



ANALYSE GEULDALBERGING

MODELONDERZOEK NAAR VOLLEDIG BENUTTEN BERGINGSGBIEDEN LANGS DE GEUL TUSSEN
GULPEN EN VALKENBURG

Opdrachtgever:
Projectnr:
Datum:

Waterveiligheid en Ruimte Limburg
PLI210-0001
16 oktober 2025

ANALYSE GEULDALBERGING

MODELONDERZOEK NAAR VOLLEDIG BENUTTEN BERGINGSGBIEDEN LANGS DE GEUL TUSSEN GULPEN EN VALKENBURG

Opdrachtgever:	Waterveiligheid en Ruimte Limburg
Projectnr:	PLI210-0001
Rapportnr:	1.0
Status:	Definitief
Datum:	16 oktober 2025

Opsteller:
BDEU

Verificatie:
CC

Validatie:
PVZ

T 088 - 33 66 333
E info@kragten.nl

© 2025 Kragten
Niets uit dit rapport mag worden veelelvoudigd en/of
openbaar gemaakt door middel van druk, fotokopie, microfilm
of op welke andere wijze dan ook zonder voorafgaande
toestemming van Kragten. Het is tevens verboden informatie
en kennis verwerkt in dit rapport ter beschikking te stellen aan
derden of op andere wijze
toe te passen dan waaraan in de overeenkomst toestemming
wordt verleend.



INHOUDSOPGAVE

SAMENVATTING	5
1 INLEIDING.....	6
1.1 Aanleiding	6
1.2 Doel	6
1.3 Leeswijzer	6
2 PROJECTAANPAK.....	7
2.1 Scope	7
2.2 Onderzoeksgebied.....	7
2.3 Modelstudie	7
2.4 Maatregelenpakket ontwerpiteratie 1.....	7
2.5 Werksessie	8
2.6 Maatregelenpakket ontwerpiteratie 2.....	8
3 MODELOPBOUW.....	10
3.1 Gebruikt model.....	10
3.2 Randvoorwaarden en modelparameters	10
3.3 Referentiesituatie	10
3.4 Ontwerpiteratie 1.....	11
3.5 Ontwerpiteratie 2.....	11
4 RESULTATEN REFERENTIESITUATIE.....	13
4.1 Debieten	13
4.2 Inundaties	14
5 RESULTATEN ONTWERPITERATIE 1	17
5.1 Bergingsvolumes.....	17
5.2 Sturing.....	18
5.3 Inundaties	18
5.4 Debieten	20
5.5 Waterstandsverschillen	22
5.6 Conclusie ontwerpiteratie 1	24
6 RESULTATEN ONTWERPITERATIE 2.....	25
6.1 Bergingsvolumes.....	25
6.2 Sturing.....	25
6.3 Inundaties	26
6.4 Debieten	28
6.5 Waterstandsverschillen	29
7 CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN.....	32
7.1 Conclusies.....	32
7.2 Aanbevelingen.....	33

BIJLAGEN

B1	LOCATIES DAMMEN EN HOOGTEPROFIELEN ONTWERPITERATIE 1
B2	MAXIMALE INUNDATIES REFERENTIESITUATIE
B3	MAXIMALE INUNDATIES ONTWERPITERATIE 1

B4	INUNDATIEVERLOOP ONTWERPITERATIE 1
B5	DEBIETEN ONTWERPITERATIE 1
B6	WATERSTANDSVERSCHILLEN BIJ DE MAXIMAAL OPTREDENDE WATERSTANDEN ONTWERPITERATIE 1
B7	MAXIMALE INUNDATIES ONTWERPITERATIE 2
B8	INUNDATIEVERLOOP ONTWERPITERATIE 2
B9	DEBIETEN ONTWERPITERATIE 2
B10	WATERSTANDSVERSCHILLEN BIJ DE MAXIMAAL OPTREDENDE WATERSTANDEN ONTWERPITERATIE 2

TABELLEN

Tabel 1. Kruinhoogtes en bergingsvolumes per bergingslocatie in ontwerpiteratie 1	17
Tabel 2. Kruinhoogtes en bergingsvolumes per bergingslocatie in ontwerpiteratie 2	25

FIGUREN

Figuur 1. Overzicht dammen in het Geuldal	11
Figuur 2. Overzicht dammen ontwerpiteratie 2 in het Geuldal	12
Figuur 3. Afvoergolf 2021, nabij Gulpen en nabij Valkenburg	13
Figuur 4. Afvoergolf 2, nabij Gulpen en nabij Valkenburg	14
Figuur 5. Maximaal optredende waterdiepte in Valkenburg Centrum, referentiesituatie 2021-afvoergolf	15
Figuur 6. Maximaal optredende waterdiepte in Valkenburg Centrum, referentiesituatie afvoergolf 2	15
Figuur 7. Inundatie nabij Valkenburg bij een debiet van 58 m ³ /s	16
Figuur 8. Maximaal optredende waterdiepte in Valkenburg Centrum, ontwerpiteratie 1 2021-golf	19
Figuur 9. Maximaal optredende waterdiepte in Valkenburg Centrum, ontwerpiteratie 1 afvoergolf 2	19
Figuur 10. Debietverloop ter hoogte van het Odapark, 2021-afvoergolf	21
Figuur 11. Debietverloop ter hoogte van het Odapark, afvoergolf 2	21
Figuur 12. Waterstandsverschil tussen ontwerpiteratie 1 en de referentiesituatie bij maximaal optredende waterstanden in Valkenburg Centrum, 2021-afvoergolf ..	22
Figuur 13. Waterstandsverschil tussen Maategel 1 en de referentiesituatie bij maximale waterstanden nabij Valkenburg Centrum, afvoergolf 2	23
Figuur 14. Maximaal optredende waterdiepte in Valkenburg Centrum, ontwerpiteratie 2 2021-golf	26
Figuur 15. Maximaal optredende waterdiepte in Valkenburg Centrum, ontwerpiteratie 2 afvoergolf 2	27
Figuur 16. Debietverloop ter hoogte van het Odapark, ontwerpiteratie 2 2021-afvoergolf	28
Figuur 17. Debietverloop ter hoogte van het Odapark, ontwerpiteratie 2 afvoergolf 2	29
Figuur 18. Maximaal optredende waterdiepte in Valkenburg Centrum, ontwerpiteratie 2 2021-golf	30
Figuur 19. Maximaal optredende waterdiepte in Valkenburg Centrum, ontwerpiteratie 2 afvoergolf 2	30

SAMENVATTING

Tijdens de wateroverlast van juli 2021 is het Geuldal is op sommige plekken langs de Geul is het bebouwd gebied ernstig overstroomd terwijl op andere plekken langs de Geul beschikbare ruimte voor het water niet is geïnundeerd. Aan de hand van dit onderzoek is getracht een beeld te krijgen van de maatregelen waarmee de overstromingsvlaktes of bergingsgebieden van de Geul tussen Gulpen en Valkenburg beter benut worden, en of wateroverlast in Valkenburg daarmee beperkt kan worden. Voor twee afvoergolven en een tweetal maatregelenpakketten, namelijk:

- Ontwerpiteratie 1: Een 9-tal bergingslocaties tussen Gulpen en Valkenburg.
 - 2021-afvoergolf
 - Een tweede kleinere afvoergolf
- Ontwerpiteratie 2: Een op ontwerpiteratie 1 gebaseerde selectie van 4 verder geoptimaliseerde bergingslocaties tussen Gulpen en Valkenburg.
 - 2021-afvoergolf
 - Een tweede kleinere afvoergolf

De 2021-afvoergolf is de golf zoals deze in juli van 2021 heeft opgetreden en de kleinere tweede afvoergolf is afkomstig uit de watersysteemtoets en heeft geen specifieke herhalingstijd (hoewel deze grofweg overeenkomt met een T25). Dit onderzoek is uitgevoerd met het hydrologische model D-HYDRO Suite 2025.01 1D2D.

Uit de resultaten blijkt dat de 2021-afvoergolf te groot is voor het goed functioneren van beide ontwerpiteraties. Wel kan het hoogwater wat uitgesteld worden met grofweg 4 uur in ontwerpiteratie 1 en 6 uur in ontwerpiteratie 2, waarbij in ontwerpiteratie 2 het piekdebiet met $10 \text{ m}^3/\text{s}$ verlaagd wordt. Bij de tweede kleinere afvoergolf is het debiet in Valkenburg te beperken voor beide ontwerpiteraties. Het debiet is in ontwerpiteratie 1 te verlagen met $20 \text{ m}^3/\text{s}$ en uit te stellen met 6 uur in en het debiet is in ontwerpiteratie 2 te verlagen met $20 \text{ m}^3/\text{s}$ en uit te stellen met 8 uur. Hieruit valt te concluderen dat ontwerpiteratie 1 goed functioneert voor afvoergolven met een kleinere herhalingstijd (zoals T25 en kleiner) maar minder goed functioneert voor afvoergolven met een grotere herhalingstijd (zoals T100). Ontwerpiteratie 2 functioneert eveneens goed voor afvoergolven met een kleinere herhalingstijd (zoals T25 en kleiner), en functioneert eveneens minder goed voor afvoergolven met een grotere herhalingstijd (zoals T100), maar functioneert hierbij beter dan ontwerpiteratie 1.

1 INLEIDING

1.1 Aanleiding

In 2021 is het Geuldal zwaar getroffen door wateroverlast. Op sommige plekken langs de Geul is het bebouwd gebied ernstig overstroomd terwijl op andere plekken langs de Geul beschikbare ruimte voor het water niet is geïnundeerd. Waterveiligheid en Ruimte Limburg (VRL) wenst meer inzicht in de manier waarop deze beschikbare ruimte voor het water beter benut kan worden, waardoor het bebouwd gebied minder inundeert. VRL wil aan de hand van een modelstudie inzichtelijk maken hoe berging in het Geuldal beter benut kan worden bij afvoerextremen.

1.2 Doel

Het doel van het onderzoek is het krijgen van een beeld van de maatregelen waarmee de overstromingsvlaktes of bergingsgebieden van de Geul tussen Gulpen en Valkenburg beter benut worden. Hiertoe zijn een tweetal maatregelenpakketten opgesteld, namelijk ontwerpiteratie 1 en ontwerpiteratie 2. Inzicht in het functioneren van beide ontwerpiteraties is gewenst voor een tweetal hoogwatersituaties, namelijk de 2021-afvoergolf en een kleinere tweede afvoergolf (waaraan geen specifieke herhalingstijd is verbonden). Met behulp van een hydrologische modelstudie (gebruik makend van D-HYDRO Suite 2025.01 1D2D) wordt een antwoord gezocht op deze vragen.

1.3 Leeswijzer

In hoofdstuk 2 is de modelaanpak beschreven en in hoofdstuk 3 is de modelopzet beschreven. In hoofdstuk 4 zijn de resultaten van de referentiesituatie beschreven, in hoofdstuk 5 zijn de resultaten van ontwerpiteratie 1 beschreven, en in hoofdstuk 6 zijn de resultaten van ontwerpiteratie 2 beschreven. Afsluitend zijn in hoofdstuk 7 de conclusies en aanbevelingen gegeven.

2 PROJECTAANPAK

2.1 Scope

Deze rapportage beschrijft de modelstudie die is uitgevoerd voor een tweetal maatregelenpakketten, namelijk ontwerpiteratie 1 en ontwerpiteratie 2. Het eerste maatregelenpakket bestaat uit een aantal bergingslocaties, die zijn bepaald op basis van locaties met beschikbare ruimte voor waterberging. Op basis van de modelresultaten en een werksessie met betrokken overheden is een tweede ontwerpiteratie uitgevoerd, welke heeft geresulteerd in een tweede maatregelenpakket. De modelresultaten van de referentiesituatie, ontwerpiteratie 1 en ontwerpiteratie 2 zijn allemaal beschreven in deze rapportage.

2.2 Onderzoeksgebied

In de modelstudie worden alleen maatregelen onderzocht die gelegen zijn benedenstrooms van Gulpen en bovenstrooms van Valkenburg. Het effect wordt onderzocht benedenstrooms van Gulpen tot aan de sifon nabij het Julianakanaal.

2.3 Modelstudie

De modelstudie is uitgevoerd aan de hand van hydrologische modelsoftware. Aan de hand van deze modelsoftware zijn een drietal varianten doorgerekend voor zowel de 2021-hoogwatergolf als de tweede kleinere afvoergolf. Gebruik makend van de modelresultaten is het volgende inzichtelijk gemaakt:

- Referentiesituatie (bestaande situatie zonder maatregelen)
 - Inundaties
 - Debieten
- Maatregelenpakket ontwerpiteratie 1
 - Geborgen volume water
 - Inundaties
 - Debieten
 - Inundatieverschillen met referentiesituatie
- Maatregelenpakket ontwerpiteratie 2
 - Geborgen volume water
 - Inundaties
 - Debieten
 - Inundatieverschillen met referentiesituatie

2.4 Maatregelenpakket ontwerpiteratie 1

Op basis van een eerste GIS-analyse¹ is bepaald waar binnen het Geuldal (tussen Gulpen en Valkenburg) ruimte is voor aanvullende waterberging, boven op de inundaties die hebben plaatsgevonden in 2021. Dit heeft geresulteerd een 9-tal dammen, waarachter water wordt vastgehouden en het bergingsgebied over een groter oppervlak wordt benut. Het uitgangspunt bij het bepalen van deze bergingslocaties was het bepalen van een zo uitgebreid en effectief mogelijk maatregelenpakket. De kruin van iedere dam is op een dusdanige hoogte bepaald dat nèt geen nieuwe inundatie plaatsvindt bij bovenstrooms gelegen bebouwing. In de GIS-analyse is deze hoogte bepaald aan de hand van een horizontaal wateroppervlak. In het hydrologische model wordt echter rekening gehouden met afstromend water, waardoor het wateroppervlak niet geheel horizontaal ligt. De

¹ GIS-analyse retentiegebieden Gulpen-Valkenburg, Kragten, 4 juni 2024

kuinhoogte en exacte ligging van de dammen is daarom lokaal beperkt afwijkend opgenomen in het hydrologische model.

Het betreft dammen op de volgende locaties, van bovenstrooms is benedenstroomse richting:

- Gulpen
- Kapolder
- Kasteel Wijlre
- Wijlre
- Wijlre Noord
- Etenaken
- Schoonbron
- Oud Valkenburg
- Valkenburg

De dammen zoals deze in het hydrologische model zijn opgenomen, zijn weergegeven in Bijlage B1.

2.5 Werksessie

In een werksessie met WRL en Waterschap Limburg op 17 juli 2025, zijn de modelresultaten van ontwerpiteratie 1 gepresenteerd. Deze modelresultaten zijn besproken, alsmede aandachtspunten van de aanwezigen. Gezamenlijk is tot een tweede ontwerpiteratie gekomen. Er is besloten om het maatregelenpakket aan te passen, door alleen de meest effectieve bergingslocaties te behouden en deze voor zover mogelijk uit te breiden. Dit heeft geresulteerd in de onderstaand beschreven ontwerpiteratie 2.

2.6 Maatregelenpakket ontwerpiteratie 2

In de werksessie op 17 juli 2025 is besloten welke bergingslocaties het meest effectief zijn. Dit zijn van bovenstrooms is benedenstroomse richting:

- Kapolder
- Kasteel Wijlre
- Wijlre Noord
- Valkenburg

Deze bergingslocaties zijn het meest effectief, omdat ze een grote bergingscapaciteit hebben, zonder nieuwe inundaties van bebouwd gebied als gevolg te hebben. Daarnaast hebben ze potentie tot uitbreiding. Dit laatste is bij bergingslocatie Kasteel Wijlre weliswaar niet het geval, maar deze functioneert goed samen met bergingslocatie Kapolder.

De bovenstaand beschreven effectieve bergingslocaties zijn in ontwerpiteratie 2 behouden en de overige bergingslocaties zijn verwijderd. Deze bergingslocaties zijn in ontwerpiteratie 2 op de volgende manier geoptimaliseerd:

- Kapolder: De capaciteit is vergroot door de kruin van de dam te verhogen met 0,4 m.
- Kasteel Wijlre: Geen aanpassingen ten opzichte van ontwerpiteratie 1.
- Wijlre Noord: De capaciteit is vergroot door de kruin van de dam te verhogen met 0,4 m.
- Valkenburg: De capaciteit is vergroot door de kruin van de dam te verhogen met 0,4 m. Daarnaast is de kruin van de dam met 1 m verhoogd aan de meest oostelijke 50 m en de meest westelijke 50 m van de dam.

De dammen van Kapolder, Wijlre Noord en Valkenburg zijn verhoogd, omdat door de afwezigheid van bovenstrooms gelegen bergingslocaties (die er wel liggen in ontwerpiteratie 1) meer opstuwing mogelijk is zonder nieuwe inundatie te creëren nabij bebouwing. De verhoging van specifiek 0,4 m is gekozen, omdat hierbij net nog acceptabele inundatie plaats vindt en niet nieuwe inundatie plaatsvindt nabij bebouwing.

Bij de dam Valkenburg is Kasteel Schaloen de meest kritische bebouwing. Rondom de gracht van het kasteel ligt een grond dam (kleine verhoging in het maaiveld). Deze verhoging heeft een variërende kruinhoogte tussen NAP+72,0 m en NAP+73,2 m. De kruin aan de oostelijke helft ligt gemiddeld op ongeveer NAP+73,0 m en de westelijke helft ligt gemiddeld op ongeveer NAP+72,5 m. Bij een verhoging van 0,4 m van de dam Valkenburg komt het waterpeil ter plaatse van Kasteel Schaloen op maximaal NAP+72,8 m te staan gedurende de 2021-afvoergolf. Door de grond dam aan de westkant van het kasteel gedeeltelijk met maximaal 0,8 m te verhogen (en gemiddeld ongeveer met 0,3 m) is het kasteel te beschermen tegen het water. Aangezien de grond dam aan de oostkant van het kasteel een vergelijkbare (zelfs wat hogere) kruinhoogte heeft, wordt deze ingreep als acceptabel beschouwd.

Bij een verhoging van de dam Wijlre Noord van 0,4 m ontstaat niet geen inundatie nabij de bebouwing van Stokhem.

Bij een verhoging van de dam Kapolder van 0,4 m ontstaat niet geen verhoging van de waterstand (groter dan 1 mm) nabij de instroomlocatie van de Gulp in de Geul. Dit voorkomt dat door een terugstuwend effect een toename van wateroverlast ontstaat in Gulpen.

Nabij Valkenburg is de kruinhoogte van de dam nabij de uiteinden verder verhoogd, om overstortend water meer te concentreren nabij de Geul, in het centrum van het Geuldal.

3 MODELOPBOUW

3.1 Gebruikt model

Voor deze modelstudie is D-HYDRO Suite 2025.01 1D2D gebruikt. Door Waterschap Limburg is het model 'juli30_2021_WST-6sept' aangeleverd. Dit model vormt de basis voor deze modelstudie. In de modelstudie is geen gebruik gemaakt van de Graphical User Interface (GUI) van D-HYDRO Suite 1D2D. Alle modelaanpassingen, modelruns en resultaatanalyses zijn filebased uitgevoerd.

3.2 Randvoorwaarden en modelparameters

Het model wordt gerund van 10-07-2021 (00:00:00) tot en met 01-08-2021 (00:00:00). De afvoergolf zelf vindt plaats grofweg tussen minuut 543960 en 548520.

Uitleesmomenten vinden elke 10 minuten voor de .his-uitvoer en elke 60 minuten voor de .map-uitvoer.

De dammen zijn gemodelleerd als 2D-fixed weirs in hoogtelijnenbestanden (.pliz). De dammen hebben een breedte van 60 m. De kruin van de '2D simple weir' is variabel. De doorlaat wordt gestuurd aan de hand van de RTC-module (real-time control) van het D-HYDRO model. De Geul stroomt steeds via een doorlaat door de dammen heen. Deze doorlaten zijn gemodelleerd als een culvert (1D-duiker) met een automatisch gestuurde afsluiter. Deze afsluiter wordt gestuurd aan de hand van de RTC-module (real-time control) van het D-HYDRO model. De exacte sturing van deze afsluiter is behandeld in Paragraaf 5.2 en O.

Voor de ruwheden en initiële condities zijn de waarden aangehouden die Waterschap Limburg in het aangeleverde model heeft verwerkt, namelijk:

- Ruwheden:
 - 1D: Manning-waarde $n = 0,023$ voor de watergang en $n = 0,017$ voor duikers;
 - 2D: Manning-waarde $n = 0,023$.
- Initiële condities:
 - 1D: Waterdiepte = 0,1 m;
 - 2D: Waterdiepte = 0 m.

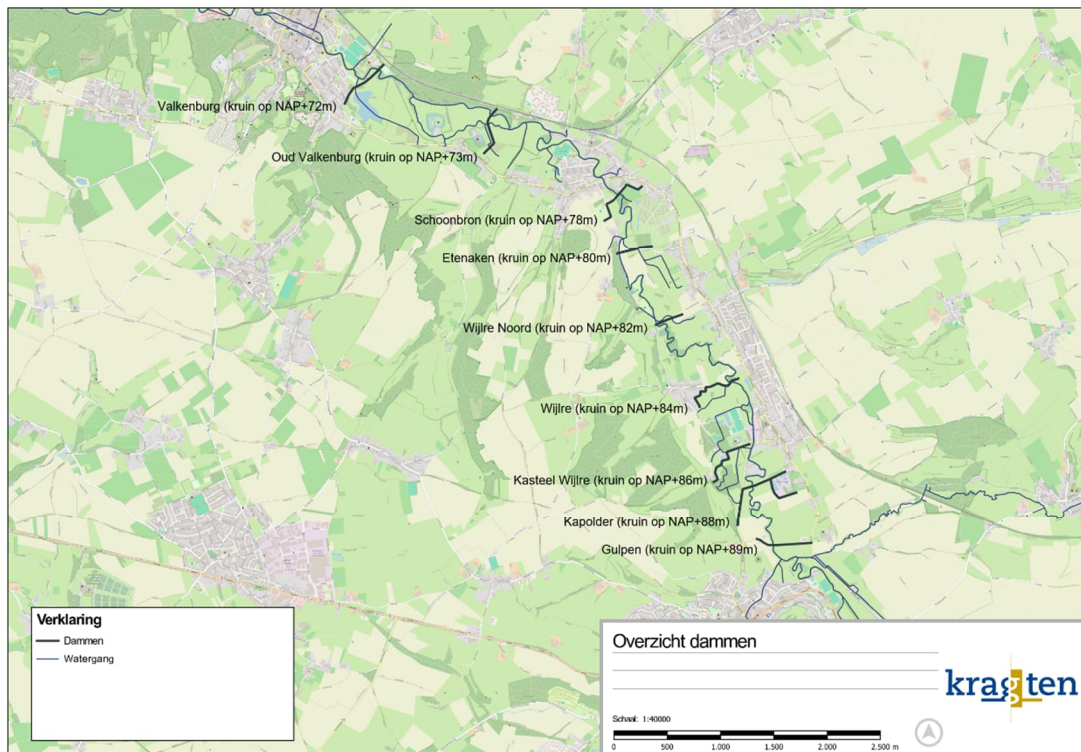
Het model is niet opgeknipt en er is geen gebruik gemaakt van de RR-module. Er worden een tweetal afvoergolven gebruikt voor de modelanalyse, namelijk de 2021-afvoergolf als extreme situatie en de tweede kleinere afvoergolf afkomstig uit de watersysteemtoets. Als afvoerinput worden laterale afvoeren gebruikt op basis van de twee eerder beschreven afvoergolven. Deze afvoergolven worden verder beschreven in Paragraaf 4.1.

3.3 Referentiesituatie

Het aangeleverde model 'juli30_2021_WST-6sept' is ongewijzigd gebleven. De enige aanpassingen in het model zijn dat de uitleesmomenten zijn aangepast naar elke 10 minuten voor de .map-uitvoer en dat er enkele observation points en observation cross sections zijn toegevoegd. De observation points en cross section worden gebruikt voor het analyseren van de maatregelenpakketten, waarbij het van belang is een vergelijking te kunnen maken met de referentiesituatie. Het belangrijkste toegevoegde observation point is 'Centrum Valkenburg' op het halverwege-punt tussen de brug van de Burgemeester Henssingel de splitsing van de molentak en de Geul in Valkenburg. De locaties van de observation cross sections zijn steeds direct benedenstrooms van de locaties van de dammen (zie Paragraaf 3.4) geplaatst. Daarnaast is een observation cross section toegevoegd nabij het Odapark in Valkenburg en een nog een benedenstrooms van Valkenburg nabij Kasteel St. Gerlach.

3.4 Ontwerpiteratie 1

Het model van ontwerpiteratie 1 is gebaseerd op het model zoals is gebruikt voor de referentiesituatie. Er zijn echter een 9-tal dammen aangebracht. In Figuur 1 is een overzicht van deze dammen weergegeven. In elke dam is een dynamische doorlaat gemodelleerd door middel van een duiker met automatisch gestuurde afsluiter. De dam nabij Kasteel Wijlre kruist echter niet met de Geul, waardoor hier geen doorlaatconstructie benodigd is. Deze dam heeft alleen als functie het inundatiegebied ten westen van de hoger gelegen Gulpenerweg beter te benutten. De exacte sturing en modellering van de doorlaten is beschreven in Paragraaf 5.2.



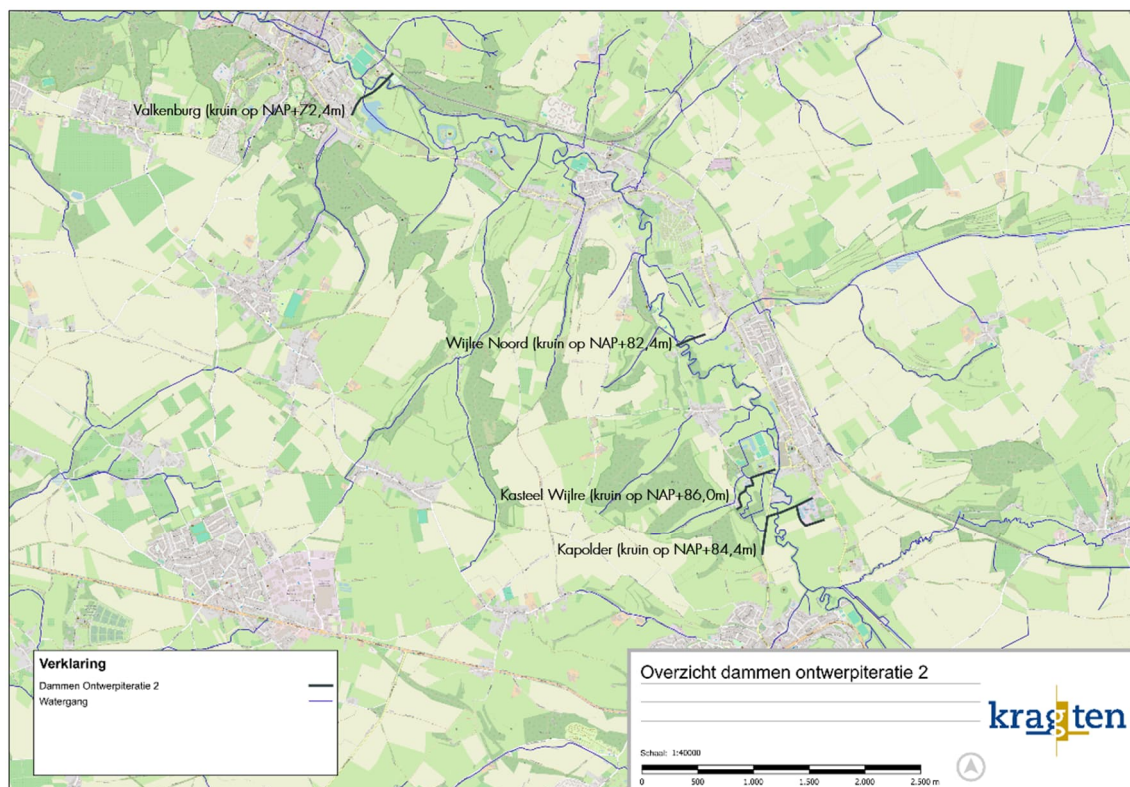
Figuur 1. Overzicht dammen in het Geuldal.

In Bijlage B1 zijn de locaties van de dammen meer ingezoomd weergegeven. In Bijlage B1 is tevens per dam het hoogtepunt weergegeven van zowel de dam als de bodemhoogte over de lengte van de dam.

3.5 Ontwerpiteratie 2

Qua modelopzet is ontwerpiteratie 2 gelijk aan ontwerpsituatie 1, behalve dat alleen nog maar de bergingslocaties nabij Kapolder, Kasteel Wijlre, Wijlre Noord en Valkenburg zijn opgenomen in het model. De overige bergingslocaties zijn verwijderd. Tevens is de kruinhoogte van de dammen van Kapolder, Wijlre Noord en Valkenburg verhoogd met 0,4 m. De dam nabij Valkenburg is aan de uiteinden verder verhoogd met 1 m. De kruinhoogte van de dam van Kasteel Wijlre is niet aangepast. In Figuur 2 is een overzicht van deze dammen weergegeven.

Net zoals bij ontwerpiteratie 2 zijn de doorlaten door de dammen gemodelleerd als duiker. Aan de hand van het debiet door deze duikers is het doorlaatdebiet automatisch geregeld met behulp van een regelbare afsluiter op de duiker. De exacte sturing en modellering van de doorlaten is beschreven in Paragraaf 6.4.

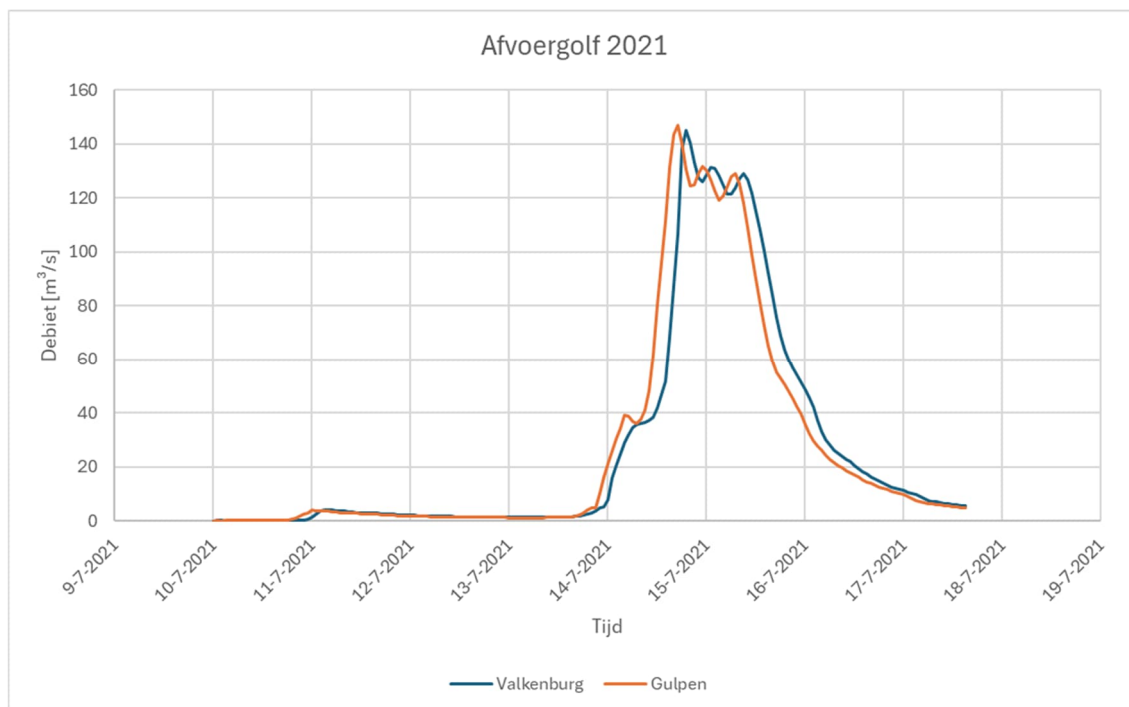


Figuur 2. Overzicht dammen ontwerpiteratie 2 in het Geuldal.

4 RESULTATEN REFERENTIESITUATIE

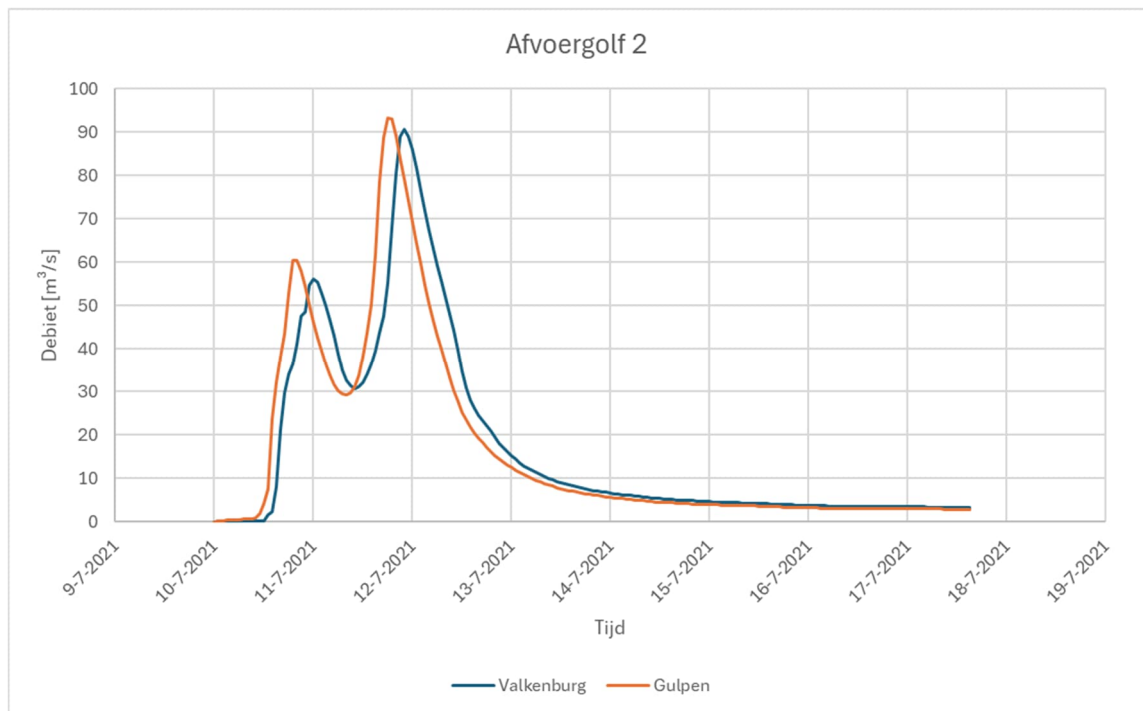
4.1 Debieten

De 2021-afvoergolf, zoals deze in het hydrologisch model is gebruikt, is weergegeven in Figuur 3 ter plaatse van Gulpen en Valkenburg. Deze afvoergolf representeert de situatie zoals deze in juli 2021 daadwerkelijk heeft plaatsgevonden. Het totale volume aan water dat gedurende de afvoergolf door Valkenburg stroomt is grofweg 17 miljoen m³.



Figuur 3. Afvoergolf 2021, nabij Gulpen en nabij Valkenburg.

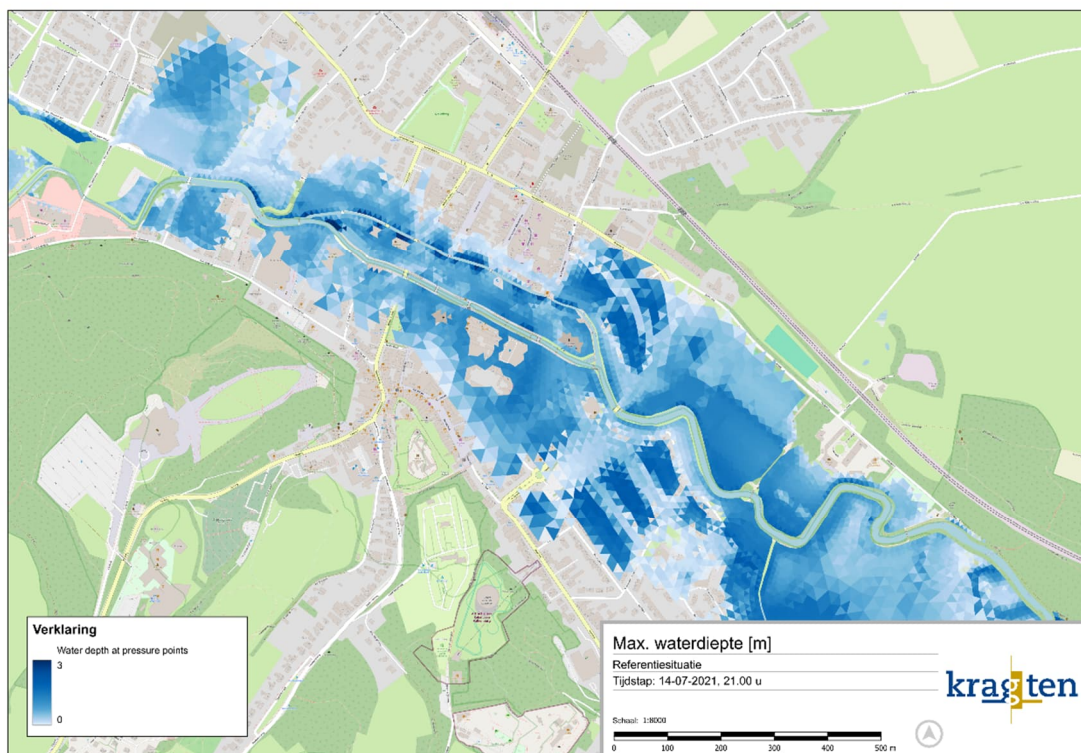
De tweede kleinere afvoergolf is weergegeven in Figuur 4, eveneens ter plaatse van Gulpen en Valkenburg. Dit is een fictieve golf. Voor het gemak is deze gemodelleerd vanaf dezelfde starttijd en -datum als de 2021-golf, maar deze heeft toen niet plaatsgevonden. Het totale volume aan water dat gedurende de afvoergolf door Valkenburg stroomt is grofweg 11 miljoen m³.



Figuur 4. Afvoergolf 2, nabij Gulpen en nabij Valkenburg.

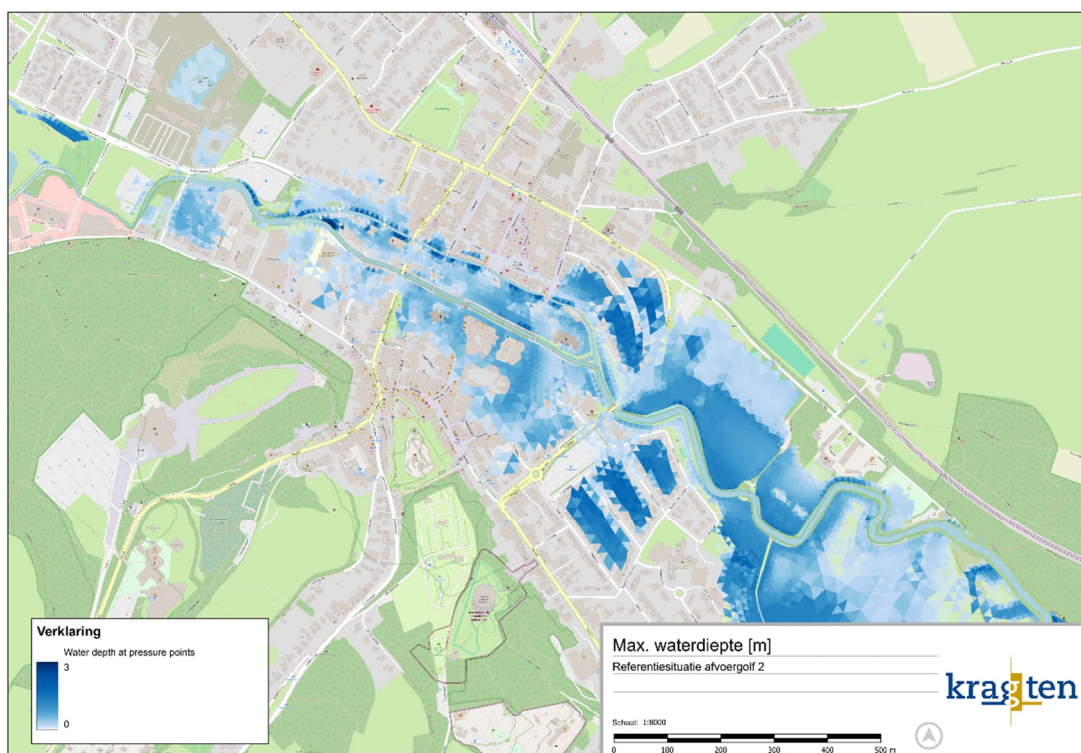
4.2 Inundaties

In Figuur 5 zijn de maximaal optredende inundaties weergegeven in Valkenburg in de referentiesituatie, voor de 2021-golf. Deze maximale waterdiepte vindt plaats 14-07-2021, om 21.00 u. Dit komt overeen met tijdstap 118 van de hydrologische modelsimulatie. De inundatiediepte is weergegeven met blauwtinten. Een donkerdere kleur betekent een grotere inundatiediepte.



Figuur 5. Maximaal optredende waterdiepte in Valkenburg Centrum, referentiesituatie 2021-afvoergolf.

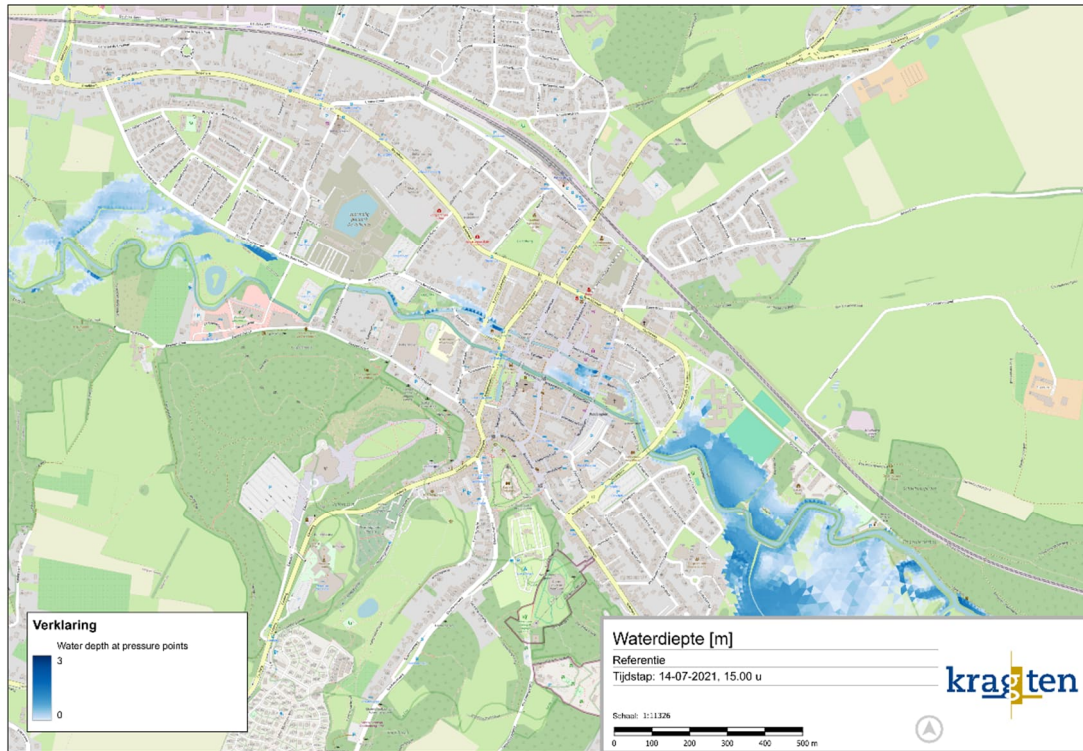
In Figuur 6 zijn de maximaal optredende inundaties weergegeven in Valkenburg in de referentiesituatie, voor afvoergolf 2. De inundaties zijn wat kleiner, omdat de afvoerpiek kleiner is dan bij de 2021-afvoergolf.



Figuur 6. Maximaal optredende waterdiepte in Valkenburg Centrum, referentiesituatie afvoergolf 2.

In Bijlage B2 zijn de maximaal optredende inundaties weergegeven op de locaties waar in ontwerpiteratie 1 de bergingslocaties zijn voorzien (tussen Gulpen en Valkenburg), voor zowel de 2021-afvoergolf als afvoergolf 2. De dammen zijn in de referentiesituatie uiteraard niet aanwezig.

Inundatie in Valkenburg vindt plaats vanaf $58 \text{ m}^3/\text{s}$ nabij observation point Valkenburg_Centrum. De waterstand die bij dit debiet optreedt nabij de observation point Valkenburg_Centrum is NAP + 69,8 m. Deze situatie vindt plaats op tijdstap 112 in de referentiesituatie voor de 2021-afvoergolf. Dit komt overeen met de datum 14-07-2021, om 15.00 u. De bijbehorende inundaties zijn weergegeven in Figuur 7.



Figuur 7. Inundatie nabij Valkenburg bij een debiet van $58 \text{ m}^3/\text{s}$.

5 RESULTATEN ONTWERPITERATIE 1

5.1 Bergingsvolumes

De locaties van de dammen, inclusief het streefpeil per bergingslocatie zijn eerder al weergegeven in Figuur 1. In Tabel 1 is per bergingslocatie de kruinhoogte weergegeven. Daarnaast is in deze tabel de hoogte van de dam nabij de Geul en het bergingsvolume weergegeven.

Bij Tabel 1 moeten wat kanttekeningen geplaatst worden:

- Kolom 2 geeft de kruinhoogte van de dam weer en respectievelijk kolom 4 en 5 geven de waterstanden inclusief verhang en overstortende straal weer.
- In kolom 6 is een indicatie van het bergingsvolume per bergingslocatie weergegeven voor de 2021-afvoergolf. In kolom 7 is dit weergegeven voor afvoergolf 2. Dit bergingsvolume is gedefinieerd als de maximaal optredende waterstand bij ontwerpiteratie 1 minus de maximaal optredende waterstand in de referentiesituatie. Het betreft dus het volume water 'bovenop' het peil in de referentiesituatie en is bepaald op basis van de modelresultaten.
- In kolom 6 en 7 van Tabel 1 is geen specifieke tijdstap gekozen, maar alle maximale waarden per cel.
- Er is in de praktijk geen sprake van een vast volume 'gebufferd' water per bergingslocatie, omdat (gezien de omvang van de afvoergolf) de dammen allemaal ruimschoots overlopen. Het water wordt daardoor continu doorgevoerd en ververs. Vanwege de dammen is er echter een hogere waterstand in het onderzoeksgebied mogelijk. De toegenomen waterschijf is hier gedefinieerd als 'geborgen' watervolume.
- In kolom 8 is een indicatie van het totale bergingsvolume per bergingslocatie weergegeven voor de 2021-afvoergolf. In kolom 9 is dit weergegeven voor afvoergolf 2. Het totale bergingsvolume is gedefinieerd als de maximaal optredende waterstand bij ontwerpiteratie 1 minus de bodemhoogte (AHN). De waterstand is bepaald op basis van de modelresultaten en hier de bodemhoogte van afgetrokken. Er is een vergelijking gemaakt ten opzichte van een droogstaand beekdal en er is dus geen vergelijking gemaakt met de referentiesituatie.
- In kolom 8 en 9 is geen specifieke tijdstap gekozen, maar alle maximale waarden per cel.

Tabel 1. Kruinhoogtes en bergingsvolumes per bergingslocatie in ontwerpiteratie 1.

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Bergingslocatie	Kruinhoogte [m+NAP]	Hoogte dam nabij Geul [m]	Gemiddeld waterpeil in bergingslocatie bij maximale waterstanden 2021 [m+NAP]	Gemiddeld waterpeil in bergingslocatie bij maximale waterstanden afvoergolf 2 [m+NAP]	Bergingsvolume o.b.v. toename in maximale waterstanden 2021 [m³]	Bergingsvolume o.b.v. toename in maximale waterstanden afvoergolf 2 [m³]	Totaal bergingsvolume 2021 [m³]	Totaal bergingsvolume afvoergolf 2 [m³]
Gulpen	89,0	1,0	89,4	89,2	30.000	37.000	57.000	36.000
Kapolder	88,0	2,0	88,2	88,1	168.000	157.000	294.000	268.000
Kasteel Wijlre	86,0	1,0 (nabij Hedge House)	86,3	86,1	43.000	36.000	225.000	171.000
Wijlre	84,0	1,0	84,4	84,1	56.000	39.000	263.000	193.000
Wijlre Noord	82,0	2,0	82,5	82,3	122.000	93.000	175.000	100.000
Elenaken	80,0	2,0	79,8	79,6	24.000	6.000	118.000	31.000
Schoonbron	78,0	0,5	78,8	78,3	-5.000	0	61.000	61.000
Oud Valkenburg	73,0	1,0	75,5	75,2	6.000	2.000	87.000	52.000
Valkenburg	72,0	2,0	72,2	72,1	374.000	435.000	605.000	521.000

Uit Tabel 1 valt te concluderen dat de bergingsvolumes over het algemeen groter zijn voor de 2021-afvoergolf ten opzichte van afvoergolf 2, zowel ten opzichte van de referentiewaterstand als ten opzichte van maaiveld. Dit komt waarschijnlijk doordat er een grotere hoeveelheid water afstroomt gedurende de 2021-afvoergolf dan gedurende afvoergolf 2. In verhouding tot het totale volume aan water dat gedurende de 2021-afvoergolf door Valkenburg stroomt (ongeveer 17 miljoen m³) en het totale volume aan water dat gedurende afvoergolf 2 door

Valkenburg stroomt (ongeveer 11 miljoen m³), zijn de bergingsvolumes beperkt (voor de 2021-afvoergolf in de ordegrootte 5% voor de volumes van alle bergingslocaties in kolom 6 opgeteld en voor afvoergolf 2 grofweg 7% voor de volumes van alle bergingslocaties in kolom 7 opgeteld).

5.2 Sturing

Nét benedenstrooms van de duiker door elke dam is een observation point geplaatst in de 1D-watergang van het model. De RTC-module van het D-HYDRO model stuurt op een debiet ter plaatse van het observation point.

Het doorlaatdebiet waarop gestuurd wordt is voor elke doorlaat gelijk. Dit is het debiet dat in de referentiesituatie optreedt op het moment waarom nét inundatie begint op te treden in Valkenburg.

Net bovenstrooms van het punt waarop de Molentak aftakt van de Geul in Valkenburg is een observation point 'Valkenburg_Centrum' toegevoegd aan het model. Hier zijn de waterstanden en debieten in Valkenburg vastgelegd gedurende de modelruns. Uit de resultaten nabij observation point 'Valkenburg_Centrum' blijkt dat inundatie in Valkenburg vindt plaats vanaf 58 m³/s. Daarom wordt de RTC-sturing dusdanig ingesteld dat nabij alle doorlaten altijd maximaal dit debiet doorgelaten. Zodra nabij de benedenstrooms van de dam gelegen observation point een debiet van 58 m³/s optreedt, treedt de sturing van de betreffende doorlaat in werking.

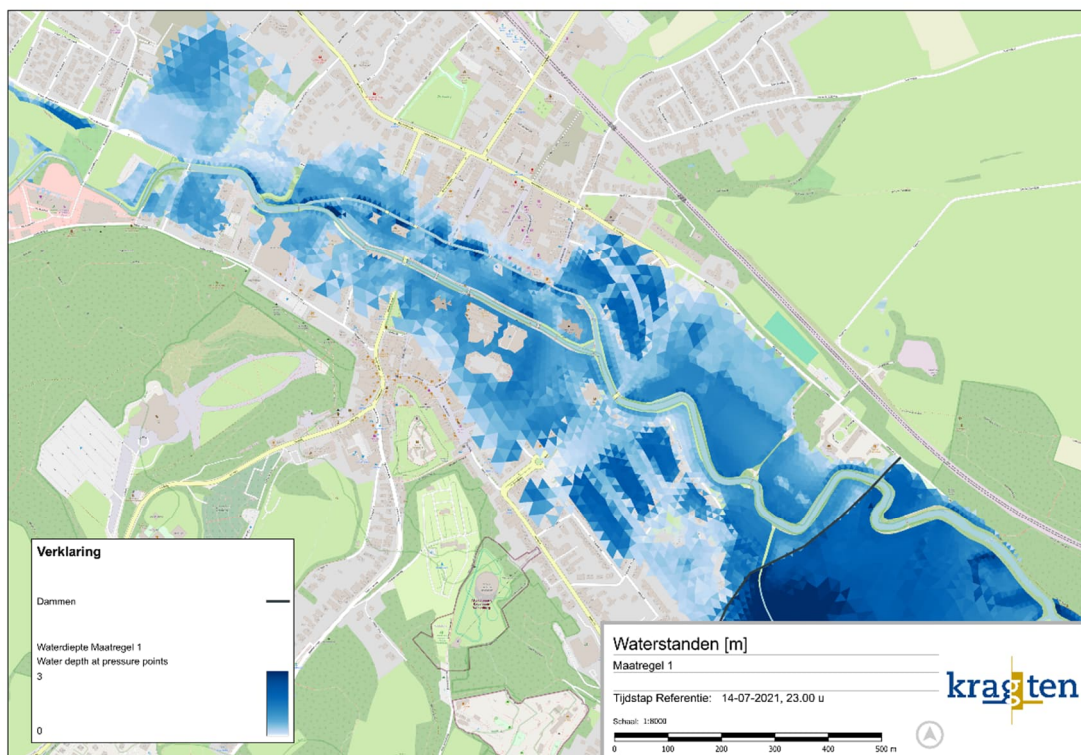
De RTC-sturing laat in het model maximale debieten door die wat afwijken van de ingestelde 58 m³/s en die wat oscilleren. Het debiet dat per bergingslocatie maximaal wordt doorgelaten is grofweg:

- Gulpen: 48 m³/s;
- Kapolder: 71 m³/s;
- Wijlre: 66 m³/s;
- Wijlre Noord: 65 m³/s;
- Etenaken: 68 m³/s;
- Schoonbron: 64 m³/s;
- Oud Valkenburg: 59 m³/s;
- Valkenburg: 56 m³/s.

