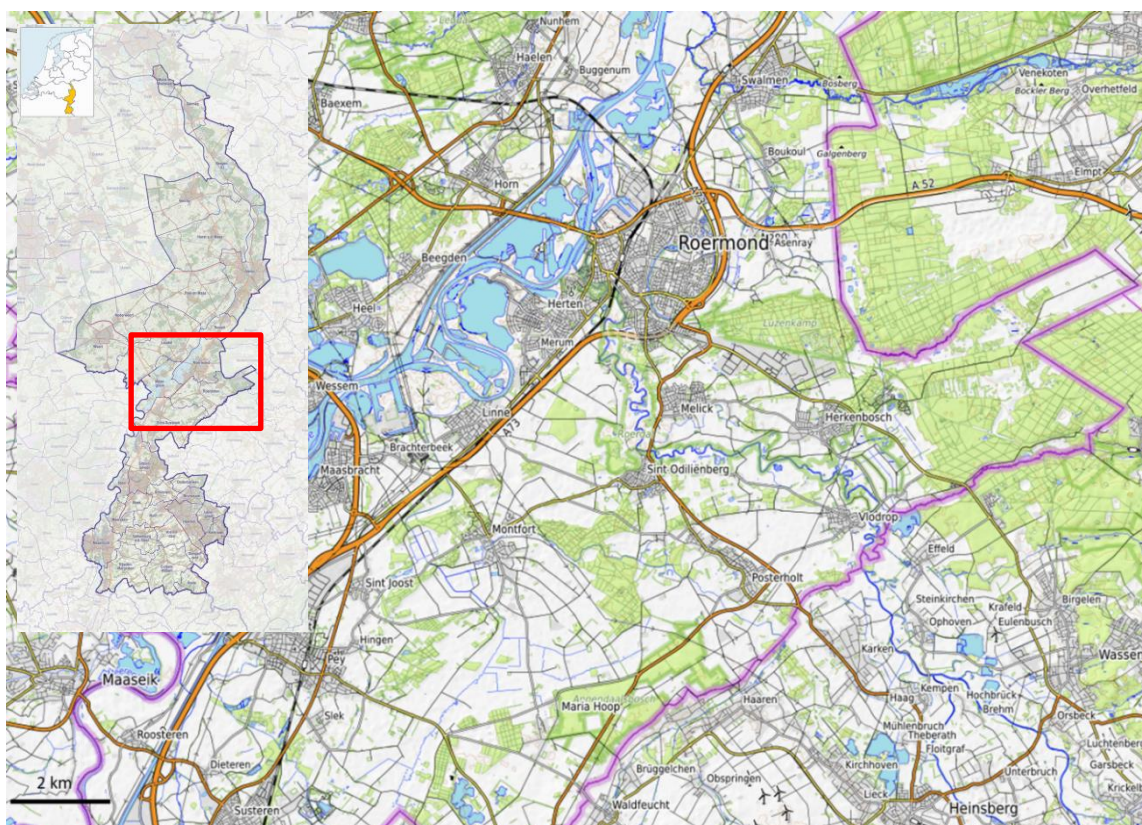
1.5 Leeswijzer

In het volgende hoofdstuk volgt de gebiedsbeschrijving van de Roerdelta, waarin de verschillende kunstwerken en normeringen in de Roerdelta worden beschreven. In hoofdstuk 3, Gebruikte modellen, worden de hydrodynamische 1D en 1D2D modellen geïntroduceerd. De modelresultaten worden vervolgens beschreven in hoofdstuk 4, Systeemanalyse. In dit hoofdstuk wordt eerst de situatie van het hoogwater van juli 2021 geanalyseerd. Daarna volgt een beschrijving van de werking van de Roer-overlaat en de te verwachten overstromingen wanneer een dijkdoorbraak langs de Roer-overlaat op zou treden. Vervolgens wordt de effectiviteit van de Roer-overlaat bestudeerd bij verschillende Maas- en Roerafvoeren. In Hoofdstuk 5, Conclusies en aanbevelingen, volgen ten slotte de belangrijkste conclusies en aanbevelingen.

2 Gebiedsbeschrijving

2.1 Algemeen

Bij de Roerdelta stroomt de Roer uit in de Maas. De Roer is ongeveer 165 kilometer lang en heeft een stroomgebied van 2340 km². De Roer ligt voor het grootste deel in Duitsland en enkel de laatste 22 km van de Roer ligt in Nederland (Figuur 2-1). De gemiddelde afvoer van de Roer bij Stah is ongeveer 23 m³/s (met een spreiding van 5,5 tot meer 180 m³/s). De Maas is ongeveer 935 kilometer lang en heeft een stroomgebied van circa 33.000 km². De gemiddelde afvoer van de Maas bij Sint Pieter is ongeveer 200 m³/s (met een spreiding van 20 tot 3500 m³/s). De Roer stroomt in de Maas bij de stad Roermond. Roermond is een stad met ongeveer 58.000 inwoners in het midden van de provincie Limburg in de gelijknamige gemeente Roermond.



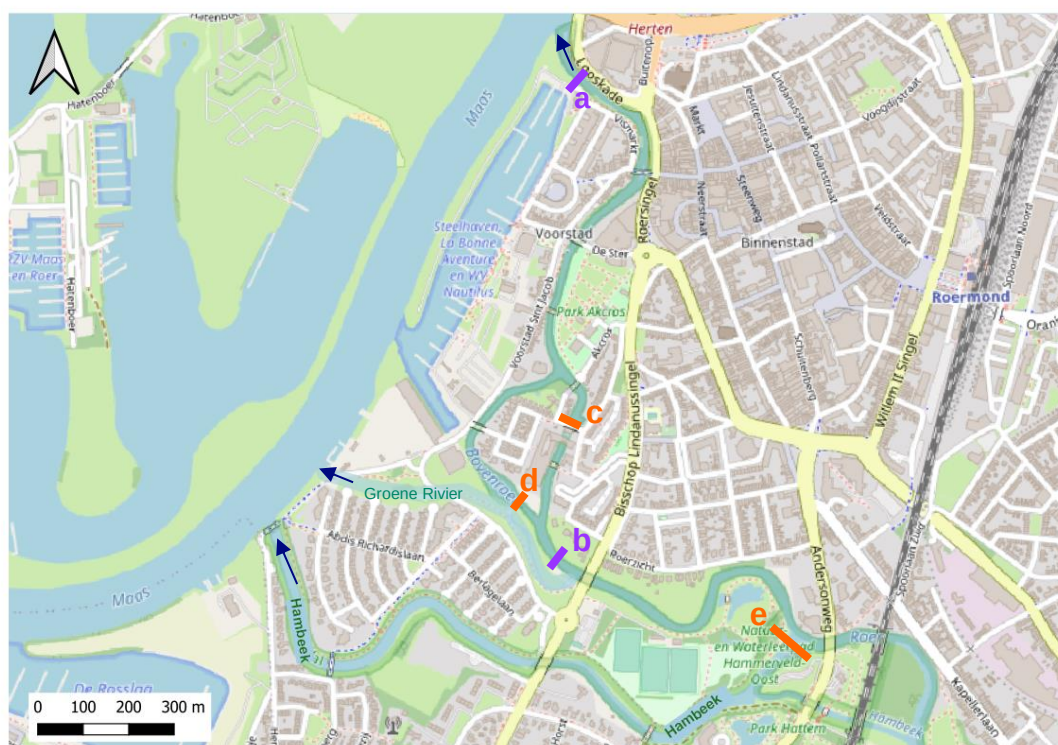
Figuur 2-1: Kaart van Roer en Maas met de stad Roermond bij de monding van de Roer

2.2 Hydrologie

2.2.1 Roerdelta

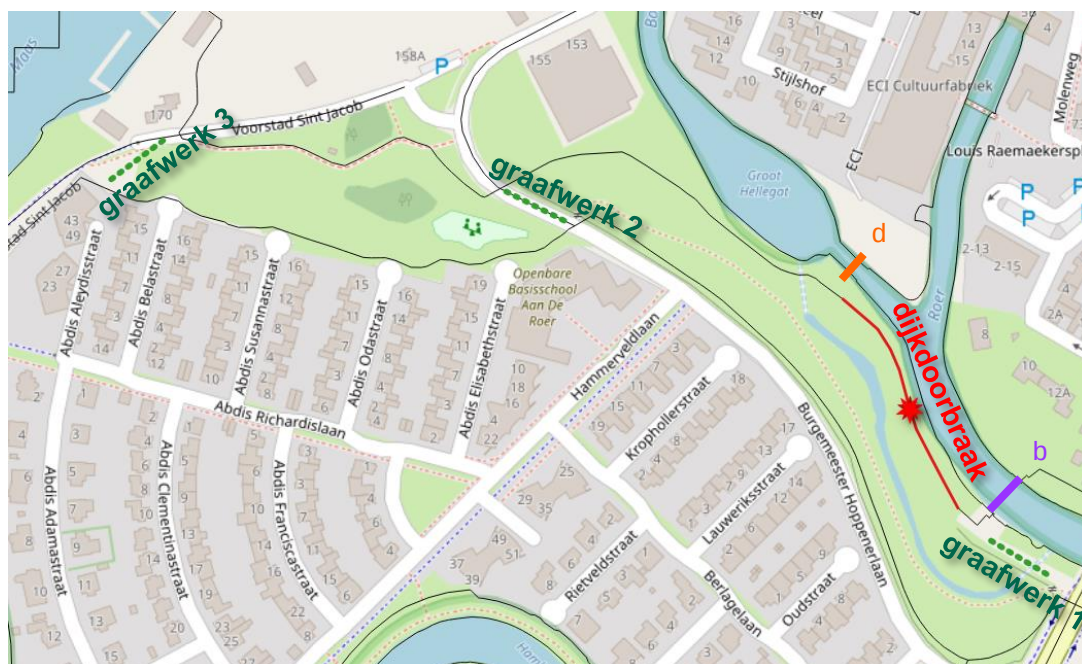
Figuur 2-2 geeft de geografie van de Roerdelta weer. Bovenstrooms van de spoorlijn (rechtsonder in Figuur 2-2) bevindt zich de eerste splitsing tussen de Roer en de Hambeek. Vanaf de Andersonweg, bij balgstuw Hoge bat (e in Figuur 2-2) splitst de Roer zich nogmaals in twee takken: de Roer en de Hambeek. Bij hoogwater voert de Hambeek het meeste water van de Roer af naar de Maas. Bij een waterstand van meer dan 19 m+NAP op de Maas wordt de Roer bij de Looskade en benedenstrooms van de Bisschop Lindanusingel (locaties a en b in Figuur 2-2) afgesloten met keersluizen. Dit gebeurt om overstromingen in de voor- en binnenstad van Roermond te voorkomen. Daarnaast zijn er meerdere stuwen die de waterverdeling bij de Roerdelta regelen (zie Figuur 2-2).

Naast de Hambeek is er ook een andere mogelijkheid om hoogwater af te voeren naar de Maas, namelijk via een noodvoorziening: de zogenaamde Groene Rivier oftewel de Roer-overlaat (zie Figuur 2-3). Deze Roer-overlaat staat onder normale omstandigheden droog. Bij dreigend hoogwater kan het waterschap ervoor kiezen om de Roer-overlaat in te zetten. Daarvoor moet op drie specifieke locaties grond en wegverharding worden afgegraven (zie Figuur 2-3). Dit is dus een ingrijpende maatregel die ook kosten met zich meebrengt omdat deze 'dijkjes' en wegen na het hoogwater moeten worden hersteld. Het instroompunt van de Roer-overlaat bevindt zich net bovenstrooms van de zuidelijke keersluis (b in Figuur 2-3 en Figuur 2-2).



Figuur 2-2: Kaart van de monding van de Roer in de Maas. De paarse lijnen tonen de locaties van de sluisdeuren, waarbij de noordelijke keersluis is weergegeven met a en de zuidelijke keersluis met b. De oranje lijnen tonen de locaties van de stuwen, waarbij de ECI stuw is weergegeven met een c, Groot Hellegat met een d en balgstuw Hoge Bat met een e

Bij het hoogwater van juli 2021 is de Roer-overlaat niet ingezet, omdat een deel van de waterkering langs de Roer-overlaat bij de toetsing is afgekeurd. De waterkering is zowel aan de noordzijde als de zuidzijde afgekeurd. Er is voor gekozen om de dijkdoorbraaklocatie aan de noordzijde (richting de binnenstad) te simuleren, omdat de gevolgen van een doorbraak hier het grootst zijn (het gebied ten noorden van de Roer-overlaat ligt lager dan het gebied ten zuiden van de overlaat. Waterschap Limburg (WL) verwacht dat de inzet van de Roer-overlaat kan leiden tot een dijkdoorbraak naar de Roer achter de sluisdeuren, waardoor overstromingen dreigen in de voor- en binnenstad van Roermond. Bovendien is na de inzet van de Roer-overlaat het zo goed als onmogelijk om de dijk te inspecteren en de toestand te monitoren. In deze casestudie-analyse is de inzet van de Roer-overlaat en de eventuele dijkdoorbraak bij het hoogwater van 2021 bestudeerd met een D-HYDRO 1D2D model van de Roer en een deel van de Maas (meer informatie in Bijlage B). In dit model is de dijkdoorbraak gesimuleerd op de locatie van de rode lijn in Figuur 2-3, met de beginlocatie als rode ster aangegeven (Geertsema en Prinsen, 2020).



Figuur 2-3: Locatie van de gesimuleerde dijkdoorbraak (rode lijn) en locaties waar graafwerk uitgevoerd moet worden (groene stippellijnen) bij inzet van de Roer-overlaat. Verder illustreert b de zuidelijke keersluis en d de stuw Groot Hellegat

2.2.2 Afvoerstatistiek Maas en Roer

Naast de modelsimulatie van het hoogwater van 2021 is er in overleg met WL besloten om ook de effectiviteit van de Roer-overlaat te bestuderen bij andere omstandigheden. Dit wordt gedaan door de afvoeren en waterstanden te bestuderen in de Roerdelta bij verschillende Maas- en Roerafvoeren. Voor de selectie van de Maas- en Roerafvoeren hebben we gebruik gemaakt van de afvoerstatistiek van de Maas en de Roer (Tabel 1). Voor de Maas hebben we gebruik gemaakt van het GRADE instrumentarium, waarbij een synthetische tijdreeks van de dagelijkse neerslag wordt samengesteld uit de historische dagsommen, die als input wordt gebruikt voor de fysische afvoerberekeningen (Hegnauer et al., 2022). Voor de afvoergolven op de Roer hebben we, in overleg met WL, gebruik gemaakt van een synthetische golf, welke is opgeschaald naar de genoemde maximale afvoer. De herhalingstijden zijn gebaseerd op de afvoerstatistiek van WL.

Tabel 1: Herhalingstijden van afvoeren op de Maas bij Sint Pieter en van de Roer bij Stah

Overschrijdingskans	Maximale afvoer Maas bij Sint Pieter (m ³ /s)	Maximale afvoer Roer bij Stah (m ³ /s) ¹
langjariggemiddelde	200	Niet gebruikt
1:2	1410	85
1:10	2260	120
Afvoergolf 1993	2870	120
Afvoergolf 1995	3120	105
1:100	3190	170
Afvoergolf juli	3260 ²	~220 -260 (Zie discussie in volgende paragraaf)
1:1000	3780	290

2.2.3 Piekafvoer juli 2021

De afvoermetingen in de Roer bij Stah en in de Hambeek bij Roermond van juli 2021 zijn zeer onzeker. De schattingen lopen uiteen van een maximale afvoer van 180 tot 300 m³/s bij Stah (Van Veen, 2021; Mulder, 2021) en van 100 tot 220 m³/s in de Hambeek (Mulder, 2021). De afvoermeting bij Stah geeft een maximale waarde van 195 m³/s tijdens het hoogwater, maar er zijn op 16 juli 2021 (hand-/ADCP-) metingen gedaan, waarbij afvoeren zijn gemeten van 105 (+/- 4) m³/s rond 10 uur en 120 (+/- 5) m³/s rond 17 uur in de Hambeek en 230 (+/- 10) tot 258 (+/- 10) m³/s in Stah.

