

Analyse overstromingen Geulmonding

Watersysteemevaluatie Waterschap Limburg



Analyse overstromingen Geulmonding

Watersysteemevaluatie Waterschap Limburg

Auteur(s)

Jurjen de Jong

Nathalie Asselman

Voorkant: Overstroming in Brommelen met op de achtergrond Bunde (foto: Waterschap Limburg)

Analyse overstromingen Geulmonding

Watersysteemevaluatie Waterschap Limburg

Opdrachtgever	Waterschap Limburg
Contactpersoon	de heer Aldo Janssen
Referenties	2021-Z35882
Trefwoorden	Overstroming, hoogwater, Geul, Maas, Limburg, sifon, juli 2021

Documentgegevens

Versie	1.0
Datum	28-04-2022
Projectnummer	11207700-000
Document ID	11207700-000-ZWS-0013
Pagina's	77
Classificatie	
Status	definitief

Auteur(s)

	Jurjen de Jong	Deltares
	Nathalie Asselman	Deltares

Doc. Versie	Auteur	Controle	Akkoord	Publicatie
1.0	Jurjen de Jong	Erik Mosselman	Bianca Peters b.a.	

Samenvatting

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. In deze casestudie is voor de Geulmonding (tussen Meerssen en de Maas) onderzocht wat de oorzaak is geweest van de overstromingen.

In de Geulmonding zijn de waterstanden tijdens het hoogwater extreem hoog opgestuwd door een combinatie van hoge afvoeren op de Geul en de Maas. De afvoer op de Geul (ongeveer 110 m³/s bij Meerssen) had een kans van voorkomen van 1:100 tot 1:1000 per jaar, en de afvoer van de Maas (3310 m³/s bij St. Pieter) een kans van 1:90 tot 1:113 per jaar. De kans van voorkomen in de Geulmonding is een combinatie van beide, maar kan niet ingeschat worden zonder kennis van de kans dat beide samenvallen (de coïncidentie). Duidelijk is wel dat de kans veel kleiner dan 1:100 per jaar was. Daarmee overschreed het hoogwater de maatgevende situatie volgens de normering voor deze regio, die varieert tussen 1:25 tot 1:100 per jaar.

Als gevolg zijn gebieden overstroomd in het hele Geuldal, waaronder gebieden bij Meerssen (bijvoorbeeld Tussen de Bruggen) en Bunde. Ten noorden van Bunde helt het terrein af, waardoor het overstromende water doorliep tot Brommelen, Westbroek, Geulle en Broekhoven. Lokale barrières in het landschap, zoals bruggenhoofden, hielden het opkomende water enige tijd tegen en lieten de waterdiepte toenemen tot meerdere meters. Via aanwezige bronsloten, kwelsloten en duikers kon het water zich verder verplaatsen richting het noorden (Brommelen, Westbroek). Deze sloten en duikers zijn niet bedoeld en niet geschikt voor het afvoeren van de hoeveelheid water van een overstroming, en zouden ook bij een hogere afvoercapaciteit het probleem enkel verplaatsen richting het noorden (Geulle, Elsloo). Door de hoge waterstand op de Maas kon het water tijdens de overstroming enkel worden afgevoerd met pompen, maar die bieden onvoldoende capaciteit voor de grote volumes van een overstroming. Hierdoor hield de wateroverlast in dit gebied lang aan, ook nadat de waterstanden op de Geul en Maas al waren gedaald.

De sifon onder het Julianakanaal speelt een centrale rol in de opstuwung van de waterstanden in de Geulmonding. De capaciteit van de sifon wordt beperkt door de waterstand waarbij de Geul buiten haar oevers treedt. Uit analytische berekeningen is gebleken dat deze maximaal beschikbare capaciteit (ongeveer 85 m³/s) al zou zijn overschreden bij enkel de hoge afvoer op de Geul. Dit komt overeen met de start van de overstroming (ochtend van 15 juli) op een moment dat de Maas nog relatief laag stond. Door opstuwung van de waterstanden vanaf de Maas neemt de maximale capaciteit af tot ongeveer 50 m³/s. Hierdoor blijft de Geul overstroomd nog ruim na het passeren van de afvoerpiek op de Geul. Slib en ander materiaal hadden enkele kokers van de sifon in enige mate verstopt. Hierdoor nam de maximaal beschikbare capaciteit nog verder af.

Het grondwater heeft tijdens de overstroming vermoedelijk weinig impact gehad, maar heeft er wel voor gezorgd dat de wateroverlast in de ondergelopen gebieden lang aanhield. Het dalen van de grondwaterstanden ging langzaam, mogelijk doordat de afstroming beperkt wordt door de dekgrondberging op de Grensmaas. Het verdient aanbeveling verder onderzoek naar de werking van het grondwatersysteem uit te voeren.

Voor het verhogen van de hoogwaterveiligheid kan gekeken worden naar het verhogen van de veiligheidsnorm, het realiseren van maatregelen als bedijking en het verhogen van de capaciteit van de sifon. Maatregelen kunnen echter ook gerealiseerd worden om de bescherming te verhogen bij boven-normatieve omstandigheden, resulterend in een robuuster watersysteem. Binnen deze casestudie zijn diverse maatregelen onderzocht die blijken de hoogwaterveiligheid te verhogen. Hiervan verdient het aanbeveling om op korte termijn bedijking bij de woningen Tussen de Bruggen en bedijking langs de benedenloop van de Geul nader te onderzoeken.

Inhoud

	Samenvatting	4
1	Inleiding	8
1.1	Achtergrond	8
1.2	Casestudie Geulmonding	9
1.3	Onderzoeksvragen	10
1.4	Aanpak	10
1.5	Leeswijzer	10
2	Gebiedsbeschrijving	11
2.1	Het mondingsgebied van het Geuldal	11
2.2	Hydrologie	13
2.3	Toegepaste normering en stresstesten	13
3	Evaluatie hoogwater juli 2021	16
3.1	Inleiding	16
3.2	Waterstanden en overstroomd gebied	16
3.2.1	Gemeten waterstanden	16
3.2.2	Overstroomde gebieden	17
3.3	Hoe extreem was dit hoogwater?	19
3.3.1	Geschatte afvoeren Geul	19
3.3.2	Geschatte herhalingstijden	19
3.3.3	Afvoer en herhalingstijden Maas	20
3.3.4	Waterstand en herhalingstijd door opstuwing sifon	21
3.3.5	Conclusie	23
3.4	Overstroming Bunde, Brommelen, Westbroek, Geulle en Broekhoven	23
3.4.1	Overstroming	23
3.4.2	Afwatering	28
3.5	Duiker onder brug Voulwames	29
3.6	Overstroming Tussen de Bruggen	31
3.7	Overstroming vanuit de Maas rondom kasteelhoeve Hartelstein	34
3.7.1	Inleiding	34
3.7.2	Hoogwaterstanden van de Maas in juli 2021 in relatie tot historische hoogwaters	35
3.7.3	Overstroming vanuit de Maas of vanuit de Geul?	36
3.7.4	Conclusie	37
4	Beschouwing sifon Julianakanaal	38
4.1	Inleiding	38
4.2	Opstuwing door sifon en hoge waterstanden Maas	39
4.3	Effect verstopping	41

4.4	Conclusies	45
5	Onderzoek grondwater	46
5.1	Algemene beschrijving	46
5.2	Bijdrage van het grondwater aan de overstromingen	48
5.3	Conclusie	50
6	Verkenning van mogelijke maatregelen	51
6.1	Bedijking langs de Geul	51
6.2	Buffer of retentiegebied	52
6.3	Waterafvoer naar het Julianakanaal	52
6.4	Stroomprofiel loop van de Geul ten westen van het Julianakanaal	53
6.5	Onderhoud sifon en houtvang bovenstrooms	54
6.6	Vergroten capaciteit sifon	54
6.7	Compartimentering	55
6.8	Bedijking Tussen de Bruggen	55
6.9	Conclusies	55
7	Conclusies en aanbevelingen	57
7.1	Conclusies	57
7.2	Aanbevelingen	58
	Referenties	60
A	Verslag veldbezoek Meerssen 4 februari 2022	62
B	Sifon Julianakanaal	63
B.1	Technische tekeningen	63
B.2	Analyse metingen	63
C	Foto's	66
C.1	Algemeen	66
C.2	HW2021	67
C.2.1	Helikopterfoto's 16 juli 2021	67
C.2.2	Luchtfoto's Kavel10	72
C.2.3	Foto's sifon na hoogwater	72
D	Overstroomd gebied	74
E	Grondwaterstanden	76

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 Roermonding 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 casestudies 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 groene rivier zou zijn ingezet. En bij Eygelshoven stonden straten onder water doordat grote hoeveelheden neerslag oppervlakkig afstroomden.

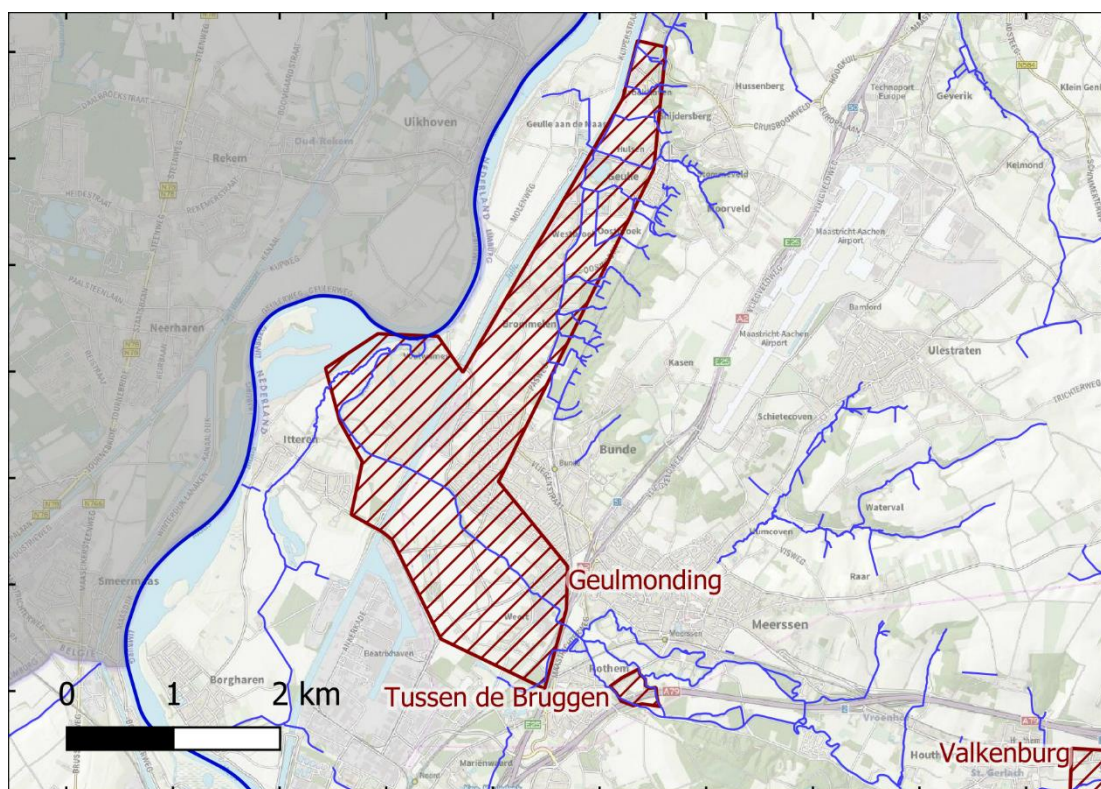
Voor iedere casestudie wordt een aanscherping van de *fact finding* uitgevoerd. Er wordt gekeken naar het functioneren van het watersysteem en een eerste handelingsperspectief. Omdat de analyses binnen 4 maanden gereed moeten zijn, zijn de analyses vooral kwalitatief of gebaseerd op principeberekeningen. 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 Geulmonding

In juli 2021 kende de Geul een extreem hoge afvoer. Dit leidde op verschillende plaatsen tot overstromingen. Bovenstrooms gebeurde dit onder andere in Gulpen en in Valkenburg. Benedenstrooms vonden overstromingen plaats in de gemeente Meerssen.

Bij de monding van de Geul stroomt het water van de Geul via een sifon onder het Julianakanaal door naar de Maas. Ten oosten van dit kanaal (bovenstrooms van de sifon) zijn de waterstanden extreem hoog geworden, resulterend in overstroming van Bunde, Brommelen, Westbroek, Geulle en Broekhoven. De waterstanden zijn hier hoog geworden door het samenspel van de hoge waterstand op de Maas, de hoge afvoer op de Geul, en de opstuwende werking van de sifon. De capaciteit van de sifon zou mogelijk beperkt zijn door verstoppingen met sediment en drijfhout. In dit onderzoek wordt de bijdrage van de verschillende belastingen en onderdelen van het systeem op de hoge waterstanden onderzocht.

De afbakening (zie Figuur 1.1) van deze casestudie bevat de Geul vanaf de monding in de Maas, de sifon onder het Julianakanaal, de overstroming bovenstrooms van deze sifon, en het gebied Tussen de Bruggen bij Meerssen.



Figuur 1.1 Afbakening van de analyse naar de Geulmonding en toevoeging van Tussen de Bruggen. De analyse voor Valkenburg is beschreven in Van Heeringen (2022)

1.3 Onderzoeksvragen

In het Plan van Aanpak (Asselman et al., 2021) zijn voor dit knelpunt de volgende onderzoeksvragen benoemd:

- 1 Wat is er in juli 2021 gebeurd? Welke bijzonderheden hebben zich voorgedaan?
- 2 Welke afvoeren en waterstanden zijn opgetreden? En hoe viel het hoogwater op de Geul samen met het hoogwater op de Maas?
- 3 Hoe bijzonder was deze gebeurtenis? Wat is de overschrijdingskans? En hoe verhoudt zich dit tot de norm?
- 4 Hoe zijn de huizen aan de straat Tussen de Bruggen overstroomd?
- 5 Hoe is kasteelhoeve Hartelstein overstroomd? Kwam dit water vanuit de Geul of de Maas?
- 6 Hoe heeft de sifon onder het Julianakanaal gewerkt? Hoe functioneert de sifon bij hoge waterstanden op de Maas? Hoe functioneert de sifon bij (gedeeltelijke) blokkades?
- 7 Hoe werken de grondwaterstanden in dit gebied? Kunnen de Maaswerken hebben bijgedragen aan de hoge grondwaterstanden?
- 8 Welke maatregelen zijn denkbaar? Had een grotere duiker problemen kunnen voorkomen? Kan een dijk aan de noordkant van de Geul overstromingen in Bunde voorkomen?

De nadruk ligt bij deze casestudie nadrukkelijk op de beekhydraulica (hoe het water door de beek stroomt en tot overstromingen kan leiden) en het functioneren van de sifon. Daarnaast worden in de omgeving van Bunde ook problemen ondervonden met grondwater. De grondwatersituatie in deze omgeving is echter zo complex dat diepgaandere analyses en modelberekeningen nodig zijn om hier gedetailleerde uitspraken over te doen. Daarom is in dit rapport alleen een korte algemene beschouwing opgenomen over de grondwaterstroming in dit gebied en de mogelijke rol van grondwater tijdens de overstroming in juli 2021.

1.4 Aanpak

De aanpak (op hoofdlijnen) ziet er als volgt uit:

- Het opstellen van de methodologie om de werking van de sifon te bepalen en het opstellen van een overzicht van de daarvoor benodigde data.
- De bevindingen uit het rapport van de Task Force Fact Finding (ENW, 2021) zijn aangevuld met waarnemingen van Waterschap Limburg en bewoners uit dit gebied. Deze informatie is onder meer gebruikt om een kaart te maken met daarop een visualisatie (schets) van de stroombanen van de overstroming.
- Het functioneren van de sifon onder het Julianakanaal is geanalyseerd op basis van analytische benadering. De opstuwende werking als gevolg van een verstopping is ook berekend met analytische berekeningen. De overstromingen zijn benaderd met een GIS-analyse uitgaande van constante waterstanden (een Flood-Fill-analyse).
- Er is een beschouwing opgenomen over de mogelijke invloed van het grondwater op deze overstromingen. Daarbij is gebruik gemaakt van literatuur en van gemeten grondwaterstanden.
- Tot slot is een aantal maatregelen verkend. Het effect op de waterstanden op de Geul en daarmee op de overstromingen is in het rapport beschreven.

1.5 Leeswijzer

Na deze inleiding geeft hoofdstuk 2 een beschrijving van het gebied. Een beschrijving van de gebeurtenissen in juli 2021 is te vinden in hoofdstuk 3. Hoofdstuk 4 gaat dieper in op het functioneren van de sifon onder het Julianakanaal. De korte beschouwing van het grondwater staat beschreven in hoofdstuk 5. De effectiviteit van mogelijke maatregelen is te lezen in hoofdstuk 6. Hoofdstuk 7 geeft een overzicht van de belangrijkste conclusies en aanbevelingen.

2 Gebiedsbeschrijving

2.1 Het mondingsgebied van het Geuldal

Het Geuldal bestrijkt een totale oppervlakte van 343 km², waarvan 44% in België, en voert via de Gulp en de Geul water af door het Limburgse heuvellandschap (Van Heeringen, Verhoeven en Van Deursen, 2009). Bij Gulpen vloeien beide ‘grote’ beken samen, waarna de Geul in westelijke richting stroomt richting de Maas. Figuur 2.1 toont het gebied nabij de monding van de Geul, ten noorden van Maastricht.

In het oosten van Meerssen splitst de Geul in drie takken: de Geul (in het noorden), de Klein Geul (in het midden) en het Geulke (in het zuiden) (detailkaart in Figuur 3.15).

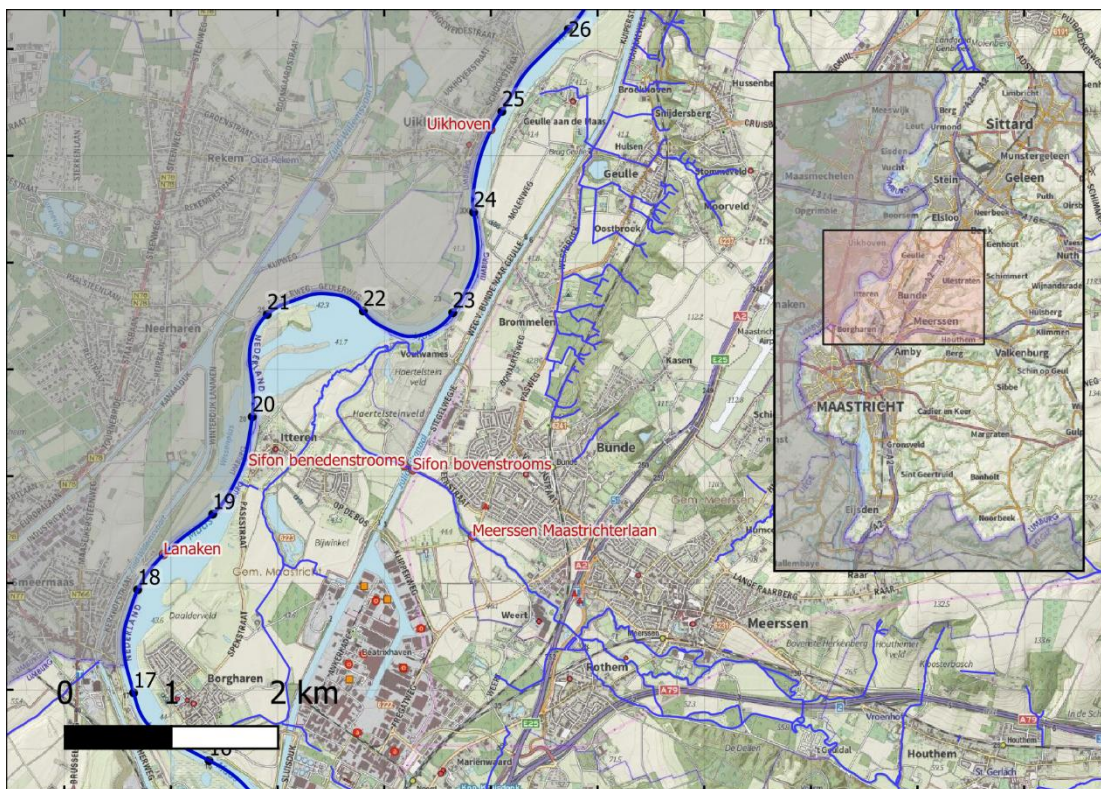
Benedenstrooms komen deze takken weer samen. De Geul kruist een spoorlijn en enkele wegen (zoals de A2) via bruggen en duikers, waarna het water uit de Geul via een sifon (in andere stukken ook wel genoemd ‘Geulduiker’) onder het Julianakanaal doorgaat en ten noorden van Itteren uitstroomt in de Maas. De ligging van de Geul is als onderdeel van de Maaswerken in 2015 verlegd, waardoor de opstuwing door hoge Geul-afvoer is afgenomen.¹

In het benedenstroomse deel van het Geuldal stroomt de Geul door de rivierterrassen van het historische Maasdal, waardoor het verhang in de Geul afneemt (Koekkelkoren & Moerman, 2013). Hier heeft de Geul door het afzetten van sediment in de loop van de eeuwen vele verschillende lopen gehad. Veel van deze lopen zijn verlegd bij de aanleg van kastelen, landgoederen en (recenter) het Julianakanaal. Bij de Rothemermolen in Meerssen is de afsplitsing naar de Kanjel een voorbeeld van zo’n oude loop van de Geul. Verder benedenstrooms vertakt de Kanjel in de Gelei. De Gelei stroomt ter hoogte van de sifon weer terug in de Geul. Deze beken zorgen regelmatig voor wateroverlast. Er zijn plannen in uitvoering voor het verplaatsen van de ligging van de Gelei zodat deze meer stroomopwaarts uitmondt in de Geul (Waterschap Limburg, 2019).

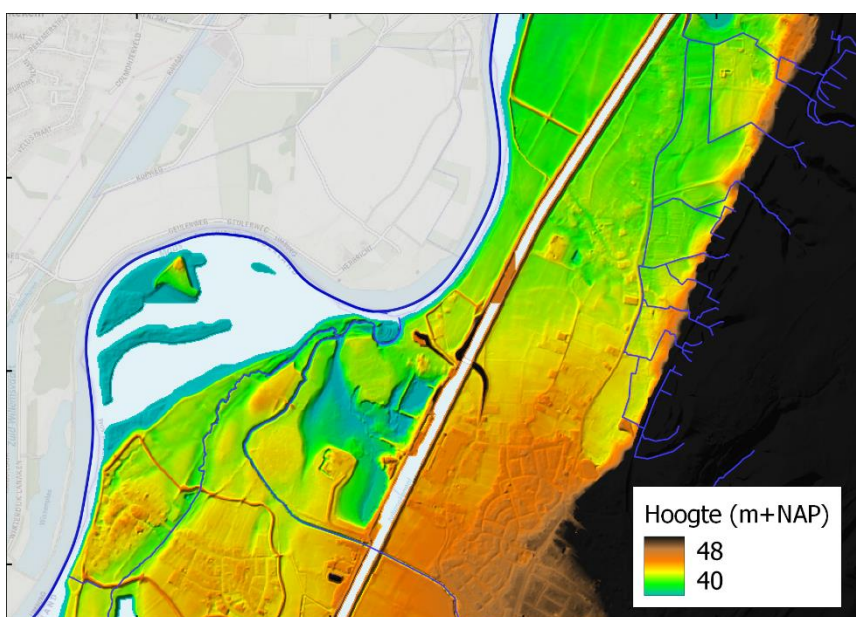
Figuur 2.2 toont de hoogteligging van het gebied nabij de Geulmonding. Het hoger gelegen Maasterras in het oosten ligt op meer dan 100 m+NAP. In westelijke richting neemt de hoogteligging snel af. Bunde ligt op ongeveer 46 m+NAP en nabij de sifon onder het Julianakanaal bedraagt de hoogteligging ongeveer 44.5 m+NAP. Op de steile terrasrand, in het Bunderbos, ontspringen tal van bronbeken.

Het gebied helt niet alleen van oost naar west, maar ook van zuid naar noord. De hoogteligging nabij de sifon bedraagt ongeveer 44.5 m+NAP, maar neemt langs het Julianakanaal in noordelijke richting af tot 43,3 m+NAP ter hoogte van Voulwames, minder dan 42 m+NAP bij Westbroek en minder dan 41 m+NAP ten noordwesten van Geulle.

¹ Op basis van persoonlijke communicatie met Waterschap Limburg. Uit ontwerpdocumenten (Consortium Grensmaas, 2010) blijkt dat dit ontworpen is om niet te inunderen bij twee maatgevende situaties: een Maaswaterstand van 42.5 m+NAP en een Geul-afvoer van 70 m³/s, en een Maaswaterstand van 43.1 m+NAP en een Geul-afvoer van 28 m³/s.