5.3 Inundaties

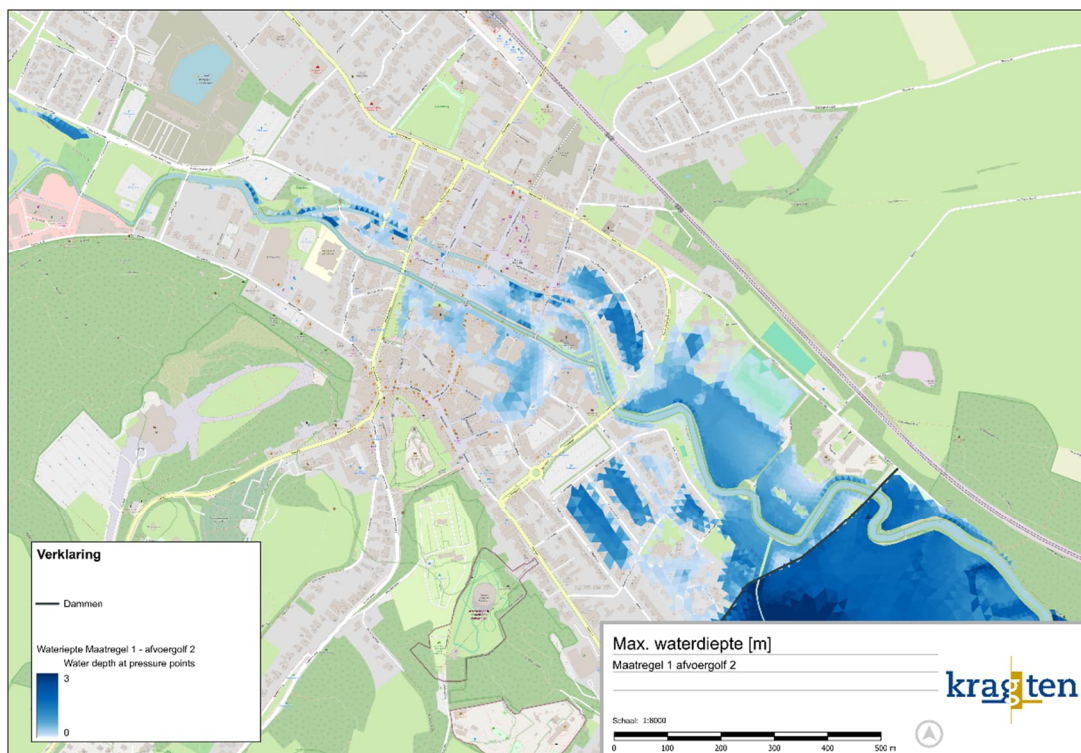
In Figuur 8 zijn de maximaal optredende inundaties weergegeven in Valkenburg in ontwerptiteratie 1 voor de 2021-afvoergolf. Dit zijn de maximaal optredende waterdiepten per cel gedurende de gehele modelsimulatie. De inundaties vinden dus niet plaats op een specifiek moment.

In de praktijk vindt de maximale waterdiepte in Valkenburg plaats op 14-07-2021, om ongeveer 23.00 u. Dit komt overeen met tijdstap 120 van de hydrologische modelsimulatie.



Figuur 8. Maximaal optredende waterdiepte in Valkenburg Centrum, ontwerpiteratie 1 2021-golf.

In Figuur 9 zijn de maximaal optredende inundaties weergegeven in Valkenburg in ontwerpiteratie 1 voor afvoergolf 2.



Figuur 9. Maximaal optredende waterdiepte in Valkenburg Centrum, ontwerpiteratie 1 afvoergolf 2.

In Bijlage B3 zijn de maximaal optredende inundaties weergegeven op de locaties van de bergingslocaties (tussen Gulpen en Valkenburg), voor zowel de 2021-afvoergolf als afvoergolf 2.

Uit deze figuren blijkt dat de waterdiepten achter de dammen toegenomen zijn ten opzichte van de referentiesituatie. Nabij de bergingslocaties Oud Valkenburg en Schoonbron valt deze toename in waterdiepte echter niet zozeer op. Dit is in overeenstemming met de resultaten in Tabel 1, maar deze waterstandsverschillen worden in groter detail beschreven in Paragraaf 5.5.

Wanneer een vergelijking wordt gemaakt tussen de waterdiepten van de 2021-afvoergolf en afvoergolf 2, valt te concluderen dat de inundaties bij de 2021-afvoer groter zijn dan bij afvoergolf 2. Dit is logisch, omdat de afvoerpiek groter (en langer is) bij de 2021-afvoergolf dan bij afvoergolf 2. Verder valt te concluderen dat de waterstanden in bergingslocaties erg veel op elkaar lijken. Dit betekent dat in beide afvoersituaties de buffers volledig vullen. Bij een uitvoerige vergelijking valt op dat de waterdieptes bij de 2021-afvoergolf lokaal iets groter zijn. Dit komt waarschijnlijk doordat de afvoerpiek groter (en wat langer) is. Dit komt waarschijnlijk doordat het piekdebiet dat door het beekdal stroomt en over de dammen overstort groter is, waardoor de overstortende straal wat groter is.

In Bijlage B4 zijn de waterdiepten achter de dammen weergegeven voor een drietal momenten, namelijk:

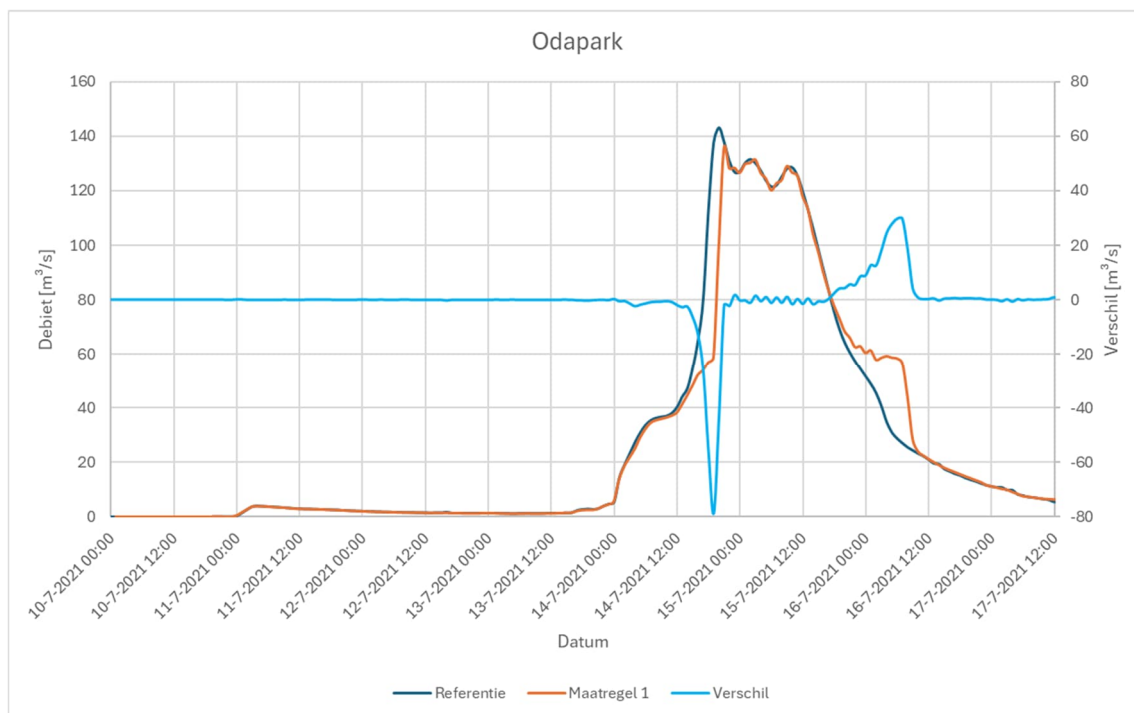
- Het moment dat bergingslocatie Wijlre zich vult;
- Het moment dat bergingslocatie Valkenburg zich vult;
- Het moment waarop de waterdiepte in Valkenburg centrum het grootst is.

Hierbij zijn deze resultaten voor zowel de 2021-afvoergolf als afvoergolf 2 weergegeven.

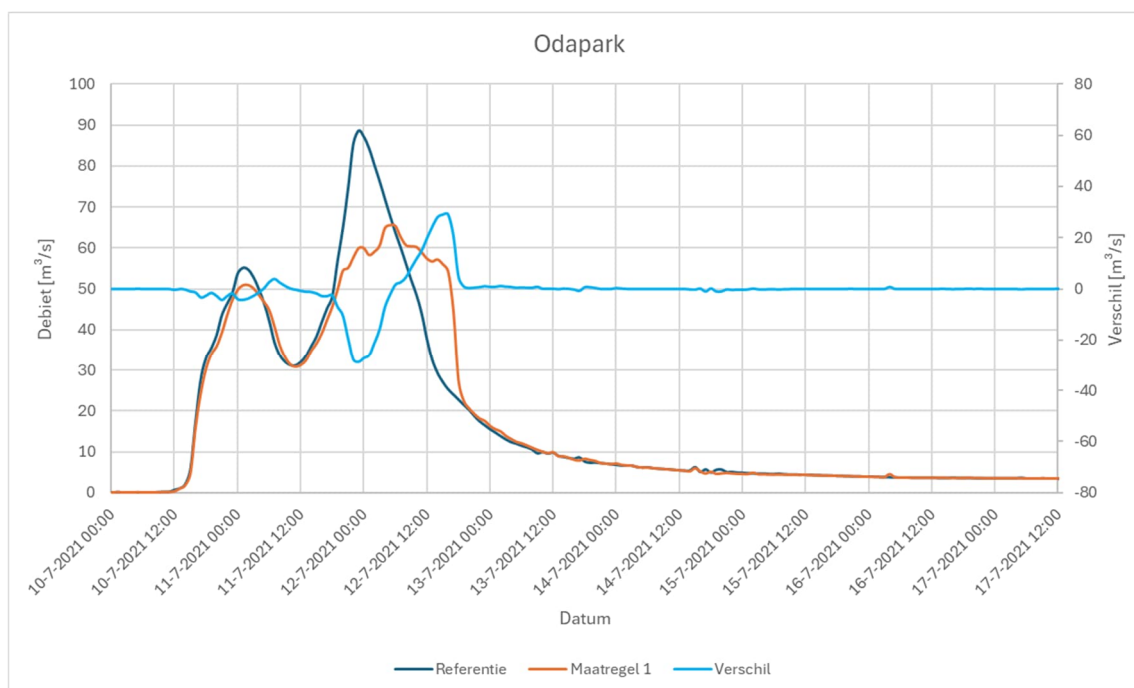
Aan de hand hiervan is te zien hoe de bergingslocaties zich vullen gedurende de afvoergolf. Het valt op dat bij afvoergolf 2 de meest bovenstroomse bergingslocaties al leeg beginnen te lopen als de waterdiepte in het centrum van Valkenburg maximaal is. Dit effect is voor de 2021-afvoergolf een stuk minder duidelijk.

5.4 Debieten

In Figuur 10 en Figuur 11 is het debietverloop weergegeven ter plaatse van het Odapark (aan de benedenstroomse zijde van Valkenburg), respectievelijk voor de 2021-afvoergolf en afvoergolf 2. In Bijlage B5 is het debietverloop weergegeven benedenstrooms van alle stuwen en benedenstrooms van Valkenburg ter plaatse van St. Gerlach. Hierin is het debietverloop weergegeven van ontwerpiteratie 1 en de referentiesituatie voor beide afvoergolven. Deze debieten zijn bepaald op basis beekdalbrede observation cross sections in het model, waardoor het volledige (1D en 2D) debiet is meegenomen.



Figuur 10. Debietverloop ter hoogte van het Odapark, 2021-afvoergolf.



Figuur 11. Debietverloop ter hoogte van het Odapark, afvoergolf 2.

2021-afvoergolf

Het algemene beeld is naar verwachting. Tijdens de stijging van de golf blijft deze ongeveer identiek tot aan ongeveer 58 m³/s. Vervolgens is er een kleine afname van het debiet gedurende de verdere stijging van de golf. De piek blijft grofweg gelijk. Tijdens de daling blijft het debietverloop weer ongeveer gelijk tot aan ongeveer 58 m³/s, waarna het debiet toeneemt en er een nalevering plaatsvindt. Dit effect is in het centrum van Valkenburg en benedenstrooms van Valkenburg van significante omvang geworden, omdat de piek grofweg 4 uur vertraagd wordt.

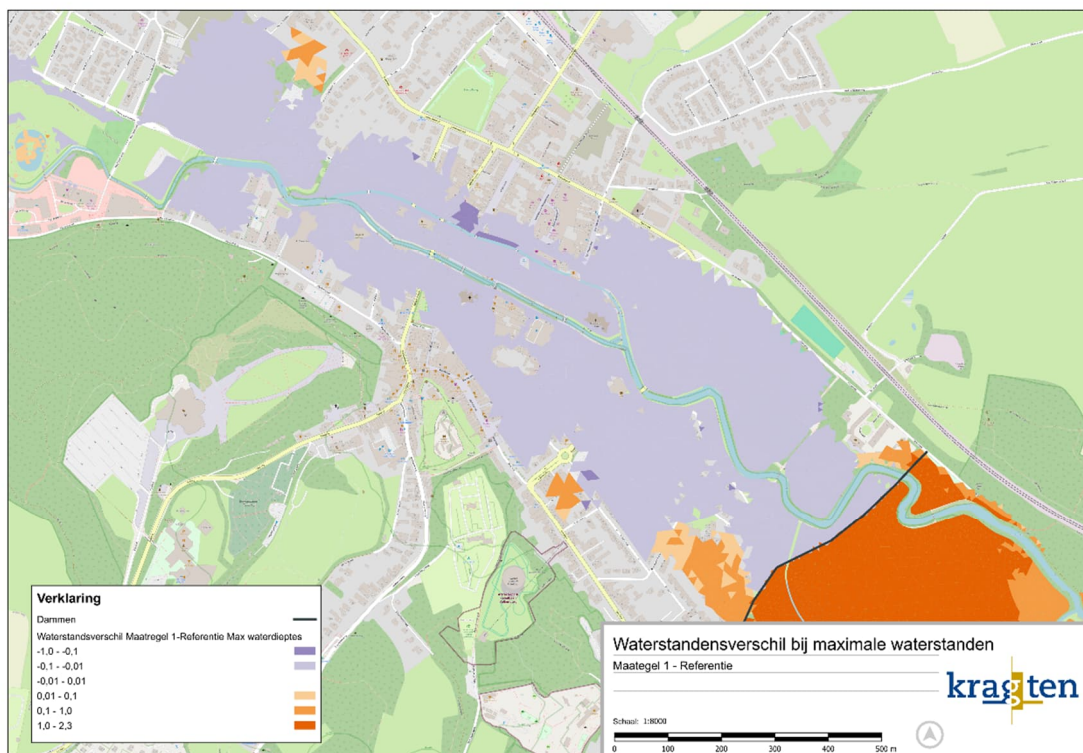
Het lijkt dat bij sommige dammen de volumebalans toegenomen lijkt te zijn (zoals Kapolder en Wijlre Noord). Omdat de steilheid van de stijgende kant van de afvoergolf groter is dan de steilheid van de dalende kant van de afvoergolf lijken de lijnen van de referentiesituatie en ontwerpiteratie 1 aan de stijgende kant dichter op elkaar te liggen dan aan de dalende kant. Om dit effect beter inzichtelijk te maken is in elke figuur een verschillijn toegevoegd. De verschillijn geeft het verschil aan tussen het debiet van ontwerpiteratie 1 en de referentiesituatie. Hieruit blijkt dat de debietverlaging aan de stijgende kant van de afvoergolf steeds van zeer vergelijkbare omvang is als debietverhoging aan de dalende kant van de afvoergolf.

Afvoergolf 2

Het is lastig op basis van de 2021-golf het functioneren van de bergingslocaties te analyseren, omdat de afvoergolf te groot is voor de dammen om goed tot hun recht te komen. Bij de kleinere afvoergolf 2 blijkt dat de bergingslocaties een stuk beter functioneren. De absolute piek van de afvoergolf wordt grofweg 6 uur uitgesteld en is ruim 20 m³/s lager. Uit Tabel 1 bleek dat de geborgen volumes bij afvoergolf 2 wat kleiner zijn dan voor de 2021-afvoergolf. Omdat het maatregelenpakket beter functioneert voor afvoergolf 2 dan voor de 2021-afvoergolf, valt te concluderen dat het bergingsvolume niet de enige en niet de belangrijkste factor is voor het functioneren van de bergingslocaties. Het moment van vullen en het moment van overstorten lijken belangrijkere factoren te zijn voor het functioneren.

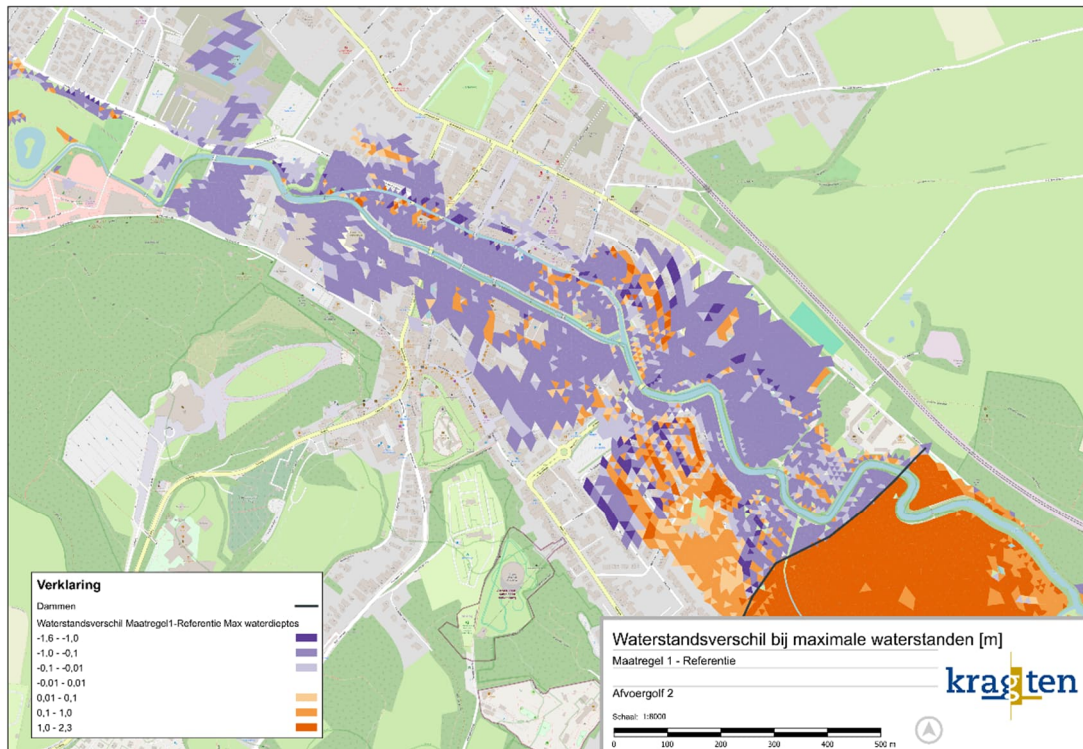
5.5 Waterstandsverschillen

In Figuur 12 zijn de waterstandsverschillen weergegeven in Valkenburg in ontwerpiteratie 1 voor de 2021-afvoergolf. Dit zijn de maximaal optredende waterdiepten per cel gedurende de gehele modelsimulatie van ontwerpiteratie 1 minus de maximaal optredende waterdiepten per cel van de referentiesituatie. De inundaties vinden dus niet plaats op een specifiek moment. Rood betekent een waterstandsverhoging en blauw betekent een waterstandsverlaging. Een donkerdere kleur betekent een groter het waterstandsverschil.



Figuur 12. Waterstandsverschil tussen ontwerpiteratie 1 en de referentiesituatie bij maximaal optredende waterstanden in Valkenburg Centrum, 2021-afvoergolf.

In Figuur 13 zijn de waterstandsverschillen weergegeven in Valkenburg in ontwerpitatie 1 voor afvoergolf 2.



Figuur 13. Waterstandsverschil tussen Maatregel 1 en de referentiesituatie bij maximale waterstanden nabij Valkenburg Centrum, afvoergolf 2.

In Bijlage B6 zijn de waterstandsverschillen bij maximaal optredende inundaties weergegeven op de locaties van de bergingslocaties (tussen Gulpen en Valkenburg), voor zowel de 2021-afvoergolf als afvoergolf 2. Deze waterstandsverschillen vormen tevens de basis voor de in Tabel 1 gegeven bergingsvolumes in kolom 6 en 7.

Te zien is dat er een waterstandsstijging is achter de dammen Gulpen, Kasteel Wijlre, Wijlre, Wijlre Noord, Etenaken, Oud Valkenburg en Valkenburg. Nabij Oud Valkenburg is de toename echter maar beperkt en over een klein oppervlak, namelijk $\sim 30.000 \text{ m}^2$. Nabij Schoonbron is er zelfs sprake van een waterstandsafname. Nabij Oud Valkenburg kan de kruin van de dam niet hoger geplaatst worden vanwege de bovenstrooms gelegen bebouwing van Schin op Geul. Nabij Schoonbron kan de kruin van de dam niet hoger aangelegd worden vanwege de aanwezigheid van het bovenstrooms gelegen vakantiepark. Door de bergingscapaciteit van de bovenstrooms gelegen bergingslocaties wordt het (kleine) bergende effect van Schoonbron en Oud Valkenburg tenietgedaan. De grootste stijging van waterdiepte vindt plaats nabij Kapolder en Valkenburg. Dit komt voornamelijk door de grote beschikbare ruimte en de afwezigheid van bovenstrooms gelegen bebouwing (met uitzondering van Kasteel Schaloen bovenstrooms van bergingslocatie Valkenburg), waardoor de kruin van de dam hoog aangelegd kan worden. Het oppervlak van de waterstandsverhoging van Kapolder bedraagt 240.000 m^2 en bij Valkenburg bedraagt deze $\sim 400.000 \text{ m}^2$. De bergingslocatie Wijlre Noord heeft eveneens een groot bergend oppervlak van $\sim 240.000 \text{ m}^2$.

Aan de rand van het Geuldal is nabij de dam van Valkenburg te zien dat er een waterstandsverhoging plaatsvindt. Dit komt doordat de waterstand verhoogd wordt boverstrooms van de dammen en er nieuwe inundatie optreedt aan de rand van het Geuldal. De dammen zijn in het model opgenomen met een constante horizontale kruin (zie Bijlage B1). Zodra de bergingslocatie volledig gevuld is stort hierdoor het water over de gehele breedte met een gelijke hoogte. Hierdoor komt meer water aan de rand van het Geuldal terecht dan in de referentiesituatie, waar meer water via het centrale deel van het Geuldal wordt afgevoerd.

5.6 Conclusie ontwerpiteratie 1

De volgende conclusies kunnen getrokken worden per bergingslocatie.

- Gulpen: De bergingslocatie heeft een gemiddeld bergingsvolume in vergelijking met de andere bergingslocaties (~35.000 m³ op een oppervlak van ~110.000 m²). Er lijkt geen potentie voor verdere uitbreiding te zijn, gezien de bovenstrooms gelegen bebouwing van Gulpen. Door de aanwezigheid van de dam en het achterliggende gestuwde water kan mogelijk water vanuit de Gulp niet goed wegstromen. Hierdoor kan de kans op wateroverlast in Gulpen toenemen. Het pakket aan beschermingsmaatregelen van de bebouwing van Gulpen wordt mogelijk groot.
- Kapolder: De bergingslocatie heeft een groot bergingsvolume in vergelijking met de andere bergingslocaties (~168.000 m³ op een oppervlak van ~240.000 m²). Er lijkt potentie te zijn voor verdere uitbreiding, omdat er geen bebouwing bovenstrooms gelegen is. Hierbij dient echter rekening gehouden te worden met de dam van RWZI Wijlre en de bovenstrooms gelegen bergingslocatie Gulpen.
- Kasteel Wijlre: De bergingslocatie heeft een gemiddeld bergingsvolume in vergelijking met de andere bergingslocaties (~43.000 m³ op een oppervlak van ~180.000 m²). Er wordt water geborgen aan de westzijde van de Gulpenerweg maar er vindt een waterstandsverlaging plaats aan de oostzijde van de Gulpenerweg. Er lijkt geen potentie te zijn voor een groter bergingsvolume, gezien de bebouwing aan de oostzijde van de Gulpenerweg.
- Wijlre: De bergingslocatie heeft een gemiddeld bergingsvolume in vergelijking met de andere bergingslocaties (~56.000 m³ op een oppervlak van ~160.000 m²). Er lijkt geen potentie voor verdere uitbreiding te zijn, omdat de bergingslocatie is ingeklemd tussen Stokhem en Wijlre.
- Wijlre Noord: De bergingslocatie heeft een groot bergingsvolume in vergelijking met de andere bergingslocaties (~122.000 m³ op een oppervlak van ~240.000 m²). Er lijkt potentie te zijn voor verdere uitbreiding, waarbij rekening gehouden moet worden met de nabijgelegen bebouwing van Wijlre en Stokhem.
- Etenaken: De bergingslocatie heeft een gemiddeld bergingsvolume in vergelijking met de andere bergingslocaties (~24.000 m³ op een oppervlak van ~130.000 m²). Er lijkt potentie te zijn voor verdere uitbreiding als de nabijgelegen bebouwing aan de Tuinstraat beschermd wordt tegen het geborgen water.
- Schoonbron: De bergingslocatie heeft geen bergingsvolume. Er vindt bij de doorgerkende afvoergolven namelijk alleen een waterstandsverlaging plaats. De potentie voor verdere uitbreiding lijkt klein te zijn. De kruin van de dam kan namelijk niet of nauwelijks verhoogd worden, omdat het bovenstrooms gelegen vakantiepark niet mag inunderen.
- Oud Valkenburg: De bergingslocatie heeft een klein bergingsvolume in vergelijking met de andere bergingslocaties (~6.000 m³ op een oppervlak van ~30.000 m²). De potentie voor verdere uitbreiding lijkt klein te zijn. De kruin van de dam kan namelijk niet of nauwelijks verhoogd worden, omdat in het bovenstrooms gelegen Schin op Geul de inundatie niet mag toenemen.
- Valkenburg: De bergingslocatie heeft een groot bergingsvolume in vergelijking met de andere bergingslocaties (~370.000 m³ op een oppervlak van ~400.000 m²). Er lijkt potentie te zijn voor verdere uitbreiding zolang het nabijgelegen kasteel Schaloen beschermd wordt tegen het geborgen water. Nabij de uiteinden van de dam vindt een toename van de maximale waterstand plaats door overstortend water.

De (bovenstaand samengevatte) resultaten van ontwerpiteratie 1 zijn tijdens de werksessie op 17 juli besproken, waardoor gezamenlijk de volgende conclusies zijn getrokken:

- De bergingslocaties Kapolder, Kasteel Wijlre, Wijlre Noord en Valkenburg zijn het meest effectief.
- Door alleen de bergingslocaties Kapolder, Kasteel Wijlre, Wijlre Noord en Valkenburg te behouden (en de overige bergingslocaties achterwege te laten) ontstaat bovenstrooms meer ruimte voor berging, waardoor de kruinhoogte van de dammen van Kapolder, Wijlre Noord en Valkenburg verhoogd kunnen worden.
- Door de kruinhoogte van de dam van Valkenburg aan de uiteinden verder te verhogen, wordt overstortend water meer naar tot het centrum van het Geuldal (nabij de Geul) beperkt. Daardoor

stroomt nabij de uiteinden van de dam geen overstortend water meer de wijk in en wordt hier de toename in waterstand voorkomen.

Deze punten vormen tevens de opzet van ontwerpiteratie 2.

6 RESULTATEN ONTWERPITERATIE 2

6.1 Bergingsvolumes

In Tabel 2 is per bergingslocatie de kruinhoogte weergegeven. Daarnaast is in deze tabel de hoogte van de dam nabij de Geul en het bergingsvolume weergegeven. Hierbij gelden dezelfde randvoorwaarden als bij Tabel 1 in Paragraaf 5.1.

Tabel 2. Kruinhoogtes en bergingsvolumes per bergingslocatie in ontwerpiteratie 2.

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Bergingslocatie	Kruinhoogte [m+NAP]	Hoogte dam nabij Geul [m]	Gemiddeld waterpeil in bergingslocatie bij maximale waterstanden 2021 [m+NAP]	Gemiddeld waterpeil in bergingslocatie bij maximale waterstanden afvoergolf 2 [m+NAP]	Bergingsvolume o.b.v. toename in maximale waterstanden 2021 [m³]	Bergingsvolume o.b.v. toename in maximale waterstanden afvoergolf 2 [m³]	Totaal bergingsvolume 2021 [m³]	Totaal bergingsvolume afvoergolf 2 [m³]
Kapolder	88,4	2,0	88,6	88,5	243.000	229.000	362.000	320.00
Kasteel Wijlre	86,0	1,0 (nabij Hedge House)	86,3	86,1	45.000	17.000	290.000	227.000
Wijlre Noord	82,4	2,0	82,8	82,8	178.000	103.000	320.000	213.000
Valkenburg	72,4	2,0	72,7	72,5	548.000	593.000	955.000	896.000

Uit Tabel 2 valt te concluderen dat de bergingsvolumes over het algemeen groter zijn voor de 2021-afvoergolf ten opzichte van afvoergolf 2, zowel ten opzichte van de referentiewaterstand als ten opzichte van maaiveld. Dit komt waarschijnlijk doordat er een grotere hoeveelheid water afstroomt gedurende de 2021-afvoergolf dan gedurende afvoergolf 2. Deze conclusies komen overeen met de conclusies bij ontwerpiteratie 1.

In verhouding tot het totale volume aan water dat gedurende de 2021-afvoergolf door Valkenburg stroomt (ongeveer 17 miljoen m³) en het totale volume aan water dat gedurende afvoergolf 2 door Valkenburg stroomt (ongeveer 11 miljoen m³), zijn de bergingsvolumes beperkt. Maar deze zijn fractioneel hoger dan in ontwerpiteratie 1 (voor de 2021-afvoergolf grofweg 6% voor de volumes van alle bergingslocaties in kolom 6 opgeteld en voor afvoergolf 2 grofweg 9% voor de volumes van alle bergingslocaties in kolom 7 opgeteld).

6.2 Sturing

De sturing van ontwerpiteratie 2 is in de basis hetzelfde als bij ontwerpiteratie 1. De RTC-module van het D-HYDRO model stuurt op een maximaal debiet in de doorlaat van de dammen. Het doorlaatdebiet waarop gestuurd wordt is echter niet meer voor elke doorlaat gelijk. Dit doorlaatdebiet is voor de bergingslocatie Valkenburg nog steeds het debiet waarbij in de referentiesituatie n t geen inundatie begint op te treden in Valkenburg (58 m³/s). De doorlaten van de dammen Wijlre Noord en Kapolder worden in ontwerpiteratie 2 echter gestuurd op 75 m³/s. De bergingslocaties lopen hierdoor op een later moment vol, waardoor ze dus effectiever functioneren bij (zeer) hoge afvoerpieken.

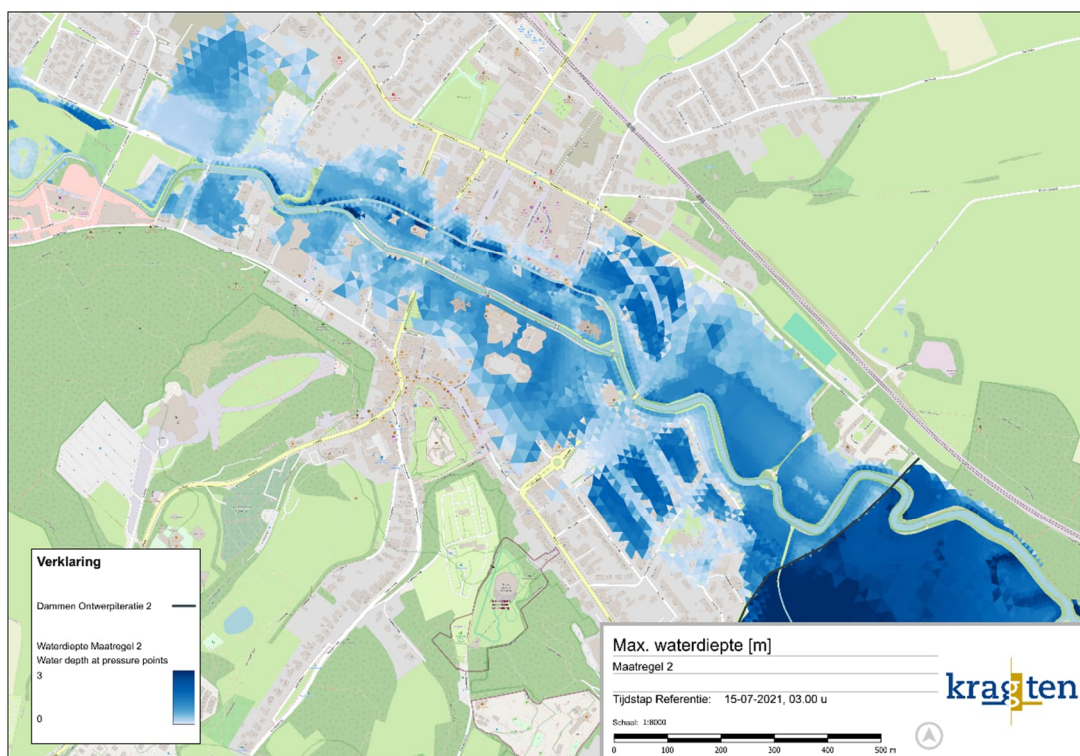
De RTC-sturing laat in het model maximale debieten door die wat afwijken van de ingestelde waarden (75 m³/s en 58 m³/s) en die wat oscilleren. Het debiet dat per bergingslocatie maximaal wordt doorgelaten is grofweg:

- Kapolder: 73 m³/s;
- Wijlre Noord: 74 m³/s;
- Valkenburg: 58 m³/s.

6.3 Inundaties

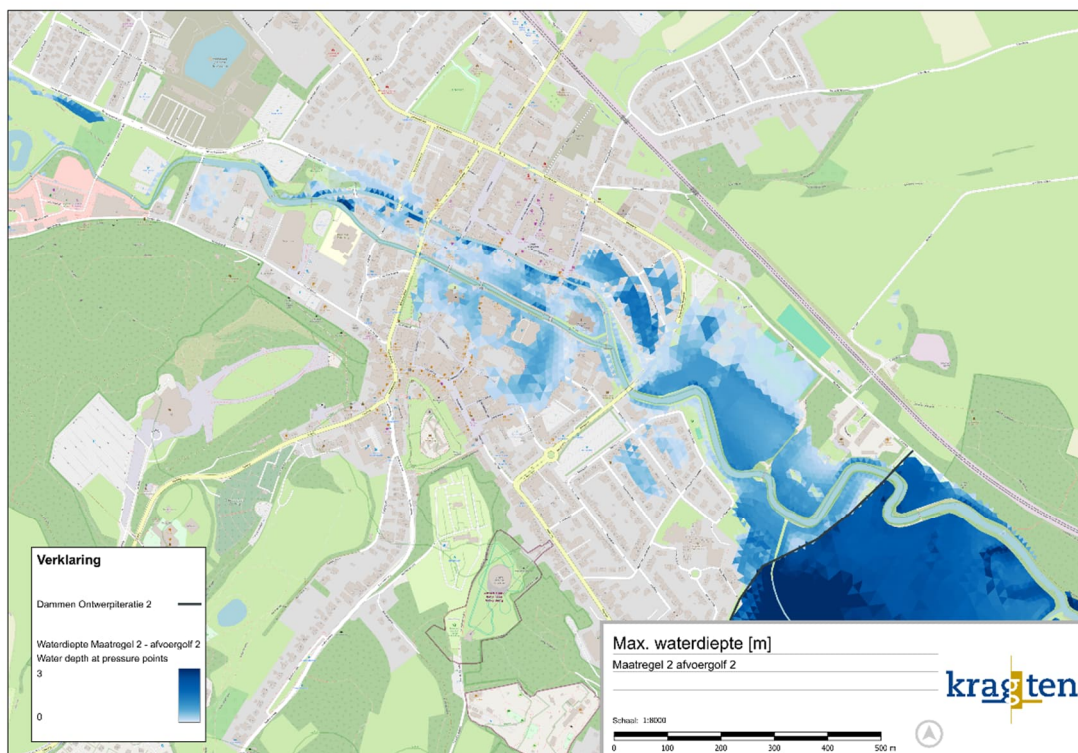
In Figuur 14 zijn de maximaal optredende inundaties weergegeven in Valkenburg in ontwerpiteratie 2 voor de 2021-afvoergolf. Dit zijn de maximaal optredende waterdiepten per cel gedurende de gehele modelsimulatie. De inundaties vinden dus niet plaats op één specifiek moment.

In de praktijk vindt de maximale waterdiepte in Valkenburg plaats op 15-07-2021, om ongeveer 03.00 u. Dit komt overeen met tijdstap 124 van de hydrologische modelsimulatie.



Figuur 14. Maximaal optredende waterdiepte in Valkenburg Centrum, ontwerpiteratie 2 2021-golf.

In Figuur 15 zijn de maximaal optredende inundaties weergegeven in Valkenburg in ontwerpiteratie 2 voor afvoergolf 2.



Figuur 15. Maximaal optredende waterdiepte in Valkenburg Centrum, ontwerpiteratie 2 afvoergolf 2.

In Bijlage B7 zijn de maximaal optredende inundaties weergegeven op de locaties van de bergingslocaties (tussen Gulpen en Valkenburg), voor zowel de 2021-afvoergolf als afvoergolf 2.

Uit deze figuren blijkt dat de waterdiepten achter de dammen toegenomen zijn ten opzichte van de referentiesituatie. De inundaties nabij de bergingslocaties van ontwerpiteratie 2 zijn wat groter dan de inundaties bij dezelfde bergingslocaties in ontwerpiteratie 1, wat logisch is gezien de dammen zijn opgehoogd. De waterstandsverschillen worden in groter detail beschreven in Paragraaf 6.5.

Wanneer een vergelijking wordt gemaakt tussen de waterdiepten van de 2021-afvoergolf en afvoergolf 2, valt te concluderen dat de inundaties bij de 2021-afvoer groter zijn dan bij afvoergolf 2. Dit is logisch, omdat de afvoerpiek groter (en langer is) bij de 2021-afvoergolf dan bij afvoergolf 2. Verder valt te concluderen dat de waterstanden in bergingslocaties erg veel op elkaar lijken. Dit betekent dat in beide afvoersituaties de buffers volledig vullen. Bij een uitvoerige vergelijking valt op dat de waterdieptes bij de 2021-afvoergolf lokaal iets groter zijn (net zoals bij ontwerpiteratie 1). Dit komt waarschijnlijk doordat de afvoerpiek groter (en wat langer) is. Doordat het piekdebiet dat door het beekdal stroomt en over de dammen overstort groter is, is de overstortende straal wat groter.

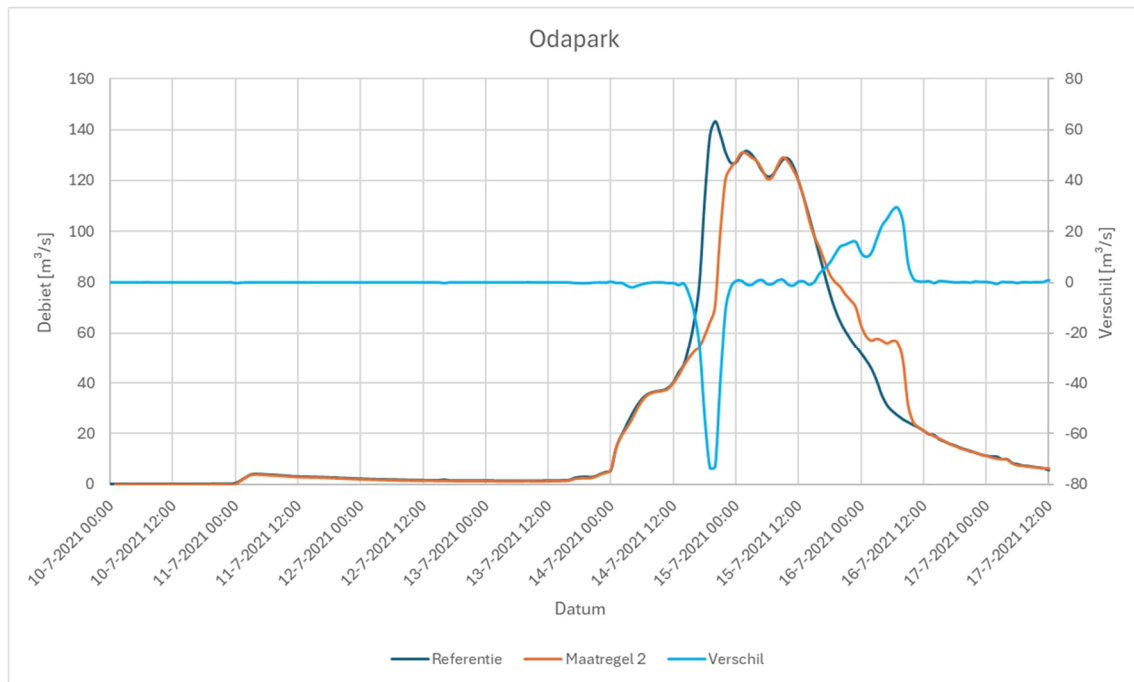
In Bijlage B8 zijn de waterdiepten achter de dammen weergegeven voor een drietal momenten. Dit zijn dezelfde momenten als bij ontwerpiteratie 1 gebruikt zijn, namelijk:

- Het moment dat bergingslocatie Wijlre zich zou vullen (deze specifieke bergingslocatie is niet aanwezig in ontwerpiteratie 2);
- Het moment dat bergingslocatie Valkenburg zich vult;
- Het moment waarop de waterdiepte in Valkenburg centrum het grootst is.

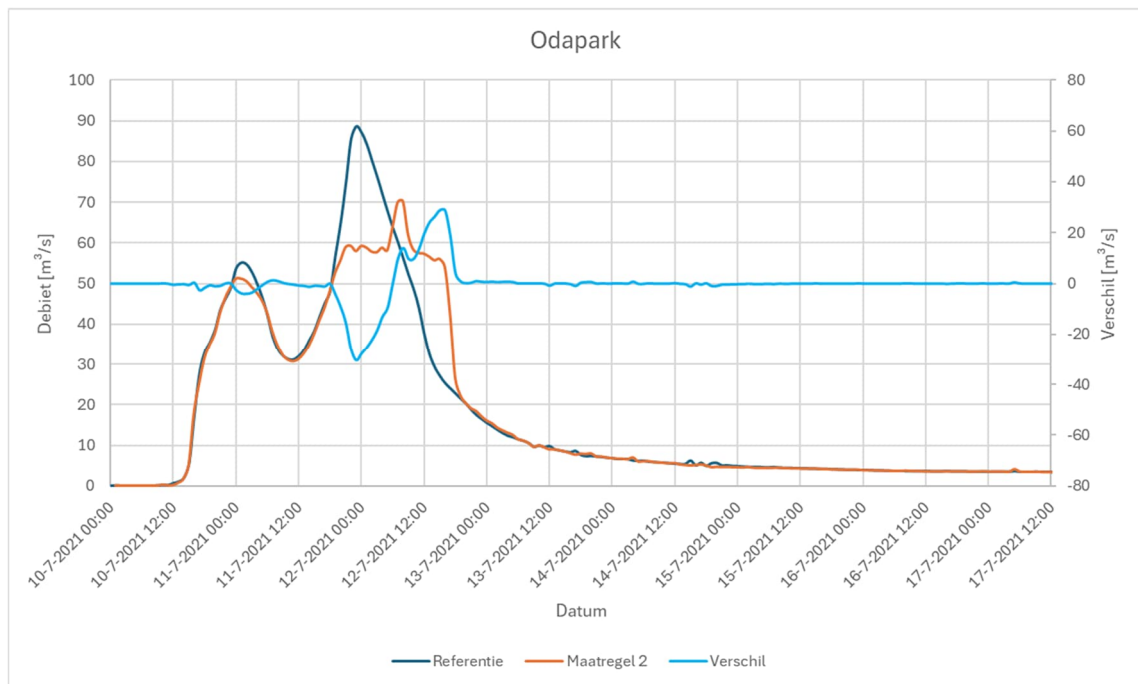
Aan de hand hiervan is te zien hoe de bergingslocaties zich vullen gedurende de afvoergolf.

6.4 Debieten

In Figuur 16 en Figuur 17 is het debietverloop weergegeven ter plaatse van het Odapark (aan de benedenstroomse zijde van Valkenburg), respectievelijk voor de 2021-afvoergolf en afvoergolf 2. In Bijlage B9 is het debietverloop weergegeven benedenstrooms van de stuwen en benedenstrooms van Valkenburg ter plaatse van St. Gerlach. Hierin is het debietverloop weergegeven van ontwerpiteratie 2 en de referentiesituatie voor beide afvoergolven. Deze debieten zijn bepaald op basis beekdalbrede observation cross sections in het model, waardoor het volledige (1D en 2D) debiet is meegenomen. In deze grafieken is ook steeds de verschillenlijn weergegeven tussen de waterstanden in ontwerpiteratie 2 en de referentiesituatie.



Figuur 16. Debietverloop ter hoogte van het Odapark, ontwerpiteratie 2 2021-afvoergolf.



Figuur 17. Debietverloop ter hoogte van het Odapark, ontwerppiteratie 2 afvoergolf 2.

2021-afvoergolf

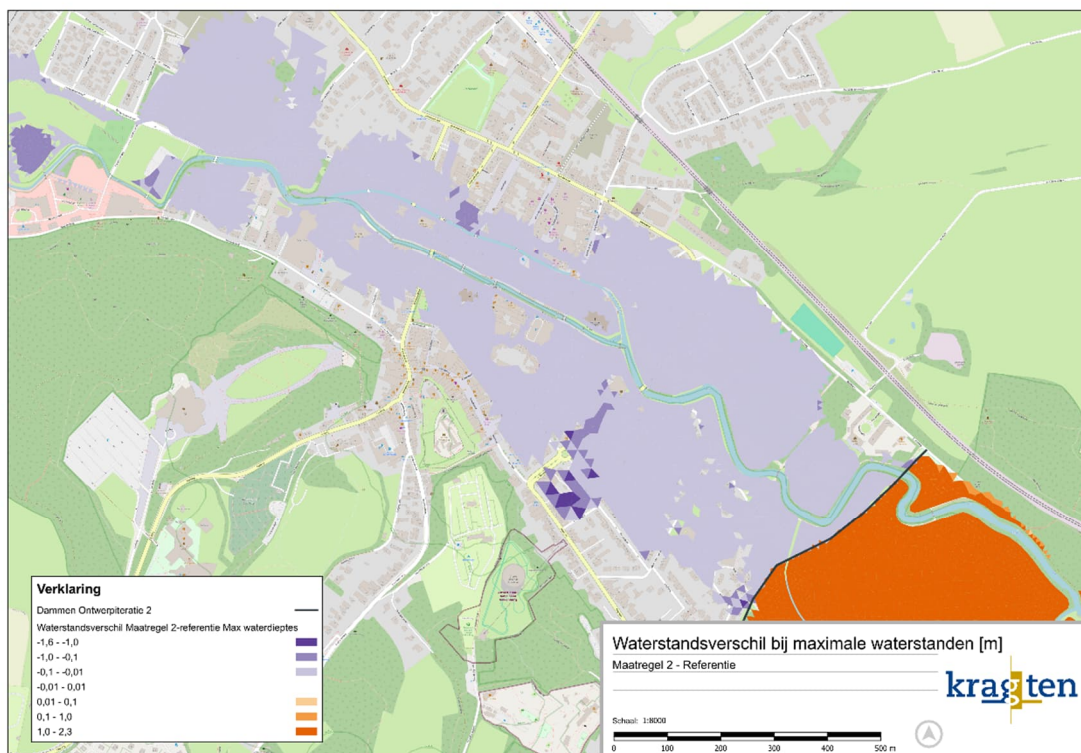
Het algemene beeld is naar verwachting. Tijdens de stijging van de golf blijft deze ongeveer identiek tot aan ongeveer 58 m³/s. Vervolgens is er een kleine afname van het debiet gedurende de verdere stijging van de golf. De absolute piek van de golf wordt grofweg 6 uur vertraagd en ongeveer 10 m³/s lager. Dit komt voornamelijk doordat de eerste van de drie 'subpiekjes' wordt afgevangen door de bergingslocaties, waardoor het tweede 'subpiekje' de absolute piek vormt.

Afvoergolf 2

Bij de kleinere afvoergolf 2 blijkt dat de bergingslocaties beter functioneren dan bij de 2021-afvoergolf. De absolute piek van de afvoergolf wordt grofweg 8 uur uitgesteld en is ongeveer 20 m³/s lager. Uit Tabel 2 bleek dat de geborgen volumes bij afvoergolf 2 wat kleiner zijn dan voor de 2021-afvoergolf. Omdat het maatregelenpakket beter functioneert voor afvoergolf 2 dan voor de 2021-afvoergolf, valt te concluderen dat het bergingsvolume niet de enige en waarschijnlijk niet de belangrijkste factor is voor het functioneren van de bergingslocaties. Het moment van vullen en het moment van overstorten lijken belangrijkere factoren te zijn voor het functioneren.

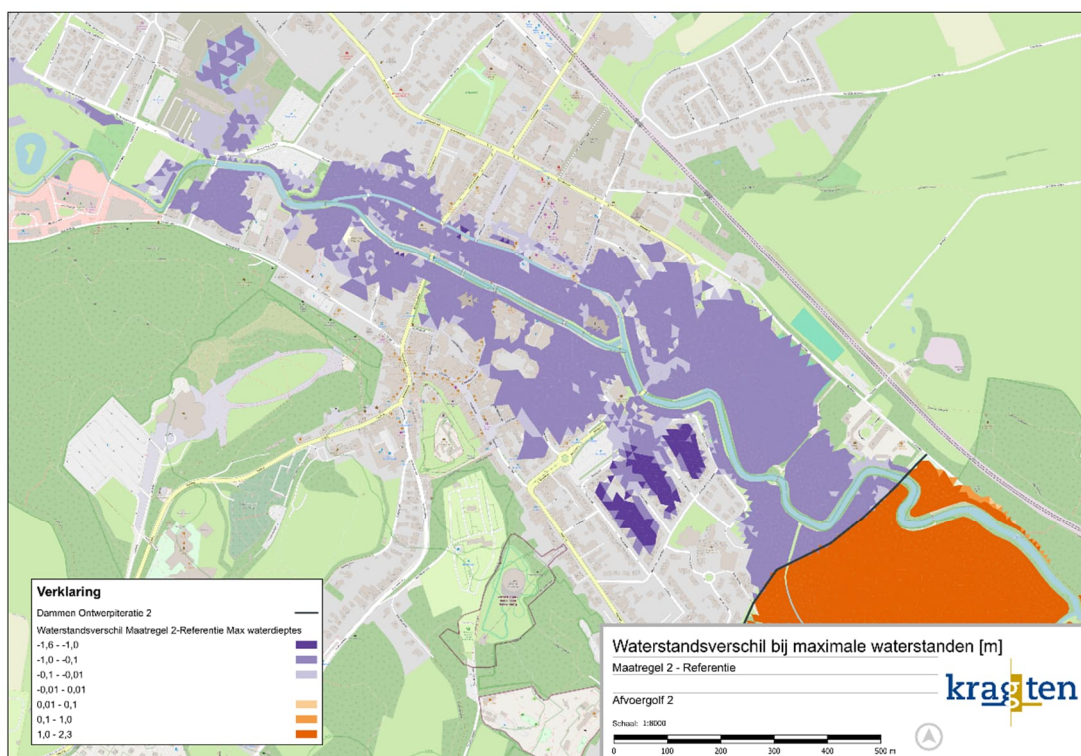
6.5 Waterstandsverschillen

In Figuur 18. Maximaal optredende waterdiepte in Valkenburg Centrum, ontwerppiteratie 2 2021-golf. zijn de waterstandsverschillen weergegeven in Valkenburg in ontwerppiteratie 2 voor de 2021-afvoergolf. Dit zijn de maximaal optredende waterdiepten per cel gedurende de gehele modelsimulatie van ontwerppiteratie 2 minus de maximaal optredende waterdiepten per cel van de referentiesituatie. De inundaties vinden dus niet plaats op een specifiek moment. Rood betekent een waterstandsverhoging en blauw betekent een waterstandsverlaging. Een donkerdere kleur betekent een groter het waterstandsverschil.