Om te onderzoeken welke afvoeren het best overeenkomen met het gemeten overstromingspatroon van 17 juli 2021³ en met de waterstanden in de Roerdelta hebben we deze metingen vergeleken met verschillende afvoersimulaties bij Stah in het 1D en 1D2D model. Bijlage A geeft de verschillende afvoersimulaties bij Stah weer (Figuur A-1), waarbij de afvoersmetingen zijn verhoogd naar een spitse piek, zoals beschreven in Van Veen (2021). De metingen van de Maaswaterstanden bij stuw Roermond zijn gebruikt als input voor de Maaswaterstanden. Uit deze analyse volgt dat de afvoergolf met een maximum van 195 m³/s bij Stah beter overeenkomt met het overstromingspatroon op de luchtfoto's dan de afvoergolven met een maximum van 260 en 280 m³/s (Bijlage A). De waterstanden in de Roerdelta komen beter overeen met Roerafvoeren bij Stah tussen de 220 en 260 m³/s. Bij het samenvoegen van de bovenstaande modelresultaten wordt er geconcludeerd dat de maximale afvoer bij Stah tussen de 220 en 260 m³/s is geweest voor het juli 2021 hoogwater, wat overeenkomt met de metingen van Nortek (Mulder, 2021 en een analytische berekening, Bijlage A).

De gesimuleerde afvoeren door de Hambeek zijn tussen de 190 en 230 m³/s voor respectievelijk de afvoer van 220 en 260 m³/s bij Stah. Dit is hoger dan gemeten door Nortek. Dit kan worden verklaard, doordat Nortek de metingen op 16 juli heeft uitgevoerd, terwijl de afvoer in de Hambeek piekt aan het eind van 18 juli in de modelsimulaties. De modelresultaten geven weer dat op 17 juli de afvoergolf in de Maas het hoogst was en een significante invloed heeft op de afvoergolf in de Hambeek (Bijlage A, Figuur A-5). Verder laten de resultaten zien dat de afvoerpiek in de modelsimulaties eerder optreedt dan de gemeten afvoerpiek. Dit zou kunnen suggereren dat de afvoergolf meer weerstand heeft ervaren dan momenteel is gemodelleerd.

¹ http://www.amice-project.eu/docs/pa1_pr4_1288720597_Das_Einzugsgebiet_der_Rur_web.pdf

² De piekafvoer op de Maas is recent bijgesteld naar 3310 m³/s. De berekeningen waren echter al eerder uitgevoerd en gaan uit van de afvoer zoals deze in juli is gecommuniceerd, o.a. in de factfindingstudie van ENW.

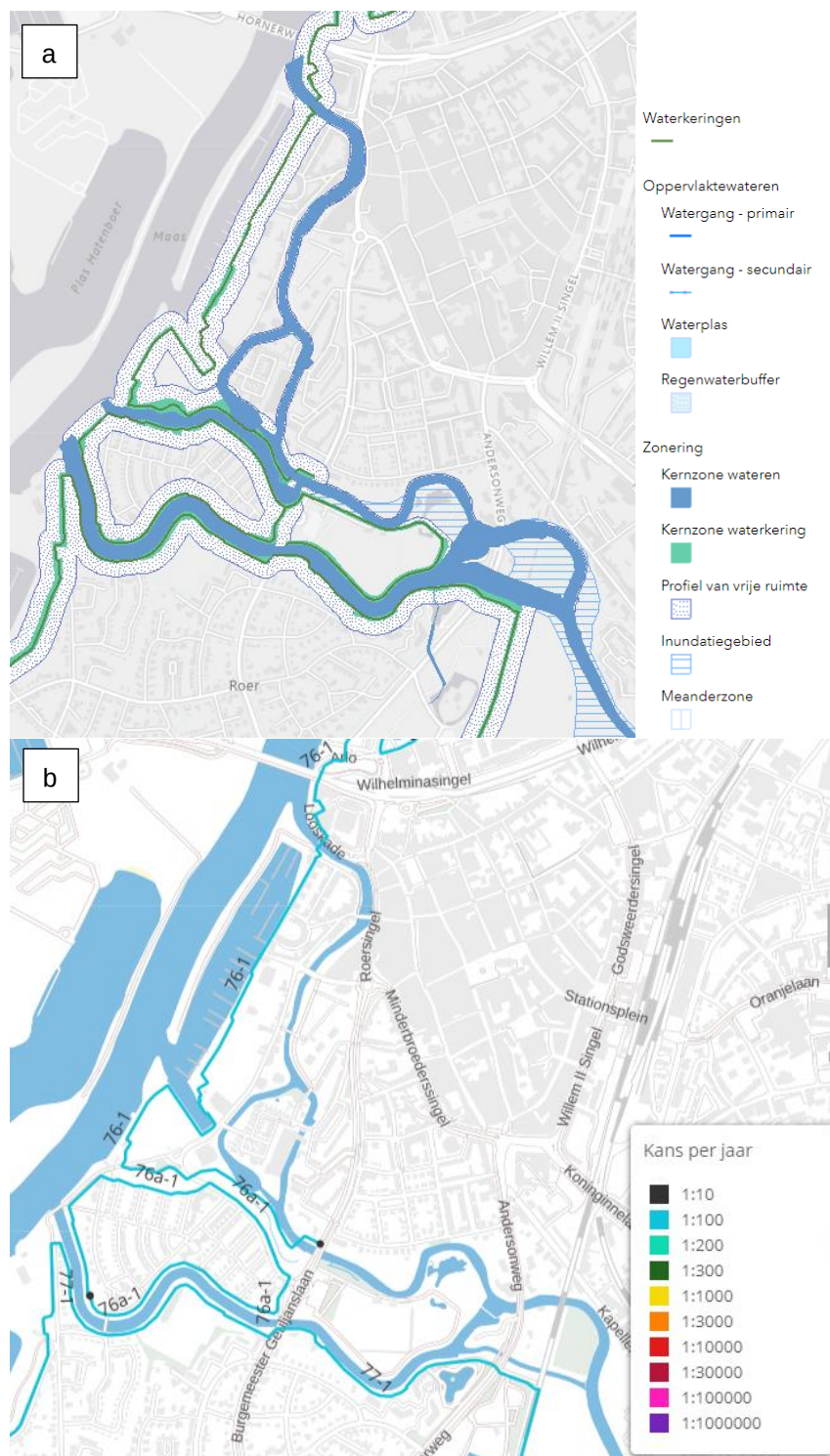
³ <https://storymaps.arcgis.com/stories/7488a4903f47499a9f765a23619eb2f4>

De overstromingssimulaties in deze casestudie zijn uitgevoerd met de afvoergolf met een maximum van 195 m³/s bij Stah. De waterstanden in de Roerdelta kunnen daarbij iets worden onderschat. De Maaswaterstanden hebben echter de meeste invloed op de waterstanden in de Roerdelta, waardoor de belangrijkste conclusies geen invloed ondervinden van de lager gemodelleerde Roerafvoer.

We bevelen aan om de hoogte van de afvoergolf bij Stah nader te bestuderen in een vervolgonderzoek.

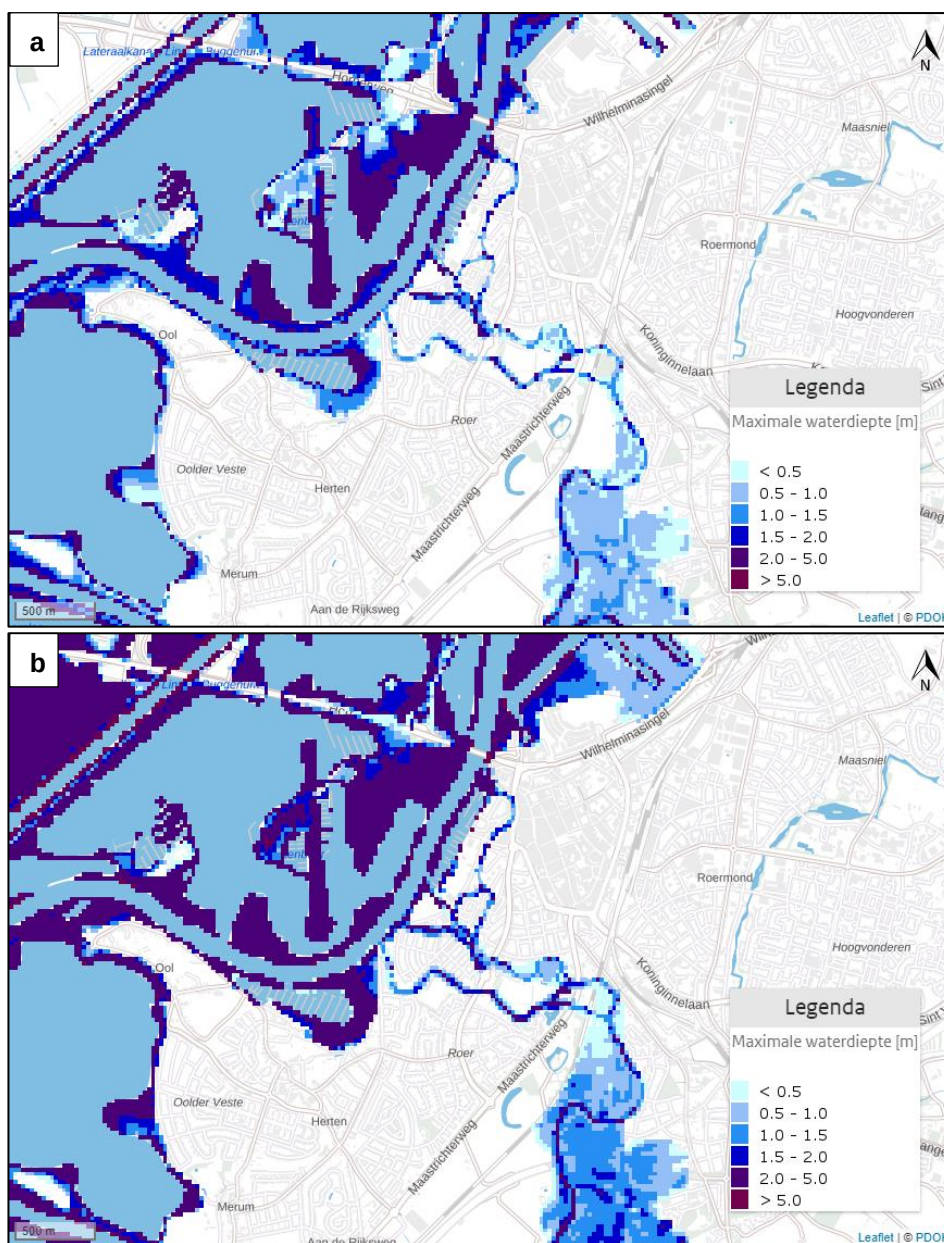
2.3 Toegepaste normering en stresstesten

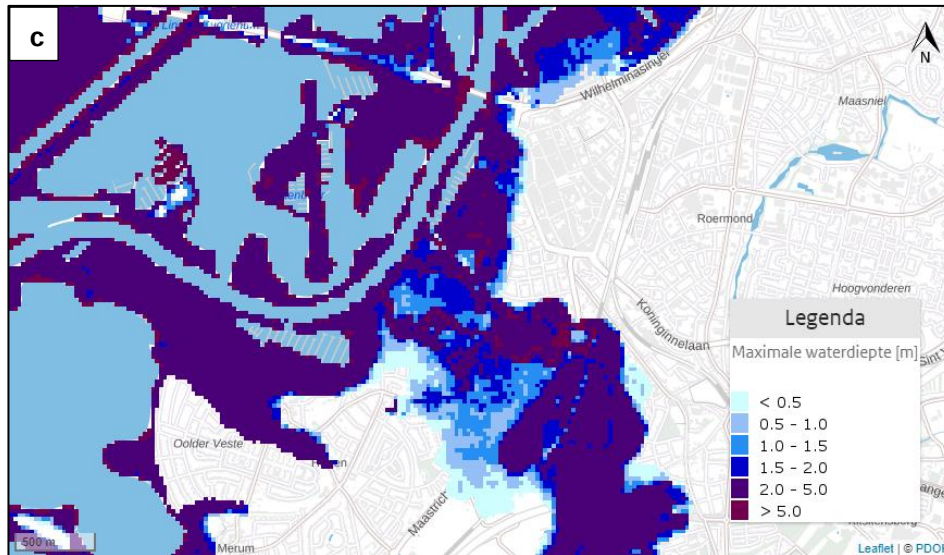
De provincie Limburg heeft de normering voor regionale wateroverlast vastgelegd in het provinciaal waterplan. Voor de primaire waterkeringen in en rond Roermond gelden normeringen van 1:100 per jaar.



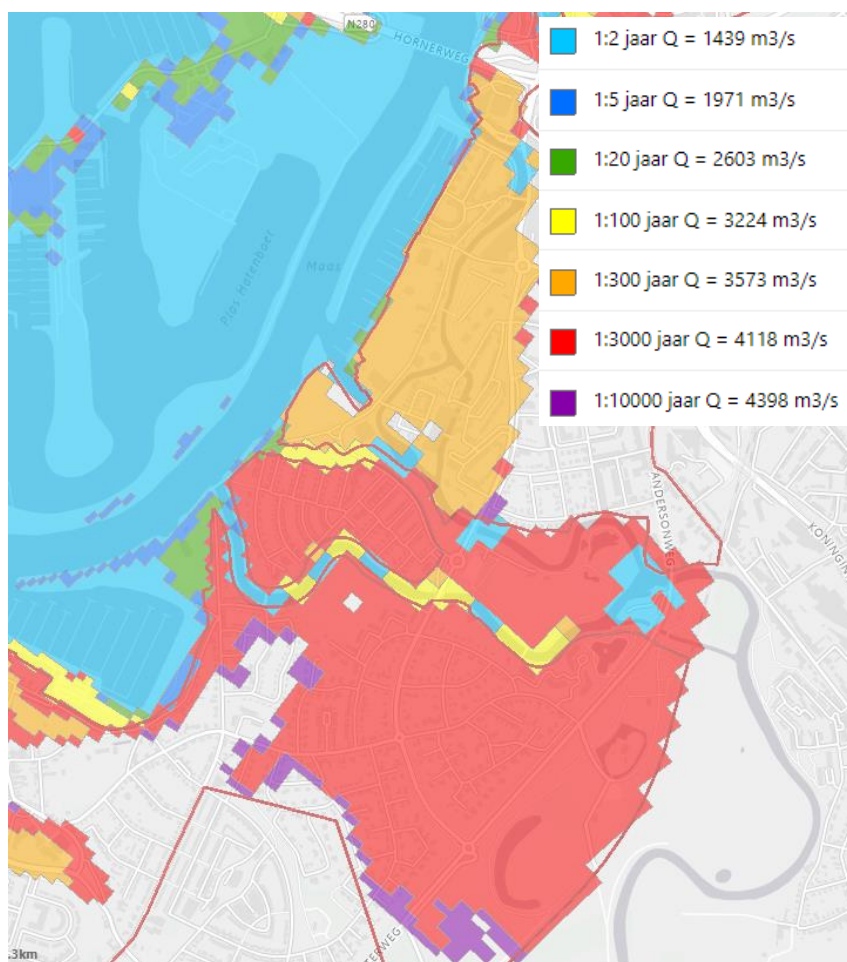
Figuur 2-4: Uitsnede van de legger van Waterschap Limburg ter hoogte van de Roerdelta bij Roermond in panel a (bron: <https://www.waterschaplimburg.nl/uwbuurt/kaarten-meetgegevens/leggerkaart/>). In panel b zijn de primaire keringen met de NBW norm in de lichtblauwe lijnen weergegeven uit het Nationaal Basisbestand Primaire Waterkeringen (bron: <https://waterveiligheidsportaal.nl/#/nss/nss/norm>). De keringen tussen de Roer en Hambeek ten oosten van de Burgemeester Geuljanslaan zijn overige keringen en hebben geen norm van 1:100 jaar

In het verleden zijn overstromingsberekeningen uitgevoerd voor dit gebied. Hierbij is gekeken naar gebeurtenissen met een grote kans (die ongeveer iedere 10 jaar voorkomen), met een middelgrote kans (ongeveer 1:100 per jaar, dus ongeveer een keer in een mensenleven) en een zeer kleine kans (orde 1:1000 per jaar). Deze kansen gelden zowel voor de Maas- als de Roerafvoeren. Bij een middelgrote kans is de Maas- en Roerafvoer van 1:100 per jaar gebruikt. De gebieden die daarbij naar verwachting zullen overstromen zijn te zien in Figuur 2-5. Bij gebeurtenissen die gemiddeld een keer per 10 tot een keer per 100 jaar voorkomen zijn de overstromingen beperkt tot de inundatiegebieden die staan aangemerkt op de legger van het waterschap (horizontaal gearceerde gebieden in Figuur 2-4). Bij extremere gebeurtenissen wordt er verwacht dat grotere gebieden onder water lopen. Figuur 2-6 toont de kans op overstromen in verschillende delen van de Roerdelta, afhankelijk van de afvoer op de Maas.