Figuur 2.1 Monding van de Geul nabij Bunde (bron: OpenTopoMap). In rood aangegeven zijn enkele meetstations waarvan metingen in dit rapport gebruikt worden



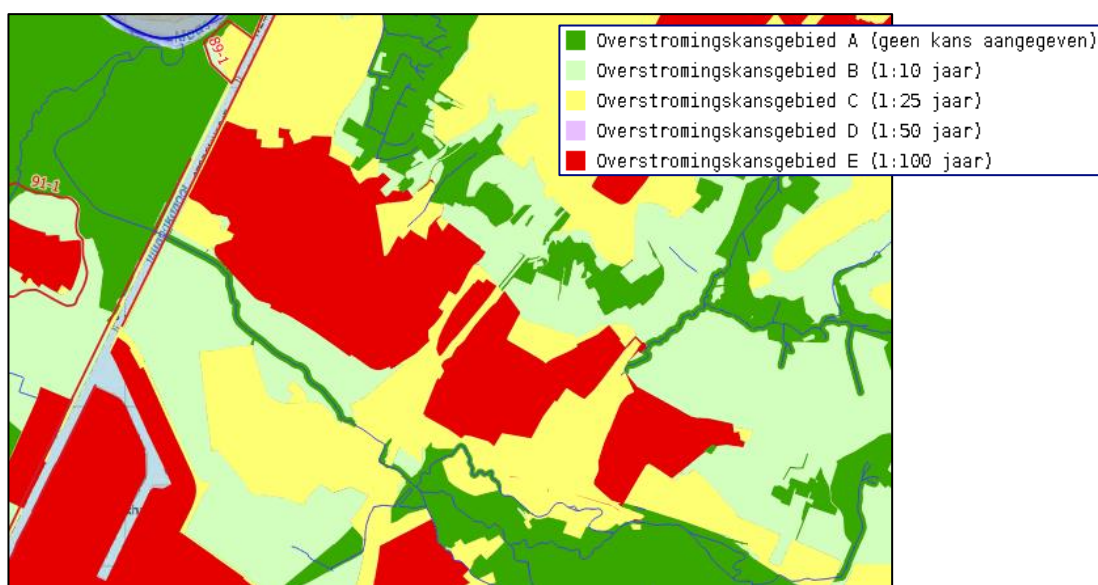
Figuur 2.2 Hoogtemodel met reliëf (AHN3, eerste kwartaal 2018) rondom de Geulmonding. In de actuele situatie (en AHN4) zijn het verwerkingsbekken (de haven) en de geluidswal bij Voulwammes gedempt en afgegraven

2.2 Hydrologie

De hydrologie in dit gebied wordt gekenmerkt door een complex samenspel van grondwater en oppervlaktewater. De Geul zorgt voor aanvoer van water dat bovenstrooms in het stroomgebied als neerslag is gevallen. Neerslag die valt op het Maasterras aan de oostkant van dit gebied, kan daar infiltreren en via een dik grindpakket in westelijke richting afstromen. Omdat zich onder dit grindpakket een slecht doorlatende laag bevindt, stroomt dit water over deze slecht doorlatende laag af, wat resulteert in de vele bronnen in het Bunderbos. Dit water wordt vervolgens via 'bronbeken' afgevoerd in noordwestelijke richting. Naast grondwaterstroming vanuit het oosten, worden grondwaterstanden in het gebied tussen het Bunderbos en het Julianakanaal ook sterk beïnvloed door waterstanden op de Maas.

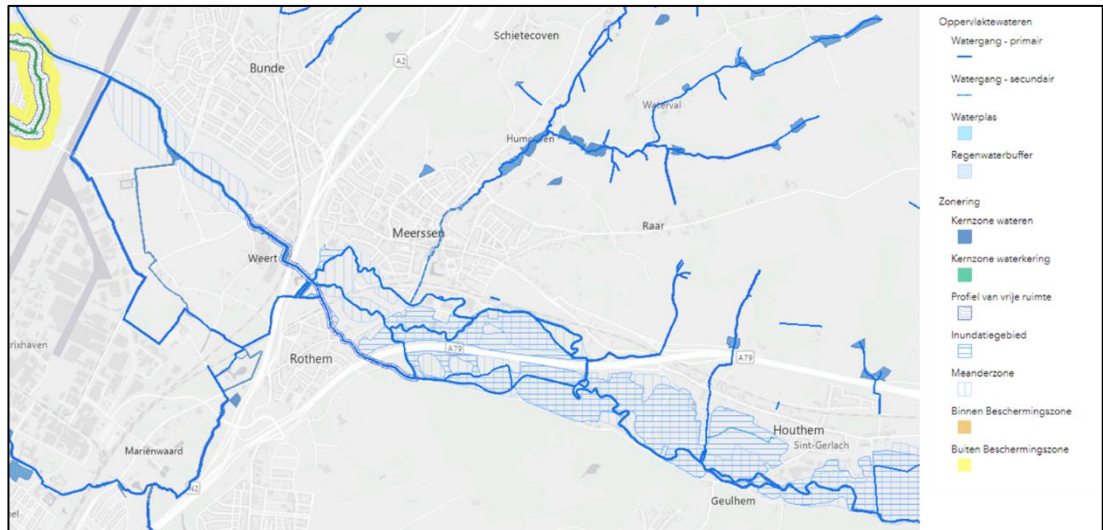
2.3 Toegepaste normering en stresstesten

Meerssen heeft grotendeels een norm van 1:25 per jaar (zie Figuur 2.3). Dat betekent dat gemiddeld één keer per 25 jaar sprake mag zijn van overstromingen in bebouwd gebied. Het waterschap heeft in de legger gebieden opgenomen die vaker mogen overstromen (zie Figuur 2.4), zogenaamde inundatiegebieden².



Figuur 2.3 Overstromingskansgebieden uit de omgevingsverordening (Provincie Limburg, 2021). Deze treedt in werking als onderdeel van het Provinciaal Waterprogramma 2022-2027. Voor het Waterschap Limburg is de doelstelling dat overstromingen niet vaker dan deze norm optreden

² De inundatiegebieden zijn begrensde gebieden waar regelgeving op van toepassing is om te voorkomen dat ze als inundatiegebied verdwijnen. Inundatiegebieden overstromen van nature, niet door een handeling van het waterschap of anderen, en zijn dus geen waterbergingsgebied.



Figuur 2.4 Uitsnede van de legger van Waterschap Limburg ter hoogte van de Geul bij Meerssen.

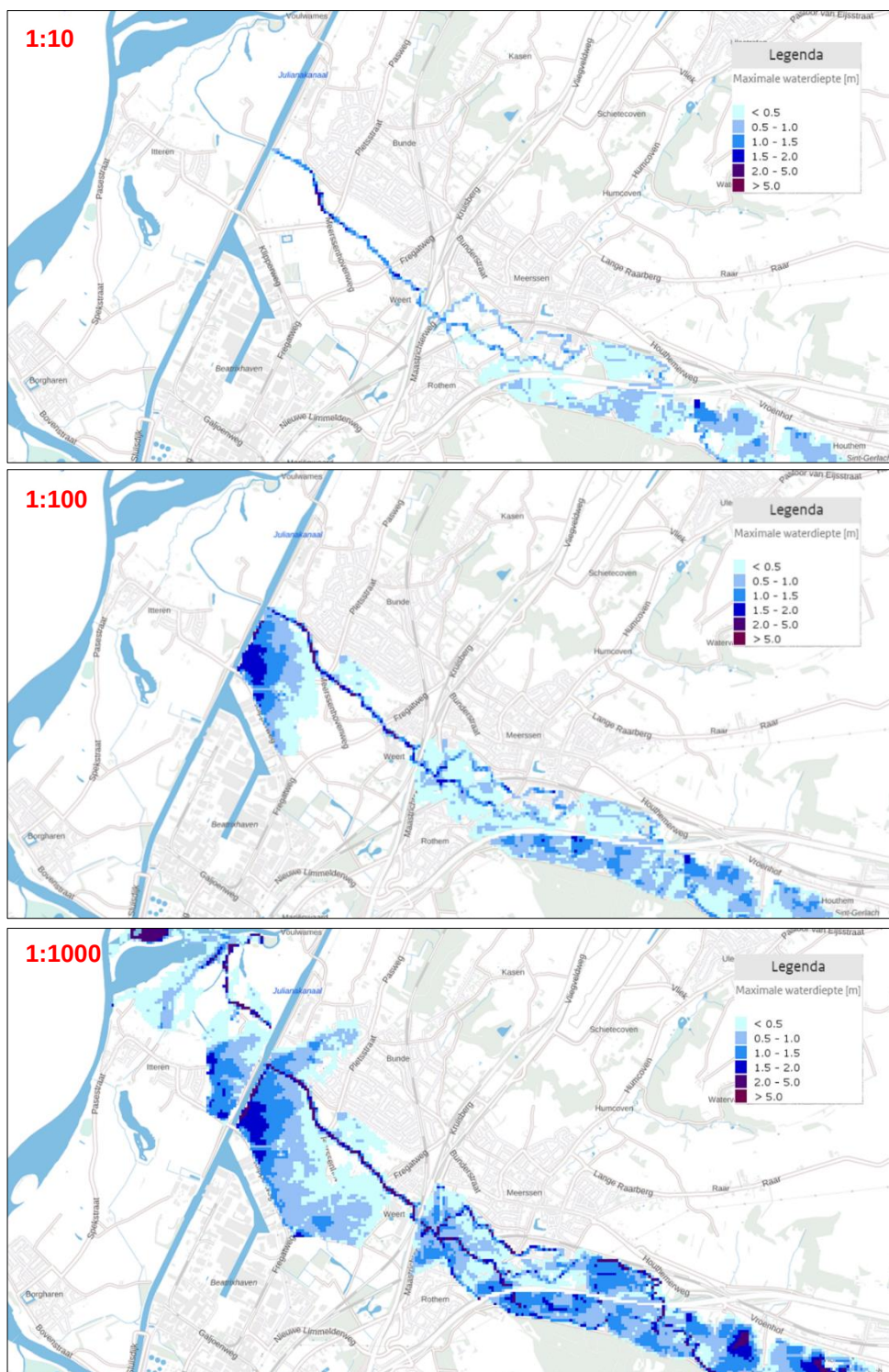
Horizontaal gearceerde gebieden zijn inundatiegebieden

(bron: <https://www.waterschaplimburg.nl/uwbuurt/kaarten-meetgegevens/leggerkaart/>)

In het verleden zijn reeds overstromingsberekeningen uitgevoerd voor dit gebied (Vermulst, 2014). Hierbij is op een reeks van 106 jaar een statistische analyse uitgevoerd. Resultaten hieruit zijn gebruikt voor overstromingskaarten van 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). De gebieden die daarbij naar verwachting zullen overstroomd zijn te zien in Figuur 2.5. Bij een gebeurtenis die gemiddeld een keer per 10 jaar voorkomt zullen de overstromingen beperkt zijn tot de inundatiegebieden die staan aangemerkt op de legger. Bij extremere gebeurtenissen zullen grotere gebieden onder water lopen, zowel in Meerssen als nabij Bunde.

Het is belangrijk om op te merken dat de berekeningen die ten grondslag liggen aan de kaarten in Figuur 2.5 gebaseerd zijn op statistische analyse van gemodelleerde historische buien tussen 1906 en 2010, in combinatie met de bijbehorende waterstanden op de Maas. Het samenvallen van een hoge Geulafvoer met een extreem hoge waterstand op de Grensmaas is in de gemodelleerde periode echter niet opgetreden. Hieruit kan ook geconcludeerd worden dat condities zoals in juli 2021 over deze periode (sinds 1906) een kans hebben die kleiner is dan 1:100 per jaar, en dat de waterstanden dus hoger zijn geworden dan in de overstroming van 1:100 in Figuur 2.5 (zie ook paragraaf 3.3.4).³ Een mogelijke (gedeeltelijke) verstopping van de sifon met drijfvuil, huisraad of sediment zou de waterstand nog verder opstuwten dan blijkt uit deze overstromingsbeelden.

³ In de simulaties is de ligging van de Geul ten westen van het Julianakanaal nog gelijk aan de situatie voor 2015. In deze situatie is de opstuwning in het model groter dan in de huidige situatie (met de ligging van de Geul na realisatie Maaswerken Itteren). Het modelresultaat geeft hierdoor hogere waterstanden dan passend bij de gegeven kans van voorkomen.



Figuur 2.5 Gebieden die naar verwachting zullen overstromen bij hoogwater op de Geul, tijdens gebeurtenissen met kansen van voorkomen van respectievelijk ongeveer 1:10, 1:100 en 1:1000 per jaar. (Bron: LIWO, Watermanagementcentrum Nederland met berekeningen uit Vermulst, 2014)⁴

⁴ De overstromingsbeelden met een kans van voorkomen van 1:10 en 1:100 per jaar zijn direct afkomstig uit de statistische methodiek zoals beschreven door Vermulst (2014). Het overstromingsbeeld bij 1:1000 per jaar is gebaseerd op 1D modellering en opgewerkt tot een overstromingsbeeld door het te combineren met de 1:100 resultaten van een 1D2D model en een aanvullende GIS-analyse

3 Evaluatie hoogwater juli 2021

3.1 Inleiding

In dit hoofdstuk geven we een beschrijving van de gebeurtenissen die hebben plaatsgevonden tijdens het hoogwater van juli 2021 ([onderzoeksvraag 1](#)). We gaan in op gemeten waterstanden ([onderzoeksvraag 2](#)) en geven een schatting van de overschrijdingskansen ([onderzoeksvraag 3](#)). Vervolgens gaan we iets dieper in op de overstromingen die plaatsvonden ten oosten van het Julianakanaal (Bunde, Brommelen, Westbroek, Geulle en Broekhoven), en op de overstromingen tussen Meerssen en Rothem (Tussen de Bruggen, [onderzoeksvraag 4](#)). Als laatste kijken we in wat meer detail naar de overstroming van kasteelhoeve Hartelstein, gelegen langs de Geul ten westen van het Julianakanaal ([onderzoeksvraag 5](#)).

We beperken ons in dit hoofdstuk tot wat er in juli 2021 is gebeurd. Een eerste verkenning van mogelijke maatregelen om de kans op overstromingen te verkleinen, is gegeven in hoofdstuk 6.

3.2 Waterstanden en overstroomd gebied

3.2.1 Gemeten waterstanden

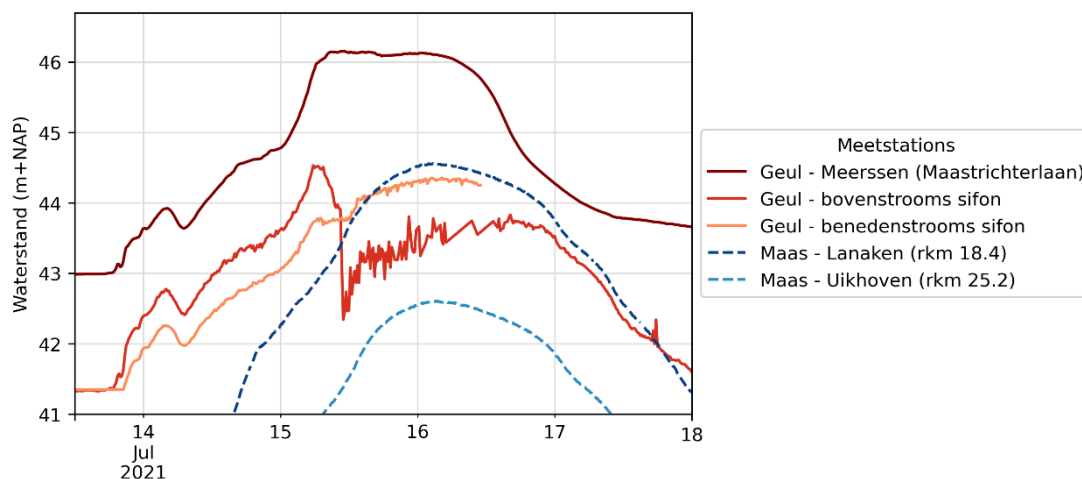
Op dinsdag 13 en woensdag 14 juli is er zware regenval opgetreden in oostelijk Zuid-Limburg, in de Ardennen en in de Eifel (ENW, 2021). Als gevolg hiervan ontstaan hoge afvoeren in de Maas en in de Geul. De hoge waterstanden zorgen langs de Geul op verschillende locaties voor overstromingen.

Bij de monding van de Geul in de Maas worden de waterstanden beïnvloed door de hoge afvoeren in zowel de Geul als de Maas. Hierdoor zijn de waterstanden gedurende langere tijd extreem hoog in de benedenloop van de Geul (zie Figuur 3.1). De (eerste) afvoerpiek van de Geul arriveert in de ochtend van donderdag 15 juli. De waterstanden in de Geul bereiken dan al hun maximum en zullen ruim 24 uur extreem hoog blijven. De Maaswaterstanden zullen dan nog vele meters stijgen. De maximale waterstand op de Maas arriveert in de vroege ochtend van vrijdag 16 juli. Vermoedelijk zijn ook bij de Geulmonding (te Bunde) dan de waterstanden maximaal.⁵ Pas na het zakken van de waterstand in de Maas zakt ook de waterstand in de Geul weer.

Wanneer in meer detail naar de gemeten waterstanden wordt gekeken, valt op dat de waterstanden benedenstrooms van de sifon gedurende langere tijd blijven hangen rond 43.8 m+NAP. Deze afvlakking geeft aan dat op dat moment de Geul haar maximale capaciteit bereikt heeft en buiten haar oevers treedt. Pas als de waterstand bij Lanaken, net bovenstrooms van Itteren, hoger wordt dan 43.8 m+NAP, stijgen ook de waterstanden bij de sifon.

Tijdens deze afvlakking van de waterstanden aan de benedenstroomse zijde van de sifon, is aan de bovenstroomse zijde de waterstandsstijging juist maximaal: in 3 uur tijd stijgt de waterstand met 0.8 m bij station Meerssen. Vermoedelijk is direct bovenstrooms van de sifon de stijging vergelijkbaar geweest.

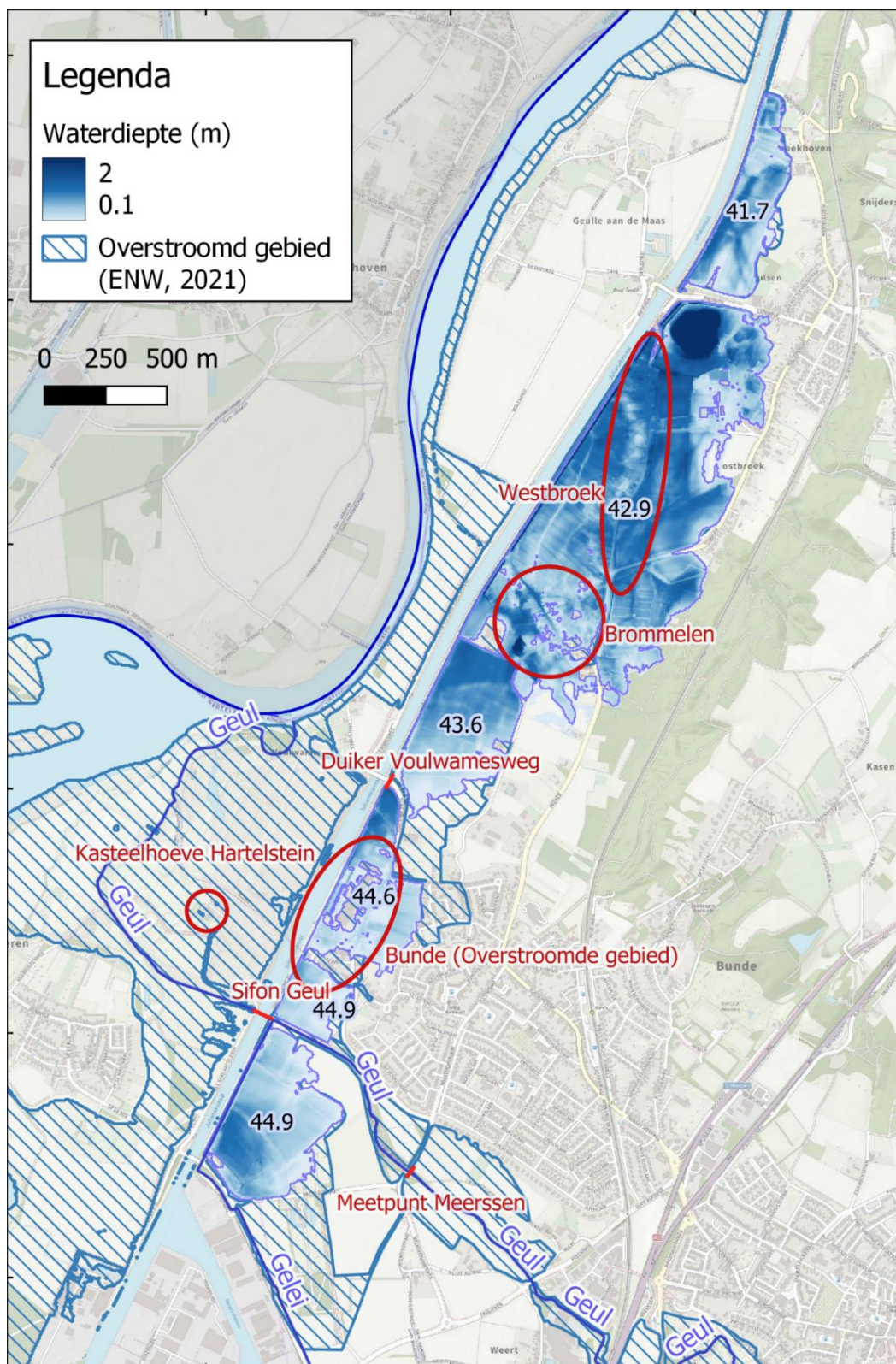
⁵ Dit is niet op te maken uit metingen door het uitvallen van de meting bovenstrooms van de sifon.



Figuur 3.1 Waterstandsmetingen in de Geul en de Maas. De metingen bovenstrooms van de sifon (10.H.223) zijn vanaf 15 juli verstoord. De metingen benedenstrooms van de sifon zijn na 16 juli 11:00 uitgevallen door het wegspoelen van de apparatuur (Hulst, 2021). De locaties van de meetstations zijn aangegeven in Figuur 2.1

3.2.2 Overstroomde gebieden

De hoge waterstanden op de Geul zorgen ervoor dat deze buiten haar oevers treedt. Aan beide zijden van de Geul overstroomden grote gebieden (zie Figuur 3.2). Doordat het landschap in noordelijke richting in hoogte afneemt, en het gebied richting de Maas begrensd is door het Julianakanaal ontstaat hier een ingesloten gebied ('badkuip') met in de noordelijke delen waterdiepten van ruim 2 meter. Ook na het dalen van de waterstanden in Maas en Geul duurt het nog dagen voordat het water in dit gebied via tijdelijke pompinstallaties kan worden weggepompt naar Maas of Julianakanaal, of weer onder vrij verval bij Geulle (en voor water bij Broekhoven via Elsloo) af kan stromen naar de Maas. Veel water trekt ook de grond in, waardoor er ook in 2022 nog overlast is door hoog grondwater (zie ook hoofdstuk 5).



Figuur 3.2 Inschatting van overstroomd gebied op basis van inschatting uit ENW (2021). Voor de overstroomde gebieden van Bunde, Brommelen en Westbroek is de waterdiepte geschat op basis van vermeende waterstanden van de 'badkuipen' (zie ook paragraaf 3.4)⁶

⁶ Bij de afronding van deze studie bleek bij het Waterschap Limburg ook een SOBEK2-model beschikbaar met in 2D het gebied tot aan Westbroek. Het bestaan van dit model was bij de uitvoering van dit onderzoek niet bekend, waardoor gekozen is tot de uitvoering van deze GIS-analyse.

3.3 Hoe extreem was dit hoogwater?

De waterstanden nabij de monding van de Geul waren extreem hoog. Dit roept de vraag op hoe extreem dit hoogwater was. Binnen deze analyse was het niet mogelijk modelmatig onderzoek te doen naar de kans op het samenvallen van hoogwaters op de Maas en de Geul. We maken daarom vooral gebruik van gemeten waterstanden, geschatte afvoeren en bestaande statistiek om een grove indicatie te geven van de overschrijdingskansen van het hoogwater van juli 2021.

3.3.1 Geschatte afvoeren Geul

De afvoer bij Meerssen (meetpunt bij Maastrichterlaan te Bunde) registreerde gedurende langere tijd een piekafvoer van 55 m³/s. Deze afvoer is bepaald op basis van een stroomsnelheidsmeting (ADCP). Om diverse redenen wordt getwijfeld aan deze afvoer. Enerzijds is er door de hoge waterstanden op de Maas sprake van opstuwing en lagere stroomsnelheden bij dit meetstation waardoor de doorrekening naar de afvoer een onderschatting kan geven. Daarnaast is door het ontstaan van lokale grindbanken het lokale stroombeeld vermoedelijk sterk beïnvloed waardoor de afvoermeting minder betrouwbaar is (Hulst, 2021). Hierdoor is vermoedelijk de afvoer veel hoger geweest dan op het meetstation geregistreerd is. Door het Waterschap wordt de afvoer bij Meerssen ingeschat op 85 à 100 m³/s (Hulst, 2021; Van der Veen, 2021⁷). Aanbevolen wordt om een “QF-relatie” voor dit station af te leiden, waarin de afvoer wordt berekend als functie van zowel de lokale waterstand als de waterstand op de Maas (of direct bovenstrooms van de sifon).

Ter hoogte van Valkenburg is uit iteraties met een hydraulisch model de maximale afvoer bepaald op 130 m³/s (Van Heeringen, 2022). Deze afvoer is grotendeels (ruim 70%) uit België afkomstig en wordt al bij het meetstation Cottessen geregistreerd. Door overstroming van het gebied rondom de Geul neemt de afvoer af. Aflezen van hetzelfde model ter hoogte van het meetpunt Meerssen geeft een afvoer van 110 m³/s. Dit is een veel lagere afvoer dan in Valkenburg, waarschijnlijk ten gevolge van de afvlakking die ontstaat door de overstromingen in het Geuldal tussen Valkenburg en Meerssen.

3.3.2 Geschatte herhalingstijden

ENW (2021) gaf aan dat de waterstanden in dit gebied hoger waren dan de waterstanden die gemiddeld een keer per 100 jaar verwacht worden. ENW (2021) stelt daarom dat het hoogwater van 2021 een overschrijdingskans heeft tussen 1:100 en 1:1000 per jaar.⁸

⁷ De maximale instroming naar de Maas wordt door Van der Veen (2021) geschat op 54.5 m³/s. Dit is de afvoer benedenstrooms (westelijk) van de sifon. De redenatie is dat de afvoer door de sifon lager is, omdat een deel van de afvoer van de Geul bovenstrooms van de sifon in noordelijke richting is gestroomd.

⁸ Bij meetpunt Maastrichterlaan is de gemeten waterstand (46.16 m+NAP) echter lager dan de gemodelleerde 1:100 waterstand (46.29 m+NAP). De achterliggende modellering lijkt echter van onvoldoende kwaliteit om dit goed te modelleren. Ook in de simulaties van het hoogwater van juli 2021 worden de waterstanden sterk overschat bij Maastrichterlaan (gebaseerd op de simulaties uitgevoerd in Van Heeringen *et al.*, 2022).