Figuur 18. Maximaal optredende waterdiepte in Valkenburg Centrum, ontwerppiteratie 2 2021-golf.

In Figuur 19. Maximaal optredende waterdiepte in Valkenburg Centrum, ontwerppiteratie 2 afvoergolf 2. zijn de waterstandsverschillen weergegeven in Valkenburg in ontwerppiteratie 2 voor afvoergolf 2.



Figuur 19. Maximaal optredende waterdiepte in Valkenburg Centrum, ontwerppiteratie 2 afvoergolf 2.

In Bijlage B10 zijn de waterstandsverschillen bij maximaal optredende inundaties weergegeven op de locaties van de bergingslocaties (tussen Gulpen en Valkenburg), voor zowel de 2021-afvoergolf als afvoergolf 2. Deze waterstandsverschillen vormen tevens de basis voor de in Tabel 2 gegeven bergingsvolumes in kolom 6 en 7.

Te zien is dat er een waterstandsstijging is achter de dammen Kapolder, Kasteel Wijlre, Wijlre Noord en Valkenburg. Zoals bij de invulling van ontwerpiteratie 2 al werd verwacht is de grootste waterstandsstijging ten opzichte van de referentiesituatie en ontwerpiteratie 1 (over een tevens groter oppervlak) te zien bij Valkenburg (~470.000 m²). Daarna volgen respectievelijk Kapolder (~300.000 m²) en Wijlre Noord (~300.000 m²). De kleinste waterstandsstijging vindt plaats bij Kasteel Wijlre (~180.000 m²). Deze bergingslocatie is als enige niet uitgebreid ten opzichte van ontwerpiteratie 1.

Aan de rand van het Geuldal was nabij de dam van Valkenburg in ontwerpiteratie 1 een lokale waterstandsverhoging te zien. Deze is waterstandsverhoging is in ontwerpiteratie 2 niet meer te zien. De waterstandsverhoging is verholpen door het verhogen dan de kruin met 1 m aan de meest oostelijk gelegen 50 m van de dam en aan de meest westelijk gelegen 50 m van de dam.

7 CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN

7.1 Conclusies

In onderhavige rapportage zijn de hydrologische effecten van Geuldalberging tussen Gulpen en Valkenburg beschreven. Hierbij is onderscheid gemaakt tussen ontwerpiteratie 1 en ontwerpiteratie 2. Ontwerpiteratie 2 is een verfijning van ontwerpiteratie 1.

Ontwerpiteratie 1 bestaat uit 9 bergingslocaties tussen Gulpen en Valkenburg. Deze bevinden zich op de volgende locaties:

- Gulpen;
- Kapolder;
- Kasteel Wijlre;
- Wijlre;
- Wijlre Noord;
- Etenaken;
- Schoonbron;
- Oud Valkenburg;
- Valkenburg.

Op basis van het onderzoek naar ontwerpiteratie 1 kunnen de volgende conclusies getrokken worden:

- 2021-afvoergolf:
 - Verlaging van de afvoerpiek: niet of nauwelijks;
 - Vertraging van de afvoerpiek: ongeveer 4 uur.
- Afvoergolf 2:
 - Verlaging van de afvoerpiek: ongeveer 20 m³/s;
 - Vertraging van de afvoerpiek: ongeveer 6 uur.
- De meest effectieve bergingslocaties (de bergingslocaties met de grootste bergingsvolumes) bevinden zich nabij:
 - Kapolder;
 - Wijlre Noord;
 - Valkenburg;
 - De bergingslocatie nabij Kasteel Wijlre is niet zo effectief als de bovenstaande drie bergingslocaties, maar werkt goed in combinatie met Kapolder zonder ingrijpende maatregelen of doorlaatconstructie.

Ontwerpiteratie 2 bestaat enkel uit de 4 bovenstaand beschreven meest effectieve bergingslocaties. Deze bergingslocaties zijn vergroot ten opzichte van ontwerpiteratie 1 de kruinhoogte van de dammen met 0,4 m te verhogen en in ontwerpiteratie 2 is de sturing van de doorlaten geoptimaliseerd (alleen bergingslocatie Kasteel Wijlre is volledig gelijk gebleven aan ontwerpiteratie 1). Het betreft de volgende bergingslocaties:

- Kapolder;
- Kasteel Wijlre;
- Wijlre Noord;
- Valkenburg.

Op basis van het onderzoek naar ontwerpiteratie 2 kunnen de volgende conclusies getrokken worden:

- 2021-afvoergolf:
 - Verlaging van de afvoerpiek: ongeveer 10 m³/s;
 - Vertraging van de afvoerpiek: ongeveer 6 uur.

- Afvoergolf 2:
 - Verlagings van de afvoerpiek: ongeveer 20 m³/s;
 - Vertraging van die afvoerpiek: ongeveer 8 uur.

Er valt over het algemeen te concluderen dat het onderzochte maatregelenpakket goed functioneert voor afvoergolven met een kleinere herhalingstijd (zoals T25 en kleiner), maar er is onvoldoende bergingsvolume beschikbaar om een groot verschil te maken voor afvoergolven met een grotere herhalingstijd (zoals T100).

7.2 Aanbevelingen

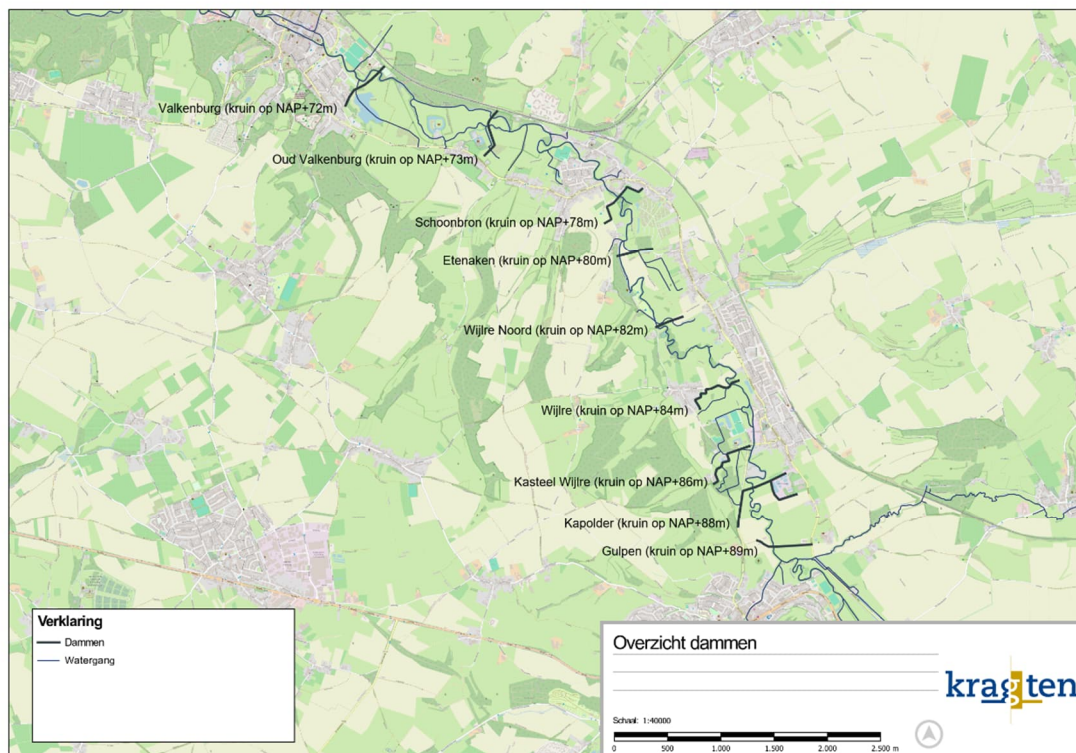
Voor de 2021-afvoergolf en afvoergolf 2 heeft het in deze rapportage beschreven maatregelenpakket onvoldoende effect om de wateroverlast in Valkenburg te verhelpen. Daardoor is het zeer aannemelijk dat een T100-beschermingsniveau aan de hand van deze maatregelen niet mogelijk is. Een lager beschermingsniveau is wel haalbaar aan de hand van de in deze maatregelen.

Om een T100-beschermingsniveau te behalen moeten tevens andere maatregelen in het stroomgebied van de Geul onderzocht worden. Een voor de hand liggende optie is het meer vasthouden van water op de plekken waar de regen valt, zoals hogerop op de terrassen en niet alleen in het beekdal. Dit vraagt om een grootschalige gebiedsaanpak. Een alternatief is het onderzoeken van bergingslocaties verder bovenstrooms in het stroomgebied, idealiter vóórdat het water in het Geuldal terecht is gekomen.

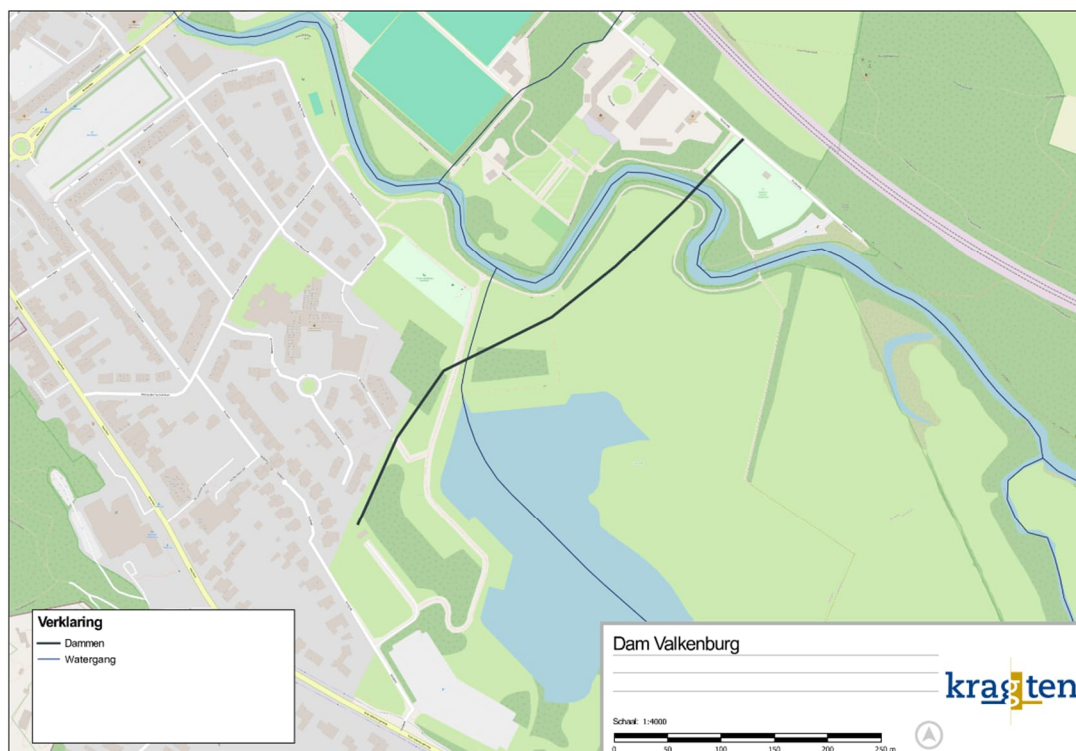
BIJLAGEN

B1 LOCATIES DAMMEN EN HOOGTEPROFIELEN

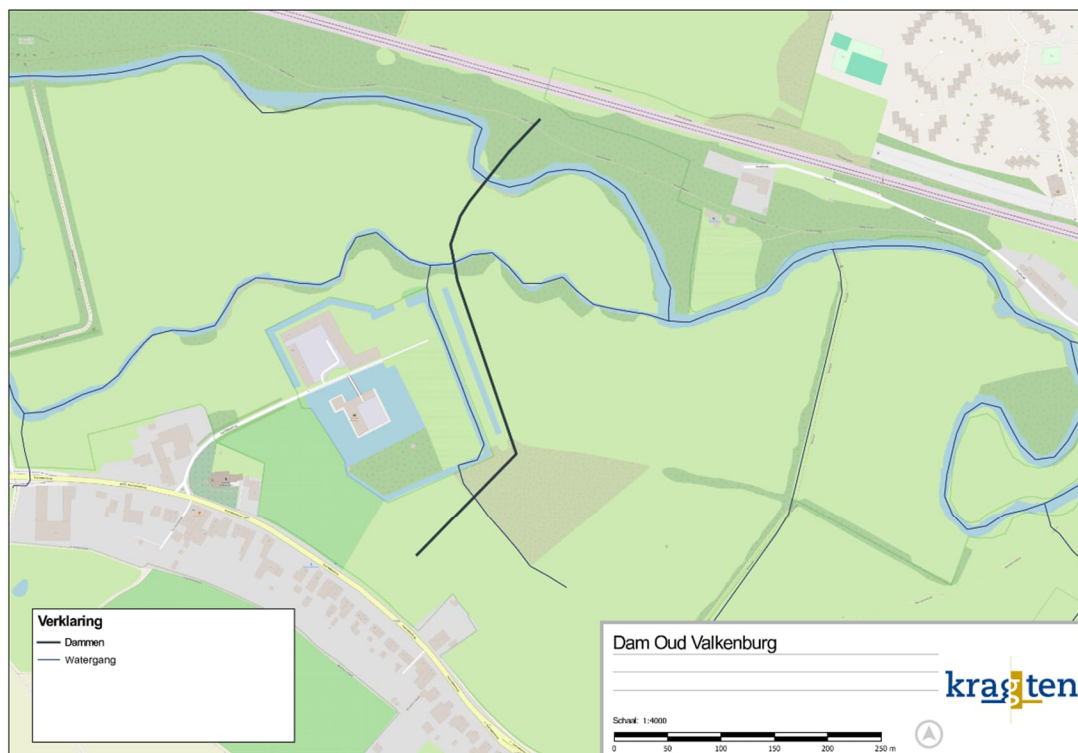
ONTWERPITERATIE 1



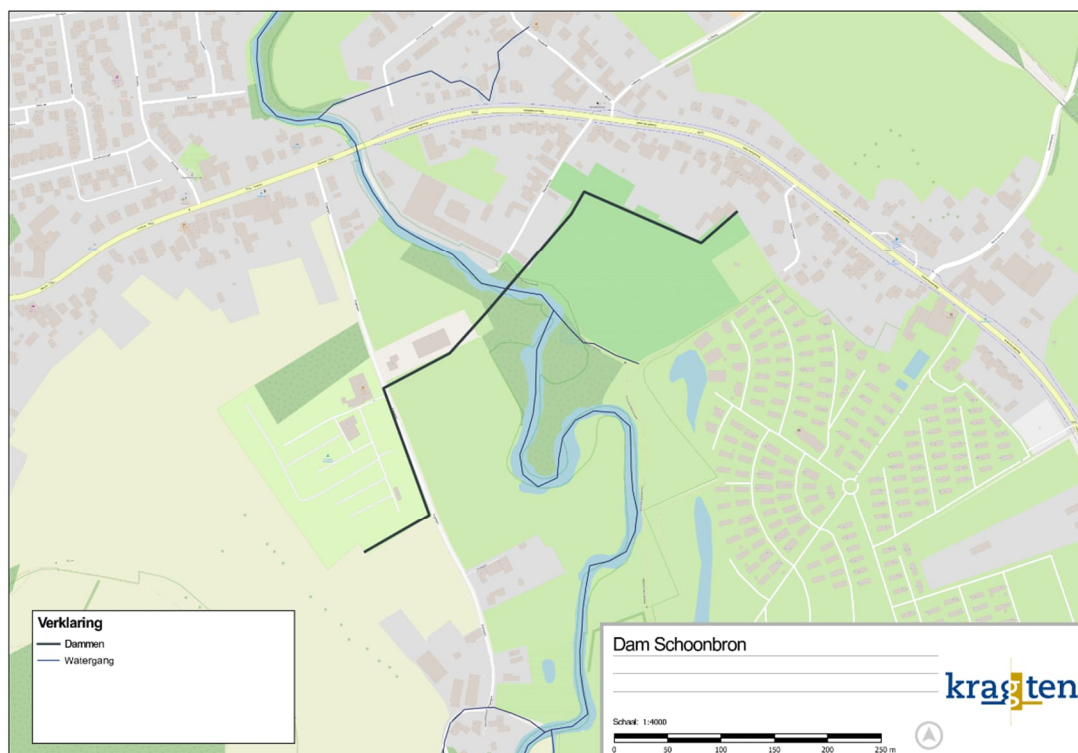
Figuur 1. Overzicht dammen, maatregel 1.



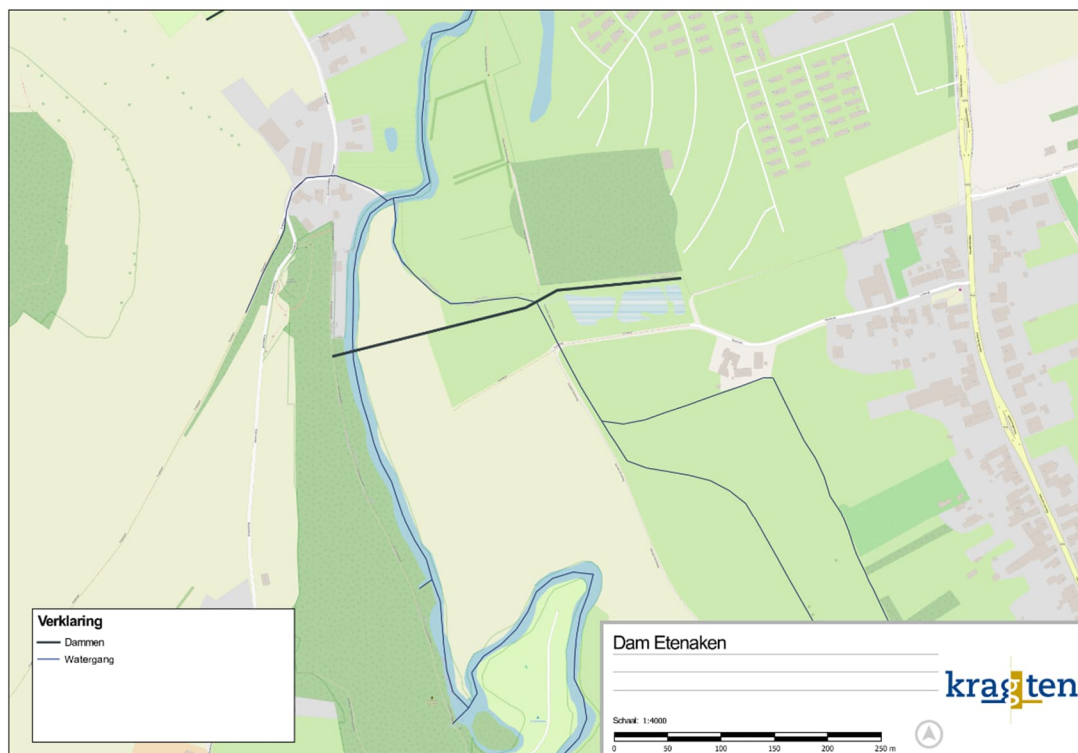
Figuur 2. Dam Valkenburg.



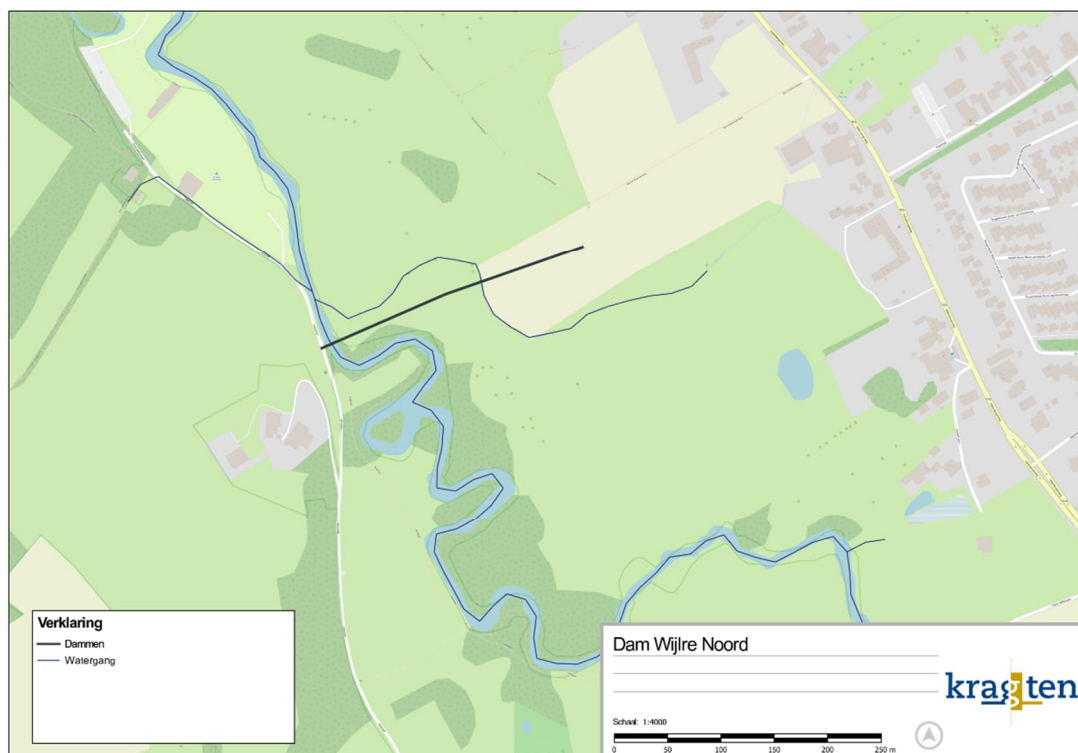
Figuur 3. Dam Oud Valkenburg.



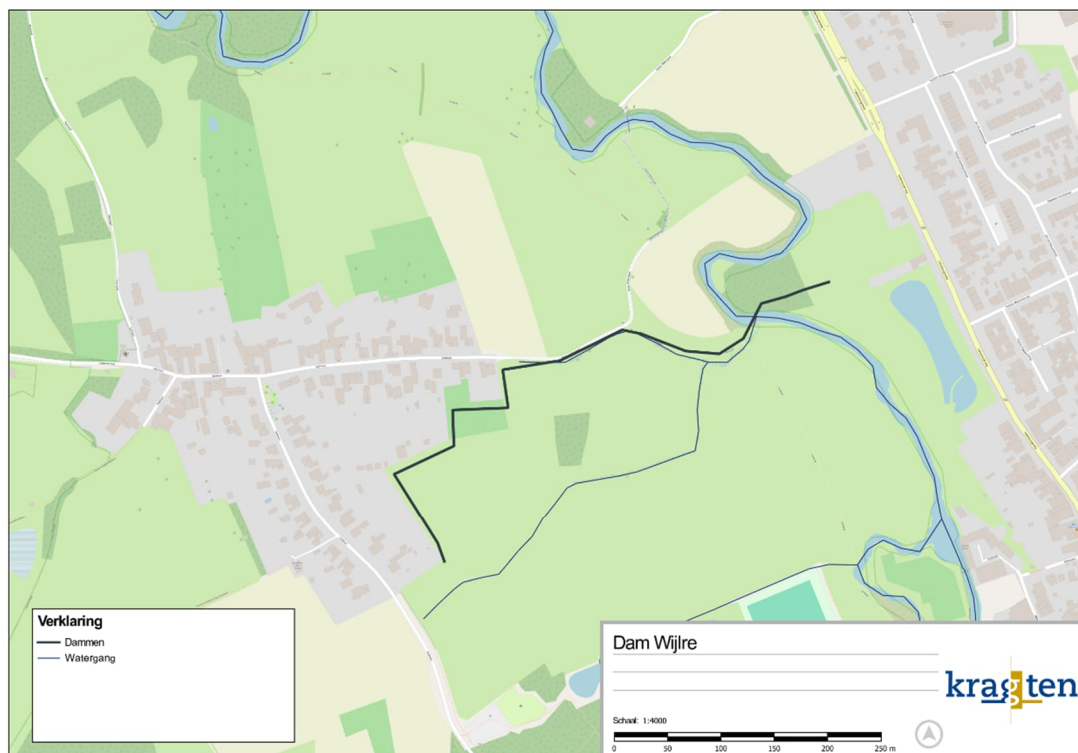
Figuur 4. Dam Schoonbron.



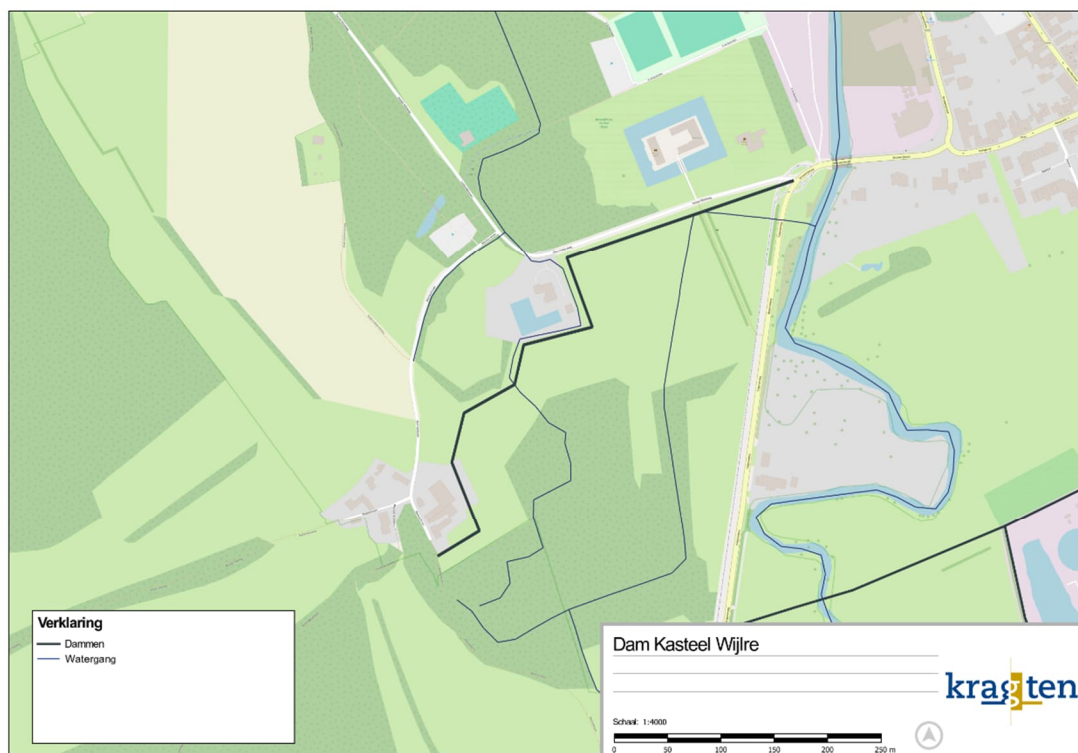
Figuur 5. Dam Etenaken.



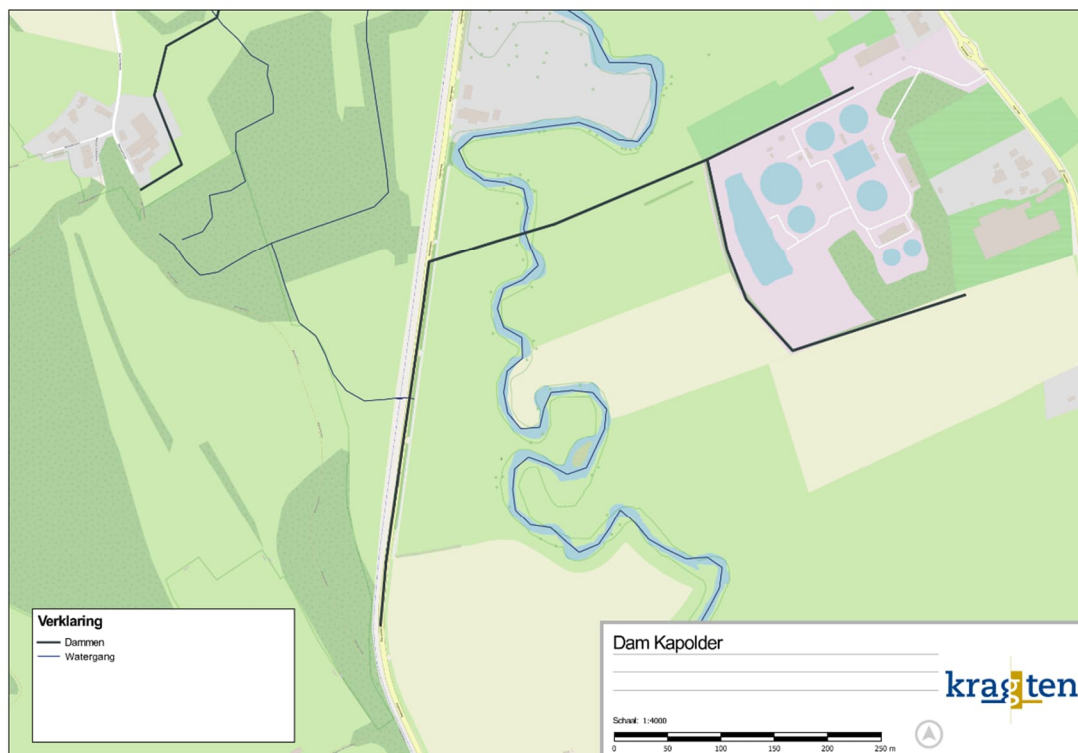
Figuur 6. Dam Wijlre Noord.



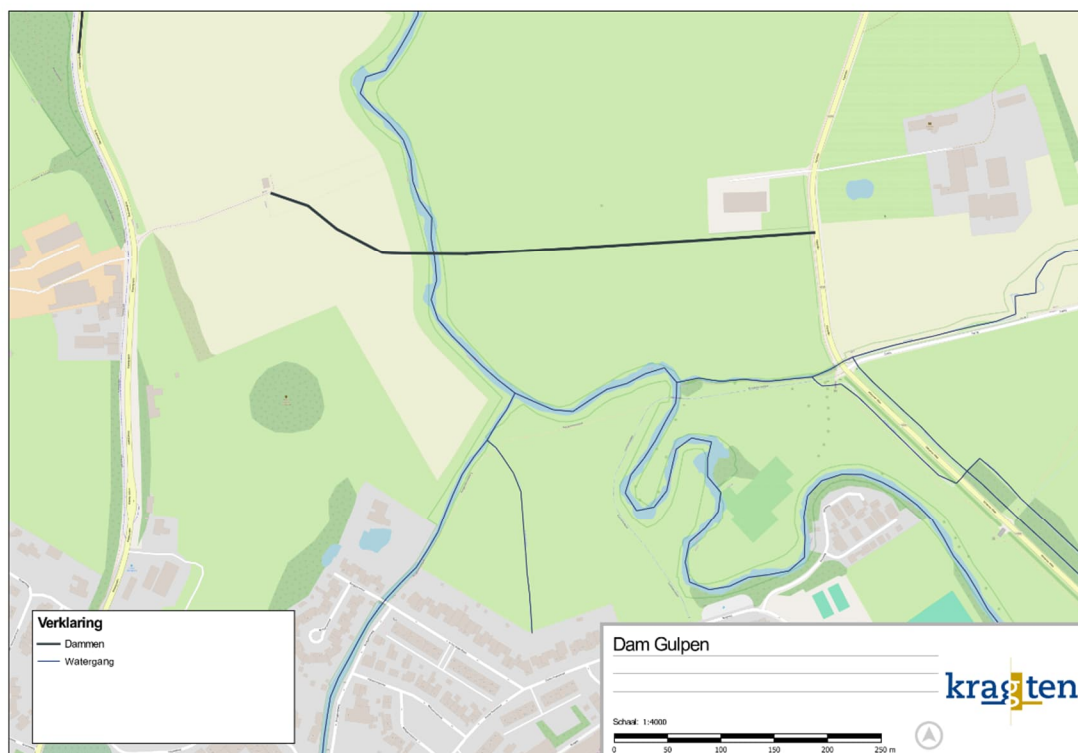
Figuur 7. Dam Wijlre.



Figuur 8. Dam Kasteel Wijlre.



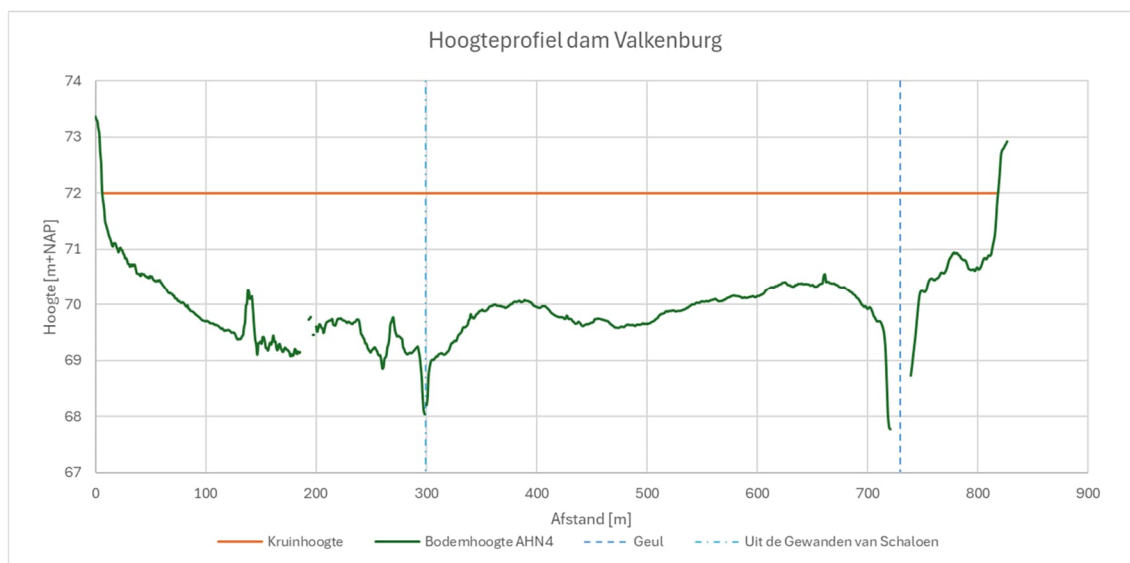
Figuur 9. Dam Kapolder.



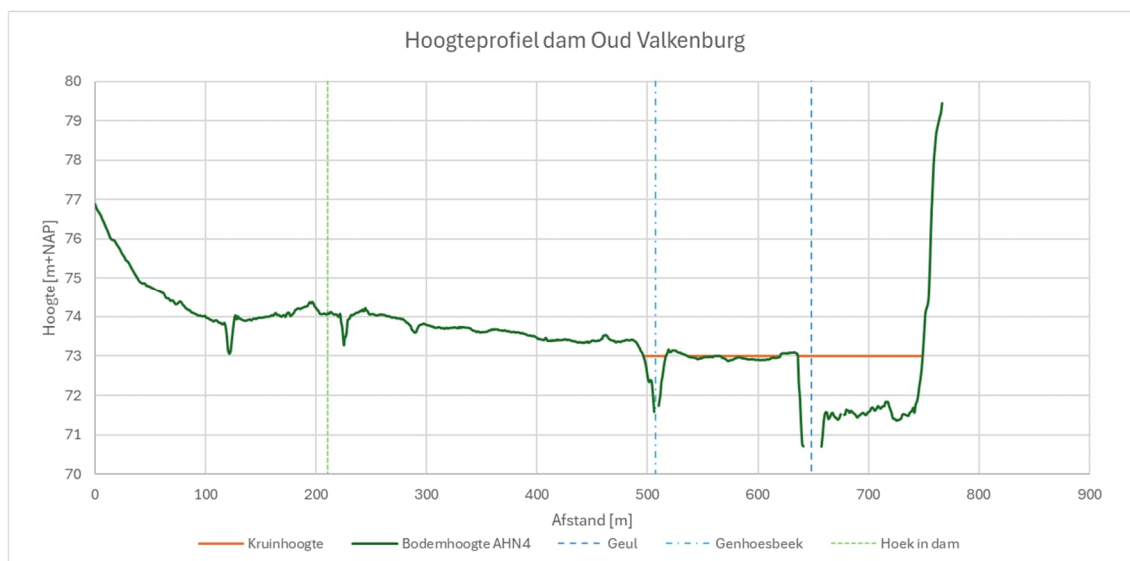
Figuur 10. Dam Gulpen.

Toelichting

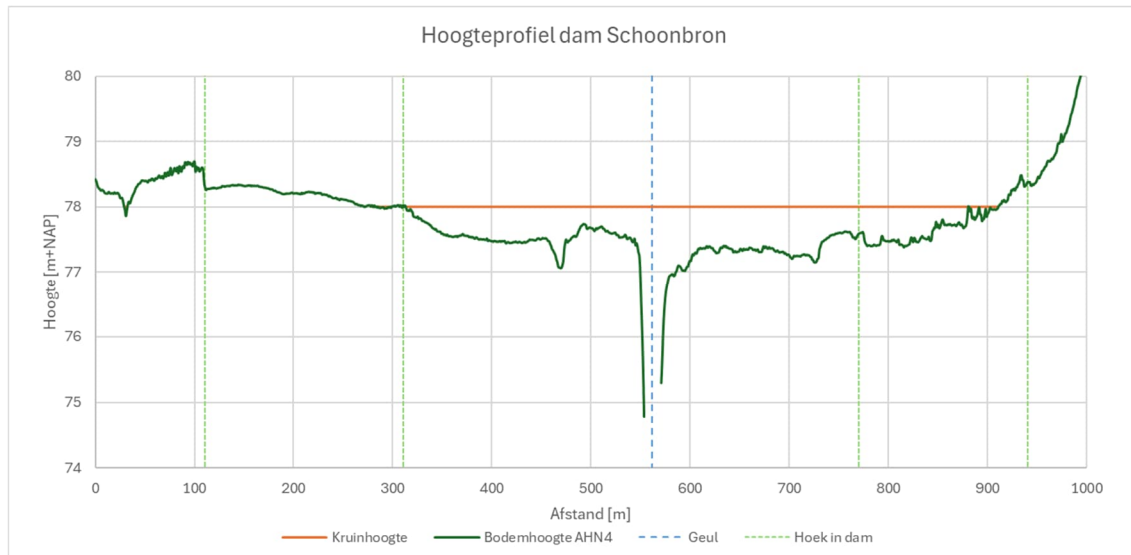
Betreft	Hoogteprofielen dammen
Ons kenmerk	PLI210
Datum	22-05-2025
Behandeld door	BDEU



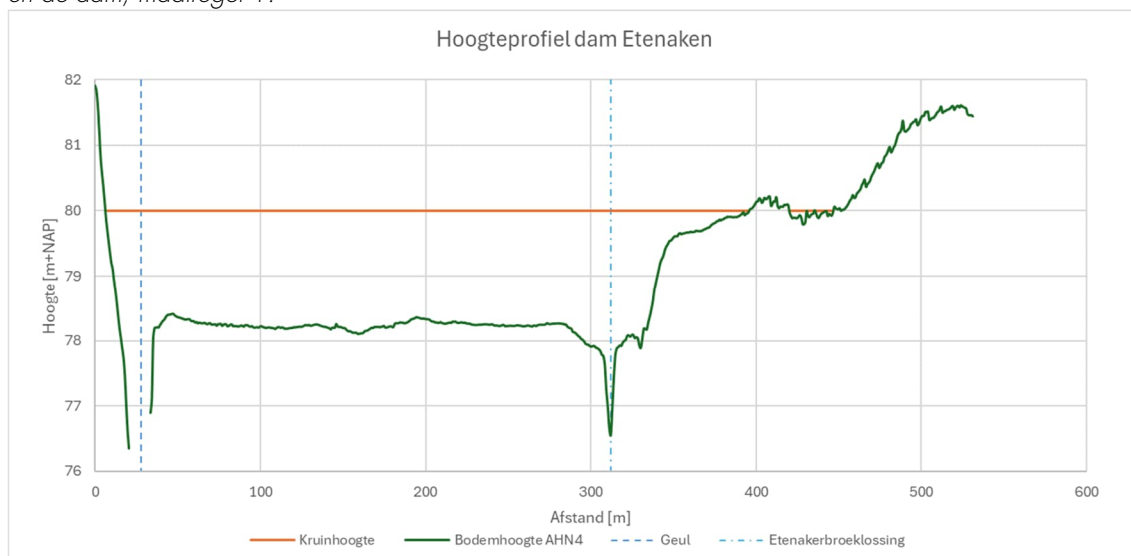
Figuur 1. Lengteprofiel van de dam nabij Valkenburg, met het hoogteverloop van het maaiveld (AHN4) en de dam, maatregel 1.



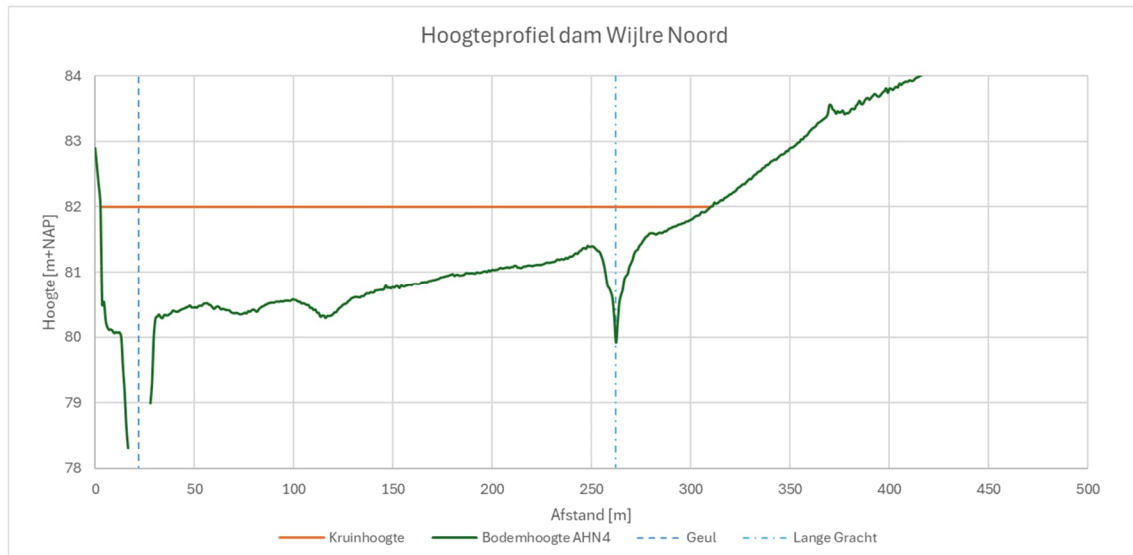
Figuur 2. Lengteprofiel van de dam nabij Oud Valkenburg, met het hoogteverloop van het maaiveld (AHN4) en de dam, maatregel 1.



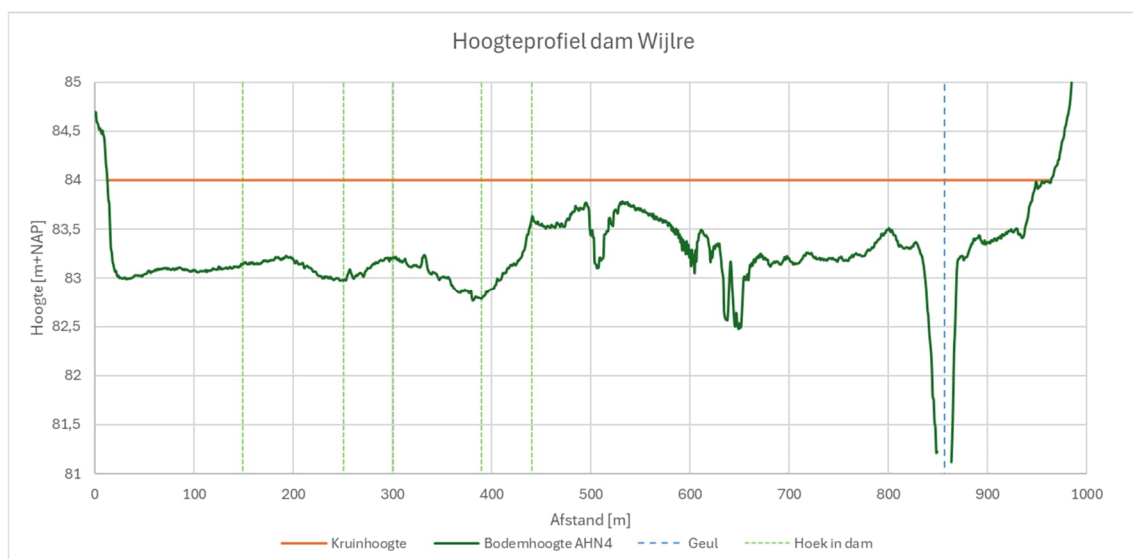
Figuur 3. Lengteprofiel van de dam nabij Schoonbron, met het hoogteverloop van het maaiveld (AHN4) en de dam, maatregel 1.



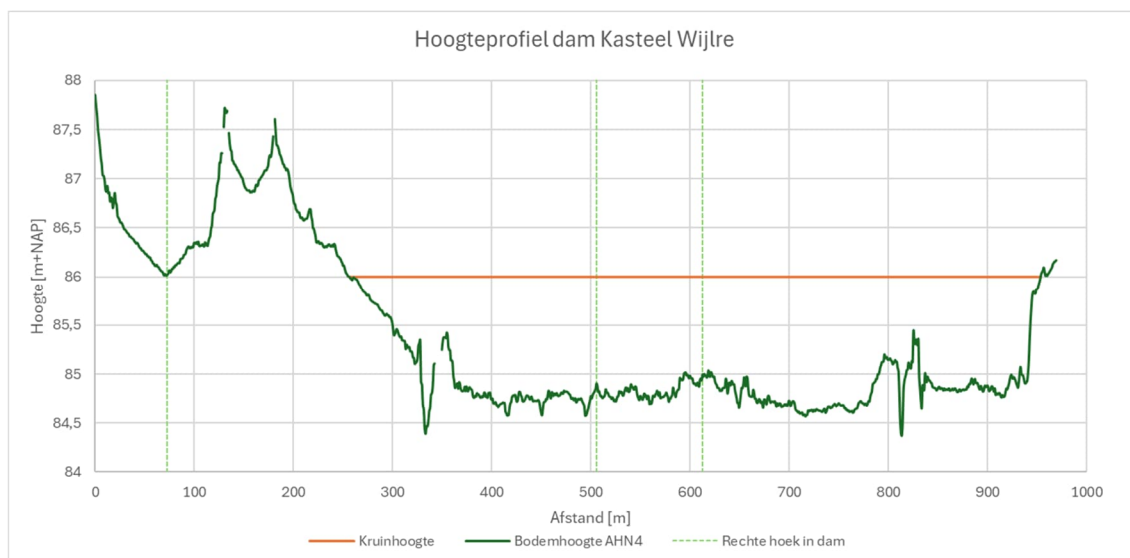
Figuur 4. Lengteprofiel van de dam nabij Etenaken, met het hoogteverloop van het maaiveld (AHN4) en de dam, maatregel 1.



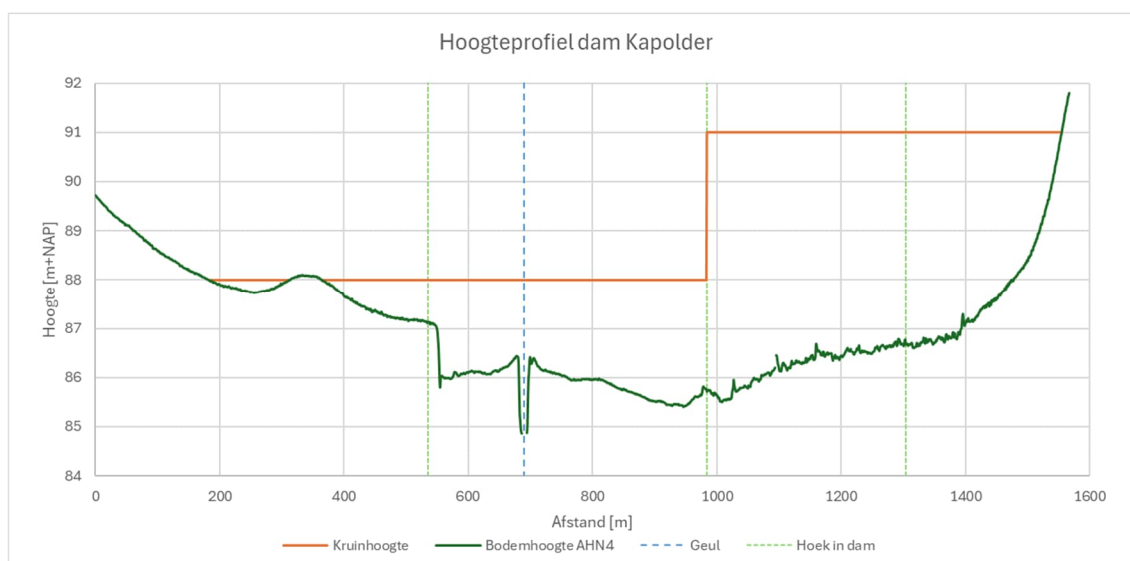
Figuur 5. Lengteprofiel van de dam nabij Wijlre Noord, met het hoogteverloop van het maaiveld (AHN4) en de dam, maatregel 1.



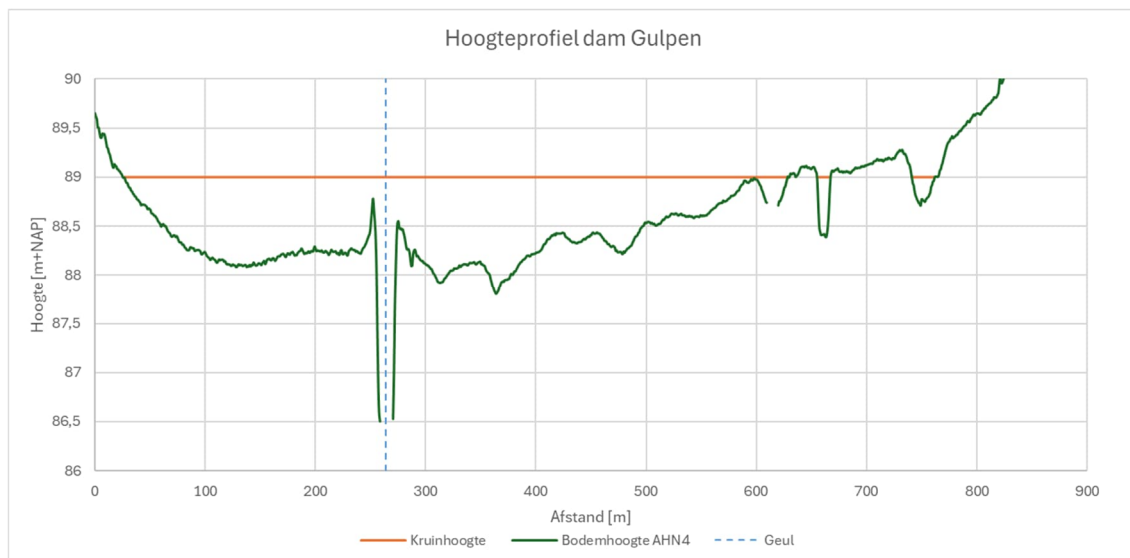
Figuur 6. Lengteprofiel van de dam nabij Wijlre, met het hoogteverloop van het maaiveld (AHN4) en de dam, maatregel 1.



Figuur 7. Lengteprofiel van de dam nabij Kasteel Wijlre, met het hoogteverloop van het maaiveld (AHN4) en de dam. De dam kruist niet met de Geul.



Figuur 8. Lengteprofiel van de dam nabij Kapolder, met het hoogteverloop van het maaiveld (AHN4) en de dam, maatregel 1.

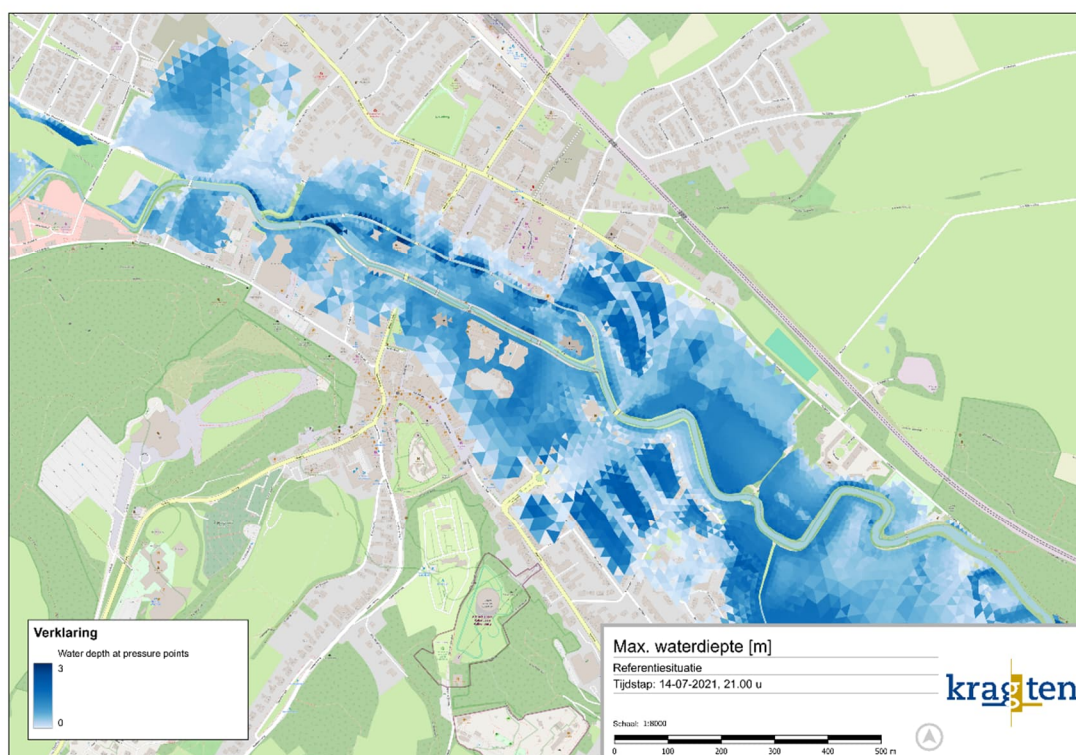


Figuur 9. Lengteprofiel van de dam nabij Gulpen, met het hoogteverloop van het maaiveld (AHN4) en de dam, maatregel 1.

