

Evaluatie hoogwater juli 2021



Datum 8 november 2022
Status definitief, versie 1.0
Project P0047.3

Het EMfloodResilience-project wordt uitgevoerd in het kader van Interreg V-A Euregio Maas-Rijn en wordt voor 90% gefinancierd uit het Europees Fonds voor Regionale Ontwikkeling.

	Naam	Paraaf	Datum
Auteurs	Drs. R.C. Agtersloot		08-11-2022
	Ir. D.G. Meijer		08-11-2022
Reviewer	Ing. J. Verstraelen		
Vrijgave	Ir. P. Agotha		

Inhoud

1	Achtergrond.....	1
1.1	Inleiding.....	1
1.2	Aanpak.....	1
1.3	Uitgangspunten en randvoorwaarden.....	1
1.4	Leeswijzer.....	2
2	Correctie WAQUA-model t.b.v. HW2021.....	3
2.1	Toelichting op de vraag.....	3
2.2	Achtergrond bij de simulaties met het WAQUA-model J21_5-v1.....	3
2.2.1	Kalibratie en verificatie van het WAQUA-model.....	3
2.2.2	Geometrische situatie j21_5-v1.....	3
2.2.3	Randvoorwaarden voor de simulaties.....	4
2.3	Beschrijving ruwheidsvarianten.....	5
2.3.1	Basis (roughcombination-maas-2015_5-v3).....	6
2.3.2	Variant (roughcombination-maas-2015_5-v3-RC_06).....	6
2.4	Vergelijking resultaten simulaties HW2021.....	8
2.5	Conclusies.....	9
3	Invloed Monsin op Maasafvoer.....	10
3.1	Inleiding en toelichting op de vraag.....	10
3.2	Beschrijving onderhoudssituatie bij stuw Monsin.....	10
3.3	Beschrijving oplossingen tijdens hoogwater.....	11
3.4	Wat als Monsin niet in onderhoud zou zijn geweest?.....	14
3.5	Wat als er geen noodmaatregelen waren uitgevoerd?.....	15
3.6	Samenvatting en nadere beschouwing.....	16
4	Hoogwaterveiligheid: berekende en feitelijke situatie.....	17
4.1	Toelichting op de vraag.....	17
4.2	Berekende waterstanden en kruinhoogtes waterkeringen per locatie.....	17
4.2.1	Beschikbare waakhoogte.....	17
4.2.2	Heugem en Randwyck (Maastricht-Oost).....	18
4.2.3	Binnenstad en Boschpoort (Maastricht-West).....	19
4.2.4	Uikhoven en Geulle aan de Maas.....	20
4.2.5	Kotem.....	21
4.2.6	Vucht, Maasband en Mazenhoven.....	22
4.2.7	Grevenbicht-Schipperskerk.....	24
4.2.8	Heppeneert, Maaseik, Visserweert en Roosteren.....	24
4.2.9	Aasterberg.....	27
4.2.10	Stevensweert.....	28
4.2.11	Wessem.....	29
5	Conclusies en aanbevelingen.....	30
5.1	Correctie WAQUA-model t.b.v. HW2021.....	30
5.2	Invloed Monsin op Maasafvoer.....	30
5.3	Hoogwaterveiligheid: berekende en feitelijke situatie.....	31

Figuren

Figuur 2-1	Tijdreeks St. Pieter met aangepaste QH-relatie en afvoer Ternaaien (Veen e.a., 2021b)	4
Figuur 2-2	Geconstrueerde tijdreeksen van enkele zijrivieren / instromingen van de Maas (Veen e.a. 2021b).....	4
Figuur 2-3	Basisruwhedenset voor de Maas, K-waarden (Nikuradse in m) per traject en per afvoerniveau	7
Figuur 2-4	Gewijzigde ruwhedenset voor de Maas, K-waarden (Nikuradse m) per traject en per afvoerniveau.....	7
Figuur 3-1	Stuw Monsin en elektriciteitscentrale in normale bedrijfstoestand (Zeimetz e.a., 2021)	10
Figuur 3-2	De dam op 16 juli, met vier stuwdeelen in de steigers (foto: Laura Hollange; bron: Het Belang van Limburg, 21 november 2021)	11
Figuur 3-3	Situatieschets tijdens hoogwater (14 – 17 juli 2021), bron: Zeimetz e.a., 2021	12
Figuur 3-4	Afvoerreksen in St. Pieter (Maastricht), Eijsden en Haccourt (bron: waterinfo.nl en Peters, 2022)	13
Figuur 3-5	Waterstandsreeksen bij Marhexe, Eijsden en St. Pieter	15
Figuur 4-1	Berekende beschikbare waakhogten bij Heugem en Randwyck (HW2021).....	18
Figuur 4-2	Maastricht-Oost: oproep aan 6500 bewoners van Heugem en Randwyck om hun woningen te verlaten (15 juli 2021), bron: 1L.....	19
Figuur 4-3	Maastricht-West: waakhogten onder 0 m (berekend), conclusie onjuist door te lage kruinhoogten	19
Figuur 4-4	Uikhoven en Geulle aan de Maas: enkele kritieke locaties (berekend)	20
Figuur 4-5	Kritisch dijktraject langs Kotem (berekend)	21
Figuur 4-6	In Kotem lijkt het water bijna gelijk te lopen met de boord van de dijk (bron: HLN, 2021)	21
Figuur 4-7	Het plaatsen van zandzakken heeft instroming van Kotem in de nacht van 16 juli 2021 voorkomen. De volgende dag zakt het water al (bron: HLN, 2021)	22
Figuur 4-8	Kritische locaties bij Maasband en Mazenhoven (berekend).....	22
Figuur 4-9	Het water bij Vucht stond in de avond al dicht bij de kruin van de dijk (15-7-2021) (bron: HLN, 2021).....	23
Figuur 4-10	Kritische locaties bij Grevenbicht en Schipperskerk (berekend)	24
Figuur 4-11	Kruinhoogtetekort bij Heppeneert en Roosteren, kritische locaties bij Maaseik en Visserweert (berekend).....	25
Figuur 4-12	Noodmaatregelen bij Heppeneert (rkm 50 links), bron: NOS, 2021.....	26
Figuur 4-13	Kritieke waterstanden bij Visserweert (bron: Leinders, 2021)	26
Figuur 4-14	Kritieke waterstanden en noodmaatregelen bij Maaseik (bron: De Limburger, 2021)	26
Figuur 4-15	Maaseikerweg, 16 juli 2021.....	27
Figuur 4-16	Kritische locaties bij Aasterberg (berekend)	27
Figuur 4-17	Waakhogtetekort bij Stevensweert (berekend, in de praktijk niet bevestigd)	28
Figuur 4-18	Waakhogtetekort bij Wessem (berekend)	29
Figuur 4-19	Noodversterking te Wessem door Defensie (17 juli 2021), bron: Nederweert24....	29

Tabellen

Tabel 2-1	Overzicht gebruikte data in WAQUA-simulatie (Veen e.a., 2021b).....	5
Tabel 2-2	Resultaten simulatie met basisruwhedenset.....	8
Tabel 2-3	Resultaten simulatie met gewijzigde ruwhedenset.....	9
Tabel 3-1	Maximale waterstand bij Marhexe volgens 4 scenario's (bron: Peters, 2022)	14

1 Achtergrond

1.1 Inleiding

In juli 2021 was in het stroomgebied van de Maas sprake van extreme neerslag tot lokaal circa 200 mm in 48 uur. Dit leidde tot aanzienlijke overstromingen langs een groot aantal zijrivieren van de Maas (Vesdre, Ourthe, Ahr, Lesse, Amblève, Geul en Roer) en de hoogst gemeten afvoer (3.310 m³/s) ooit bij St. Pieter. Waar langs de zijrivieren sprake was van meer dan 220 dodelijke slachtoffers en tientallen miljarden aan schade (met name in Duitsland), bleven de gevolgen voor de dorpen en steden langs de Maas beperkt tot (grote) overlast met op enkele plekken overstromingen.

Naar dit hoogwater (het ontstaan, de gevolgen in Nederland, België, Duitsland en Luxemburg, mogelijke maatregelen om herhaling te voorkomen etc.) is al een groot aantal onderzoeken gedaan. Voorbeelden hiervan in Nederland zijn het feitenonderzoek (ENW, 2021), een beoordeling van het functioneren van betrokken autoriteiten (Veiligheidsregio, Waterschap, Rijkswaterstaat), analyses achteraf (Analyse hoogwater Maas juli 2021 (Veen e.a. 2021b), 'Wat als Waterbom elders was gevallen?' (Deltares, 2021)) of een specifiek onderzoek naar één feit, zoals de stuw Monsin (Peters, 2022) of de vegetatie in de zomer (Van Dongen, 2022). In Vlaanderen zijn vergelijkbare onderzoeken uitgevoerd, bijvoorbeeld een verslag over de waterwegen in Vlaanderen (Hydrologisch Informatie Centrum e.a., 2021), een beschrijving van de hydrologische gebeurtenissen (De Vlaamse Waterweg e.a., 2021) en een analyse naar de gevolgen als de neerslag elders was gevallen (IMDC, 2022). In opdracht van de Waalse overheid is door de Universiteit Liège en adviesbureau Stucky een syntheserapport van het hoogwater opgesteld (Zeimetz e.a., 2021).

De Vlaamse Waterweg nv (DVW) heeft aan AHA en RiQuest gevraagd om een onderzoek uit te voeren, dat zich focust op het aspect van de hoogwaterstanden. Dit onderzoek is aanvullend aan de andere studies, en maakt tegelijkertijd ook gebruik van de resultaten van de andere studies.

1.2 Aanpak

In overleg met DVW is het volgende stappenplan opgesteld:

1. een simulatie van de daadwerkelijk opgetreden zomerafvoer, met een nieuwe kalibratie van de stroomgeulruwheden, en een analyse van de verschillen ten opzichte van de eerdere simulaties;
2. een beschrijving van de zomerafvoer die opgetreden zou zijn, als Monsin gewerkt had;
3. evaluatie van de overstromingsveiligheid o.b.v. de modelresultaten;
4. evaluatie van de overstromingsveiligheid o.b.v. waargenomen waterstanden en dijkovertopping (en analyse van de verschillen tussen stap 3 en 4).

1.3 Uitgangspunten en randvoorwaarden

De WAQUA-simulaties zijn uitgevoerd met het gebruikelijke 40m-rekenrooster van de Maas, maas40m_5-v3.rgf. De numerieke instellingen van het model zijn conform de kalibratie. De randvoorwaarden zijn overgenomen uit (Veen e.a., 2021b). De gebruikte SIMONA-versie is 2019, patch 8. De resultaten van deze simulatie worden niet alleen vergeleken met de gemeten waterstanden, maar dienen ook als basis voor de beoordeling van de overstromingsveiligheid.

Voor de beoordeling van de hydraulische effecten in de omstandigheden dat Monsin normaal had kunnen functioneren is gebruik gemaakt van bovengenoemd syntheserapport (Zeimetz e.a., 2021).

1.4 Leeswijzer

Hoofdstuk 2 geeft een beschrijving van de gebruikte basisgegevens (rekenrooster, randvoorwaarden, WAQUA-versie etc.) en de simulaties van het hoogwater juli 2021. De effecten van Monsin op de (piek)afvoer in de Maas komt aan de orde in Hoofdstuk 3. Hoofdstuk 4 presenteert een analyse van de hoogwaterveiligheid op basis van een simulatie, waarbij per locatie een beschrijving is opgenomen van de daadwerkelijke gevolgen van het hoogwater (stap 4 uit de werkwijze hierboven). Hoofdstuk 5 tenslotte bevat de conclusies en aanbevelingen van het voorliggende onderzoek. De gebruikte bronnen staan in Hoofdstuk 6 vermeld.

2 Correctie WAQUA-model t.b.v. HW2021

2.1 Toelichting op de vraag

Met de standaardkalibratie van het 2D-model worden voor het hoogwater van juli 2021 te lage waterstanden berekend. Een verklaring hiervoor is het feit dat de standaardkalibratie van winterruwheden in de weerden uitgaat. Het hoogwater trad in de zomer op, waarbij de ruwheden in de weerden hoger zijn. Met een gecorrigeerde versie van de ruwheden in de stroomgeul is de overeenkomst tussen metingen en berekening beduidend beter. Het voorstel is dan ook om met de gecorrigeerde versie te werken. Hierbij volgt echter wel een kanttekening.

2.2 Achtergrond bij de simulaties met het WAQUA-model J21_5-v1

2.2.1 Kalibratie en verificatie van het WAQUA-model

Om de overeenstemming tussen gemeten en berekende waterstanden zo groot mogelijk te maken moet het WAQUA-model worden gekalibreerd. De parameter waarmee wordt gekalibreerd is de ruwheid van het zomerbed (de stroomgeul). Een hogere waarde voor de ruwheid leidt tot hogere waterstanden; een lagere waarde voor de ruwheid zorgt voor lagere waterstanden. De stroomgeulruwheid is gedefinieerd op trajecten die worden bepaald door de ligging van de waterstandsmeeptpunten. Per traject wordt een constante waarde van de stroomgeulruwheid gebruikt, die nog wel afhankelijk is van de rivierafvoer op het traject.

Het WAQUA-model is voor de hoogste afvoeren gekalibreerd op het hoogwater van 1995; voor de lage en midden afvoeren is gekalibreerd op het hoogwater van 2003. Vervolgens is het model voor de hoogste afvoeren geverifieerd op het hoogwater van 1993, voor de lage en midden afvoeren is de verificatie gedaan op zowel 1993 als 1995. Door Deltares (Becker, 2012) is een complete beschrijving van de kalibratie en verificatie opgenomen.

2.2.2 Geometrische situatie j21_5-v1

Door RWS wordt in principe jaarlijks het rivierkundig model geactualiseerd. Ten tijde van het hoogwater van juli 2021 was een recentelijk geactualiseerd model beschikbaar (Veen e.a., 2021a) en met dit model zijn tijdens het hoogwater simulaties uitgevoerd om zo goed als mogelijk voorspellingen van de te verwachten waterstanden te maken.

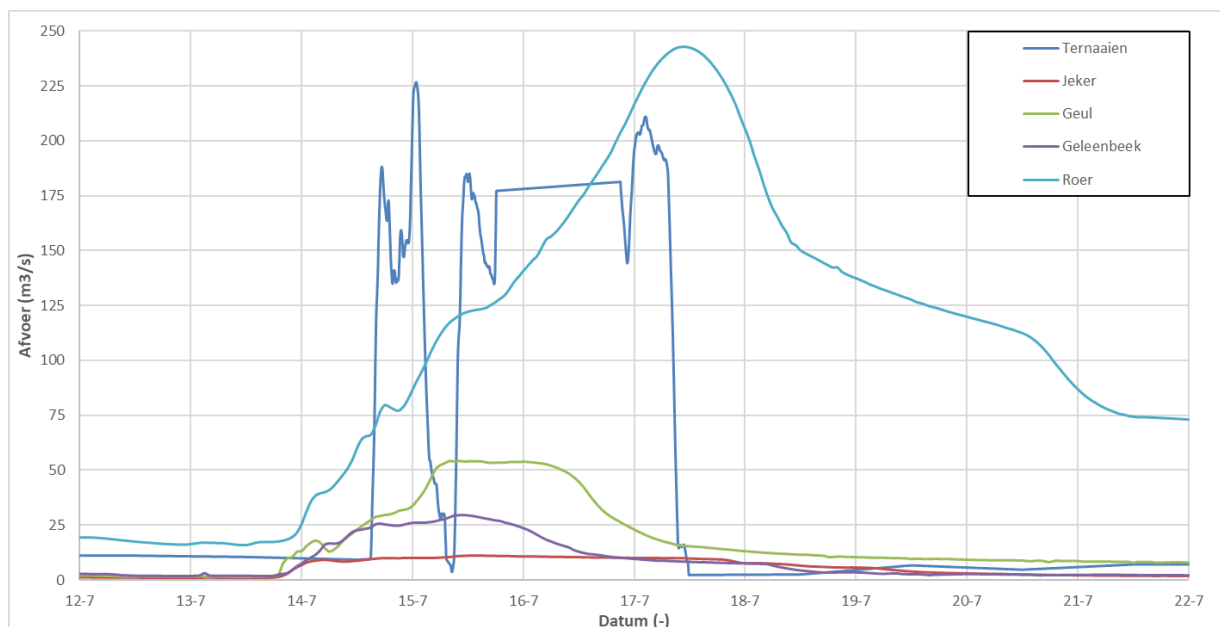
Het model j21_5-v1 bevat een (vóór het hoogwater) actuele ligging van het zomerbed (opname eind 2020 / begin 2021) in combinatie met een beeld van de gerealiseerde verruiming langs de Maas. Dit beeld van de verruiming is gebaseerd op een veldopname van eind 2020, aangevuld met een verwachting in de voortschrijdende rivierverruiming gedurende 2021. Dit betekent dat er sprake kan zijn van meer/minder verruiming in het veld dan in het model aanwezig is. Er is geen actueel beeld van de vegetatie opgenomen in het model.