Figuur 2-5: Gebieden die naar verwachting zullen overstroomden bij hoogwater nabij de Roerdelta, tijdens gebeurtenissen met een verschillende kans van voorkomen, van ongeveer a) 1:10 per jaar, b) 1:100 per jaar en c) 1:1000 per jaar. (Bron: LIWO, Watermanagementcentrum Nederland)



Figuur 2-6: Overstromingsvlaktes in de Roerdelta met verschillende kans van voorkomen, gekoppeld aan de overschrijdingskansen van de afvoeren op de Maas (bron: https://maps.rijkswaterstaat.nl/gwproj55/index.html?viewer=ZN_Inundatie.Webviewer)

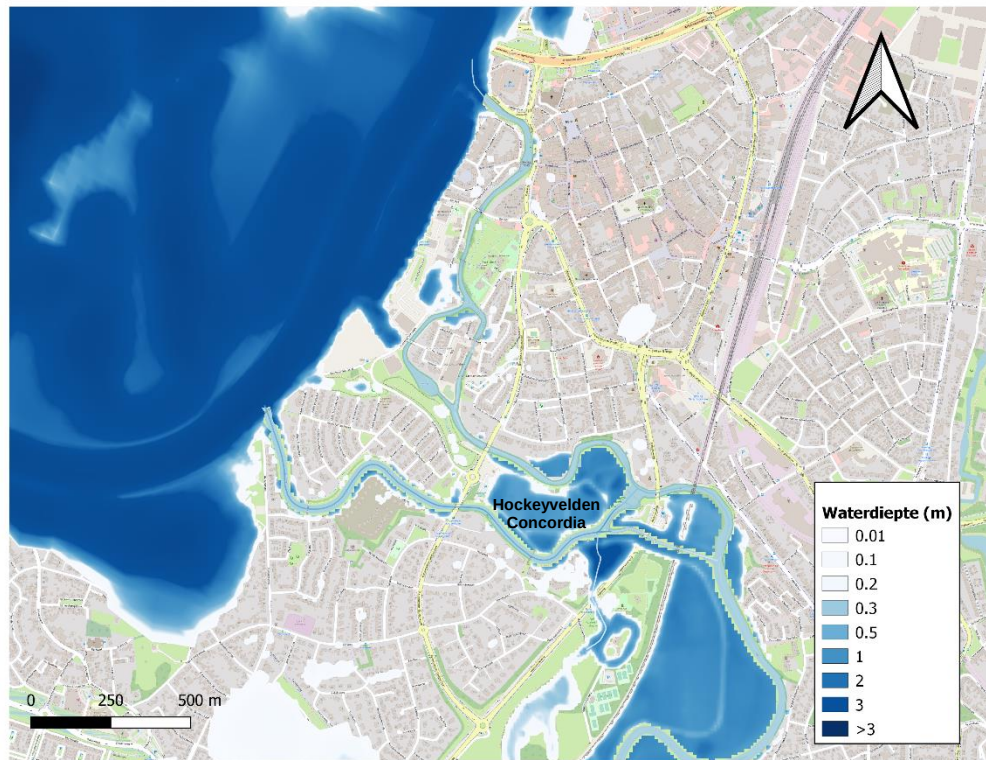
3 Systeemanalyse Roerdelta

3.1 Wat is er gebeurd in juli 2021 bij de Roerdelta?

Tijdens het hoogwater van juli 2021 stegen de Maaswaterstanden bij de Roerdelta tot boven de 20,8 m+NAP. De keersluizen bij Roermond zijn gesloten bij waterstanden op de Maas van circa 19 m+NAP, waardoor vanaf dat moment de Roerafvoer enkel via de Hambeek naar de Maas stroomde. De waterstanden in de Hambeek en het niet-afgesloten deel van de Roer zijn meegestegen met de Maaswaterstanden. Uit de modelresultaten blijkt dat deze stijging met de Maaswaterstanden heeft gezorgd voor het overstromen van de dijk bij de Hockeyvelden van RHC Concordia (Figuur 3-1 en Figuur 3-2). Na het overstromen van de dijk is deze waarschijnlijk onder invloed van versnelde erosie op deze locatie doorgebroken. Ten zuiden van Roermond (bovenstrooms van de spoorlijn tot aan Duitse grens) zijn de inundatiegebieden van de Roer ondergelopen. Deze gebieden zijn ook bewust voor dit doel aangewezen. Bij de vergelijking van de gemodelleerde overstroming met de luchtfoto (Figuur 3-3) is te zien dat het overstromingspatroon in de Roerdelta in grote lijnen overeen komt met de werkelijk opgetreden overstromingen in de luchtfoto.

Naast de overstroming van de hockeyvelden is er bij de Roerdelta geen extra schade opgetreden. Op basis van de verwachte hoge afvoeren zijn wel evacuaties uitgevoerd in de woonwijken langs de Hambeek. Aan de hand van de huidige afvoerstatistiek (het hoogwater van afgelopen zomer is daar nog niet in verwerkt) is vastgesteld dat de overschrijdingskans van de Maasafvoer ongeveer eens in de 200 jaar was bij Borgharen (Task Force Fact Finding hoogwater 2021, 2021). Als gevolg van topvervlakking was het hoogwater bij Roermond echter al minder extreem. Topvervlakking is het verschijnsel dat een afvoergolf, terwijl deze zich in stroomafwaartse richting voortplant, steeds lager wordt. De piekafvoer neemt daardoor af en waterstanden in de benedenloop van de rivier blijven lager. Het effect van topvervlakking op de Maas in Nederland kan relatief groot zijn, maar is sterk afhankelijk van de golfvorm (zie De Jong en Asselman, 2019). Het hoogwater van juli 2021 was extreem: een zeer snelle stijging en weer snelle daling ('spitse golf'), wat leidde tot zeer sterke topvervlakking (Task Force Fact Finding hoogwater 2021, 2021). Op basis van de betrekkinglijnen zou de waterstanden van 20.7 m+NAP een herhalingstijd hebben van 50 jaar.

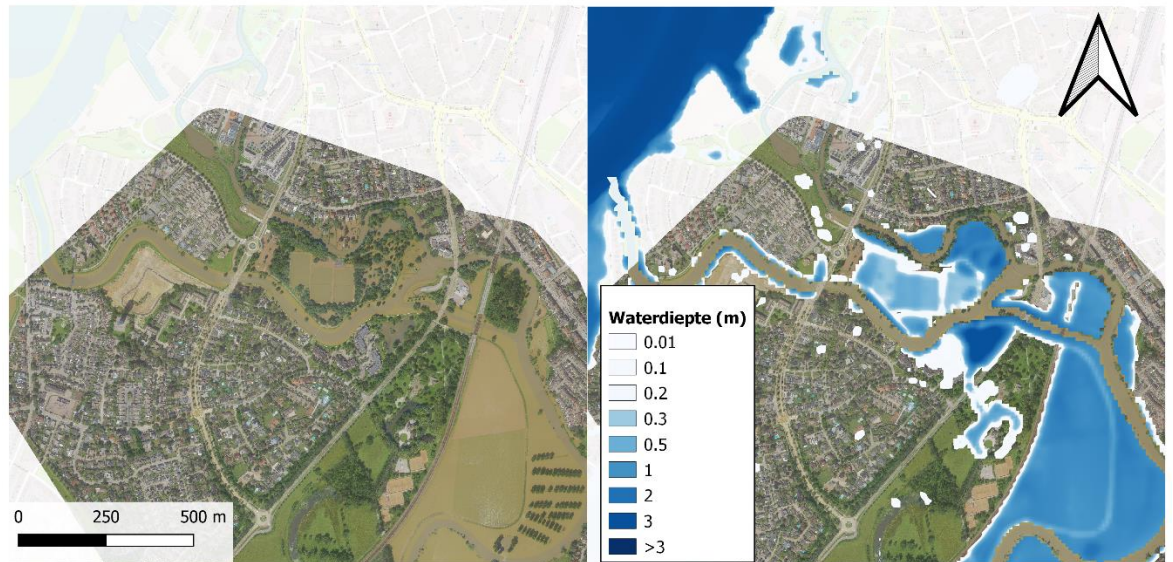
Op basis van de vigerende afvoerstatistiek voor de Roer bij Stah wordt geschat dat de afvoer in juli 2021 een overschrijdingskans heeft van eens in de 100 tot 1000 jaar (Task Force Fact Finding hoogwater 2021, 2021 en persoonlijke communicatie Waterschap Limburg). Er zou echter geargumenteed kunnen worden dat de afvoerstatistiek van de Roer moet worden aangepast op basis van het hoogwater van juli 2021, omdat bij een toevoeging van een nieuwe extre(e)m(st)e waarde de afvoerstatistiek significant kan veranderen. Daarnaast geeft ook het samenvallen (coïncidentie) van een extreem hoge Maasafvoer en een extreem hoge Roerafvoer een extra moeilijkheid om de overschrijdingskans van deze gebeurtenis goed te definiëren. Er is daarom meer onderzoek nodig om de overschrijdingskans nauwkeuriger te bepalen en er dient daarbij ook rekening te worden gehouden met coïncidentie en onzekerheden. Het is in ieder geval duidelijk dat vanuit de historische afvoerreeksen, deze gebeurtenis extremer was dan eens in de 100 jaar.



Figuur 3-1: Kaart met de gemodelleerde maximale overstroming van hoogwater juli 2021. De modelberekening geeft de maximale overstroming op 18 juli om 16:00 uur



Figuur 3-2: Foto met een bovenaanzicht van de overstroming van de hockeyvelden Concordia (bron: <https://hockey.nl/nieuws/clubs/wassende-water-spaart-roermonds-concordia-niet/>)

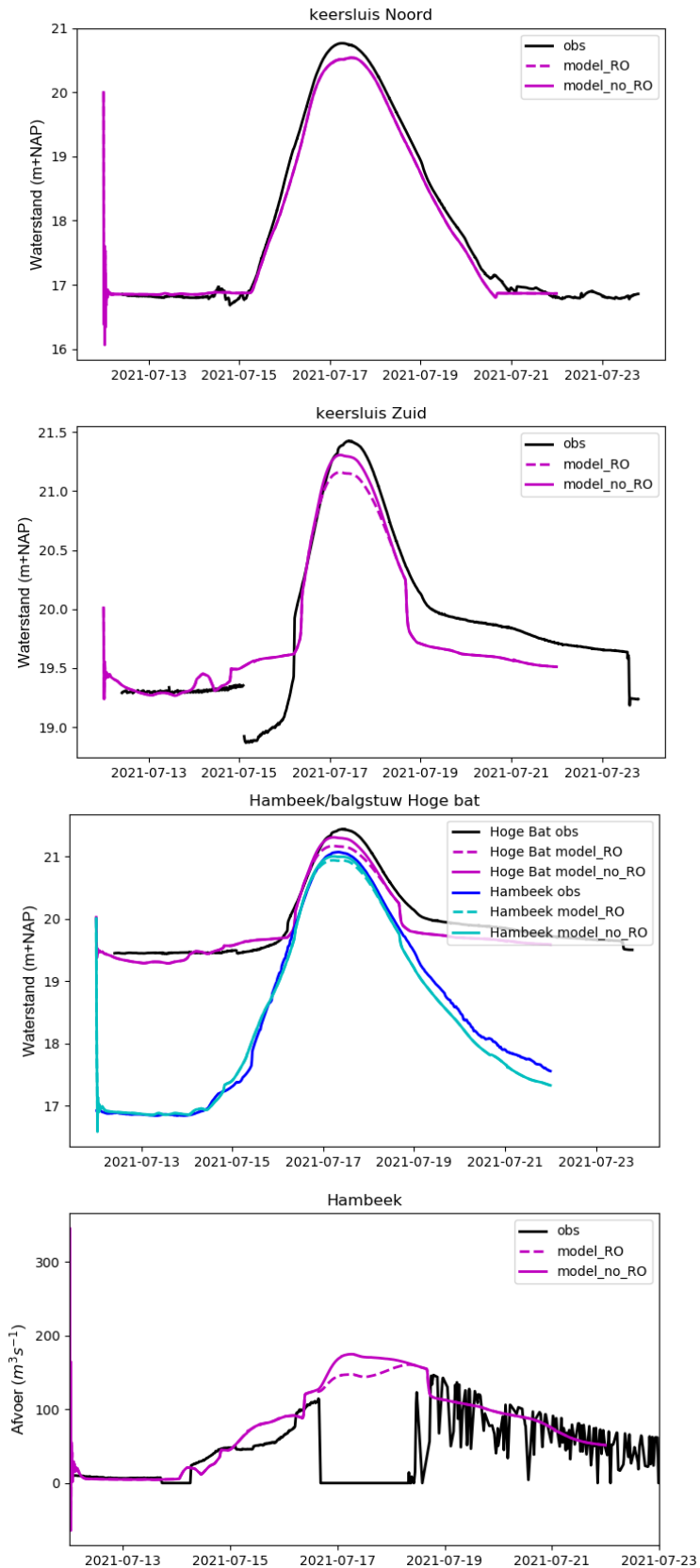


Figuur 3-3: Vergelijking tussen het overstromingspatroon op de luchtfoto gemaakt in de ochtend van 17 juli (linker paneel) en het gemodelleerde overstromingspatroon in de ochtend van 17 juli (rechterpaneel)

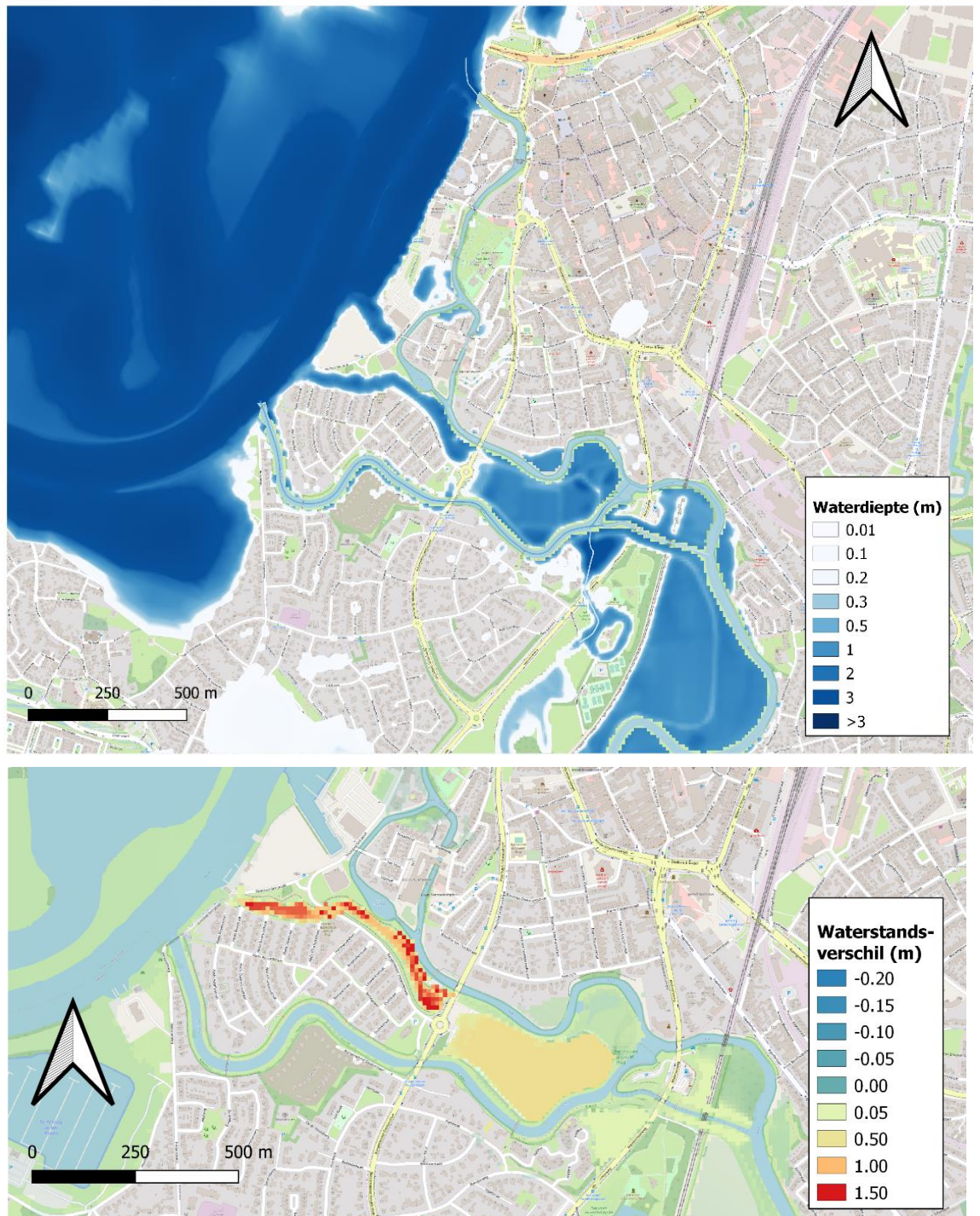
3.2 Wat zou er zijn gebeurd als de Roer-overlaat was ingezet?