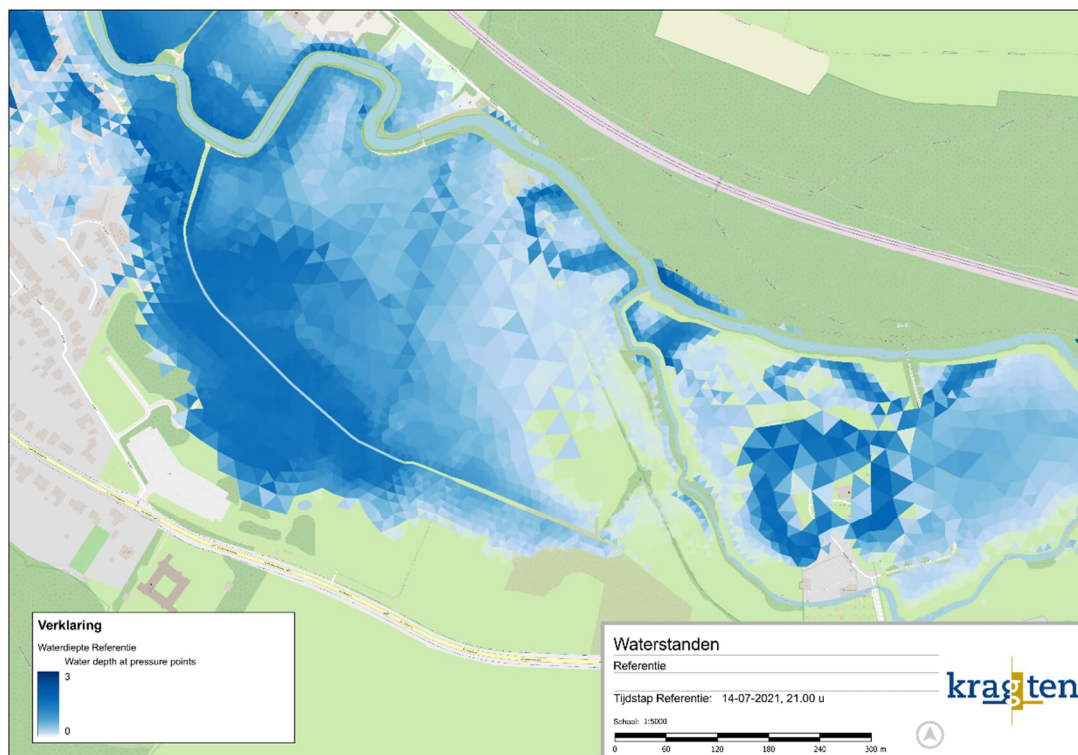
B2 MAXIMALE INUNDATIES REFERENTIESITUATIE

Toelichting

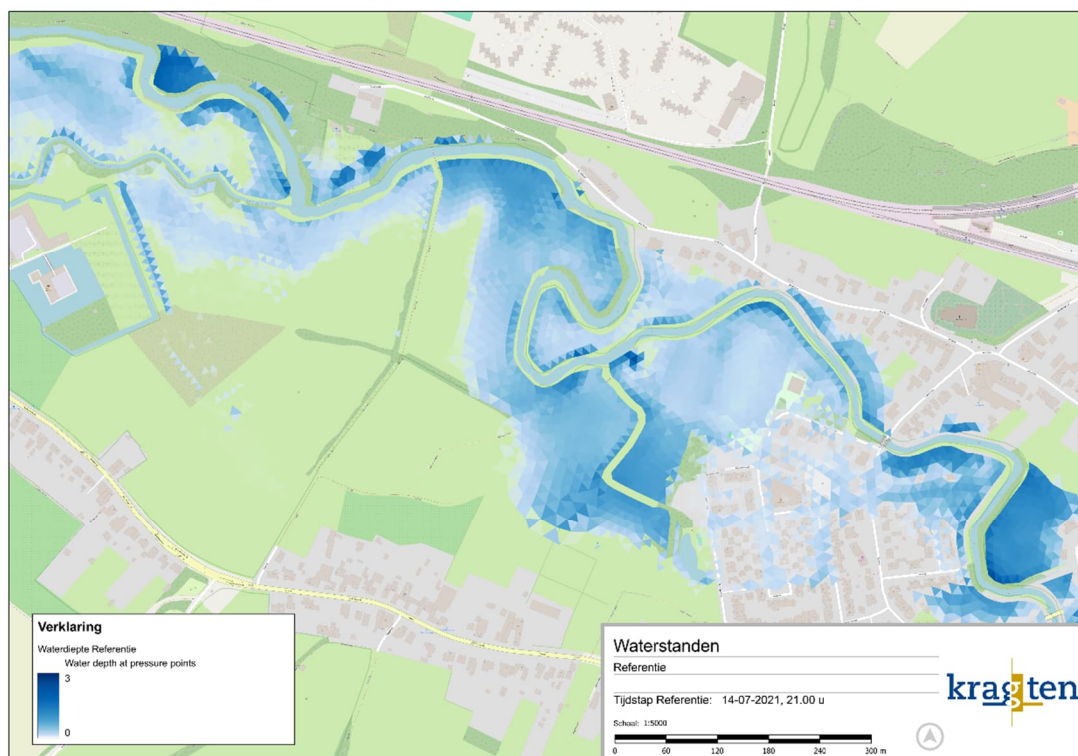
Betreft	Waterdiepte kaarten referentiesituatie
Ons kenmerk	PLI210
Datum	22-05-2025
Behandeld door	BDEU



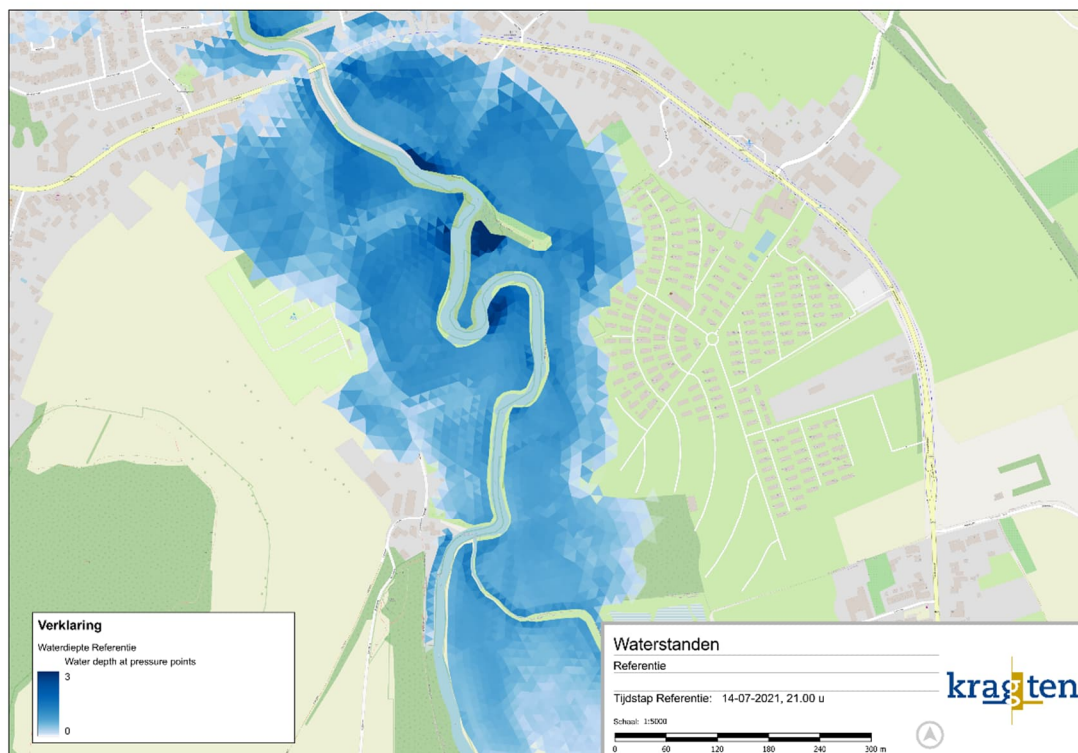
Figuur 1. Waterdiepte nabij Valkenburg Centrum, referentiesituatie.



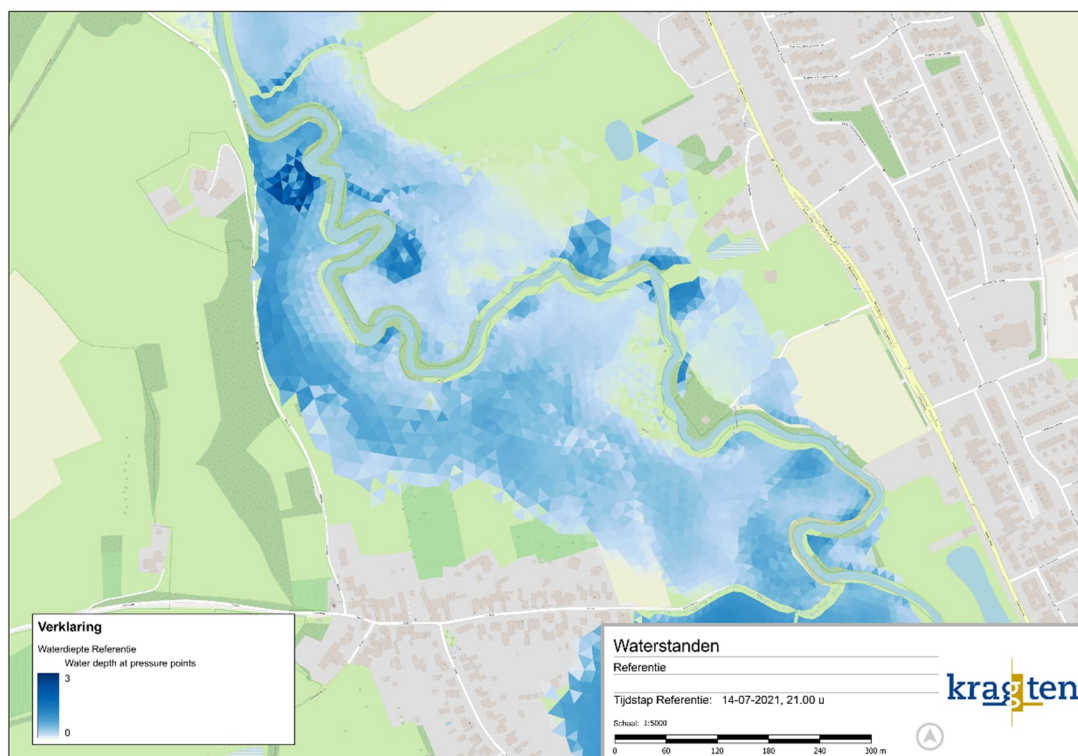
Figuur 2. Waterdiepte nabij Valkenburg, referentiesituatie.



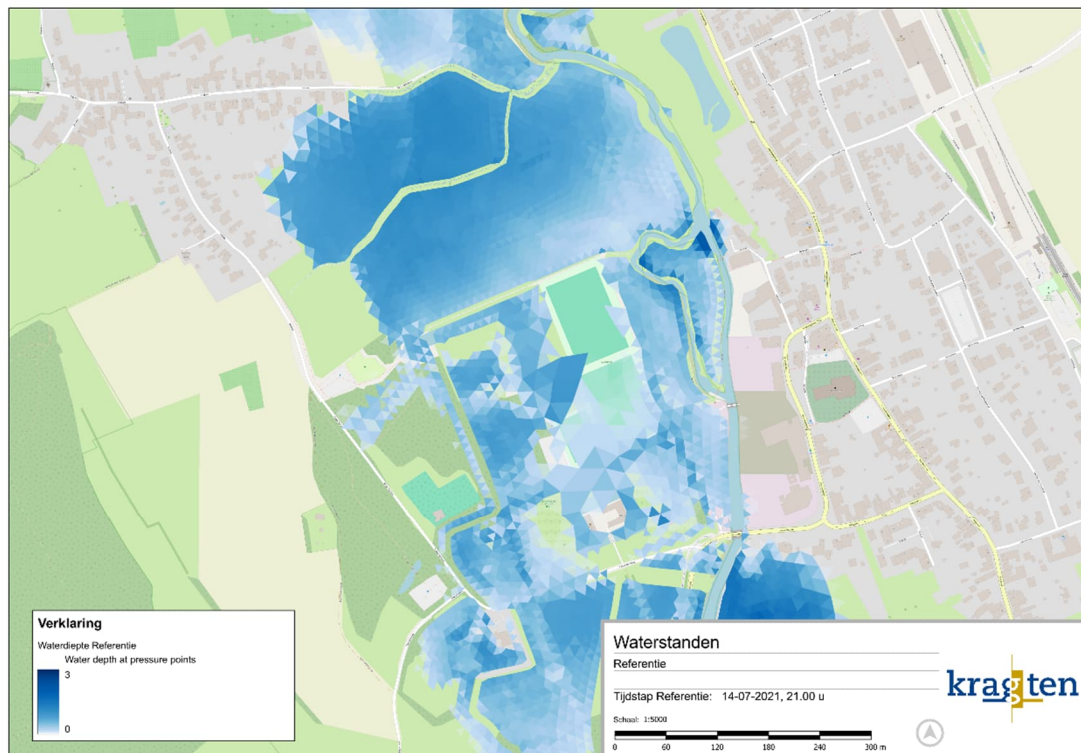
Figuur 3. Waterdiepte nabij Oud Valkenburg, referentiesituatie.



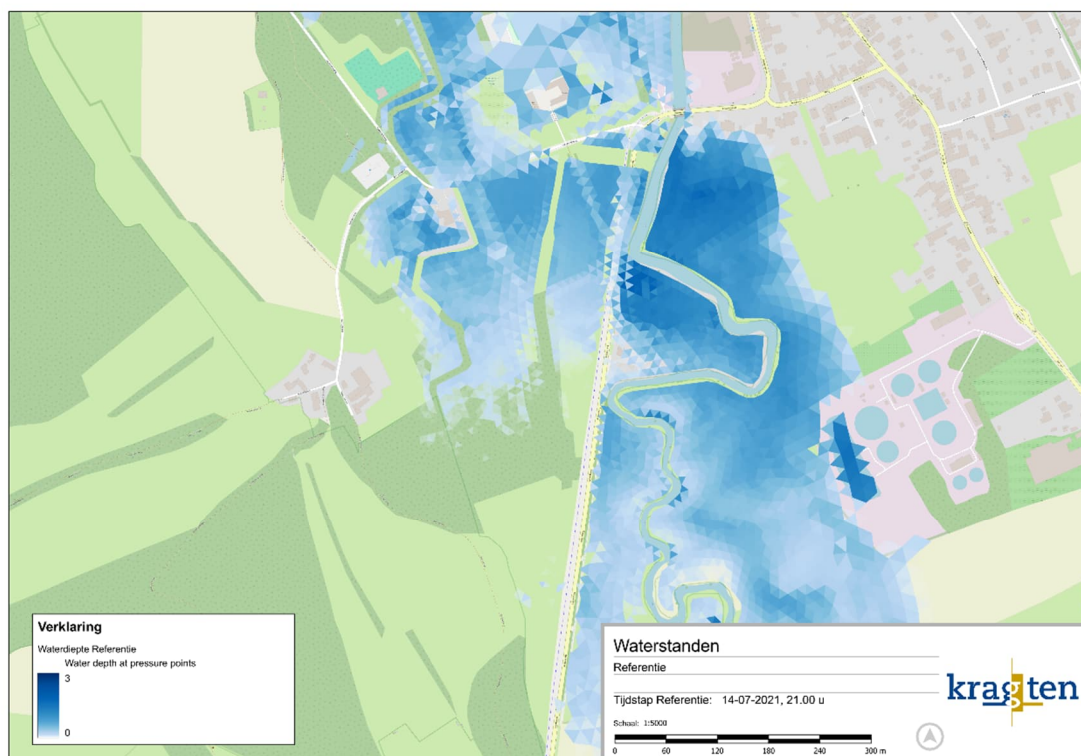
Figuur 4. Waterdiepte nabij Schoonbron, referentiesituatie.



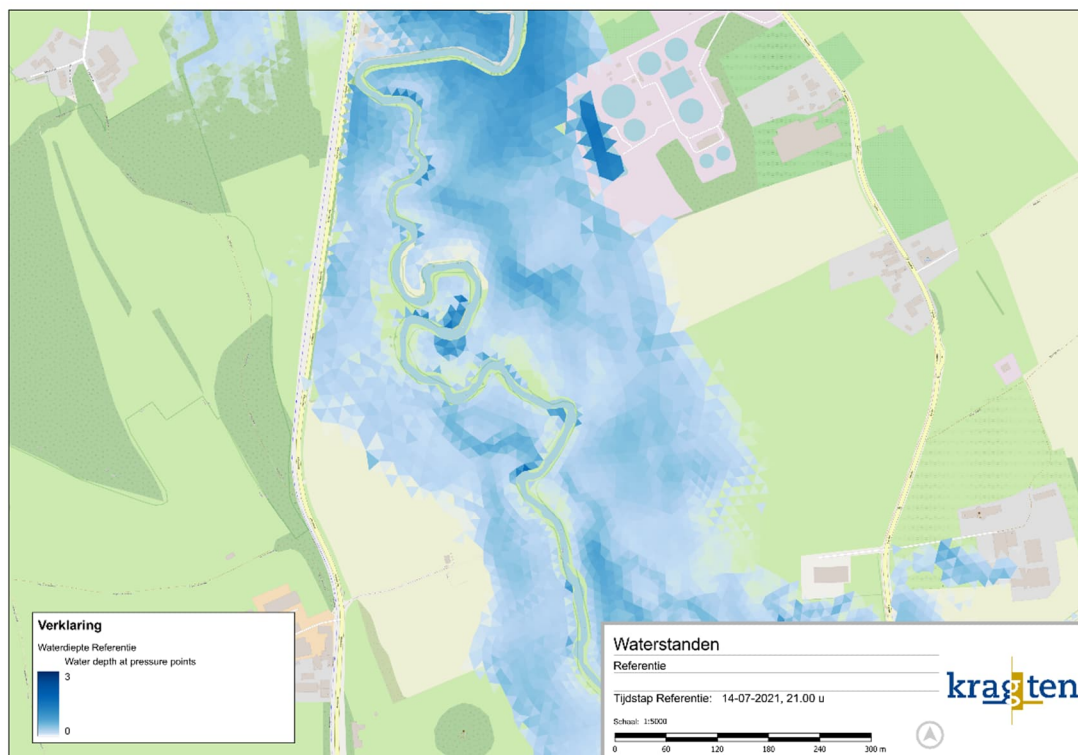
Figuur 5. Waterdiepte nabij Etenaken, referentiesituatie.



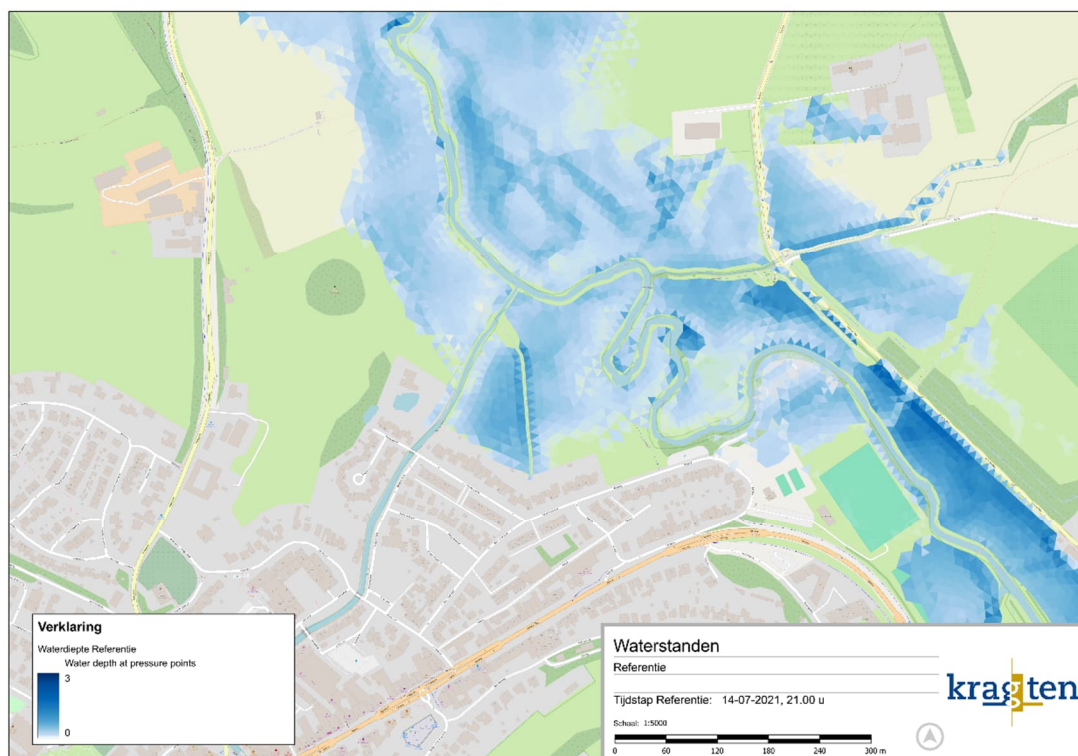
Figuur 6. Waterdiepte nabij Wijlre Noord, referentiesituatie.



Figuur 7. Waterdiepte nabij Kasteel Wijlre, referentiesituatie.



Figuur 8. Waterdiepte nabij Kapolder, referentiesituatie.

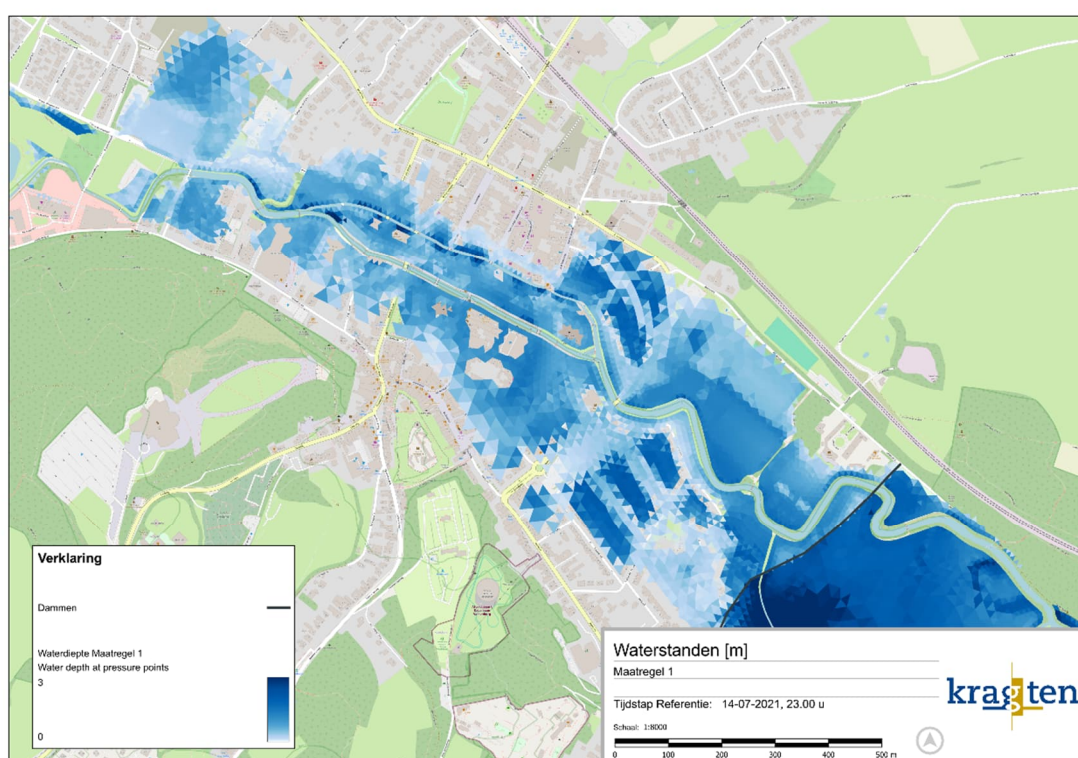


Figuur 9. Waterdiepte nabij Gulpen, referentiesituatie.

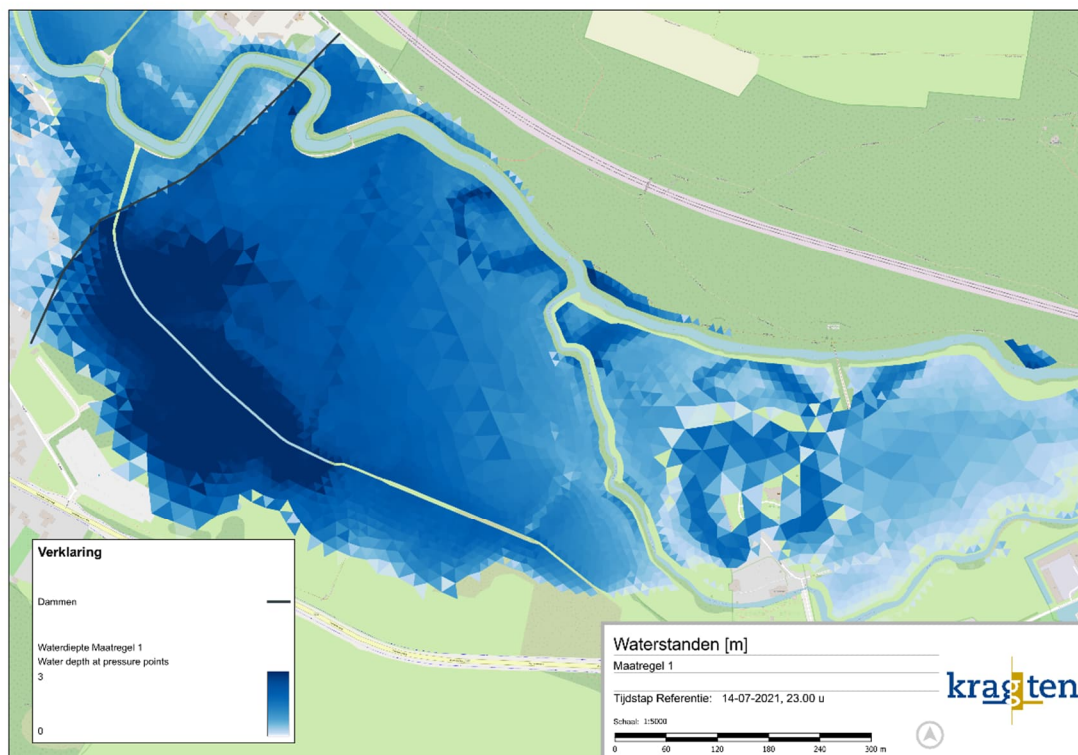
B3 MAXIMALE INUNDATIES ONTWERPITERATIE 1

Toelichting

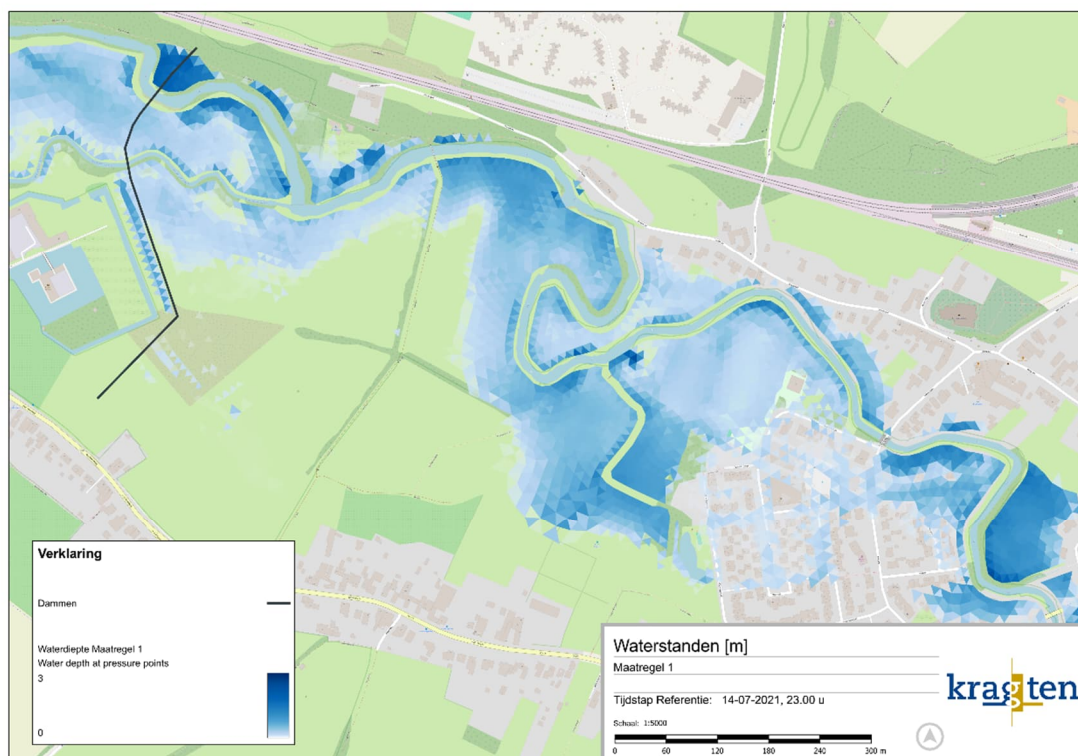
Betref	Waterdieptekaarten Maatregel 1
Ons kenmerk	PLI210
Datum	22-05-2025
Behandeld door	BDEU



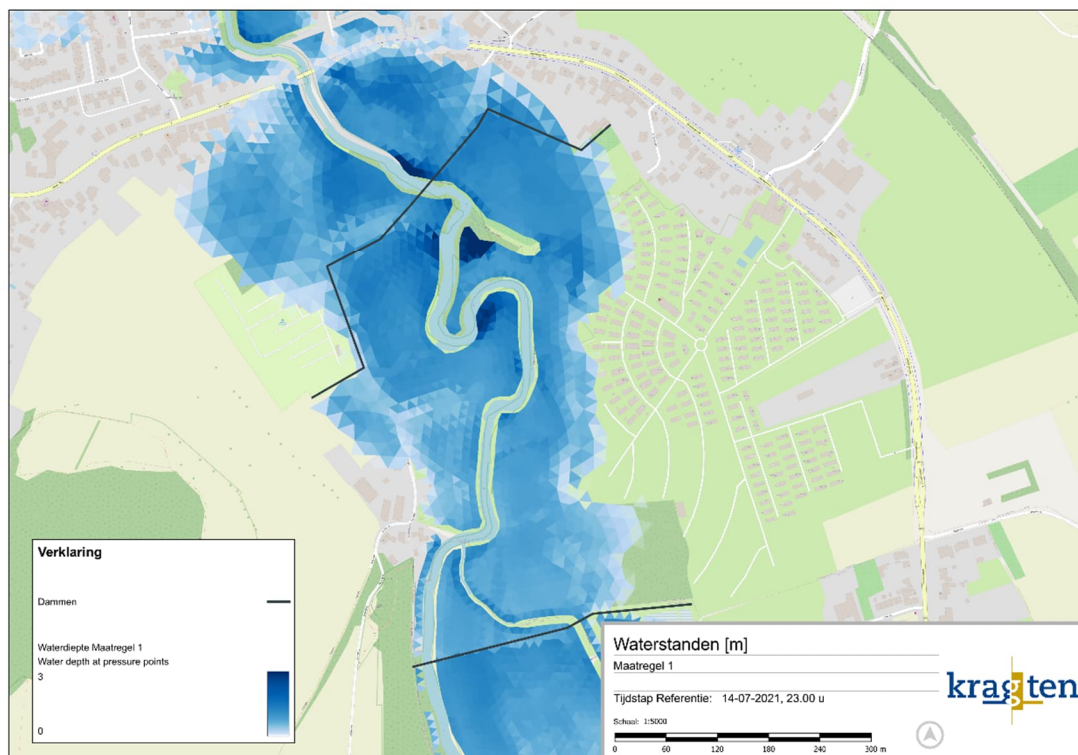
Figuur 1. Waterdiepte nabij Valkenburg Centrum, Maatregel 1.



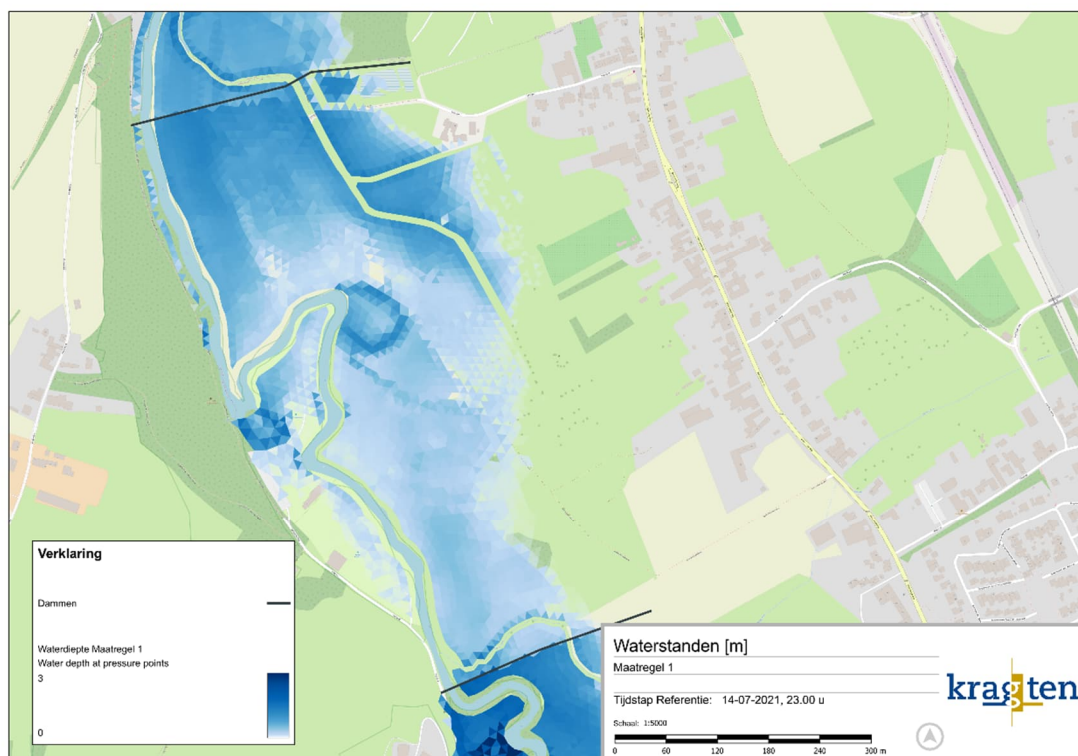
Figuur 2. Waterdiepte nabij Valkenburg, Maatregel 1.



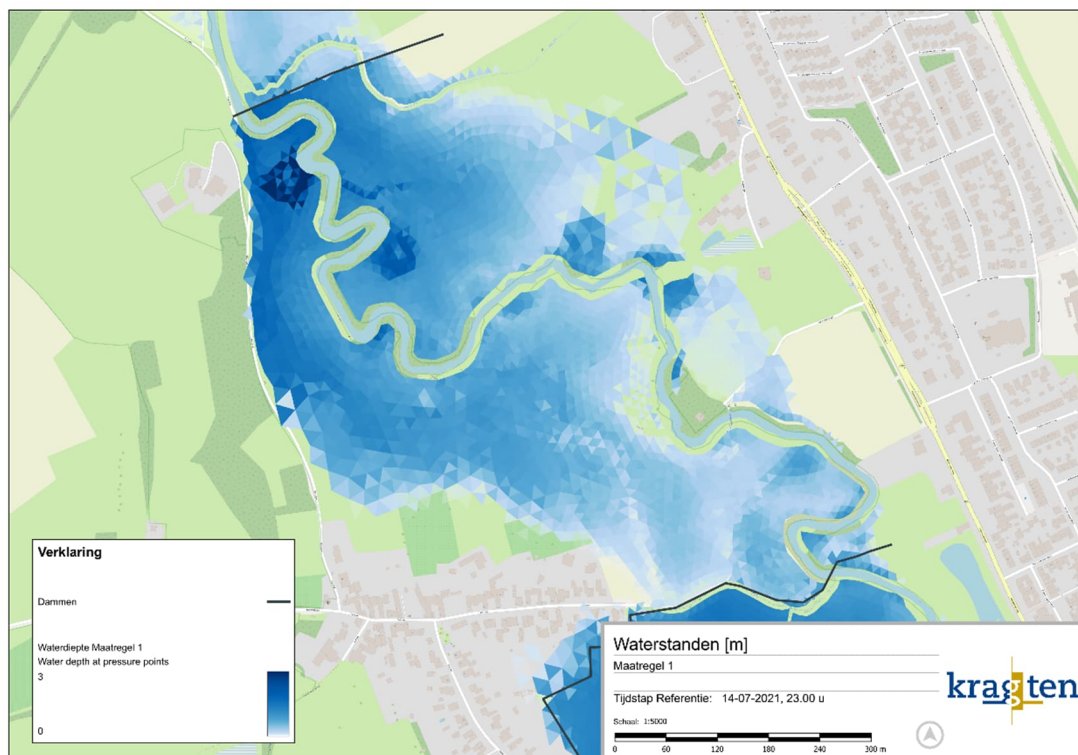
Figuur 3. Waterdiepte nabij Oud Valkenburg, Maatregel 1.



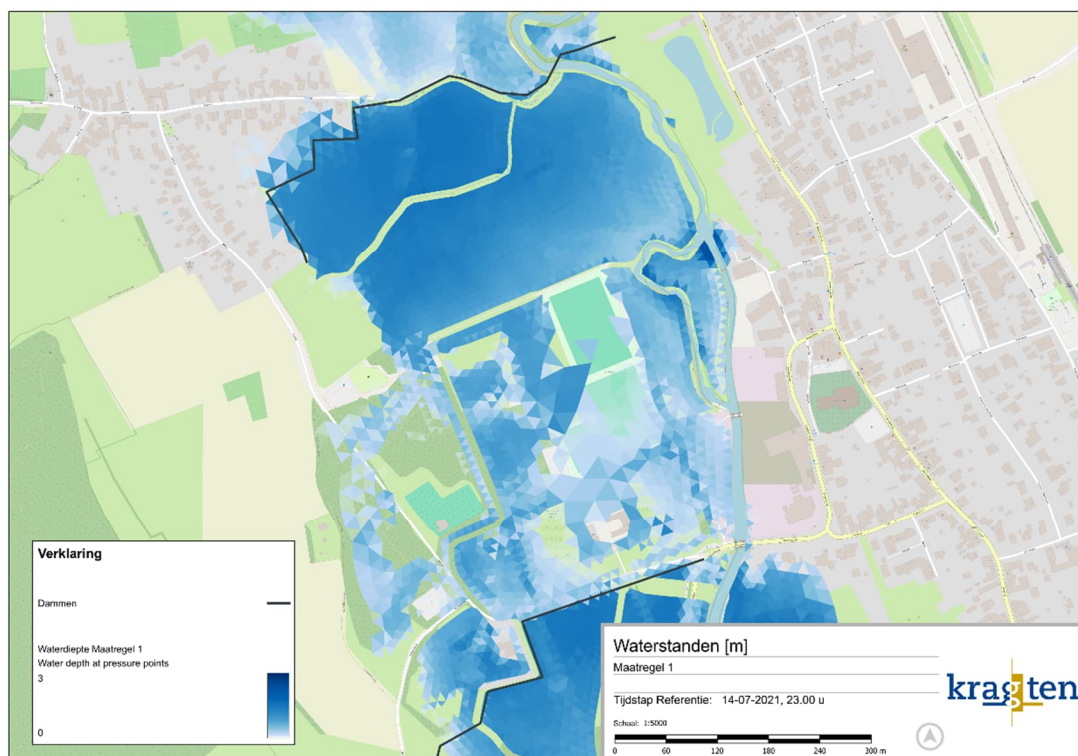
Figuur 4. Waterdiepte nabij Schoonbron, Maatregel 1.



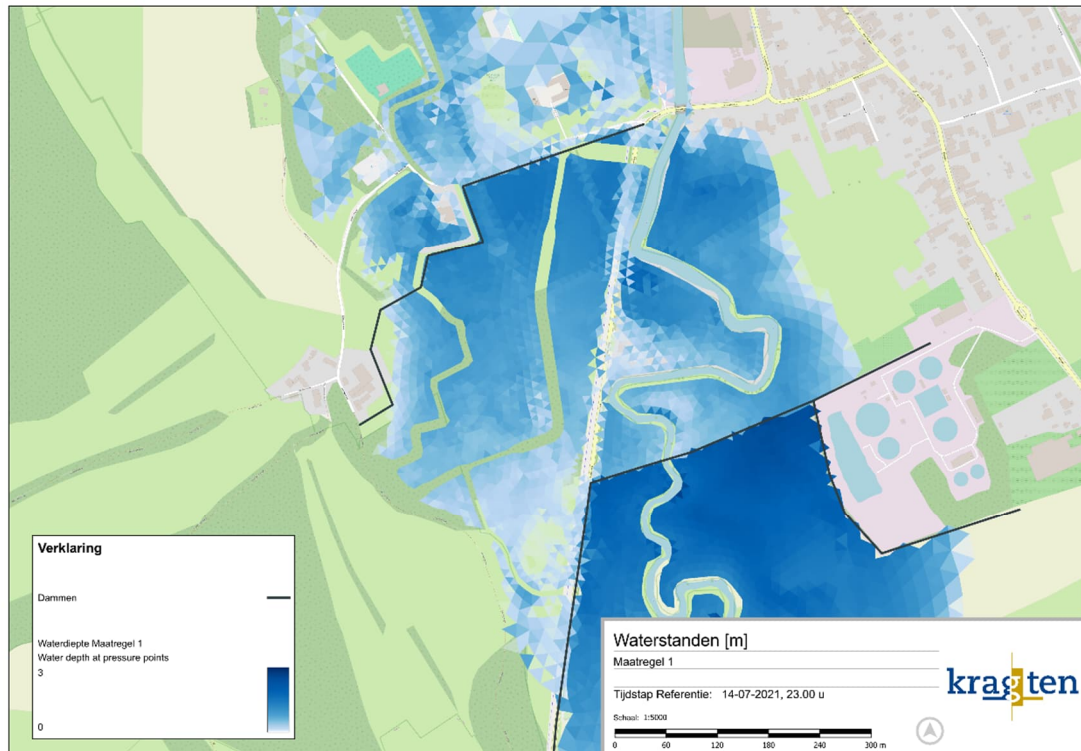
Figuur 5. Waterdiepte nabij Etenaken, Maatregel 1.



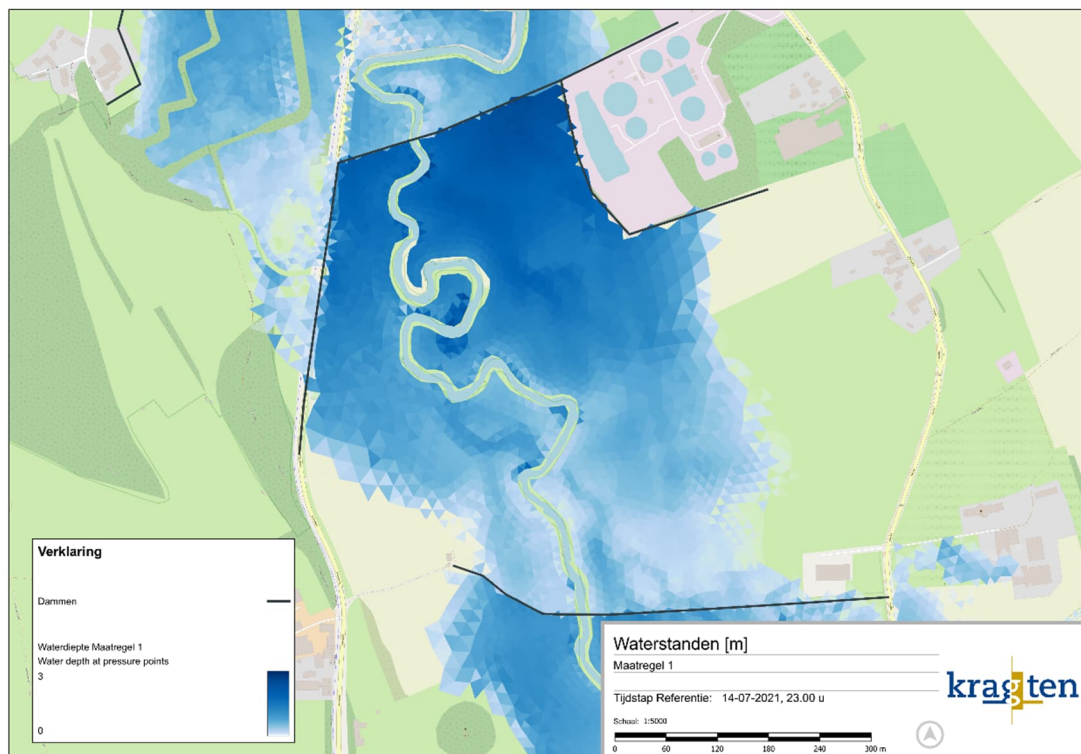
Figuur 6. Waterdiepte nabij Wijlre Noord, Maatregel 1.



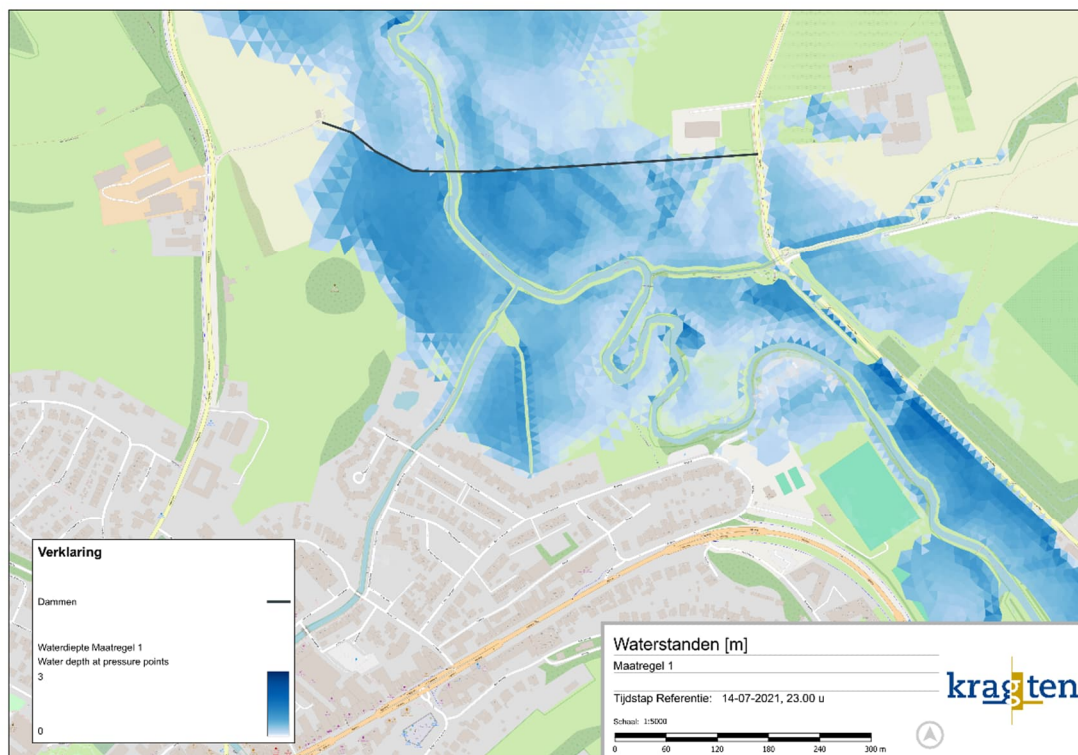
Figuur 7. Waterdiepte nabij Wijlre, Maatregel 1.



Figuur 8. Waterdiepte nabij Kasteel Wijlre, Maatregel 1.



Figuur 9. Waterdiepte nabij Kapolder, Maatregel 1.



Figuur 10. Waterdiepte nabij Gulpen, Maatregel 1.

B4 INUNDATIEVERLOOP ONTWERPITERATIE 1

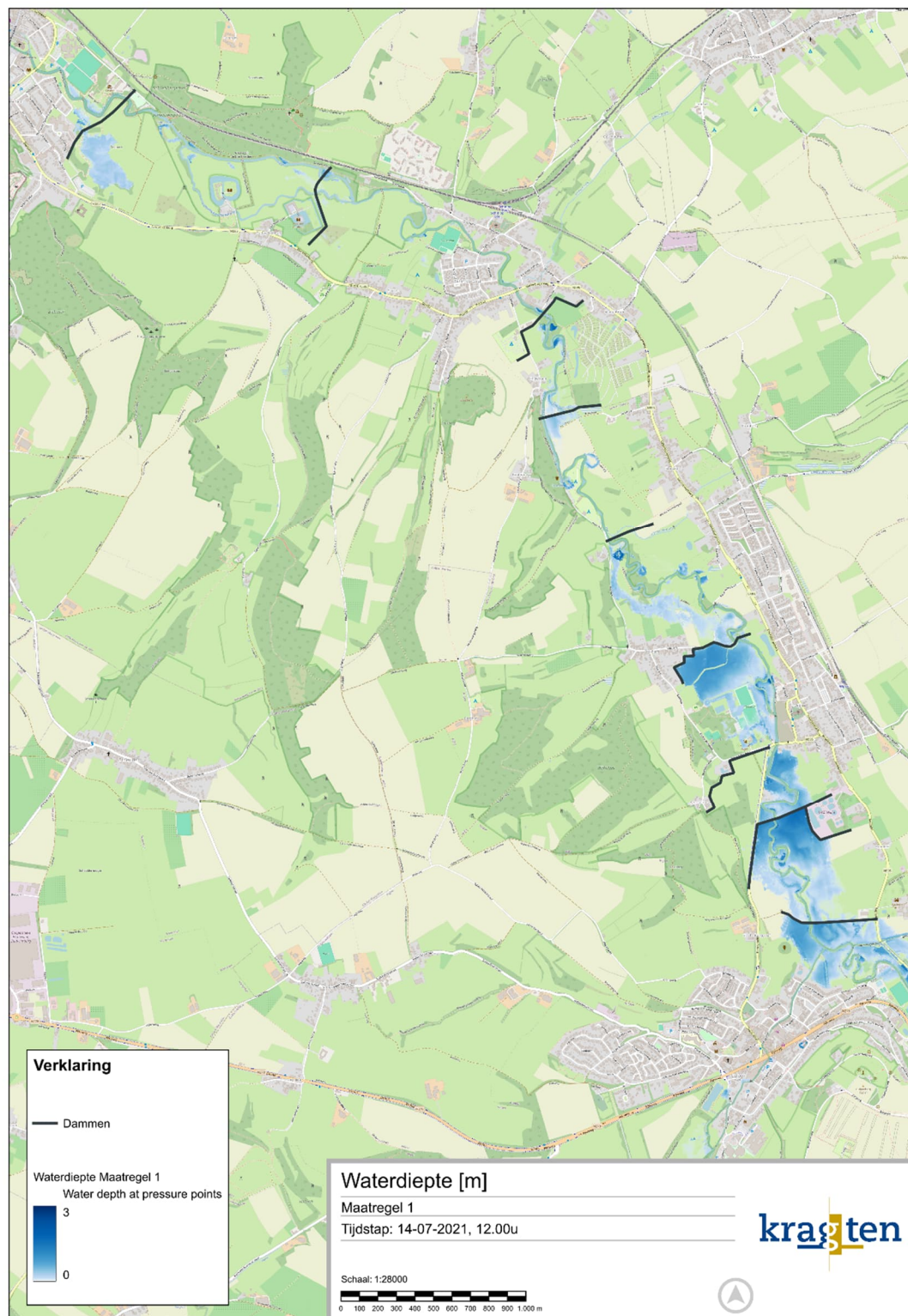
Toelichting

Betreft	Waterdiepteverloop Maatregel 1
Ons kenmerk	PLI210
Datum	18-07-2025
Behandeld door	BDEU

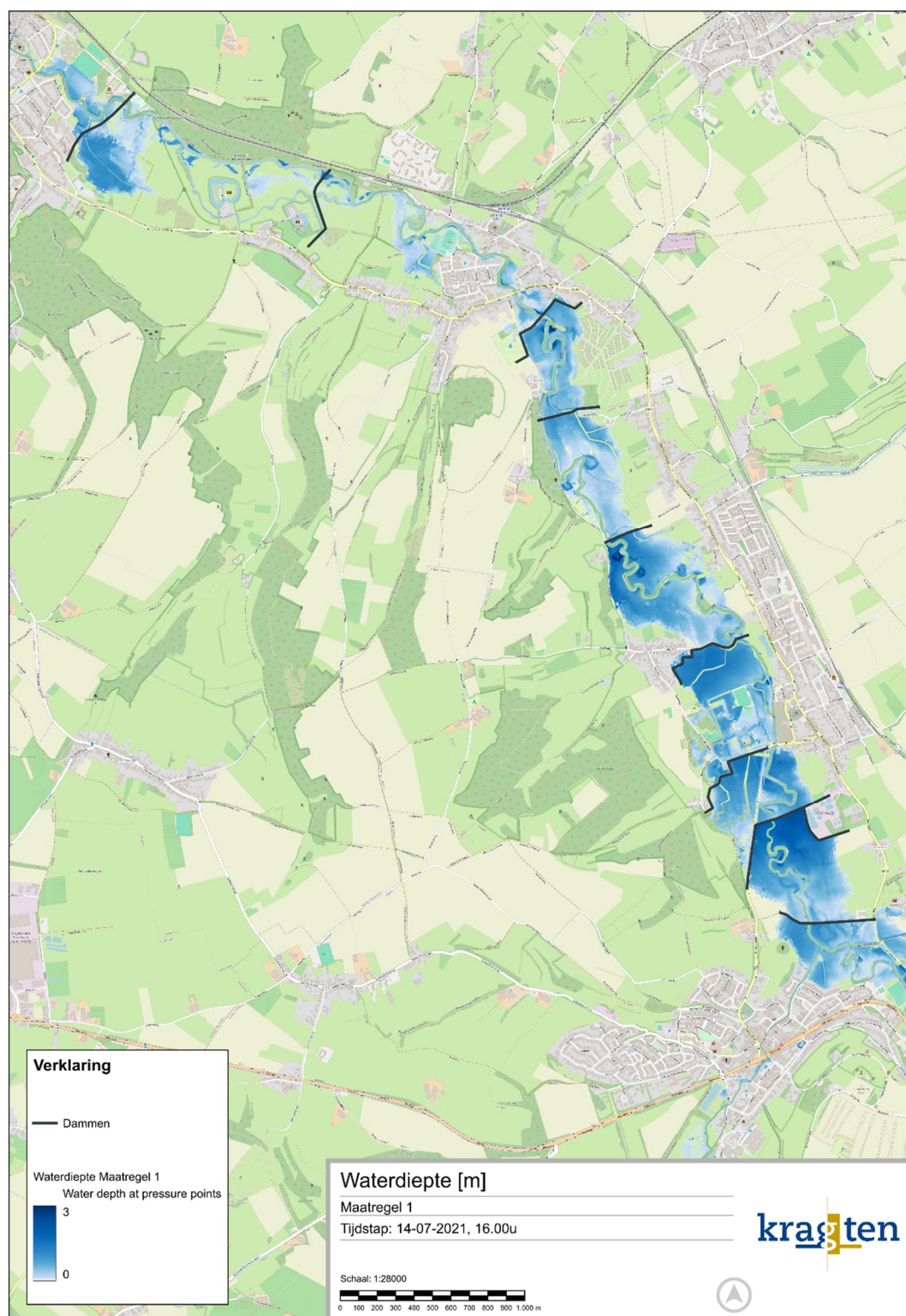
Hieronder zijn de waterdieptekaarten van het gebied tussen Gulpen en Valkenburg weergegeven door drie momenten:

- Het moment dat bergingslocatie Wijlre zich vult;
- Het moment dat bergingslocatie Valkenburg zich vult;
- Het moment waarop de waterdiepte in Valkenburg centrum het grootst is.