Van Heeringen et al. (2022) hebben naar de neerslag in het stroomgebied van de Geul gekeken. Gemiddeld viel er in het hele stroomgebied 128 mm neerslag in 48 uur tijd. De kans op een dergelijke hoeveelheid neerslag wordt geschat op 1:900 per jaar. Hierbij wordt wel de kanttekening geplaatst dat gebruik is gemaakt van de gemiddelde neerslagstatistiek voor heel Nederland. In werkelijkheid is de kans op grote hoeveelheden neerslag groter in de hoger gelegen gebieden in het bovenstroomse deel van de Geul. De herhalingstijd van 900 jaar moet dus als een absolute bovengrens worden gezien, maar lijkt desondanks te duiden op een extremere gebeurtenis dan men op basis van gemeten waterstanden bij Meerssen zou verwachten. Hierbij is het echter belangrijk om op te merken dat de grootste hoeveelheid neerslag in het bovenstroomse deel van het stroomgebied is gevallen. Rond Meerssen viel minder neerslag. De overschrijdingskans van de overstromingen van juli 2021 kunnen daardoor in het bovenstroomse deel van Geul extremer zijn dan in het benedenstroomse deel.

Van Heeringen et al. (2022) maken ook een schatting van de herhalingstijd in scenario's van klimaatverandering. In de scenario's "2050_upper" en "2085_upper" zou de bovengenoemde 1:900 per jaar (voor de 48-uur van 128 mm neerslag gemiddeld over het Geulstroomgebied) reduceren tot een kans van respectievelijk 1:300 per jaar en 1:150 jaar. Ofwel 3 en 6 keer zo vaak onder deze twee klimaatscenario's als nu.

3.3.3 Afvoer en herhalingstijden Maas

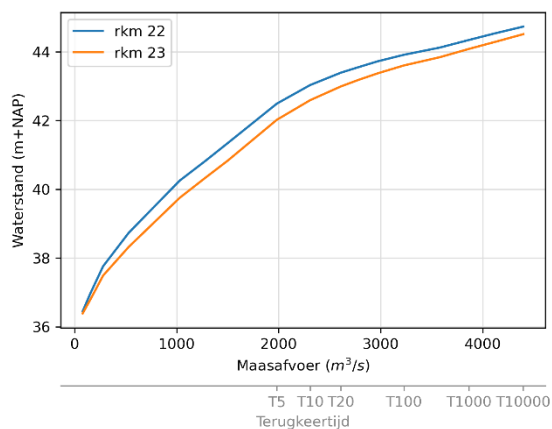
Tegelijkertijd met het hoogwater op de Geul was ook sprake van hoogwater op de Maas. De hoogste afvoer op de Maas is geschat op 3310 m³/s (Van der Veen, 2021). Slomp & Bottema (2021) schatten op basis van statistiek uit WBI2017 (Wettelijk Beoordelingsinstrumentarium voor waterkeringen) dat de herhalingstijd van een afvoer bij Borgharen⁹ van 3260 m³/s ongeveer 1:90 tot 1:113 per jaar was. ENW (2021) schat voor deze zelfde afvoer een kans van 1:100 à 1:200 per jaar.

Nabij de monding van de Geul heeft het hoogwater geresulteerd in maximale waterstanden van ongeveer 44.1 m+NAP. Dit is toevallig gelijk aan het peil in het Julianakanaal. Deze inschatting is gemaakt op basis van 2D modellering in combinatie met metingen bij Lanaken en Uikhoven (zie Figuur 3.4).

Voor de gevoeligheid van deze waterstand voor toenemende afvoer, is in Figuur 3.3 de (modelmatig) berekende waterstand in de rivieras van de Maas opgenomen bij twee rivierkilometerpunten (rkm) rondom de monding van de Geul (op basis van Rijkswaterstaat, 2020). Een vergelijking met deze waterstanden geeft een iets hogere herhalingstijd van 1:200 per jaar. Statistiek op waterstanden is echter minder betrouwbaar door de vele maatregelen die in de Maas zijn gerealiseerd. Ook de analyse van de waterstanden in paragraaf 3.2.2 van ENW (2021) is hierdoor niet toepasbaar voor gebieden die nog in ontwikkeling zijn.

Uit Figuur 3.3 kan ook het effect van de Geul op de waterstanden in de Maas worden ingeschat. Hoewel de Geul een extreem hoge afvoer had, is het effect hiervan op de Maas-waterstanden nog altijd beperkt. De waterstand in de Maas stijgt bij hoge afvoeren op dit traject met ongeveer 0.7 à 0.9 mm per m³/s. Tijdens de piek kan de afvoer van de Geul dan maximaal hebben bijgedragen aan een verhoging van 0.04 tot 0.1 m (uitgaande van Geul-afvoeren tussen 60 en 100 m³/s). Op een totale waterstandstijging op de Maas van orde 5 meter is dit effect beperkt.

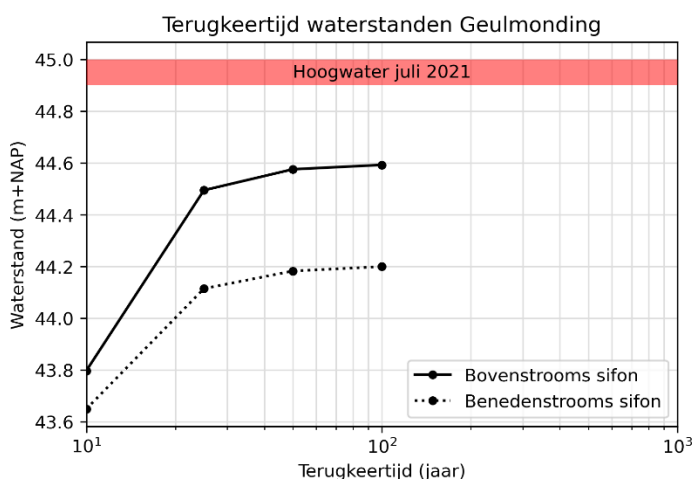
⁹ Het station Borgharen wordt gebruikt in de statistische analyse van de Maas-afvoeren van het project GRADE (Hegnauer et al., 2014)



Voor het bepalen van de herhalingstijd van deze waterstanden wordt gebruik gemaakt van de simulaties uit Vermulst (2014), zoals ook behandeld in paragraaf 2.3. Hierbij wordt uitgegaan van de ontwerpdimensies van de sifon, zonder verstopping. De waterstanden zijn beschikbaar tot een herhalingstijd van 100 jaar en weergegeven in Figuur 3.5. De gemeten waterstand tijdens het hoogwater van juli 2021 zou volgens deze figuur een overschrijdingskans hebben die veel kleiner is dan 1:100 per jaar, waarschijnlijk ook veel kleiner dan 1:1000 per jaar. Echter, voor een betere inschatting van deze kans is het noodzakelijk onderzoek te doen naar de kans op het samenvallen van hoogwaters op de Geul en de Maas en daarbij, indien mogelijk, ook rekening te houden met de kans op gedeeltelijke blokkades van een of meer openingen in de sifon.

Dit onderzoek naar het samenvallen van de afvoerpieken op basis van historische hoogwaters (periode 1993 tot 2003) is in beperkte mate reeds uitgevoerd door De Wit et al. (2004). In alle geanalyseerde hoogwaters arriveert de afvoerpiek van de Geul in de monding voordat de Maas haar hoogste waterstand bereikt. Het verschil in timing varieert tussen 6 en 43 uur met een gemiddelde van 15 uur. De hoogte van de Geulafvoer is in de dataset van De Wit et al. echter beperkt tot maximaal $39.1 \text{ m}^3/\text{s}$ met een gemiddelde van $14.1 \text{ m}^3/\text{s}$.¹⁰ Uit dit onderzoek kan wel geconcludeerd worden dat de kans groot is dat bij een hoogwater op de Maas ook afvoeren op de Geul verhoogd zijn. De mate waarin de stochasten van elkaar afhankelijk zijn, vraagt echter verdergaand modelmatig onderzoek. Het wordt aanbevolen om dit te onderzoeken met GRADE (Generated Rainfall And Discharge Extremes).

Vanwege de grote invloed van de Maaswaterstanden en de werking van de sifon op de waterstanden en overstromingen op en langs de Geul, is een uitgebreide beschouwing van de sifon gegeven in hoofdstuk 4.



Figuur 3.5 Waterstand bovenstrooms van de sifon in berekeningen (beschikbaar gesteld door Waterschap Limburg, afkomstig uit Vermulst, 2014). In rood gemarkeerd is de vermoedelijke waterstand bovenstrooms van de sifon in juli 2021

¹⁰ Tijdens de extreme hoogwaters in december 1993 en januari 1995 waren de afvoeren op de Geul respectievelijk 26.4 en $32.0 \text{ m}^3/\text{s}$ (De Wit, 2004).

3.3.5 Conclusie

Op basis van de beschikbare historische en modelmatige gegevens wordt de overschrijdingskans van de waterstanden en afvoeren in de Geul van juli 2021 ingeschat tussen de 1:100 en 1:1000 per jaar. Doordat de meeste neerslag in het bovenstroomse deel van het stroomgebied is gevallen, is de overschrijdingskans daar het kleinst: ongeveer 1:900 per jaar. Door de overstromingen en de beperktere aanvoer van water in het Nederlandse traject is het mogelijk dat de waterstanden in het benedenstroomse deel een iets grotere overschrijdingskans hadden (minder extreem waren) dan in België. Geheel benedenstrooms, bij de sifon, zijn de waterstanden door opstuwing vanuit de Maas zo hoog geworden dat deze een veel kleinere kans van voorkomen hebben gehad. Om voor dit gebied te komen tot een betere inschatting van de overschrijdingskans is het nodig om meer te weten over de kans op samenvallen met het hoogwater op de Maas (coïncidentie). Duidelijk is echter wel dat de norm waarop het gebied is ontworpen (1:25 tot 1:100 per jaar, zie paragraaf 2.3) bij het hoogwater is overschreden.

3.4 Overstroming Bunde, Brommelen, Westbroek, Geulle en Broekhoven

In onderstaande paragrafen wordt beschreven hoe het gebied ten noorden van de Geul is overstroomd en hoe het zo lang heeft kunnen duren voordat het water weer kon worden afgevoerd.

Ook het gebied ten zuiden van de Geul is overstroomd vanuit de Geul. Rondom Meerssenhoven zijn de waterstanden echter hoger geweest dan in de Geulmonding waardoor het waarschijnlijk is dat de Gelei hier ook een bijdrage aan heeft gehad. Hoewel ook dit water uit de Geul afkomstig is (een afsplitsing bij de Rothermolen), wordt er in deze analyse niet nader op ingegaan. Door het Waterschap Limburg wordt al gewerkt aan het verplaatsen van de Gelei om hiermee de wateroverlast te verminderen (zie paragraaf 2.1).

3.4.1 Overstroming

Ten gevolge van de hoge waterstanden op de Geul trad deze buiten haar oevers. De Geulmonding is onbedijkt, waardoor bij een waterstand van ongeveer 44.7 m+NAP het gebied langs de Geul onder loopt (Figuur 3.6). Doordat het gebied ten noorden van de Geul naar het noorden afloopt (zie Figuur 2.2), kon het water zich gemakkelijk in noordelijke richting verspreiden (zie Figuur 3.2).

Op donderdagavond 15 juli werd bewoners van Bunde, Brommelen en Westbroek verzocht hun huis te verlaten in verband met de dreigende overstroming. De Geulwaterstanden bevonden zich op dat moment al sinds de ochtend op hun 'plateau' en stegen nog maximaal enkele decimeters totdat de Maas haar piekwaterstand bereikte.

Door bewoners wordt deze overstroming ook wel beschreven als het vullen van een grote badkuip. Beter zou zijn dit te beschouwen als een reeks van badkuipen die van elkaar gescheiden worden door hoger gelegen wegen. Deze gebieden zijn verbonden via duikers en overstroming over lagere delen van deze wegen. Een inschatting van de waterdiepte in ieder gebied (op basis van waarnemingsverslagen en luchtfoto's) is eerder al gegeven in Figuur 3.2, en verder onderbouwd in Bijlage D. Het totale volume water in het gebied komt met deze schatting op 1.1 miljoen m³ (over een oppervlakte van 1.8 miljoen m²).¹¹

¹¹ Opgemerkt wordt dat er hier van wordt uitgegaan dat de stand in alle badkuipen gelijktijdig hoog stond. Dit komt overeen met de bevindingen uit de praktijk, maar is fysisch niet accuraat. Beter zou zijn een dynamische overstromingsberekening uit te voeren waarbij het tijdsafhankelijke aspect wordt meegenomen.

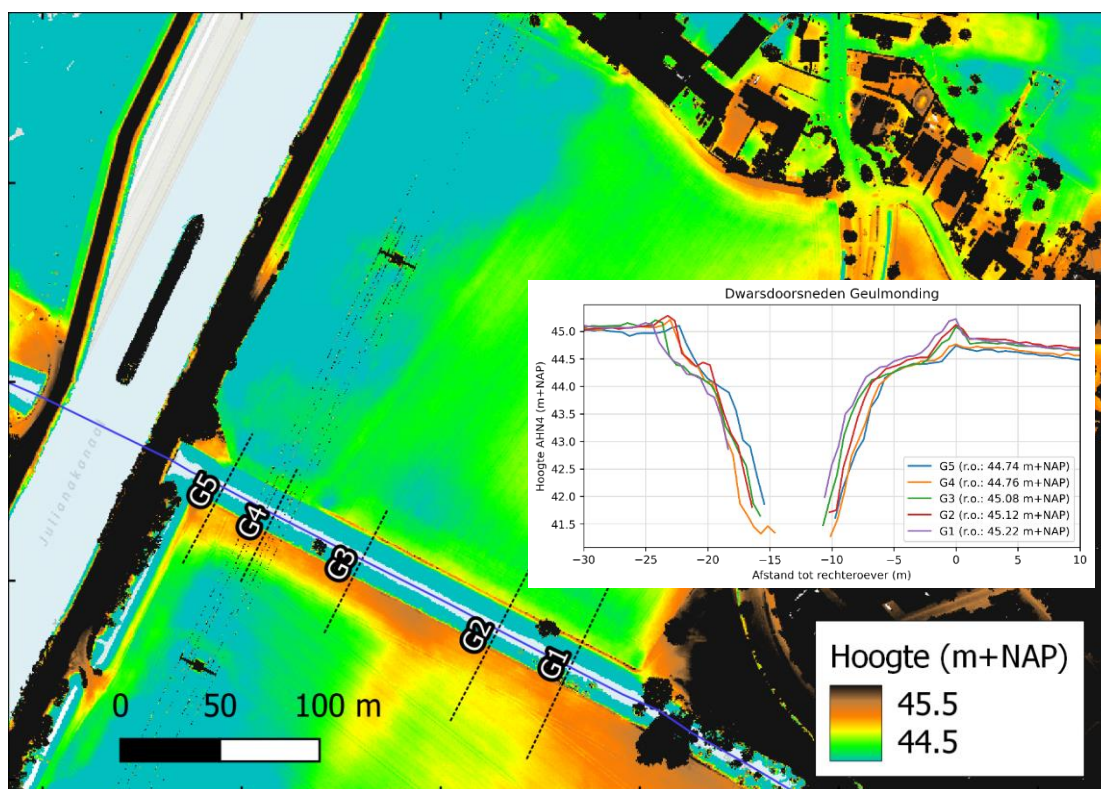
Voor de precieze weg van de overstroming kan enkel gebruik gemaakt worden van inschattingen op basis van een hoogtemodel en verslagen van het hoogwater (onder meer bijlage A en Nelissen, 2021). Hieruit is in hoofdlijnen het volgende beeld ontstaan:

- Na het buiten de oevers treden van de Geul (Figuur 3.6) is het water in noordelijke richting gestroomd naar Bunde via verschillende stroombanen (Figuur 3.7). De stroming gaat het snelst via de lager gelegen delen van wegen en via de kwelsloten van het Julianakanaal (locatie 1). Deze kwelsloten hebben als voornaamste functie het kwelwater op te vangen dat uit en onder de dijk stroomt, en hebben (tegenwoordig) geen functie om water af te voeren (het zijn zaksloten). Deze diepere delen in het landschap zorgen er echter ook voor dat een overstroming zich sneller kan verplaatsen: diep water stroomt sneller dan ondiep water. Daarnaast stroomt water via de Meerstraat (locatie 2) en over de Vonderstraat (locatie 3). Een deel van het water zal zich aan de zuidwestzijde van de brug naar de Voulwames in de kom verzamelen (locatie 4). Hier wordt verder op ingegaan in paragraaf 3.5. Een ander deel stroomt langs de oostzijde van de brug richting Brommelen.
- Na de brug naar Voulwames stroomt het water af richting het lager gelegen Brommelen (Figuur 3.8). Het water stroomt over de lager gelegen delen van de Popelboomsweg (locatie 1). Het buurtschap (en straat) Brommelen (locatie 2) ligt relatief laag in het landschap, waardoor het water hier niet direct weg kan stromen. Ook de kwelsloot van het Julianakanaal lijkt hier onderbroken (locatie 3). Pas als de waterdiepte groot genoeg is stroomt het water via het oosten en noorden richting Westbroek (locatie 4).
- Het zuidelijke deel van buurtschap Westbroek ligt ten opzichte van de omgeving enigszins hoger (Figuur 3.9). Hierdoor neemt het water de route via de kwelsloot van het Julianakanaal (locatie 1) en de Verlegde Broekgraaf (locatie 2; links in Figuur 3.11). Deze Verlegde Broekgraaf is noodzakelijk om bronwater uit het Bunderbos af te voeren (zie paragraaf 0) maar heeft onvoldoende capaciteit voor de afvoeren die tijdens de overstroming ontstaan. Zowel de kwelsloot en Verlegde Broekgraaf overstroomden, waardoor bewoners het gevoel hebben dat het water van alle kanten komt (zie bijlage A). Deze wateroverlast heeft ook geleid tot overstroming van het westen van Geulle (de Kleivelderweg).
- Vanaf het noorden van Westbroek kan het water via een duiker onder straat Westbroek¹² (locatie 1; midden in Figuur 3.11) en de duiker onder de Essendijk (locatie 2; rechts in Figuur 3.11) stromen richting Broekhoven en via een volgende duiker (locatie 3) richting Geulle aan de Maas (zie Figuur 3.10). Ook bij Geulle aan de Maas is hierdoor wateroverlast ontstaan. Via de Zandbeek (normaal stromend in zuidelijke richting), de kwelsloot en de Hussebeek stroomt het water richting het noorden (locatie 4). Doordat de capaciteit van de Hussebeek werd overgeschreden overstroomde een deel van Broekhoven, vermoedelijk met name door de beperkte capaciteit van de duiker onder de oploop naar het Julianakanaal (locatie 5). Benedenstrooms (ten noorden) van de duiker kon de resterende afvoer voldoende worden afgevoerd richting kasteel Elsloo (locatie 6). Bij Geulle aan de Maas stroomt het water onder vrij verval of via tijdelijke pompen naar de Maas (locatie 7; zie paragraaf 3.4.1).

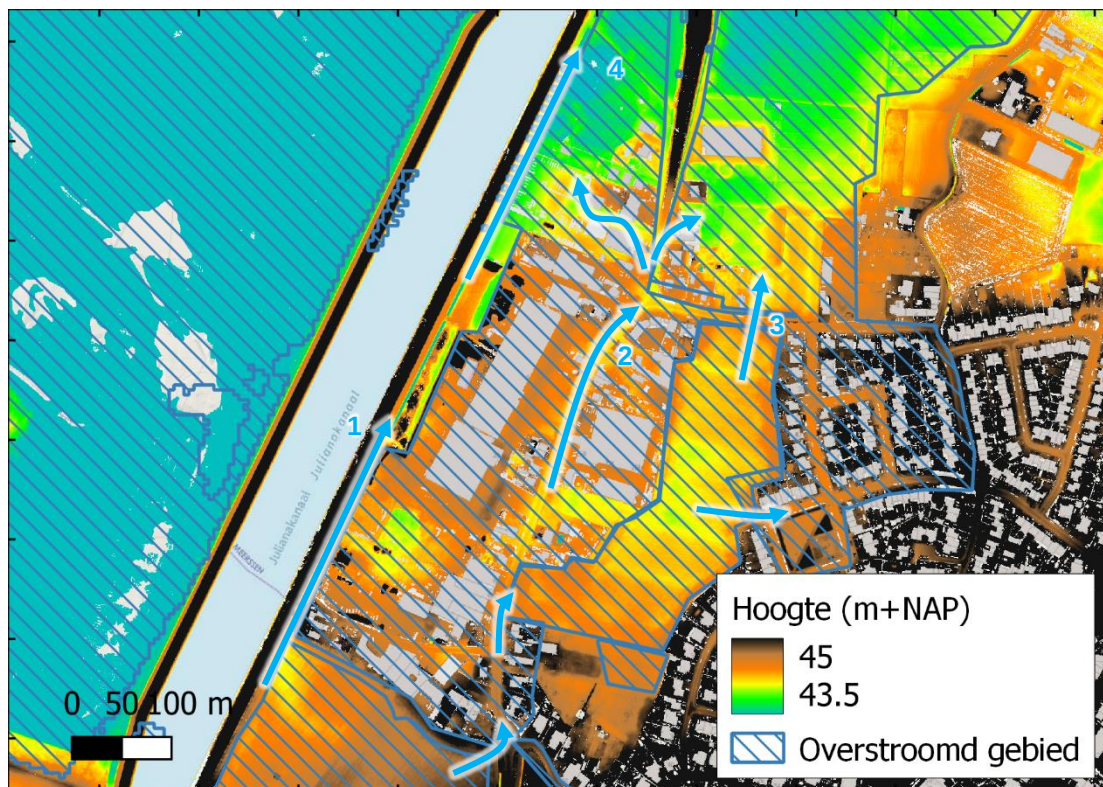
Uit deze analyse van de overstroming komt regelmatig naar voren dat de capaciteit van sloten onvoldoende zou zijn en dat daardoor overstromingen ontstonden. De sloten zijn echter bedoeld om lokaal regenwater en bronwater af te voeren en niet gedimensioneerd op het afvoeren van uitredend water van de Geul. Een verhoging van de capaciteit van duikers en sloten is echter niet direct de oplossing en zal vermoedelijk het probleem verplaatsen naar locaties verder benedenstrooms, tenzij het gehele gebied (inclusief afwatering) zou worden aangepakt.

¹² Deze duiker heeft momenteel geen watervoerende functie. Het functioneren tijdens de overstroming is niet bekend.

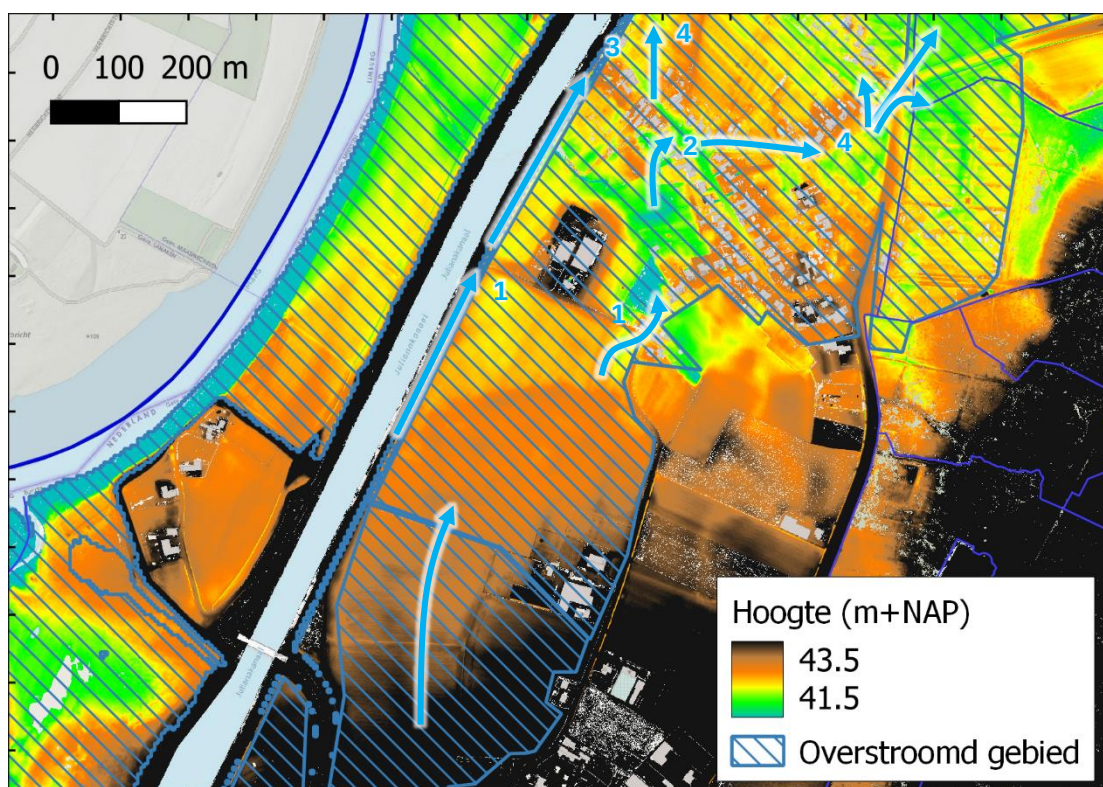
Er is het vermoeden dat ook de afwatering vanuit het hoger gelegen Bunderbos kan hebben bijgedragen aan de overstroming. Doordat geen analyse is uitgevoerd van de neerslag en de neerslag-afvoer kan hier geen kwantitatieve uitspraak over worden gedaan. De regenval in juli 2021 rondom Meerssen was echter minder extreem dan een maand eerder (juni 2021) terwijl de wateroverlast in juli veel groter was. Hierdoor is het waarschijnlijker dat de hoge afvoer in de Geul verreweg de grootste bijdrage heeft geleverd aan de overstromingen. Dat neemt niet weg dat de aanvoer van water, bijvoorbeeld vanuit het Bunderbos, de situatie lokaal kan hebben verergerd (zie ook hoofdstuk 5). Een integrale modellering van de neerslag, grondwaterstroming en oppervlaktewaterstroming is noodzakelijk om hier meer inzicht in te geven en wordt aangeraden voor vervolgonderzoek. Afhankelijk van het belang van de riolering bij de afvoer van regenwater, is het ook noodzakelijk de riolering hierin op te nemen.