Meerdere bewoners en beleidsmakers van Roermond hebben zich afgevraagd wat er zou zijn gebeurd als de Roer-overlaat zou zijn aangetakt (in gezet) tijdens het hoogwater van juli 2021.

Figuur 3-4 toont gemeten waterstanden en waterstanden die zijn berekend met het SOBEK-RE model in de Roerdelta, met en zonder inzet van de Roer-overlaat bij een Roerafvoer van $195 \text{ m}^3/\text{s}$ bij Stah. Bij keersluis noord liggen de berekende waterstanden op de Maas iets lager dan de gemeten waterstanden (zie Figuur 2-2 voor de locaties). Bij keersluis Zuid zijn de gemodelleerde waterstanden aan bovenstroomse zijde 13 cm lager dan de gemeten waterstanden zonder Roer-overlaat. Inzet van de Roer-overlaat had de gemodelleerde waterstanden van keersluis Zuid tot de balgstuw met 14 cm verlaagd. De waterstandsverlaging neemt in de Hambeek geleidelijk af van 14 cm tot 0 cm bij de uitstroom in de Maas. Deze waterstandsverlaging zou echter geen effect hebben gehad op het overstroom van de hockeyvelden of andere gebieden (Figuur 3-5). Daarvoor had de waterstand met minimaal 40 cm moeten dalen.



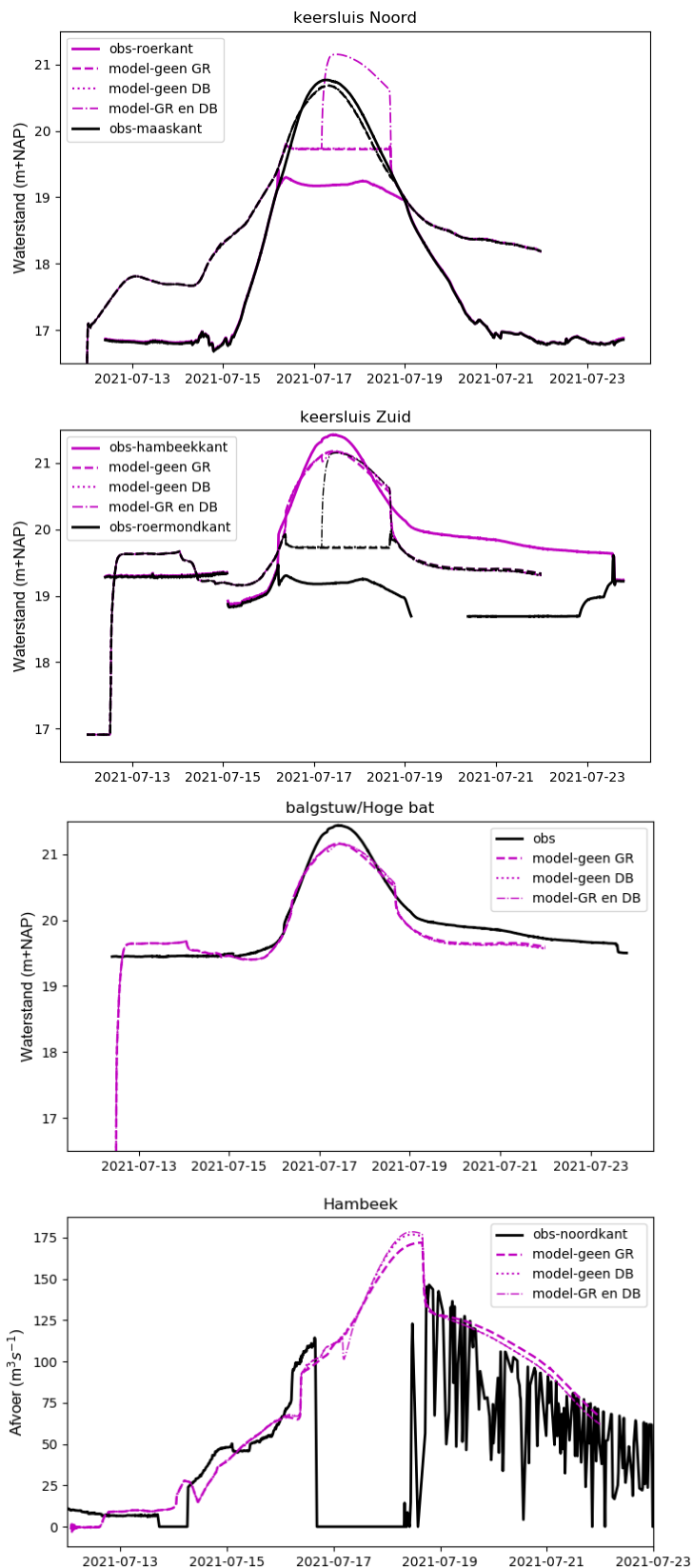
Figuur 3-4: Resultaten van de SOBEK-RE simulatie met en zonder Roer-overlaat. Obs betekent observed (gemeten) waterstand, model_RO zijn gemodelleerde waarden met inzet van de Roer-overlaat en model_no_RO illustreert de simulatie zonder Roer-overlaat. In het paneel met Hambeek en de balgstuw Hoge Bat is te zien dat het verhang in de Hambeek door het hoogwater sterk is afgenomen en dat de waterstandsverlaging door de inzet van de Roer-overlaat afneemt richting de Maas



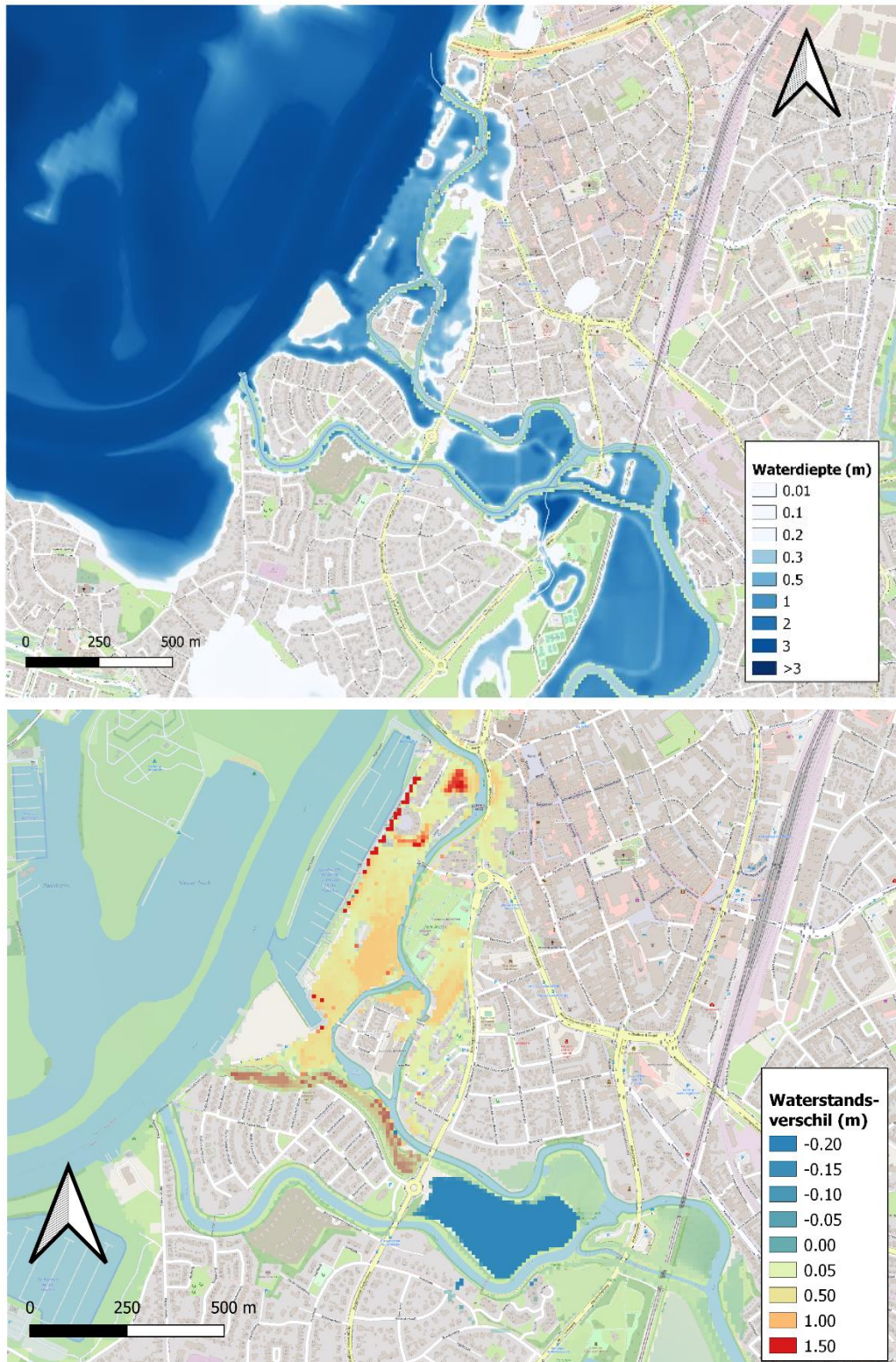
Figuur 3-5: Overstromingskaart hoogwater juli 2021 op 18 juli om 16:00 als Roer-overlaat was ingezet berekend met D-HYDRO 1D2D en een verschilkaart van de waterstanden zonder en met de inzet van de Roer-overlaat. N.B. de overstromingen rond het eiland in de Roer tussen de keersluizen, is het gevolg van de overschatting van de gesimuleerde waterstanden tussen de keersluizen (zie ook Bijlage B)

3.3 Wat zou er zijn gebeurd als er een dijkdoorbraak had plaatsgevonden bij het inzetten van de Roer-overlaat?

Bij een doorbraak van de noordelijke dijken langs de Roer-overlaat simuleert het 1D2D model een grote overstroming van de voorstad en deels ook van de binnenstad van Roermond (Figuur 3-7 en technische beschrijving in Bijlage B). Dit komt doordat de waterstand in het gebied tussen de sluisdeuren stijgt als gevolg van de doorbraak. De andere delen van de Roer ondervinden weinig effect van de dijkdoorbraak (zie resultaten voor de overige locaties in Figuur 3-6).



Figuur 3-6: Resultaten van de simulatie met en zonder Roer-overlaat en met Roer-overlaat met dijkdoorbraak. Geen GR illustreert de simulatie zonder Roer-overlaat, geen DB illustreert de simulatie met Roer-overlaat zonder dijkdoorbraak en GR en DB illustreert de simulatie met Roer-overlaat en dijkdoorbraak

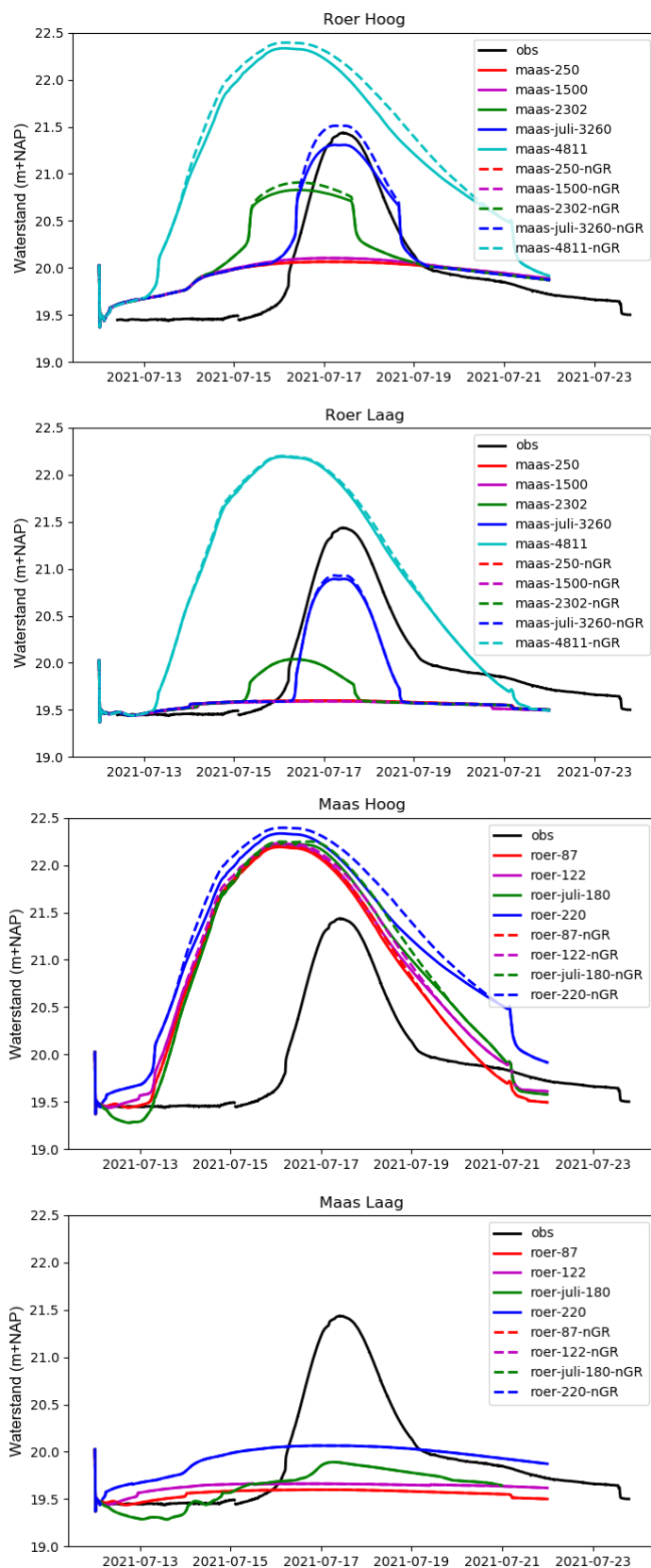


Figuur 3-7: Overstromingskaart hoogwater juli 2021 op 18 juli om 16:00 als Roer-overlaat was ingezet en er een dijkdoorbraak had plaatsgevonden (berekend met D-HYDRO 1D2D) en een verschilkaart van de waterstanden met de situatie met en zonder dijkdoorbraak bij de inzet van de Roer-overlaat

3.4 Zou de Roer-overlaat effectiever zijn bij andere Maas- en Roerafvoeren?

De effectiviteit van de Roer-overlaat is bestudeerd door de afvoeren door de Roer-overlaat, de Hambeek en de waterstanden in de Roerdelta te bestuderen bij verschillende combinaties van Roer- en Maasafvoer. De gemodelleerde Roer- en Maasafvoeren zijn gebaseerd op synthetische (standaard) golfvormen, behalve voor de juli 2021 gebeurtenis.

Uit de analyses blijkt dat de waterstanden in de Roerdelta in grote mate beïnvloed worden door de Maaswaterstanden (Figuur 3-8). Bij hoge waterstanden in de Maas zijn de waterstanden hoog bij balgstuw Hoge Bat, in de Hambeek en andere waterlopen die in open verbinding staan met de Maas. Hetzelfde geldt voor lage waterstanden op de Maas. Als de waterstanden op de Maas laag zijn, dan zijn de waterstanden op de Roer en de Hambeek ook laag. De afvoeren van de Roer hebben een veel minder grote invloed op de waterstanden in de Roerdelta. Hieruit kan worden geconcludeerd dat de Maas vooral invloed heeft op de *waterstanden* in de Roerdelta en de Roer vooral invloed heeft op de *afvoer* in de Roerdelta. Bij Figuur 3-8 is het belangrijk om op te merken dat gerekend is met standaard afvoergolven. Met name voor de Maas heeft de standaard afvoergolf een veel langere duur dan het hoogwater van juli 2021.