2.2.3 Randvoorwaarden voor de simulaties

In opdracht van RWS is een onderzoek gedaan naar de vorm en hoogte van de afvoergolf tijdens het hoogwater van juli 2021. Dit onderzoek (Veen e.a., 2021b) heeft geresulteerd in een beschrijving van de hoogwatergolf en de vertaling hiervan naar invoer voor het hydraulisch model, zie Figuur 2-1.

Figuur 2-1 Tijdreeks St. Pieter met aangepaste QH-relatie en afvoer Ternaaien (Veen e.a., 2021b)

Naast de hoogwatergolf zelf is ook rekening gehouden met toestroming van de zijrivieren, onder meer de Jeker, Geul, Geleenbeek en Roer. Tenslotte is een schatting gemaakt van de hoeveelheid afvoer die via het Kanaal van Lanaye en sluis Ternaaien de Maas is ingestroomd (Veen e.a., 2021b). Al deze informatie is verwerkt tot invoer voor het hydraulisch model.



Figuur 2-2 Geconstrueerde tijdreeksen van enkele zijrivieren / instromingen van de Maas (Veen e.a. 2021b)

In het rapport (Veen e.a., 2021b) wordt nader ingegaan op de modellering van dit hoogwater in WAQUA. Daar worden ook de resultaten van WAQUA gepresenteerd ten aanzien van de afvoerbeschrijving bij St. Pieter en de waterstandsbeschrijving op de verschillende locaties waarvoor de piekafvoer moet worden bepaald. In de WAQUA-simulatie van het hoogwater van juli 2021 is gebruik gemaakt van de data uit Tabel 2-1.

Tabel 2-1 Overzicht gebruikte data in WAQUA-simulatie (Veen e.a., 2021b)

Randvoorwaarde	Databron	Datum tijd (MEZT)	Piekafvoer [m³/s]	Piek [m+ NAP]
Eijsden-grens	Vigerende Qf-relatie Eijsden	15-7-2021 21:50	3179	50.64
Keizersveer	Metingen H Keizersveer	20-7-2021 16:40		1.54
<i>Geul (Meerssen)</i>	<i>Waterschap Limburg</i>	<i>15-7-2021 10:00 ?</i>	<i>Ca. 87.5</i>	
Geul naar Maas	Reeks afgetopt (inundatie)		54.5	
Geleenbeek (oud-Roosteren)	Waterschap Limburg	15-07-2021 11:00	29.6	
<i>Roer (Stah)</i>	<i>Waterschap Limburg</i>	<i>16-07-2021 19:00</i>	<i>Ca. 280</i>	
Roer monding	Afvoer bij monding (SOBEK)		242.9	
Neerbeek	Hiaat opvulling conform [RURA2018] Q _{Neerbeek} uur = 0.1232*Q _{Dommel} uur-4 uur+0.197	15-07-2021 21:00	5.5	
<i>Niers (Goch)</i>	<i>LUA Düsseldorf</i>	<i>19-07-2021 11:00</i>	<i>15.1</i>	
Niers Monding	Afvoer bij monding	19-07-2021 14:00	16.5	
Aa A2 Oosterplas	Waterschap Aa en Maas	15-07-2021 23:00	51.4	
Dommel P10	Waterschap de Dommel	15-07-2021 17:00	42.7	
Dieze	Waterschap Aa en Maas	15-07-2021 23:00	86.5	
Drongelens kanaal	Waterschap Aa en Maas	21-07-2021 14:00	56.1	
Overig lateraal	LAG 2.3.0	n.v.t.	div.	
Sluis Ternaaien	Fout! Verwijzingsbron niet gevonden. ; Haccourt minus Kanne vervangt deels resultaat LAG	15-7-2021 00:50	226.7	
Jeker	Waterschap Limburg	15-07-2021 14:00	11.3	
Zuid-Willemsvaart	Waterinfo.nl	Centraal gem 7-10-min waarnemingen; vervangt etmaalgemiddelde uit LAG 2.3.0		
Julianakanaal	Waterinfo.nl	Centraal gem 37-10-min waarnemingen; vervangt etmaalgemiddelde uit LAG 2.3.0		

2.3 Beschrijving ruwheidsvarianten

Zoals beschreven in paragraaf 2.2.1 is de stroomgeulruwheid de parameter waarmee het WAQUA-model is gekalibreerd. Eerder is geconstateerd (Veen e.a., 2022) dat het standaard WAQUA-model leidt tot berekende waterstanden op de Gemeenschappelijke Maas die fors lager zijn dan de gemeten waterstanden. De oorzaak hiervan is waarschijnlijk een combinatie van factoren zoals het ontbreken van zomervegetatie (onder meer mais) op de akkers, een niet-correcte beschrijving van de aanwezige geometrie en een kalibratie parameterset die gebaseerd is op de hoogwaters van 1993 en 1995. De eenvoudigste manier om de berekende waterstanden meer in overeenstemming te krijgen met de gemeten waterstanden is het aanpassen van de stroomgeulruwheden. De volgende twee paragrafen tonen de standaardruwheidsset en de aanpassingen naar aanleiding van de verschillen.

2.3.1 Basis (roughcombination-maas-2015_5-v3)

In Figuur 2-3 zijn de K-waarden zichtbaar van de basisruwhedenset voor de Maas. Per riviertraject (verticale as) zijn vier K-waarden zichtbaar. Met welke K-waarde wordt gerekend, hangt af van de afvoer (zichtbaar als waarde in de staven). Wat in deze set opvalt, is dat op veel trajecten sprake is van lage K-waarden bij de hoogste afvoeren. Het verhogen van deze K-waarden zal betekenen dat de berekende waterstanden bij de hoogste afvoeren zullen stijgen.

Hierbij is het goed de vraag te stellen wat een afvoerafhankelijke bodemruwheid eigenlijk fysisch betekent. Extreme uitschieters duiden meestal op een verschijnsel dat niets met bodemruwheden te maken heeft, maar in de kalibratie wel met hydraulische ruwheden opgelost is. Voorbeelden daarvan zijn de hydraulische weerstand van de vrij stromende stuw Borgharen (uitgedrukt in hoge bodemruwheden bij hoge, ongestuwde afvoeren)¹, mogelijke onnauwkeurigheden in de schematisatie van drempels (uitgedrukt in hoge bodemruwheden bij zeer lage afvoeren: zie sets 7, 8 en 9)² en de stroming door de Lus van Linne, waardoor een verkorting van de afgelegde weg plaatsvindt en de invloed van de gemodelleerde stroomgeulruwheid op de waterstand afneemt (resultierend in overcompensatie, ofwel hoge bodemruwheden het hoogste afvoer bereik: zie laatste set in Figuur 2-3). De meest realistische fysieke beschrijving van de hydraulische ruwheid is de gekalibreerde waarde bij zomerbedvullende afvoer, ofwel de voorlaatste waarde (circa 1.600 m³/s) van elke set.

2.3.2 Variant (roughcombination-maas-2015_5-v3-RC_06)

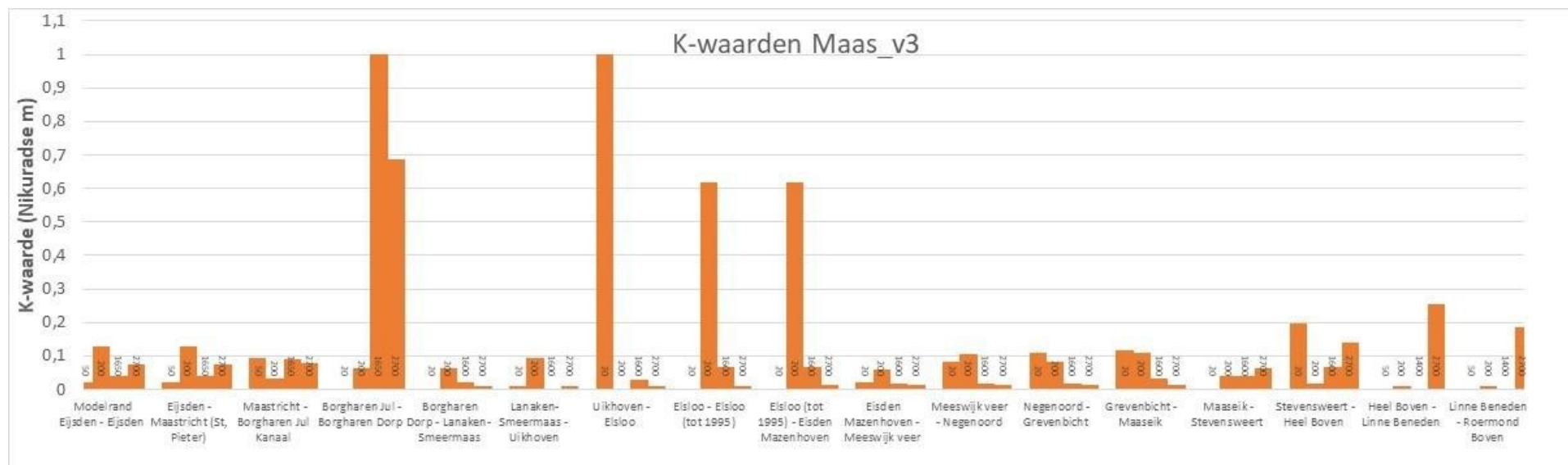
In Figuur 2-4 zijn de K-waarden zichtbaar van de gewijzigde ruwhedenset voor de Maas. De verschillende staven kunnen worden vergeleken met de staven in Figuur 2-3. Goed zichtbaar is dat vooral bij de hoogste afvoeren sprake is van hogere K-waarden.

In vervolg op de beschouwing uit paragraaf 2.3.1 zien we nu een vierde type geval van het oneigenlijke gebruik van de bodemruwheid als kalibratieparameter. Omdat de verhoogde ruwheden in de weerden (het was immers zomer) niet in het model zitten (het model bevat immers lagere winterruwheden) was het nodig om dit met hogere stroomgeulruwheden te compenseren. Hiermee zijn de afvoer en de waterstand kloppend gemaakt, maar in het model zijn de stroomgeulruwheden eigenlijk te hoog en de ruwheden van de weerden te laag. Dit resulteert in een verkeerde afvoerverdeling tussen de stroomgeul en de weerden, met een onderschatting van de stroomsnelheden in de stroomgeul en langs de oevers tot gevolg.

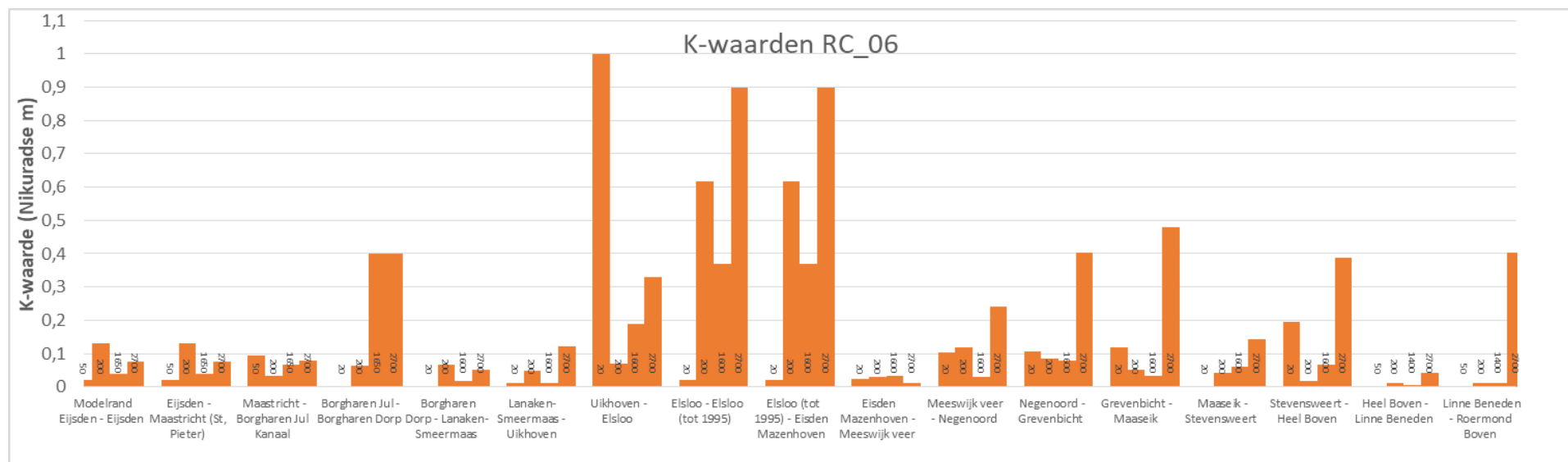
Voor de huidige gebruikspraktijk van WAQUA is dit het best haalbare. De nieuwe waterstandsresultaten zijn dan ook goed bruikbaar. Wij pleiten er echter voor om vanaf nu in de modellering uit te gaan van (hogere) hydraulische ruwheden op de weerden, die zich tijdens de zomer voordoen.

¹ Dit verschijnsel speelt mogelijk ook bij stuw Linne, zie voorlaatste set in Figuur 2-3.

² Dit verschijnsel speelt mogelijk ook bij Stevensweert, hier zijn natuurlijke drempels in de stroomgeul.



Figuur 2-3 Basisruwhedenset voor de Maas, K-waarden (Nikuradse in m) per traject en per afvoerniveau



Figuur 2-4 Gewijzigde ruwhedenset voor de Maas, K-waarden (Nikuradse m) per traject en per afvoerniveau

2.4 Vergelijking resultaten simulaties HW2021

Als eerste stap zijn de simulaties voor het HW2021 uitgevoerd met de basisruwhedenset. Dit levert de onderstaande resultaten op, waarbij de gemeten en berekende waterstanden met elkaar worden vergeleken. Duidelijk is dat de berekende waterstanden vrijwel overal (veel) lager zijn dan de gemeten waterstanden.