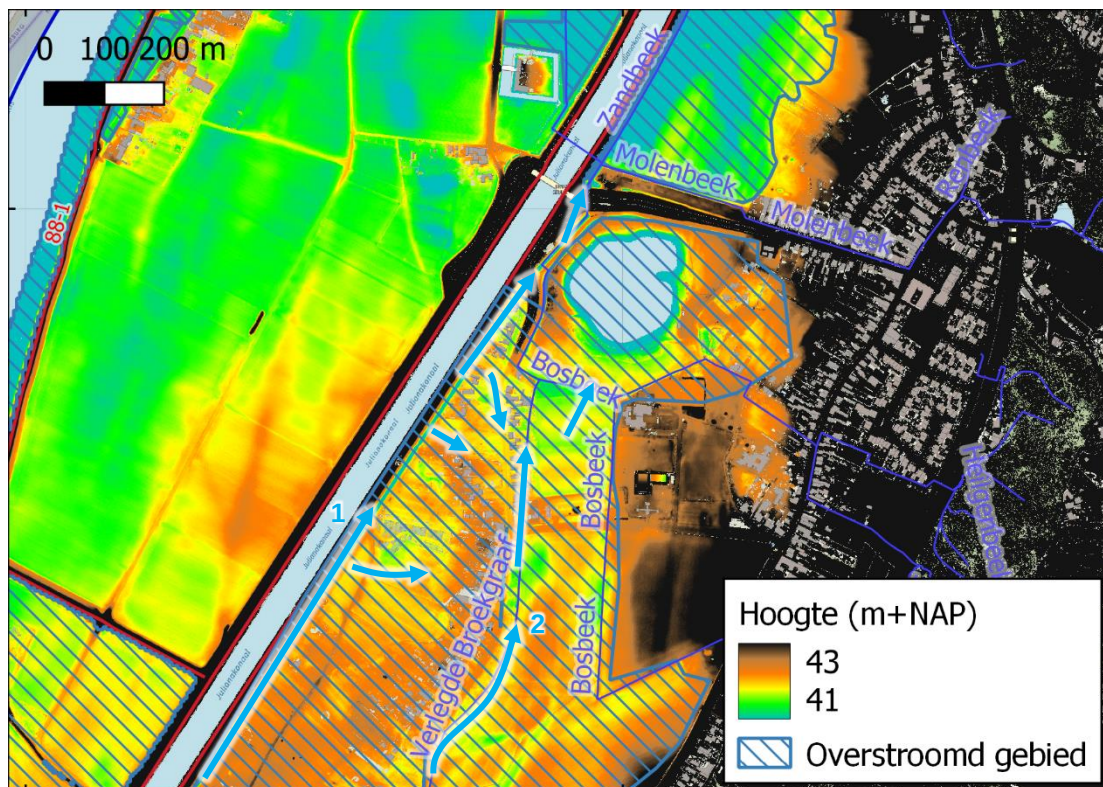
Figuur 3.6 Hoogtemodel (AHN4, december 2020) bovenstrooms van de sifon van de Geul onder het Julianakanaal. Inleg: Dwarsdoorsneden in Geulmonding op basis van AHN4 (december 2020), van zuid naar noord. Het dijkje aan de rechter oever is onjuist gedetecteerd in het AHN-bestand en in werkelijkheid enkel begroeiing



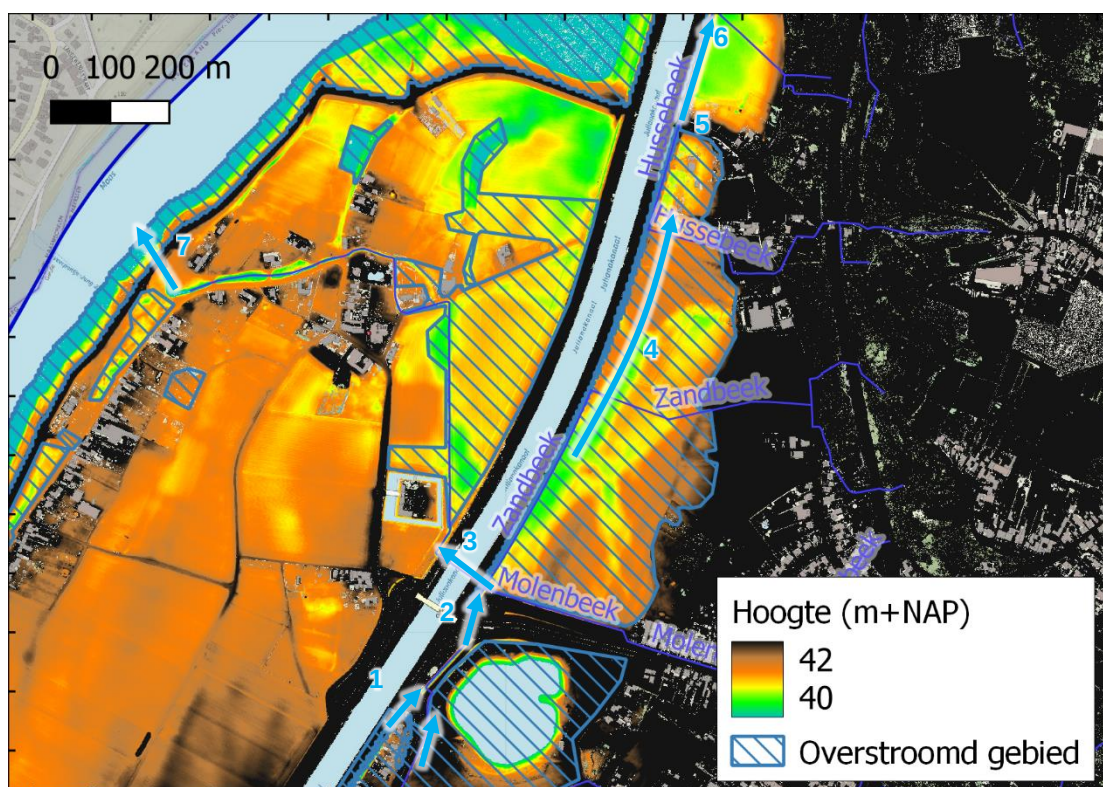
Figuur 3.7 Overstroomd gebied Bunde met hoogtekaart (AHN4) en een inschatting van de stroombanen tijdens het hoogwater



Figuur 3.8 Overstroomd gebied Brommelen met hoogtekaart (AHN4) en een inschatting van de stroombanen tijdens het hoogwater



Figuur 3.9 Overstroomd gebied Westbroek met hoogtekaart (AHN4) en een inschatting van de stroombanen tijdens het hoogwater.



Figuur 3.10 Overstroomd gebied Broekhoven (rechts) en Geulle aan de Maas (links) met hoogtekaart (AHN4) en een inschatting van de stroombanen tijdens het hoogwater



Figuur 3.11 Links: Verlegde broekgraaf door achtertuinen in Westbroek; Midden: in de verte de duiker onder de straat Westbroek (locatie 1 in Figuur 3.10); Rechts: duiker onder de brugweg/Essendijk (locatie 2 in Figuur 3.10). (foto's: N. Asselman)

3.4.2 Afwatering

Nadat de waterstanden op de Geul en Maas waren gedaald, heeft het nog enige tijd geduurd voordat in het gehele overstroomde gebied het water was weggetrokken. Al die tijd heeft er water in woningen en tuinen gestaan bij de overstroomde buurtschappen. Bij verhoogde waterstanden op de Maas gebeurt deze afwatering met behulp van diverse vaste en tijdelijke gemalen en pompen:

- Vaste pompopstelling bij Kasteel Elsloo. Bij lage waterstanden op de Maas kunnen de afwateringsbeken (Hussebeek en Hemelbeek) hier onder vrij verval afstromen.
- Tijdelijk geplaatste tractorpompen en pompen van het waterschap bij Geulle aan de Maas pompen het water naar de Maas (zie Figuur 3.12 en locatie 7 in Figuur 3.10). Bij lage waterstanden op de Maas kan de Oude Broekgraaf hier onder vrij verval afstromen.
- Tijdelijke pompinstallatie ter hoogte van Westbroek. Deze pompte het water vanuit de Verlegde Broekgraaf naar het Julianakanaal.
- Vier grondwaterpompen bij Bunde, aangelegd om de eventuele grondwaterstandverhoging die door de dekgrondberging te Itteren wordt veroorzaakt, teniet te doen. Al direct na overstroming van Bunde (ochtend van 15 juli) vielen deze pompen uit. Deze pompen zijn bedoeld voor ontwatering en waren niet geschikt voor afwatering, waardoor het effect van het uitvallen van de pompen op de omvang van de overstroming vermoedelijk verwaarloosbaar is geweest.

Dat deze gemalen onvoldoende capaciteit hebben voor deze condities is niet onverwachts. Ze zijn gedimensioneerd om lokaal kwel-, regen- en bronwater af te voeren en niet om het water bij deze grootschalige overstroming vanuit de Geul weg te pompen. De hoeveelheid water die bij deze overstroming in het gebied is gekomen is ingeschat op 1.1 miljoen m³. Bij een capaciteit van bijvoorbeeld 10 m³/s zou het 30 uur duren om het gebied droog te krijgen. Vermoedelijk is dit een sterke onderschatting, omdat naast het water van de overstroming ook nog de reguliere afvoer van grondwater en kwelwater afgevoerd zou moeten worden. Dit is niet meegenomen in deze berekening.

Het beekstelsel kon weer vrij afwateren nadat de waterstanden in de Maas weer voldoende waren gedaald. Op basis van schattingen van de waterhoogte (op basis van luchtfotografie) wordt het moment waarop de vrije afwatering kan beginnen bij Geulle ingeschat op een Maaswaterstand van 41 m+NAP, ofwel rond 17 juli 7:00 (op basis van modelsimulaties). Bij Elsloo kan maar een deel van het water worden afgevoerd, maar werd dit moment bereikt bij een waterstand van ongeveer 40 m+NAP, ofwel rond 17 juli 11:00. Deze afvoer begint klein, maar zal ieder uur zijn toegenomen ten gevolge van de dalende Maaswaterstanden (ongeveer 0.1 m/uur).



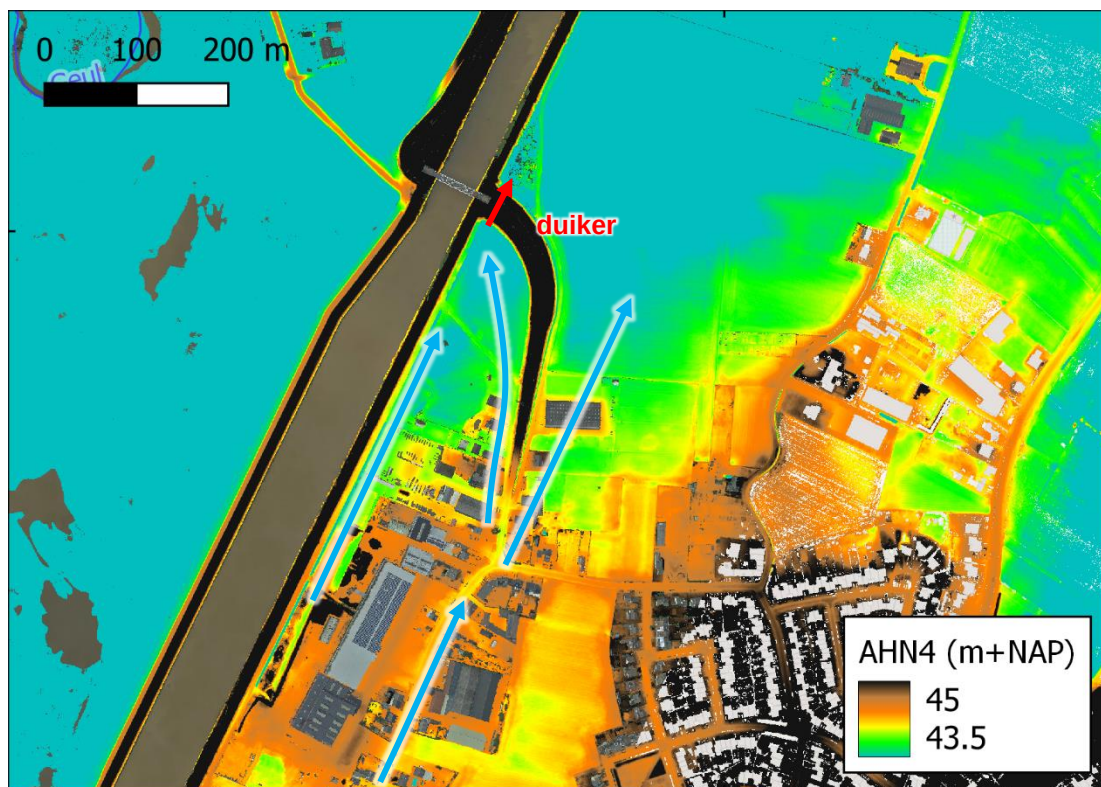
Figuur 3.12 Afwatering bij Geulle aan de Maas naar de Maas met 6 tractorpompen en 1 pomp van de brandweer (bron: persoonlijke communicatie Waterschap Limburg). De ligging van de Oude Broekgraaf (vrije afwatering) is aangegeven met een witte pijl

3.5 Duiker onder brug Voulwames

Op vrijdag 16 juli 13:00 werd de omgeving van Bunde opgeschrikt door een oproep tot evacuatie. Er zou een risico zijn ontstaan op het bezwijken van de dijk van het Julianakanaal. Dit beeld was ontstaan doordat uittredend water en zand bij de noordzijde van de brug Voulwames mogelijk uit het Julianakanaal zou komen. Al snel bleek dit water afkomstig uit de Geul en waren er maatregelen getroffen om verdere uitspoeling van het zand te voorkomen. Na afloop van het hoogwater bleek dit te gaan om een oude duiker in de kwelsloot parallel aan het Julianakanaal. Dit is uitgebreid beschreven in het feitenrelaas van Koelewijn & Roks (2022).

De maximale waterdiepte in de regio van Brommelen en noordelijker was al ontstaan in de vroege ochtend van vrijdag 16 juli. Het water stond toen zo hoog dat dit ook aan de oostzijde om het bruggenhoofd heen kon stromen. Door de komvorm aan de zuidzijde van de brug heeft het water zich hier verzameld en is de hoeveelheid water mogelijk door instromingen van het grondwater nog licht toegenomen gedurende de dag. Hoewel de opening van de duiker aan de zuidzijde ook volledig met grond bedekt was, is via het grondwater in de duiker een hoge waterdruk ontstaan. Toen de verstopping uit de duiker is geschoten, kwam het water aan de noordzijde uit de duiker gespoten met een hoogte tot 0.5 m (volgens veldverslagen). Toen de waterstanden weer daalden, bleken de waterstanden aan noord- en zuidkant van de brug gelijkmatig te zakken als in twee communicerende vaten.

Er wordt geconcludeerd dat het water grotendeels afkomstig is uit de Geul, met mogelijk een kleine bijdrage van grond- en kwelwater. Het is op basis van de huidige gegevens niet mogelijk om de bijdrage van grond- en kwelwater te kwantificeren.



Figuur 3.13 Locatie van de duiker bij de brug Voulwames. De duiker is gemarkeerd in rood. De stroming tijdens de waterstandspiek van de Geul is gemarkeerd in blauw

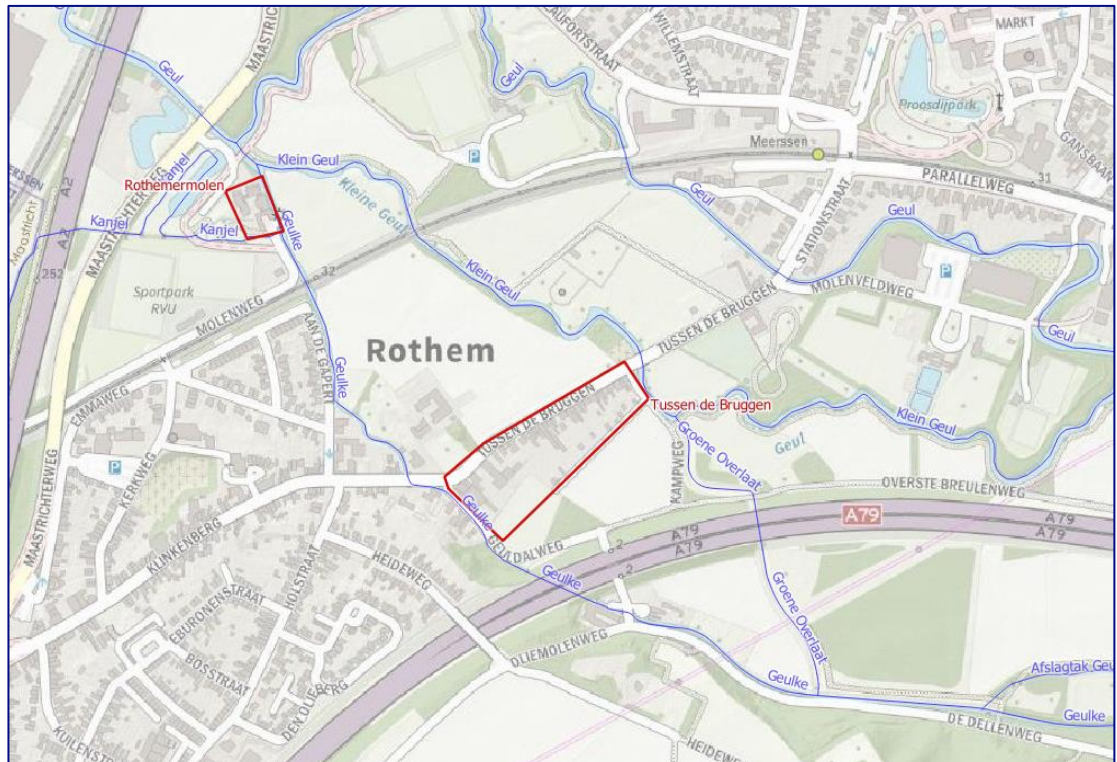


Figuur 3.14 Foto's van de duiker na het hoogwater op 4 februari 2022. De grond rondom de duikers is vrij gegraven en de bodem is verdedigd. Boven: Zuidkant van de brug (foto: J. de Jong), Onder: noordkant van de brug (foto: N. Asselman)

3.6 Overstroming Tussen de Bruggen

Het gebied Tussen de Bruggen ligt verder bovenstrooms aan de Geul tussen Rothem en Meerssen (Figuur 3.15). De straat Tussen de Bruggen ligt tussen twee takken van de Geul: Geulke (met een vertakking via de Groene Overlaat) en de Klein Geul. Een derde tak (Geul) ligt buiten dit gebied, verder naar het noorden.

Tijdens het veldbezoek op 4 februari 2022 is door bewoners het overstromingsbeeld beschreven dat geschetst staat in Figuur 3.16.



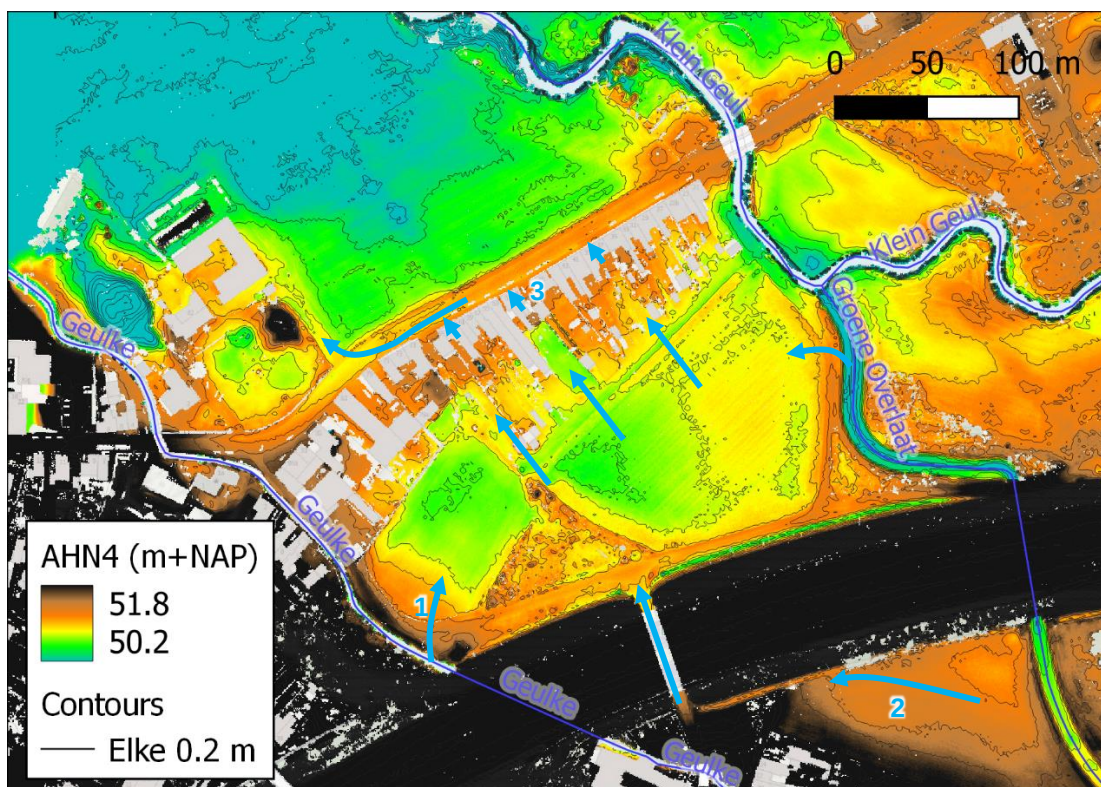
Figuur 3.15 De Geul tussen Rothem en Meerssen. Rothermolen en Tussen de Bruggen zijn rood omkaderd. (achtergrondkaart: OpenTopoMap)

Overstroming van dit gebied begon vanaf de zuidwestkant doordat het Geulke op locatie 1 in Figuur 3.16 buiten zijn oevers trad. Dit gebeurde op woensdagavond 14 juli (rond 20:00). Dit gebied staat in de legger van het waterschap aangemerkt als inundatiegebied (zie ook Figuur 2.4). Uit modelsimulaties blijkt dat ongeveer tegelijkertijd de drempel naar de Groene Overlaat zal zijn gaan overstromen. De afvoer door de Groene Overlaat wordt door de hoogte van deze drempel bepaald. De afvoercapaciteit van het profiel van de Groene Overlaat is echter onvoldoende gebleken om dit water af te voeren, waardoor ook een gebied ten zuiden van de A79 overstroomde (locatie 2 in Figuur 3.16). Via het tunneltje onder de A79 is dit water naar Tussen de Bruggen gestroomd. Het water in het inundatiegebied bij Tussen de Bruggen kwam dus vanaf drie kanten: vanuit het Geulke (locatie 1), via de tunnel onder de A79 nabij locatie 2 en vanuit de Groene Overlaat en de Klein Geul.

De waterstanden in het inundatiegebied stegen zo snel en zo hoog dat huizen in dit gebied zijn overstroomd (locatie 3). Zoals uit het hoogtemodel in Figuur 3.16 en de foto van Figuur 3.17 blijkt, wordt het inundatiegebied niet of nauwelijks gescheiden van de laag gelegen achtertuinen. Het water stroomde vervolgens door de huizen en tussen de huizen naar het noorden (zie Figuur 3.18).

Tijdens het hoogwater hebben de bewoners het advies gekregen om de voordeuren open te zetten gedurende het gehele hoogwater. Omdat het water de weg van de minste weerstand zal kiezen, zal hierdoor de stroming door de huizen toegenomen zijn. De waterdiepte in het inundatiegebied en in de huizen zal hierdoor wel lager zijn geweest.

Uitspraken dat bij de Rothermolen (zie Figuur 3.15) de schuif niet of te laat is open gezet tijdens het hoogwater kon op basis van modelresultaten niet onderbouwd worden. Bij volledig geopende schuif zijn de gemodelleerde waterstanden vergelijkbaar met de metingen. Ook de tijdreeks van de positie van de schuiven laat zien dat de schuiven volledig open waren toen de waterstanden in het Geulke begonnen te stijgen.¹³



Figuur 3.16: Hoogtemodel (AHN4) ter hoogte van Tussen de Bruggen, met inschattingen van het stroombeeld op basis van de verslagen tijdens het veldbezoek (zie bijlage A)



Figuur 3.17 Weg achter huizen Tussen de Bruggen. Links het inundatiegebied, rechts de achtertuinen (foto 4 februari 2022 door J. de Jong)

¹³ Analyse uitgevoerd door Waterschap Limburg



Figuur 3.18 Beeld van de voorkant van de huizen op 15 juli 15:32. Bron: video van Thomas Schlijper¹⁴

3.7 Overstroming vanuit de Maas rondom kasteelhoeve Hartelstein

3.7.1 Inleiding

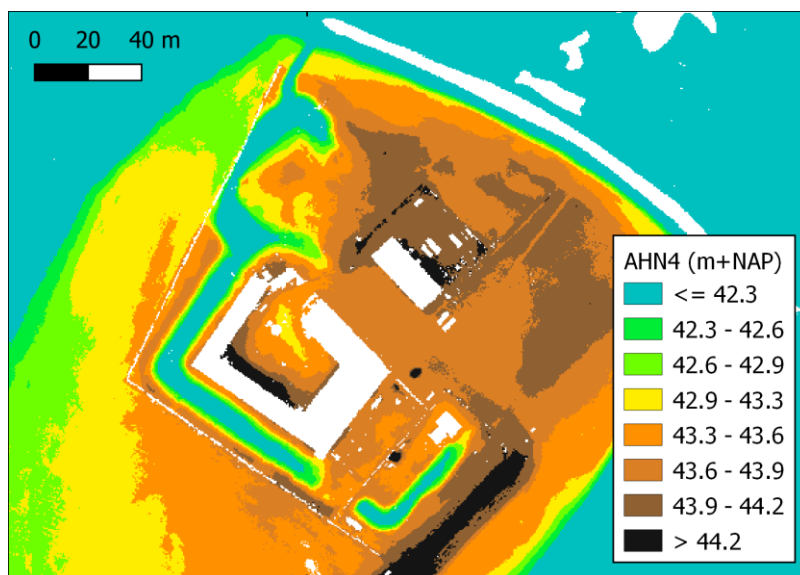
De kasteelhoeve Hartelstein ligt langs de Geul, in het winterbed van de Maas ten westen van het Julianakanaal. Hoewel bij eerdere hoogwaters (1993, 1995, 2003, 2011) het gebied rondom de hoeve wel overstroomde, zou deze zelf ongeschonden zijn gebleven. Dit in tegenstelling tot het hoogwater (HW) van juli 2021 toen wel overstroming plaats vond vanuit de Geul en de Maas (zie Figuur 3.19) en er grote schade is ontstaan ten gevolge van 0.5 m waterdiepte (Van Winkel, 2021).