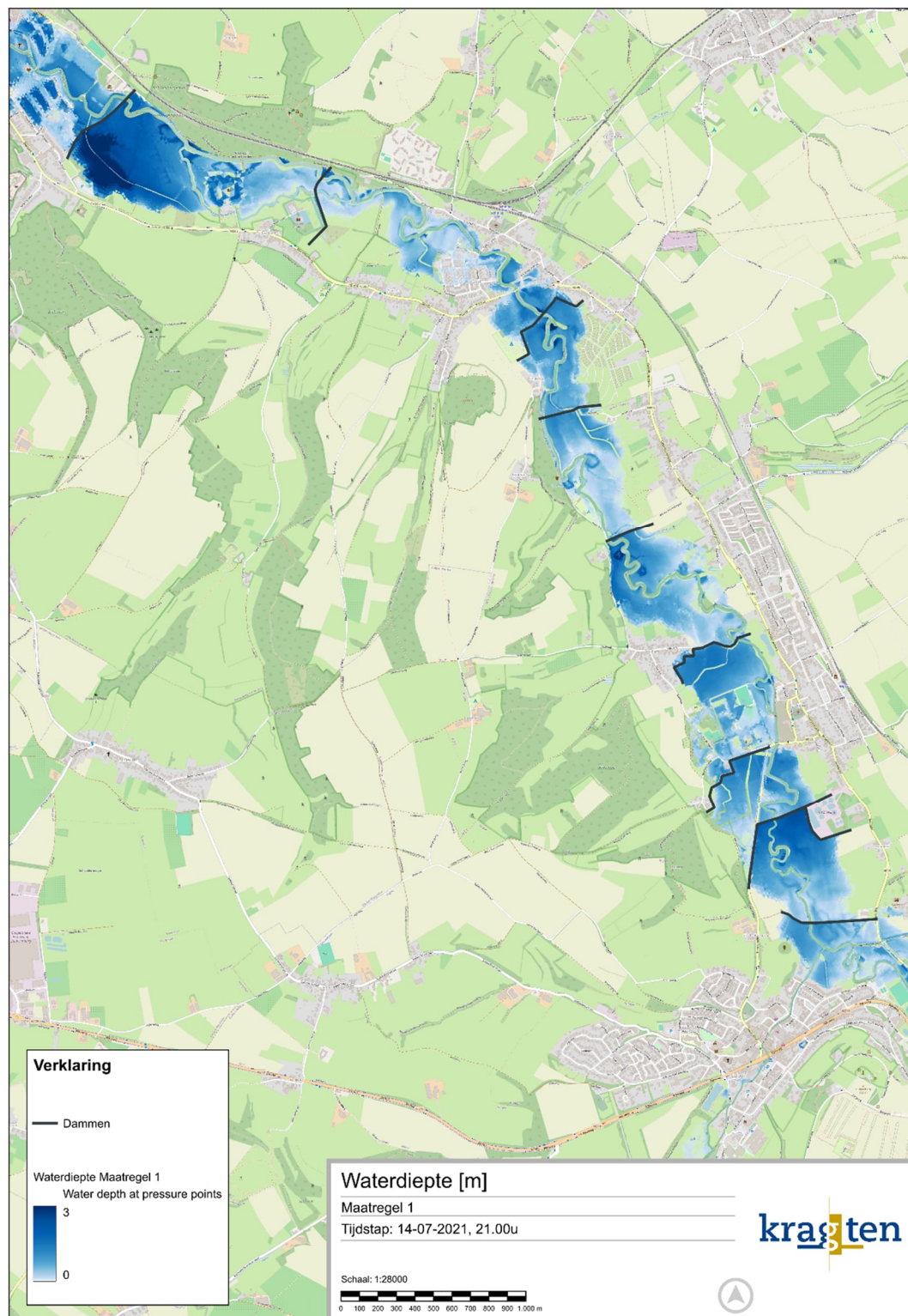
Eerst zijn de waterdieptekaarten weergegeven voor de 2021-afvoergolf. Daarna zijn de waterdieptekaarten weergegeven voor afvoergolf 2.



Figuur 1. Waterdiepte Gulpen tot Valkenburg op het moment dat bergingslocatie Wijlre zich vult, Maatregel 1 2021-afvoergolf.

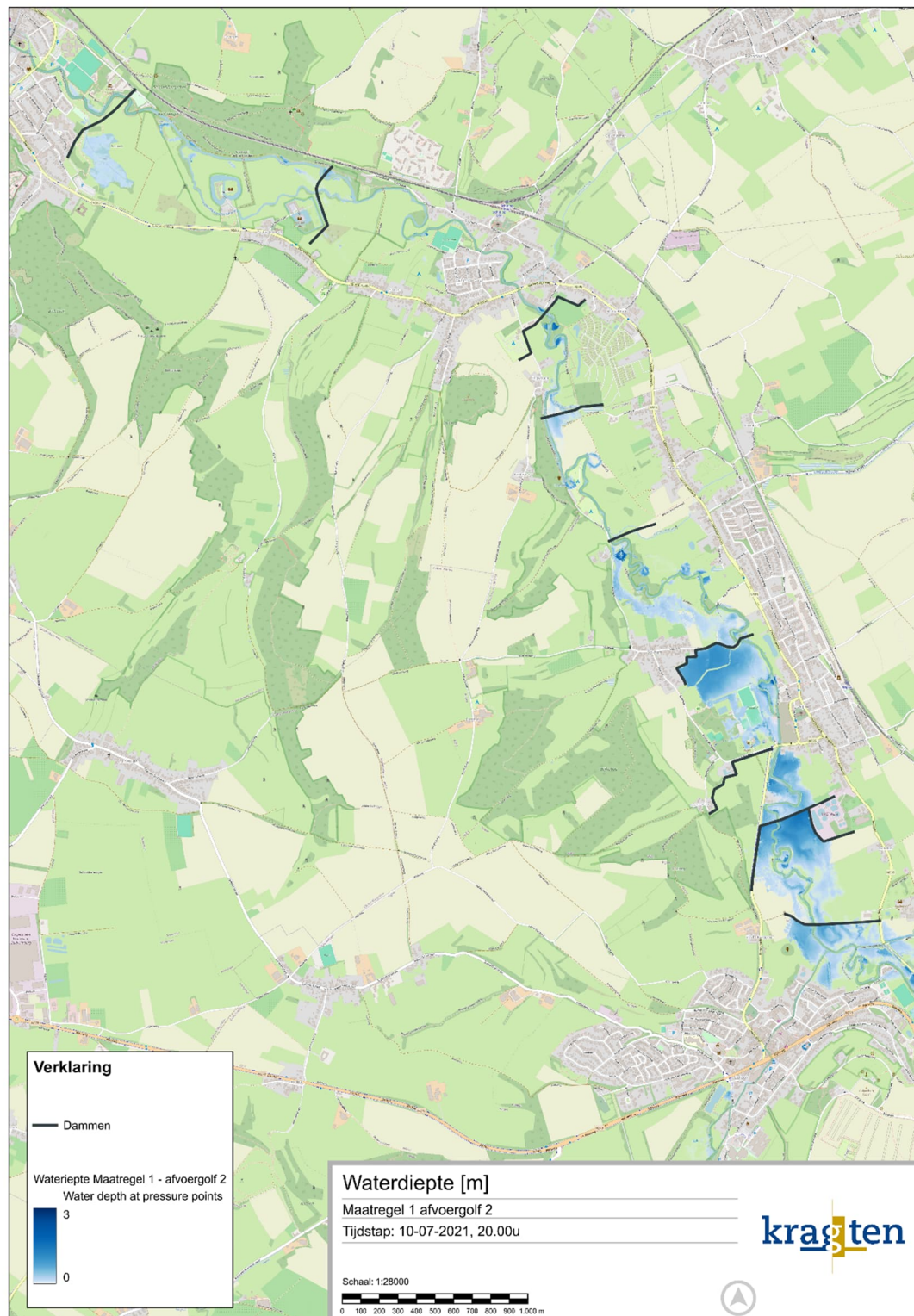


Figuur 2. Waterdiepte Gulpen tot Valkenburg op het moment dat bergingslocatie Valkenburg zich vult, Maatregel 1 2021-afvoergolf.

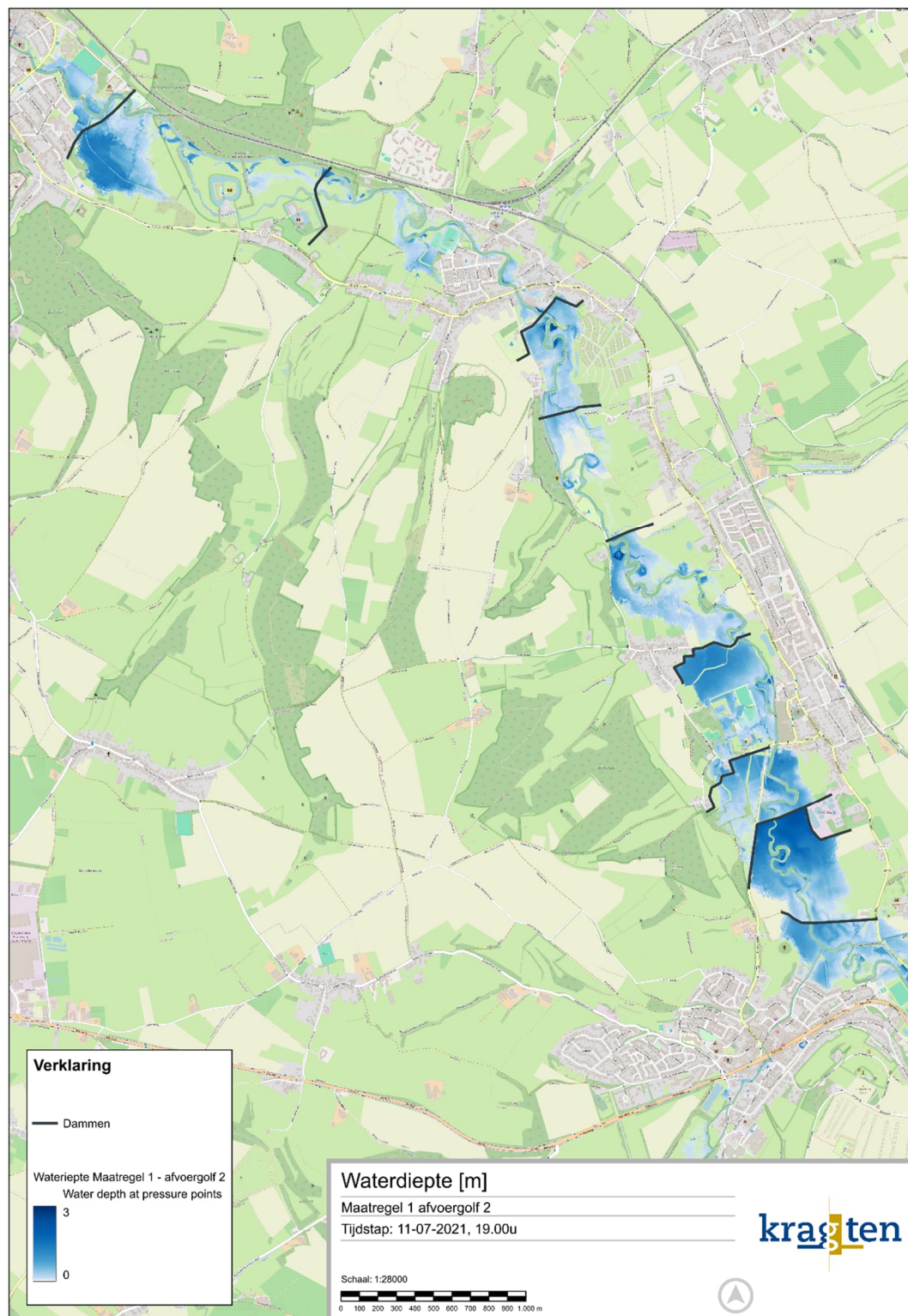


Figuur 3. Waterdiepte Gulpen tot Valkenburg op het moment dat de waterdiepte in Valkenburg centrum maximaal is, Maatregel 1 2021-afvoergolf.

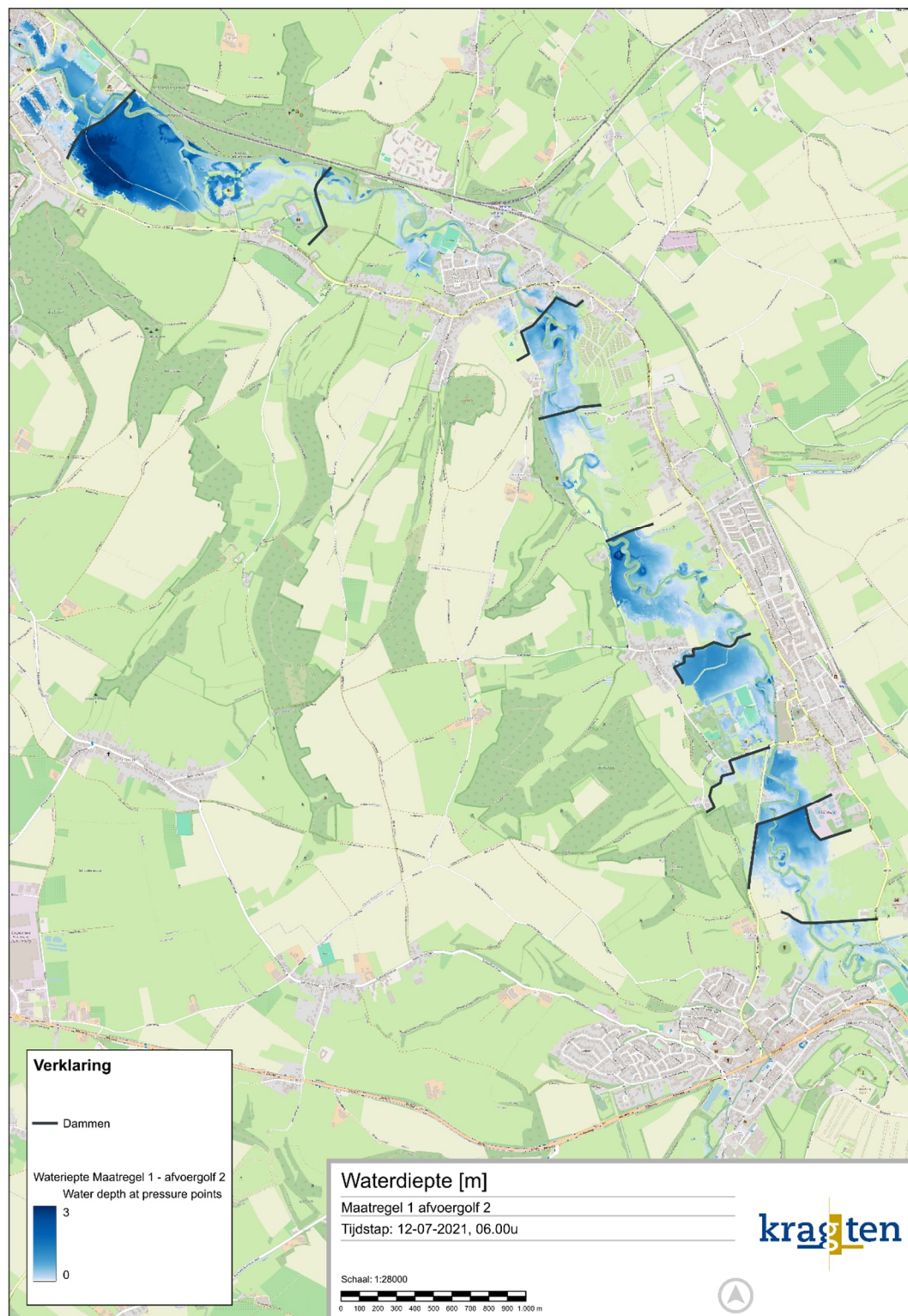
Hieronder zijn de waterdieptekaarten weergegeven voor afvoergolf 2.



Figuur 4. Waterdiepte Gulpen tot Valkenburg op het moment dat bergingslocatie Wijlre zich vult, Maatregel 1 afvoergolf 2.



Figuur 5. Waterdiepte Gulpen tot Valkenburg op het moment dat bergingslocatie Valkenburg zich vult, Maatregel 1 afvoergolf 2.



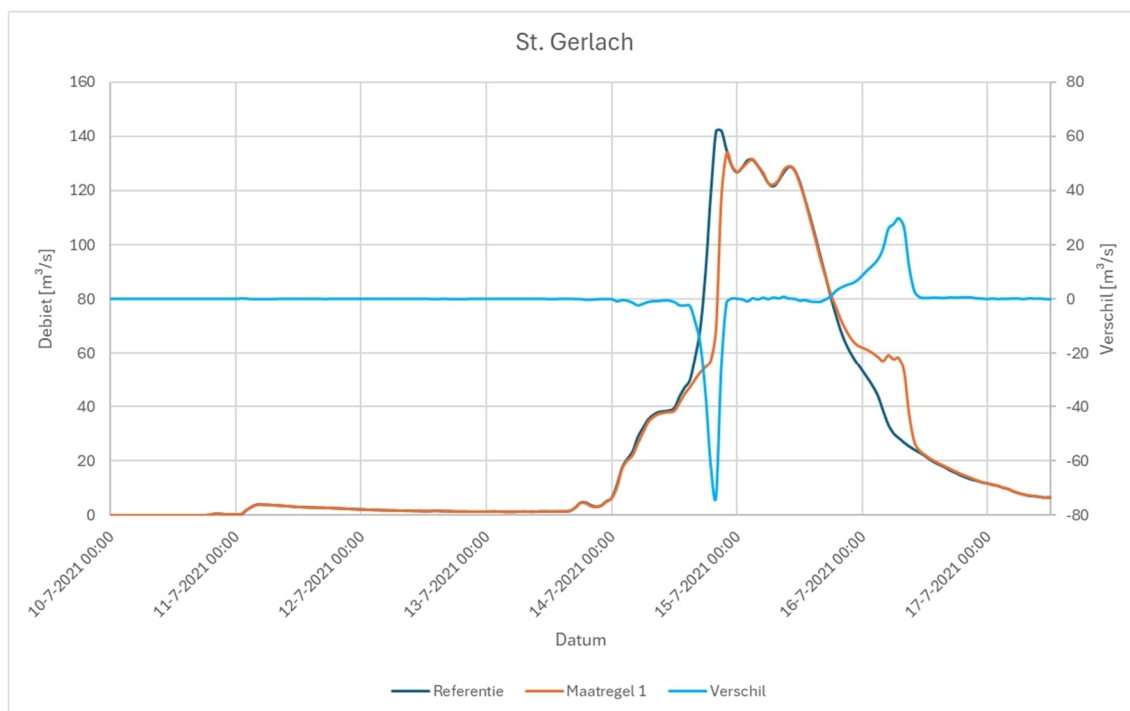
Figuur 6. Waterdiepte Gulpen tot Valkenburg op het moment dat de waterdiepte in Valkenburg centrum maximaal is, Maatregel 1 afvoergolf 2.

B5 DEBIETEN ONTWERPITERATIE 1

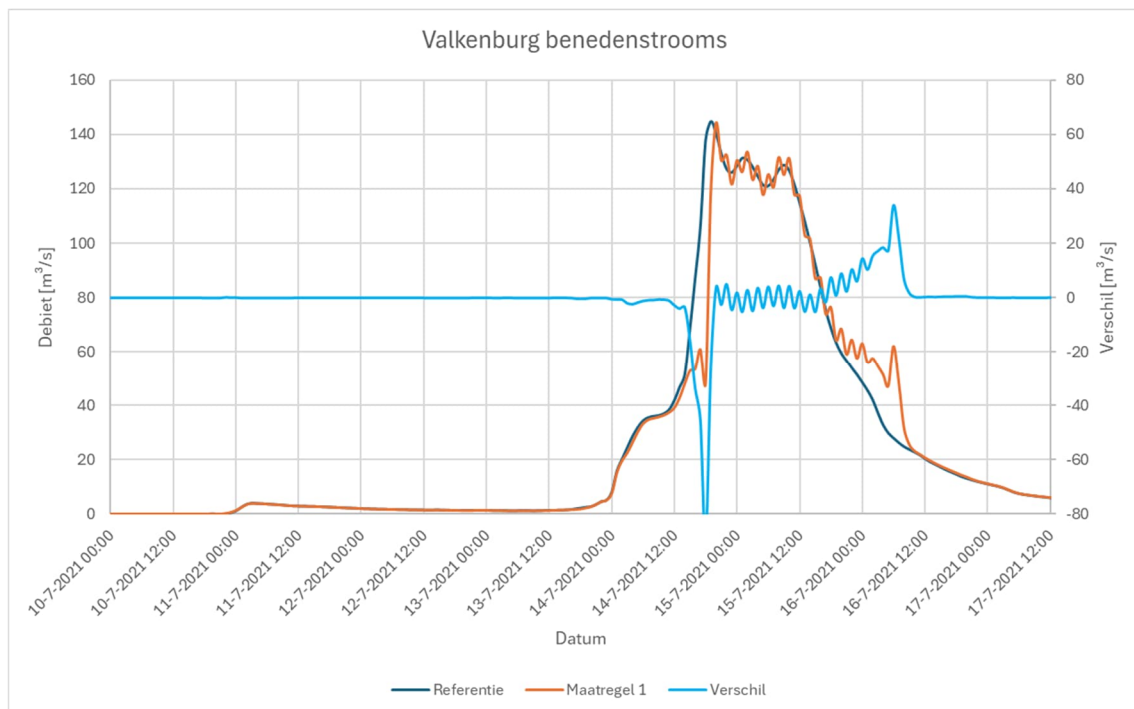
Toelichting

Betreft	Debietgrafieken Maatregel 1 en referentiesituatie
Ons kenmerk	PLI210
Datum	02-07-2025
Behandeld door	BDEU

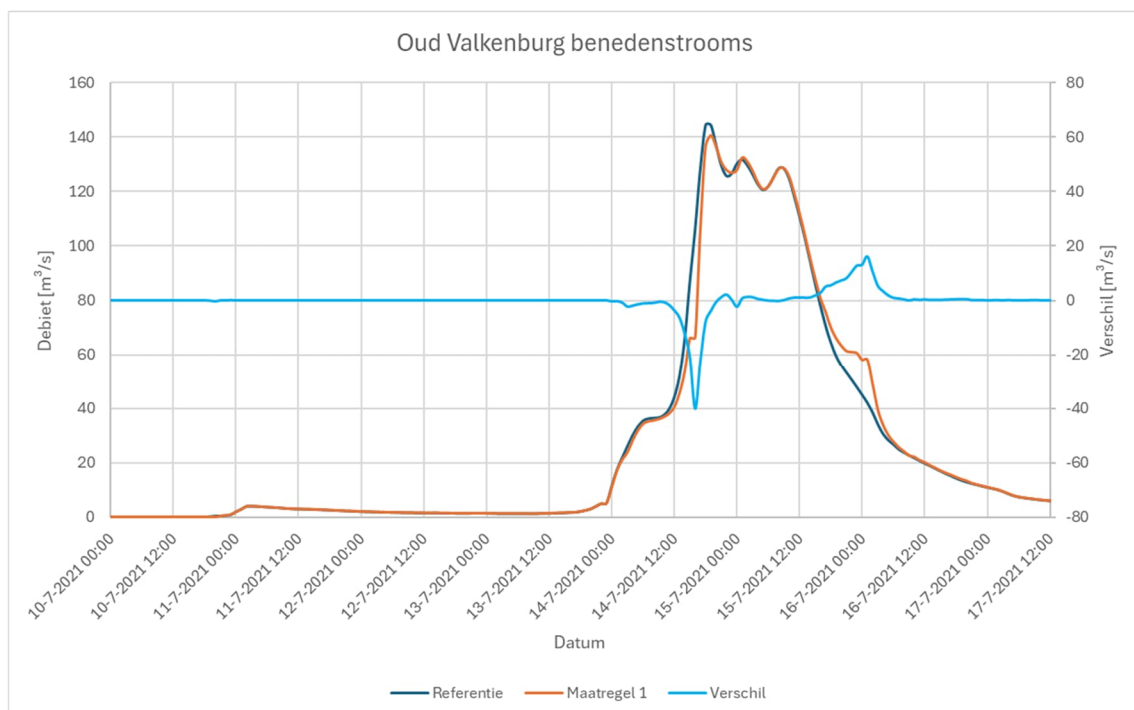
Hieronder zijn eerst de afvoergrafieken weergegeven voor de 2021-afvoergolf. Daarna zijn de afvoergrafieken weergegeven voor afvoergolf 2.



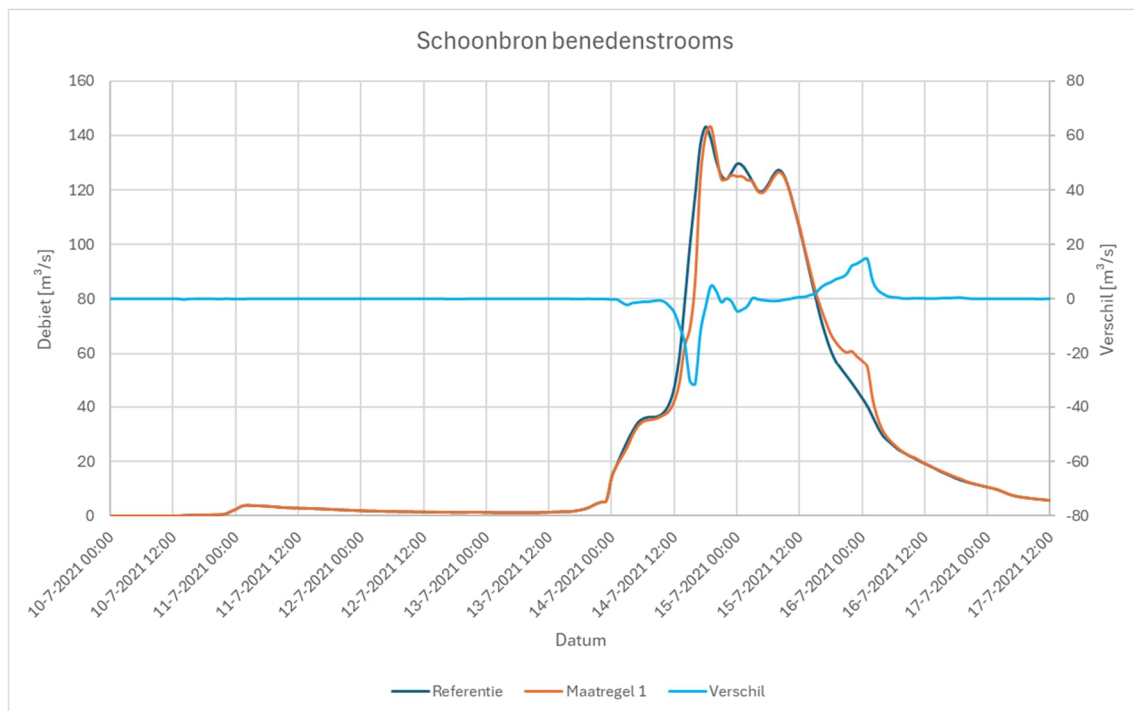
Figuur 1. Debietverloop ter hoogte van St. Gerlach, 2021-afvoergolf.



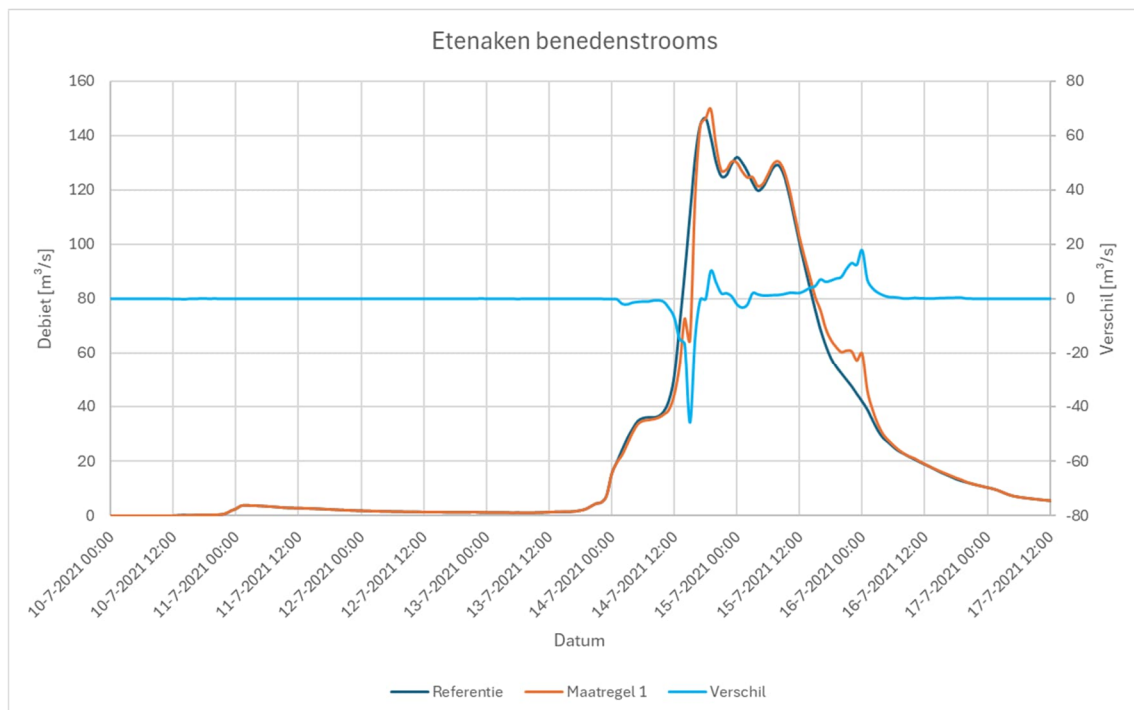
Figuur 2. Debietverloop benedenstrooms van dam Valkenburg, 2021-afvoergolf.



Figuur 3. Debietverloop benedenstrooms van dam Oud Valkenburg, 2021-afvoergolf.



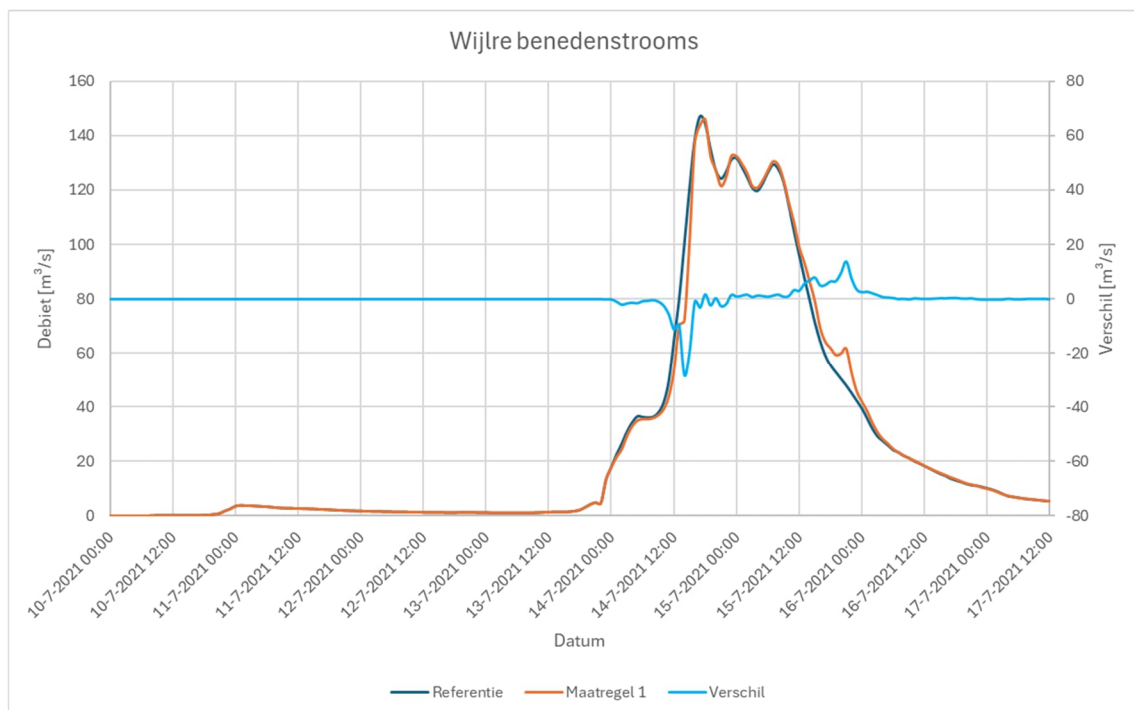
Figuur 4. Debietverloop benedenstrooms van dam Schoonbron, 2021-afvoergolf.



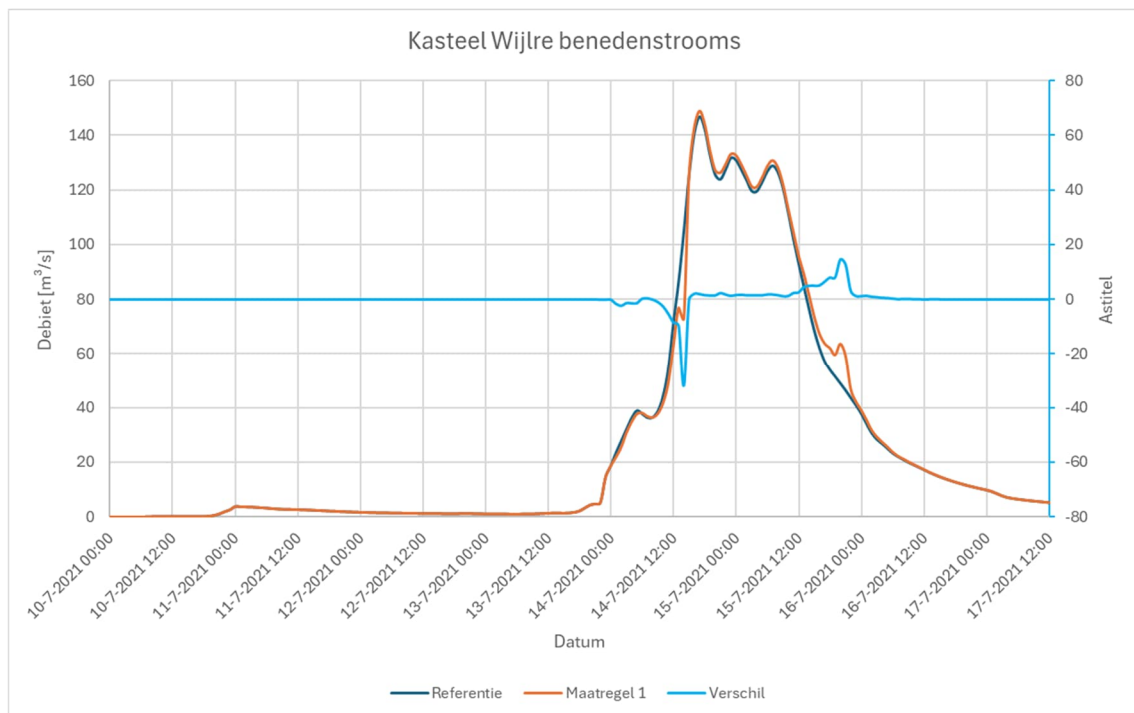
Figuur 5. Debietverloop benedenstrooms van dam Etenaken, 2021-afvoergolf.



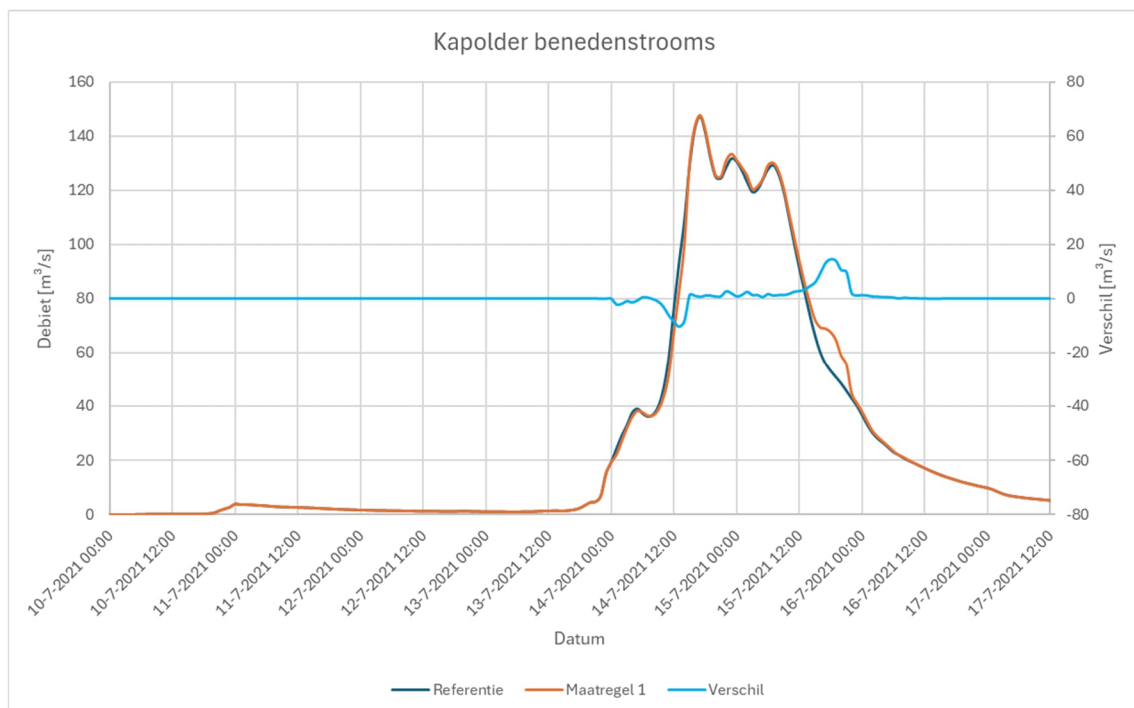
Figuur 6. Debietverloop benedenstrooms van dam Wijlre Noord, 2021-afvoergolf.



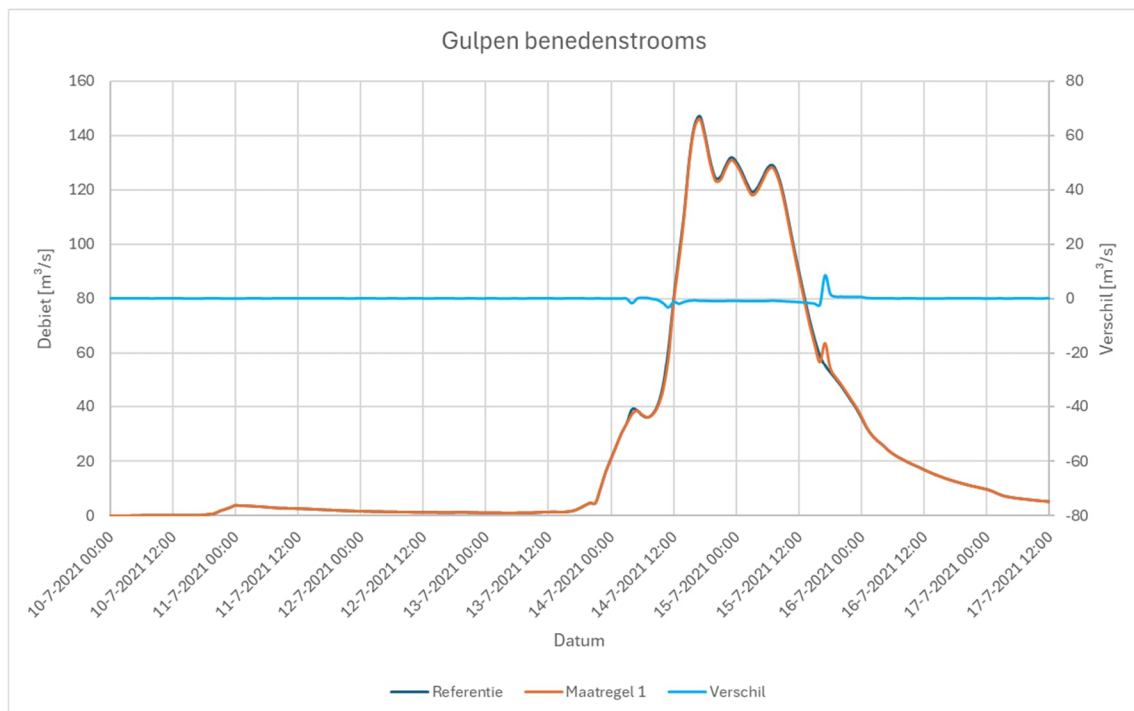
Figuur 7. Debietverloop benedenstrooms van dam Wijlre, 2021-afvoergolf.



Figuur 8. Debietverloop benedenstrooms van dam Kasteel Wijlre, 2021-afvoergolf.

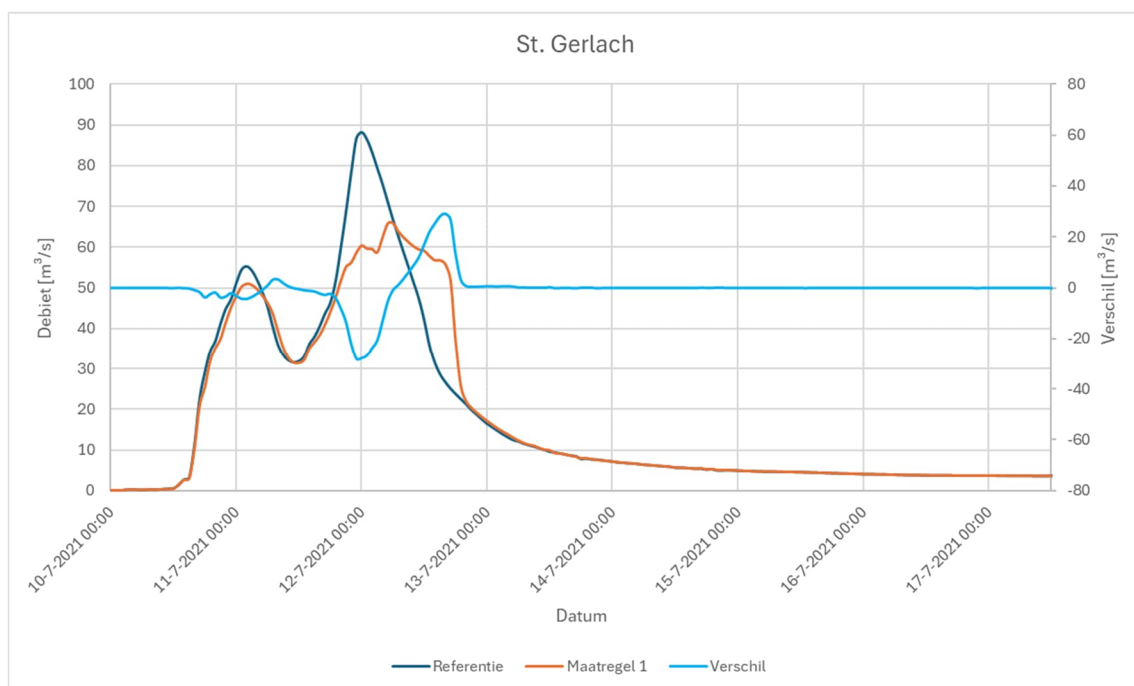


Figuur 9. Debietverloop benedenstrooms van dam Kapolder, 2021-afvoergolf.

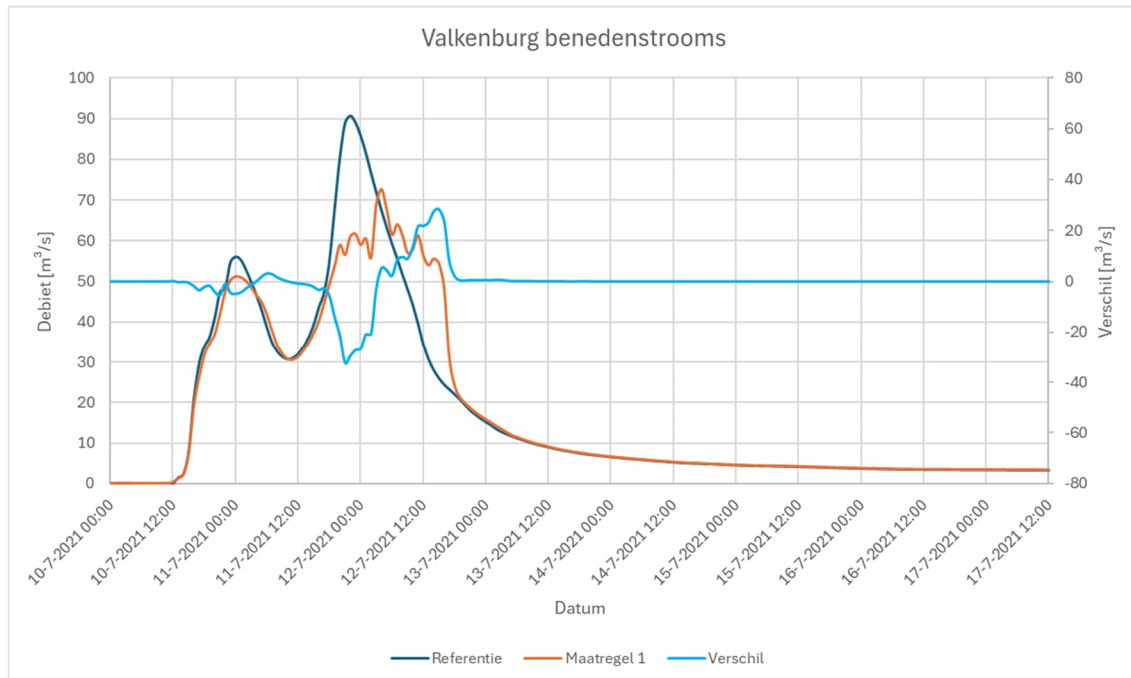


Figuur 10. Debietverloop benedenstrooms van dam Gulpen, 2021-afvoergolf.

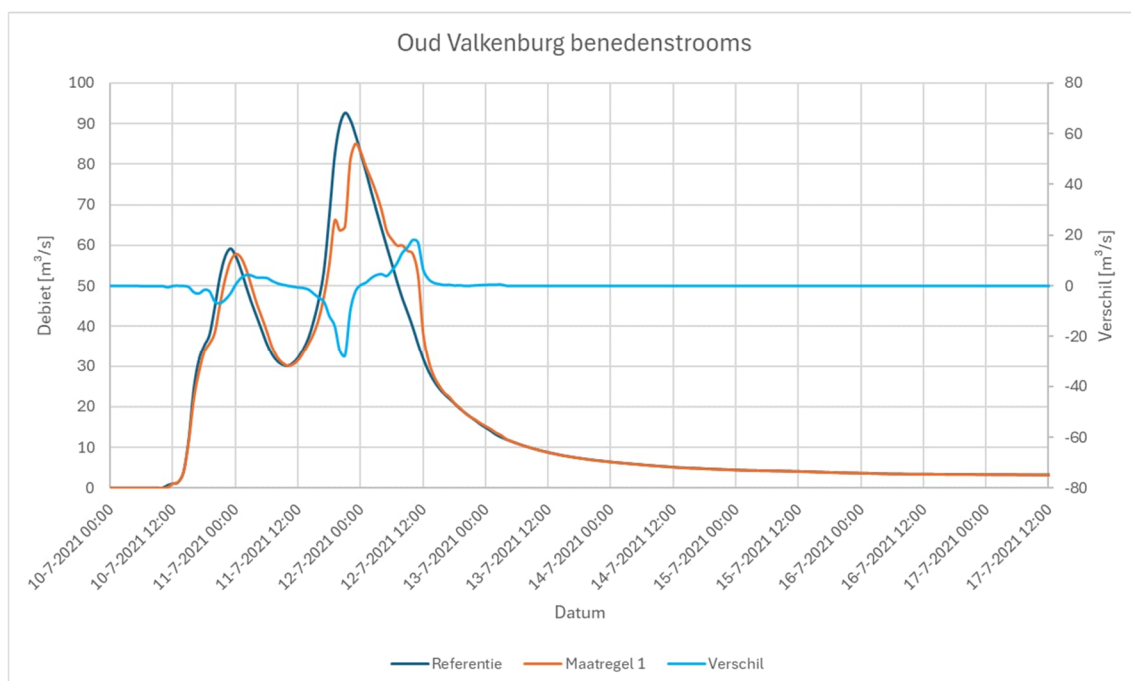
Hieronder zijn de afvoergrafieken weergegeven voor afvoergolf 2.



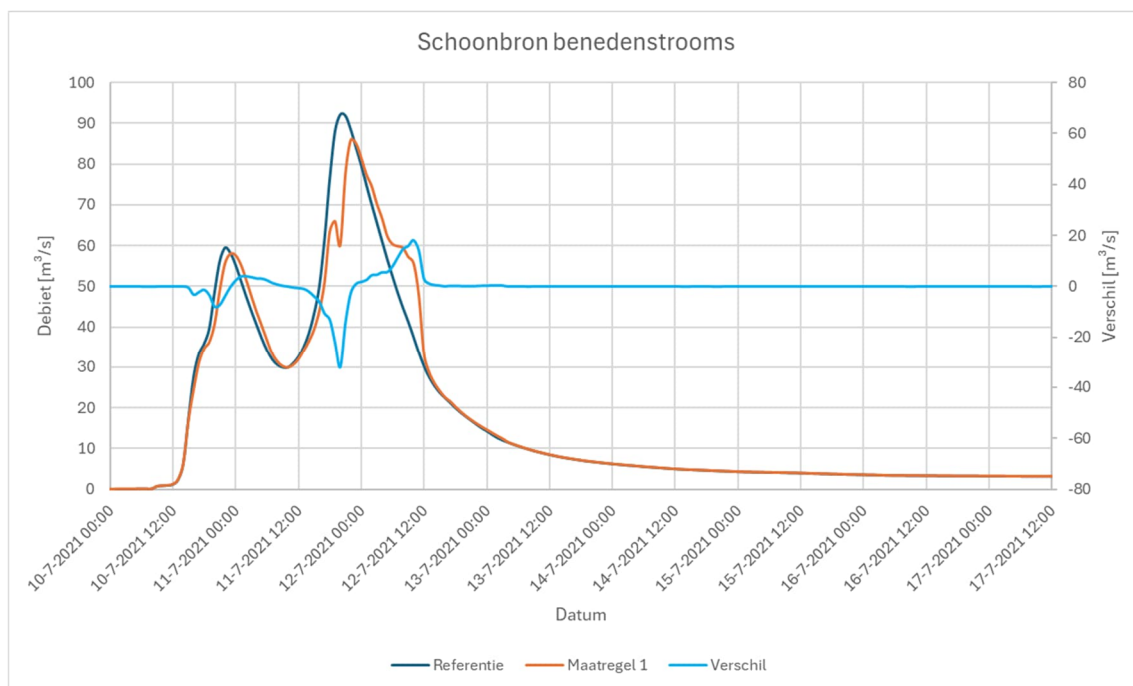
Figuur 11. Debietverloop ter hoogte van St. Gerlach, afvoergolf 2.