Tabel 2-2 Resultaten simulatie met basisruwhedenset

Locatie		Meting		Simulatie Maas_v3		Verschil in waterstand (m)
Nr.	Naam	waterstand	moment	waterstand	moment	
1	Eijsden_grens	50,64	15-07-21 20:50	50,74	15-07-21 21:00	0,10
2	Maastricht_(St,Piet)	48,10	15-07-21 22:10	48,11	15-07-21 22:50	0,01
3	Borgharen_Jul,kanaal	46,09	15-07-21 22:40	46,02	15-07-21 23:30	-0,07
4	Borgharen_dorp	45,23	16-07-21 0:20	45,02	16-07-21 1:40	-0,21
5	Lanaken_Smeermaas	44,56	16-07-21 2:00	44,28	16-07-21 2:30	-0,28
6	Uikhoven_waq	42,61	16-07-21 3:20	42,09	16-07-21 3:10	-0,52
7	Elsloo	40,95	16-07-21 2:30	40,53	16-07-21 4:00	-0,42
8	Eisden_Mazenhoven	37,77	16-07-21 5:40	37,66	16-07-21 6:00	-0,11
9	Meeswijk_veer	34,05	16-07-21 11:30	33,59	16-07-21 7:00	-0,46
10	Negenoord_waq	32,81	16-07-21 10:10	32,47	16-07-21 8:50	-0,34
11	Rotem_waq	32,42	16-07-21 10:10	32,09	16-07-21 9:20	-0,33
12	Maaseik	30,17	16-07-21 11:10	29,89	16-07-21 10:50	-0,28
13	Stevensweert_waq	25,57	16-07-21 15:50	25,48	16-07-21 13:20	-0,09
14	Heel_boven_waq	22,78	16-07-21 15:40	22,84	16-07-21 16:40	0,06
15	Linne_beneden	21,88	17-07-21 1:10	21,79	17-07-21 0:00	-0,09
16	Roermond_boven	20,68	17-07-21 6:10	20,70	17-07-21 8:10	0,02

Op basis van de verschillen uit Tabel 2-2 is in verschillende stappen onderzocht welke aanpassing op welk traject nodig is om te komen tot een betere berekening van de maximale waterstand. Het eindresultaten is opgenomen in de onderstaande tabel. Ten opzichte van Tabel 2-2 is duidelijk dat de verschillen veel minder groot zijn geworden en (vrijwel) overal minder zijn dan 10 cm, zie Tabel 2-3.

Voor een grafische weergave van de verschillen wordt verwezen naar Bijlage 1 waarin plots zijn opgenomen van de meetpunten en de berekende verschillen in topwaterstanden.

Tabel 2-3 Resultaten simulatie met gewijzigde ruwhedenset

Locatie		Meting		Simulatie RC_06		Waterstands- verschil (m)
Nr.	Naam	waterstand	moment	waterstand	moment	
1	Eijsden_grens	50,64	15-07-21 20:50	50,74	15-07-21 22:10	0,10
2	Maastricht_(St,Piet)	48,10	15-07-21 22:10	48,12	15-07-21 23:40	0,02
3	Borgharen_Jul,kanaal	46,09	15-07-21 22:40	46,04	16-07-21 0:40	-0,05
4	Borgharen_dorp	45,23	16-07-21 0:20	45,27	16-07-21 2:20	0,04
5	Lanaken_Smeermaas	44,56	16-07-21 2:00	44,57	16-07-21 3:00	0,01
6	Uikhoven_waq	42,61	16-07-21 3:20	42,56	16-07-21 3:30	-0,05
7	Elsloo	40,95	16-07-21 2:30	40,86	16-07-21 5:30	-0,09
8	Eisden_Mazenhoven	37,77	16-07-21 5:40	37,81	16-07-21 5:30	0,04
9	Meeswijk_veer	34,05	16-07-21 11:30	34,03	16-07-21 6:40	-0,02
10	Negenoord_waq	32,81	16-07-21 10:10	32,76	16-07-21 8:20	-0,05
11	Rotem_waq	32,42	16-07-21 10:10	32,35	16-07-21 8:40	-0,07
12	Maaseik	30,17	16-07-21 11:10	30,11	16-07-21 9:30	-0,06
13	Stevensweert_waq	25,57	16-07-21 15:50	25,55	16-07-21 13:00	-0,02
14	Heel_boven_waq	22,78	16-07-21 15:40	22,84	16-07-21 16:10	0,06
15	Linne_beneden	21,88	17-07-21 1:10	21,79	17-07-21 0:20	-0,09
16	Roermond_boven	20,68	17-07-21 6:10	20,64	17-07-21 10:20	-0,04

2.5 Conclusies

Om de waterstanden van het HW2021 voldoende accuraat te kunnen reproduceren met het actuele WAQUA-model J21_5-v1 zijn de stroomgeulruwheden (een kalibratie parameter in het WAQUA-model) aangepast. Dit heeft geleid tot een aanzienlijke verbetering in de overeenkomst tussen gemeten en berekende waterstanden.

Wij pleiten er echter voor om vanaf nu in de modellering uit te gaan van (hogere) hydraulische ruwheden op de weerden, die zich tijdens de zomer voordoen. Omdat het hoogste gemeten hoogwater aller tijden in de Maas tijdens de zomer is opgetreden, dient de hoogwaterveiligheid ook op deze conservatievere omstandigheid berekend te zijn. De kalibratie van de bodemruwheden in het hoogste afvoerbereik zal dan tot realistischere waarden leiden en de berekende stroomsnelheden zullen ook betrouwbaarder zijn.

3 Invloed Monsin op Maasafvoer

3.1 Inleiding en toelichting op de vraag

De stuw van Monsin ligt juist benedenstrooms van Luik, juist stroomafwaarts van de aftakking van het Albertkanaal dat tot de sluisen van Genk (41 km) een open vaarweg vormt (vergelijkbaar met stuw Borgharen ten opzichte van Maastricht en het Julianakanaal). De stuw bestaat uit zes schuiven met kleppen. Parallel ligt een elektriciteitscentrale). Als gevolg van reparatiewerkzaamheden waren bij Monsin maar twee van de zes openingen beschikbaar voor de afvoer van Maaswater. Uiteindelijk is één van de openingen die in reparatie was ook zo goed als mogelijk vrijgemaakt voor de afvoer van Maaswater. In combinatie met extra buffer op het Albertkanaal, twee omleidingen via de sluis van Monsin en de sluis van Ternaaien is de hoogwatergolf verwerkt. De vraag die moet worden beantwoord is in hoeverre de werkzaamheden bij Monsin en de noodmaatregel bij Ternaaien van invloed zijn geweest op de (vorm van de) hoogwatergolf. Als Monsin normaal in bedrijf zou zijn geweest, zou de golf dan hoger of lager zijn uitgevallen? En zou de vorm dan spitzer of stomper zijn geweest? En wat zou dit betekend kunnen hebben voor de hoogwaterstanden in Limburg?



Figuur 3-1 Stuw Monsin en elektriciteitscentrale in normale bedrijfsstoestand (Zeimetz e.a., 2021)

3.2 Beschrijving onderhoudssituatie bij stuw Monsin

De renovatie van de stuw was een meerjarenplan dat sinds 2019 liep. Hierbij moesten alle zes stuw delen (elk bestaande uit een schuif met een klep) worden vervangen, en wel twee stuks per jaar buiten de hoogwaterseizoenen. In 2019 zijn de eerste twee stuw delen (nummer 6 en 5, zie Figuur 3-1) vervangen. Door de covid-crisis is het werk in 2020 stilgevallen en zijn enkele scenario's voor het vervolg afgewogen:

- A. Inhaalslag voor stuw delen 4 en 3 in 2020 (beide zouden niet vóór het hoogwaterseizoen gereed zijn) en stuw delen 2 en 1 in 2021 (oplevering volgens plan).
- B. Stuw deel 4 in 2020 en stuw delen 3, 2 en 1 in 2021 (stuw deel 4 zou vóór het hoogwaterseizoen niet gereed zijn en stuw deel 1 voor het volgende hoogwaterseizoen ook niet).
- C. **Geen hervatting in 2020, stuw delen 4, 3, 2 en 1 in 2021 (stuw deel 1 zou vóór het hoogwaterseizoen niet gereed zijn en pas in mei 2022 opgeleverd worden).**

- D. Stuwdelen 3 en 4 in 2021 en stuwdelen 1 en 2 in 2022 (werkzaamheden geheel buiten hoogwaterseizoen, echter één jaar vertraging t.o.v. het oorspronkelijke plan).
- E. Inhaalslag voor stuwdeel 4 in 2020 (stuwdeel 4 zou vóór het hoogwaterseizoen niet gereed zijn), stuwdelen 2 en 3 in 2021, stuwdeel 1 in 2022.

Scenario D had het laagste risicoprofiel. Scenario A werd als meest risicovol beschouwd en viel af. Scenario's B, C en E hadden het risico van één niet-operationele schuif tijdens het hoogwaterseizoen, waarvan scenario B zelfs twee jaren op rij.

Scenario C is gekozen wegens de kortste doorlooptijd met een aanvaardbaar geacht risicoprofiel. Opvallend hierbij (achteraf bezien) is dat vier gestremde stuwdelen buiten het hoogwaterseizoen niet als risicovol beschouwd werden. Niemand ging ervan uit dat het hoogste ooit gemeten hoogwater zich juist in deze zomer zou aandienen.

Omdat vier van de zes stuwdelen buiten bedrijf waren, had de stuw niet zijn volle afvoercapaciteit en dreigde de waterstand aan stroomopwaartse zijde snel op te lopen. De twee vernieuwde schuiven 6 en 5 werkten die dag zoals het hoort en namen samen 1.386 m³/s voor hun rekening (zuidzijde: in Figuur 3-2 juist buiten beeld, zie ook Figuur 3-3). Omdat dat verre van voldoende was, moesten de ingenieurs ook drastischere ingrepen doen.

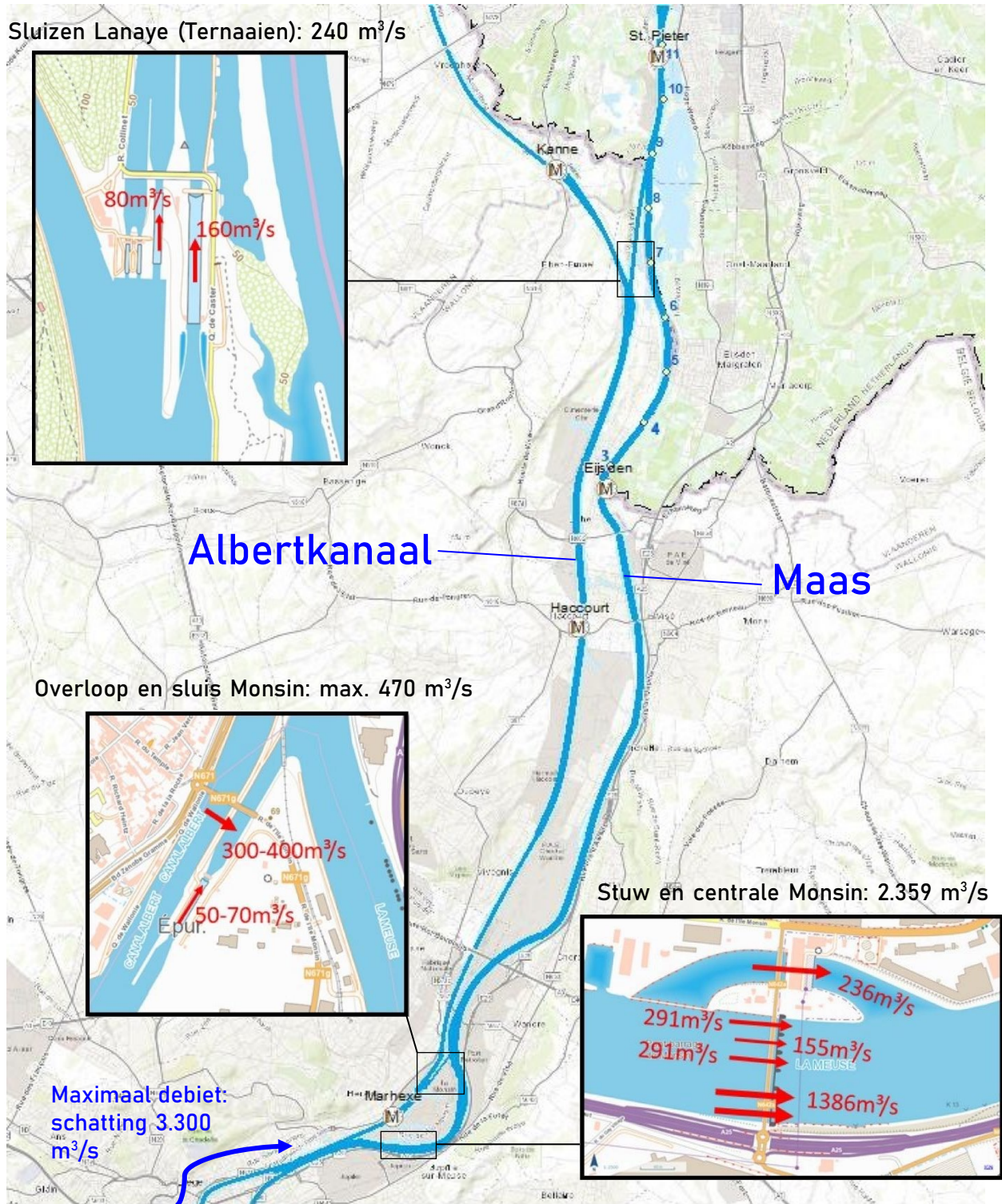


Figuur 3-2 De dam op 16 juli, met vier stuwdelen in de steigers (foto: Laura Hollange; bron: Het Belang van Limburg, 21 november 2021)

3.3 Beschrijving oplossingen tijdens hoogwater

Het crisisteam besloot de grote werf achter de dam, een met stalen wanden afgescheiden droge zone, waar de installatie van de vier overige kleppen bezig was, op te offeren. Een beslissing van een paar miljoen euro die 737 m³/s extra capaciteit opleverde. De vierde opening (in Figuur 3-3 tellend van noord naar zuid, in Figuur 3-2 van rechts naar links) bleef gesloten omdat er een bouwkraan voor stond. Door de volledige werf te laten overstromen stond die

kraan wel in het water, maar dat beukte er niet rechtstreeks en met volle kracht op in (bron: Belang van Limburg, 2021).