Als onderdeel van de Maaswerken bij Itteren is ook de inrichting van het gebied bij Hartelstein aangepast (Consortium Grensmaas, 2014; Van Winden, 2016). De huidige ligging op basis van het AHN is weergegeven in Figuur 3.20. Op basis van deze gegevens lijkt bij een waterstand van 43.6 m+NAP al water tot de hoeve te komen.

¹⁴ Video te bezichtigen op: <https://www.youtube.com/watch?v=Vjm9JeQRba0>



Figuur 3.19 Luchtfoto's kasteelhoeve Hartelstein. Links: RWS Luchtfoto 2021 Ortho HR; Rechts: Foto tijdens hoogwater (bron: Waterschapshuis¹⁵)



Figuur 3.20 Bodemhoogte rondom kasteelhoeve Hartelstein. De waterstand tijdens het hoogwater in de Maas is nabij de kasteelhoeve gestegen tot ongeveer 44.1 m+NAP

3.7.2

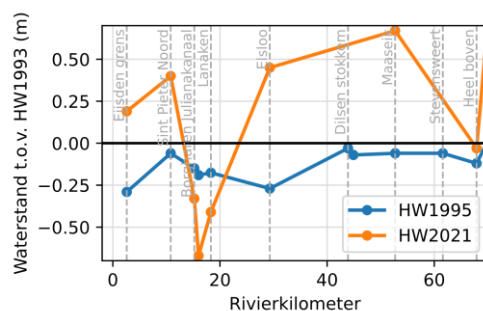
Hoogwaterstanden van de Maas in juli 2021 in relatie tot historische hoogwaters

Ten gevolge van rivierverruimende en ecologische gebiedsontwikkelingen is het gebied rondom de hoeve grootschalig veranderd. Hierdoor is onder meer de Geul verlegd. Deze liep aanvankelijk ten oosten van de hoeve in noordelijke richting. Momenteel loopt de Geul vanaf de sifon eerst in westelijke richting en passeert de hoeve aan de westkant. Ten gevolge van de rivierverruimende maatregelen is de waterstand lager bij gelijke Maas-afvoer. De mate van verlaging varieert echter sterk. Hoewel op basis van modelberekeningen ter hoogte van Borgharen de waterstanden ongeveer een meter dalen, is dit ter hoogte van Voulwames (rkm 22) slechts enkele decimeters (Meijer & Agtersloot, 2021).

¹⁵ De luchtfoto's van de Limburgse beken zijn door het Waterschapshuis onder andere ontsloten via: <https://storymaps.arcgis.com/stories/7488a4903f47499a9f765a23619eb2f4>

Figuur 3.21 toont het verschil in maximale waterstanden opgetreden tijdens het hoogwater van juli 2021 en dat van 1995, in vergelijking met de waterstanden van 1993 (het tot dusver geregistreerde maximum).¹⁶ Op de Grensmaas zien we dat bij Elsloo en Maaseik de waterstanden in juli 2021 ongeveer 0.5 m hoger waren dan tijdens het hoogwater van 1993. Dit komt deels door de hogere afvoer, maar ook door een mogelijk grotere vegetatieruwheid in verband met de zomerperiode. Op andere locaties, zoals Borgharen en Lanaken zijn de waterstanden juist lager dan in 1993 (en 1995). Dit wordt veroorzaakt door de grootschalige rivierverruiming bij Itteren en Borgharen.

De meetgegevens geven echter enkel informatie bij de stations, terwijl het patroon tussen deze stations volgens modelsimulaties ook sterke variatie vertoont in (de mate van) waterstandsverandering ten opzichte van de geometrie in 1993 of 1995. Vergelijken we (met metingen gecorrigeerde) modelresultaten, dan is de maximale waterstand bij de monding van de Geul (rkm 22.5) tussen 44.0 en 44.2 m+NAP geweest (Figuur 3.4). Dat is gelijk aan (of zelfs iets lager dan) de waterstand tijdens het hoogwater van 1993 (op basis van simulaties uit De Jong, 2021). Ook op de inundatiekaarten van 1993 en 1995, staat de hoeve als overstroomd aangegeven, maar de resolutie waarop deze kaarten zijn ingetekend is mogelijk onvoldoende om dit hard te concluderen. Op basis van de verschillende analyses wordt geconcludeerd dat de waterstanden in de historische hoogwaters van 1993 en 1995 tot vergelijkbare hoogte zijn gekomen als tijdens het hoogwater van juli 2021 en dat de hoeve dus ook toen overstromingsschade zal hebben ondervonden.



	HW1993	HW1995	HW2021
Borgharen Dorp	45.90	45.71	45.23
Lanaken	44.97	44.79	44.56
Elsloo	40.50	40.23	40.95

Figuur 3.21 Verandering in maximale waterstanden in de Maas (links) en de maximale waterstanden (m+NAP) bij drie meetstations nabij Geulmonding (rechts). Niet alle meetpunten zijn in ieder jaar aanwezig. Opgemerkt wordt dat de waterstandsverandering tussen de meetstations niet uit metingen kan worden verkregen, maar dat uit modelonderzoek blijkt dat dit nog sterk op en neer gaat

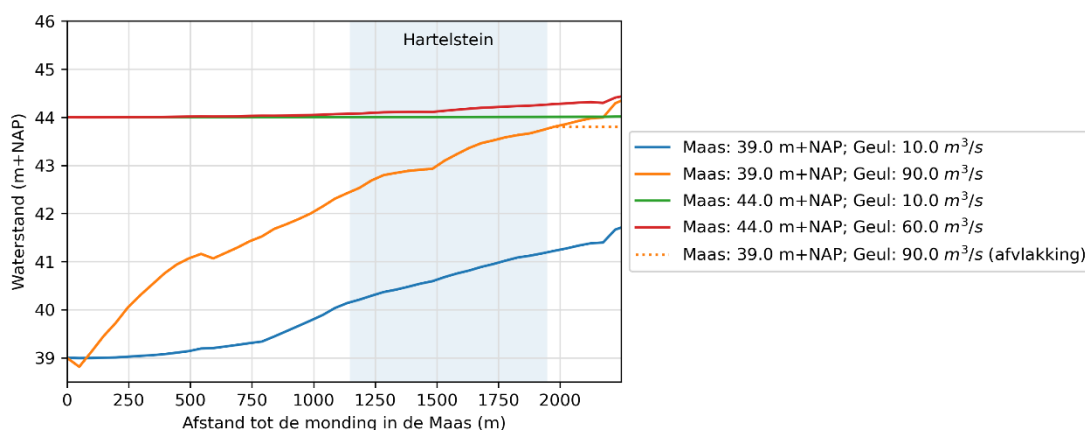
3.7.3 Overstroming vanuit de Maas of vanuit de Geul?

Tijdens het hoogwater is het beeld ontstaan dat het water uit de overstroming afkomstig zou zijn van de Geul, of door de combinatie van de hoge afvoer op de Geul en de Maas. De verhouding tussen 'grote' Maas en 'kleine' Geul zorgt er echter voor dat bij dergelijke extreme Maas-afvoeren de afvoer van de Geul een verwaarloosbaar effect heeft op de waterstanden (zie paragraaf 3.3.3). Ook al komt het water aan vanuit de Geul, het is de opstuwings vanuit de Maas die de waterstanden bepaalt. Het effect van de Geul-afvoer op de waterstanden op het traject tussen het Julianakanaal en de Maas is berekend met behulp van een (1D) hydraulisch model (SOBEK3) gegeven in Figuur 3.22. Dit model maakt gebruik van ingemeten dwarsprofielen uit 2021.

¹⁶ De afvoer in de Maas wordt geschat op 3310 m³/s bij St. Pieter en vakt af tot 2850 m³/s bij Venlo en 2328 m³/s bij Megen (Van der Veen, 2021). In 1993 en 1995 waren de piekafvoeren bij Borgharen Dorp respectievelijk 3039 m³/s en 2761 m³/s (ENW, 2021).

Figuur 3.22 toont het verloop van de waterstand op de Geul tussen de monding in de rivieras van de Maas (links) en de sifon onder het Julianakanaal (rechts). Verschillende combinaties van Maas-waterstand en Geul-afvoer zijn gegeven. Wanneer de waterstand op de Maas laag is (NAP +39 m, blauwe en oranje lijn), zien we dat de waterstand op de Geul bij de kasteelhoeve maximaal 41 m+NAP bedraagt als de Geul ook een lage afvoer heeft (blauwe lijn, 10 m³/s). Wanneer de Maas laag staat, maar de Geul een hoge afvoer heeft van 90 m³/s, ligt de maximale waterstand bij de kasteelhoeve onder de 44 m+NAP. Echter, wanneer de waterstand op de Maas hoog is (vergelijkbaar met de waterstand afgelopen zomer: 44 m+NAP), dan bedraagt de waterstand bij de kasteelhoeve ook 44 m+NAP als de Geulafvoer laag is (groene lijn) en kan de waterstand een paar decimeter oplopen wanneer de Geul een hoge afvoer heeft (rode lijn). Omdat bij hoge Maas-waterstand de afvoer van de Geul fysisch wordt beperkt door de capaciteit van de sifon, is met een maximale afvoer van 60 m³/s gerekend, terwijl bij lage Maas-waterstand de afvoer tot (zeker) 90 m³/s op kan lopen. In deze berekening is geen rekening gehouden met stroming buiten de oevers van de Geul, waardoor dit een overschatting van de opstuwing door de Geul is. In werkelijkheid zal de waterstandstoename van de rode lijn dus veel kleiner zijn.

Uit deze berekening blijkt dat de waterstanden bij de kasteelhoeve tijdens dit hoogwater vooral het gevolg zijn van het hoogwater op de Maas. De Geul heeft hier slechts een beperkte bijdrage aan geleverd (maximaal enkele decimeters).



Figuur 3.22 Schets waterstanden in de Geul ten westen van de sifon. Het zomerbed van de Maas bevindt zich links in de figuur, de sifon onder het Julianakanaal aan de rechterkant. Bij hoge waterstand op de Maas is het effect van de stroming van de Geul verwaarloosbaar. De locatie van kasteelhoeve Hartelstein is gemarkeerd. Het model bevat enkel de loop van de Geul, waardoor de waterstanden een overschatting zijn bij waterstanden waarop de Geul op dit traject overstroomt. Uit metingen blijkt dat bij hoge afvoer op de Geul de waterstanden afvlakken op 43.8 m+NAP (paragraaf 3.2.1). Dit is met een stippellijn aangegeven

3.7.4 Conclusie

Uit bovenstaande analyses kan niet met zekerheid worden vastgesteld wat de reden is dat de kasteelhoeve in juli 2021 is overstroomd terwijl dat bij eerdere hoogwaters niet is gebeurd. Mogelijk zijn de lokale waterstanden iets hoger geweest dan tijdens eerdere hoogwaters. De bijdrage van de Geul aan de maximale waterstand is waarschijnlijk beperkt geweest tot maximaal een paar decimeter (waarschijnlijk minder) aan de zuidoostkant van de hoeve. Wel blijkt uit bovenstaande analyses dat de kans op overstrooming van de kasteelhoeve bij alleen een hoogwater op de Geul klein is. Wanneer de waterstanden op de Maas laag zijn, zal de waterstand op de Geul ter hoogte van de kasteelhoeve naar verwachting niet boven de 44 m+NAP uitstijgen.

4 Beschouwing sifon Julianakanaal

Dit hoofdstuk gaat in op functioneren van de sifon in de Geul onder het Julianakanaal ([onderzoeksvraag 6](#)). Berekend worden de opstuwings van de sifon door hoge afvoer en hoge Maas-waterstanden en de extra opstuwings ten gevolge van een gedeeltelijke verstopping. Deze algemene benadering wordt vervolgens geprojecteerd op het hoogwater van juli 2021.

4.1 Inleiding

Aan de westkant van Bunde stroomt het water uit de Geul via een sifon richting de Maas (Figuur 4.1). De sifon is 76 m lang en bestaat uit 5 parallelle buizen die ieder 2.5 m breed zijn. Aan de bovenzijde (oostkant) van de sifon zijn schuiven geplaatst. Deze worden gebruikt wanneer onderhoud gepleegd wordt en er geen water door mag stromen.

Zoals in hoofdstuk 3 toegelicht, is de opstuwende werking van de sifon onder het Julianakanaal van grote invloed geweest op de hoge waterstanden aan de oostzijde van deze sifon. De combinatie van een hoge waterstand op de Maas, een hoge afvoer op de Geul en mogelijk een gedeeltelijke verstopping van de sifon deden de waterstanden sterk toenemen. Omdat bedijking langs de Geul ontbreekt, trad deze bij een waterhoogte van 44.7 m+NAP buiten haar oevers met de overstroming tot gevolg.

Vanwege de centrale rol die deze sifon heeft gespeeld, worden in dit hoofdstuk diverse aspecten die hebben bijgedragen aan deze hoge waterstanden individueel uitgelicht.



Figuur 4.1 Ligging van de sifon onder het Julianakanaal



Figuur 4.2 Foto van de sifon vanaf de oostzijde tijdens lage afvoercondities (foto 4 februari 2022, N. Asselman)

4.2 Opstuwing door sifon en hoge waterstanden Maas

De opstuwing door de sifon is geanalyseerd in metingen en met een analytisch model. Omdat de analyse van de metingen onvoldoende inzicht gaf en twijfel gaf aan de kwaliteit hiervan (zie bijlage B.2), bevat deze paragraaf enkel de analyse met een analytisch model.

De schematisatie van het analytische model is gebaseerd op de technische tekeningen in bijlage B.1. De waterstand bovenstrooms van de sifon is afhankelijk van de waterstand benedenstrooms van de sifon en de afvoer door de sifon. Het verval over de sifon is niet afhankelijk van de waterstand benedenstrooms. Dit resultaat staat gegeven in Figuur 4.3. De bovenstroomse waterstand is de optelsom van de benedenstroomse waterstand en het verval: bij een waterstandsstijging benedenstrooms van de sifon (en gelijke afvoer op de Geul), treedt er een gelijke waterstandsstijging bovenstrooms van de sifon op. Vanaf het moment dat de Geul buiten haar oevers treedt, gaat dit niet langer op, doordat het water in andere richtingen afstroomt. Op dat moment neemt de afvoercapaciteit van de sifon af.

Bij een toenemende Geul-afvoer zal het verval over de sifon toenemen. In eerste instantie zullen de bovenstroomse waterstanden maar beperkt opstuwten: bij een toename van de afvoer op de Geul van 25 m³/s naar 50 m³/s zal het verval over de sifon (en daarmee de waterstand) met ongeveer 0.3 m toenemen. Echter, door een exponentiële relatie tussen afvoer en waterstand, neemt de mate waarmee de waterstanden stijgen steeds sneller toe. Zo leidt een toename van de afvoer van 75 m³/s naar 100 m³/s tot een toename in het verval van 1 m. Dat is ruim drie keer zo veel.

Voor het bepalen van de waterstand bovenstrooms van de sifon wordt dit analytische model van de sifon gecombineerd met de opstuwing vanuit de Maas uit paragraaf 3.7. Voor het bepalen van de waterstanden benedenstrooms van de sifon zijn hiervoor berekeningen uitgevoerd met verschillende combinaties van Maaswaterstand en Geulafvoer. In deze berekening is rekening gehouden met de afvlakking bij een afvoergolf op de Geul zoals gebleken is uit metingen, waardoor de waterstand ten gevolge van enkel een hoge Geulafvoer niet hoger worden dan 43.8 m+NAP.¹⁷

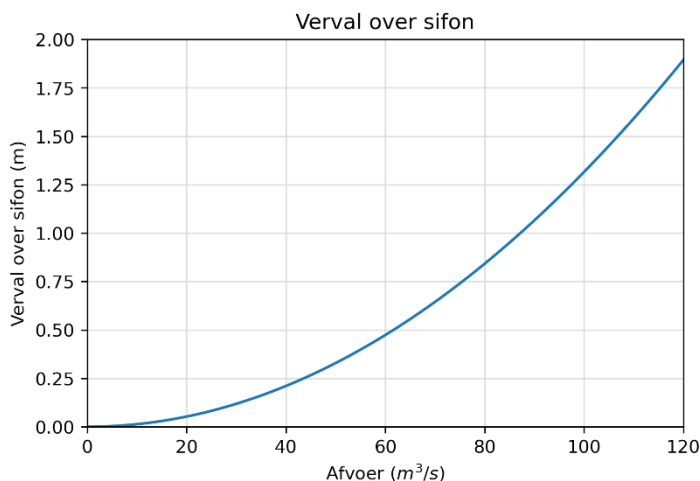
Resultaten zijn gegeven in Figuur 4.4. Bij lage waterstand op de Maas en een lage Geulafvoer is de waterstand bij de sifon ongeveer 41 m+NAP. Bij afvoeren tot 40 m³/s is het verval over de sifon slechts 0.2 m. Dit komt grotendeels door de opstuwing door de capaciteit van de Geul ten westen van de sifon. Een toename in de waterstanden vertaalt zich 1-op-1 naar hogere waterstanden bovenstrooms van de sifon. Bij hogere afvoeren speelt opstuwing door de beperkte capaciteit van de Geul ten westen van de sifon een steeds minder belangrijke rol. De opstuwing door de sifon vormt dan een steeds groter aandeel in de totale opstuwing. Dit wordt versterkt doordat de Geul ten westen van de sifon buiten haar oevers treedt en daardoor de waterstand benedenstrooms van de sifon nog maar beperkt stijgt.

In de praktijk wordt vaak gesproken over de *capaciteit* van de sifon. Deze capaciteit wordt hier gedefinieerd als de maximale afvoer die door de sifon kan worden afgevoerd voordat de Geul buiten haar oevers treedt. Dit gebeurt bij een waterstand van 44.7 m+NAP (stippellijn in Figuur 4.4). Uit de resultaten blijkt dat bij normale (en lage) waterstanden op de Maas dit moment bereikt wordt bij een afvoer van 85 m³/s, vrijwel gelijk aan het moment dat benedenstrooms van de sifon de Geul buiten haar oevers treedt. Pas bij extreme waterstanden op de Maas neemt de capaciteit van de sifon verder af. Bij een Maaswaterstand van 44 m+NAP is de capaciteit afgenomen tot 50 m³/s.

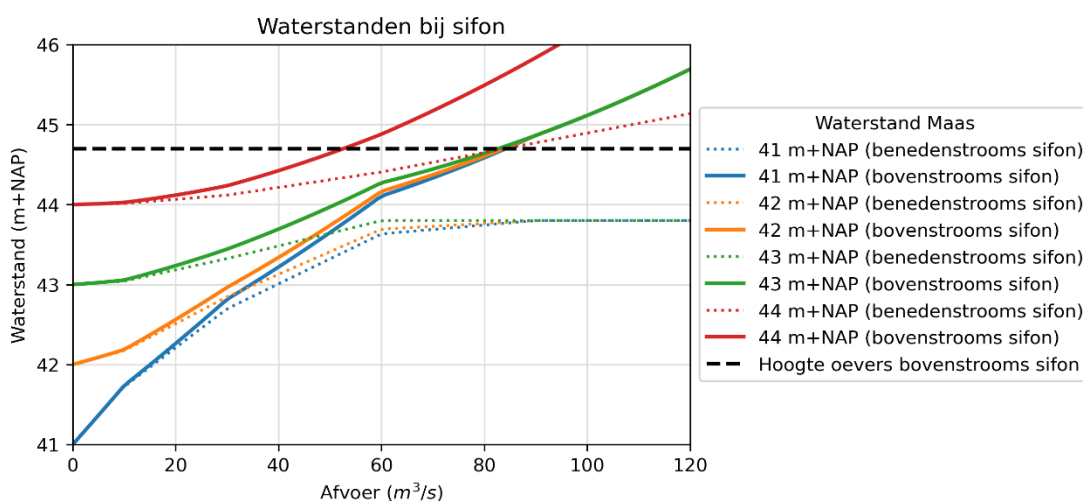
Omdat de Maaswaterstand in juli ruim 44 m+NAP bedroeg en de afvoer van de Geul ver boven de 50 m³/s lag, kan worden geconcludeerd dat de capaciteit van de sifon tijdens het hoogwater van juli 2021 onvoldoende was. Omdat de afvoer van de Geul zelfs meer dan 85 m³/s bedroeg, zou ze ook buiten haar oevers zijn getreden als de waterstand op de Maas laag was geweest. De hoge waterstand op de Maas heeft er wel voor gezorgd dat er veel meer water naar de overstroomde gebieden stroomde en ook gedurende een veel langere periode.

Als hogere waterstanden bovenstrooms van de sifon mogelijk zouden zijn, bijvoorbeeld door de aanleg van dijken langs de Geul die overstromingen voorkomen, zou ook de capaciteit toenemen. De stippellijn Figuur 4.4 schuift dan omhoog. Maatregelen hiertoe en hun effectiviteit worden beschouwd in paragraaf 6.1.

¹⁷ Een betere benadering kan verkregen worden met volledige 1D2D hydraulische modellering. De situatie in de benedenloop van de Geul is in de bestaande modellering echter nog in de situatie van vóór de Maaswerken.



Figuur 4.3 Verval over de sifon als functie van de afvoer van de Geul



Figuur 4.4 Waterstanden bovenstrooms en benedenstrooms van de sifon, als functie van de waterstand op de Maas en de afvoer door de Geul. Benedenstroomse waterstanden zijn berekend met het model uit paragraaf 3.7, maar zijn bij hoge afvoer aangevuld met expert judgement omdat de interactie met de overstromingsvlakte van de Geul en de Maas dan belangrijk wordt. Die interactie ontbreekt in deze modellering. Het verval over de sifon is gelijk aan Figuur 4.3

4.3 Effect verstopping

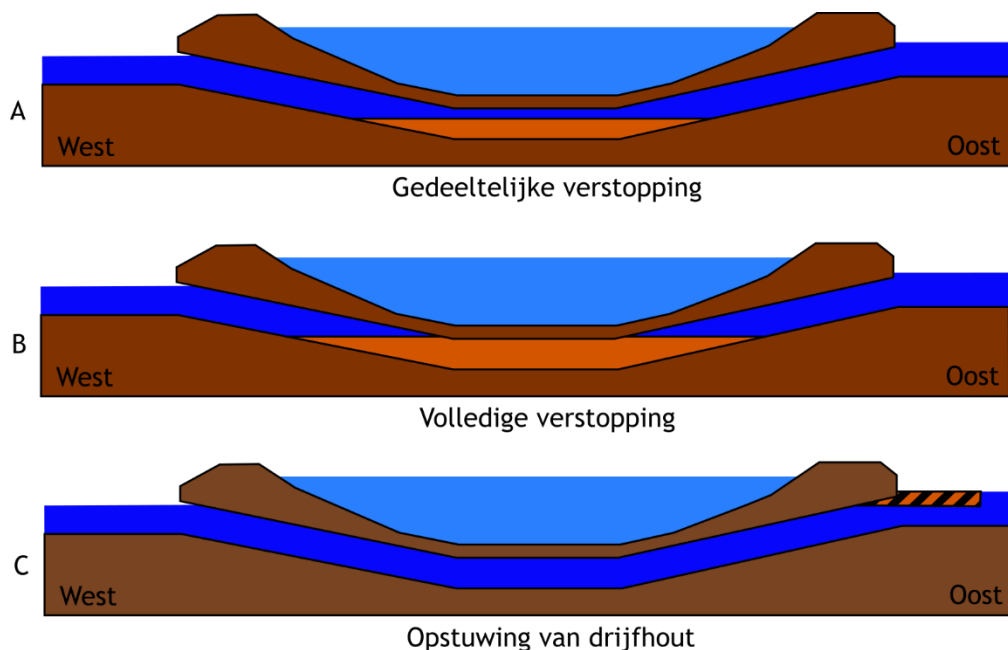
Reeds voor het hoogwater was bekend dat onderhoud aan de sifon noodzakelijk was vanwege gedeeltelijke verstopping van enkele openingen.¹⁸ Het aantal openingen dat sterk verstopt was en daardoor de stroming reduceerde, wordt op basis van discussies en analyse van video's (zie Figuur 4.8) ingeschat op 2 openingen. De mate waarin de overige openingen de doorstroming ten tijde van het hoogwater verhinderden is echter hieruit niet in te schatten. Wel is bekend dat er bij het onderhoud van december 2021/januari 2022 ongeveer de volgende hoeveelheden zijn verwijderd: 840 ton slib, 19 ton hout en 9 ton BSA (Bouw- en slooppafval) (Rijkswaterstaat, 2022). Het is echter niet bekend in welke mate dit vuil al aanwezig was voorafgaand aan het hoogwater, of pas tijdens en na het hoogwater de situatie

¹⁸ De sifon wordt ieder jaar onderworpen aan een visuele (toestands-)inspectie (schouwinspectie). Iedere 6 jaar wordt een grondige constructieve (programmerings-)inspectie uitgevoerd van zowel de binnen- als buitenzijde. De bevindingen van deze inspecties zijn een belangrijke bron om onderhoudsmaatregelen in te plannen. Onderhoud is uitgevoerd in 2011 (reiniging), 2014 (verwijdering slib) en 2019 (globale schoonmaak).

hebben verergerd. Door de hoge stroomsnelheden tijdens het hoogwater kan ook juist een deel van het sediment in de sifon weer zijn meegevoerd, waardoor de doorstroming tijdens het hoogwater verbeterde. De wisselwerking van deze processen maakt het niet mogelijk een schatting van de verstopping te maken.