Figuur 3-8: Waterstanden bij meetpunt Roermond Andersonweg bij balgstuw Hoge Bat bij verschillende Maas- en Roerafvoeren. Roer hoog staat voor een afvoer van 220 m³/s. Bij Roer laag is een afvoer van 87 m³/s aangenomen. Maas hoog komt overeen met een Maasafvoer van 4811 m³/s en Maas laag met 250 m³/s. nGR geeft de scenario's zonder Roer-overlaat weer

Tabel 2 laat de verschillende afvoeren door de Roer-overlaat zien. Bij lage Maasafvoeren heeft de Roer-overlaat geen afvoer, omdat de waterstanden in de Roerdelta niet hoog genoeg zijn om een verbinding van de Roer naar de Maas te krijgen door de Roer-overlaat. Hoewel de drempels worden afgegraven liggen deze nog steeds te hoog. De instroomdrempel heeft normaal een hoogte van 21,3 m +NAP. De volgende drempel bij de Burgemeester Hoppenerlaan heeft een hoogte van 22 m +NAP. Beide drempels worden bij inzet afgegraven tot een hoogte van 20 m +NAP. Bij een lage Maasafvoer komt de waterstand in de Roer ter hoogte van de drempel echter niet boven de 20 m +NAP uit (in ieder geval niet bij de hier doorgerekenende afvoeren).

Het belang van de waterstand op de Maas voor het wel of niet meestromen van de Roer-overlaat blijkt duidelijk uit de berekening met een Maasafvoer van 4120 m³/s bij St. Pieter. Bij deze afvoer worden de waterstanden in de Roerdelta zo ver opgestuwd dat de Roer-overlaat mee gaat stromen zonder dat deze bewust is aangetakt. In dat geval stroomt het water over de overlaat heen, zonder dat deze is afgegraven. Hierbij moet wel worden opgemerkt dat de waterstanden bij deze berekening zijn overschat. Er is gerekend met een 1D model waarin overstromingen niet zijn mee genomen. De verwachting is dat een afvoer van 4120 m³/s op de Maas bij St. Pieter tot grootschalige overstromingen zal leiden in de Roerdelta, waardoor de waterstanden in de Roer lager blijven dan in deze berekening. De afvoer door de Roer-overlaat zal dan mogelijk ook lager zijn. Figuur 3-9 geeft het tijdsverloop van de afvoer door de Roer-overlaat weer.

Tabel 2: Maximale afvoeren door de Roer-overlaat bij verschillende Maas- en Roerafvoeren (De vertaling van de Maasafvoeren naar de waterstanden bij Roermond is gegeven in Bijlage C). De getallen zonder haakjes illustreren de modelsimulaties met aangetakte Roer-overlaat (d.w.z. na verlaging van de instroomdrempel) en met haakjes de modelsimulaties zonder aangetakte Roer-overlaat (water stroomt in dat geval over de inlaatdrempel heen zonder dat deze is afgegraven)

Max. afvoer Roer-overlaat (m ³ /s)		Maasafvoer bij Sint Pieter (m ³ /s)				
		4120	3260	2300	1500	250
Roerafvoer bij Stah (m ³ /s)	220	69.2 (42.7)	36.9 (0.1)	9.7 (0.0)	0.0	0.0
	195	57.1 (32.7)	27.8 (0.0)	0.3 (0.0)	0.0	0.0
	120	39.6 (27.0)	16.9 (0.0)	0.0	0.0	0.0
	85	30.7 (22.5)	12.6 (0.0)	0.0	0.0	0.0

In de Hambeek zijn de afvoerpieken iets lager als de Roer-overlaat is aangetakt, maar de afname is minder laag dan de afvoer door de Roer-overlaat (Tabel 3). Dit is het gevolg van een snelle afname van de effectiviteit van de Roer-overlaat bij hogere waterstanden op de Maas (Figuur 3-10), hierdoor gaat na verloop van tijd de meeste afvoer alsnog door de Hambeek (de piekafvoer door de Roer-overlaat wordt dus eerder bereikt dan de piekafvoer door de Hambeek). Door deze verschuiving van het tijdstip van maximale afvoer is het fysisch incorrect om de maximale afvoer van de Roer-overlaat en de Hambeek bij elkaar op te tellen en te vergelijken met de Roerafvoer.

In Tabel 4 en zijn de maximale waterstanden in de Roerdelta weergegeven bij verschillende Maas- en Roerafvoeren. Hier is duidelijk de invloed van de Maaswaterstanden op de waterstanden in de Roerdelta zichtbaar. Daarnaast laten Tabel 3 en Tabel 4 zien dat de Roer-overlaat het meeste effect heeft op de waterstanden in de Roerdelta bij een hoogwatergebeurtenis zoals voorgekomen in juli 2021 (hoge Maasafvoer in combinatie met een hoge afvoer op de Roer). Bij het hoogwater van 2021 worden de afvoeren door de Hambeek en de waterstanden in de Roerdelta meer verlaagd dan in de andere doorgerkende Maasafvoer-scenario's. Dit is te zien aan de hoogste getallen tussen haakjes in Tabel 3 en Tabel 4.

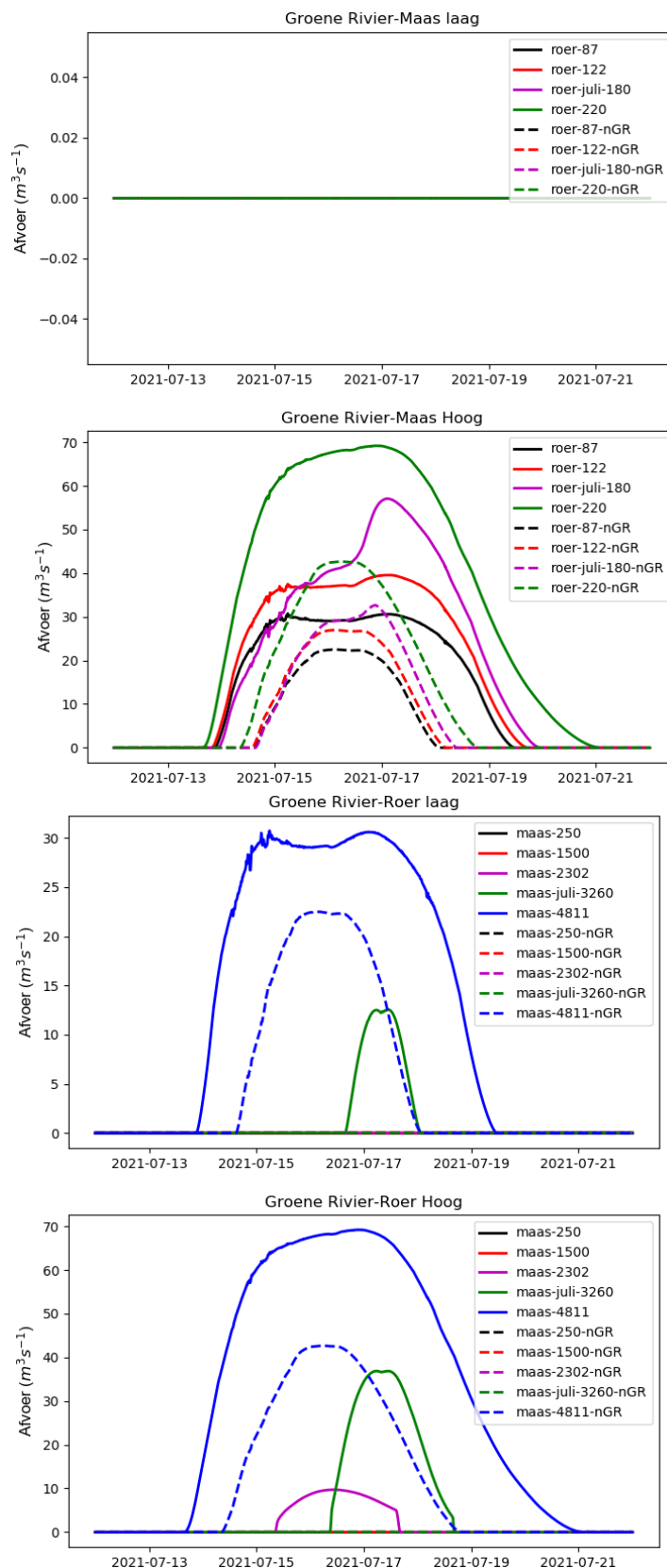
Tabel 3: Maximale afvoeren door de Hambeek bij verschillende Maas- en Roerafvoeren. De getallen zonder haakjes illustreren de modelsimulaties met aangetakte Roer-overlaat en met haakjes de modelsimulaties zonder aangetakte Roer-overlaat

Max. afvoer Hambeek (m³/s)		Maasafvoer bij Sint Pieter (m³/s)				
		4120	3260	2300	1500	250
Roerafvoer bij Stah (m³/s)	220	184.8 (208.7)	204.6 (215.0)	207.8 (213.7)	168.9	169.9
	195	135.6 (162.0) ⁴	160.5 (174.7)	175.4 (175.7)	135.1	135.5
	120	111.4 (123.7)	122.5 (123.2)	116.0	81.6	81.6
	85	80.9 (91.5)	90.1 (90.6)	87.1	55.9	55.6

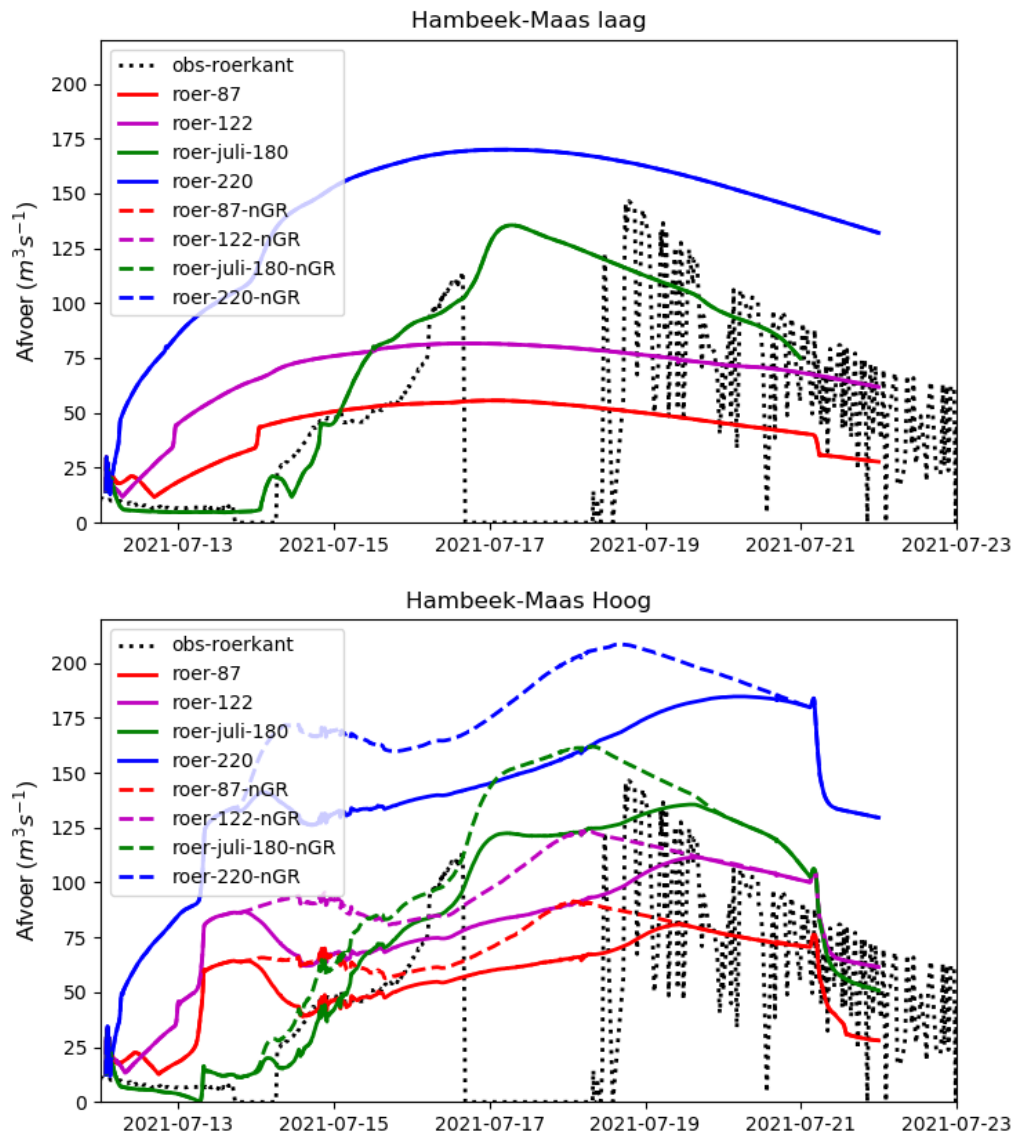
Tabel 4: Maximale waterstanden bij de meetpunt Roermond Andersonweg bij balgstuw Hoge Bat bij verschillende Maas- en Roerafvoeren. De getallen tussen haakjes geven de waterstandsverlaging weer bij het inzetten van de Roer-overlaat

Waterstanden Hoge Bat (m + NAP)		Maasafvoer bij Sint Pieter (m³/s)				
		4120	3260	2300	1500	250
Roerafvoer bij Stah (m³/s)	220	22.40 (0.06)	21.51 (0.20)	20.91 (0.08)	20.10	20.07
	195	22.25 (0.02)	21.31 (0.14)	20.54	19.91	19.89
	120	22.23 (0.02)	21.04 (0.06)	20.20	19.66	19.66
	85	22.20 (0.01)	20.93 (0.04)	20.04	19.59	19.60

⁴ De maximale afvoer in de Hambeek is lager bij een Maasafvoer van 4810 m³/s ten opzichte van de Maasafvoer van 3260 m³/s, omdat de Roeroverlaat ook een grote afvoer heeft in het geval van de Maasafvoer van 4810 m³/s.



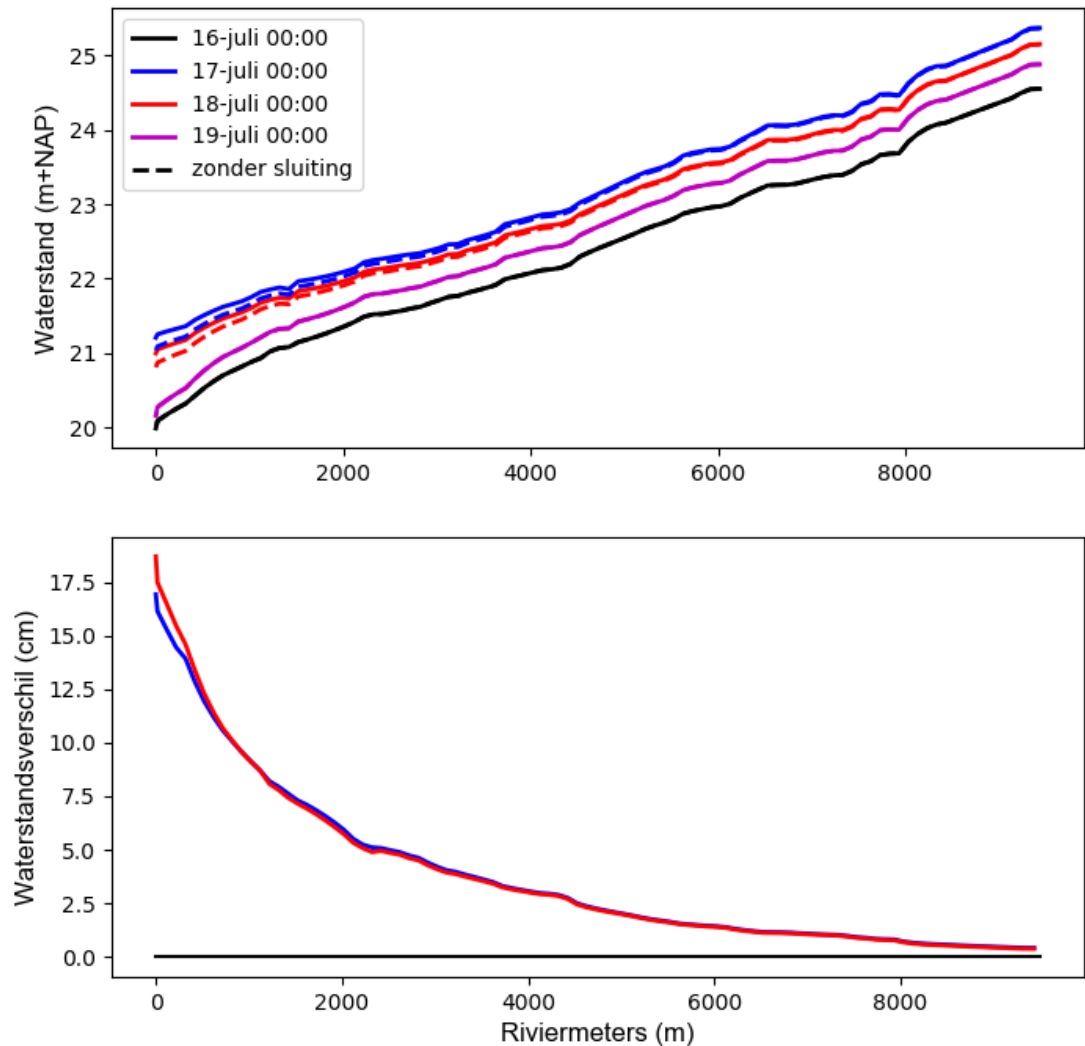
Figuur 3-9: Tijdsverloop van de afvoer door de Roer-overlaat met de meest extreme scenario's. Roer hoog staat voor een afvoer van 220 m³/s. Bij Roer laag is een afvoer van 87 m³/s aangenomen. Maas hoog komt overeen met een Maasafvoer van 4811 m³/s en Maas laag met 250 m³/s. nGR geeft de scenario's zonder Roer-overlaat weer