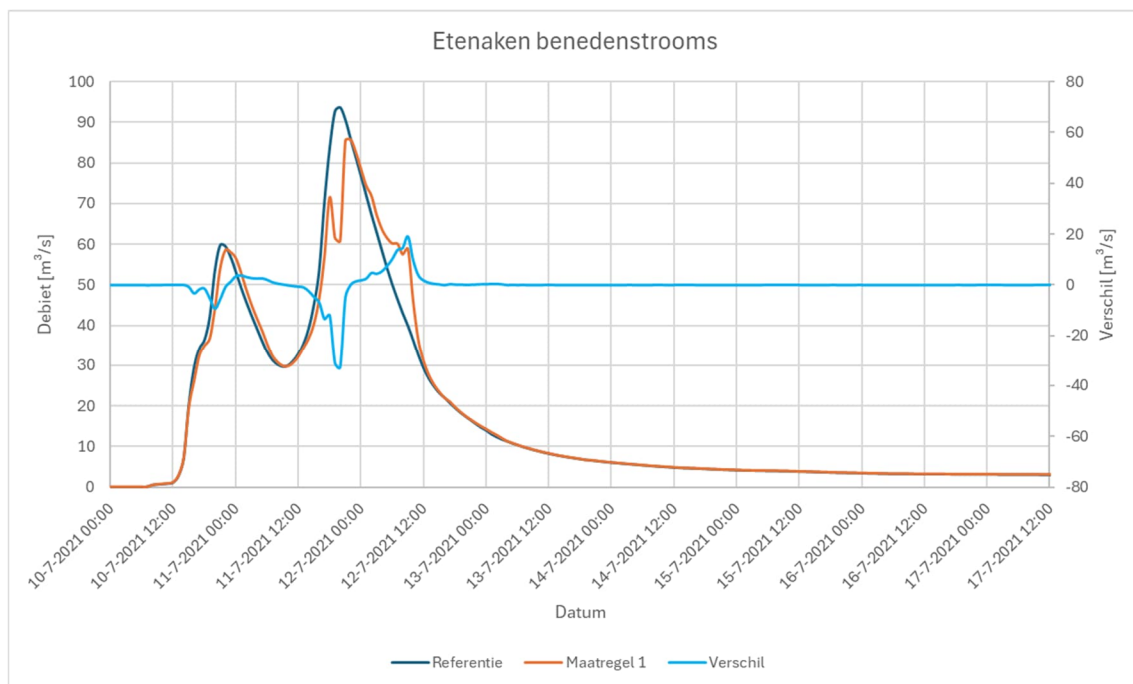
Figuur 12. Debietverloop benedenstrooms van dam Valkenburg, afvoergolf 2.



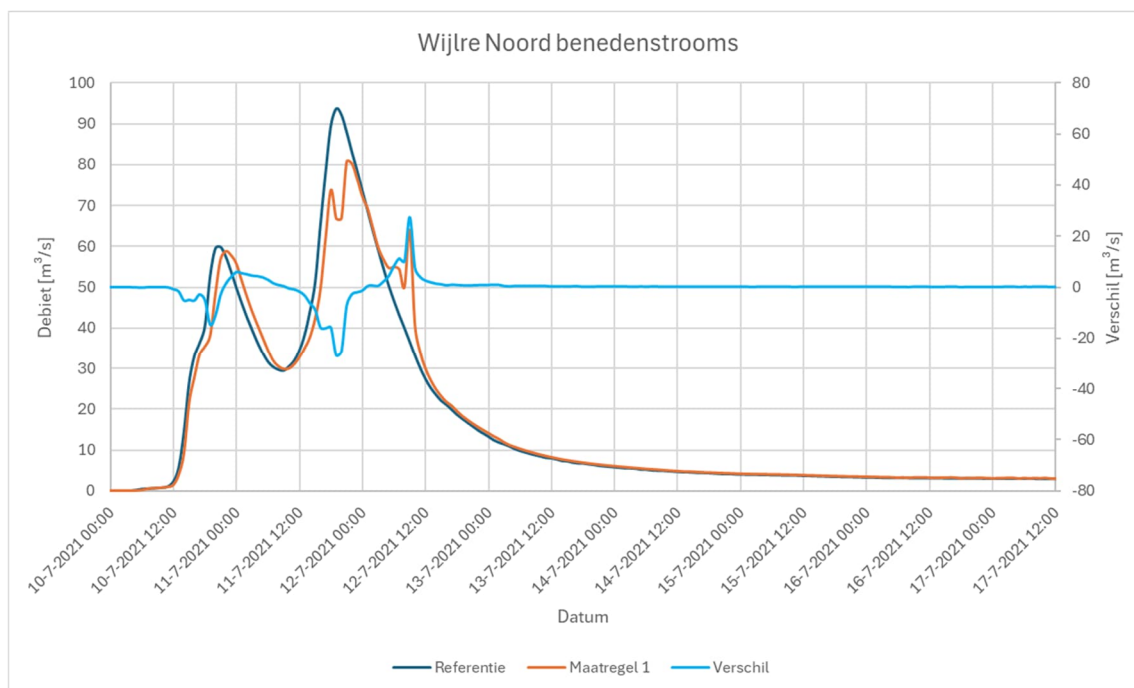
Figuur 13. Debietverloop benedenstrooms van dam Oud Valkenburg, afvoergolf 2.



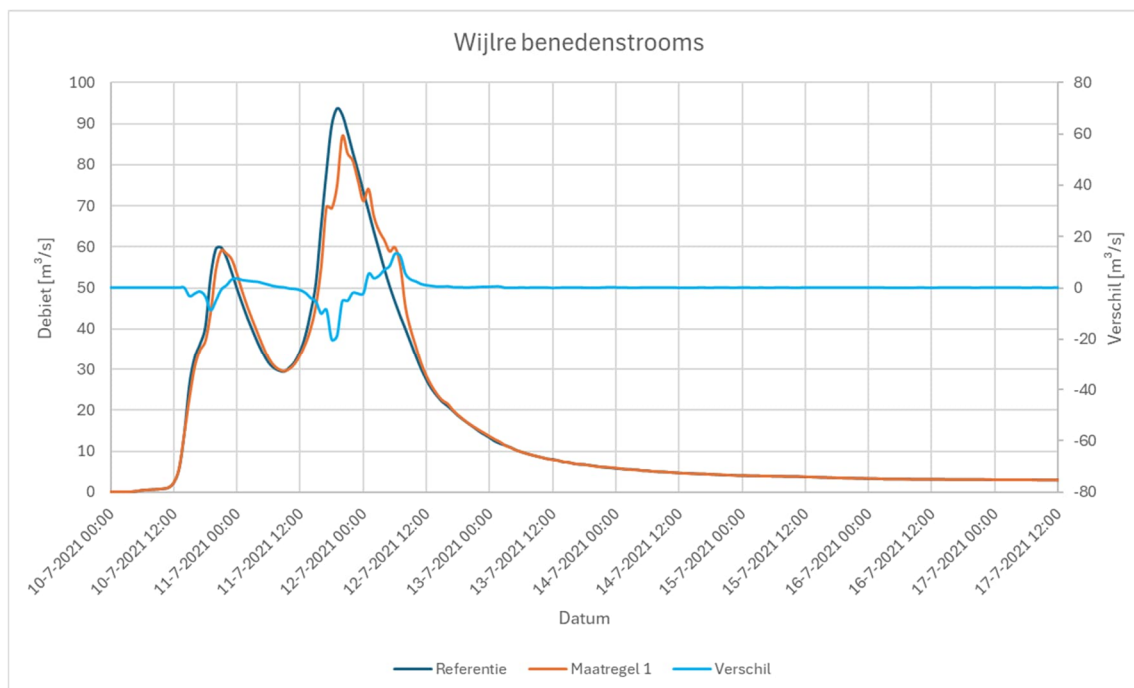
Figuur 14. Afvoerloop benedenstrooms van dam Schoonbron, afvoergolf 2.



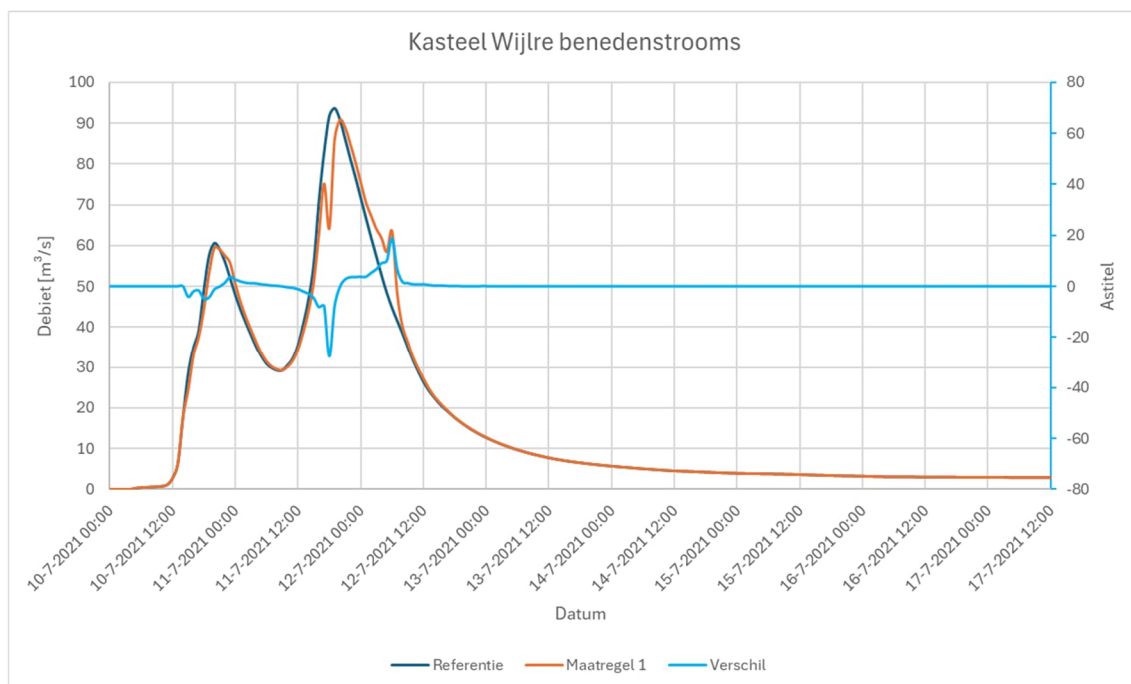
Figuur 15. Afvoerloop benedenstrooms van dam Etenaken, afvoergolf 2.



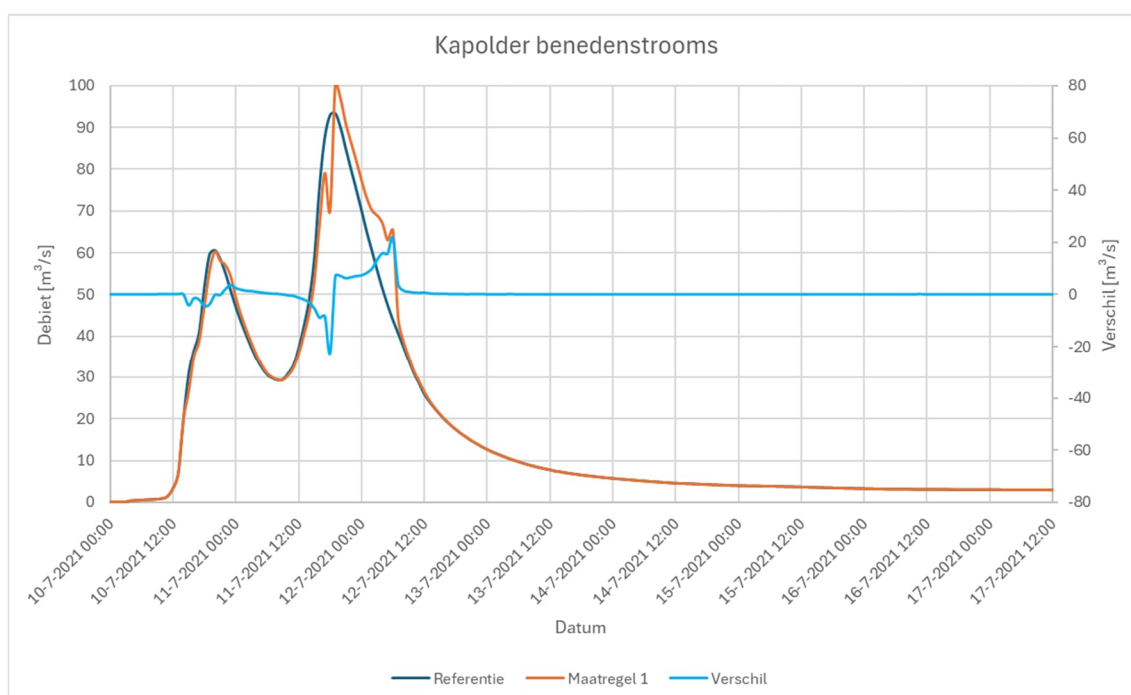
Figuur 16. Afvoerloop benedenstrooms van dam Wijlre Noord, afvoergolf 2.



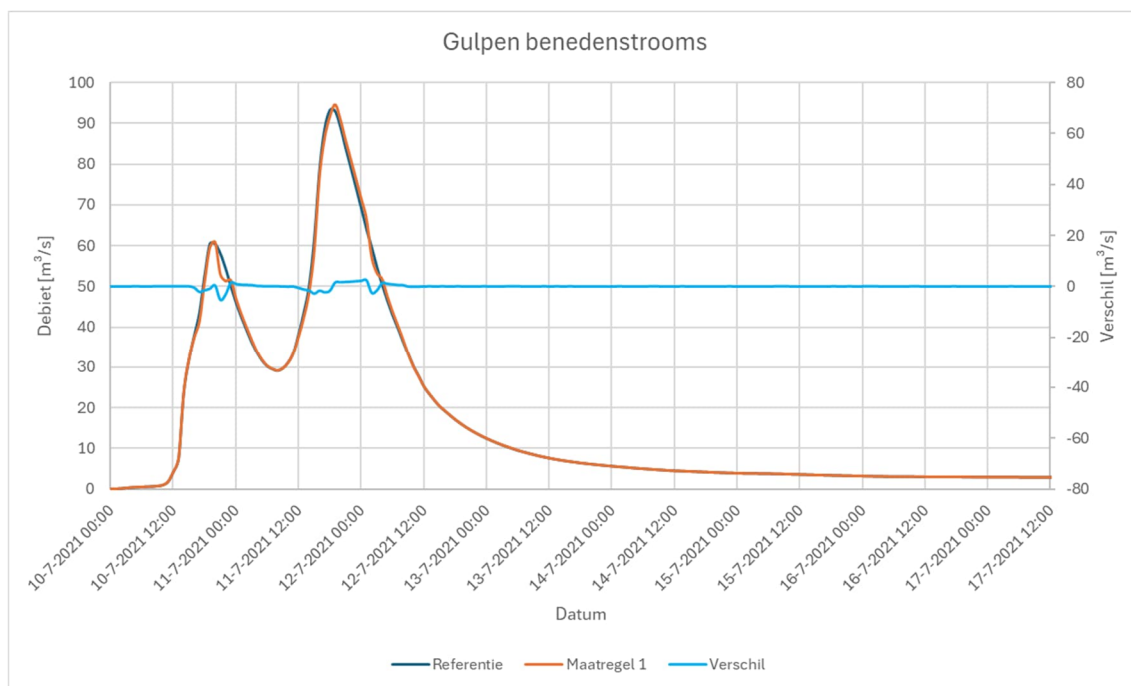
Figuur 17. Afvoerloop benedenstrooms van dam Wijlre, afvoergolf 2.



Figuur 18. Afvoerloop benedenstrooms van dam Kasteel Wijlre, afvoergolf 2.



Figuur 19. Afvoerloop benedenstrooms van dam Kapolder, afvoergolf 2.

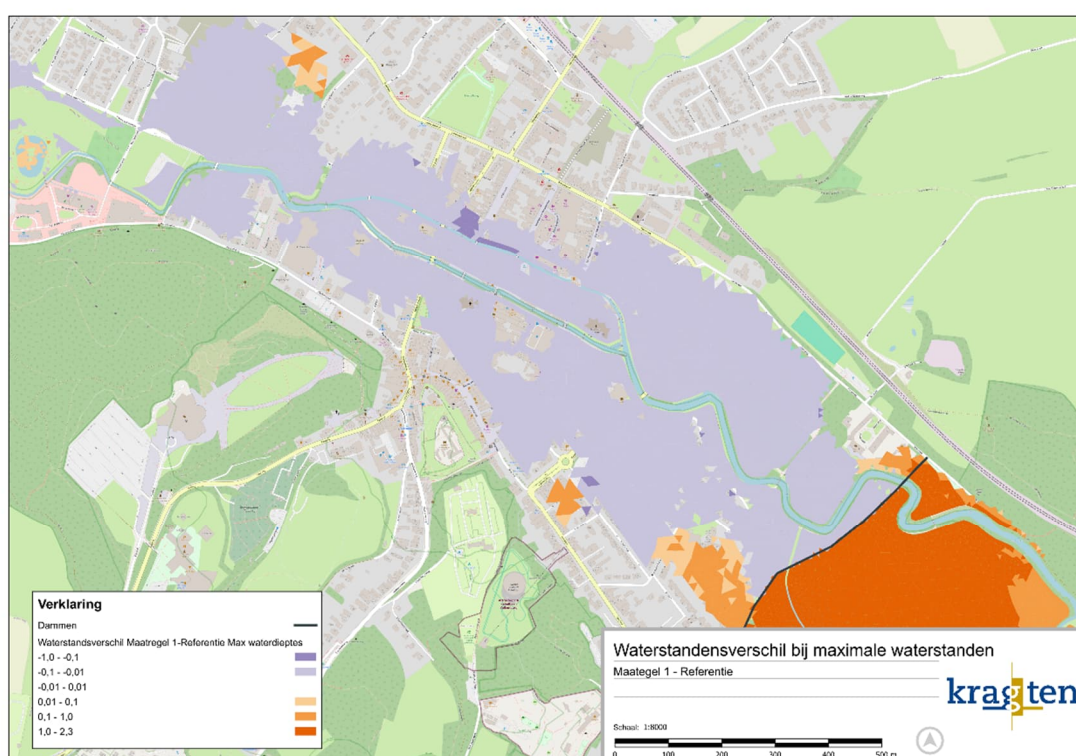


Figuur 20. Afvoerloop benedenstrooms van dam Gulpen, afvoergolf 2.

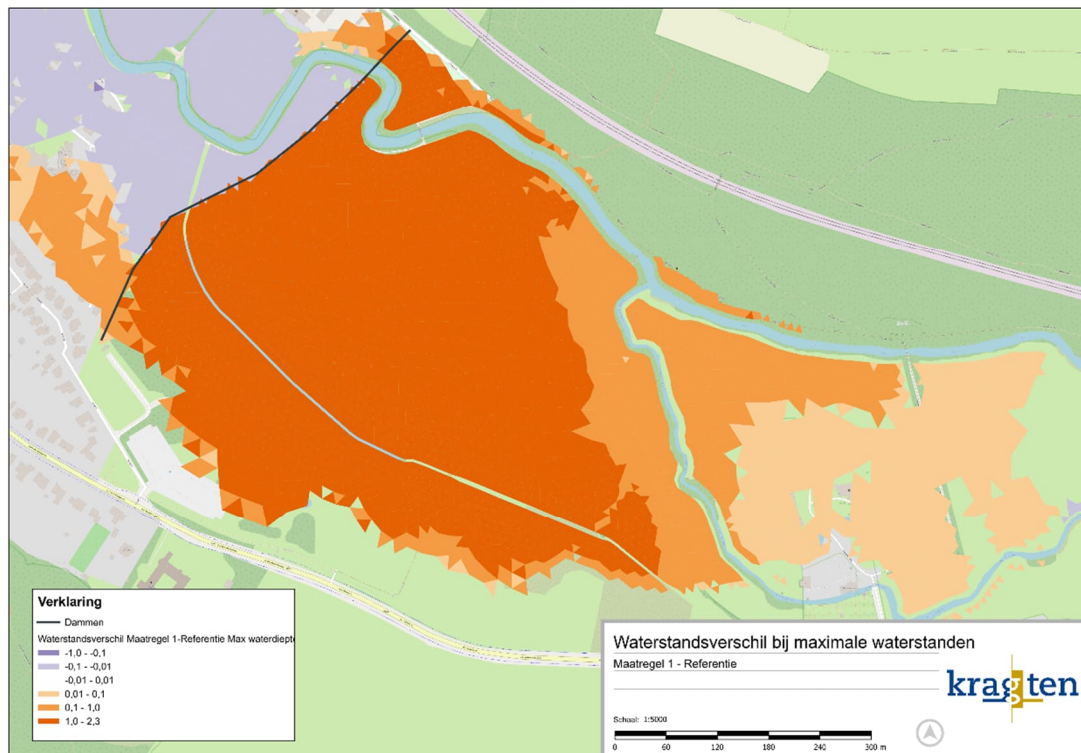
B6 WATERSTANDSVERSCHILLEN BIJ DE MAXIMAAL OPTREDENDE WATERSTANDEN ONTWERPITERATIE 1

Toelichting

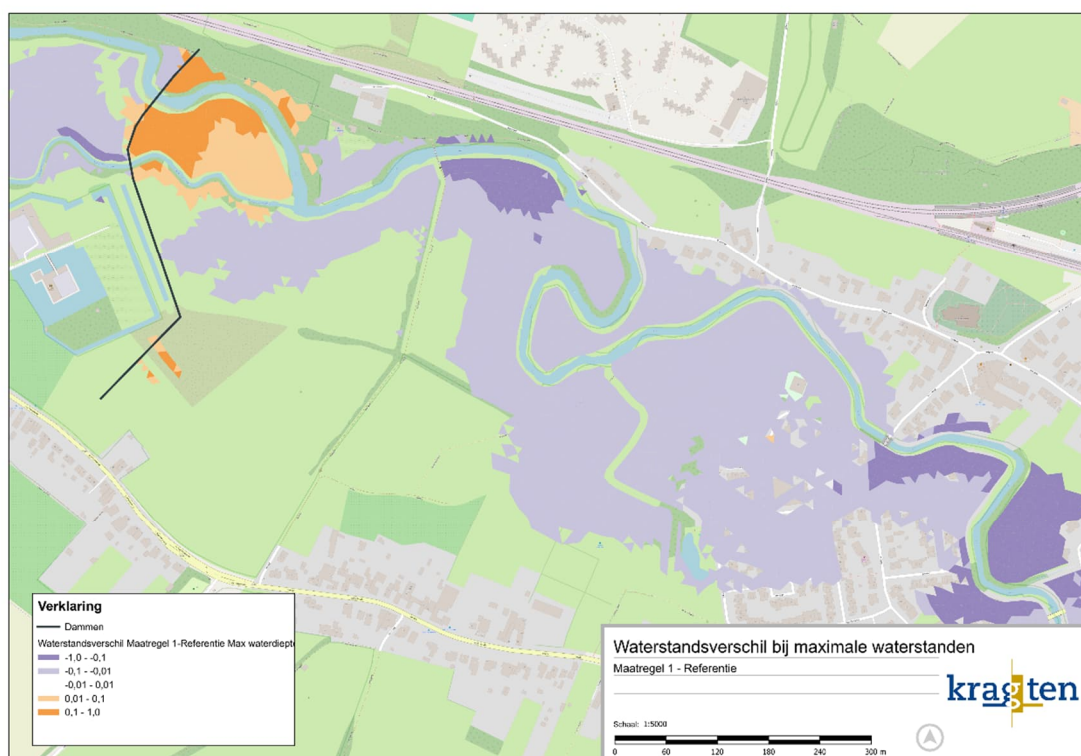
Betreft	Waterstandsverschillen tussen Maatregel 1 en de referentiesituatie bij maximale waterstanden
Ons kenmerk	PLI210
Datum	22-05-2025
Behandeld door	BDEU



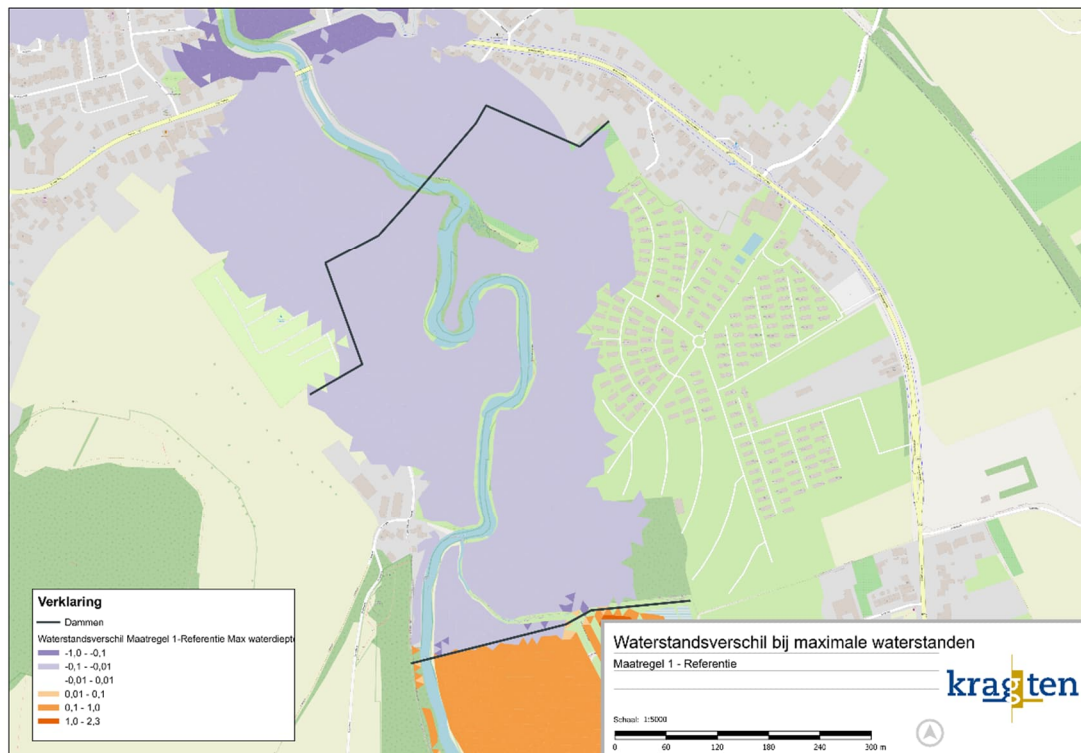
Figuur 1. Waterstandsverschillen tussen Maatregel 1 en de referentiesituatie bij maximale waterstanden in Valkenburg Centrum.



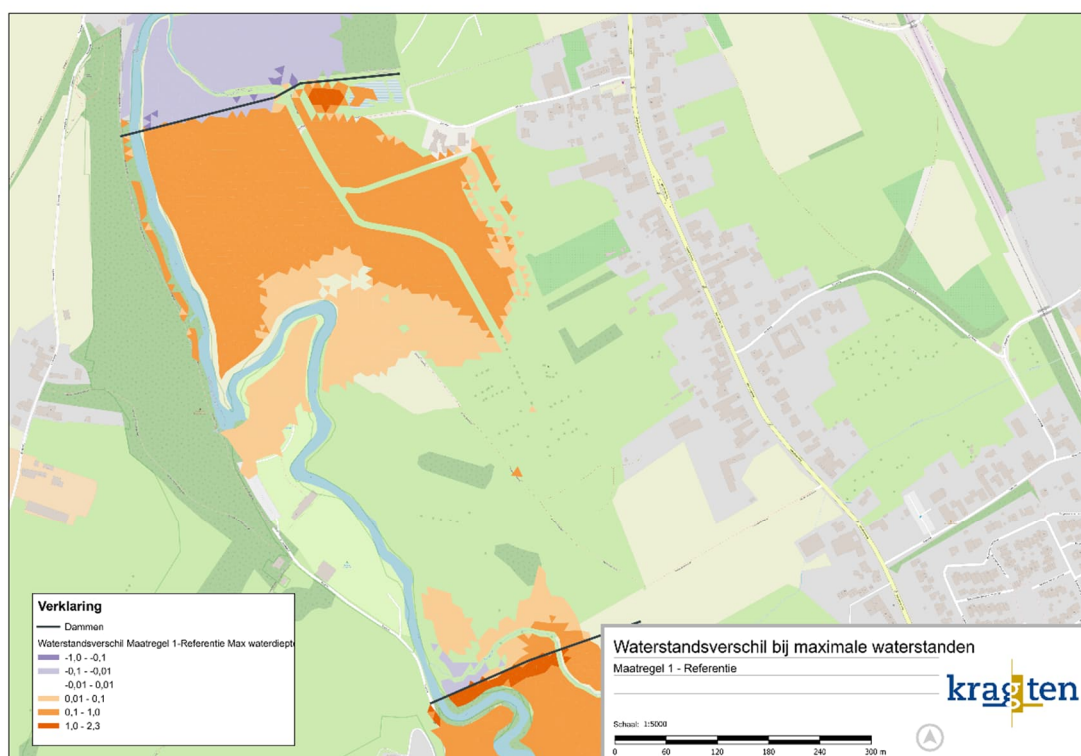
Figuur 2. Waterstandsverschillen tussen Maatregel 1 en de referentiesituatie bij maximale waterstanden nabij Valkenburg.



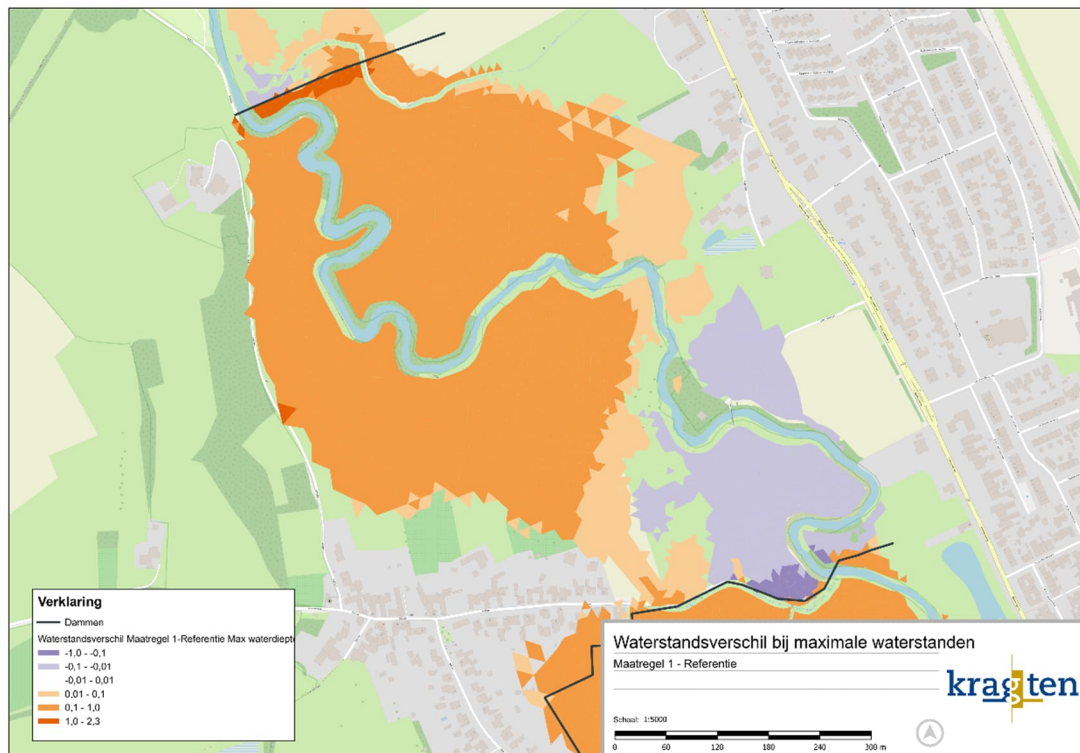
Figuur 3. Waterstandsverschillen tussen Maatregel 1 en de referentiesituatie bij maximale waterstanden nabij Oud Valkenburg.



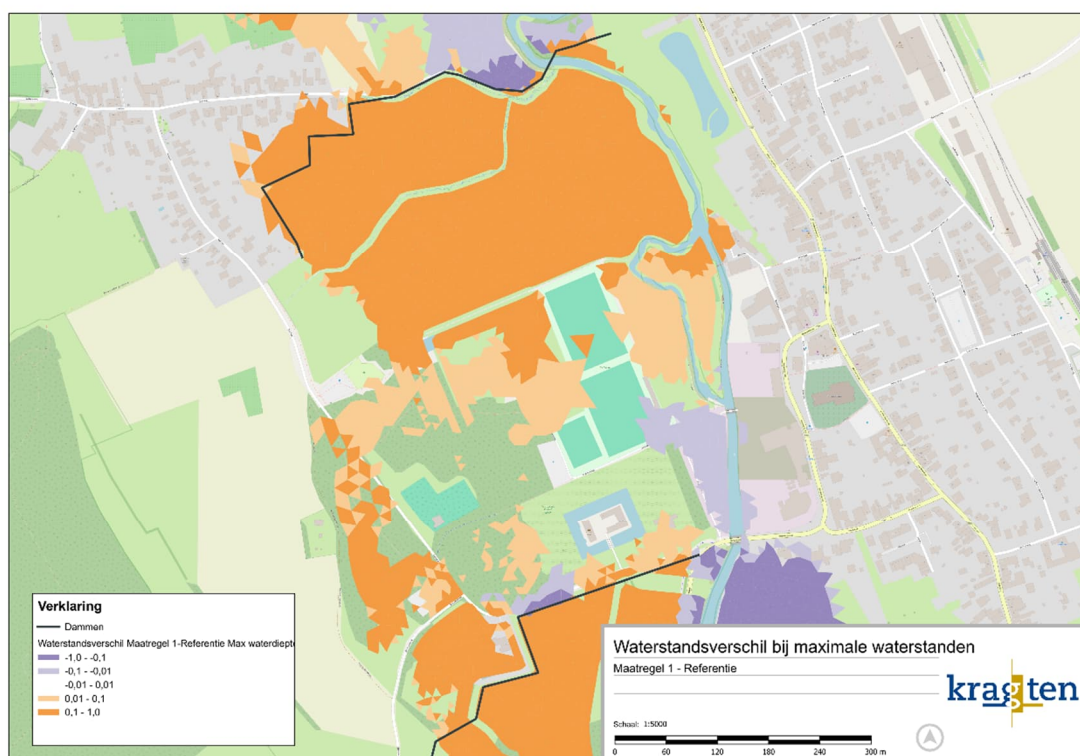
Figuur 4. Waterstandsverschillen tussen Maatregel 1 en de referentiesituatie bij maximale waterstanden nabij Schoonbron.



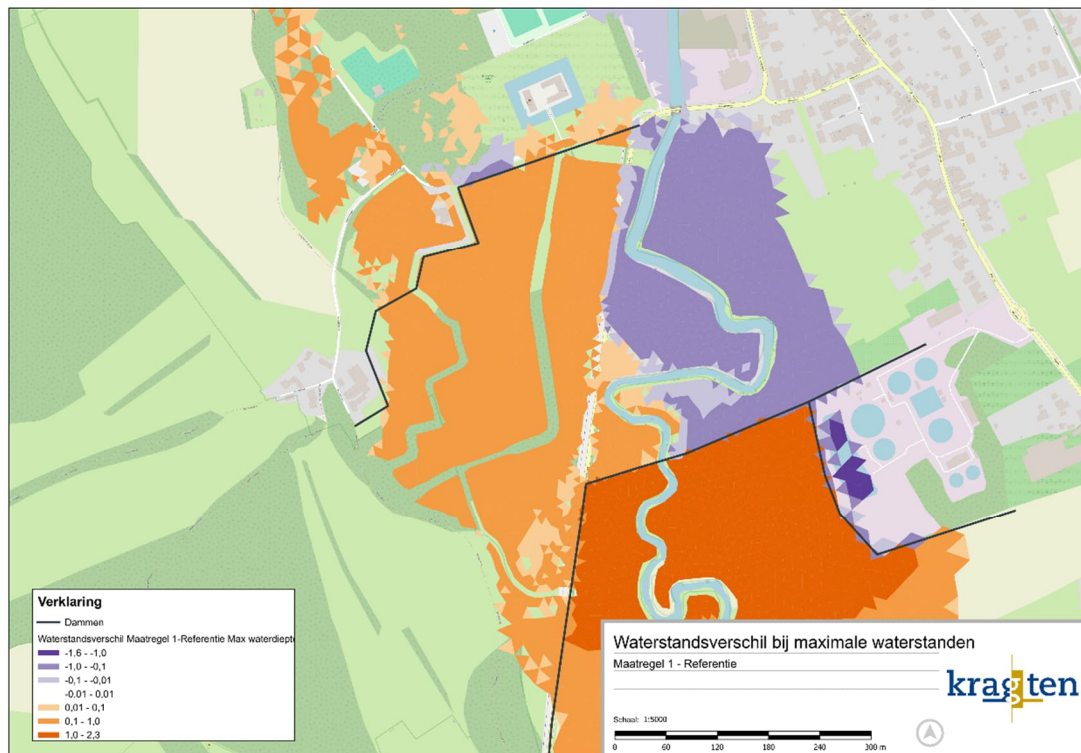
Figuur 5. Waterstandsverschillen tussen Maatregel 1 en de referentiesituatie bij maximale waterstanden nabij Etenaken.



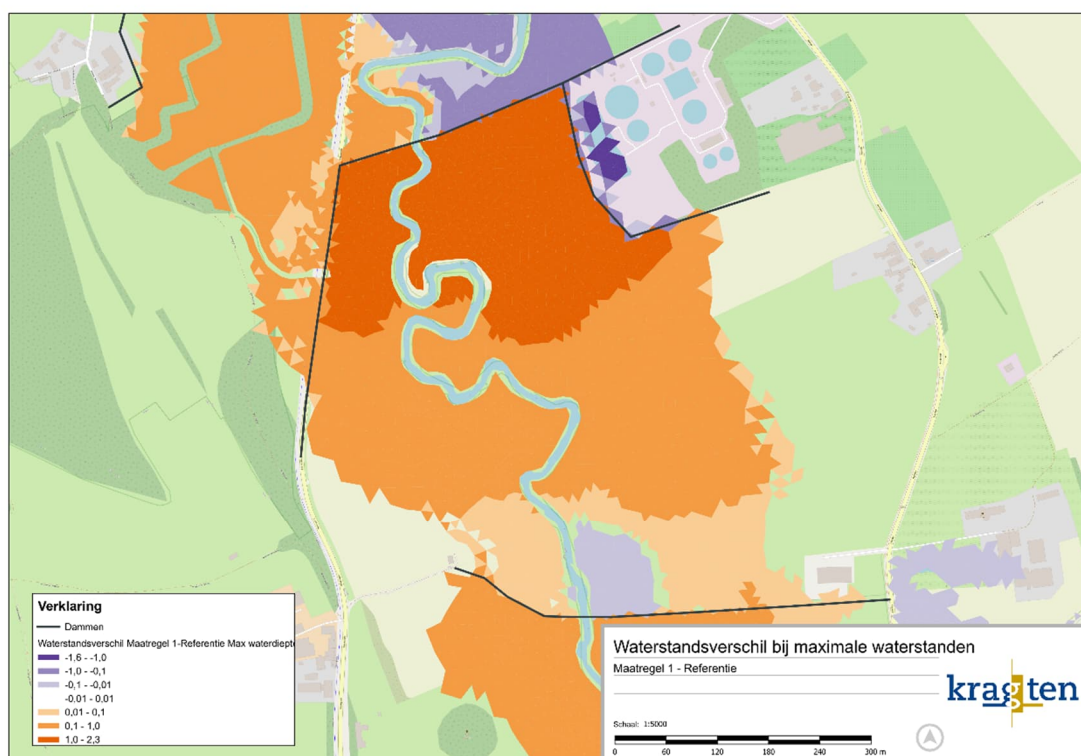
Figuur 6. Waterstandsverschillen tussen Maatregel 1 en de referentiesituatie bij maximale waterstanden nabij Wijlre Noord.



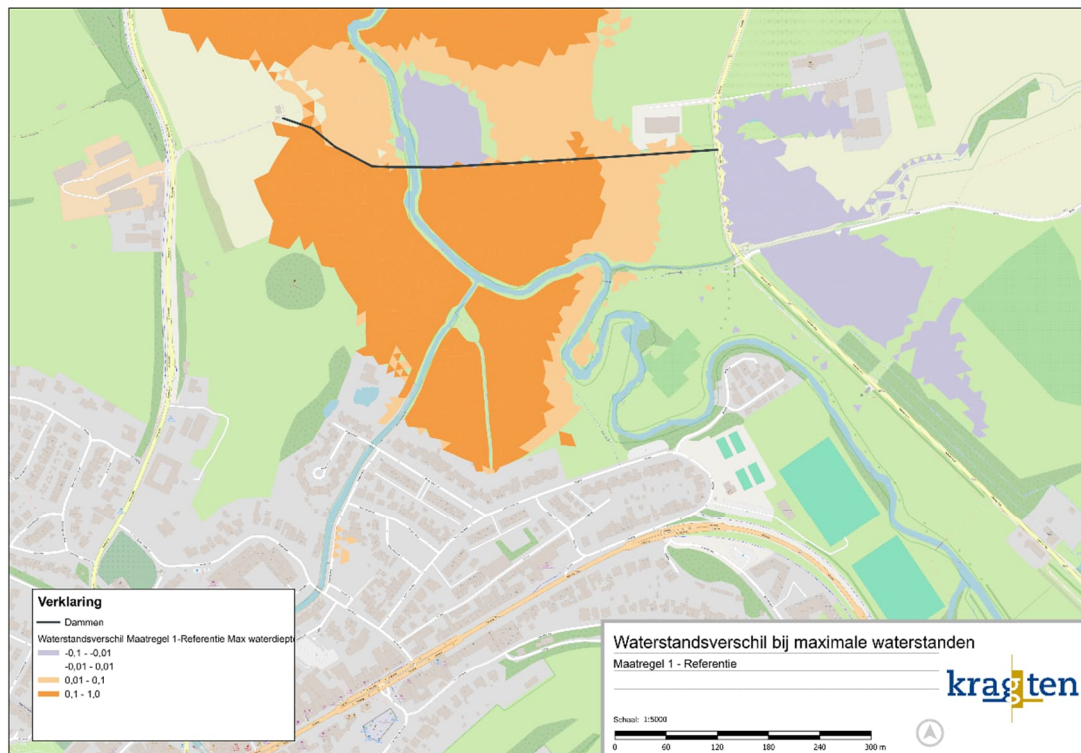
Figuur 7. Waterstandsverschillen tussen Maatregel 1 en de referentiesituatie bij maximale waterstanden nabij Wijlre.



Figuur 8. Waterstandsverschillen tussen Maatregel 1 en de referentiesituatie bij maximale waterstanden nabij Kasteel Wijlre.



Figuur 9. Waterstandsverschillen tussen Maatregel 1 en de referentiesituatie bij maximale waterstanden nabij Kapolder.



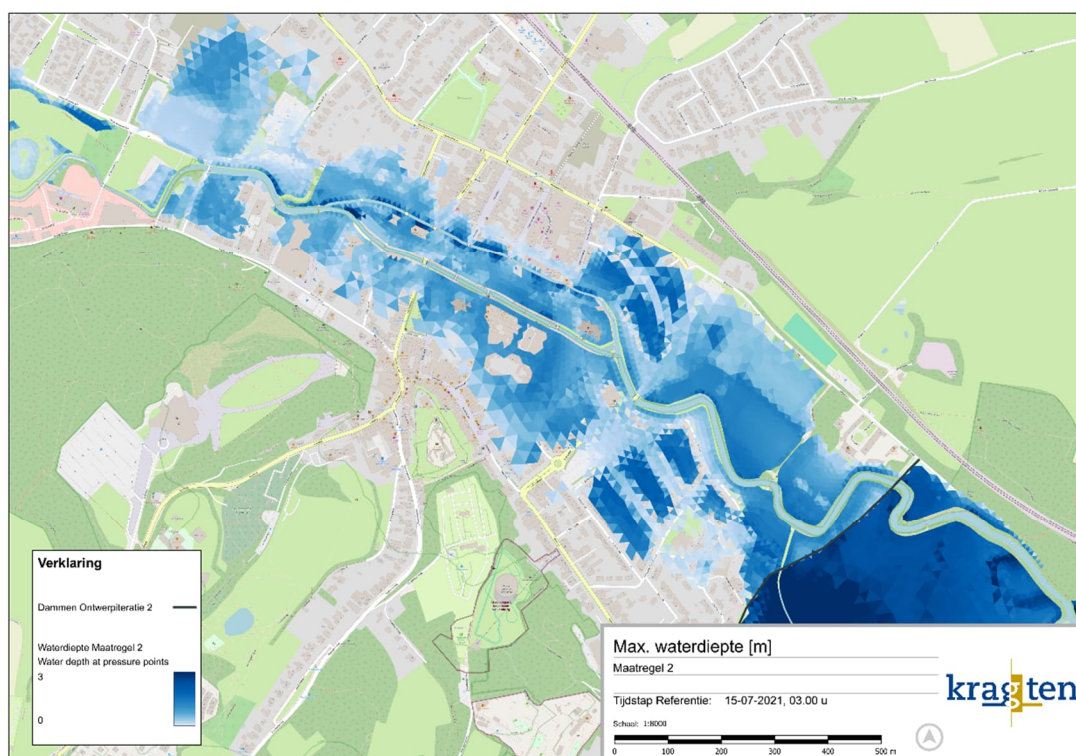
Figuur 10. Waterstandsverschillen tussen Maatregel 1 en de referentiesituatie bij maximale waterstanden nabij Gulpen.

B7 MAXIMALE INUNDATIES ONTWERPITERATIE 2

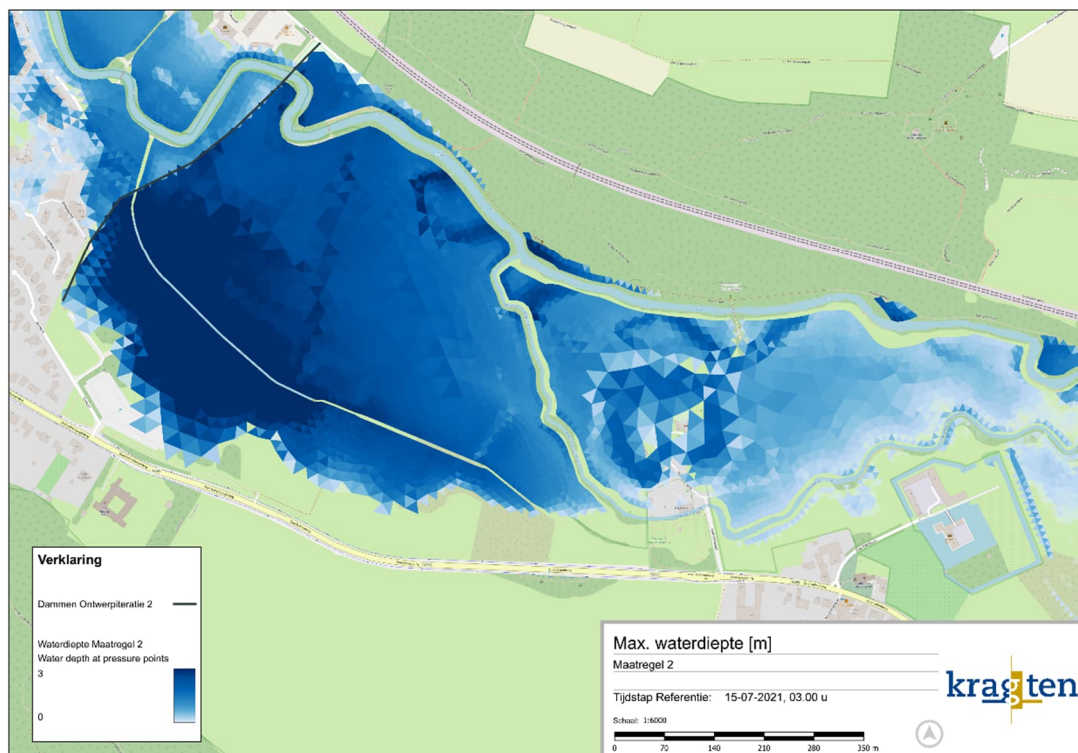
Toelichting

Betreft	Waterdieptekaarten Maatregel 2
Ons kenmerk	PLI210
Datum	21-08-2025
Behandeld door	BDEU

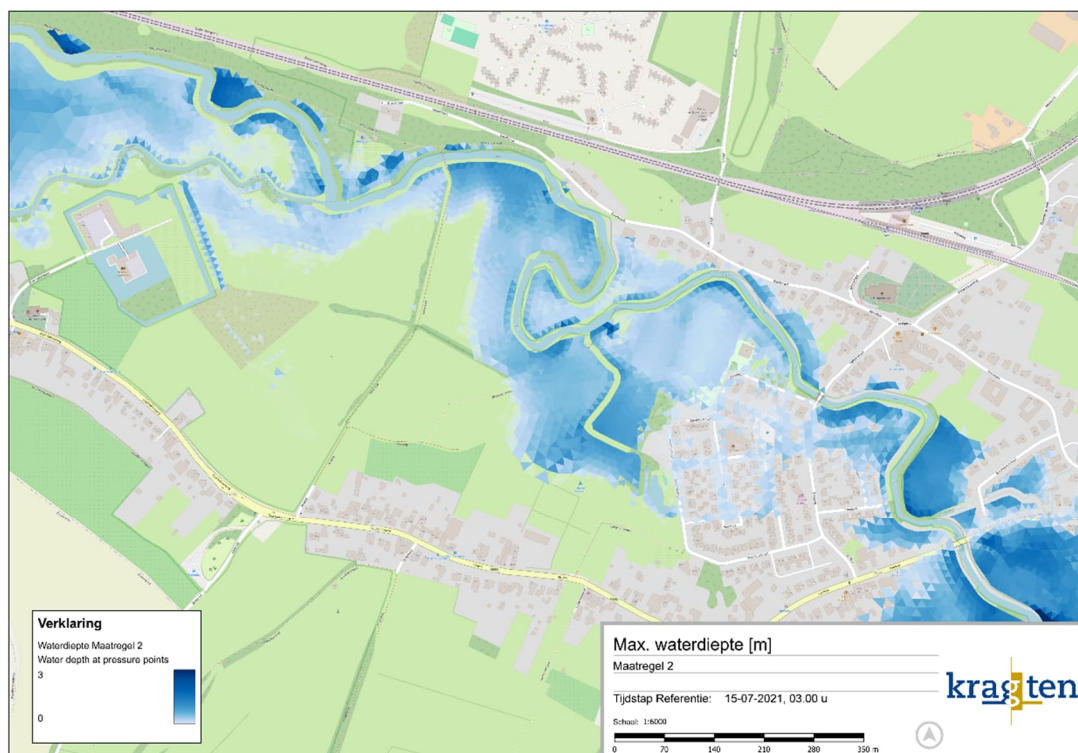
Hieronder zijn eerst de waterdieptekaarten weergegeven voor de 2021-afvoergolf. Daarna zijn de waterdieptekaarten weergegeven voor afvoergolf 2.