In deze analyse wordt daarom theoretisch onderzocht in hoeverre een verstopping van de opening bij zou dragen aan de opstuwing van de waterstanden. Figuur 4.5 geeft schematisch enkele vormen van opstuwing door slib en drijfhout. De belangrijkste component van opstuwing wordt veroorzaakt door slib dat zich heeft verzameld in de onderkant van de sifon (Figuur 4.5-A). Bij lage stroomsnelheden kan dit slib achterblijven, bij hoge stroomsnelheden kan het weer meegevoerd worden met de stroming. Door de combinatie van langdurige slibafzetting en overig drijfvuil (zoals plastic) kan een opening volledig verstopt komen te zitten (Figuur 4.5-B).

Daarnaast wordt tijdens het hoogwater ook veel extra drijfhout en -vuil aangevoerd. Dit verzamelt zich bij de bovenstroomse opening van de sifon en drijft vooral aan de oppervlakte (figuur Figuur 4.5-C en Figuur 4.6). Ook dit geeft enige opstuwing, maar het effect hiervan is significant minder dan ten gevolge van verstoppingen van volledige openingen. In deze rapportage wordt op deze vorm van opstuwing niet verder ingegaan.



Figuur 4.5 Schematische weergave van drie typen opstuwing door slib en drijfhout. De sifon is op schaal

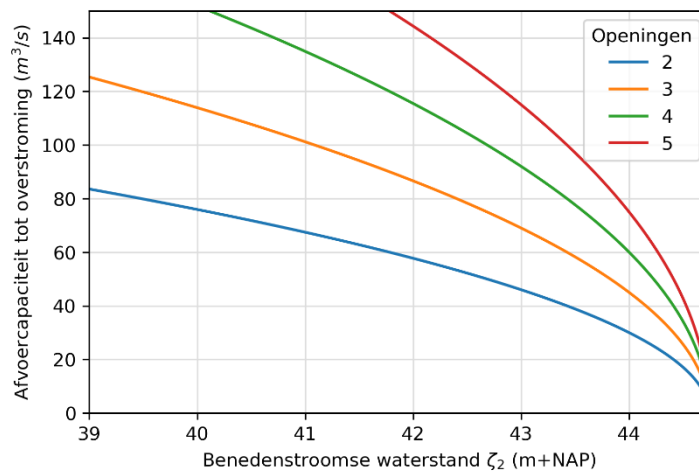


Figuur 4.6 Drijfvuil bij de inlaat van de sifon na afloop van het hoogwater van juli 2021 (Foto ontvangen van Waterschap Limburg)

Omdat de exacte condities van de sifon tijdens het hoogwater onbekend zijn, wordt in deze paragraaf volstaan met een gevoeligheidsanalyse. Hierbij wordt enkel het aantal openingen gevarieerd, en wordt ervan uitgegaan dat iedere opening volledig doorstroombaar was. In navolging van de voorgaande paragraaf wordt de capaciteit gedefinieerd als de afvoer waarbij de bovenstroomse waterstand hoger wordt dan 44.7 m+NAP en de Geul zal overstromen. Deze resultaten van berekeningen zijn gegeven in Figuur 4.7.

Er is een lineaire relatie tussen het aantal openingen en de capaciteit van de sifon. Bij een waterstand benedenstrooms van de sifon van 44.3 m+NAP (ongeveer gelijk aan het hoogwater van juli 2021) neemt de afvoercapaciteit hierdoor af van 50 m³/s bij 5 openingen, naar 30 m³/s bij 3 openingen (afname doorstroomoppervlak met 40%).

Omdat de capaciteit ook al werd overschreden in de berekening zonder verstopping, valt uit deze berekening niet te zeggen of deze verstopping daadwerkelijk heeft plaatsgevonden. Enige mate van verstopping blijft echter aannemelijk op basis van de video's en verslagen. Iedere vorm van verstopping zal ervoor gezorgd hebben dat één tot enkele kilometers bovenstrooms van de sifon de waterstanden hoger waren, en er daardoor meer water naar de overstroomde gebieden stroomde en gedurende een langere periode.



Figuur 4.7 De afvoercapaciteit is gedefinieerd als de afvoer die mogelijk is tot een bovenstroomse waterstand van 44.74 m+NAP wordt bereikt. Op dat moment overstroomt het gebied ten noorden van de Geul



Figuur 4.8 Links: Beeld uit een video van de uitlaat van de sifon op 14 juli. Met pijlen is aangeven welke openingen duidelijk water afvoer (grote pijlen) en bij welke openingen dit niet zichtbaar is (kleine pijlen). Rechts: foto van onderhoudswerkzaamheden RWS-ZN, te zien is een shovel voor een grote laag slib

4.4 Conclusies

Uit analytisch onderzoek is gebleken dat de situatie in juli 2021 zo extreem was dat de capaciteit van de sifon onvoldoende was en land overstroomde vanuit de Geul. De zeer hoge afvoer op de Geul zou ook bij lage waterstanden op de Maas, en zonder verstoppingen van de openingen de capaciteit van de sifon overschreden hebben. Bij de hoge afvoer op de Geul van juli 2021 zouden dus sowieso overstromingen zijn opgetreden ten oosten van het Julianakanaal. Door de hoge waterstanden op de Maas is de hoeveelheid water naar het overstroomde gebied wel sterk toegenomen, waardoor zowel de waterdiepte als het overstroomde gebied zouden zijn toegenomen. Dit is nog extra versterkt door de gedeeltelijke verstopping van de sifon.

5 Onderzoek grondwater

Dit hoofdstuk geeft een globale omschrijving van de werking van het grondwater in het gebied, op basis van een literatuurstudie en een beknopte analyse van metingen ([onderzoeksvraag 7](#)). Op basis van deze resultaten wordt bediscussieerd wat de bijdrage van grondwater tijdens het hoogwater kan zijn geweest.

5.1 Algemene beschrijving

Zoals beschreven in het Milieu-effectrapport Grensmaas 2003 (uitgevoerd door DHV en Royal Haskoning en uitgebracht door De Maaswerken, 2003), is de geohydrologie van dit gebied zeer complex. Grondwaterstroming wordt beïnvloed door ZO-NW lopende breuken in de ondergrond, de aanwezigheid van goed doorlatende grind- en zandafzettingen, door lokale neerslag en verdamping, maar ook door de waterstanden op de Grensmaas.

Het rapport van De Maaswerken (2003) onderscheidt drie typen grondwatersystemen:

- 1 Regionale systemen worden gekenmerkt door grondwater dat een lange weg heeft afgelegd tussen infiltratiegebied (Kempisch plateau, plateaus van Margraten en Schimmert) en kwelgebied, waarbij het grondwater vaak door diepe watervoerende lagen stroomt. In het gebied rond de Grensmaas komt de regionale kwel voornamelijk uit in het Maasdal, met name in de bedding van de rivier. Bij hoge waterstanden op de Maas kan de regionale kwel door de tegendruk van het Maaswater buiten de Maasbedding uit treden. De regionale grondwaterstromen kunnen echter onderweg ook afgevangen worden door beken of onttrekkingen. Zo heeft de Geul een sterk drainerend effect. Dit grondwater kent een lange verblijftijd.
- 2 Lokale systemen worden gekenmerkt door grondwater dat een relatief korte weg aflegt van infiltratiepunt naar kwelgebied. Meestal infiltreert het water op de hogere gronden naast het Maasdal en stroomt het alleen via het eerste, relatief ondiep gelegen, watervoerend pakket. De lokale systemen bevinden zich boven de regionale systemen. De verblijftijd van dit water is veel korter.
- 3 Het Maassysteem is een dynamisch systeem dat wordt gevormd door de fluctuerende standen op de Maas in wisselwerking met grondwater in de aangrenzende (goed doorlatende) rivierafzettingen en andere delen van de bodem. Over het algemeen draineert de Maas het grondwater (het grondwater stroomt dan naar de Maas toe). Bij (middel)hoge rivierwaterstanden kan de Maas echter ook infiltreren (het grondwater stroomt dan dus de andere kant uit).

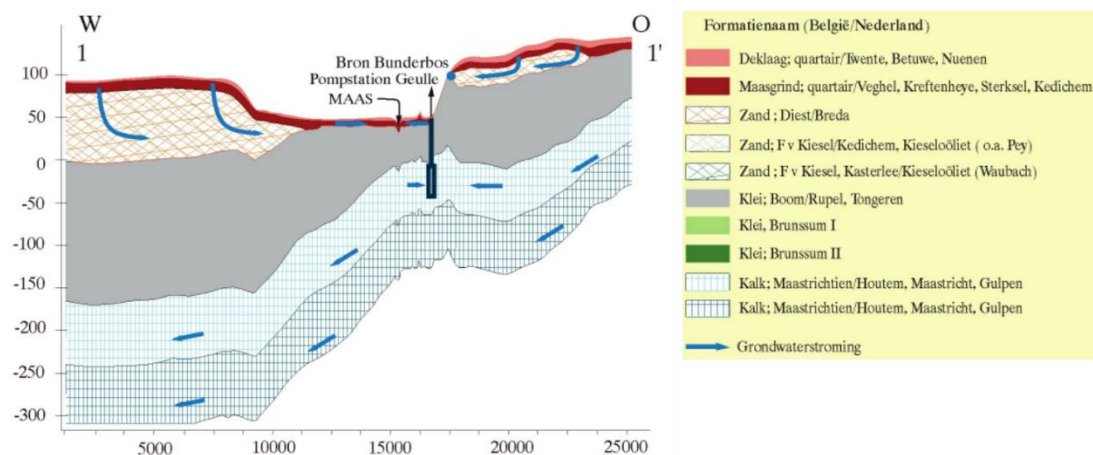
In zowel de regionale als de lokale systemen bedraagt de reistijd van het grondwater tot de bronnen vele jaren (Bouwmeester & Van de Weerd, 2018).

In het gebied rondom Bunde is het grondwater afkomstig van de Maasterrassen (lokale en regionale systemen), maar wordt het ook beïnvloed door het rivierwater. Deze interactie varieert in de ruimte (door verschillen in bodemopbouw), maar ook in de tijd, afhankelijk van onder andere de waterstand op de Maas.

Figuur 5.1 geeft een schematische weergave van de afzettingen die voorkomen in de ondergrond en hoe het grondwater daar doorheen stroomt. Het dwarsprofiel is gelegen ter hoogte van Geulle. Aan de oostkant op het Maasterras ligt een deklaag die vooral uit matig doorlatende klei- en leemlagen bestaat. Deze laag varieert sterk in dikte (< 1 m tot > 15 m dik). Onder de deklaag liggen sterk doorlatende grindpakketten die in het verleden zijn afgezet door de Maas. Deze grindpakketten kunnen meer dan 20 m dik zijn. Op het

Maasterras ligt onder het grindpakket nog een pakket met zand. Onder deze sterk doorlatende lagen ligt de formatie van Rupel (grijze laag in Figuur 5.1). Deze bestaat uit zeer slecht doorlatende klei die ervoor zorgt dat het grondwater op het oostelijke Maasterras door het bovenliggende zand- en grindpakket afstroomt in noordwestelijke richting. Daar waar de klei uit de formatie van Rupel dagzoomt (aan het oppervlak ligt), treedt dit water uit. Tussen Bunde en Geulle is dit duidelijk in het veld te herkennen aan de vele bronnen die ontspringen in het Bunderbos.

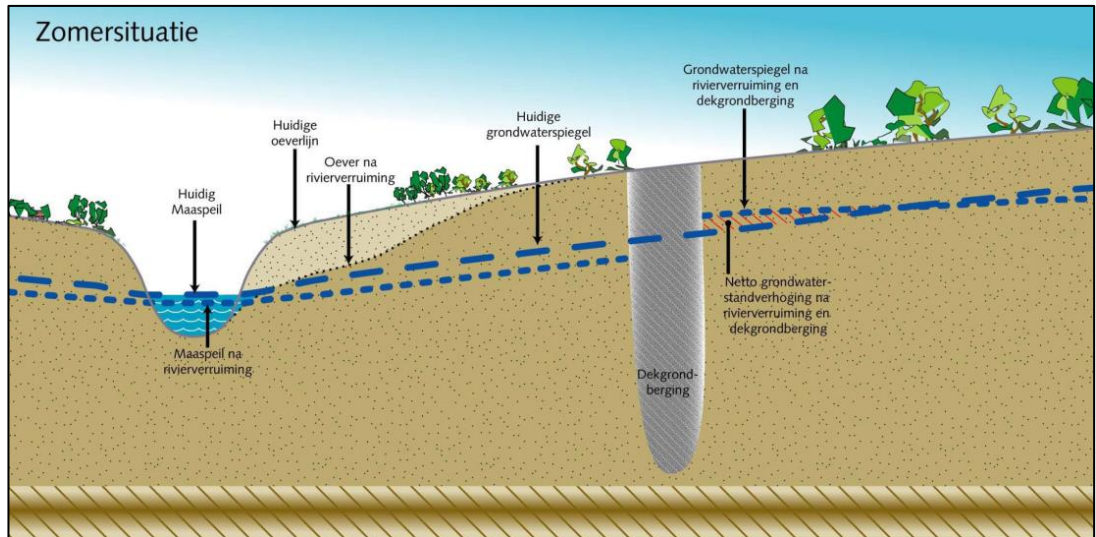
Ten westen van het Bunderbos stroomt het grondwater door het grindpakket naar de Maas. Zoals eerder vermeld kan deze stroming bij hoge waterstanden op de Maas ook omkeren.



Figuur 5.1 Dwarsprofiel (west-oost) ter hoogte van Geulle, met indicatie van lithologie en grondwaterstroming (Bron: De Maaswerken, 2003)

Het water in het Julianakanaal stroomt in een soort 'dichte bak'. Daardoor heeft het kanaal geen invloed op de grondwaterhuishouding. Het grondwater stroomt onder het kanaal door.

De aanleg van dekgrondberging als onderdeel van de Maaswerken heeft wel grondwaterstanden opgestuwd. Dit is onder meer het geval ter hoogte van Bunde. De dekgrond werd geborgen in de uiterwaarden van de Grensmaas ten noordoosten van Itteren (zie ook Consortium Grensmaas, 2014). Dit materiaal is veel minder goed doorlatend dan het grind dat hier oorspronkelijk lag, waardoor de waterstanden over deze dekgrondlaag toenamen (zie Figuur 5.2). Om grondwaterproblemen in dit gebied te voorkomen zijn grondwaterpompen geplaatst. Deze grondwaterpompen gaan alleen aan wanneer het grondwater boven een kritieke waarde uitstijgt. Dit wordt gemeten met sensoren.



Figuur 5.2 Effect van dekgrondberging op de grondwaterstanden. Deze “zomersituatie” is voor dekgrondberging Itteren ook geldig voor de wintersituatie, doordat de opstuwing ten gevolge van de dekgrondberging groter is dan waterstandsval ten gevolge van de rivierverruiming (bron: De Maaswerken, 2003)

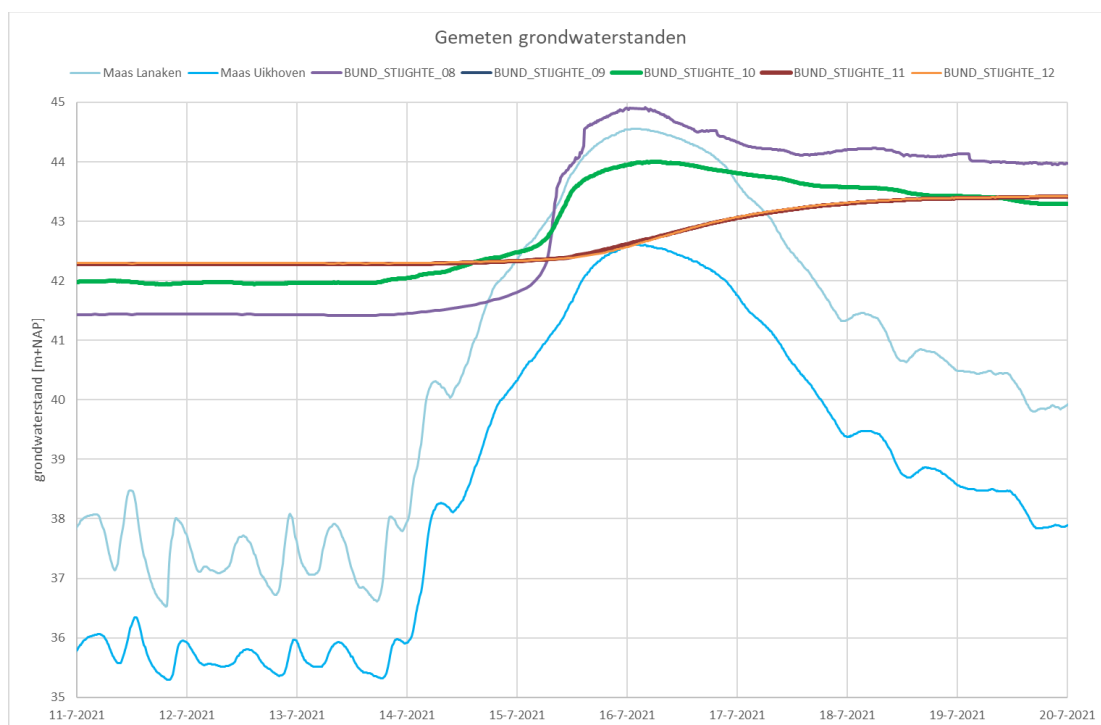
5.2 Bijdrage van het grondwater aan de overstromingen

Om een eerste indruk te krijgen van de mogelijke invloed van het grondwater, is gekeken naar gemeten grondwaterstanden nabij Bunde. De gemeten waarden zijn te zien in Figuur 5.3. Om de mogelijke invloed van de Maas te duiden zijn ook de gemeten waterstanden op de Maas bij Lanaken (rkm 18.4, ongeveer tussen Borgharen en Itteren) en Uikhoven (rkm 25.2) getoond. De gemeten waterstanden op de Geul bij Meersen en bij de sifon onder het Julianakanaal zijn te zien in Figuur 3.1. De peilbuislocaties zijn te zien in Figuur 5.4. De namen van alle peilbuizen beginnen met BUND_STIJGHTE. Voor het gemak noemen we hier daarom alleen de nummers van de locaties. Nummer 08 ligt langs het Julianakanaal, ten zuiden van de Geul. Nummer 05 ligt ook langs het Julianakanaal, maar ten noorden van de Geul. De metingen van deze peilbuis zijn niet weergegeven in Figuur 5.3, omdat die in de loop van 15 juli 2021 zijn uitgevallen. Tot die tijd was de grondwaterstand op locatie 05 vrijwel gelijk aan die op locatie 08. Nummer 10 ligt aan de westkant van Bunde. Peilbuisnummers 11 en 12 liggen ook in Bunde, maar steeds iets oostelijker.

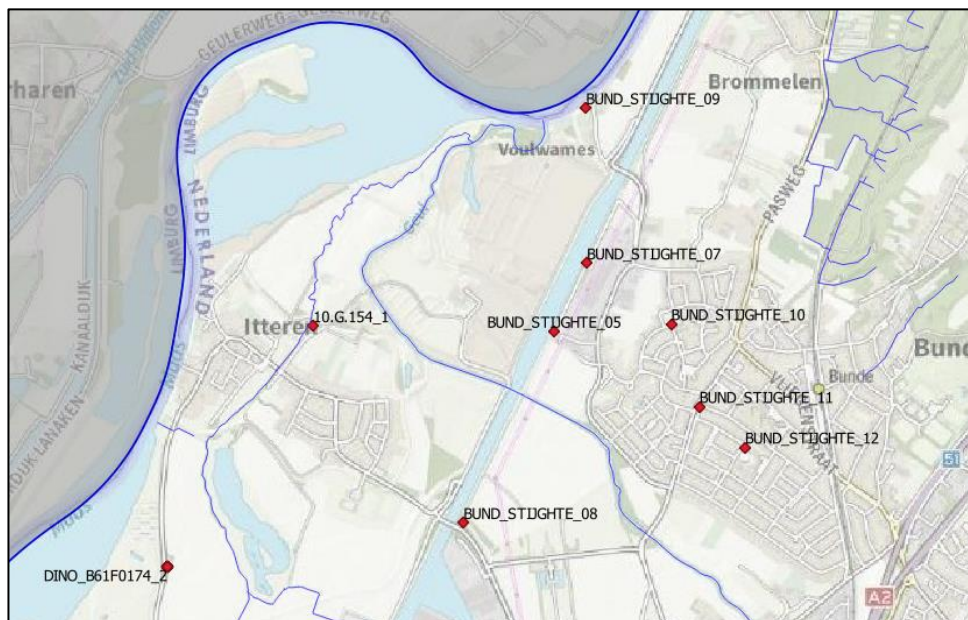
Voorafgaand aan het hoogwater is de grondwaterstand bij peilbuis 08 (langs het Julianakanaal, ten zuiden van de Geul) lang constant op ongeveer 41.5 m+NAP. Op 15 juli gaan de grondwaterstanden plots zeer snel omhoog. Dit is 1 dag nadat de waterstanden op de Maas zijn begonnen met stijgen. Het is ook het moment waarop de Maas buiten haar oevers treedt, en het moment waarop de waterstanden op de Geul snel oplopen. Bovendien treedt ook de Geul in de loop van 15 juli buiten haar oevers. Dit heeft mogelijk geleid tot de uitval van de metingen op locatie 05. Het verschil in grondwaterstand op locatie 08 bedraagt ongeveer 3.5 m. Het vermoeden bestaat dat de hoogste meetwaarden (hoger dan 44.2 m+NAP) beïnvloed zijn door het oppervlaktewater van de overstromingen vanuit de Geul.

Op locatie 10 (westkant van Bunde) stijgen de grondwaterstanden op 15 juli ook relatief snel, maar is het verschil in stijghoogte iets minder groot (2 m in plaats van 3.5 m). De oostelijker gelegen meetpunten 11 en 12 tonen een beduidend tragere reactie en de toename is hier beperkt tot ongeveer 1 m.

Bij beide meetstations valt ook op dat de maximale grondwaterstanden samenvallen met de maximale waterstand op de Maas. Hieruit blijkt dat de Maas van invloed is geweest op (de afwatering van) het grondwater.



Figuur 5.3 Gemeten waterstanden op de Maas en grondwaterstanden nabij Bunde in juli 2021. De ligging van de peilbuizen is te zien in Figuur 5.4. De waterstanden van station 11 en 12 vallen samen. Station 9 is niet beschikbaar in de weergegeven periode. Een vergelijkbare figuur voor de periode december 2020 tot augustus 2021 is opgenomen in Bijlage E



Figuur 5.4 Peilbuislocaties

De grondwatermetingen laten dus zien dat het grondwater met name vlak bij het Julianakanaal zeer snel reageert op de waterstanden op de Geul en de Maas. Dit is te verwachten omdat de grindpakketten in de uiterwaarden van de Grensmaas en ten oosten van het Julianakanaal een waterdoorlatendheid (k-waarde) hebben van 1500 tot 2500 m per dag (De Maaswerken, 2003). Deze zeer hoge doorlatendheid zorgt ervoor dat grondwaterstanden ten oosten van het Julianakanaal zeer snel en sterk reageren op de hoogwaterstanden. Doordat de bodem al in grote mate verzadigd was, nam ook de bergingscapaciteit af, waardoor maar een klein deel van de overstroming kon infiltreren. Dit neemt echter niet weg dat de overstroming vooral veroorzaakt is vanuit het oppervlaktewater door de Geul.

De hoge grondwaterstanden hebben echter wel een belangrijke bijdrage geleverd aan de lange duur van de wateroverlast in deze regio. Dit heeft mogelijk te maken met de aanleg van de dekgrondberging. De pompen die aangelegd zijn bij Bunde om grondwater af te voeren, zijn niet geschikt voor de afvoer van dergelijke volumes en waren bovendien uitgevallen tijdens het hoogwater. Ook de nalevering van grondwater uit het stroomgebied van de Geul kan hebben bijgedragen aan de langdurig hoge grondwaterstanden¹⁹.

Op basis van de nu beschikbare gegevens is niets te zeggen over de bijdrage van oppervlakkige afstroming vanaf het Maasterras of van uittredend grondwater bij de bronnen op de hellingen in dit gebied.

5.3 Conclusie

Zonder gedetailleerde modelanalyse is het niet mogelijk om de bijdrage van het grondwater aan de overstromingen van juli 2021 te kwantificeren. De verwachting is echter dat deze bijdrage gering is geweest en dat de problemen vooral zijn veroorzaakt door de grote hoeveelheid water die vanuit de Geul naar Bunde, Brommelen, Westbroek en verder stroomde. Om uitspraken te kunnen doen over de effectiviteit van maatregelen onder een range aan omstandigheden (dus niet alleen bij hoogwater op de Geul en de Maas zoals in juli 2021, maar ook in het geval van lokaal hevige neerslag zoals op 29 juni 2021), zou men idealiter exact moeten weten waar het water dat heeft bijgedragen aan de overstromingen, vandaan kwam. Een waterkering langs de Geul heeft immers alleen effect wanneer de problemen niet veroorzaakt zijn door grondwaterstroming vanuit de Maas, oppervlakkige afstroming van de Maasterrassen, of grote hoeveelheden uittredend grondwater in het Bunderbos. Analyses met een gedetailleerd grondwatermodel kunnen hier meer inzicht in geven.

¹⁹ Uit analyses van Angela Klein (student TU Delft) blijkt dat de grondwaterstanden in het stroomgebied van de Geul (ook op de plateaus) tijdens het hoogwater sterk zijn gestegen (lokaal wel tot 0.5 m). Zoals blijkt uit analyses van Kramer (2021) is nalevering vanuit het grondwater in het stroomgebied van de Geul relatief groot.