Figuur 3-10: Tijdsverloop van de afvoer door de Hambeek met de meest extreme scenario's van de Maas. De effectiviteit van de Roer-overlaat neemt af in de tijd. nGR geeft de scenario's zonder Roer-overlaat weer. In de bovenste figuur liggen de gekleurde lijnen met en zonder inzet Roer-overlaat op elkaar

3.5 Kan het sluiten van de keersluizen effecten hebben op de waterstanden in Duitsland?

Met het sluiten van de keersluizen in de stedelijke Roer wordt het overstroom van de voorstad in Roermond voorkomen. Het sluiten van deze keersluizen in Roermond leidt tot enige opstuwing bovenstrooms. Deze opstuwing hebben we bestudeerd door het SOBEK-RE model te runnen voor het hoogwater van juli 2021 met en zonder de sluiting van de keersluizen. De uitkomst is weergegeven in Figuur 3-11. Direct bovenstrooms van de zuidelijke sluisdeur bedraagt de opstuwing maximaal 17 cm. In bovenstroomse richting neemt dit effect af. Bij Melick (6 km bovenstrooms van de balgstuw Hoge Bat) bedraagt de opstuwing minder dan 2,5 cm. Bij St. Odiliënberg (8 km bovenstrooms van de balgstuw Hoge Bat) bedraagt het effect zelfs minder dan een centimeter. Aangezien de Duitse grens zich ongeveer 19 rivierkilometers van de Hoge Bat stuw bevindt heeft het sluiten van de keersluizen dus geen effect gehad op de optredende waterstanden in Duitsland.



Figuur 3-11: Langsprofilen bovenstrooms van balgstuw Hoge Bat. De bovenste figuur toont de gemodelleerde waterstanden die zijn berekend met real-time control op de sluisdeuren (doorgetrokken lijn) en zonder real-time control, dus met open sluisdeuren (stippellijn). In het modelscenario met real-time control zijn de deuren gesloten op 16 juli om 6:00 uur en geopend op 18 juli om 20:00 uur. Er is dus enkel verschil in de modelsimulatie van het langsprofiel voor 17 juli om 0:00 uur en 18 juli om 0:00 uur. Dit verschil in berekende waterstand met gesloten en open sluisdeuren is getoond in de onderste figuur, waarbij de kleuren refereren aan de tijdstippen in de legenda. De referentie (km 0) ligt bij balgstuw Hoge Bat

4 Conclusies en aanbevelingen

4.1 Conclusies

Wat is er gebeurd in de Roerdelta in juli 2021?

Tijdens het hoogwater van juli 2021 zijn grootschalige overstromingen in de Roerdelta uitgebleven. Wel was sprake van overstromingen van de hockeyvelden Concordia en van enkele gebieden die als overstromingsvlaktes in de legger van het waterschap staan vermeld. Daarnaast zijn mensen geëvacueerd, wat grote impact heeft gehad op de bewoners. De piekafvoer op de Maas bij Sint Pieter werd in juli 2021 geschat op 3260 m³/s, wat hoger is dan de verwachte afvoergolf bij een 1/100 jaar gebeurtenis. Door topvervlakking kwam de waterstand in de Maas bij Roermond overeen met een waterstand van (ongeveer) een 1/50 jaar gebeurtenis. Een handmeting uitgevoerd bij Stah wijst op een piekafvoer in de Roer van ongeveer 260 m³/s. De analyses in deze casestudie komen uit op een afvoer van 220 tot 260 m³/s. Er is meer onderzoek nodig om de afvoer nauwkeuriger te bepalen (zie voor meer informatie de aanbevelingen).

Wat was er gebeurd als de Roer-overlaat was ingezet en hoe effectief is de Roer-overlaat?

Het overstromingspatroon in de Roerdelta zou nauwelijks zijn veranderd wanneer de Roer-overlaat zou zijn ingezet. Modelberekeningen voor de juli 2021 gebeurtenis laten zien dat de waterstanden enkele tot maximaal 14 cm lager zouden zijn geweest op de trajecten van de Roer en de Hambeek in de bebouwde kom van Roermond. Dit is echter onvoldoende om de overstroming van de hockeyvelden te voorkomen. Als, na inzet van de Roer-overlaat, een dijkdoorbraak had plaats gevonden langs de Roer-overlaat, dan waren grote delen van de voor- en binnenstad van Roermond overstroomd, met grote schade aan huizen en bedrijven tot gevolg.

Het onderzoek naar de effectiviteit van de Roer-overlaat toonde aan dat de Maaswaterstanden het meest bepalend zijn voor de waterstanden in de Roerdelta (als gevolg van opstuwing). De Roer-overlaat lijkt het meest effectief in het verlagen van de waterstanden in de Roerdelta bij Maasafvoeren rond de 3000 m³/s bij Sint Pieter. Deze Maasafvoer komt overeen met Maaswaterstanden van rond 21 m+NAP bij Roermond. Bij lagere Maaswaterstanden (onder 20 m+NAP bij Roermond) blijven de waterstanden in de Roerdelta laag, waardoor er geen water in de Roer-overlaat stroomt en dus niet effectief is.

Heeft het sluiten van de deuren in de Roerdelta (centrum Roermond) effect gehad op de waterstanden in Duitsland?

De opstuwing van de waterstanden in de Roerdelta wordt deels veroorzaakt door het sluiten van de keersluizen. Deze opstuwing bedraagt 17 cm direct bovenstrooms van de zuidelijk keersluis, maar is bij St. Odiliënberg (op 8 km bovenstrooms van balgstuw Hoge Bat) afgenomen tot minder dan een centimeter. Aangezien de Duitse grens zich ongeveer 19 rivierkilometers van de Hoge Bat stuw bevindt, heeft het sluiten van de keersluizen geen effect gehad op de optredende waterstanden in Duitsland.

4.2 Aanbevelingen

De afvoergolf in de Roer bepalen

Het gebeurt vaker dat meetapparatuur faalt tijdens extreme gebeurtenissen. De afvoermetingen zijn echter vaak de basis van verder onderzoek, dus een goede inschatting van de afvoeren is zeer waardevol voor vervolgstudies, zowel met betrekking tot dit hoogwater als de systeemwerking van de Roer en de Roerdelta. In deze casestudie hebben we gezien dat de berekenende overstromingspatronen beter overeenkomen met de opgetreden patronen bij een berekende afvoerpiek van 195 m³/s, terwijl de waterstanden in de Roerdelta beter overeenkomen met afvoerpieken van 220 tot 260 m³/s. Voor vervolgonderzoek zou het wenselijk zijn om de Roerafvoer beter te schatten. Deze schatting kunnen worden verbeterd door een gedetailleerdere modelstudie te doen, waarbij gebruik wordt gemaakt van zoveel mogelijk informatie. In dit hoogwater zijn ADCP-metingen gedaan, welke kunnen worden vergeleken en als aanvullingen kunnen dienen op de gebruikte informatie in deze casestudie. Daarnaast kunnen we meer inzicht krijgen in het systeem door de modelparameters te kalibreren en de modeluitkomst te vergelijken met de beschikbare informatie. De belangrijkste aanbeveling uit deze casestudie is om de randvoorwaarden en modelparameters beter te kalibreren, zoals Maaswaterstanden, Roerafvoer, hoogtemodel en ruwheden. De Roerafvoer bij Stah van juli 2021 kunnen dus nauwkeuriger worden bepaald door een vervolgonderzoek te starten met meer beschikbare informatie en meer tijd.

Kans op coïncidentie van de Maas- en Roerafvoeren bepalen

In deze casestudie was er geen tijd om nauwkeurig en gedetailleerd de overschrijdingskansen te bepalen van de Roerafvoer en de coïncidentie van de Maas- en de Roerafvoeren. Het GRADE instrumentarium biedt de mogelijkheid om overschrijdingskansen nauwkeuriger te bepalen. Het GRADE instrumentarium is gebruikt om de extreme afvoeren in de Maas bij Sint Pieter, in de Rijn bij Lobith en sinds kort ook in de Vecht bij Dalfsen te simuleren. GRADE (**Generation of Rainfall and Discharge Extremes**) maakt daarbij gebruik van een combinatie van een stochastische weergenerator, een hydrologisch model en een hydrodynamisch model. De ontwikkelingen van GRADE zijn gestart in 1998 en sinds 2014 wordt GRADE officieel toegepast binnen het Wettelijk Beoordelings Instrumentarium (WBI2017) voor het genereren van de afvoerstatistiek en het bepalen van de gemiddelde golfvorm. Bij de afvoerstatistiek wordt ook rekening gehouden met de onzekerheden in het beek- of riviersysteem. Recent is een Interreg voorstel ingediend waarbij wordt voorgesteld om het GRADE instrumentarium voor de Maas uit te breiden door ook de zijrivieren in Nederland, waaronder de Roer, mee te nemen. Aanbevolen wordt dit uitgebreide instrumentarium in te zetten voor het bepalen van de kans op coïncidentie.

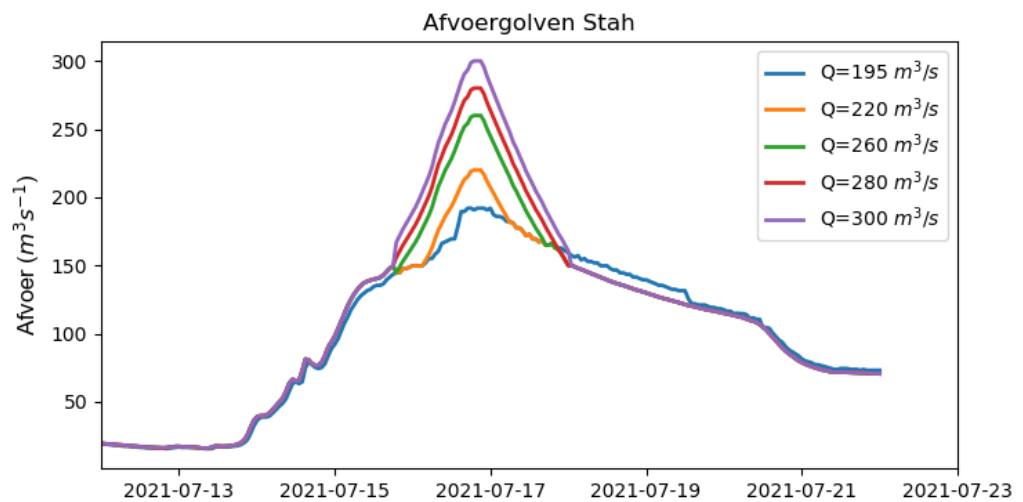
De beheersmaatregelen in de Roer(monding) onderzoeken

In deze casestudie hebben we voornamelijk gekeken naar de Roer-overlaat als beheersmaatregel. In een vervolgstudie zouden ook andere beheersmaatregelen kunnen worden bestudeerd, bijvoorbeeld de optimalisatie van de stuwhoogte van de balgstuw Hoge Bat of de optimalisatie van het gebruik van de inundatiegebieden bovenstrooms van Roermond.

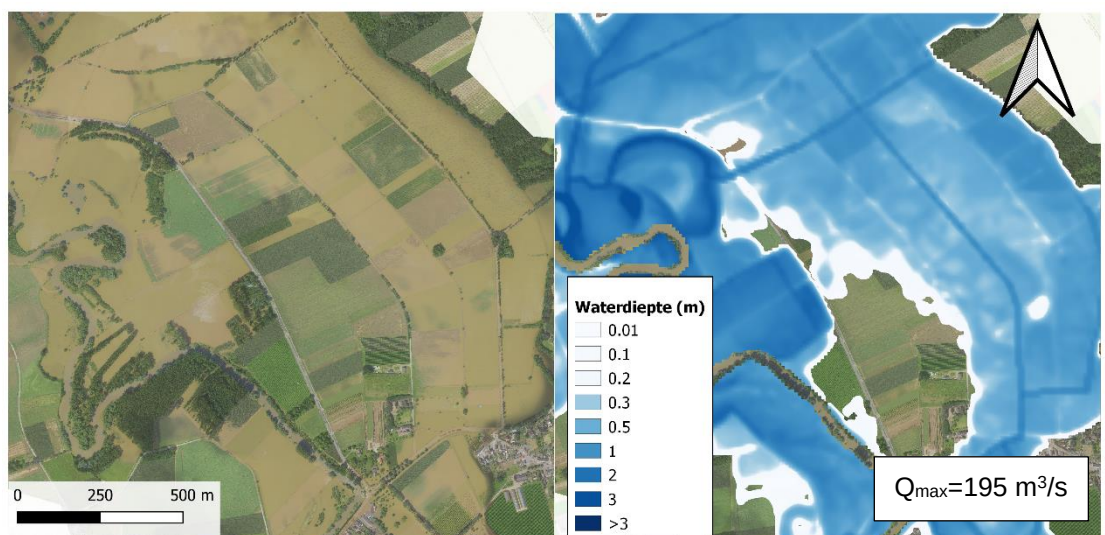
Referenties

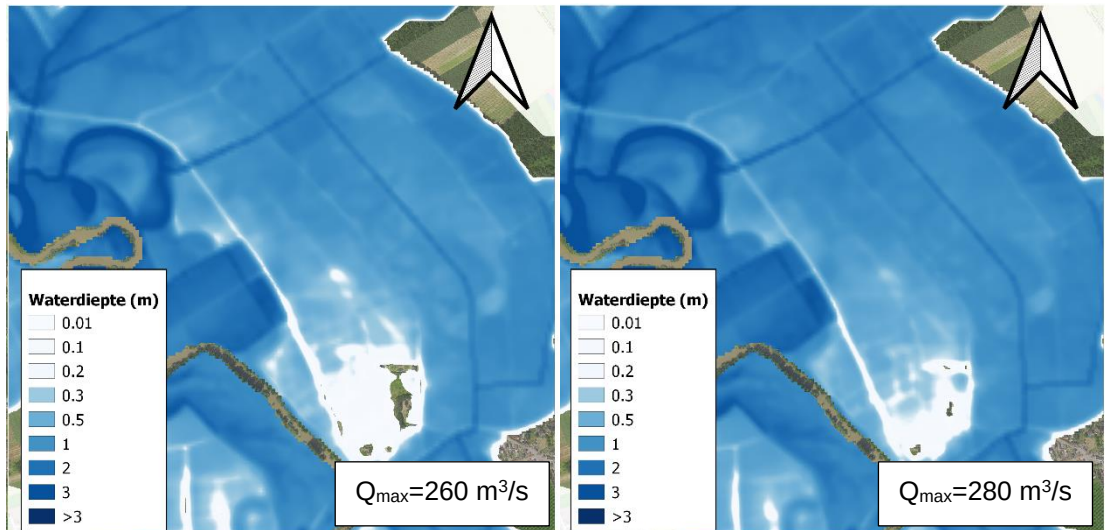
- Deijl, E., De Jong, J., en Visser T. (2021) Actualisatie zesde-generatie Maas-modellen – Schematisaties j19_6, beno19_6, beno_mknov19_6. Deltares rapport 11206813-002-ZWS-0021, Versie 1.0, december 2021
- Geertsema, T.J. en Prinsen G. (2020) Dijkdoorbraak Roermond. Deltares rapport 11205415-000-ZWS-0002, Versie 1.1, sept 2020
- Hegnauer, M., Beersma, J. en Van den Brink, H., (2022) Generator of Rainfall and Discharge Extremes for the Meuse – Final report of GRADE-Meuse version 3.0. Deltares rapport 11205237-003-ZWS-0016
- De Jong, J. en Asselman, N. (2019) Topvervlakking Maas - Het effect van golfvormen, bergingsgebieden en rivierverruiming. Deltares rapport 11203684-003-ZWS-0002
- De Jong, J. (2019) Ontwikkeling zesde-generatie Maas-model; Modelbouw, kalibratie en validatie. Deltares concept rapport 11200569-003-ZWS-0014, december 2019
- De Jong, J. (2021). Ontwikkeling zesde-generatie Maas-model: Modelbouw, kalibratie en validatie. Deltares rapport 11200569-003-ZWS-0014, Versie 1.1, okt 2021
- Mulder, M. (2021). Engineering report: Hoogwatermetingen WS Limburg. Nortek, 16 juli 2021
- Task Force Fact Finding hoogwater 2021 (2021) Hoogwater 2021 Feiten en Duiding. Expertise Netwerk Waterveiligheid. Versie 2, 20 september 2021. Met bijdragen van TU Delft, Deltares, Wageningen University, Erasmus MC, HKV, Universiteit Utrecht, IVM, VU, KNMI, Universiteit Twente
- Van der Veen, R. (2021). Topafvoeren hoogwater Maas juli 2021. Rura-Arnhem rapport P210910R v2.0 d.d. 16 december 2021