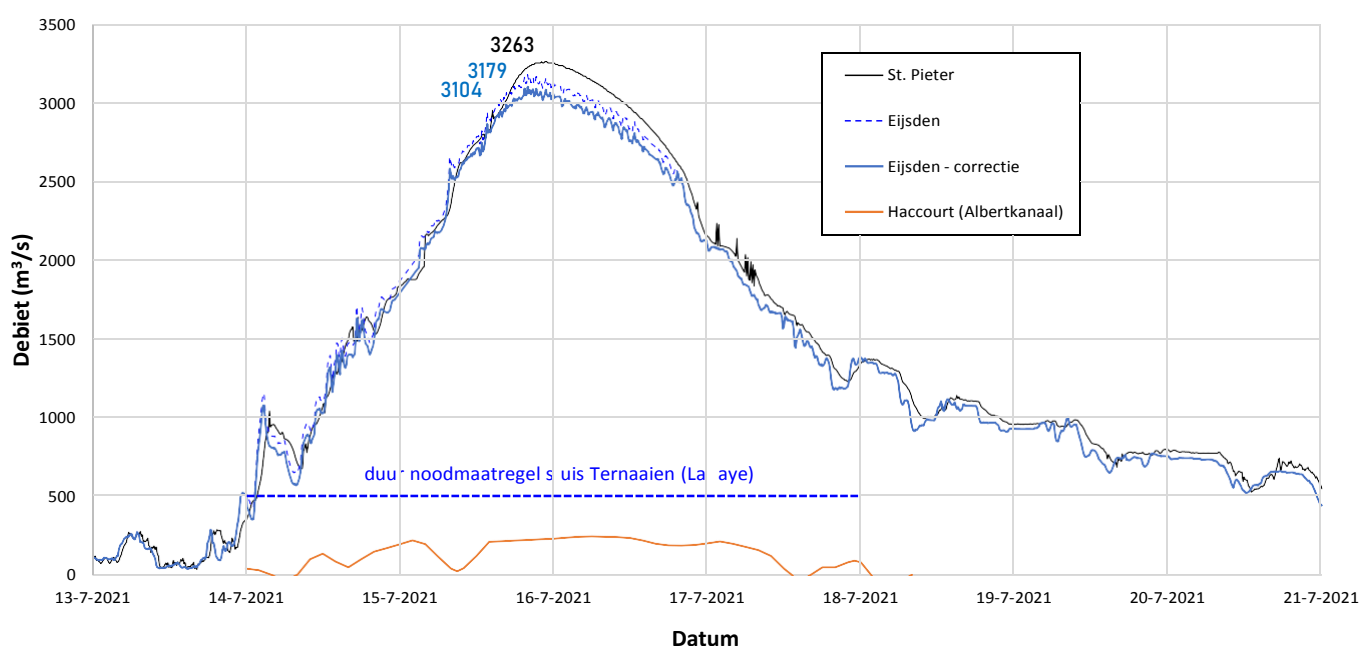


Figuur 3-3 Situatieschets tijdens hoogwater (14 – 17 juli 2021), bron: Zeimetz e.a., 2021

Tot elke prijs moest vermeden worden dat de kraan op de hoogspanningslijn viel, die er vlak naast loopt. Een deel van Luik zou in dat geval direct zonder stroom komen te zitten en grote waterpompen zouden stilvallen (bron: Belang van Limburg, 2021). De naastgelegen elektriciteitscentrale draaide op vol vermogen, onafhankelijk van de vraag naar elektriciteit. Dit leverde $236 \text{ m}^3/\text{s}$ op. De teller stond hiermee (afgerond) op $2400 \text{ m}^3/\text{s}$ voor het gehele complex. Er werd echter een piekafvoer van ca. $3000 \text{ m}^3/\text{s}$ voorspeld (later bijgesteld tot $3.300 \text{ m}^3/\text{s}$) dus er was nog een tekort.

Vervolgens werd de scheepvaartsluis van Monsin met een overloop geopend, waardoor een aanvullende afvoercapaciteit van 470 m³/s ontstond (zie Figuur 3-3). Het sluitstuk van de operatie was een soortgelijke maatregel bij de scheepvaartsluis van Lanaye (Ternaaien), waardoor een capaciteit van 240 m³/s ontstond. De mogelijkheden leken hiermee uitgeput, maar een gezamenlijke afvoercapaciteit van ruim 3.000 m³/s bleek juist voldoende te zijn, in aanmerking nemende dat het Albertkanaal ook nog enige bergingscapaciteit heeft. Ook de tijdige uitvoering van deze noodmaatregelen heeft een belangrijke rol gespeeld. Zo heeft de stroming zich al lang voor de hoogwaterpiek kunnen instellen en is er in het kanaal en bovenstreams van stuw Monsin geen groot wateroverschot ontstaan. De juiste maatregelen zijn genomen.

Het afvoerproces van het hoogwater is voor enkele meetstations in Figuur 3-4 weergegeven (voor de locaties: zie Figuur 3-3). De piekafvoeren volgens de officiële reeksen³ bedragen in Eijsden en St. Pieter 3.179 resp. 3.263 m³/s.



Figuur 3-4 Afvoerreeksen in St. Pieter (Maastricht), Eijsden en Haccourt (bron: waterinfo.nl en Peters, 2022)

De situatie bij Monsin tijdens het hoogwater van 2021 is in een afstudeeronderzoek (Peters, 2022) uitgebreid geëvalueerd. Hierin wordt betoogd dat de meting van Eijsden een overschatting is, omdat er een stuweffect van het debiet uit het kanaal van Ternaaien uitgaat, dat slechts 6 km stroomafwaarts van dit meetstation ligt. Tijdens deze uitstroming is er een correctie noodzakelijk, die tot een reductie van de afvoerpiek van 75 m³/s leidt. De afvoerpiek te Eijsden komt hiermee op 3.104 m³/s (zie Figuur 3-4). Het verschil tussen St. Pieter en Eijsden bedraagt zodoende 159 m³/s.

Figuur 3-4 laat ook een gemeten debietreeks in Haccourt zien (locatie: zie Figuur 3-3). Rondom de piek is er een min of meer stationaire afvoer van gemiddeld 230 m³/s (met een maximum van 250 m³/s) in het kanaal. Het verschil tussen 230 en 159 m³/s lijkt verklaarbaar omdat in de route tussen Haccourt en St. Pieter mogelijk waterberging plaatsvindt op het Albertkanaal (tot Genk), en de Maas tussen Eijsden en St. Pieter (inclusief de Pietersplas). Tijdens stijgend water geldt waterberging als tijdelijke onttrekking, tijdens vallend water als tijdelijke bron.

³ Een recente analyse (Van der Veen en Agtersloot, 2021) komt tot hogere getallen: 3.310 resp. 3.195 m³/s

3.4 Wat als Monsin niet in onderhoud zou zijn geweest?

De vraag dringt zich op wat er gebeurd zou zijn als stuw Monsin op normale wijze gefunctioneerd had. Bovengenoemd onderzoek (Peters, 2022) definieert hiertoe 4 scenario's, die met behulp van een 1D-model (Sobek 3) zijn doorgerekend:

- scenario 0 (referentiesituatie): de werkelijk opgetreden toestand met noodmaatregelen,
- scenario 1: de normale situatie met 6 functionele stuwdelen,
- scenario 2: de werkelijk opgetreden toestand, echter zonder noodmaatregelen,
- scenario 3: de normale situatie met 6 functionele stuwdelen, aangevuld met de noodmaatregel: openen sluis Monsin (als een hoogwatergeul, niet nader beschouwd).

Scenario 1 geeft antwoord op de vraag van deze paragraaf, echter binnen het onderzoeksgebied van het Albertkanaal. Tabel 3-1 laat zien dat scenario's 0 en 1 dezelfde piekwaterstand in het kanaal tot gevolg hebben (locatie Marhexe: zie Figuur 3-3). We kunnen hierdoor aannemen dat dit ook voor de maximale waterstand in Luik geldt. In beide gevallen treedt de berekende piekwaterstand vrijwel tegelijk met de berekende piekafvoer van Eijsden op. De noodmaatregelen (bedoeld voor de kanaalgemeenten en Luik) hebben het tekort van stuw Monsin dus vrijwel exact gecompenseerd.

Tabel 3-1 Maximale waterstand bij Marhexe (Albertkanaal) volgens 4 scenario's (bron: Peters, 2022)

Scenario	Stuwdelen Monsin	sluis Monsin	sluis Ternaaien	Marhexe H_{max} (m+NAP)	opmerking
0	2 operationeel, 4 in onderhoud	open	open	58,80	feitelijke toestand
1	alle 6 operationeel	dicht	dicht	58,79	normale toestand
2	2 operationeel, 4 in onderhoud	dicht	dicht	59,25	geen noodmaatregelen
3	alle 6 operationeel	open	dicht	58,23	normaal + extra afvoer

Wat dit voor Eijsden en St. Pieter betekent, daar gaat het onderzoek niet op in. Maar we observeren dat de piek van Marhexe erg dicht bij die van Eijsden ligt (zie Figuur 3-5). Hieruit is te concluderen dat het kanaalpeil tijdens de piek van Eijsden niet toeneemt, noch afneemt.

De waterberging van het kanaal vormt dus geen additionele bron naast de (vrijwel) stationaire doorstroming die bij Haccourt gemeten is (Figuur 3-4: oranje lijn). De afvoer bij Haccourt is gelijk aan de afvoer door het kanaal Ternaaien en die is ook gelijk aan wat er onder normale omstandigheden (scenario 1) extra door de Maas zou stromen. We concluderen dat de noodmaatregelen neutraal op de afvoerpiek van St. Pieter hebben uitgepakt. De afvoerpiek van Eijsden is door de noodmaatregelen verlaagd, omdat een deel van de Maasafvoer via het kanaal Ternaaien is omgeleid.

Figuur 3-5 Waterstandsreeksen bij Marhexe, Eijsden en St. Pieter

3.5 Wat als er geen noodmaatregelen waren uitgevoerd?

Een minstens zo belangrijke vraag betreft de feitelijke winst die de noodmaatregelen hebben opgeleverd. Scenario 2 uit het onderzoek laat zien (Tabel 3-1) dat de waterstanden in het kanaal (en dus ook in Luik) 0,4 m hoger zouden komen. Dit zou tot veel extra overstromd gebied geleid hebben. Wij merken op dat in dit scenario de gehele Maasafvoer alsnog over (of langs) de stuw van Monsin zou moeten stromen. Dit zou alleen bereikt worden door een hogere waterstand, waardoor boven de gesloten kleppen van de stuw doorstroomcapaciteit zou ontstaan. Opgemerkt wordt dat de 1D-modellering van zo'n complex object onder dergelijke nooit opgetreden omstandigheden, met een grote onzekerheidsmarge geïnterpreteerd moet worden. Wel is duidelijk dat het ook meer dan 0,4 m zou kunnen zijn en dat er ook waarschijnlijk additionele schade aan het object Monsin opgetreden zou zijn.

Wederom is de vraag wat dit voor de Maas bij Eijsden en St. Pieter betekent, slechts kwalitatief te beantwoorden. Een hogere waterstand in het kanaal en de Maas, stroomopwaarts van stuw Monsin, neemt weliswaar volume uit de golf weg, maar verkleint niet noodzakelijkerwijs de piekafvoer omdat de berging zich gedurende het gehele wassende water opbouwt. Op het moment van de hoogwaterpiek werkt de berging dan niet meer als onttrekking. De afvoergolf zou bij St. Pieter mogelijk marginaal spitsiger geweest zijn, maar met ongeveer dezelfde afvoerpiek als in scenario's 0 en 1.

De conclusie wordt anders wanneer er overstromingen van bedijkte gebieden plaatsvinden. Omdat deze juist voor de piek starten en doorgaans enige tijd aanhouden, leveren overstromingen wel een duidelijke piekvervlakking op. Het is zeer waarschijnlijk dat dit zich voorgedaan zou hebben. Dit is een effect dat niet in de modellering tot uiting komt, maar waarmee wel rekening gehouden moet worden.

Het antwoord op de vraag van deze paragraaf luidt dan ook, dat de afvoerpiek te St. Pieter in dit scenario waarschijnlijk iets lager geweest zou zijn.

3.6 Samenvatting en nadere beschouwing

De noodmaatregelen hebben het gemis aan afvoercapaciteit door het onderhoud aan vier van de zes kleppen vrijwel exact gecompenseerd. Het effect heeft zowel in stroomopwaartse als stroomafwaartse richting min of meer neutraal uitgedrukt ten opzichte van de normale bedrijfstoestand van stuw Monsin.

Het meestromen van de sluizen van Monsin en Ternaaien levert het effect dat we van een meestromende hoogwatergeul kennen. Het benedenstroomse effect hiervan is plaatselijk, maar omdat de piekafvoer niet is beïnvloed, is er geen doorlopend stroomafwaarts effect. Ook is er tussen de scenario's geen noemenswaardig faseverschil van de afvoergolf. Daarom kunnen we ervan uitgaan dat de piekafvoer bij St. Pieter van deze drie scenario's ongeveer gelijk is (behoudens een eventueel inundatie-effect dat in scenario 2 zou optreden). Hierbij merken we op dat dit alleen geldt, omdat de noodmaatregelen lang voor de piek zijn ingesteld en er een min of meer stabiel stroombeeld is ontstaan.

Het had ook anders kunnen lopen. Als de noodmaatregelen veel later getroffen waren, dan zou het kanaalpeil al flink opgelopen zijn, waardoor mogelijk meer debiet door de sluizen van Monsin en Ternaaien geloosd zou moeten worden. Een dergelijke inhaalslag zou tijdens de piek bij Eijsden nog niet voltooid zijn en tot een aanvulling op de afvoerpiek geleid hebben, met hogere piekwaterstanden tot gevolg. Als dit het geval was geweest, dan zou dat uit Figuur 3-5 af te lezen zijn (hogere piek Marhexe en sterke daling juist voor middernacht van 15 op 16 juli).

Uit deze beschouwing mag duidelijk worden dat onze conclusies geen algemene geldigheid hebben en alleen voor de beschouwde casus gelden. Het is niet vanzelfsprekend dat noodmaatregelen geen schadelijke benedenstroomse effecten kunnen hebben. De noodmaatregelen die het crisisteam getroffen heeft, zijn tijdig, vakkundig, proportioneel en effectief geweest.

4 Hoogwaterveiligheid: berekende en feitelijke situatie

4.1 Toelichting op de vraag

Met de berekende waterstanden (zie Hoofdstuk 2) kan een beoordeling worden gemaakt van de hoogwaterveiligheid van zowel de Nederlandse als de Vlaamse waterkeringen. Het resultaat van deze beoordeling staat in dit hoofdstuk gepresenteerd in de vorm van 2D-figuren en/of grafieken. De WAQUA-resultaten die zijn gebruikt voor de berekende hoogwaterveiligheid zijn afkomstig uit het WAQUA-model met de aangepaste ruwhedenset in de stroomgeul (zie Hoofdstuk 2).

Met de gewijzigde ruwhedenset zijn de gemeten maximale waterstanden op de meetpunten goed berekend. De verwachting is dat hierdoor ook in de gebieden tussen de meetpunten sprake is van een goede overeenkomst tussen opgetreden en berekende waterstanden.

4.2 Berekende waterstanden en kruinhoogtes waterkeringen per locatie

4.2.1 Beschikbare waakhoogte

Bijlage 2 laat de berekende beschikbare waakhoogten (het verschil tussen de berekende waterstand en de kruinhoogte) van de waterkeringen in het gehele modelbereik zien. Waakhoogte is het verschil tussen de kruinhoogte en de feitelijke maximale opgetreden waterstand. De waterkeringen langs de Maas hebben een ontwerpeis van minimaal 0,5 m waakhoogte ten opzichte van de (bij aanleg) maatgevende hoogwatersituatie ($Q_{\max} = 3275 \text{ m}^3/\text{s}$ te Borgharen-dorp op basis van de HR2001)⁴. Het HW2021 had een iets hogere piek.