6 Verkenning van mogelijke maatregelen

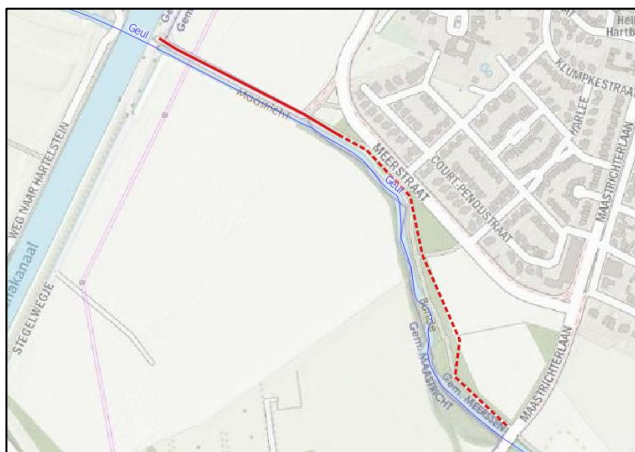
In dit hoofdstuk wordt een verkenning uitgevoerd naar mogelijke maatregelen (*onderzoeksvraag 8*). Dit is gericht op laaghangend fruit en moet gezien worden als een eerste-ordebenadering van de effectiviteit. De analyses zijn nadrukkelijk bedoeld om een eerste indruk te krijgen van welke maatregelen mogelijk kansrijk zijn. Ze zijn onvoldoende gedetailleerd en ook in onvoldoende mate van detail verkend om op basis hiervan een besluit te kunnen nemen.

6.1 Bedijking langs de Geul

De eerste maatregel die is verkend betreft de aanleg van dijken langs de benedenloop van de Geul, direct bovenstrooms van de sifon (Figuur 6.1). Deze bedijking kan worden gerealiseerd als permanente maatregel (kering in grond), maar ook als tijdelijke (nood)maatregel met bijvoorbeeld big bags. Bedijking heeft twee positieve effecten:

- Het zorgt ervoor dat de Geul pas bij hogere waterstanden overstroomt en vermindert daarmee de kans op overstroming van Bunde vanuit de Geul en waarschijnlijk ook van de dorpen ten noorden van Bunde.²⁰
- Het vergroot de capaciteit van de sifon. Uit de analyses in hoofdstuk 4 blijkt dat het debiet door de sifon afneemt wanneer de waterstanden op de Maas hoog zijn. Bij een Maaswaterstand van 44 m+NAP, zoals in juli 2021, is de maximale capaciteit van de sifon beperkt tot 85 m³/s (zonder verstopping). Wanneer door de aanleg van dijken de waterstanden bovenstrooms van de sifon 0.3 m hoger mogen worden, neemt de capaciteit van de sifon met 15% toe (tot ruim 90 m³/s). Een bedijking van 1.3 m zal de capaciteit doen toenemen met 60% (tot ongeveer 110 m³/s). Zie hiervoor ook Figuur 4.7.

Bedijking kent echter ook nadelen. Het leidt tot lokaal hogere waterstanden, waardoor het gebied ten zuiden van de Geul meer zal overstroomen. Dit zou gevolgen kunnen hebben voor Kasteel Meerssenhoven en voor industriegebied Beatrixhaven. Bedijking aan weerszijde van de Geul kan dit voorkomen, maar leidt wel tot nog hogere waterstanden. Ook bovenstrooms zullen de waterstanden toenemen. De afstand waarover deze bedijking zou moeten worden aangelegd is niet berekend, maar is indicatief aangegeven met een stippellijn in Figuur 6.1.



Figuur 6.1 Locatie van bedijking rondom de Geul

²⁰ Of overstroming daar geheel voorkomen wordt is afhankelijk van de bijdrage van kwel vanuit de Maas, lokaal grondwater en uittredend grondwater in het Bunderbos.

6.2 Buffer of retentiegebied

Een buffer of een retentiegebied biedt de mogelijkheid om veel water op te slaan. Zo kunnen hoogwaterstanden worden afgetopt. Figuur 6.2 geeft een voorbeeld van een buffer met een oppervlakte van 300.000 m². Hoeveel water hierin geborgen kan worden is afhankelijk van de waterdiepte. Bij de huidige hoogteligging kan hier maar een zeer klein volume geborgen worden. Als deze buffer genoeg water zou moeten kunnen bergen om overstromingen tijdens een hoogwater zoals dat van juli 2021 te voorkomen, zou een diepte van 4 meter noodzakelijk zijn. Hiervoor zou het maaiveld fors moeten worden verlaagd en moet tevens worden voorkomen dat het gebied zich opvult met grondwater en regenwater. Dit lijkt niet realistisch, waardoor een veel groter oppervlak noodzakelijk zou zijn.

Waterberging in een buffer kan mogelijk meer kansen bieden wanneer het deel uitmaakt van een pakket aan maatregelen, bijvoorbeeld in combinatie met bedijking. Door de waterberging hoeven de dijken (iets) minder hoog te worden.



Figuur 6.2 Schets van een buffer met een oppervlak van ongeveer 300.000 m². De locatie is enkel indicatief om aan te geven hoe groot dit oppervlak is

6.3 Waterafvoer naar het Julianakanaal

Bij extreme situaties, zoals deze zich afgelopen zomer hebben voor gedaan, bestaat de mogelijkheid om water af te voeren naar het Julianakanaal. Dit zou bijvoorbeeld kunnen door middel van een sifon (of hevel)²¹ van de Geul over de dijk heen, naar het Julianakanaal. Als een sifon eenmaal gevuld is met water kan deze verder stromen zonder extra energie. Een pomp is dus alleen nodig om de stroming op gang te krijgen. Een sifon of hevel naar het Julianakanaal kan werken zodra de waterstand op de Geul hoger is dan de waterstand op het kanaal (44.1 m+NAP). Dit zou werken via enkele buizen in combinatie met een verplaatsbare of permanente pomp. Het benodigde doorstroomoppervlak is even groot als een uitbreiding van de sifon of duiker onder het Julianakanaal door, en vermoedelijk goedkoper. Het voordeel van een sifon is dat geen (afsluitbare) coupure in de bedijking van het Julianakanaal hoeft worden aangebracht.

²¹ De sifon onder het Julianakanaal door is formeel een 'inverted siphon' of duiker. Een hevel loopt omhoog. De werking is vergelijkbaar met het slangetje waarmee men bijvoorbeeld een aquarium leeg kan laten lopen in een lager staande emmer. De slang hangt in het aquarium. Nadat men even aan het andere uiteinde van de slang heeft gezogen begint het water vanzelf te stromen. Dit gaat net zo lang door totdat het aquarium leeg is, of totdat de waterstand in het aquarium gelijk is aan de waterstand in de emmer.

Onder vrij verval afvoeren op het Julianakanaal zou ook kunnen door een grote (afsluitbare) duiker door de kade van het Julianakanaal te leggen. Zodra het peil op de Geul hoger is dan op het Julianakanaal (normaal 44.1 m+NAP) treedt de duiker in werking. Het voordeel is dat geen pomp nodig is om de stroming op gang te brengen. Afhankelijk van de exacte vormgeving zou alleen een afsluiter of schuif geopend moeten worden. Het nadeel van deze maatregel is dat de duiker moet worden aangebracht in het dijklichaam, wat vaak als een groot risico wordt gezien, zeker bij aanleg. Mogelijk kan men ervaring opdoen bij de aanpassing van de sifon van de Geleenbeek. Daar wordt in de toekomst een extra duiker of onderdoorgang aangebracht die op de bodem van het kanaal komt te liggen. Deze duiker (afmeting circa 5 x 2,50 meter) moet ook door het dijklichaam van het kanaal worden aangebracht.

Wanneer langs de Geul ook dijken worden aangelegd, zal de waterstand op de Geul toenemen. De mogelijkheden om naar het Julianakanaal af te wateren nemen dan ook toe.

Om na te gaan hoeveel water op deze manier op het Julianakanaal geloosd zou kunnen worden, is gekeken naar de afvoercapaciteit van dit kanaal. Tijdens het hoogwater van juli 2021 is de inlaat bij Keersluis Limmel tijdelijk gesloten, terwijl bij sluis Born volop werd gespuid. In slechts 4 uur daalde de waterstand van 44.1 m+NAP naar 43.9 m+NAP. Dit komt overeen met een volume van 300.000 m³. Dat geeft een afvoer van 20 m³/s. Ter vergelijking: dat is vrijwel gelijk met doordeweekse condities waarbij water 'verloren' gaat door schutten van de scheepvaart. Dit doet vermoeden dat een afvoer van 20 m³/s mogelijk zou kunnen zijn.

Men zou tevens kunnen verkennen of het peil op het Julianakanaal bij hoge Maasafvoer kan worden verlaagd. Dat heeft als voordelen dat de hevel eerder kan worden ingezet (al bij lagere waterstanden op de Geul) en dat de afvoercapaciteit van de hevel toeneemt. Tijdens het hoogwater van juli 2021 is een verlaging van het peil op het Julianakanaal naar 43.9 m+NAP gerealiseerd. Dit leverde geen problemen op voor keersluis Limmel (Koelewijn en Roks, 2022).

6.4 Stroomprofiel loop van de Geul ten westen van het Julianakanaal

De waterstanden bovenstrooms van de sifon kunnen verlaagd worden, door maatregelen te realiseren aan de benedenstroomse zijde. Een mogelijke maatregel betreft het vergroten van de capaciteit van de Geul, of het uitstellen van het moment dat deze over de rechter oever overstroomt. Uit de analyse blijkt dat de waterstanden in de Geul ten westen van het Julianakanaal bij de piek van het Maashoogwater volledig werden bepaald door de waterstand in de Maas. In de periode daarvoor werden de waterstanden echter al hoog opgestuwd door de afvoer in de Geul, en begon de overstroming aan de bovenstroomse zijde al. Bij een hogere capaciteit van de Geul zou dit moment pas later zijn gekomen.

Een verhoging van de capaciteit van de Geul zou dus enkel zinvol zijn voor de situaties dat de waterstanden op de Maas niet extreem hoog zijn. Door te zorgen dat inundatie richting het noorden al bij lagere afvoeren kan gebeuren wordt de afvlakking (nu bij 43.8 m+NAP) verder verlaagd.

Bij extreme hoge waterstanden op de Maas is deze maatregel niet effectief. De opstuwing vanuit de Maas is dan dominant. Deze maatregel zou daarom nauwelijks invloed hebben gehad op de maximale waterstanden bovenstrooms van de sifon tijdens het hoogwater van juli 2021. Bij de start van de overstroming – toen de Maas laag stond en de afvoer in de Geul maximaal was – had deze maatregel de waterstanden wel kunnen verlagen, maar vermoedelijk de overstroming niet kunnen voorkomen.

6.5 Onderhoud sifon en houtvang bovenstrooms

Zoals uit de analyses van paragraaf 4.3 is gebleken, hebben verstoppingen van de sifon effect op de afvoer door de sifon en op de waterstanden bovenstrooms. Op basis van metingen kan de onderhoudsstatus van de sifon gemonitord worden, zodat op tijd kan worden ingegrepen. Momenteel lijken de metingen onvoldoende om deze analyse uit te voeren (zie Bijlage B.2).

Mogelijk kan voor het verwijderen van slib gebruik gemaakt worden van doorspoeling van de sifon: 'flushing'. Door de volledige Geul-afvoer gedurende enige tijd te concentreren door een enkele koker wordt een hogere stroomsnelheid verkregen, waardoor neergeslagen slib weer weg kan spoelen. De sifon krijgt hiermee een beter zelfreinigend vermogen. De effectiviteit van deze maatregel kan met een analytische beschouwing verkend worden.

Bij dit onderhoud moet onderscheid gemaakt worden tussen de verstopping van de sifon (de onderkant van de 'u') en het drijfhout dat zich tijdens het hoogwater verzamelt bij de inlaat van de sifon. Met name deze eerste verstopping lijkt een sterke bijdrage geleverd te hebben aan de opstuwing tijdens het hoogwater. Het effect van de opstuwing door het drijfhout is in deze rapportage niet berekend. Echter, doordat dit zich vooral aan het wateroppervlak bevindt, was deze bijdrage aan de totale opstuwing naar verwachting beperkt.

Om te kunnen beoordelen welke capaciteit de sifon zou moeten hebben (en dus antwoord te geven op de vraag of vergroting van de sifon noodzakelijk is), is een probabilistische berekening noodzakelijk. Bij deze berekening moet rekening worden gehouden met de kansen op hoogwater op de Geul en op de Maas en de kans dat deze samenvallen. Wanneer de Maaswaterstand laag is, lijkt de capaciteit van de huidige sifon net voldoende om bij goed onderhoud de veiligheid bij een T100-afvoer op de Geul te kunnen garanderen. Bij een hogere waterstand op de Maas kan dit anders uitpakken.

Zoals eerder opgemerkt kan ook worden overwogen om niet het doorstroomoppervlak van de huidige sifon onder het Julianakanaal te vergroten, maar de capaciteit te verhogen door het peil te verhogen (bedijking rondom de Geul) of door te werken met een hevel.

6.6 Vergroten capaciteit sifon

De sifon onder het Julianakanaal is aangelegd aan het eind van de jaren 1920 (het ontwerp is uit 1927). Onbekend is of de technische of functionele²² levensduur van dit object in de toekomst bereikt gaat worden en daarbij verdergaande renovatie of vervanging noodzakelijk is. Als zo'n vervanging uitgevoerd zou worden, wordt aanbevolen het benodigde doorstroomoppervlak van deze sifon nogmaals te beschouwen en mogelijk uit te breiden.

²² Door onderzoek van Natuurbalans (2020) blijkt dat de huidige sifon geen vismigratiebarrière vormt voor rheofiele (stromingminnende) vissoorten.

6.7 Compartimentering

Door de inrichting van het gebied Bunde – Broekhoven heeft deze extreme gebeurtenis relatief grote overlast veroorzaakt. Doordat het water in noordelijke richting nergens werd tegengehouden kon een groot gebied overstromen. Op meerdere plekken zou een aanpassing in het gebied mogelijk al kunnen leiden tot compartimentering. Dit betreft bijvoorbeeld het (tijdelijk) afsluiten van duikers en het verhogen van wegen. Compartimentering zorgt ervoor dat in geval van een overstroming slechts een compartiment overstroomt en andere gebieden droog blijven. De wateroverlast in overstroomde compartimenten zal dan toenemen en mogelijk wordt een deel van de overstroming zelfs afgewenteld naar andere gebieden. Onderzoek is daarom nodig naar de mogelijkheden voor deze compartimentering. Deze compartimentering is niet verder onderzocht.

Opgemerkt wordt dat het bovenal wenselijk is om overstroming van de Geul richting noordelijke gebieden zoveel mogelijk te voorkomen. Waarschijnlijk is deze maatregel enkel effectief als vanuit andere functies de infrastructuur wordt onderhouden of herzien. In het ontwerp kan door rekening te houden met compartimentering dan extra veiligheid worden voorzien.

6.8 Bedijking Tussen de Bruggen

Vanuit het inundatiegebied ten zuiden van de straat Tussen de Bruggen, zijn tuinen en woningen onder gelopen. Zoals te zien is op de foto in Figuur 3.17 wordt het inundatiegebied niet begrensd door een dijkje of ander obstakel om het water tegen te houden. Om de kans op een overstroming te verkleinen overweegt een aantal bewoners om maatregelen te treffen aan de achterkant van het huis. Men zou hierbij kunnen denken aan een systeem met schotten of aan een aarden wal. Tijdens zeer extreme hoogwaters (zoals in juli 2021) zal het echter ook nodig zijn om maatregelen te treffen aan de voorkant van de woningen. In deze studie is niet onderzocht of de aanleg van een dijkje gevolgen zou hebben voor andere locaties, zoals de Molenveldweg en het zuidelijke deel van de Stationstraat.

Als aanvullende maatregel kan hier ook gekeken worden naar het beperken van de waterdiepte in het inundatiegebied. Met name de stroming via de tunnel onder de A79 (locatie 2 in Figuur 3.16) zou mogelijk voorkomen kunnen worden door het vergroten van de capaciteit van de Groene Overlaat, of het beperken van de afvoer naar de Groene Overlaat door het verhogen van de drempel. Deze maatregel is vermoedelijk niet effectief bij zeer extreme hoogwaters (zoals in juli 2021) omdat het inundatiegebied dan overstroomd wordt vanuit alle omliggende beken.

6.9 Conclusies

Met betrekking tot mogelijke maatregelen worden de volgende conclusies getrokken:

- Bedijking van de benedenloop van de Geul verkleint de kans op overstromingen van het gebied aan de oostkant van het Julianakanaal. Overstroming zal dan pas gebeuren wanneer de waterstand bij de Geulmonding hoger wordt dan de hoogte van de aangelegde dijk. Deze hogere waterstanden vergroten ook de afvoercapaciteit van de sifon. Bedijking kent echter ook nadelen. Het leidt tot lokaal hogere waterstanden, waardoor het gebied ten zuiden van de Geul (wanneer hier geen dijk wordt neergelegd) meer zal overstromen. Ook bovenstrooms zullen de waterstanden toenemen (opstuwing). Bedijking kan worden gerealiseerd als permanente maatregel (kering in grond), maar ook als tijdelijke (nood)maatregel met bijvoorbeeld big bags.

- Water kan tijdelijk worden geborgen in een buffer of retentiegebied. Echter, wanneer men op die manier de overstromingen van afgelopen zomer had willen voorkomen, was daarvoor een retentiegebied met een zeer groot oppervlak nodig geweest. In theorie kan het volume van een retentiegebied worden vergroot door het gebied af te graven, maar dan moet men zien te voorkomen dat het al vol (grond)water staat voordat de afvoerpiek op de Geul zich aandient.
- Water kan worden afgevoerd naar het Julianakanaal. Dit kan zowel via een hevel over de dijk als via een coupure in de dijk van het Julianakanaal. De eerste verkenning laat zien dat het Julianakanaal een lozing van 20 m³/s veilig af zou moeten kunnen voeren. In deze studie is niet onderzocht welke afmetingen de buizen van de hevel zouden moeten hebben.
- Omdat de afvoercapaciteit van de sifon fors afneemt als een of meer buizen geblokkeerd zijn, is het noodzakelijk onderhoud uit te voeren voordat de verstopping in de buizen te groot wordt. De extra opstuwing door drijfvuil, drijfhout en ander drijvend materiaal, kan daar bovenop beperkt worden door dit verder bovenstrooms af te vangen. De verstopping van de sifon met slib wordt hiermee niet voorkomen. De afvoercapaciteit van de sifon zou kunnen worden vergroot door de sifon te voorzien van een extra buis of duiker.
- Bedijking tussen het inundatiegebied en de woningen Tussen de Bruggen verlaagt de risico's aanzienlijk. Voor bescherming bij extreme condities dient ook de voorkant van de woningen afgeschermd te worden. Mogelijk kan de veiligheid ook vergroot worden door verbeteringen aan het ontwerp van de Groene Overlaat (afvoercapaciteit, of drempelhoogte).

7 Conclusies en aanbevelingen

7.1 Conclusies

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, ook bij de monding van de Geul, tot overstromingen en daarmee tot schade aan huizen en bedrijven. Een verslaglegging van de gebeurtenis is in de rapportage opgenomen ([onderzoeksvraag 1 en 2](#)).

Op basis van de beschikbare historische en modelmatige gegevens wordt de overschrijdingskans van de waterstanden en afvoeren in de Geul ingeschat tussen de 1:100 en 1:1000 per jaar ([onderzoeksvraag 3](#)). Doordat de meeste neerslag in het bovenstroomse deel van het stroomgebied is gevallen en er langs de Geul overstromingen hebben plaats gevonden, is het mogelijk dat de waterstanden in het benedenstroomse deel een iets grotere overschrijdingskans hadden (minder extreem waren). Geheel benedenstrooms, bij de sifon, zijn de waterstanden door opstuwing vanuit de Maas zo hoog geworden dat deze een veel kleinere kans van voorkomen hebben gehad. Hoewel de exacte kans van voorkomen niet nauwkeurig kan worden bepaald, kan wel worden gesteld dat sprake was van extreme omstandigheden ver boven de veiligheidsnorm waarop het watersysteem is ingericht.

Door de inrichting van het gebied heeft deze boven-normatieve gebeurtenis voor relatief grote overlast veroorzaakt. Doordat het water in noordelijke richting nergens werd tegengehouden kon een groot gebied overstromen. Op meerdere plekken zou een kleine ingreep in het gebied al effectief kunnen zijn voor een compartimentering van de overstroming. Deze compartimentering is niet verder onderzocht.

Door het hoogwater op de Geul zijn grote gebieden ten oosten van het Julianakanaal overstroomd. Mogelijk hebben kwel vanuit de Maas, oppervlakkige afstroming vanaf het Maasterras en uittredend grondwater in het Bunderbos hierbij ook een beperkte rol gespeeld. Ook tussen Meerssen en Rothem hebben zich overstromingen voor gedaan. Dit heeft bij onder meer Tussen de Bruggen tot schade aan huizen geleid ([onderzoeksvraag 4](#)). Ten westen van het Julianakanaal trad schade op bij kasteelhoeve Hartelstein. De overstroming daar werd vooral veroorzaakt door het hoogwater op de Maas ([onderzoeksvraag 5](#)).

De overstromingen ten oosten van het Julianakanaal werden vooral veroorzaakt door de opstuwende werking van de sifon onder het Julianakanaal ([onderzoeksvraag 6](#)). Metingen laten zien dat bij hoge afvoer op de Geul de waterstand benedenstrooms van de sifon afvlakt op 43.8 m+NAP. Uit de berekeningen blijkt dat in deze situatie de capaciteit van de sifon wordt bereikt bij een afvoer van 85 m³/s. Echter, wanneer dezelfde Geulafvoer samenvalt met een waterstand van ruim 44 m+NAP op de Maas (zoals afgelopen zomer), zijn ook de waterstanden benedenstrooms van de sifon hoger. In deze situatie wordt de capaciteit al bereikt bij 50 m³/s. Beide situaties deden zich voor bij het hoogwater van juli 2021, waardoor de overstroming bij Bunde lang voortduurde.

Met modelberekeningen is berekend hoe groot het effect van eventuele blokkades in een of meerdere buizen van de sifon kan zijn geweest. Omdat niet exact bekend was in welke mate de buizen verstopt zaten is een serie berekeningen uitgevoerd. De afvoercapaciteit is lineair afhankelijk van het aantal meestromende openingen: bij een blokkade van 2 openingen (afname van 40%), neemt ook de afvoercapaciteit af met 40%.

De overstromingen ten oosten van het Julianakanaal in juli 2021 werden vooral veroorzaakt door het water dat vanuit de Geul naar Bunde, Bommelen en Westbroek stroomde. Bij andere gebeurtenissen zou echter sprake kunnen zijn van wateroverlast door hoge grondwaterstanden of oppervlakkige afstroming vanaf de Maasterrassen ([onderzoeksvraag 7](#)). Om uitspraken te kunnen doen over de effectiviteit van maatregelen zou men idealiter exact moeten weten waar het water dat bijdraagt aan wateroverlast of overstromingen, vandaan kwam. Een waterkering langs de Geul heeft immers alleen effect wanneer de problemen niet veroorzaakt worden door grondwaterstroming vanuit de Maas, oppervlakkige afstroming van de Maasterrassen, of grote hoeveelheden uittredend grondwater in het Bunderbos. Analyses met een gedetailleerd grondwatermodel kunnen hier meer inzicht in geven.

Voor het verhogen van de hoogwaterveiligheid, kan gekeken worden naar het verhogen van de veiligheidsnorm en het realiseren van maatregelen als bedijking en verhoging van de capaciteit. Maatregelen kunnen echter ook gerealiseerd worden om de bescherming te verhogen bij boven-normatieve omstandigheden, resulterend in een robuuster watersysteem. Diverse maatregelen zijn bediscussieerd die de kans of de impact van een overstroming zouden verminderen ([onderzoeksvraag 8](#)). Samengevat betreft dit de volgende maatregelen:

- Bedijking langs de benedenloop van de Geul, direct bovenstrooms van de sifon, waardoor het moment van overstroming wordt uitgesteld en de afvoercapaciteit van de sifon toeneemt.
- Aanleg van een buffer of retentiegebied, bijvoorbeeld aan de zuidkant van de Geul nabij Bunde, om een deel van de afvoergolf tijdelijk op te slaan tot de Maaswaterstand of de Geulafvoer weer daalt. Deze maatregel moet gecombineerd worden met andere maatregelen om voldoende effectief te zijn.
- Bij hoge waterstanden afvoer onder vrij verval van de Geul naar het Julianakanaal met behulp van een hevel.
- Monitoring en onderhoud aan de sifon onder het Julianakanaal, mogelijk in combinatie met het vergroten van het doorstromend oppervlak van de sifon door aanleg van extra buizen.
- Bedijking tussen het inundatiegebied en de woningen Tussen de Bruggen die de risico's aanzienlijk verlaagt. Voor bescherming bij extreme condities dient ook de voorkant van de woningen afgeschermd te worden. Mogelijk kan de veiligheid ook vergroot worden door verbeteringen aan het ontwerp van de Groene Overlaat (afvoercapaciteit, of drempelhoogte).

7.2 Aanbevelingen

Diverse instanties zoek naar maatregelen die al op korte termijn gerealiseerd kunnen worden. Potentiële maatregelen hiervoor zijn onder meer de bedijking langs de benedenloop van de Geul en de bedijking bij de woningen Tussen de Bruggen. Aanbevolen wordt deze maatregelen nader te onderzoeken.

Geconcludeerd wordt dat onderhoud aan de sifon noodzakelijk is voor het behoud van de afvoercapaciteit. De snelheid van sedimentatie is onbekend en bovendien afhankelijk van de opgetreden afvoer en sedimentaanvoer. Door monitoring van de doorstroming van de sifon kan dit onderhoud risicogestuurd uitgevoerd worden, en kunnen inspecties op het juiste moment worden uitgevoerd. Aanbevolen wordt om onderzoek hiernaar uit te voeren.

De meting bij meetstation Meerssen (bij de Maastrichterlaan) is niet geschikt gebleken bij hoge afvoeren. Aanbevolen wordt voor deze locatie een Qf-relatie te bepalen door ook de waterstand bij de sifon of op de Maas mee te nemen in de berekening van de afvoer (zie ook paragraaf 3.3). Dit betreft een data- en modelanalyse.