A Analyse maximale afvoer bij Stah

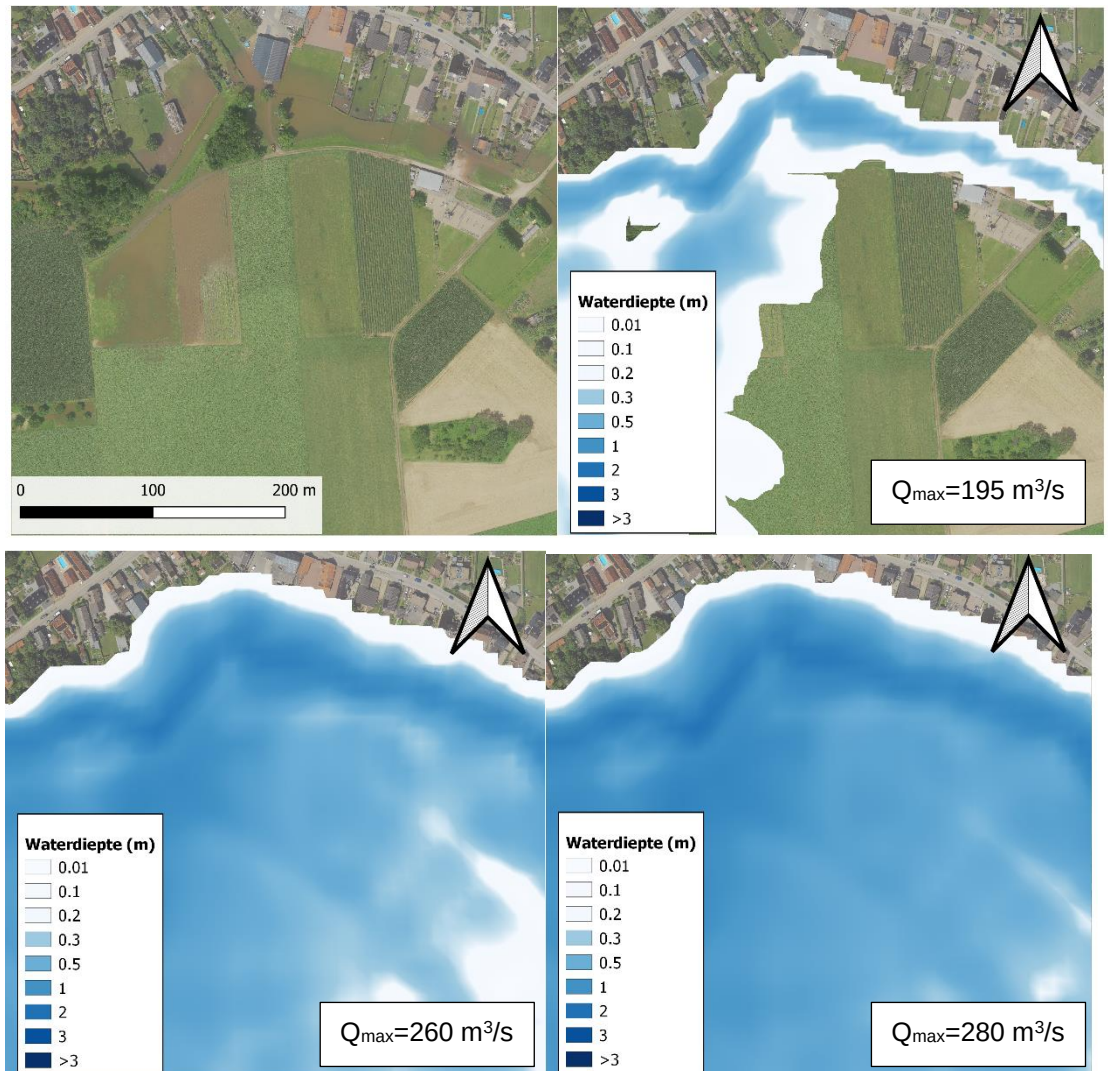


Figuur A-1: De verschillende afvoersimulaties voor de Roer bij Stah

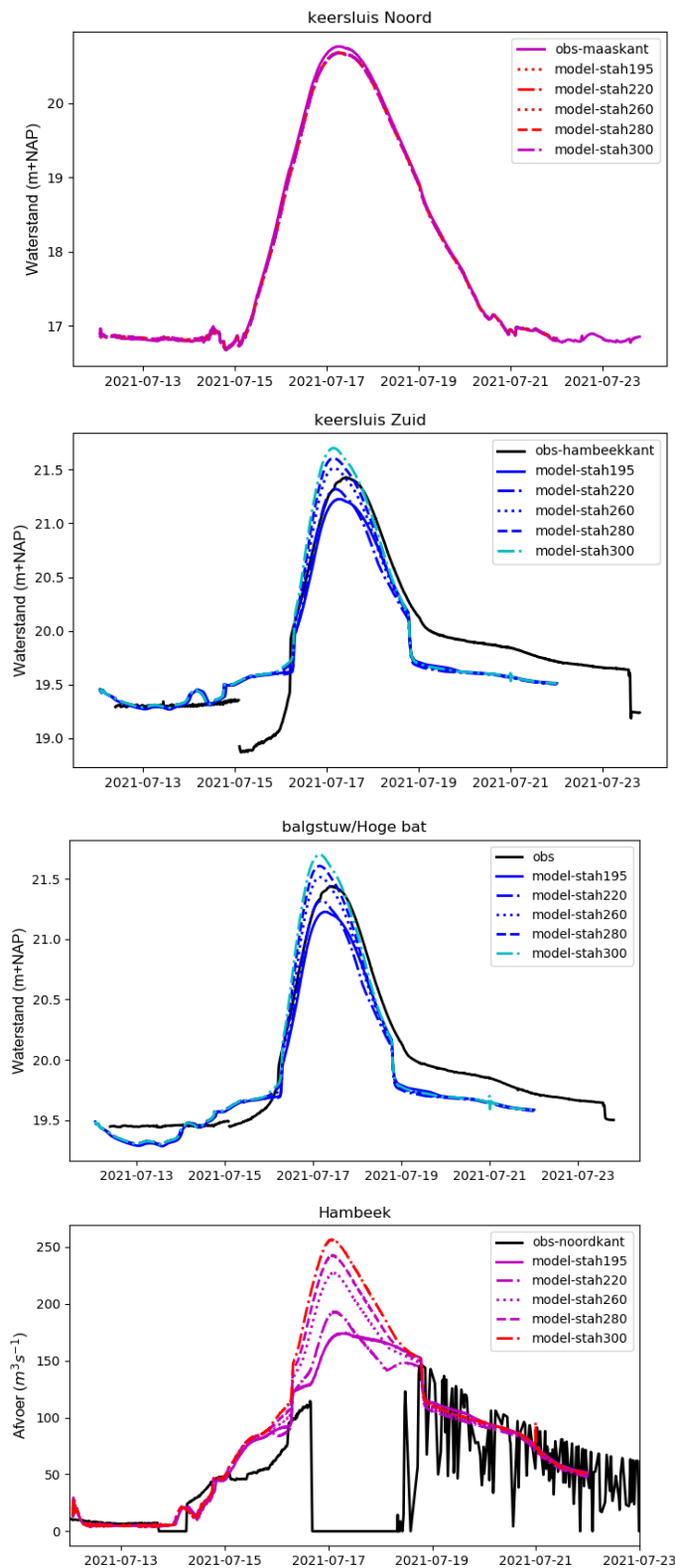




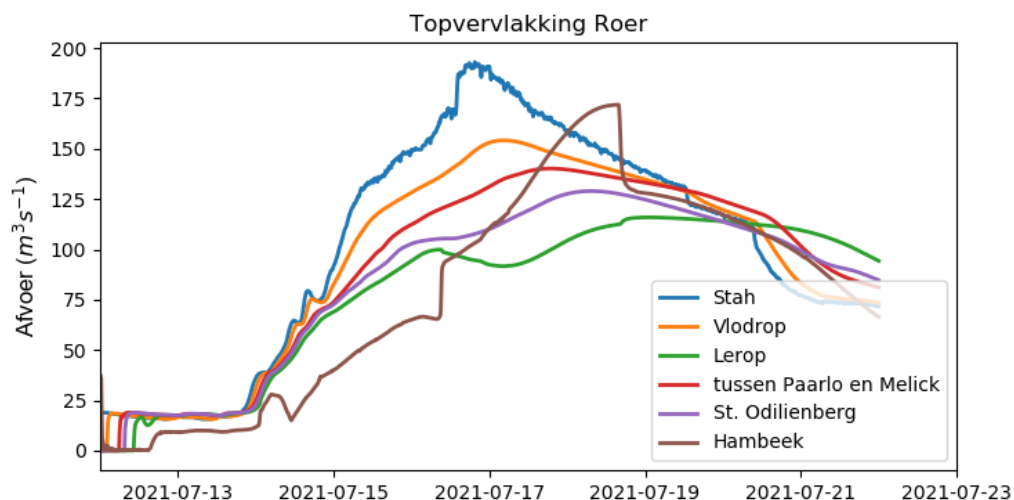
Figuur A-2: Afvoerspatroon in de ochtend van 17 juli in de buurt van Bondersweg ten noordwesten van Vlodrop. Linksboven toont het overstromingspatroon op de luchtfoto. De andere figuren tonen de berekende overstromingspatronen met een maximale afvoer bij Stah van respectievelijk 195, 260 en 280 m³/s. Het droge gedeelte in het midden is enkel droog bij een afvoerpiek van maximaal 195 m³/s



Figuur A-3: Overstromingspatroon in de ochtend van 17 juli bij de Melicker Leigraaf ten westen van Melick. Linksboven toont het overstromingspatroon op de luchtfoto. De andere figuren tonen de berekende overstromingspatronen met een maximale afvoer bij Stah beschreven van respectievelijk 195, 260 en 280 m^3/s . Het droge gedeelte in het midden is enkel droog bij het overstromingspatroon van maximaal 195 m^3/s



Figuur A-4: Resultaten van de SOBEK-RE simulatie met verschillende Roerafvoeren bij Stah. Obs betekent observed (gemeten) waterstand, model zijn gemodelleerde waterstanden bij een Roerafvoer bij Stah van 195, 220, 260, 280 en 300 m³/s. De waterstanden in de Roerdelta komen overeen met de afvoer op de Roer tussen 220 en 260 m³/s



Figuur A-5: De gemodelleerde topvervlakking in de Roer met een maximale afvoergolf van 195 m³/s bij Stah. N.B. het vreemde afvoergolpatroon in de Hambeek wordt veroorzaakt door het samenvallen van de afvoergolf op de Maas

Tabel A-1: De afvoer bij Melick is geschat op basis van de gemeten waterstanden bij fietsbrug tussen Paarlo en Melick en de met het model berekende stroomsnelheden. Daarnaast is een schatting van de topvervlakking tussen Stah en Melick gemaakt

meetpunt	Hoogste waterstand (m+NAP)	Doorstroom-oppervlakte ter plaatse (m²)	Gemodelleerde stroomsnelheid ter plaatse bij afvoer van 195 m³/s	Berekende afvoer ter plaatse (m³/s)	Topvervlakking (m³/s) ⁵	Geschatte afvoer bij Stah (m³/s)
fietsbrug tussen Paarlo en Melick	25.5	134	1.40	188	55	~243

⁵ De stroomsnelheden zijn berekend met het model uitgaande van een piekafvoer van 195 m³/s bij Stah. Omdat de werkelijke afvoer mogelijk groter is geweest, kan de afvoer bij Melick ook groter zijn geweest dan hier berekend. De werkelijke afvoer kan daardoor iets groter zijn geweest.

B Gebruikte modellen

In de casestudie van de Roerdelta hebben we gebruik gemaakt van twee modellen. Een D-HYDRO 1D2D model om gedetailleerd de overstromingen te bestuderen en een 1D model om de effectiviteit van de Roer-overlaat te bestuderen aan de hand van verschillende Maas- en Roerafvoeren.

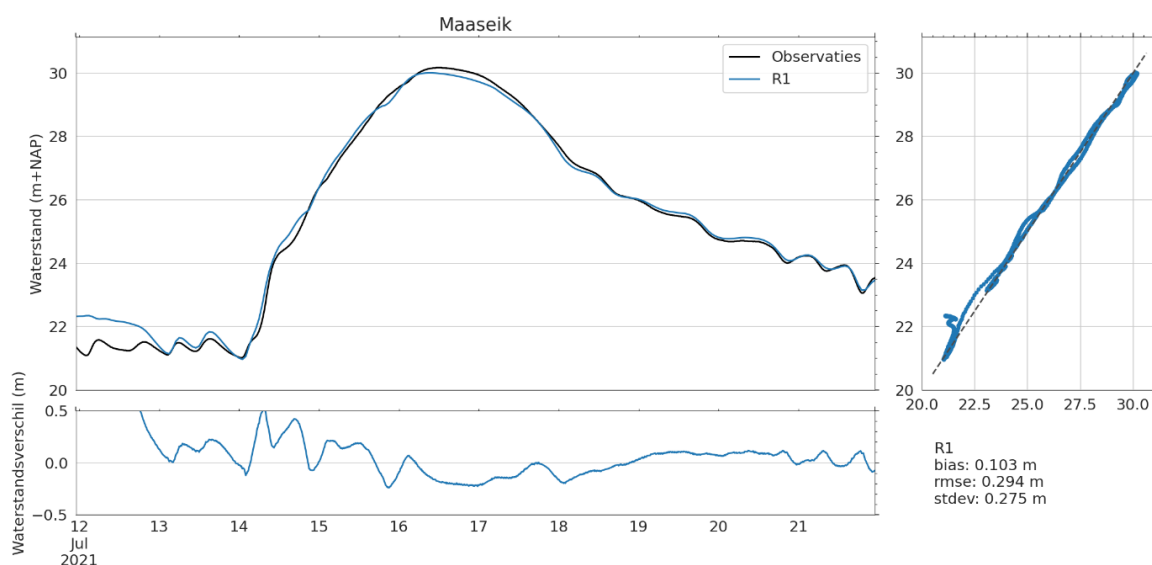
B.1 D-HYDRO 1D2D Roer-Maas-model

In het D-HYDRO 1D2D Roer-Maas-model is het D-HYDRO 1D2D Roermodel gekoppeld aan het 2D Maasmodel, welke in een aparte opdracht door Deltares is uitgevoerd voor Waterschap Limburg (Geertsema en Prinsen, 2020). Het 1D2D Roermodel is gemaakt door WL in samenwerking met HKV⁶. Het Roermodel loopt van Stah tot de Maas. Het Maasmodel is een 2D D-HYDRO model gemaakt door Deltares voor Rijkswaterstaat en loopt van Lixhe tot Keizersveer. Het D-HYDRO model voor de Maas was nog in ontwikkeling tijdens het maken de koppeling met het Roermodel. Voor deze studie is daarom een voorlopige versie gebruikt (versienummer dflowfm2d-maas-j19_w2). Het D-HYDRO Maasmodel is uitgebreid beschreven in de Jong (2019).