Bij het begrip beschikbare waakhoogte is een klasse-indeling gemaakt:

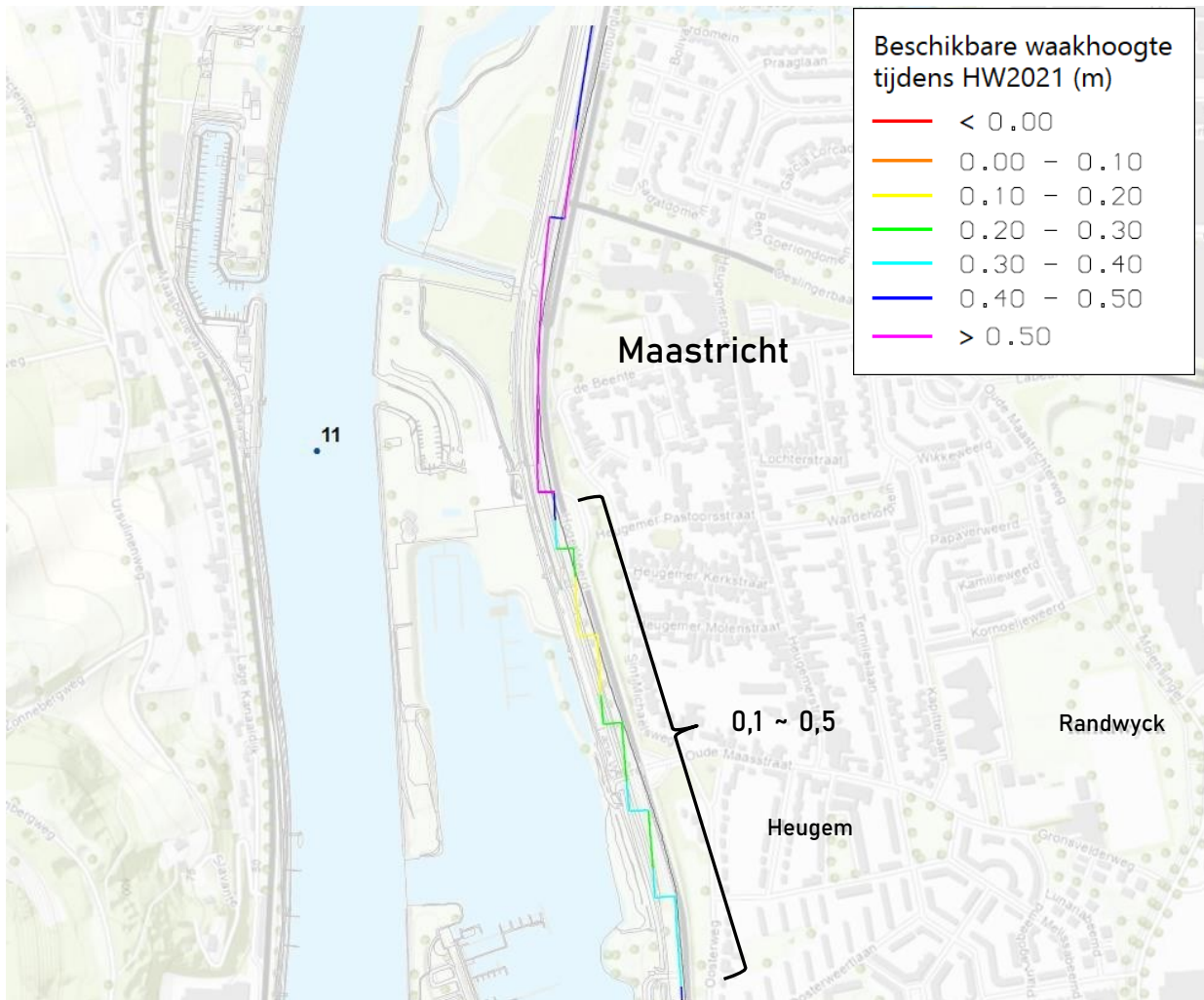
- Bij een negatieve waarde (rood) ligt de kruin onder de waterspiegel en is er instroming, tenzij noodmaatregelen getroffen zijn (in de vorm van zandzakken).
- Bij waarden tussen 0 en 0,5 m is er gevaar voor de waterkering. De waakhoogte is onvoldoende. Hiervoor gelden vijf kleuren van oranje tot en met blauw.
- Een waarde boven 0,5 m (paars) betekent dat de dijk veilig is. Er is voldoende waakhoogte.

Waakhoogte is dus geen veiligheidsmarge. Waakhoogte is een noodzakelijk minimaal verschil tussen de kruin en het water, om golfoploop te weerstaan en eventuele modelon nauwkeurigheid en uitvoeringsonnauwkeurigheid het hoofd te kunnen bieden. In de volgende alinea's komen alle locaties aan de orde, waar volgens de modelberekening onvoldoende waakhoogte is berekend. Deze resultaten worden met de praktijkervaringen vergeleken.

⁴Opgemerkt wordt dat sinds het WBI-2017 (Wettelijk Beoordelingsinstrumentarium) hogere eisen voor de Nederlandse waterkeringen gelden, Hierbij vervallen ook de begrippen maatgevende afvoer en waakhoogte, maar wordt uitsluitend van een overstromingskans uitgegaan. Omdat er een termijn tot 2050 geldt om hieraan te voldoen, kijken we nog volgens de ontwerpuitgangspunten van de laatste dijkverbetering en spreken we in deze analyse over beschikbare waakhoogten.

4.2.2 Heugem en Randwyck (Maastricht-Oost)

De eerste locatie waar het model een waakhogtetekort laat zien is in Maastricht-Oost bij de buurtschappen Heugem en Randwyck (zie Figuur 4-1).



Figuur 4-1 Berekende beschikbare waakhogten bij Heugem en Randwyck (HW2021)

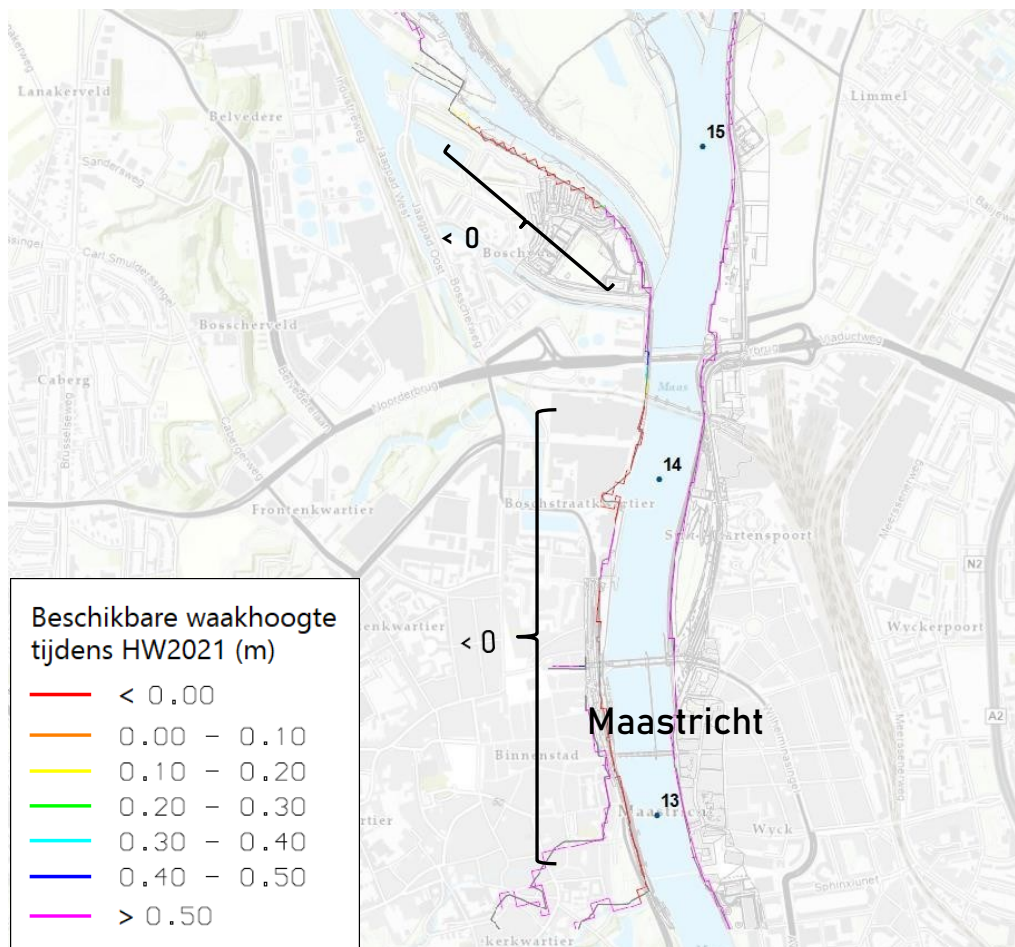
Dat het hier 's avonds op 15 juli zeer kritisch was, is algemeen bekend. Het is zelfs tot een evacuatie van deze buurtschappen gekomen (Figuur 4-2).



Figuur 4-2 Maastricht-Oost: oproep aan 6500 bewoners van Heugem en Randwyck om hun woningen te verlaten (15 juli 2021), bron: 1L

4.2.3 Binnenstad en Boschpoort (Maastricht-West)

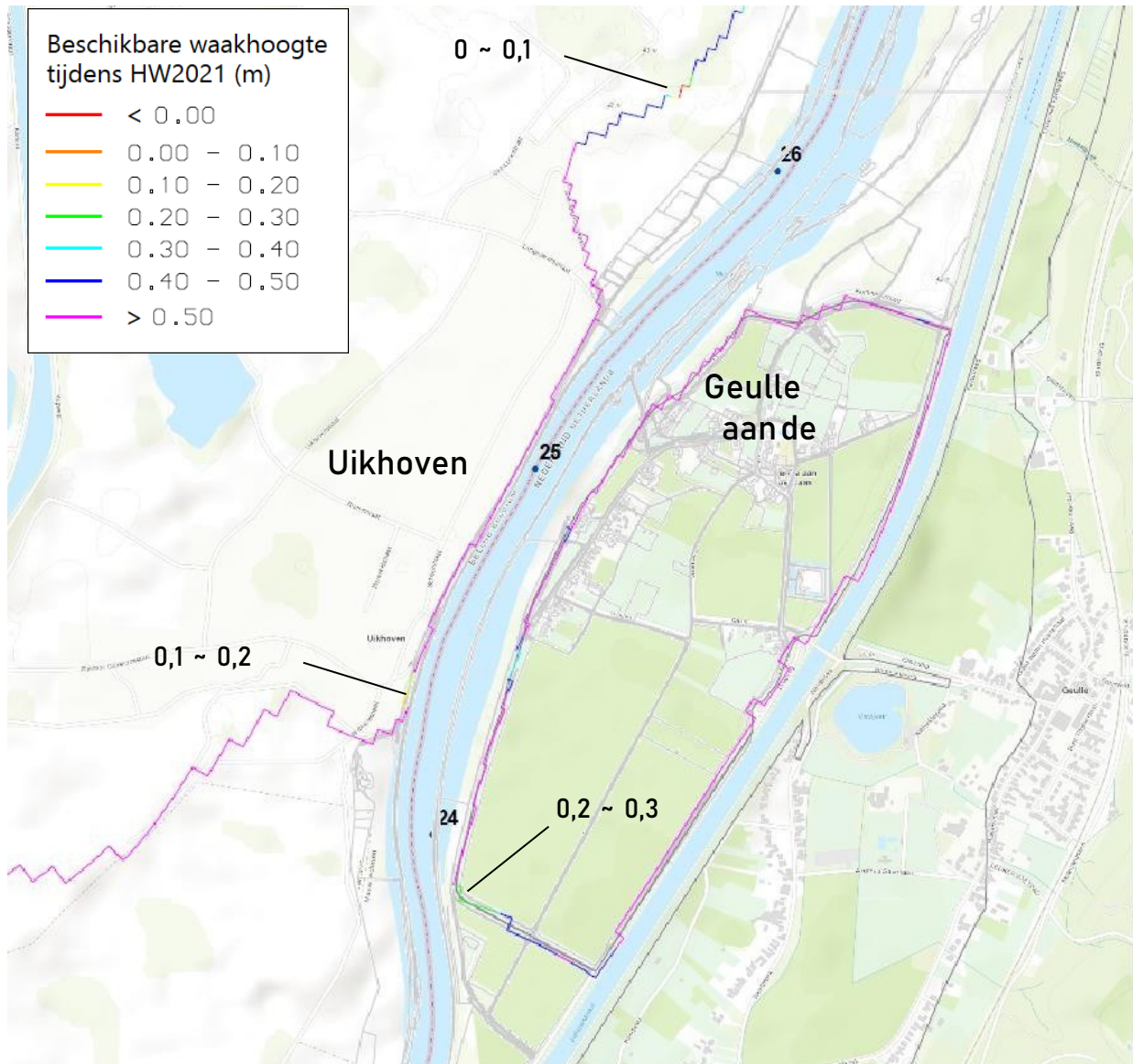
Figuur 4-3 laat zien dat op diverse plaatsen in Maastricht-West de berekende waterstand hoger is dan de gebruikte kruinhoogte. De rode lijnen blijken het gevolg te zijn van een te lage kerende hoogte in het gebruikte invoerbestand voor de waterkering. De figuur klopt hier dus niet.



Figuur 4-3 Maastricht-West: waakhogten onder 0 m (berekend), conclusie onjuist door te lage kruinhoogten

4.2.4 Uikhoven en Geulle aan de Maas

Aan beide zijden van de Gemeenschappelijke Maas zijn hier enkele locaties berekend, die niet aan 0,5 m waakhogte voldoen. Bij rkm 26 lijkt het op één punt bijzonder kritisch.



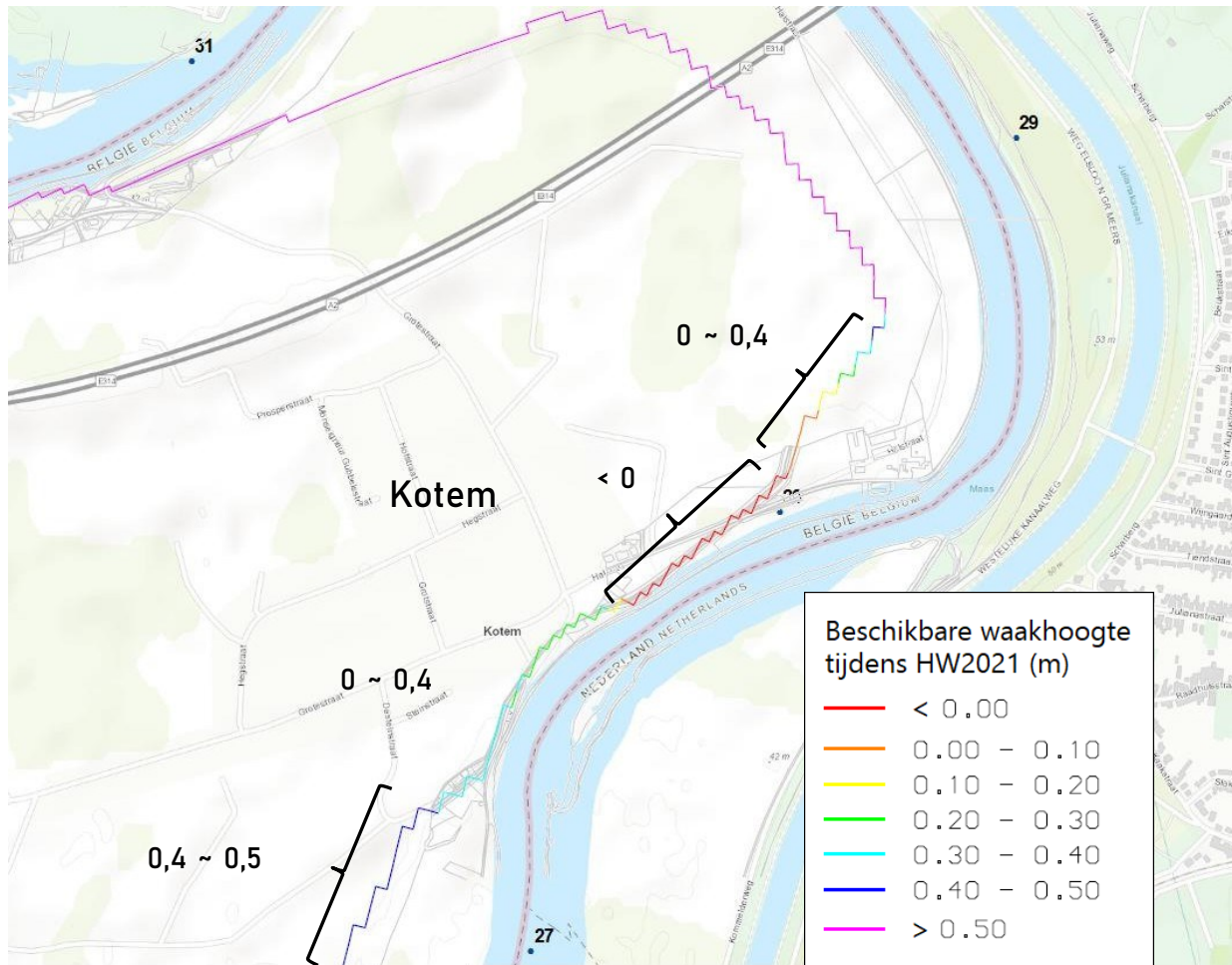
Figuur 4-4 Uikhoven en Geulle aan de Maas: enkele kritieke locaties (berekend)

De waakhogte van 0,2 – 0,3 m aan de zuidzijde van Geulle a/d Maas is een gevolg van opstuwung tegen de waterkering. Het verschil met de waterstand in de Maas zelf bedraagt bijna 25 cm. De (voormalige) kade die hier nog in het veld aanwezig is zorgt ervoor dat het water in de uiterwaard ook moeilijk kan wegstromen.