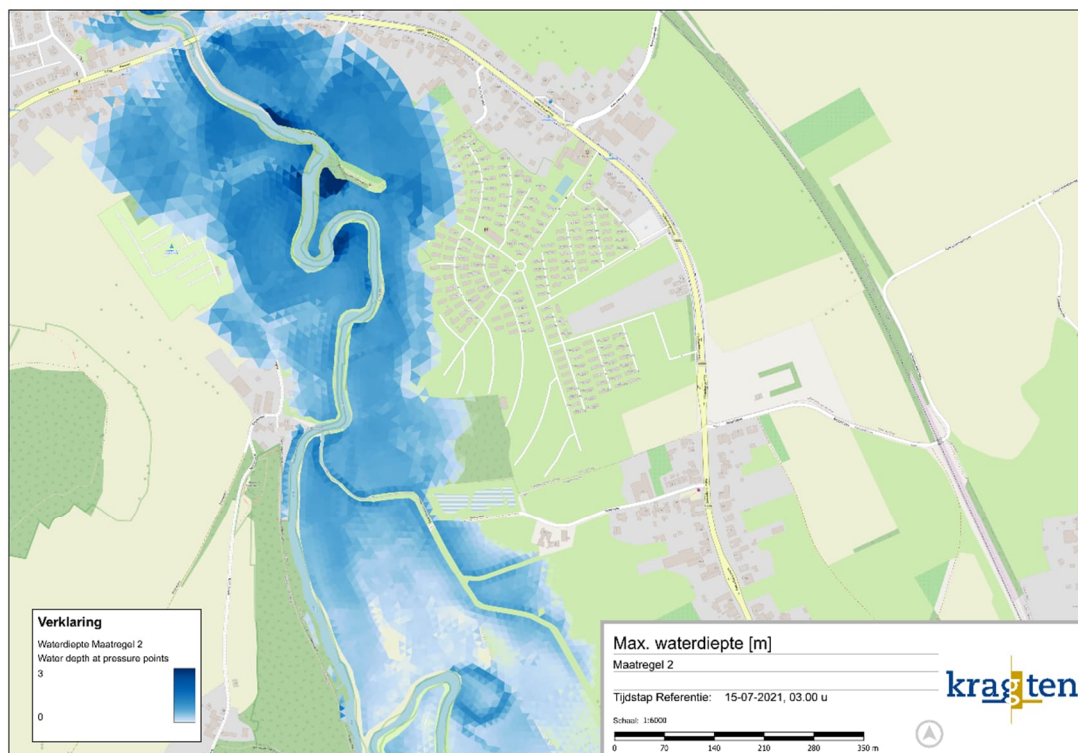
Figuur 1. Waterdiepte nabij Valkenburg Centrum, Maatregel 2 2021-afvoergolf.



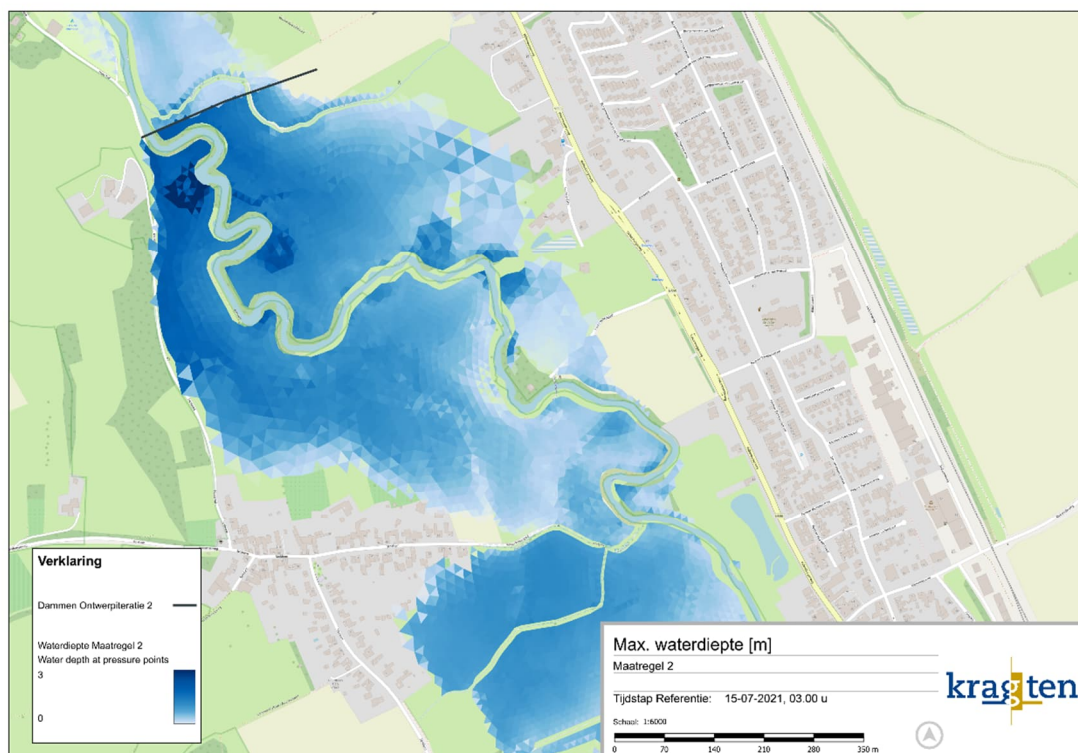
Figuur 2. Waterdiepte nabij Valkenburg, Maatregel 2 2021-afvoergolf.



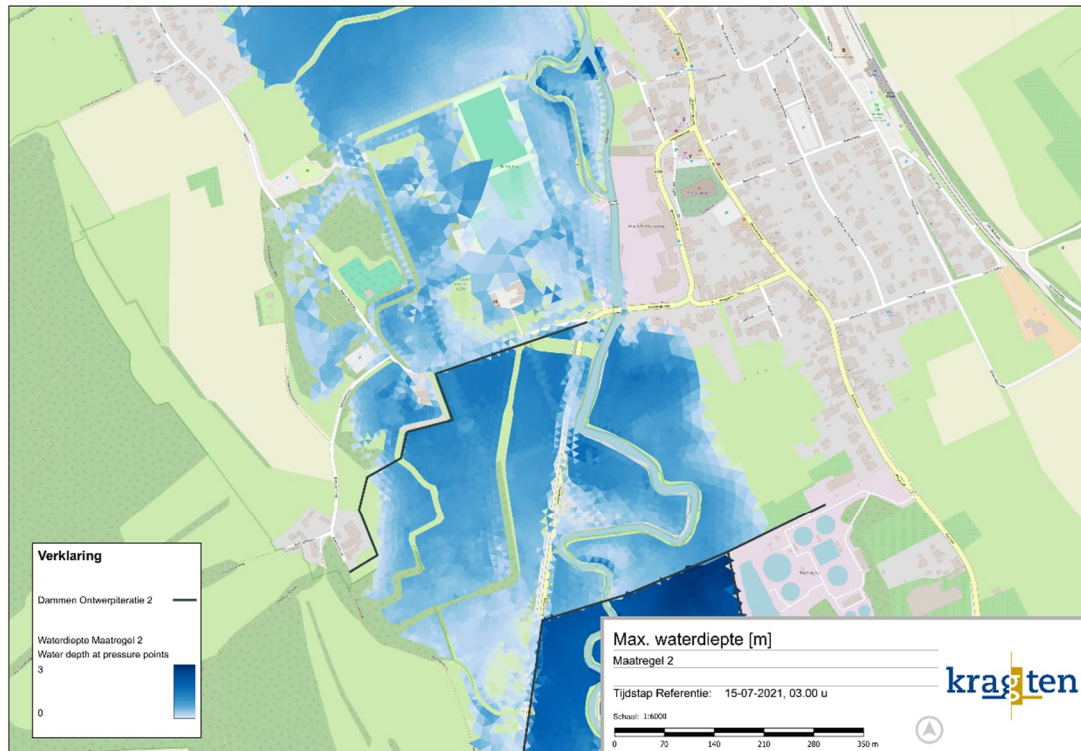
Figuur 3. Waterdiepte nabij Oud Valkenburg, Maatregel 2 2021-afvoergolf.



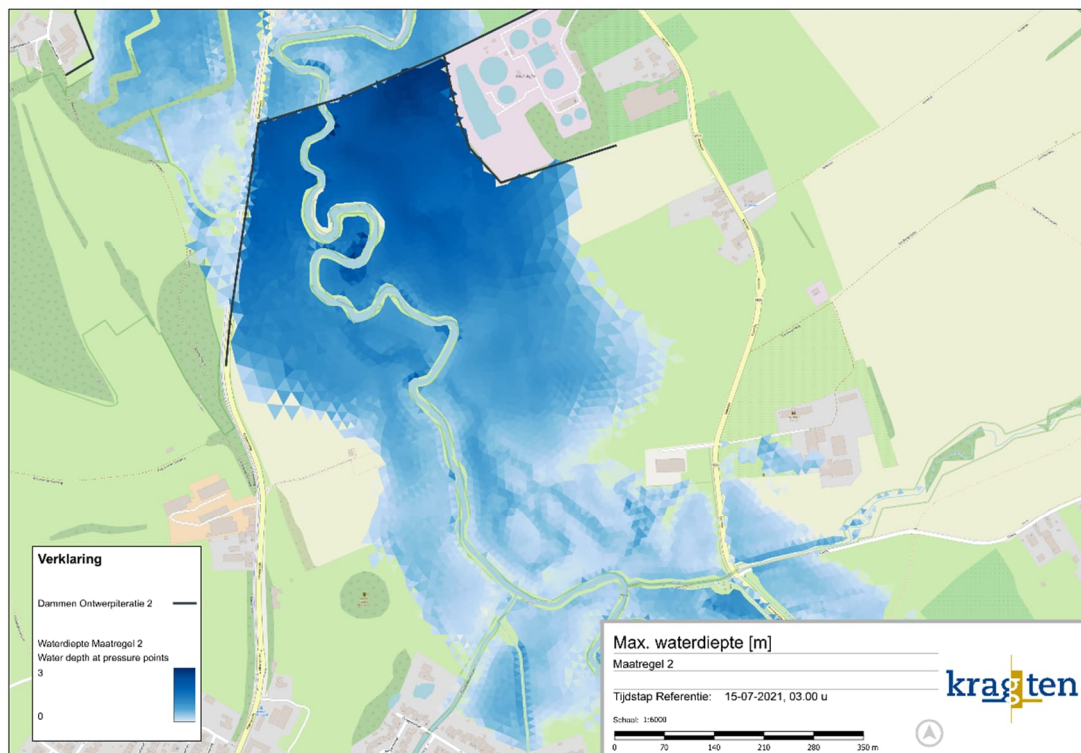
Figuur 4. Waterdiepte nabij Schoonbron, Maatregel 2 2021-afvoergolf.



Figuur 5. Waterdiepte nabij Wijlre Noord, Maatregel 2 2021-afvoergolf.

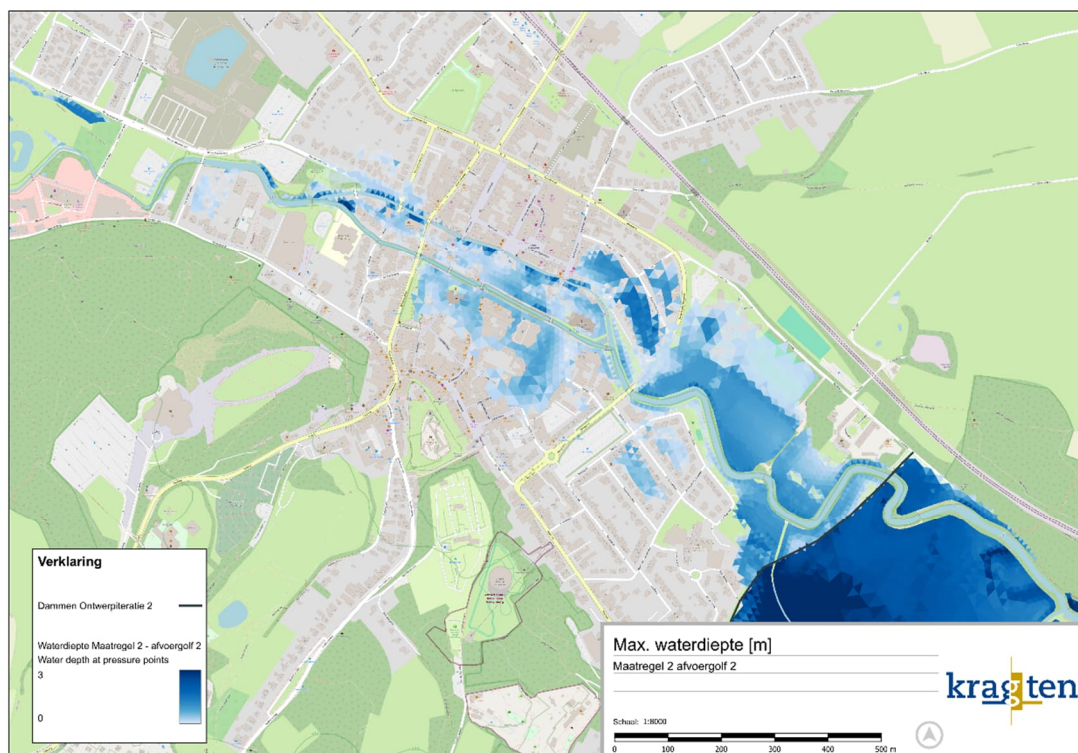


Figuur 6. Waterdiepte nabij Kasteel Wijlre, Maatregel 2 2021-afvoergolf.

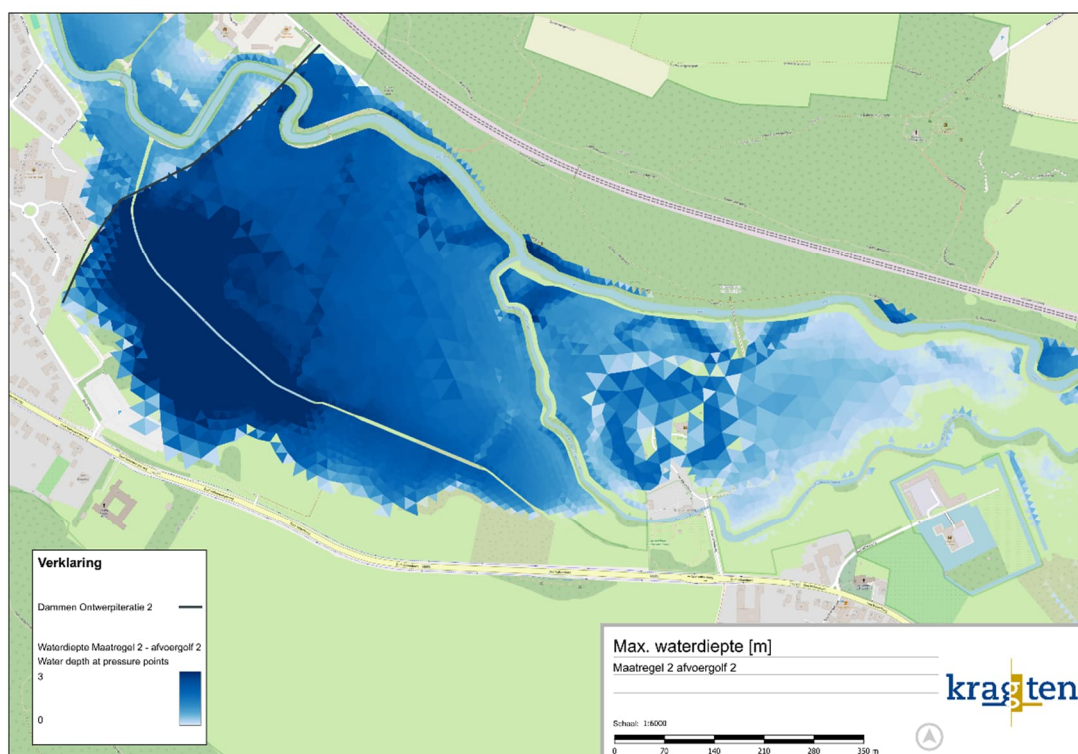


Figuur 7. Waterdiepte nabij Kapolder, Maatregel 2 2021-afvoergolf.

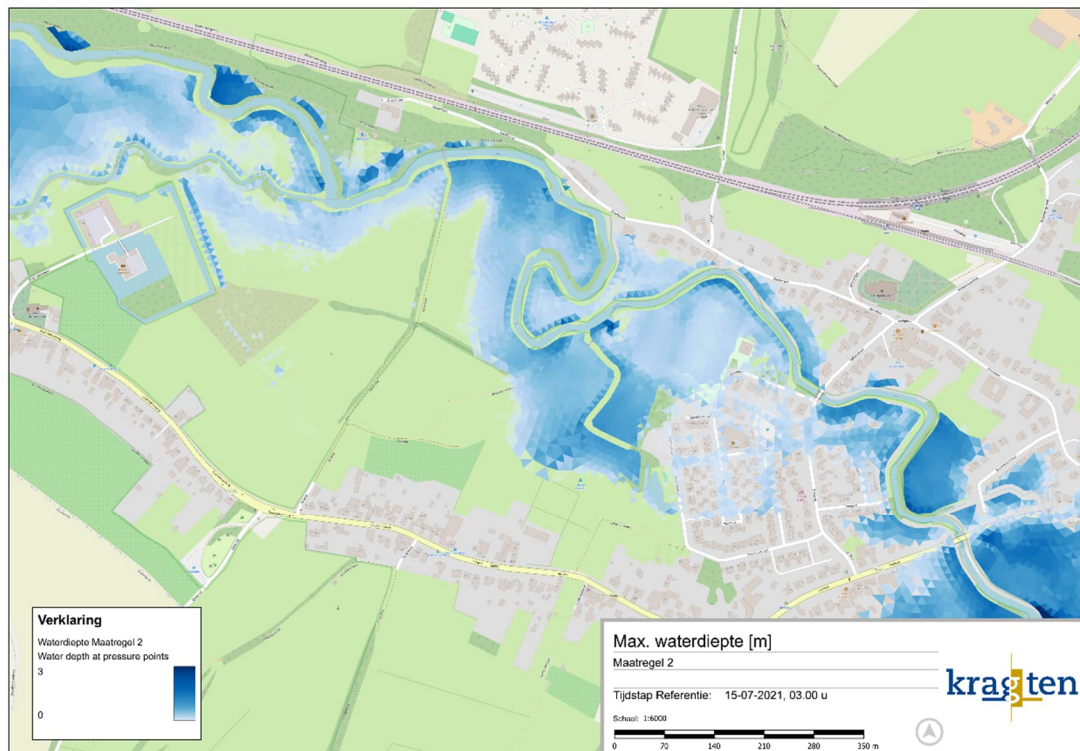
Hieronder zijn de waterdieptekaarten weergegeven voor afvoergolf 2.



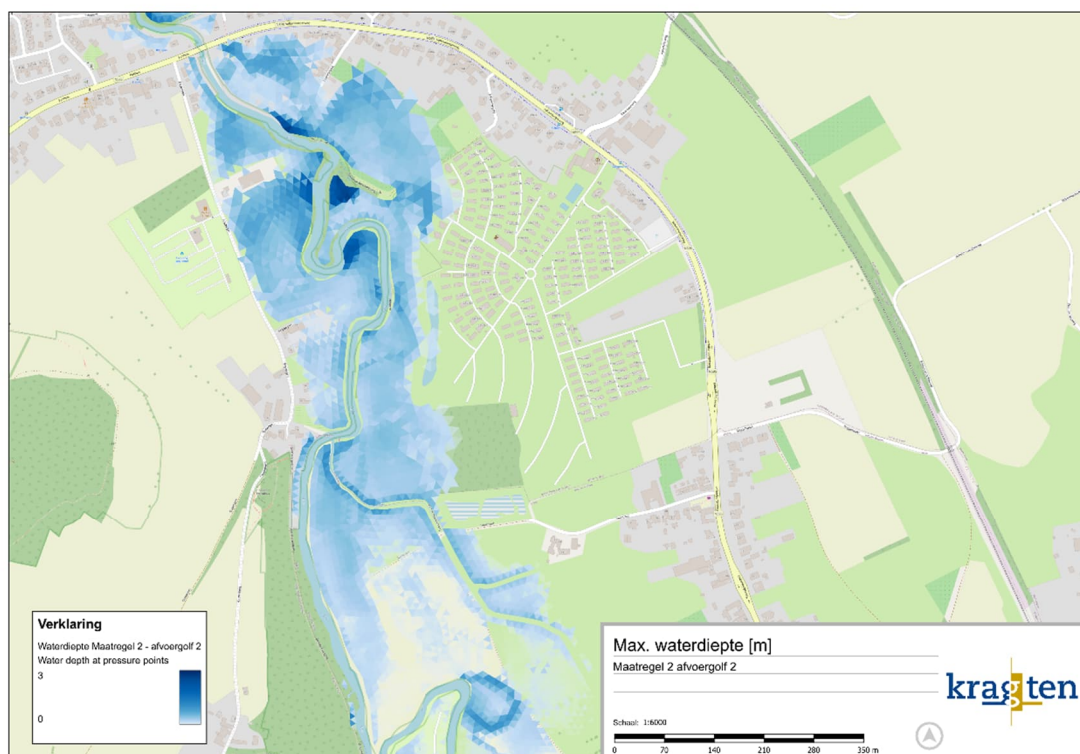
Figuur 8. Waterdiepte nabij Valkenburg Centrum, Maatregel 2 afvoergolf 2.



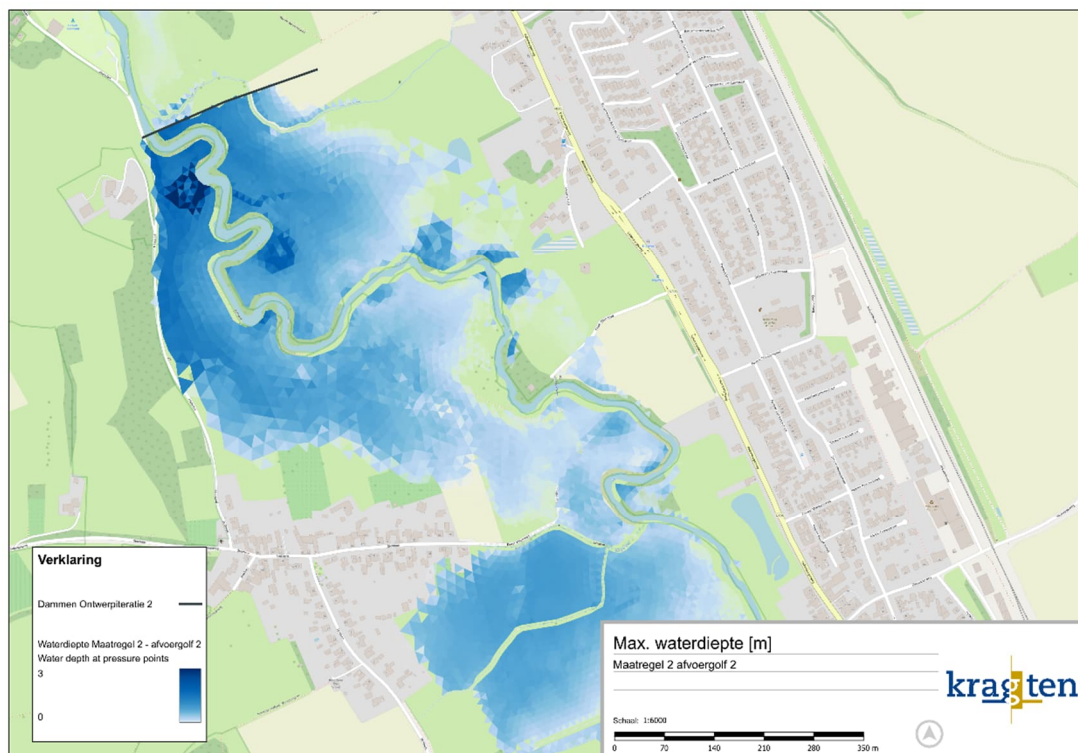
Figuur 9. Waterdiepte nabij Valkenburg, Maatregel 2 afvoergolf 2.



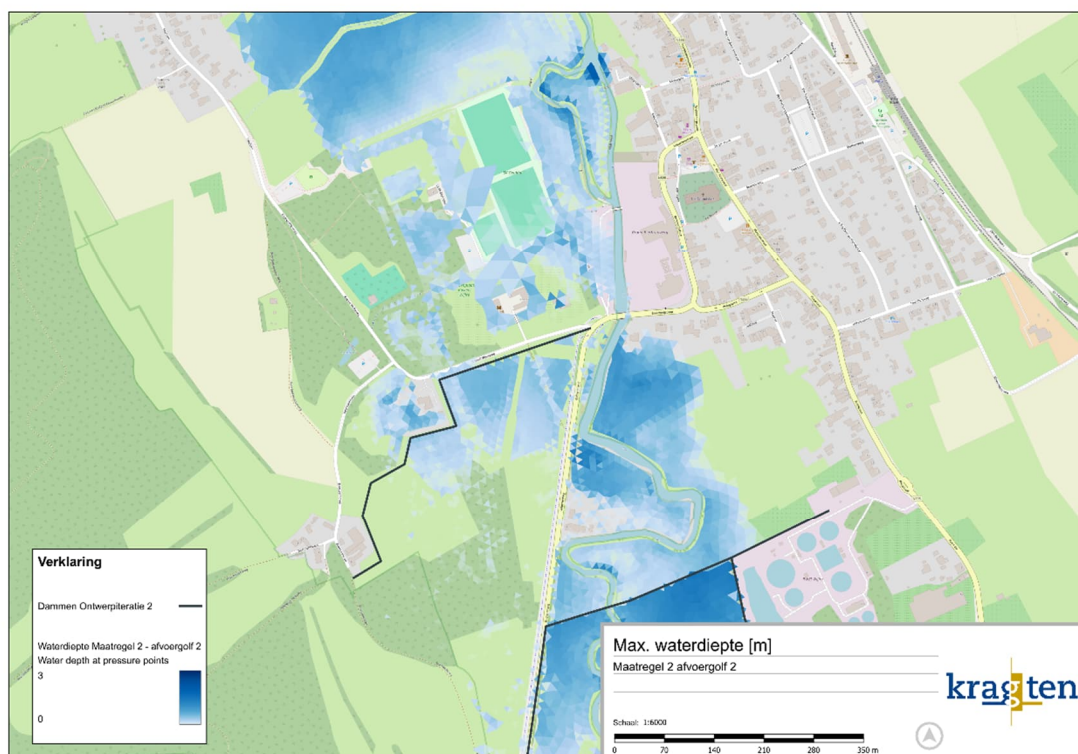
Figuur 10. Waterdieptekaart Oud Valkenburg, Maatregel 2 afvoergolf 2.



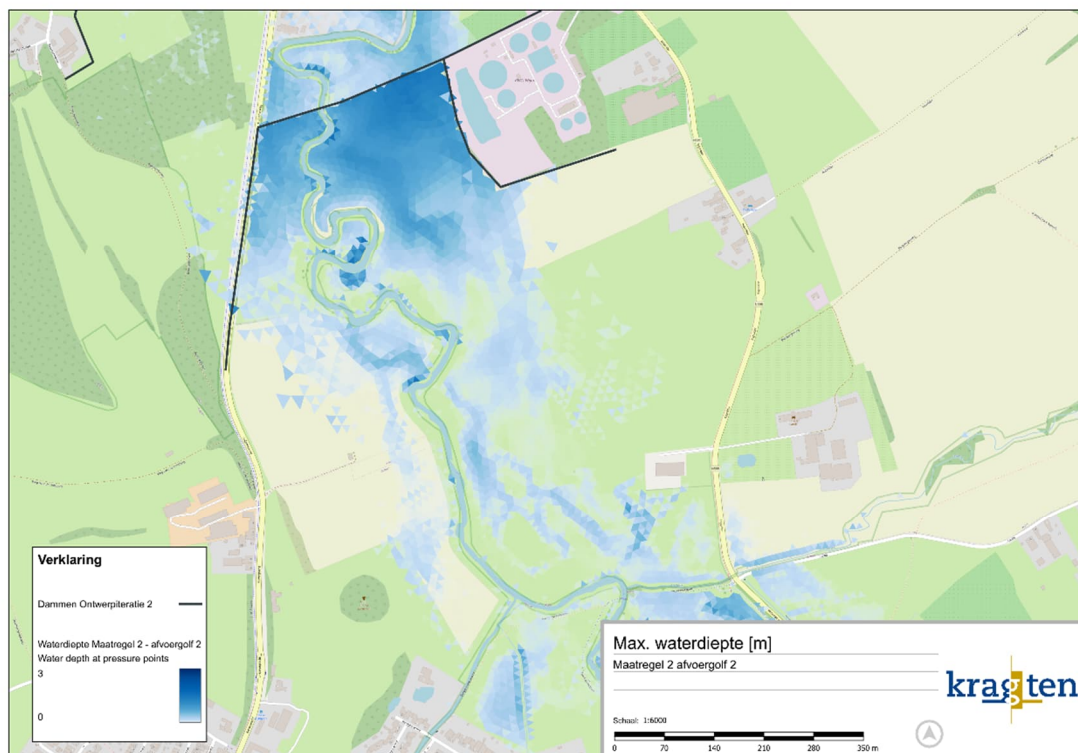
Figuur 11. Waterdieptekaart Schoonbron, Maatregel 2 afvoergolf 2.



Figuur 12. Waterdieptekaart Wijlre Noord, Maatregel 2 afvoergolf 2.



Figuur 13. Waterdieptekaart Kasteel Wijlre, Maatregel 2 afvoergolf 2.



Figuur 14. Waterdieptekaart Kapolder, Maatregel 2 afvoergolf 2.

B8 INUNDATIEVERLOOP ONTWERPITERATIE 2

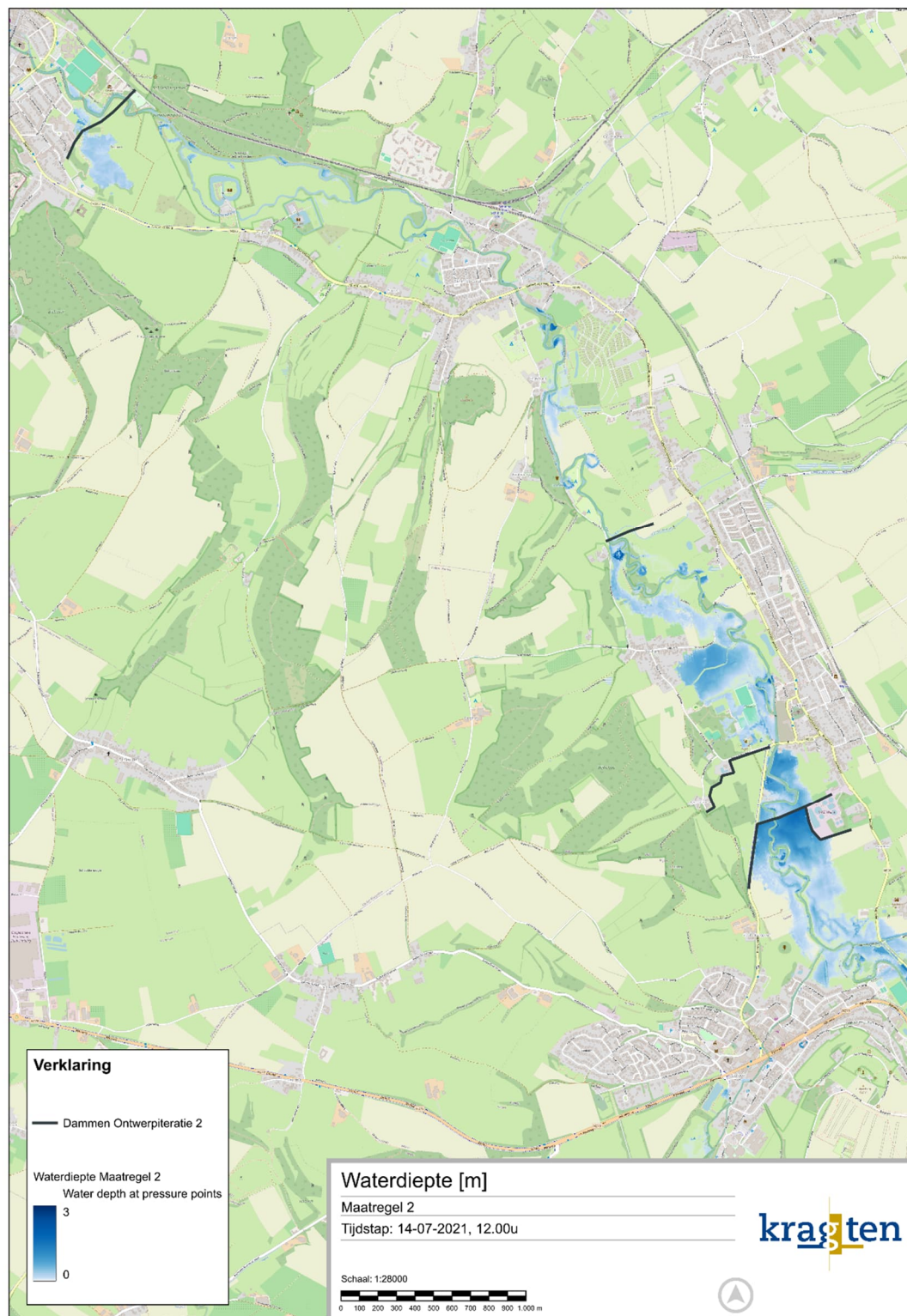
Toelichting

Betreft	Waterdiepteverloop Maatregel 2
Ons kenmerk	PLI210
Datum	21-08-2025
Behandeld door	BDEU

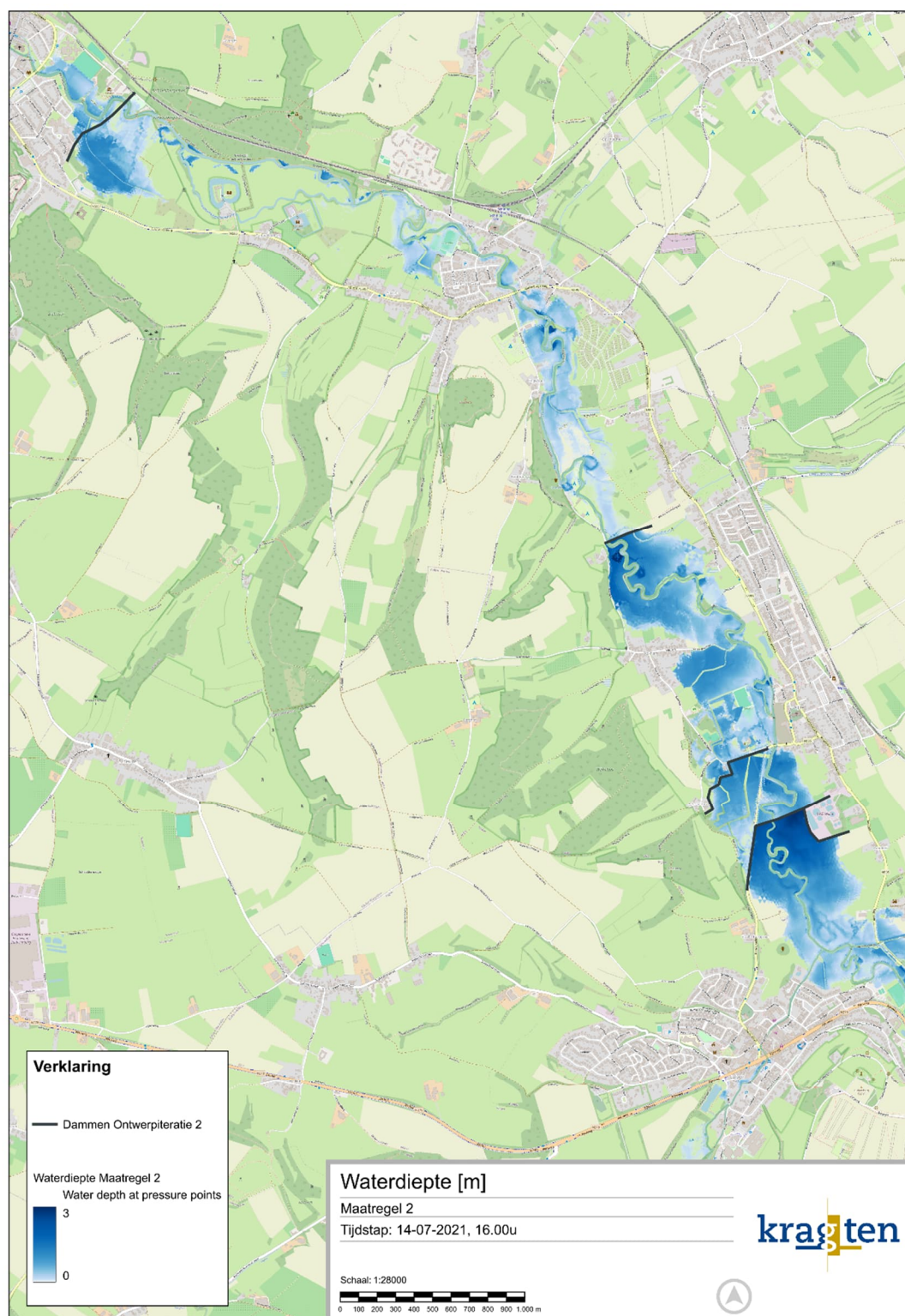
Hieronder zijn de waterdieptekaarten van het gebied tussen Gulpen en Valkenburg weergegeven door drie momenten:

- Het moment dat bergingslocatie Kapolder zich vult;
- Het moment dat bergingslocatie Valkenburg zich vult;
- Het moment waarop de waterdiepte in Valkenburg centrum het grootst is.

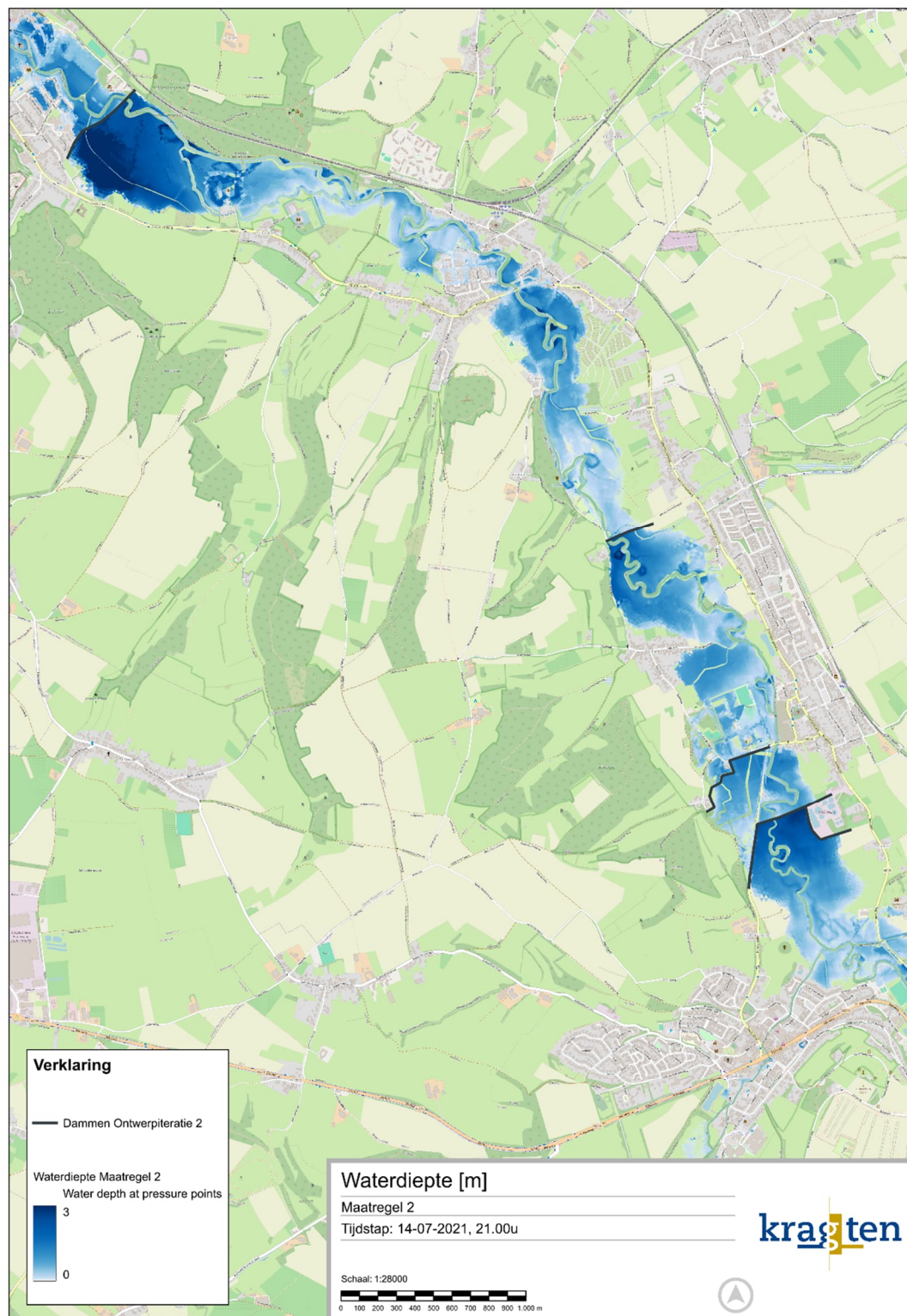
Eerst zijn de waterdieptekaarten weergegeven voor de 2021-afvoergolf. Daarna zijn de waterdieptekaarten weergegeven voor afvoergolf 2.



Figuur 1. Waterdiepte Gulpen tot Valkenburg op het moment dat bergingslocatie Wijkre zich zou vullen, Maatregel 2 2021-afvoergolf.

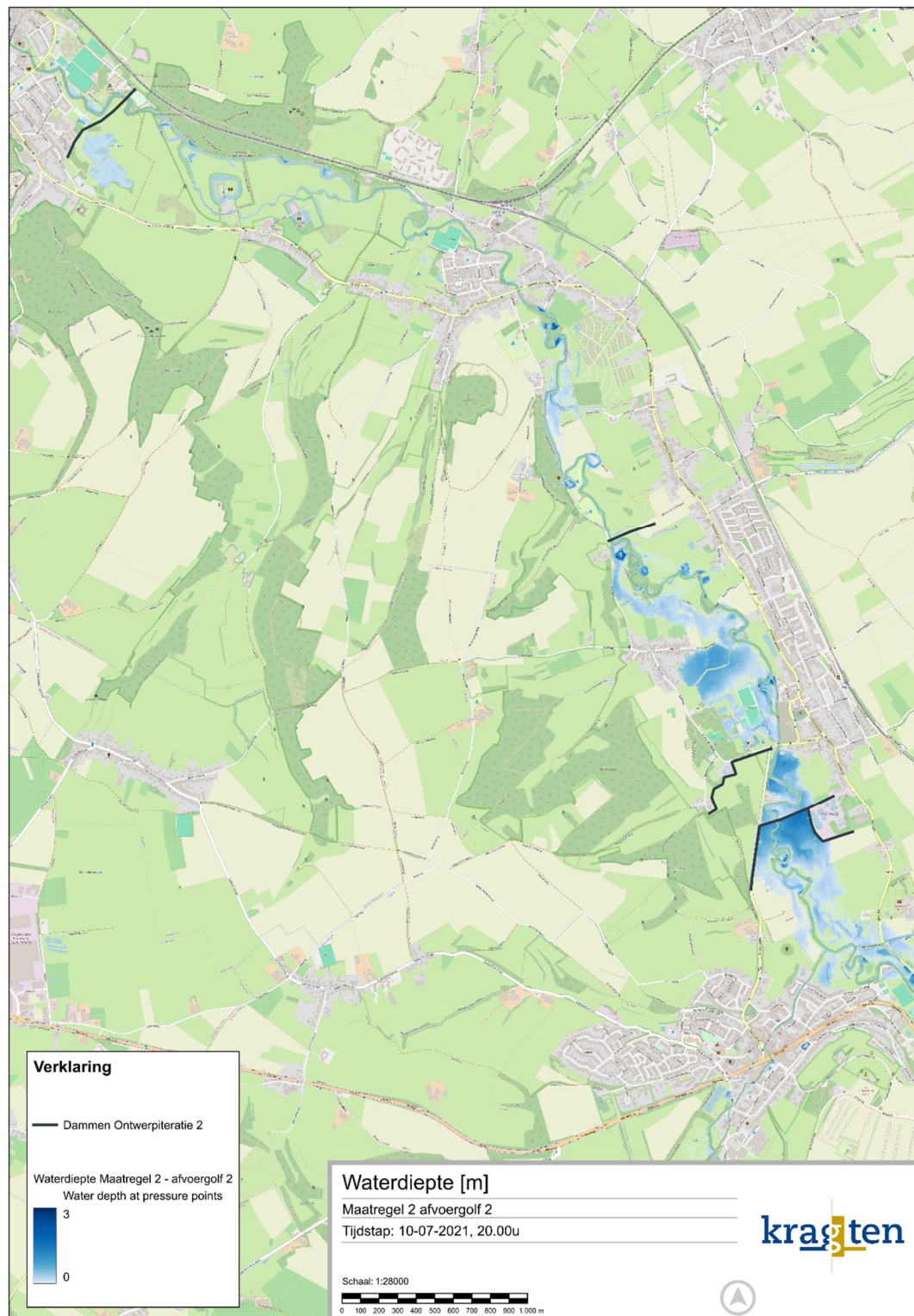


Figuur 2. Waterdiepte Gulpen tot Valkenburg op het moment dat bergingslocatie Valkenburg zich vult, Maatregel 2 2021-afvoergolf.

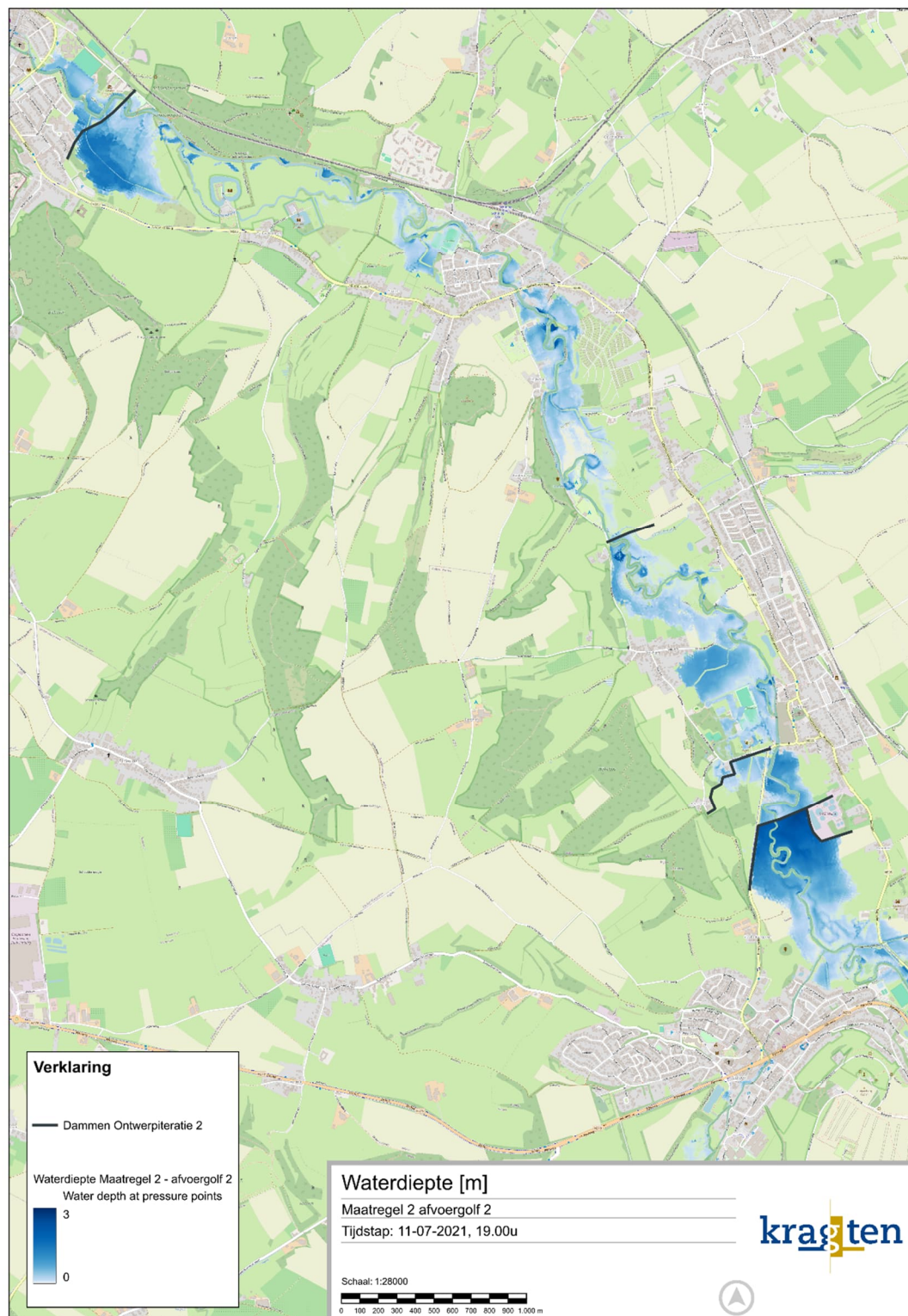


Figuur 3. Waterdiepte Gulpen tot Valkenburg op het moment dat de waterdiepte in Valkenburg centrum maximaal is, Maatregel 2 2021-afvoergolf.

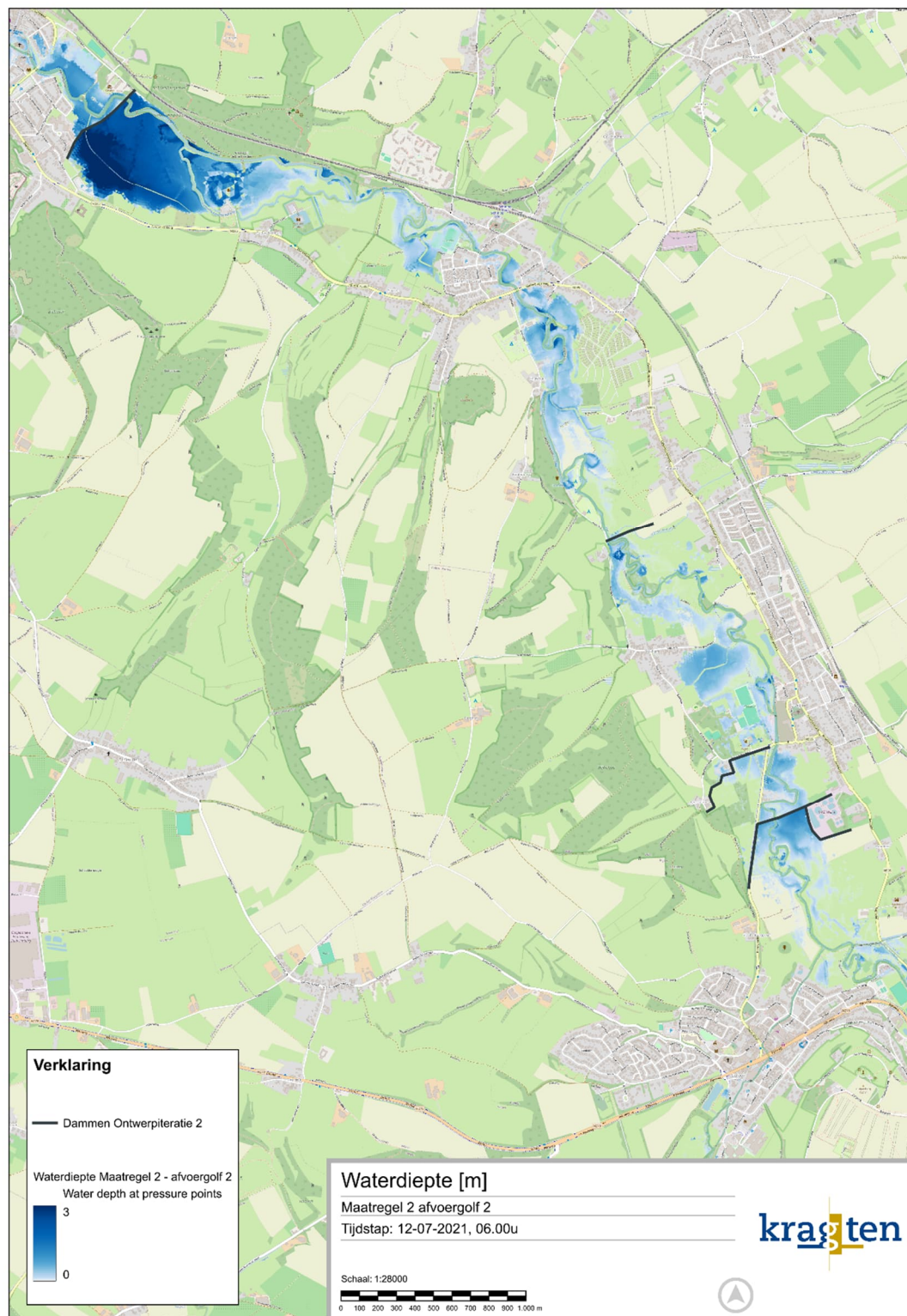
Hieronder zijn de waterdieptekaarten weergegeven voor afvoergolf 2.



Figuur 4. Waterdiepte Gulpen tot Valkenburg op het moment dat bergingslocatie Wijlre zich zou vullen, Maatregel 2 afvoergolf 2.



Figuur 5. Waterdiepte Gulpen tot Valkenburg op het moment dat bergingslocatie Valkenburg zich vult, Maatregel 2 afvoergolf 2.