Voor het bepalen van de maatgevende waterstanden in het gebied van de Geulmonding is het noodzakelijk om de kans van het samenvallen van afvoergolven op de Maas en de Geul te bepalen (zie paragraaf 3.3.4). Alleen dan kan veiligheid volgens de juiste normering worden toegepast. Het project GRADE²³ biedt goede mogelijkheden om veel verschillende soorten neerslaggebeurtenissen te onderzoeken. Met een neerslag-afvoermodel dat ook de beken in Limburg bevat zouden langjarige afvoerreeksen worden gegenereerd voor het hele Maasstroomgebied. Door analyse van de afvoeren kan een beeld worden verkregen van de kans op coïncidentie. Momenteel wordt de methode van GRADE enkel toegepast in de buitenlandse stroomgebieden van de Rijn en de Maas. Deltares is op dit moment bezig om het GRADE-model voor de Maas uit te breiden tot Mook. Dat betekent dat ook de Limburgse beeksystemen deel uit gaan maken van het model. Wanneer dit model gereed is, kan het worden ingezet om meer grip te krijgen op de kans dat piekafvoeren uit de beken samenvallen met piekafvoeren op de Maas.

Om meer te leren over de mogelijke bijdrage van grondwater aan wateroverlast in het gebied ten oosten van het Julianakanaal wordt geadviseerd om berekeningen uit te voeren met een grondwatermodel, bijvoorbeeld het model dat gebruikt is voor de MER Maaswerken (zie hoofdstuk 5). Belangrijk is dat dit model het lokale Maassysteem goed kan simuleren. Het effect van oppervlakkige afstroming van het Maasterras kan worden geanalyseerd met een model zoals 3Di of SFINCS. Aanbevolen wordt om dan in ieder geval de overstromingen en wateroverlast van 29 juni 2021 en van juli 2021 te simuleren met deze modellen. Generieker onderzoek door verschillende extreme gebeurtenissen te analyseren, geeft nog meer inzicht in de systeemwerking en is nodig voor het ontwerpen van maatregelen. Daarbij zou niet enkel moeten worden gekeken naar wateroverlast, maar ook naar de effecten van langdurige droogte.

In dit gebied zijn verschillende instanties verantwoordelijk voor het waterbeheer (provincie, waterschap, Rijkswaterstaat, gemeenten). Vanwege het complexe samenspel van grondwater en oppervlaktewater (Maas, Geul, stedelijk gebied) wordt aangeraden het onderzoek met betrekking tot grondwater en oppervlaktewater en de kans op coïncidentie gezamenlijk uit te laten voeren.

²³ Zie ook: <https://www.knmi.nl/kennis-en-datacentrum/project/knmi-grade>

Referenties

- Asselman, N., K. van Heeringen, M. Hegnauer, J. de Jong (2021) Watersysteemevaluatie en aanbevelingen maatregelen n.a.v. hoogwater juli 2021. Onderzoeksagenda & Plan van Aanpak. Deltares rapport, versie 5 november 2021.
- Bouwmeester, H., R. van de Weerd (2018) De reistijd van grondwater door verzadigde en onverzadigde zone case: Bronnen in het Bunder- en Elsloërbos. Geospace en Rechobot rapport. 2^e concept d.d. 10 juli 2018
- Consortium Grensmaas (2010) Ontwerpnoot definitief hydrologisch ontwerp. Referentie DO-IT-ENG-167-4, versie 4 d.d. 15 juli 2010
- Consortium Grensmaas (2014) Overzichtstekening Itteren. Referentie TE-IT-OVE-1489-3
- De Maaswerken (2003) Milieu-effectrapport Grensmaas 2003 – Grondwater. Rapport van De Maaswerken, Maastricht. Uitgevoerd door DHV en RoyalHaskoning
- De Jong, J.S., (2021). Ontwikkeling zesde-generatie Maas-model: Modelbouw, kalibratie en validatie. Deltares rapport 11200569-003-ZWS-0014, Versie 1.1, okt 2021
- De Wit, M., L van Hal, R. van der Veen (2004) Samenvallen hoogwaterpieken Maas en zijrivieren. Werkdocument nr. 2004.126X
- ENW (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
- Hegnauer, M., Beersma, J.J., Van den Boogaard, H.F.P., Buishand, T.A., Passchier, R.H. (2014). Generator of Rainfall and Discharge Extremes (GRADE) for the Rhine and Meuse basins: Final report of Grade 2.0. Deltares rapport 1209424-004-ZWS-0018
- Hulst, P. (2021) Totaaloverzicht functioneren metingen. Aantekening medewerker Waterschap Limburg.
- Koekkelkoren, A.M.H.C. & S. Moerman (2013) Kanjel en Gelei beek, Maastricht Gemeente Maastricht IDDS Archeologie rapport 1403. 31281111/52149 v1.5. In opdracht van Bureau Kragten
- Koelewijn, A. & E. Roks (2022) Feitenrelaas situatie bij brug Bunde tijdens hoogwater rond 16 juli 2021. Deltares rapport 11206820-004-GEO-0005 v1.2 d.d. 21 januari 2022
- Kramer, N. (2021) Lage afvoeren in de Maas - Bijdrage zijrivieren. Inzicht waar het water van de Maas vandaan komt. RIWA en Deltares rapport. ISBN 9789083075945
- Meijer, D. & R. Agtersloot (2021) Evaluatie Hoogwaterveiligheid. Gemeenschappelijke Maas. Een analyse naar de hoogwaterveiligheid in de afgelopen decennia en een vooruitblik naar de toekomst. RiQuest en AHA rapport P0010.24 /107.03 v1.0 d.d. 20 mei 2021
- Natuurbalans (2020) Vier jaar telemetrisch visonderzoek in de Geul. Migratiegedrag en -patronen van een rheofiele visgemeenschap in de periode 2015-2018
- Nelissen, D. (2021) Geulle omgeving Westbroek. Aantekening medewerker Waterschap Limburg.

Provincie Limburg (2021). Omgevingskaarten wateroverlast. Te raadplegen via:
<https://www.limburg.nl/onderwerpen/omgeving/omgevingsverordening/>

Rijkswaterstaat (2020). Betrekkingslijnen 2020-2021

Rijkswaterstaat (2022). Persoonlijke communicatie met RWS-ZN tussen 17 februari en 1 maart 2022

Slomp, R. & M. Bottema (2021) A summer discharge higher than all observed winter discharges for the Meuse river | July 2021. Concept v0.91 d.d. 20 October 2021

Van der Veen, R. (2021). Topafvoeren hoogwater Maas juli 2021. Rura-Arnhem rapport P210910R v2.0 d.d. 16 december 2021

Van Heeringen, K.J., G. Verhoeven en W. Van Deursen (2009) Modelleren Geul. Beschrijving modelschematisering. Deltares rapport Q4548.00

Van Heeringen, K.J., N. Asselman, A. Overeem & J. Beersma (2022) Analyse overstroming Valkenburg - Watersysteemevaluatie Waterschap Limburg. Deltares rapport 11207700-000-ZWS-0014 concept

Van Winden, A. (2016) Grensmaas: grensverleggend. Eindplan Locatie Itteren. DO-GM-PLA-0070-1 d.d. 21 december 2016

Van Winkel (2021) Rondetafel gesprek overstromingen Zuid Nederland juli 2021. Kasteelhoeve Hartelstein Itteren Maastricht.

Vermulst, J.A.P.H (2014) Watersysteemtoets Geul, Geleenbeek en Roer. RHDHV rapport BD1336/R00002/501329/AH/Eind

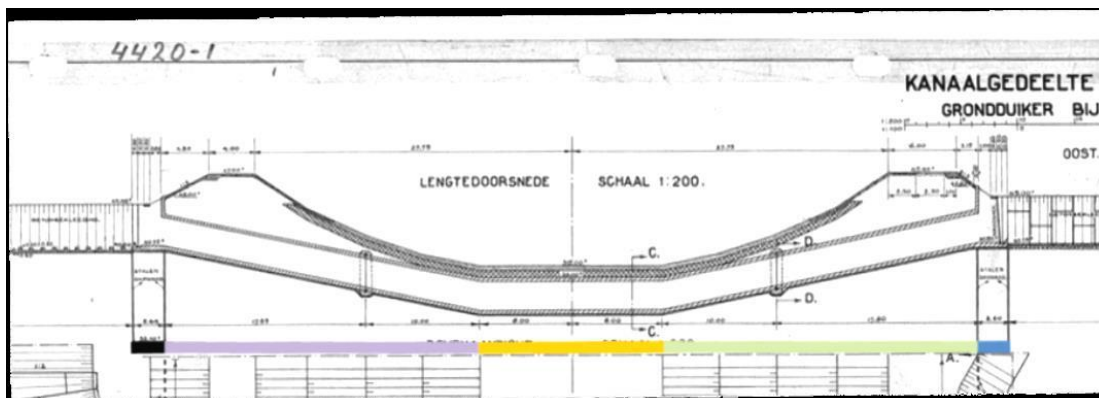
Waterschap Limburg (2019) Ontwerp-Projectplan Waterwet. project herinrichting Kanjel en Gelei. Doc. nr. 2018-D167425, vastgesteld op 16 april 2019

A Verslag veldbezoek Meerssen 4 februari 2022

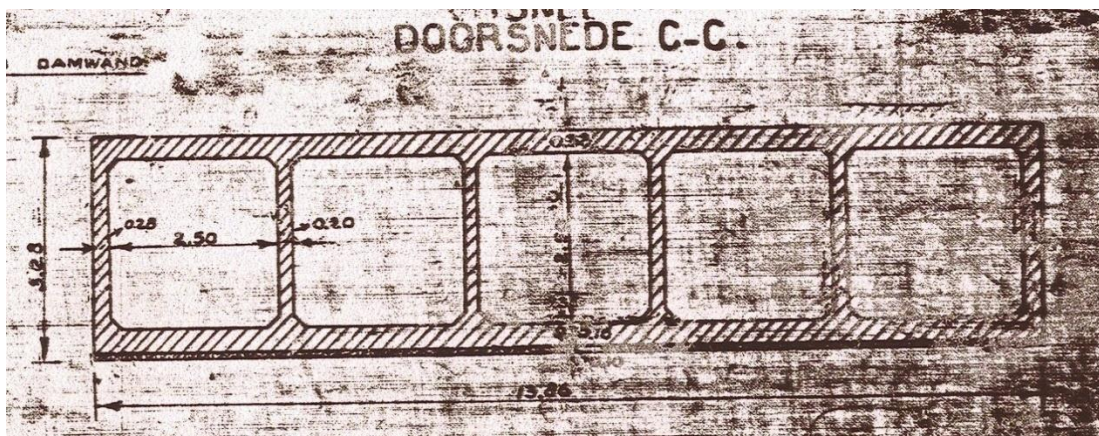
Bijgevoegd als losse PDF.

B Sifon Julianakanaal

B.1 Technische tekeningen



Figuur B.1 Technische tekening van de sifon onder het Julianakanaal. Dit betreft een kopie uit Natuurbalans (2020) met de beschrijving: Lengtedoorsnede van de in totaal 76 m lange sifon die de Geul onder het Julianakanaal door leidt. De ingang van de sifon loopt 2,6 m horizontaal (blauw). Vervolgens stroomt het water over een lengte van 27 m naar beneden (groen) gevolgd door een horizontaal deel van 16 m. Daarna stroomt het water 27 m omhoog (paars) en stroomt het water in een horizontaal deel van 2,6 m uit de sifon (zwart) (Bron: tekening LBAN 1927-8046). De stroomrichting is van rechts naar links.



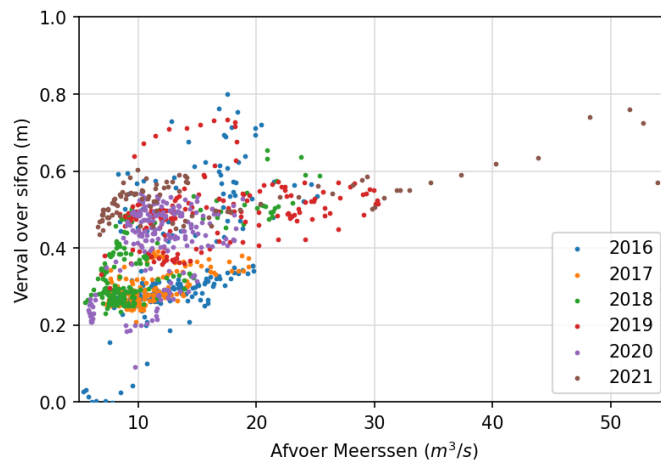
Figuur B.2 Doorsnede van de Geulmonding. Detail van tekening LBAN 1927-8046.

B.2 Analyse metingen

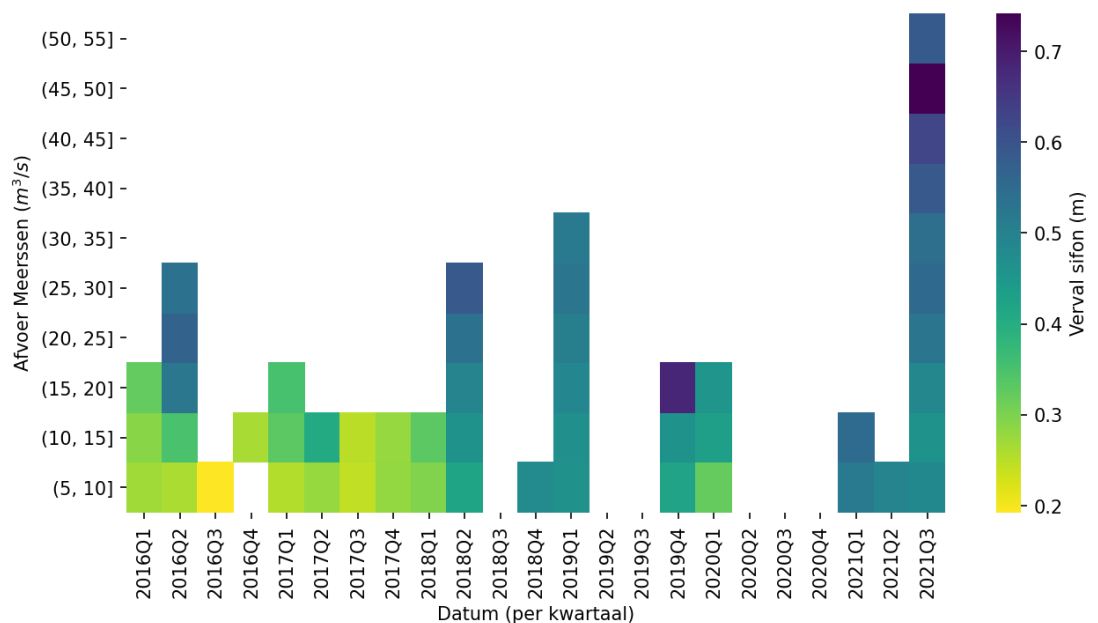
Een analyse is uitgevoerd van de metingen rondom de sifon. De data bevatten gegevens vanaf 2016 tot 2021. De metingen direct boven- en benedenstrooms van de sifon registreren enkel vanaf boven een drempelwaterstand, waardoor enkel bij verhoogde afvoer bij de Geul of Maas metingen worden afgegeven. Op basis van de analyse in onderstaande figuren wordt het volgende geconcludeerd:

- Er is geen kwadratische verhouding te zien tussen het verval en de afvoer van de recente jaren.
- Zelfs bij een lage afvoer van $5 \text{ m}^3/\text{s}$ is in recente jaren nog een verval van 0.5 m over de sifon.
- Er lijkt een trend zichtbaar te zijn waarbij het verval over de jaren toeneemt.

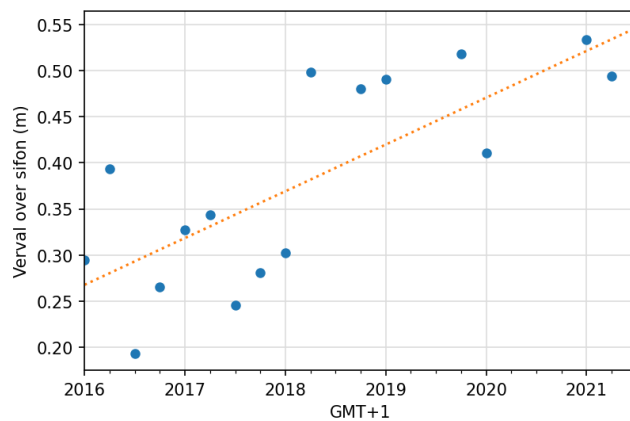
- Bovenstaande trend kan verklaard worden door het toenemen van verstopping van de sifon, of door afwijkingen in de metingen. Vanwege het grote verval bij lage afvoer is dit laatste het meest waarschijnlijk. Om deze reden is besloten geen gebruik te maken van deze metingen in de beschouwing over de sifon.
-



Figuur B.3 Verval over de sifon afgezet tegen de afvoer bij Meerssen voor metingen tussen 2016 en 2021



Figuur B.4 Verval over de sifon als functie van de datum (horizontale as, per kwartaal) en per afvoer Meerssen



Figuur B.5 Gemiddelde verval over de sifon per kwartaal. Inclusief lineaire trend

C Foto's

C.1 Algemeen



Figuur C.1 Stroomafwaartse locatie van de sifon onder het Julianakanaal. Bron: Natuurbalans (2020)



Figuur C.2 Bovenstroomse zijde van de brug Maastrichterlaan over de Geul. Locatie waterstandsm Meetpunt 186. Bron: <https://www.waterstandlimburg.nl/>

C.2 HW2021

C.2.1 Helikopterfoto's 16 juli 2021

Door het Waterschap Limburg zijn op 16 juli foto's gemaakt vanuit een helikopter. Dit is ruim een dag na het bereiken van de hoogste waterstanden. Volgens meetstation Meerssen zijn de waterstanden tot 10:00 uur in de ochtend nog vrijwel gelijk aan de piek.



Figuur C.3 Overstroming Westbroek. Foto #60 van 16 juli 2021, vanuit noordwesten



Figuur C.4 Overstroming Brommelen. Foto #62 van 16 juli 2021 vanuit het noordwesten



Figuur C.5 Overstroming Brommelen. Foto #50 van 16 juli 2021 vanuit het zuidwesten



Figuur C.6 Overstroming Brommelen. Foto #54 van 16 juli 2021, vanuit het zuidoosten



Figuur C.7 Overstroming Bommelen, detail van centrum. Foto #53 van 16 juli 2021, vanuit het zuidoosten



Figuur C.8 Overstroming Bommelen. Foto #56 van 16 juli 2021, vanuit het noord-oosten



Figuur C.9 Overstroming Bunde, rondom de Meerstraat. Foto #65 van 16 juli 2021, vanuit noorden



Figuur C.10 Overstroming Bunde, rondom de Hoekerweg. Foto #66 van 16 juli 2021, vanuit noorden



Figuur C.11 De Geul ten westen van Maastrichterlaan . Foto #67 van 16 juli 2021, vanuit zuiden



Figuur C.12 De Geul ten oosten van Maastrichterlaan . Foto #68 van 16 juli 2021, vanuit westen

C.2.2

Luchtfoto's Kavel10

In opdracht van Rijkswaterstaat is door Kavel10 het gehele Maasdal gefotografeerd tijdens de piek van het hoogwater.



Figuur C.13 Overstroming van hoeve Hartelstein

C.2.3

Foto's sifon na hoogwater



Figuur C.14 Drijfvuil bij de inlaat van de sifon na afloop van het hoogwater. Foto ontvangen van Waterschap Limburg

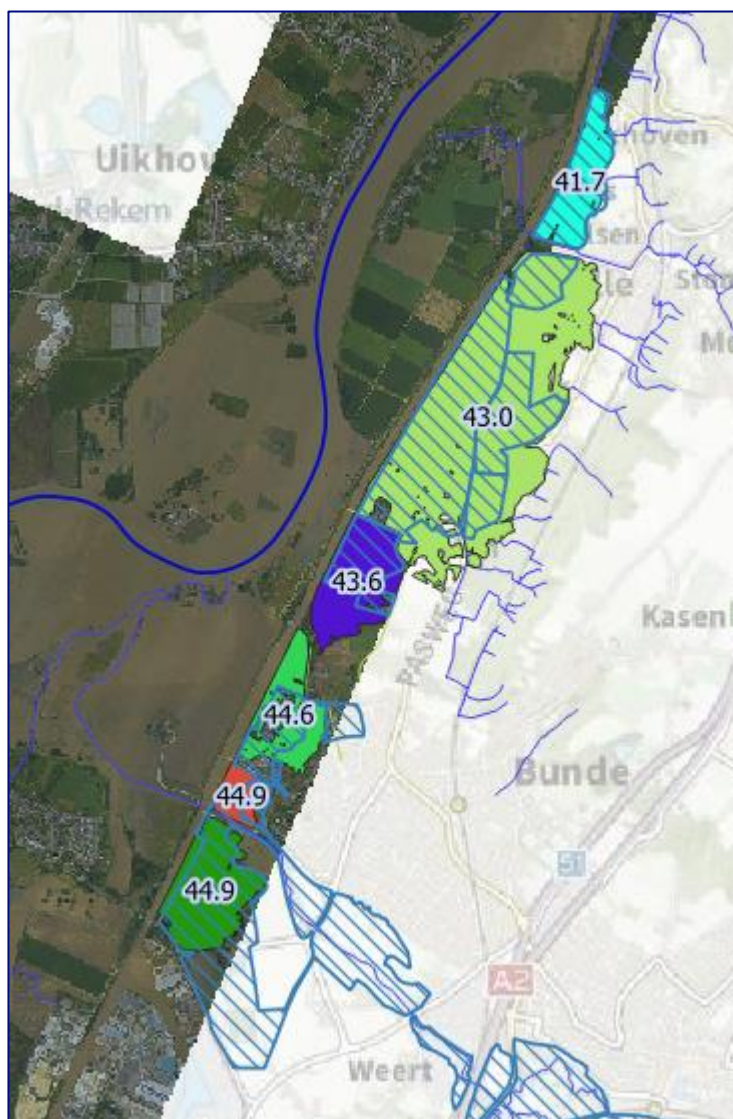


Figuur C.15 Drijfvuil bij de inlaat van de sifon na afloop van het hoogwater. Foto ontvangen van Waterschap Limburg

D Overstroomd gebied

Het gebied bij Bunde, Brommelen en Westbroek is overstroomd als een in-serie-geschakelde reeks van badkuipen. Om een inschatting te maken van het volume van het water in het overstroomd gebied, is het gebied onderverdeeld in deelgebieden. Deze deelgebieden worden van elkaar gescheiden met behulp van drempels, zoals bijvoorbeeld een weg. Voor ieder van deze deelgebieden wordt voor het hoogtemodel berekend welk deel van het gebied bij een gegeven waterstand onder water zou staan. De inschattingen van deze waterstanden komen uit inschattingen van de waterdiepte door bewoners en door inspectie van luchtfoto's direct na het hoogwater. Ook is de beoordeling van het overstroomd gebied gebruikt om de waterhoogte bij te stellen.

De berekening is toegepast om een 5 m resolutie DTM van het AHN3.

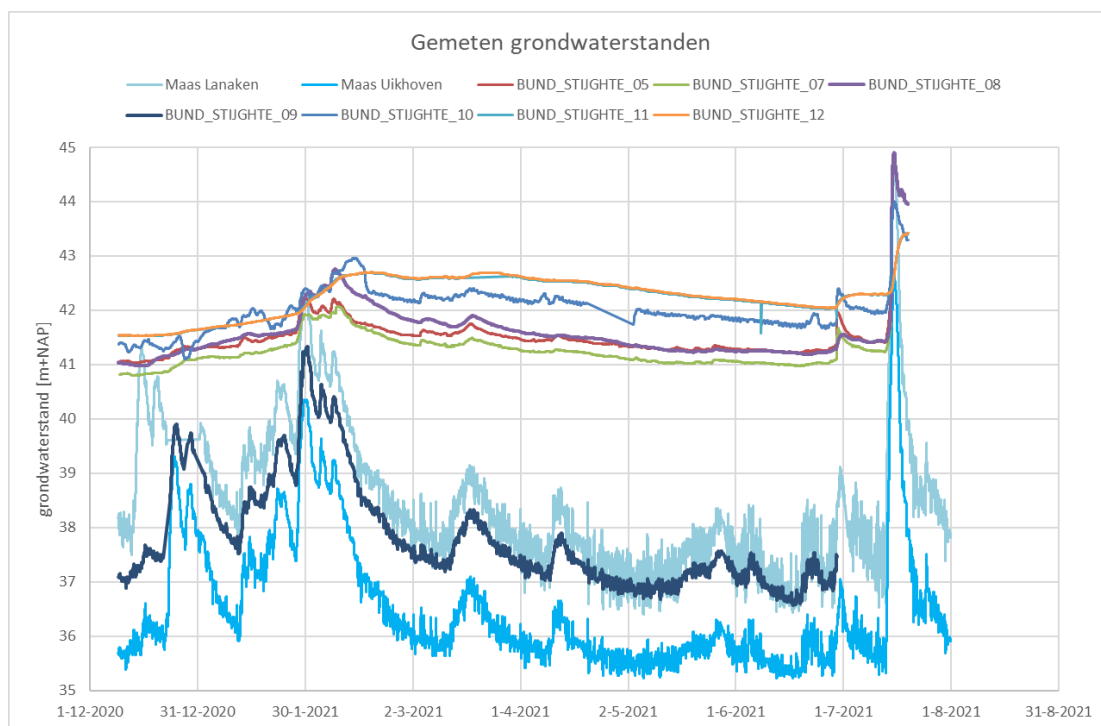


Figuur D.1 Inschatting van de compartimentering in deelgebieden. Voor ieder deelgebied is de geschatte maximale waterstand (m+NAP) gegeven. De nummering van de gebieden is van onder naar boven: S1, N1, N2, N3, N4, N6

Het volume water in de gebieden is weergegeven in de onderstaande tabel.

	niveau (m+NAP)	Oppervlakte (x1000 m ²)	Volume (x1000 m ³)
S1	44.9	230	110
N1	44.9	62	16
N2	44.6	151	54
N3	43.6	210	129
N4	43.0	1009	709
N6	41.7	151	82
Totaal		1813	1100

E Grondwaterstanden



Figuur: Oppervlaktewater op de Grensmaas bij 2 stations, en grondwaterstanden bij 7 stations

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