Bij Uikhoven is op één locatie een rood tracé zichtbaar. Hier is in het model gerekend met de hoogte van het achterliggende maaiveld en niet met de kruinhoogte van de waterkering. De kering is hier niet lager dan bij de andere tracés.

4.2.5 Kotem

De situatie in Kotem was kritiek. Over ca. 400 m lengte lag de kruin onder de piekwaterstand.



Figuur 4-5 Kritisch dijktraject langs Kotem (berekend)



Figuur 4-6 In Kotem lijkt het water bijna gelijk te lopen met de boord van de dijk (bron: HLN, 2021).

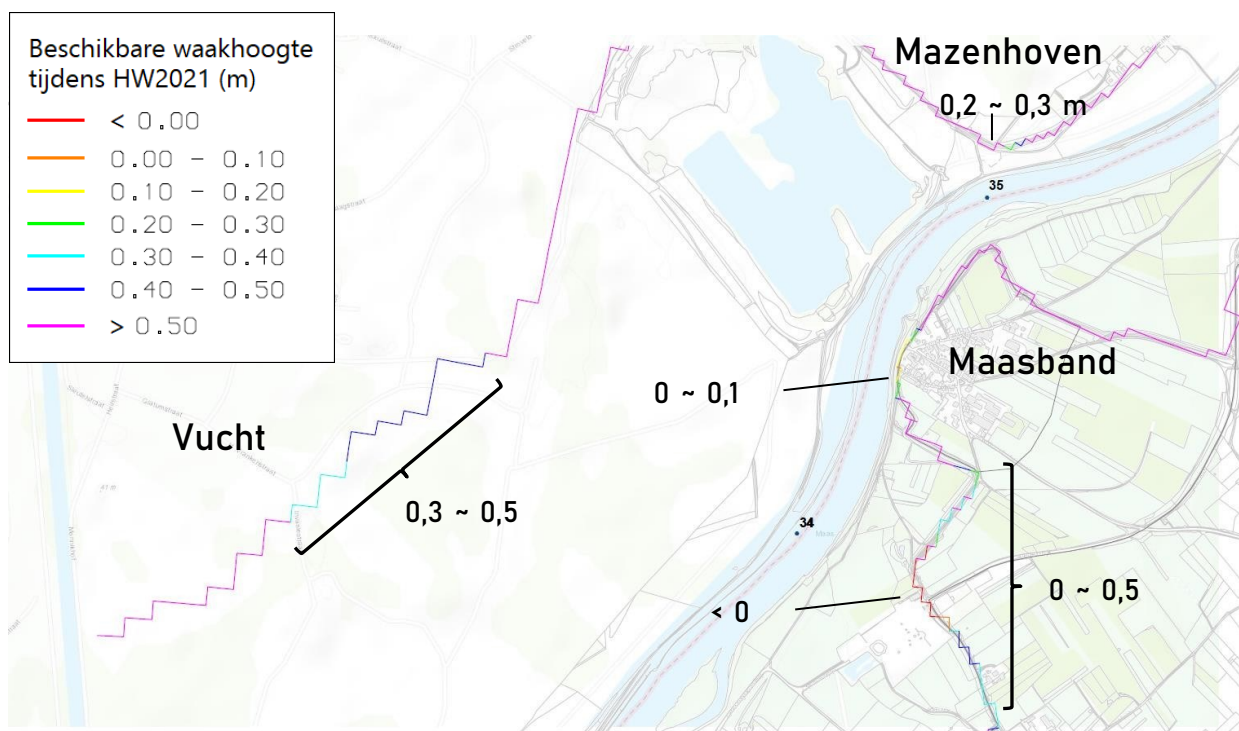


Figuur 4-7 Het plaatsen van zandzakken heeft instroming van Kotem in de nacht van 16 juli 2021 voorkomen. De volgende dag zakt het water al (bron: HLN, 2021)

De berekende situatie heeft zich daadwerkelijk voorgedaan, waarbij het zelfs meest kritische traject in de modelsimulatie met redelijk grote nauwkeurigheid is beschreven. In het dorp Kotem is het zelfs tot een evacuatie gekomen.

4.2.6 Vucht, Maasband en Mazenhoven

Bij Vucht is er volgens de modelsimulatie een traject van ca. 600 m met een waakhoogetekort. Bij Maasband was het op twee plaatsen kritiek: ter hoogte van rkm 34 en direct aan de Maas. Ook bij Mazenhoven is er een kritisch punt, waar de waakhoopte slechts 0,2 tot 0,3 m bedraagt.



Figuur 4-8 Kritische locaties bij Maasband en Mazenhoven (berekend)

De situatie bij Vucht kan vanuit de praktijk bevestigd worden. De waterstand naderde de kruin (Figuur 4-7) maar een daadwerkelijk kritieke situatie heeft zich niet voorgedaan.



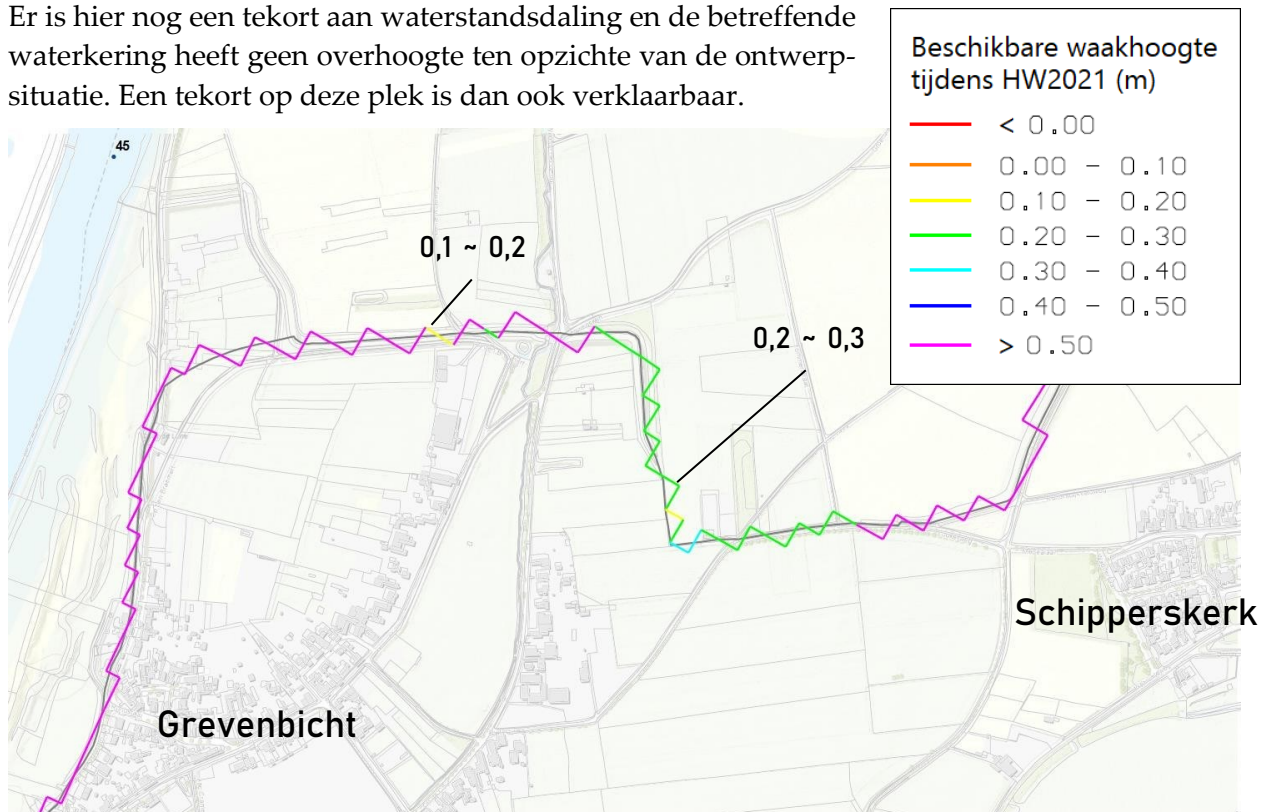
Figuur 4-9 Het water bij Vucht stond in de avond al dicht bij de kruin van de dijk (15-7-2021) (bron: HLN, 2021)

De zwakke punten bij Maasband en Mazonhoven waren vooraf bekend en komen voort uit het feit dat de hoogwatergeul van Maasband nog niet gereed is. Zodra de geul kan meestromen zakt de waterstand voldoende om een waakhogte van 0,5 m onder ontwerpcondities te garanderen. De te lage waterkering bij rkm 34 (Maasband) wordt voor de geul zelfs deels geamoveerd. Een nieuw traject maakt de dijk van Meers sluitend. Maasband wordt een dijkeland, verbonden met Meers via een brug die al gebouwd is.

Ter hoogte van Maasband ligt het maximale debiet van het HW2021 nog steeds iets boven de ontwerpsituatie van programma Maaswerken. Bij de veiligverklaring van de Gemeenschappelijke Maas in 2017 is hier een tijdelijk noodprotocol geformuleerd, bestaande uit het plaatsen van zandzakken en *big bags*, wat op dit traject door Consortium Grensmaas tijdig is gedaan. Deze noodmaatregelen hebben daadwerkelijk instroming tegengehouden. Niettemin liet burgemeester Marion Leurs van de gemeente Stein uit voorzorg de dorpen Maasband, Meers, Veldschuur en een deel van Berg aan de Maas evacueren (De Limburger, 2021).

4.2.7 Grevenbicht-Schipperskerk

Bij Grevenbicht zijn aan de noordelijke waterkeringen ook tekorten in de waakhogte berekend. Hier ligt de rivierverruimingslocatie Koeweide, die nog tot 2025 in uitvoering is. Er is hier nog een tekort aan waterstandsdeling en de betreffende waterkering heeft geen overhoogte ten opzichte van de ontwerp-situatie. Een tekort op deze plek is dan ook verklaarbaar.



Figuur 4-10 Kritische locaties bij Grevenbicht en Schipperskerk (berekend)

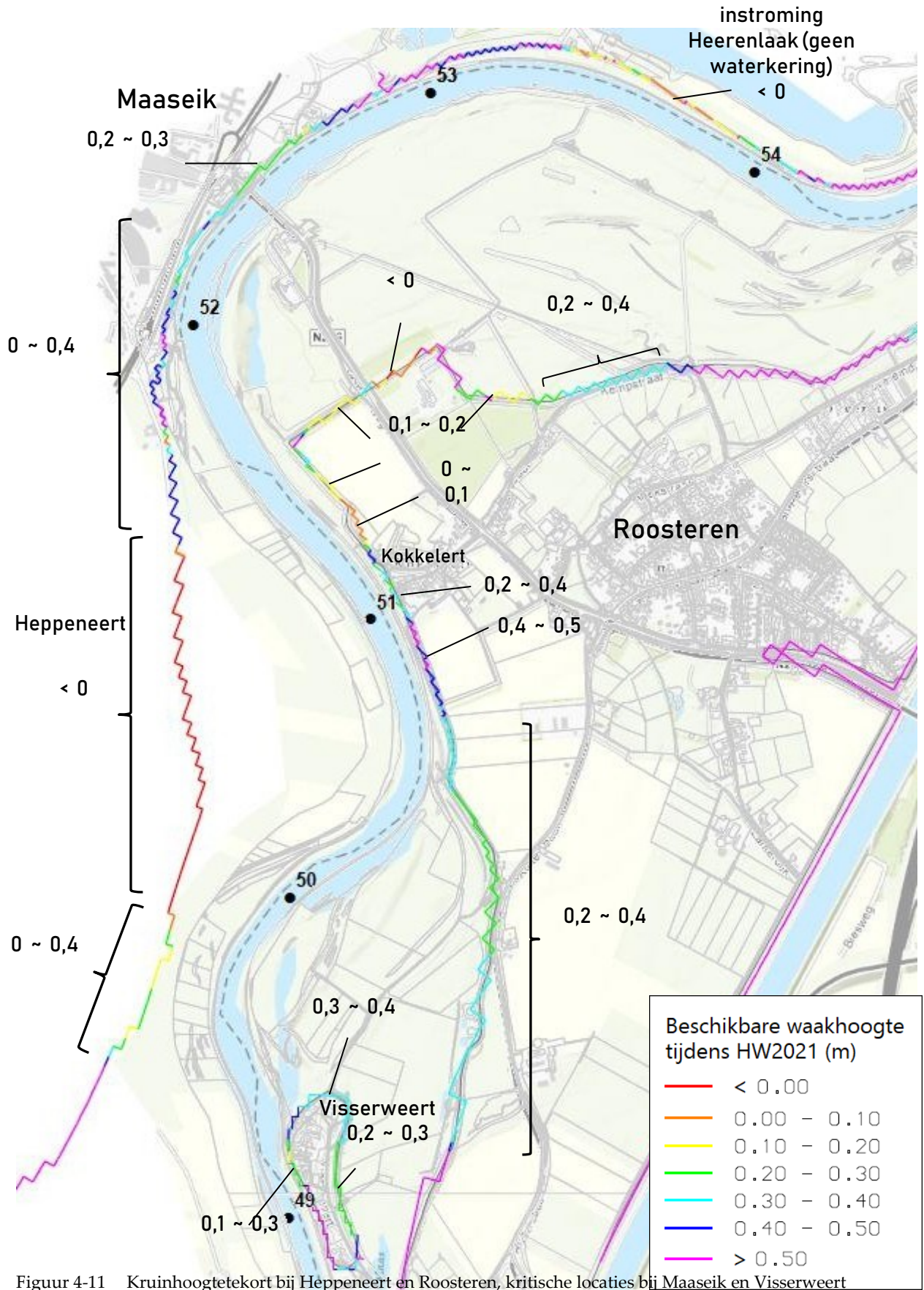
De berekende waakhogte van 0,1 – 0,2 meter komt doordat hier de waterkering in het model een te lage hoogte heeft gekregen van 32,3 m+NAP i.p.v. 33,6 m+NAP. Dit punt is dus niet correct.

4.2.8 Heppeneert, Maaseik, Visserweert en Roosteren

Heppeneert geldt tijdens het hoogwater van 2021 wellicht als de grootste reddingsoperatie tegen een acuut dreigende instroming. Over ruim een kilometer lengte is een kruinhoogte-tekort berekend, wat zonder noodmaatregelen instroming betekent. Ook bij Maaseik is de gewenste waakhogte van 0,5 m in de simulatie niet beschikbaar. Hetzelfde geldt voor Visserweert, zowel aan de Maaszijde als aan de geulzijde.

De berekende situatie komt in grote mate overeen met de werkelijk opgetreden situatie. De noodmaatregelen in Heppeneert (Figuur 4-12) hebben daadwerkelijk instroming voorkomen. Op de kademuur waren twee rijen zandzakken geplaatst, die het water op het meest kritische moment tegenhielden. Omdat het gelukkig windstil was, was er geen golfbelasting.