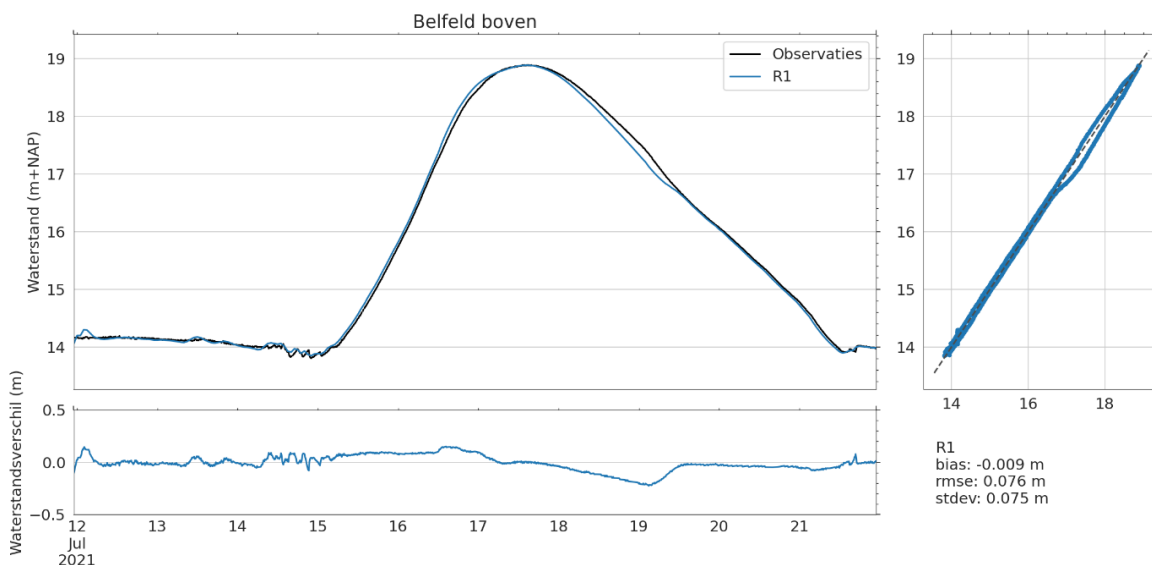
Aangezien ons focusgebied de Roerdelta is, hebben we het Maasmodel ingekort. De bovenstroomse rand is verlegd van de originele rand bij Lixhe naar Maaseik, en de benedenstroomse rand is gelegd bij de stuw Belfeld in plaats van bij Keizersveer. De randvoorwaarden van het Roer-Maas-model moeten dus worden opgegeven bij Maaseik, Belfeld en Stah. De randvoorwaarden van Maaseik (afvoertijdserie) en Belfeld (waterstandstijdseries) zijn gehaald uit de modelberekeningen van 12 juli tot 22 juli 2021 met het volledige 2D Maasmodel. Vergelijking van de waterstanden, die zijn berekend met dit 2D Maasmodel, met de waarnemingen laten een goede overeenkomst zien (Van Veen, 2021 en Bijlage A). Voor Stah (afvoer) zijn de plaatselijke metingen met het maximum van 195 m³/s van 12 juli tot 22 juli 2021 gebruikt als invoerdata. Daarnaast worden de hoogte van de sluisdeuren (resp. a en b in Figuur 2-2) en de stuwhoogte van Groot Hellegat en balgstuw Hoge Bat (resp. d en e in Figuur 2-2) opgelegd in het model. Voor de initiële condities zijn waterstanden opgelegd behorende bij een Maasafvoer van 250 m³/s. Dit is iets hoger dan de afvoer op 12 juli, maar de Maaswaterstanden bij Roermond komen met deze initiële condities beter overeen met de metingen dan bij de initiële condities met waterstanden gelijk aan de Maasafvoer van 12 juli. De overige modelsettings zijn identiek aan de studie beschreven in Geertsema en Prinsen (2020).

⁶ Voor meer informatie: <https://nl.linkedin.com/pulse/roer-beter-modelleren-met-d-hydro-bertus-de-graaff>. Er is momenteel nog geen officieel rapport van dit model.

Ter validatie zijn de modelresultaten van het D-HYDRO 1D2D model zonder kalibratie vergeleken met de metingen in de Roerdelta. De waterstanden in de Hambeek en de Roer die in verbinding staan met de Maas, staan worden een paar centimeter onderschat (Figuur B-1 en Figuur B-2). Dit beoordelen we als een goed resultaat, omdat de onzekerheden in de metingen in dezelfde orde zitten. Daarnaast worden de waterstanden in de Roer tussen de keersluizen 0,5 meter hoger gesimuleerd. Deze overschatting wordt veroorzaakt door een klein tijdsverschuiving in het 1D2D model bij de oplopende waterstanden en doordat de sluiting van de keersluizen op een tijdstip worden opgegeven. De keersluizen gaan in het D-HYDRO 1D2D model dus iets te laat dicht. Aangezien de waterstanden binnen de keersluizen niet in verbinding staan met rest van het watersysteem, zal het geen effect hebben op de overige resultaten. Over het algemeen wordt beoordeeld dat het D-HYDRO 1D2D model de afvoeren en waterstanden in de Roerdelta voldoende simuleert.



Figuur B-1: Validatie van Maasmodel 2D bij Maaseik

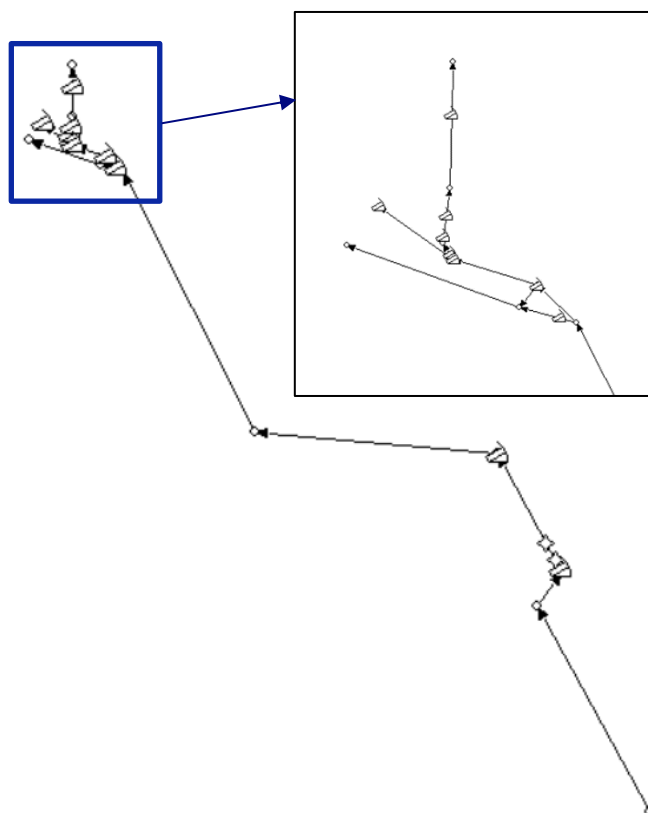


Figuur B-2: Validatie van Maasmodel 2D bij Belfeld

B.2 SOBEK-RE 1D Roer model

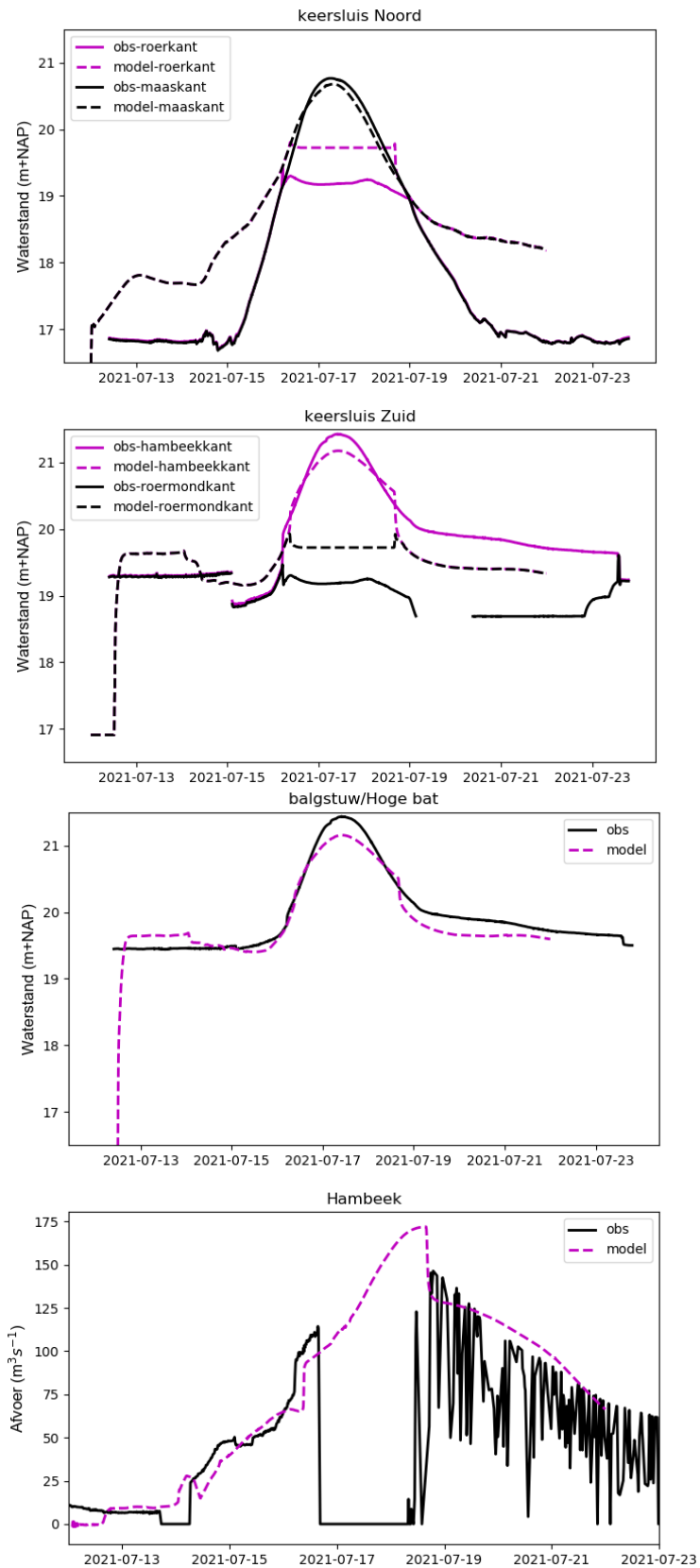
Naast het 1D2D D-HYDRO model hebben we een SOBEK-RE 1D⁷ model gebruikt om de effecten van de Roer-overlaat te berekenen bij verschillende Maas- en Roerafvoeren. Het 1D model bevat de Roer vanaf Stah tot de monding naar de Maas (zie Figuur B-3). De opgelegde randvoorwaarden in het 1D model zijn de afvoeren met een maximum van 195 m³/s bij Stah en de waterstanden in de Maas bij de Hambeek, de Roer-overlaat en bij de Roerdelta. De waterstanden bij de Maas zijn opgelegd vanuit eerder uitgevoerde berekeningen met het 2D Maasmodel. Helaas zijn bij die eerdere berekeningen niet precies de herhalingstijden uit Tabel 1 gesimuleerd. We hebben daarom de dichtstbijzijnde doorgerekende afvoeren gebruikt in de analyse, namelijk 250, 1500, 2300 en 4120 m³/s (Deijl et al., 2021). De kunstwerken in de Roerdelta worden automatisch gesimuleerd met behulp van 'real-time control (RTC)'.

De waterstanden in verbinding met de Maas worden een paar centimeters lager gemodelleerd tijdens de waterstandspiek voor het hoogwater van juli 2021 door het 1D model zonder kalibratie (Figuur B-4 en Figuur B-5). In de beoordeling van de verdere analyse wordt deze onderschatting meegewogen in de conclusies van de resultaten. De resultaten van het 1D model worden over het algemeen als voldoende beoordeeld.

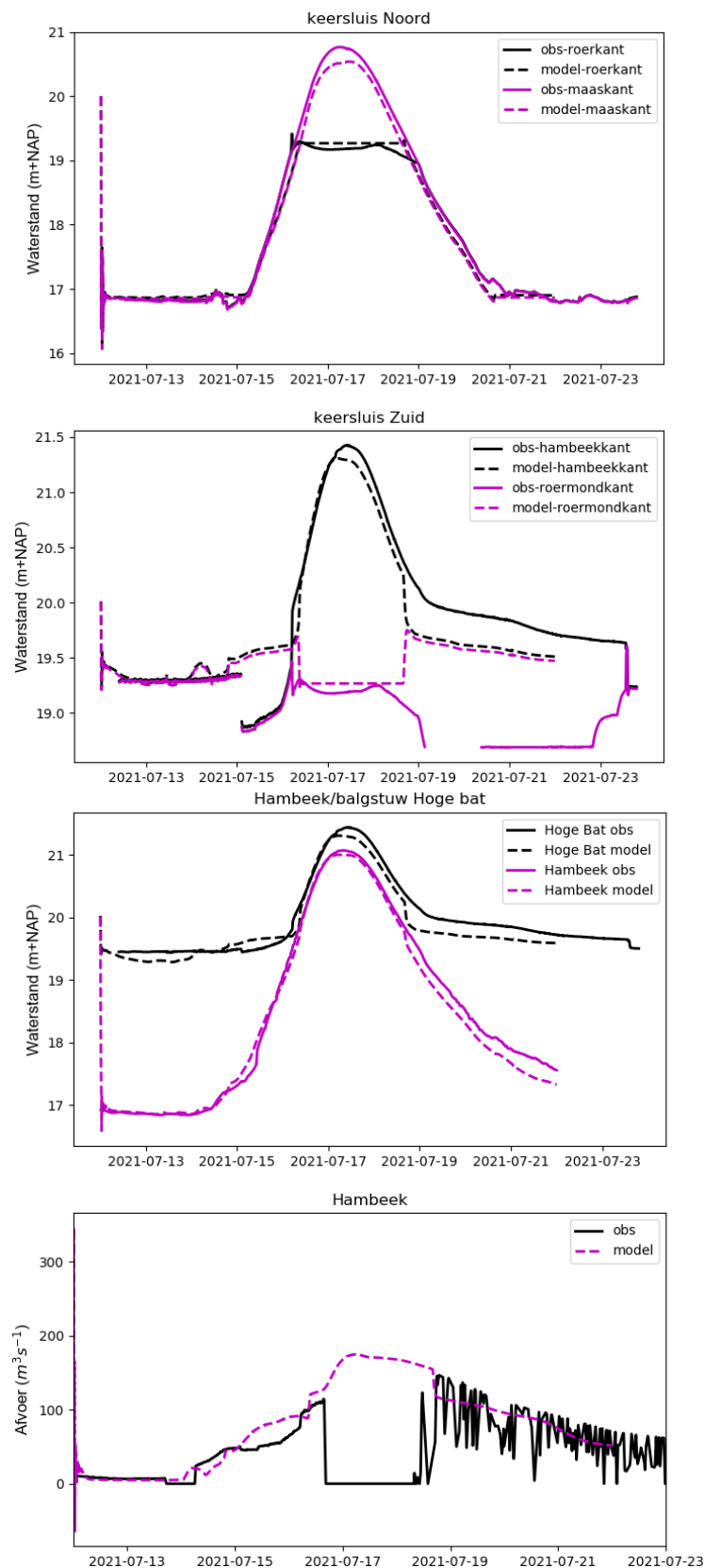


Figuur B-3: Weergave van het 1D SOBEK-RE model met de kunstwerken en Roer-overlaat in de Roerdelta. N.B. de afstanden zijn niet helemaal representatief in deze weergave en in de Roerdelta liggen de watergangen om het eiland in Roermond op elkaar

⁷ Dit is een oud model dat nog in beheer is van Deltares. Aangezien dit model veel sneller rekent en goede resultaten geeft, is dit model gebruikt in deze studie.



Figuur B-4: Validatie van het D-HYDRO 1D2D model



Figuur B-5: Validatie van het SOBEK-RE 1D model

C Waterstanden op de Maas bij Roermond bij verschillende Maasafvoeren

Tabel C-1: De Maaswaterstanden bij de monding van de Hambeek bij verschillende gemodelleerde Maasafvoeren bij St. Pieter. Deze Maaswaterstanden komen uit de modelberekeningen

Maasafvoer bij Sint Pieter (m ³ /s)	Maaswaterstanden bij monding Hambeek (m + NAP)
250	16.91
1500	18.61
2300	19.79
3260	20.78
4120	22.16

Deltares is een onafhankelijk kennisinstituut voor toegepast onderzoek op het gebied van water en ondergrond. Wereldwijd werken we aan slimme oplossingen voor mens, milieu en maatschappij.

Deltares

www.deltares.nl