In Maaseik stond het water hoog aan de Pater Sangersbrug, hier zijn bij de waterkering noodmaatregelen uitgevoerd (Figuur 4-14). Vanaf Maaseik ligt langs de Klauwenhofweg aan de Maaszijde van de weg een muurtje. Ter hoogte van rkm 53,4 eindigt het muurtje, en daar is het water over de Klauwenhofweg gestroomd. Dit is zichtbaar bij rkm 54 in Figuur 4-11.



Figuur 4-11 Kruinhoogtetekort bij Heppeneert en Roosteren, kritische locaties bij Maaseik en Visserweert (berekend)



Figuur 4-12 Noodmaatregelen bij Heppeneert (rkm 50 links), bron: NOS, 2021



Figuur 4-13 Kritieke waterstanden bij Visserweert (bron: Leinders, 2021)



Figuur 4-14 Kritieke waterstanden en noodmaatregelen bij Maaseik (bron: De Limburger, 2021)

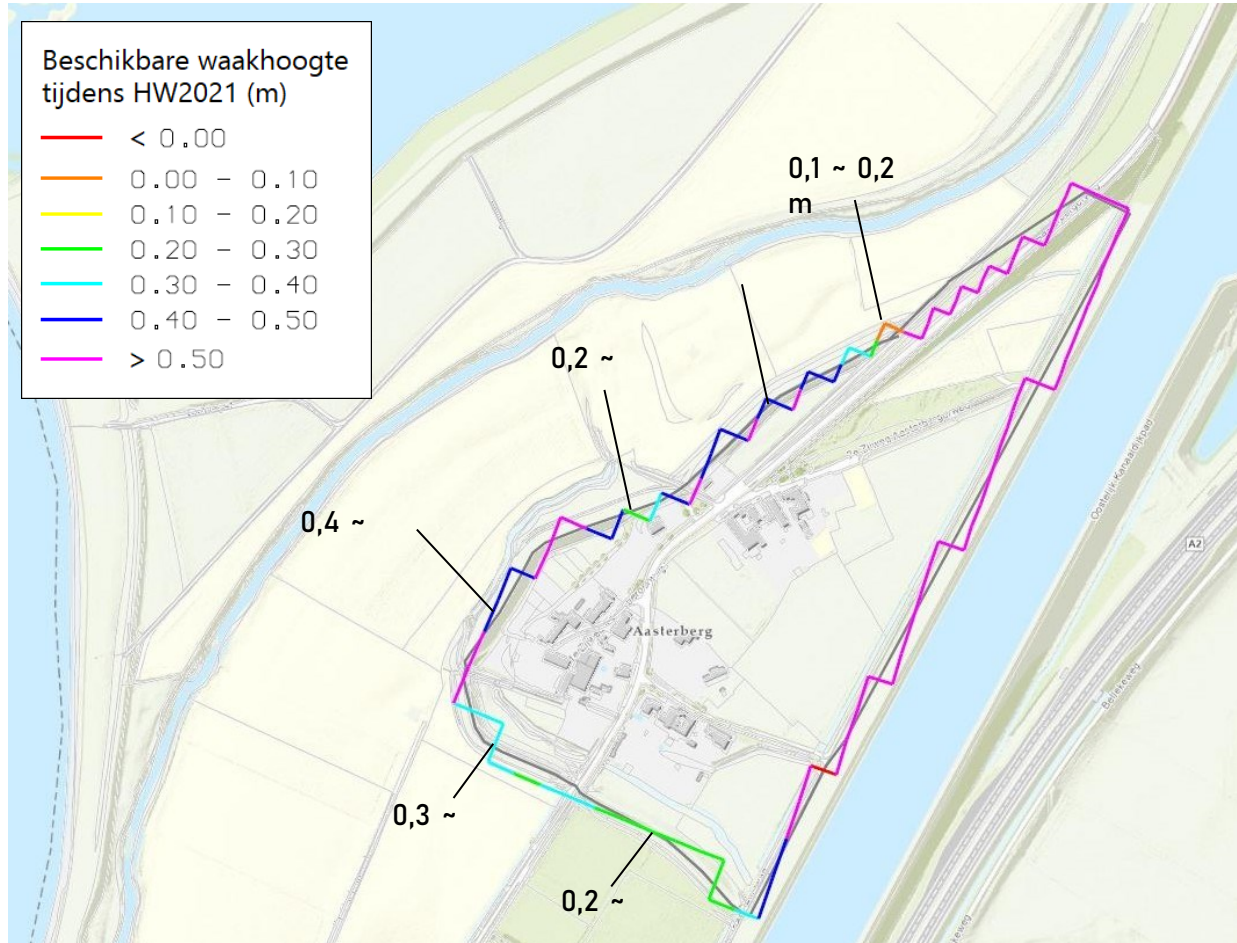
Aan Nederlandse zijde zijn alle inwoners van Visserweert, Illikhoven, Kokkelert, Roosteren en Aasterberg (zie paragraaf 4.2.9) geëvacueerd (Limburg24, 2021). In Visserweert stond het water zeer hoog nabij de kruin (Figuur 4-13). Hier zijn geen noodmaatregelen uitgevoerd. De brug zou in alle gevallen op veilige hoogte beschikbaar blijven. In Roosteren was de situatie zeer kritiek. Aan de noordzijde stond het water tot aan de kruin, maar tot een instroming is het juist niet gekomen (1Limburg, 2021). Wel is de (buitendijkse) Maaseikerweg naar Schansberg overstroomd geraakt (Figuur 4-15).



Figuur 4-15 Maaseikerweg, 16 juli 2021

4.2.9 Aasterberg

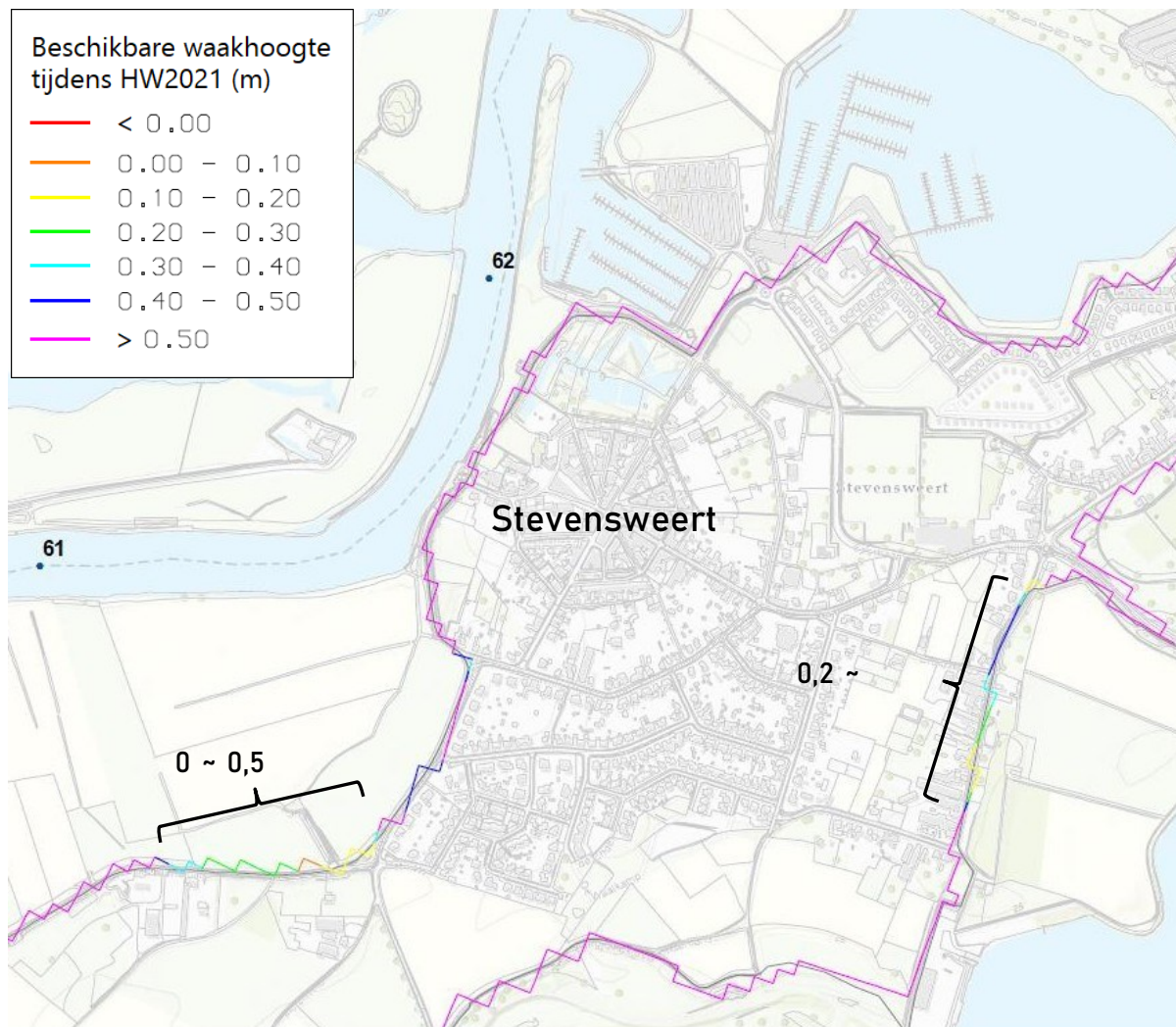
Bij Aasterberg komen de modelresultaten redelijk goed overeen met de praktijkervaring tijdens het hoogwater. Dit is in zoverre opvallend, omdat de Oude Maas een smalle waterloop is, waarbij geringe afwijkingen in de geometrie of hydraulische ruwheid tot grote variatie in de waterstand kunnen leiden. Op deze locatie spelen de ruwheden in de weerd waarschijnlijk een rol, die in het model laag zijn, maar in werkelijkheid vrijwel zeker hoger waren. Dat betekent dat het modelresultaat waarschijnlijk zelfs geflatteerd is. Het model laat tekorten aan waakhogte bij Aasterberg zien, en bekend is dat de situatie bij Aasterberg zeer kritiek was waarbij er zelfs korte tijd instroming heeft plaatsgevonden (De Limburger, 2021).



Figuur 4-16 Kritische locaties bij Aasterberg (berekend)

4.2.10 Stevensweert

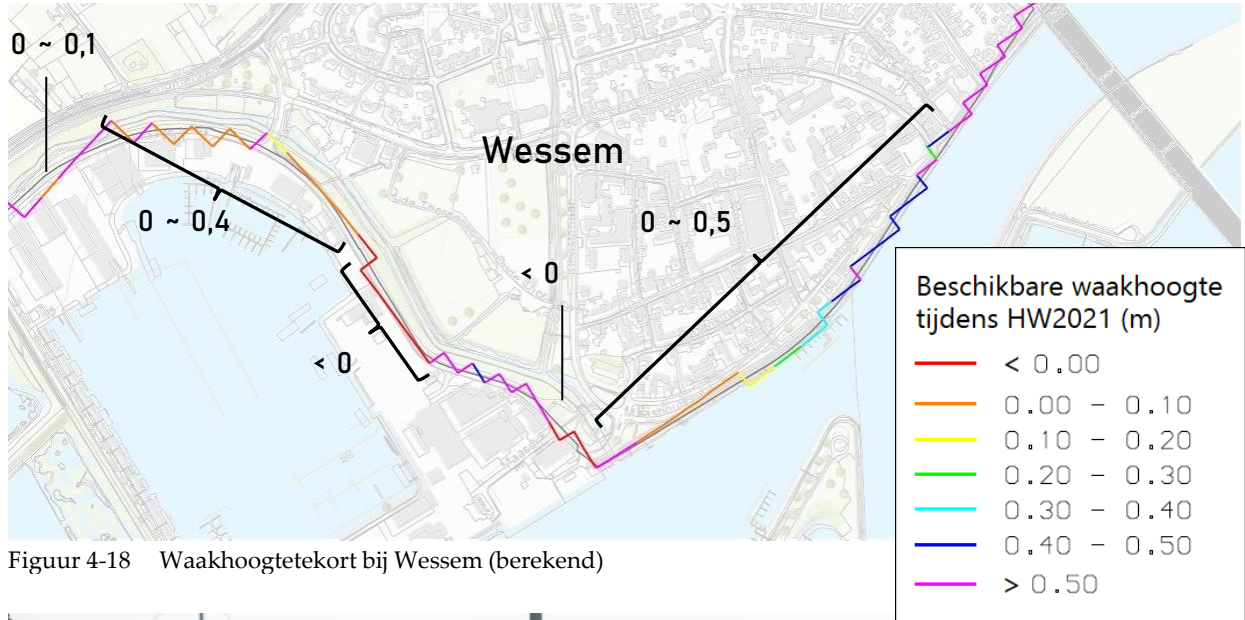
Volgens de kruinhoogtegegevens in het model en de modelresultaten is op twee plaatsen in de ringdijk van Stevensweert een waakhoogtetekort opgetreden. De berekende maximale waterstand bij Stevensweert verschilt 2 cm met de gemeten maximale waterstand (zie Tabel 2-3), wat aangeeft dat de oorzaak van het tekort ligt bij de kruinhoogte van de waterkeringen. Een vergelijking van de kruinhoogte van de waterkeringen met hoogtes in het AHN geeft voor het oostelijke deel (tekort van 0,2 - 0,5 m) geen grote verschillen weer. Er is in bestaande bronnen echter geen bevestiging gevonden, dat de toestand hier kritiek was. Het is dus onduidelijk of het berekende tekort ook daadwerkelijk is opgetreden. Voor de westzijde (tekort van 0 - 0,5 m op de Sint Annadijk) heeft de waterkering over een aanzienlijk deel een lagere hoogte dan volgt uit het AHN. Hier zorgt een onjuiste kruinhoogte dus voor een ogenschijnlijk tekort.



Figuur 4-17 Waakhoogtetekort bij Stevensweert (berekend, in de praktijk niet bevestigd)

4.2.11 Wessem

De modelsimulatie laat rondom Wessem over aanzienlijke lengtes waakhoogtetekorten zien. Op twee trajecten ligt de kruin zelfs onder de waterstand (Figuur 4-18). Deze zwakke plek was inderdaad vooraf bekend. Bij Wessem is het Nederlandse leger ingezet om de dijk te versterken (Figuur 4-19).



Figuur 4-18 Waakhoogtetekort bij Wessem (berekend)



Figuur 4-19 Noodversterking te Wessem door Defensie (17 juli 2021), bron: Nederweert24

5 Conclusies en aanbevelingen

5.1 Correctie WAQUA-model t.b.v. HW2021

Conclusies

Om de waterstanden van het HW2021 voldoende accuraat te kunnen reproduceren met het actuele WAQUA-model J21_5-v1 zijn de stroomgeulruwheden (een kalibratieparameter in het WAQUA-model) aangepast. Dit heeft geleid tot een aanzienlijke verbetering in de overeenkomst tussen gemeten en berekende waterstanden.

Wij merken hierbij op dat de feitelijke oorzaak van de noodzakelijke herkalibratie juist in de ruwheden van de weerden ligt. Het model bevat ruwheden die voor het vastgestelde hoogwaterseizoen (1 oktober – 1 april) representatief zijn. Tijdens het HW2021 waren de hydraulische ruwheden hoger (bomen in blad, gewassen op de akkers). Hoewel de waterstanden van het HW2021 door het model na de herkalibratie goed beschreven worden, zijn de hydraulische ruwheden op de weerden te laag en in de stroomgeul te hoog. Dat is geen ideale situatie voor het berekenen van stroomsnelheden (deze worden in de stroomgeul en langs de oevers op deze wijze onderschat).

Aanbevelingen

Omdat het hoogwater van 2021 het hoogste gemeten hoogwater aller tijden is, adviseren wij de aanname dat een hoogwater alleen in het hoogwaterseizoen kan optreden, los te laten. Dat betekent dat met zomerruwheden rekening gehouden moet worden. Wij bevelen aan alle hydraulische modellen vanaf nu van zomerruwheden te voorzien en het HW2021 als basis voor modelkalibraties te hanteren. De hoogwaterveiligheid van de waterkeringen dient hierop gebaseerd te zijn. Dit betekent zeker een aanvullende hoogwateropgave, maar dat is dan ook realistisch gebleken.

5.2 Invloed Monsin op Maasafvoer

Conclusies

De noodmaatregelen hebben het gemis aan afvoercapaciteit door het onderhoud aan vier van de zes kleppen vrijwel exact gecompenseerd. Het effect heeft zowel in stroomopwaartse als stroomafwaartse richting min of meer neutraal uitgedrukt ten opzichte van de normale bedrijfs-toestand van stuw Monsin. Hierbij wordt opgemerkt, dat dit alleen het geval is doordat de noodmaatregelen tijdig, vakkundig, proportioneel en effectief zijn uitgevoerd. Als de noodmaatregelen onjuist uitgevoerd zouden zijn, had dit zeer nadelig voor Maastricht en de Gemeenschappelijke Maas kunnen zijn. Indien er geen noodmaatregelen waren getroffen, dan had dat voor de bewoners in Luik en langs het Albertkanaal een zeer nadelig effect gehad. In stroomafwaartse richting zou dat een neutraal of verlichtend effect gehad hebben, omdat dit tot meer overstromingen en daardoor tot meer piekvervlakking geleid zou hebben.

Aanbevelingen

Door vier van de zes stuwgedelen tegelijk in onderhoud te nemen is een risico genomen, dat verantwoord leek. Achteraf moeten we constateren dat dit risico niet genomen had mogen worden. Wij bevelen de Waalse (maar ook de Vlaamse en Nederlandse) rivierbeheerders aan dergelijke risico's in de toekomst niet te nemen. Op basis van deze ervaring adviseren wij alle rivierbeheerders om in het geval van een onverwacht incident altijd procedureel voorbereid te zijn (samenstelling crisisteam, mandaat, bereidheid tot het nemen van noodmaatregelen).

5.3 Hoogwaterveiligheid: berekende en feitelijke situatie

Conclusies

Uit de simulatie blijkt dat er sprake is van tekorten (rode lijnen) nabij Kotem, Heppeneert en Wesssem. Deze locaties zijn in de praktijk bevestigd. Ze zijn zeer kritiek geweest en met behulp van noodmaatregelen drooggehouden. Op enkele andere trajecten (Binnenstad en Boschpoort in Maastricht-West) zijn de rode lijnen een gevolg van een te lage kerende hoogte in het gebruikte invoerbestand voor de waterkering.

Bij Heugem en Randwyck (Maastricht-Oost), Uikhoven, Geulle aan de Maas, Vucht, Meeswijk, Mzenhoven, Grevenbicht-Schipperskerk, Visserweert, Maaseik, Stevensweert is tijdens het HW2021 sprake van onvoldoende (minder dan 0,5 m) waakhoogte geweest.

Bij Aasterberg zijn de modelresultaten niet in overeenstemming met de waarneming in de praktijk. De modelsimulatie laat geen kritieke situatie zien, hoewel de situatie wel degelijk kritiek was en er korte tijds zelfs instroming heeft opgetreden. Omdat Aasterberg aan de Oude Maas ligt, die niet opnieuw gekalibereerd is, zijn te lage hydraulische ruwheden in het model (kale akkers in de winter) de meest aannemelijke oorzaak van de afwijkingen. Tijdens het hoogwater was er sprake van begroeide akkers.

Over het geheel genomen past ook de conclusie dat de Vlaamse en Nederlandse rivierverruimingsprojecten en de tot 2017 dijkverbeteringen een succes zijn, waardoor grote rampen in de Gemeenschappelijke Maas niet hebben plaatsgevonden en grote schade door instromingen niet is opgetreden.

Aanbevelingen

Ten aanzien van deze rivierverruimingsprojecten bevelen wij aan goed te blijven bewaken dat ze hun werking behouden en niet verliezen ten gevolge van overmatige vegetatie en/of sedimentatie. Voor beide is een beheerprotocol noodzakelijk.

Van sommige locaties is bekend dat de waterkeringen zelfs volgens de (oude) ontwerp-uitgangspunten van programma Maaswerken, waaraan ook Vlaanderen zich heeft geconformeerd, te laag zijn. Hier is het aan te bevelen deze waterkeringen op hoogte te brengen. Op andere plekken is er sprake van een tijdelijke situatie, omdat het nog maar enkele jaren duurt voordat de rivierverruimingen Maasband, Urmond-zuid en Koeweide gereed zijn. Hier is alertheid voor het nemen van noodmaatregelen, indien nodig, tot die tijd geboden.

Dat het zomerhoogwater van 2021 bovenmaatgevend ten opzichte van de ontwerpuitgangspunten van Maaswerken was, is een teken aan de wand. Klimaatontwikkelingen zijn al een feit. Voor de gehele Gemeenschappelijke Maas geldt de aanbeveling zo snel mogelijk aan de nieuwe normering (WBI2017) te voldoen, en wel op basis van het zichtjaar 2075 en klimaat-scenario W+ (huidige ontwerpuitgangspunten HWBP⁵). Voor Vlaanderen geldt deze wettelijke verplichting uiteraard niet. Wel geldt ook voor de Vlaamse rivierbeheerder de aanbeveling om zich hier vrijwillig (en op basis van bestaande afspraken in de VNBM) aan te conformeren,

⁵ Hoogwaterbeschermingsprogramma (Nederland), te beschouwen als opvolger van programma Maaswerken, gericht op het vervullen van de nieuwe normopgave en de klimaatopgave. Het HWBP is onderdeel van het Deltaprogramma Rivieren (DPR). In 2050 moet de opgave vervuld zijn en vanaf dan tenminste 50 jaren standhouden. Voor projecten van nu geldt daarom 2075 als zichtjaar.

teneinde een toekomstbestendige hoogwaterveiligheid te realiseren. Voor het realiseren van deze lange-termijndoelstelling⁶ zijn vanuit het Deltaprogramma Rivieren al plannen beschikbaar, die op nadere uitwerking en besluitvorming wachten. Wij adviseren hiermee voortgang te maken.

⁶ Wellicht kunnen we inmiddels al van een **middellange**-termijndoelstelling spreken.

6 Referenties

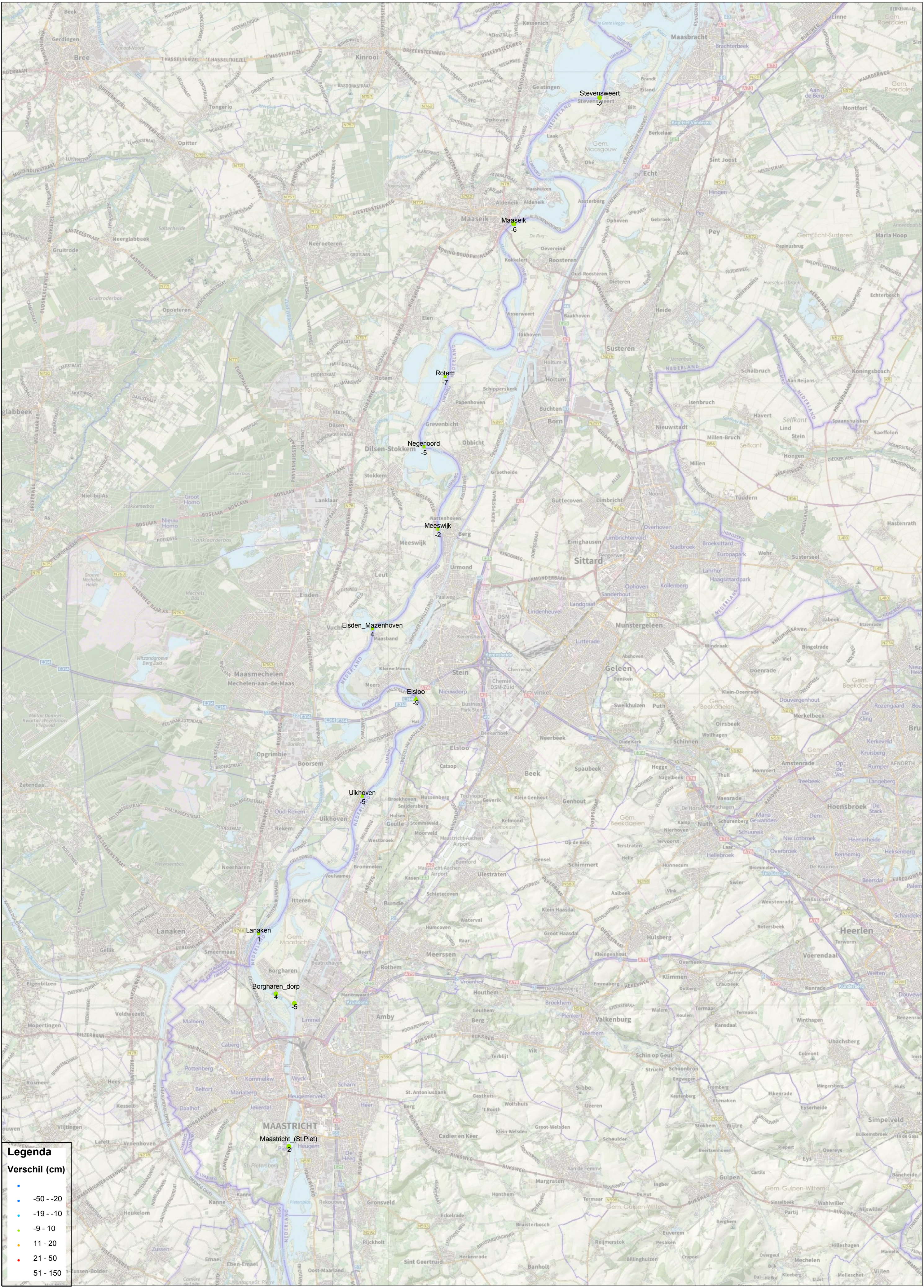
- 1Limburg, 2021: Hoogwater lijkt Roosteren te sparen, spanning in Maaseik, 16 juli 2021, <https://www.1limburg.nl/nieuws/1456559/hoogwater-lijkt-roosteren-te-sparen-spanning-in-maaseik>
- Becker A., 2012: Maas-modellen 5^{de} generatie, Modelopzet, kalibratie en verificatie, project 1204280-000, versie 3.0, november 2012, Deltares
- De Limburger, 2021: diverse artikelen
- Na Maasband laat burgemeester Leurs ook andere Steinse dorpen evacueren, 15 juli 2021, https://www.limburger.nl/cnt/dmf20210715_95847878
 - Huizen bij Maaseik onder water, toestand kademuur kritiek, 16 juli 2021, https://www.limburger.nl/cnt/dmf20210716_94482067
 - Gaat iconische Maasbrug in Maaseik het houden?, 16 juli 2021, https://www.limburger.nl/cnt/dmf20210716_94151351
 - Op vier plaatsen stroomt water over de dijk, 16 juli 2021, https://www.limburger.nl/cnt/dmf20210716_97326487
- De Vlaamse Waterweg nv, De Vlaamse Milieumaatschappij, 2021: Nood aan hoogwater-beveiliging in Vlaanderen, VR 2021 2210 MED.0362/2, 2021
- ENW, 2021: Hoogwater 2021, Feiten en Duiding, versie 2, 20 september 2021
- Het belang van Limburg, 2021: Hoe Luik afgelopen zomer op het nippertje ontsnapte aan een totale ramp, artikel 21 november 2021
- HLN, 2021: Zo fel flirt de Maas met oevers in Maasland: nog uren bang afwachten of dijken en dam het houden, 16 juli 2021, Het Laatste Nieuws Maasmechelen, <https://www.hln.be/maasmechelen/zo-fel-flirt-de-maas-met-oevers-in-maasland-nog-uren-bang-afwachten-of-dijken-en-dam-het-houden-br~a8a9191f/>
- Leinders H., 2021: Hoogwater Limburg 2021. Beelden hoogste waterstand bij Illikhoven, Visserweert en Heppeneert (beelden 16 juli 2021), 18 juli 2021, https://www.youtube.com/watch?v=LXh3_sbGF8
- Limburg24, 2021: Massale evacuatie inwoners Roosteren, 15 juli 2021, <https://limburg24.nl/massale-evacuatie-inwoners-roosteren/>
- Nederweert24, 2021: Hoogwater in Limburg, 17 juli 2021, <https://www.nederweert24.nl/2021/07/17/hoogwater-maas-en-roer-11-nu-ook-rampenzender-in-limburg-noord/>
- NOS, 2021: Dronebeelden: Hoogwater staat tot aan de rand van de kademuur in Maaseik (België), 16 juli 2021 14:44, <https://nos.nl/collectie/13869/video/2389595-dronebeelden-hoogwater-staat-tot-aan-de-rand-van-de-kademuur-in-maaseik-belgie>
- Peters B., 2022: Role of Albert Canal system in July 2021 flood: what can we learn from this?, April 2022, MSc thesis, Hydrology and Quantitative Water Management Group, Wageningen University
- Van der Veen R., R. Agtersloot en C. Michels, 2021a: Jaarlijkse actualisatie modellen Maas 2021, project P21031, versie 2, 25 mei 2021
- Van der Veen R. en R. Agtersloot, 2021b: Topafvoeren hoogwater Maas juli 2021, project P210910R, versie 1.0, 3 december 2021

- Van der Veen R. en R. Agtersloot, 2022: analyse Hoogwater Maas juli 2021 (metingen – verwachtingen), RWS-CIV, versie 2.3, 16-03-2022
- Van Dongen B., 2022: Methodiek voor bepalen effect zomervegetatie, opdrachtgever: Rijkswaterstaat Water, Verkeer en Leefomgeving, 11 januari 2022, ARCADIS Nederland BV
- Van Steenberghe N., 2021: Gebeurtenissen Waterwegen Vlaanderen juli 2021, Versie 1.0. WL Rapporten, PA008_01, opdrachtgever: Hydrologisch Informatie Centrum en De Vlaamse Waterweg nv, 30 november 2021, Waterbouwkundig Laboratorium Antwerpen
- Zeimetz F., Launay M., Bourqui P., Calixte E., Fallon C., Teller J., 2021: Analyse indépendante sur la gestion des voies hydrauliques lors des intempéries de la semaine du 12 juillet 2021, Lot 1 – actualisation, Rapport de synthèse, Stucky et Université Liège
- Zoeter F., 2022: Wat-als-simulatie Vlaanderen met neerslag juli 2021, opdrachtgever: De Vlaamse Waterweg, referentie I/RA/11644/21.235/FZO, versie 3.0, 9 februari 2022, IMDC

Bijlage 1

Grafische weergave meetpunten

Waterstandsverschil simulatie V7-RC_06 t.o.v. metingen



Stevensweert
Stevensweert 2

Maaseik
Maaseik -6

Rotem
Rotem -7

Negenoord
Negenoord -5

Meeswijk
Meeswijk -2

Eisden
Eisden Mazonhoven 4

Elsloo
Elsloo -9

Uikhoven
Uikhoven -5

Lanaken
Lanaken 1

Borgharen
Borgharen_dorp 4

MAASTRICHT
Maastricht (St.Piet) 2

Bijlage 2

Waakhoogte waterkeringen