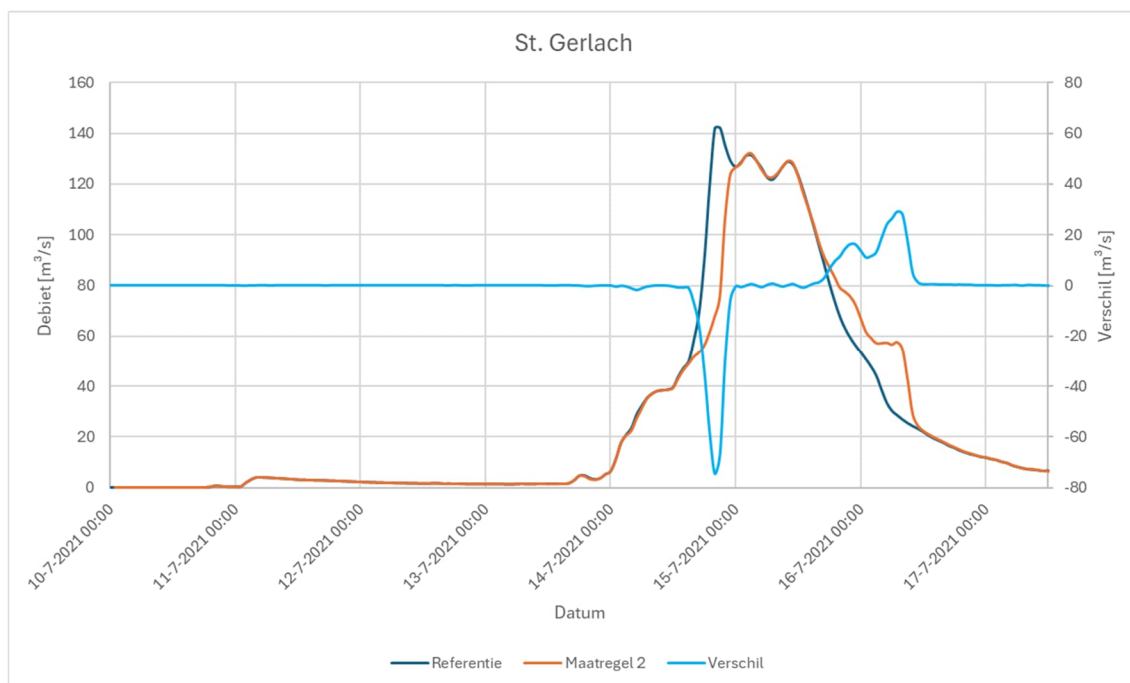
Figuur 6. Waterdiepte Gulpen tot Valkenburg op het moment dat de waterdiepte in Valkenburg centrum maximaal is, Maatregel 2 afvoergolf 2.

B9 DEBIETEN ONTWERPITERATIE 2

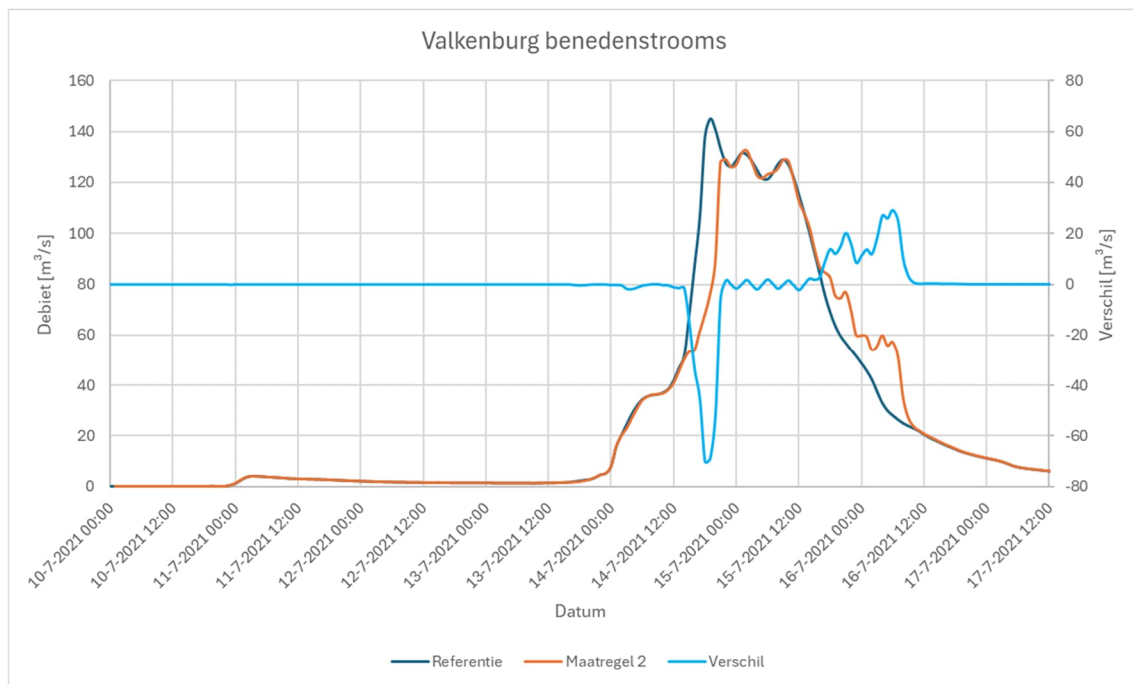
Toelichting

Betreft	Debietgrafieken Maatregel 2 en referentiesituatie
Ons kenmerk	PLI210
Datum	25-08-2025
Behandeld door	BDEU

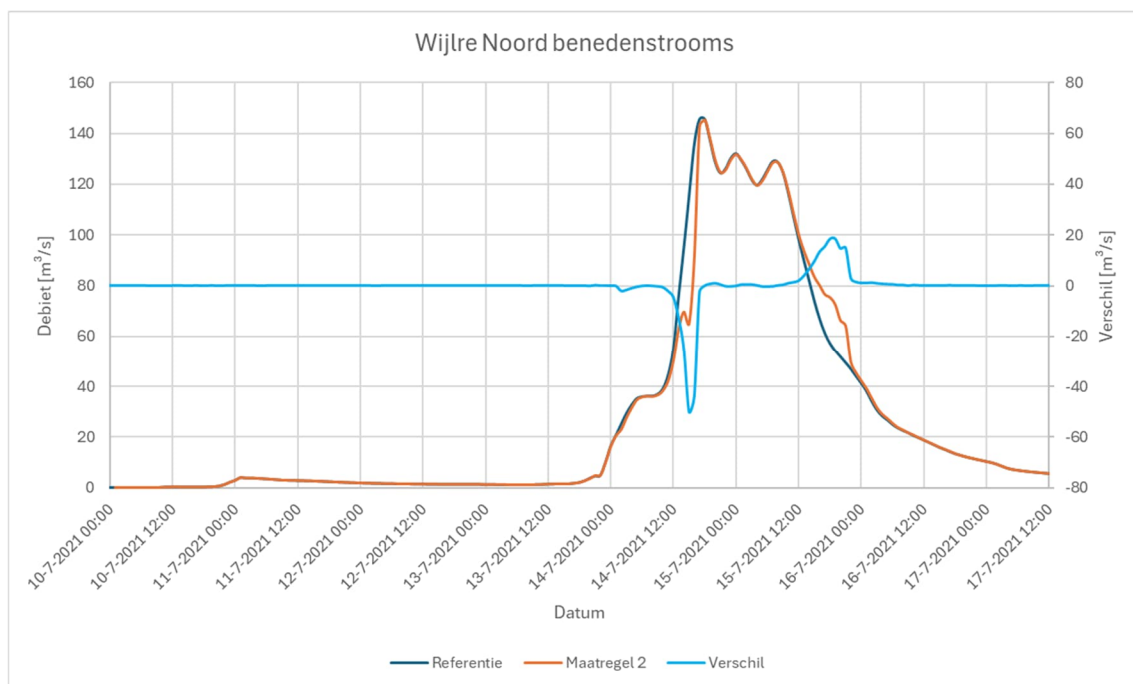
Hieronder zijn eerst de afvoergrafieken weergegeven voor de 2021-afvoergolf. Daarna zijn de afvoergrafieken weergegeven voor afvoergolf 2.



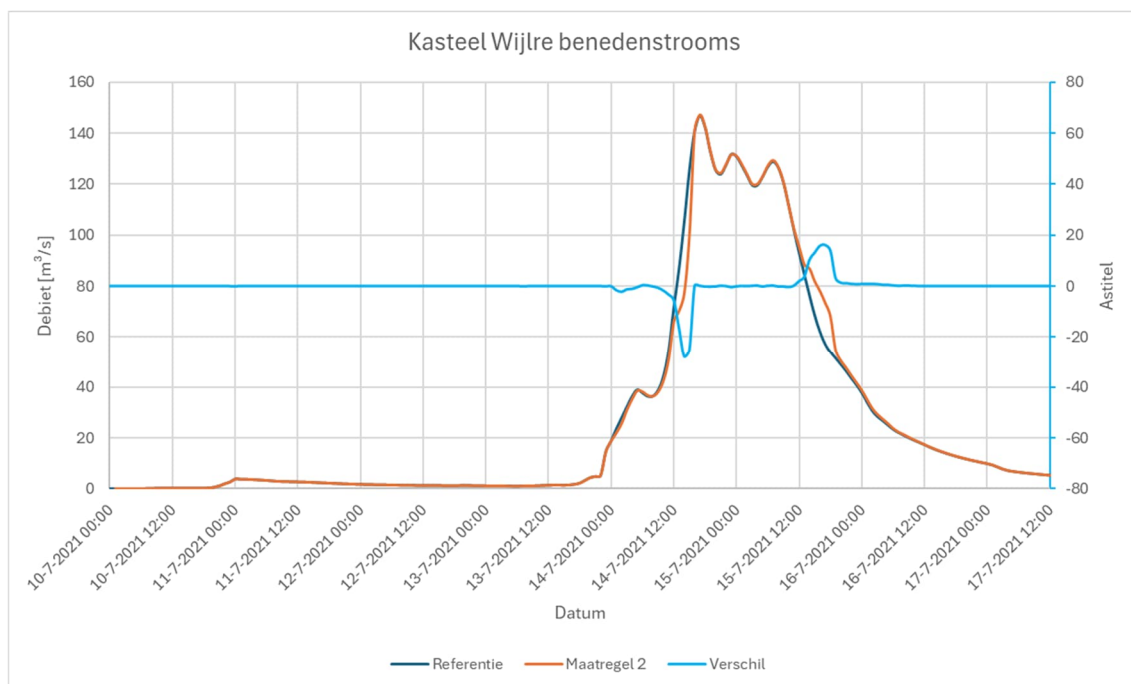
Figuur 1. Debietverloop ter hoogte van St. Gerlach, 2021-afvoergolf.



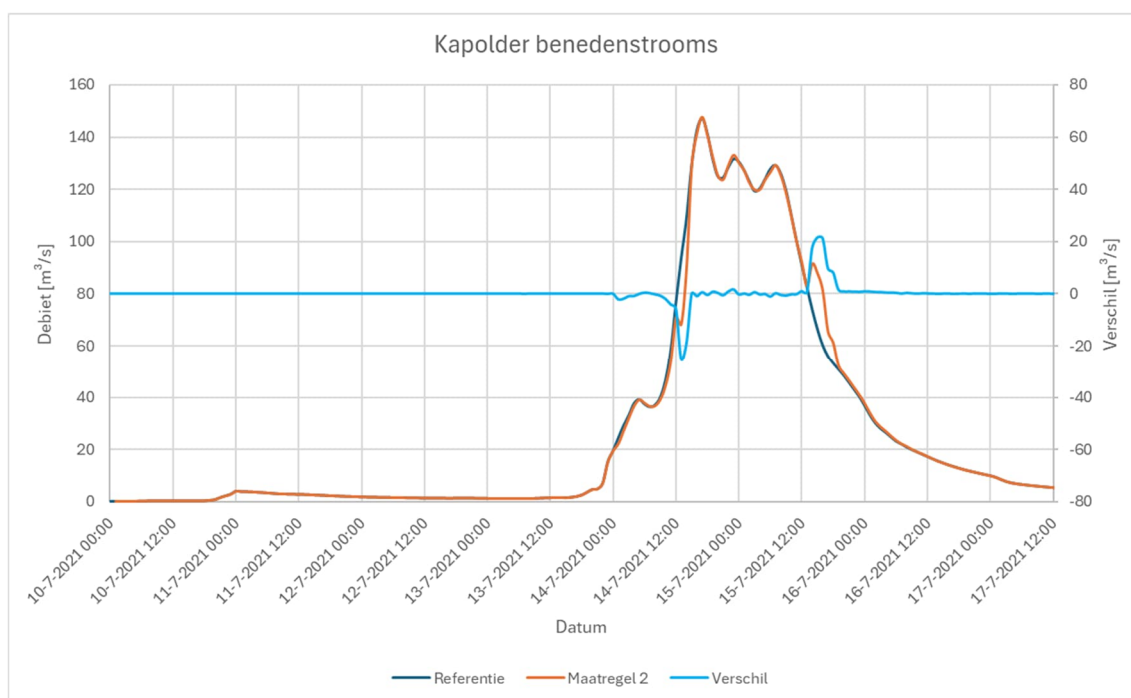
Figuur 2. Debietverloop benedenstrooms van dam Valkenburg, 2021-afvoergolf.



Figuur 3. Debietverloop benedenstrooms van dam Wijlre Noord, 2021-afvoergolf.

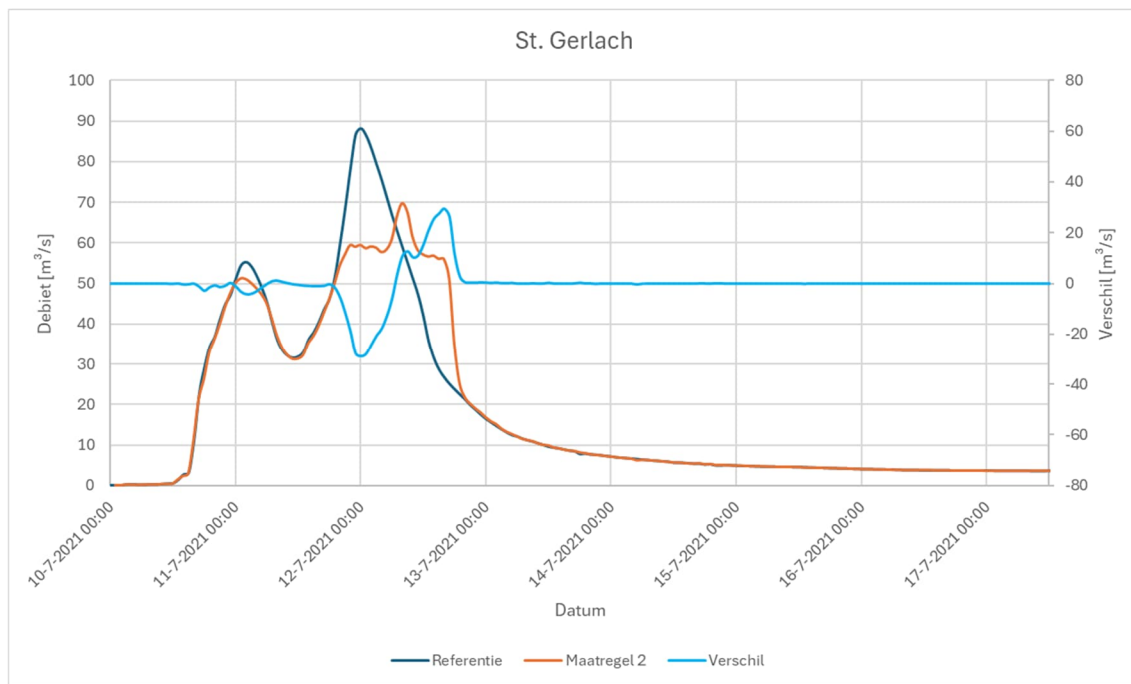


Figuur 4. Debietverloop benedenstrooms van dam Kasteel Wijlre, 2021-afvoergolf.

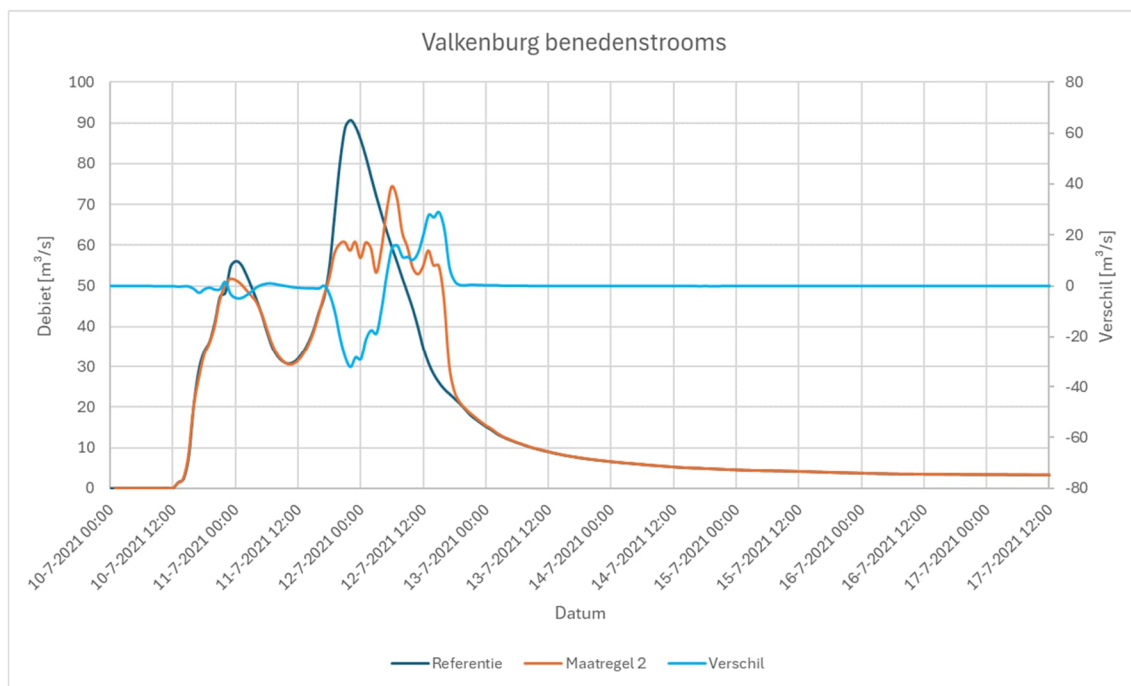


Figuur 5. Debietverloop benedenstrooms van dam Kapolder, 2021-afvoergolf.

Hieronder zijn de afvoergrafieken weergegeven voor afvoergolf 2.



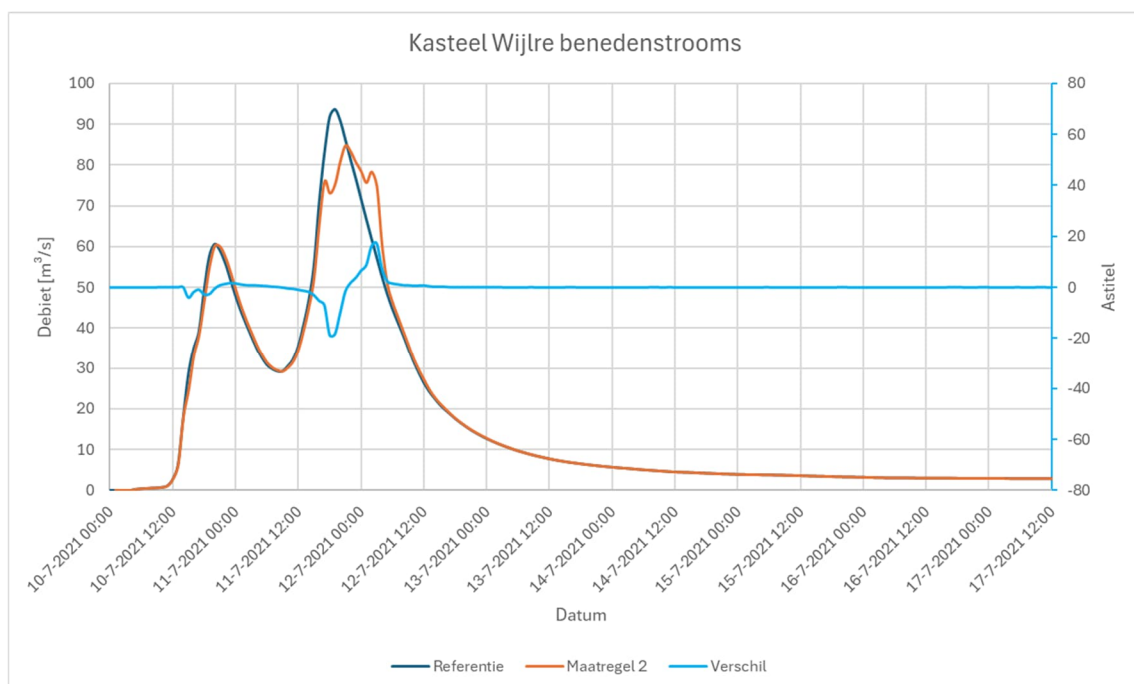
Figuur 6. Debietverloop ter hoogte van St. Gerlach, afvoergolf 2.



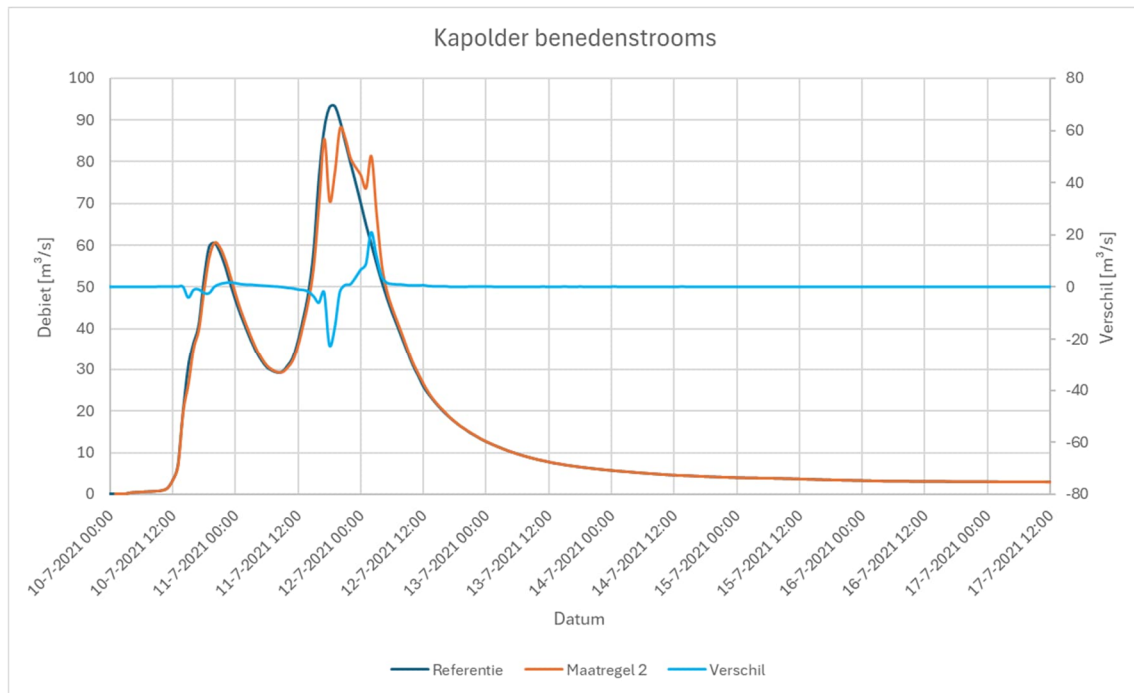
Figuur 7. Debietverloop benedenstrooms van dam Valkenburg, afvoergolf 2.



Figuur 8. Afvoerloop benedenstrooms van dam Wijlre Noord, afvoergolf 2.



Figuur 9. Afvoerloop benedenstrooms van dam Kasteel Wijlre, afvoergolf 2.



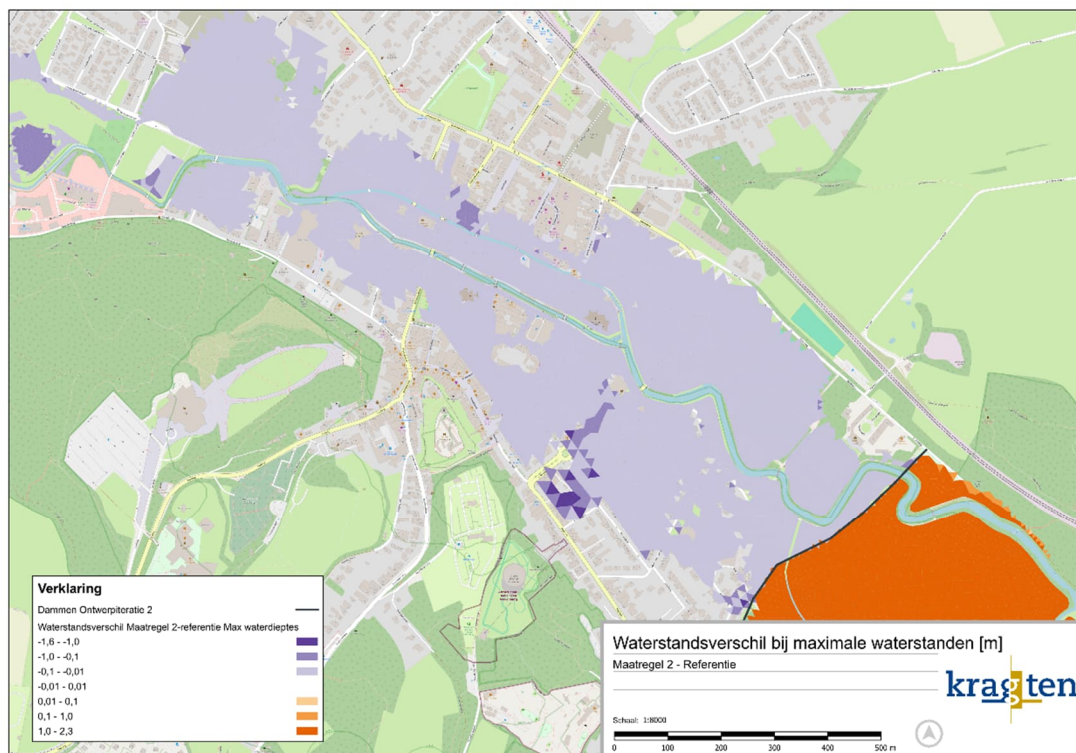
Figuur 10. Afvoerverloop benedenstrooms van dam Kapolder, afvoergolf 2.

B10 WATERSTANDSVERSCHILLEN BIJ DE MAXIMAAL OPTREDENDE WATERSTANDEN ONTWERPITERATIE 2

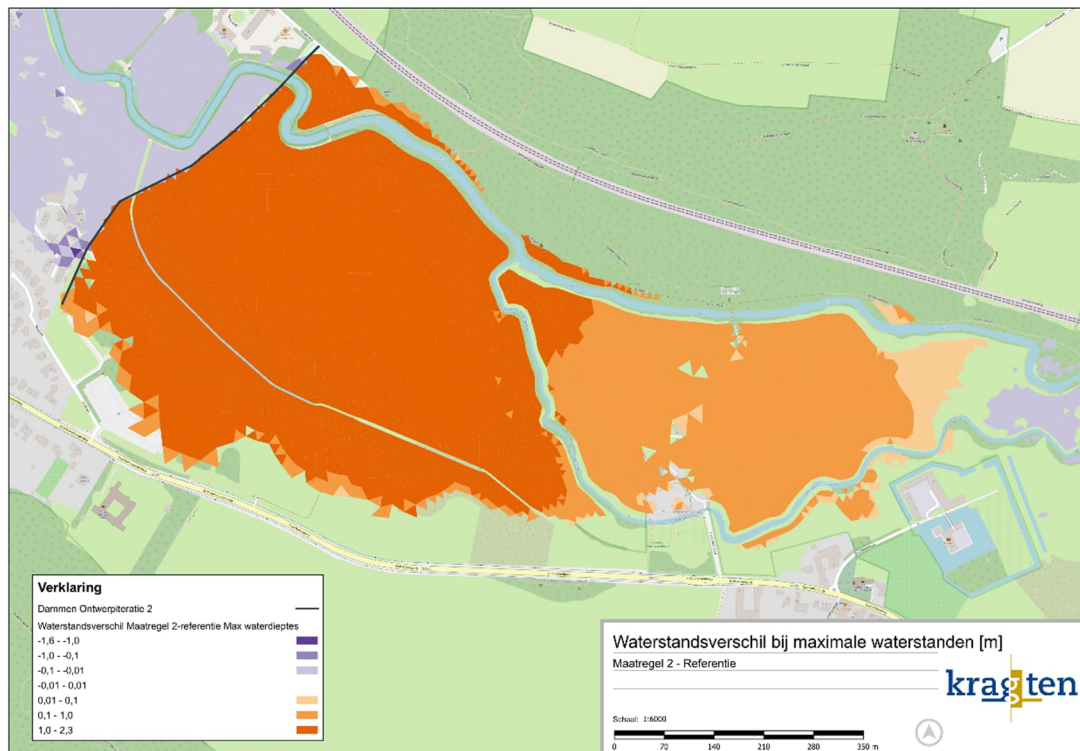
Toelichting

Betreft	Waterstandsverschillen tussen Maatregel 2 en de referentiesituatie bij maximale waterstanden
Ons kenmerk	PLI210
Datum	20-08-2025
Behandeld door	BDEU

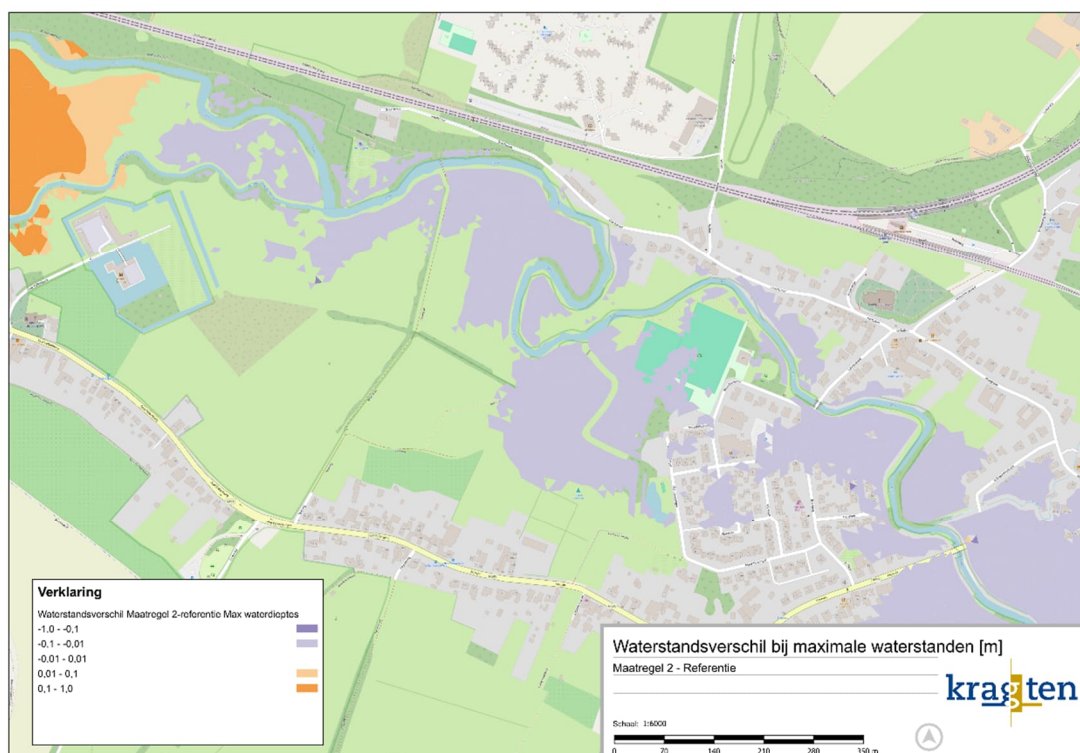
Hieronder zijn eerst de waterdiepteverschilkaarten weergegeven voor de 2021-afvoergolf. Daarna zijn de waterdiepteverschilkaarten weergegeven voor afvoergolf 2.



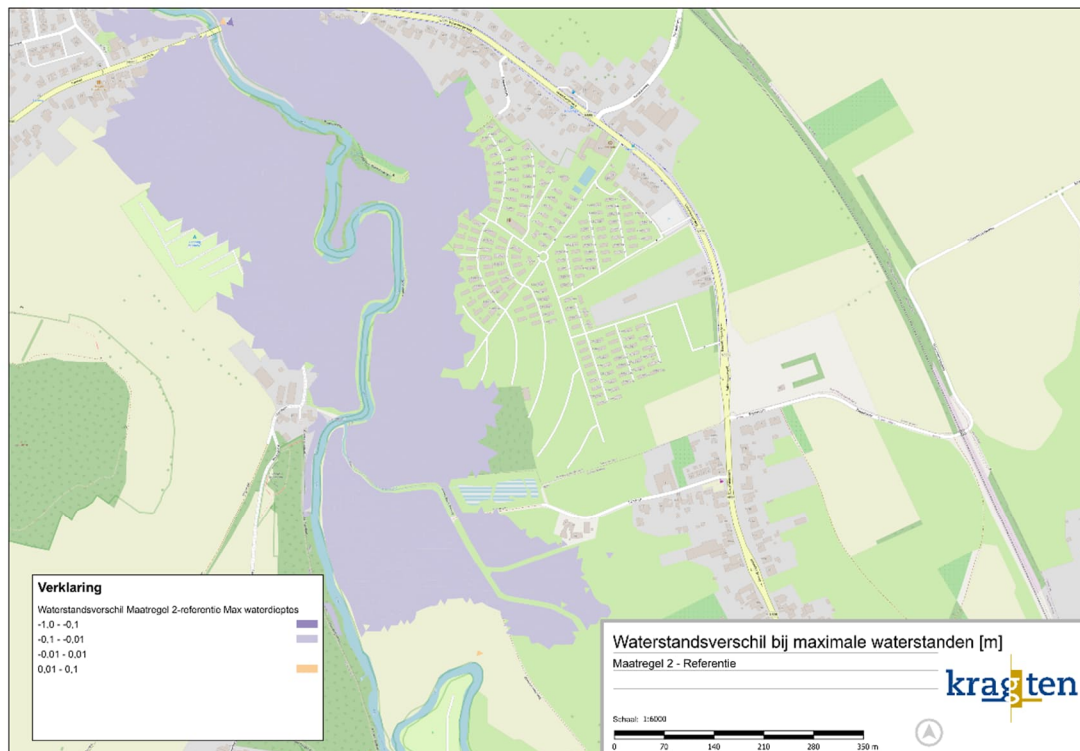
Figuur 1. Waterstandsverschillen tussen Maatregel 2 en de referentiesituatie bij maximale waterstanden in Valkenburg Centrum, 2021-afvoergolf.



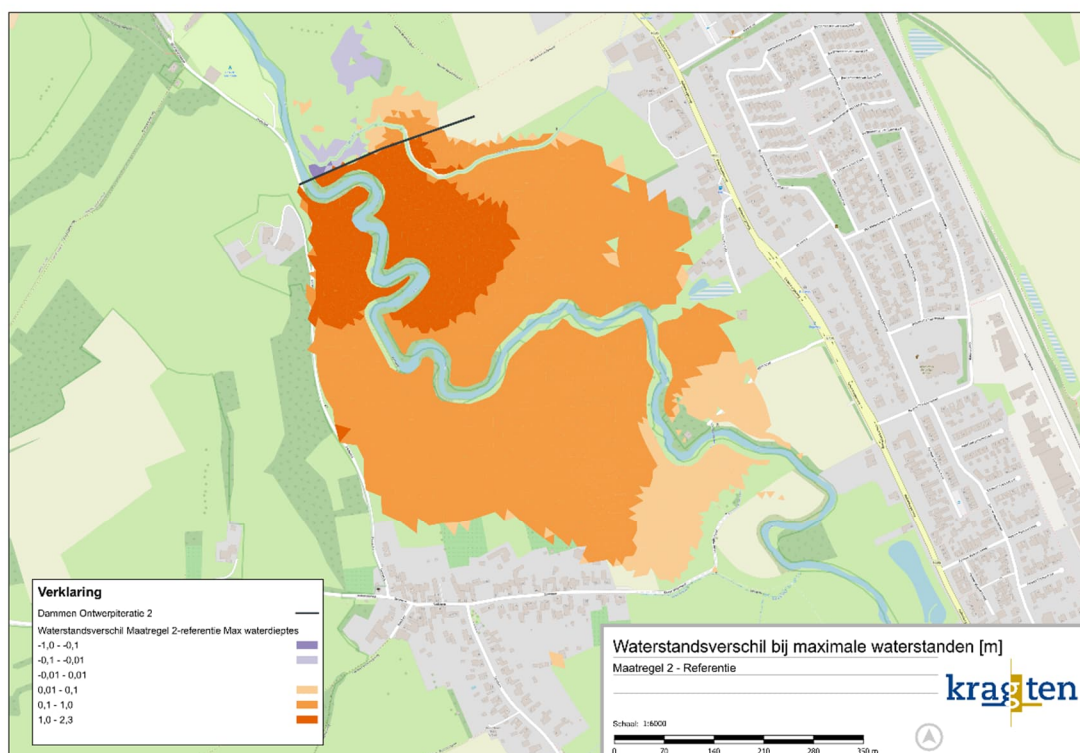
Figuur 2. Waterstandsverschillen tussen Maatregel 2 en de referentiesituatie bij maximale waterstanden nabij Valkenburg, 2021-afvoergolf.



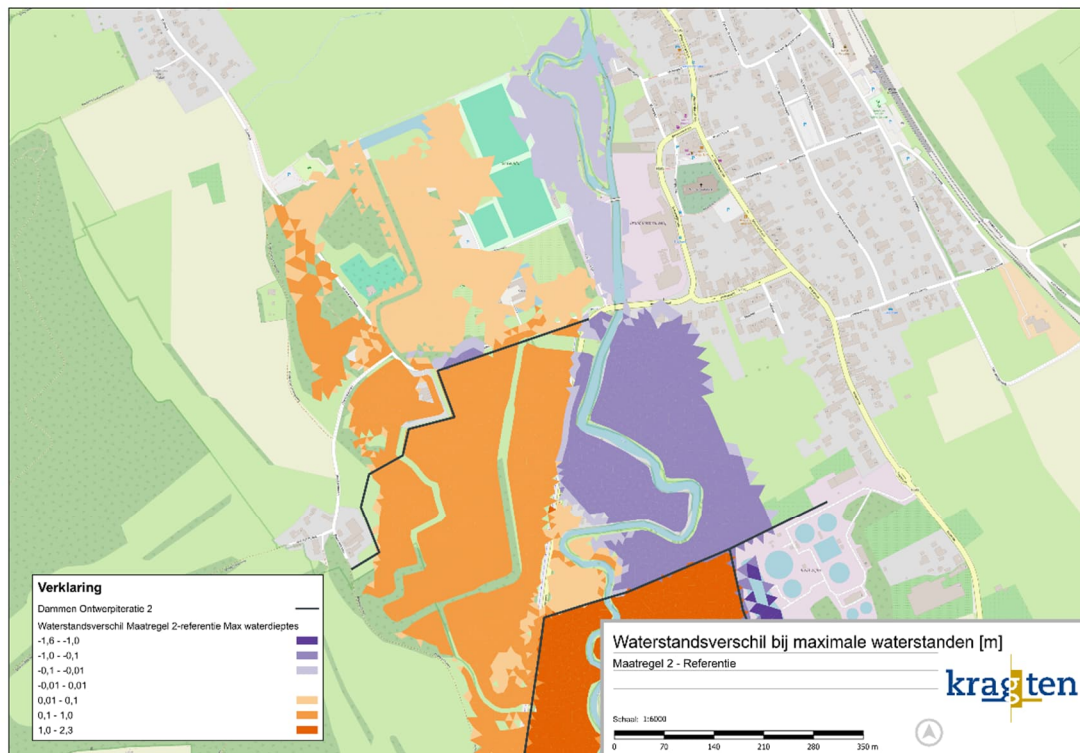
Figuur 3. Waterstandsverschillen tussen Maatregel 2 en de referentiesituatie bij maximale waterstanden nabij Oud Valkenburg, 2021-afvoergolf.



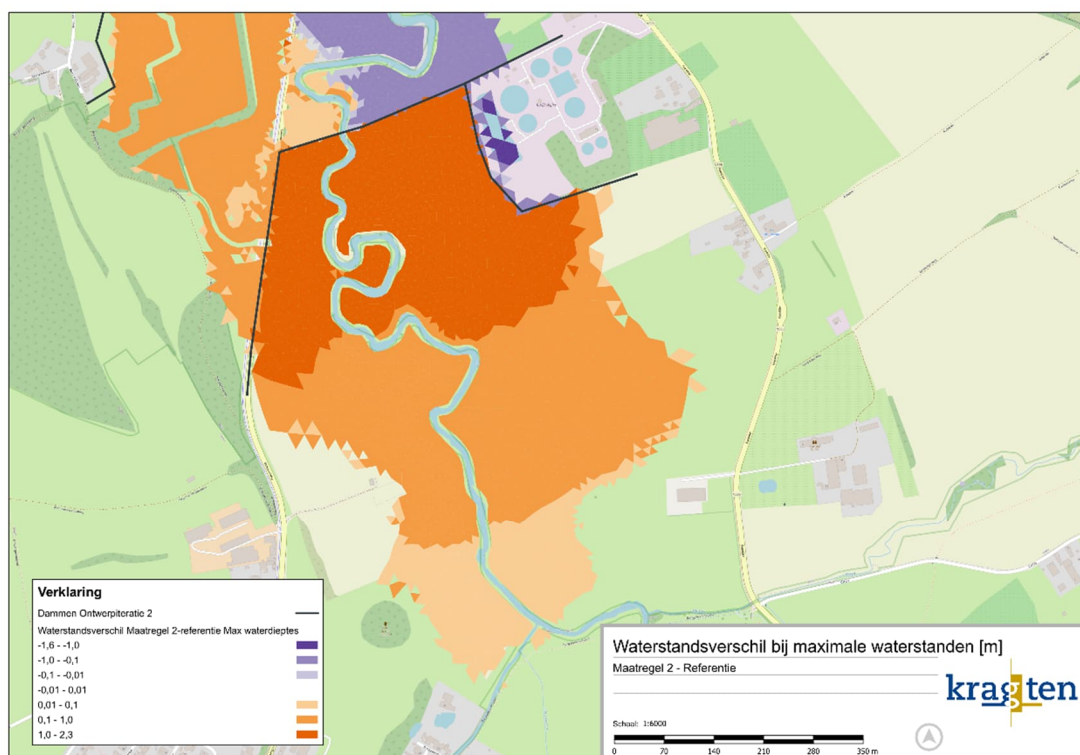
Figuur 4. Waterstandsverschillen tussen Maatregel 2 en de referentiesituatie bij maximale waterstanden nabij Schoonbron, 2021-afvoergolf.



Figuur 5. Waterstandsverschillen tussen Maatregel 2 en de referentiesituatie bij maximale waterstanden nabij Wijlre Noord, 2021-afvoergolf.

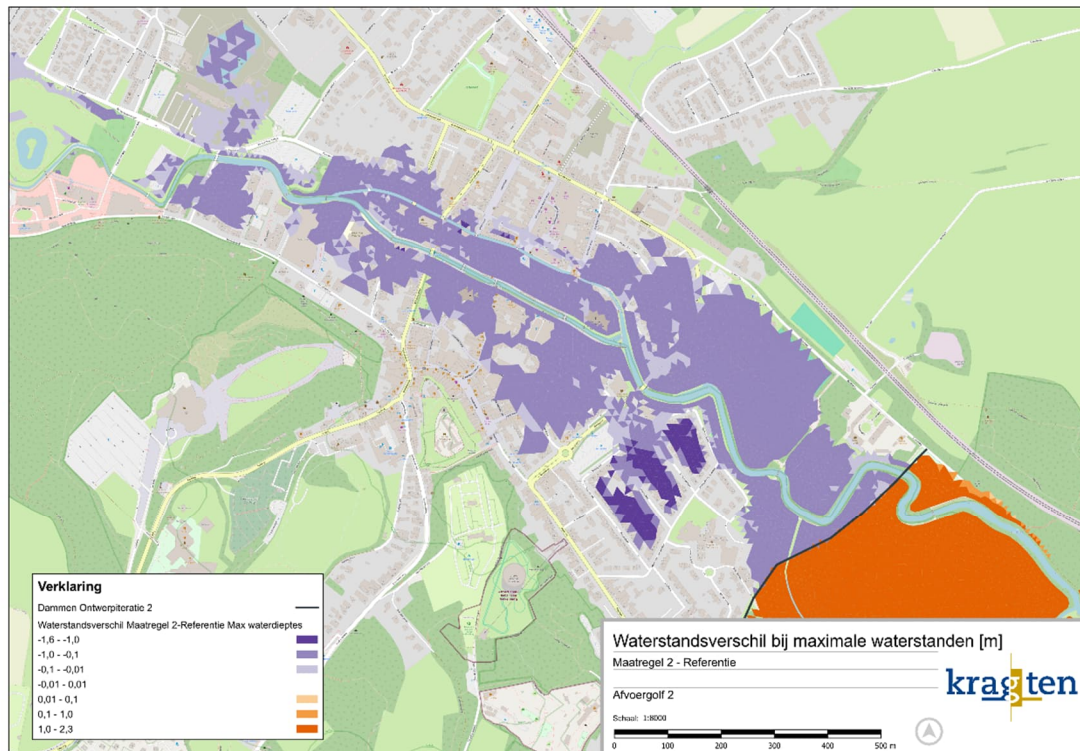


Figuur 6. Waterstandsverschillen tussen Maatregel 2 en de referentiesituatie bij maximale waterstanden nabij Kasteel Wijlre, 2021-afvoergolf.

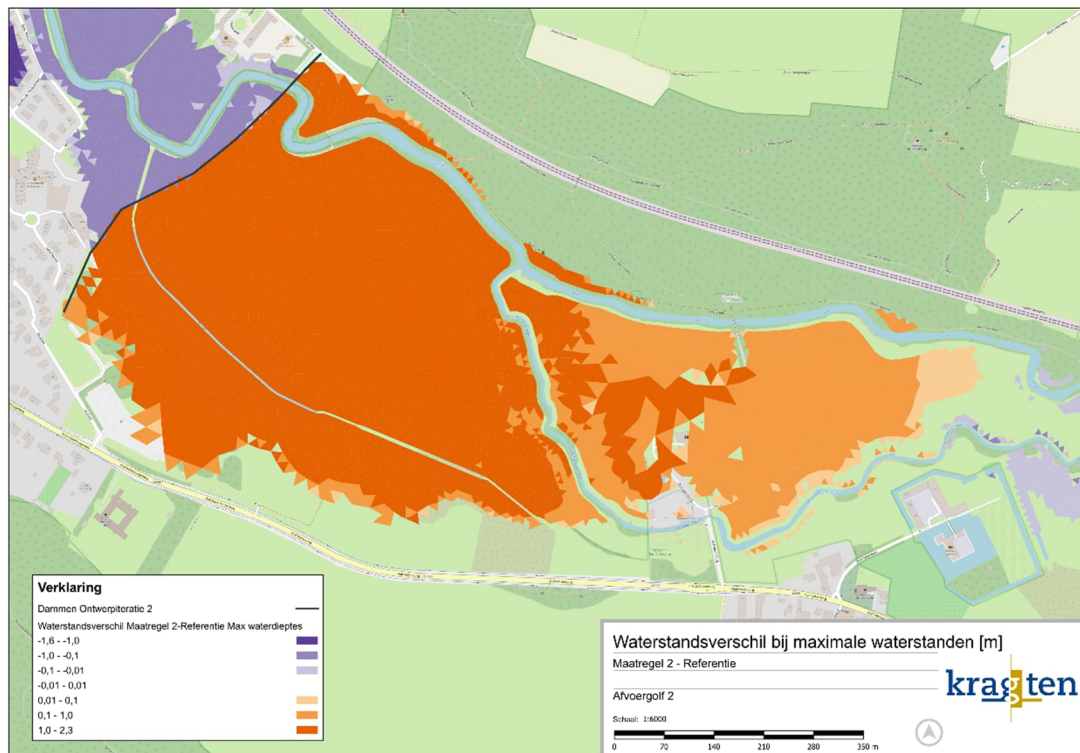


Figuur 7. Waterstandsverschillen tussen Maatregel 2 en de referentiesituatie bij maximale waterstanden nabij Kapolder, 2021-afvoergolf.

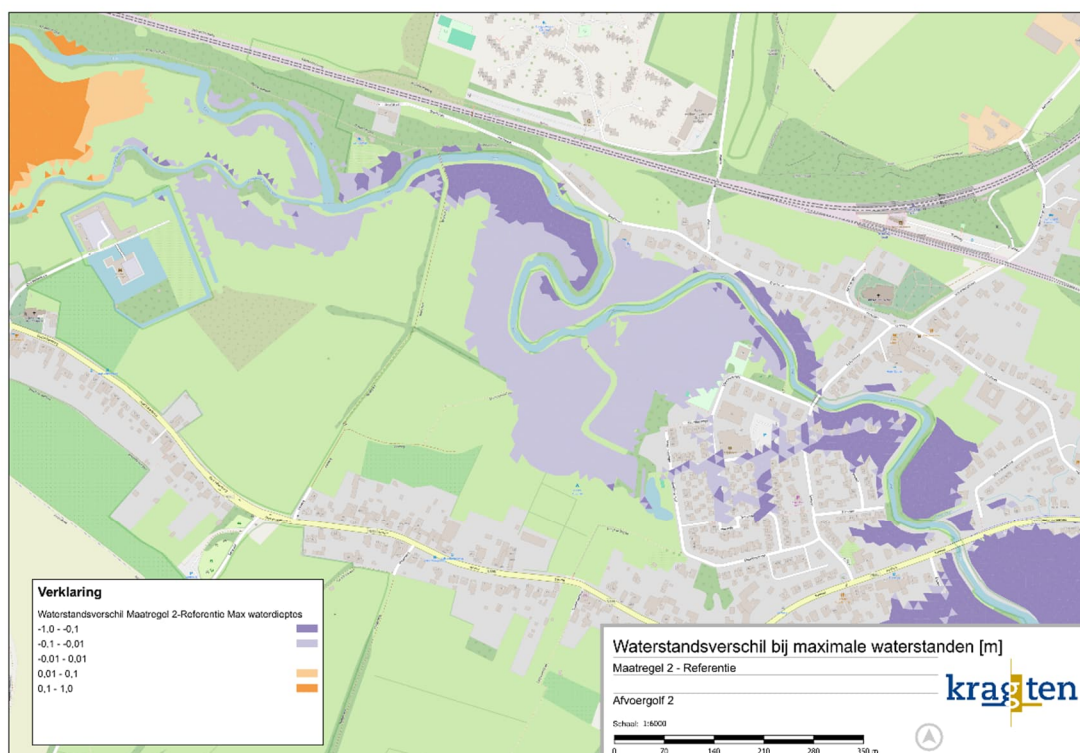
Hieronder zijn de waterdiepteverschilkaarten weergegeven voor afvoergolf 2.



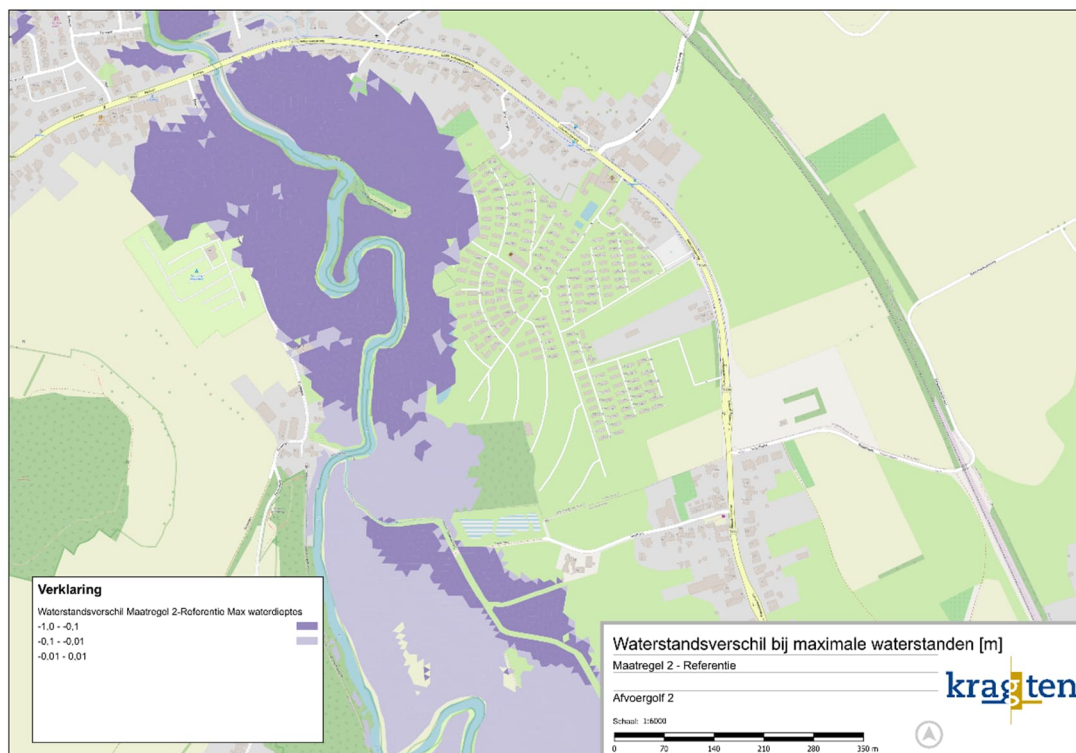
Figuur 8. Waterstandsverschillen tussen Maatregel 2 en de referentiesituatie bij maximale waterstanden nabij Valkenburg Centrum, afvoergolf 2.



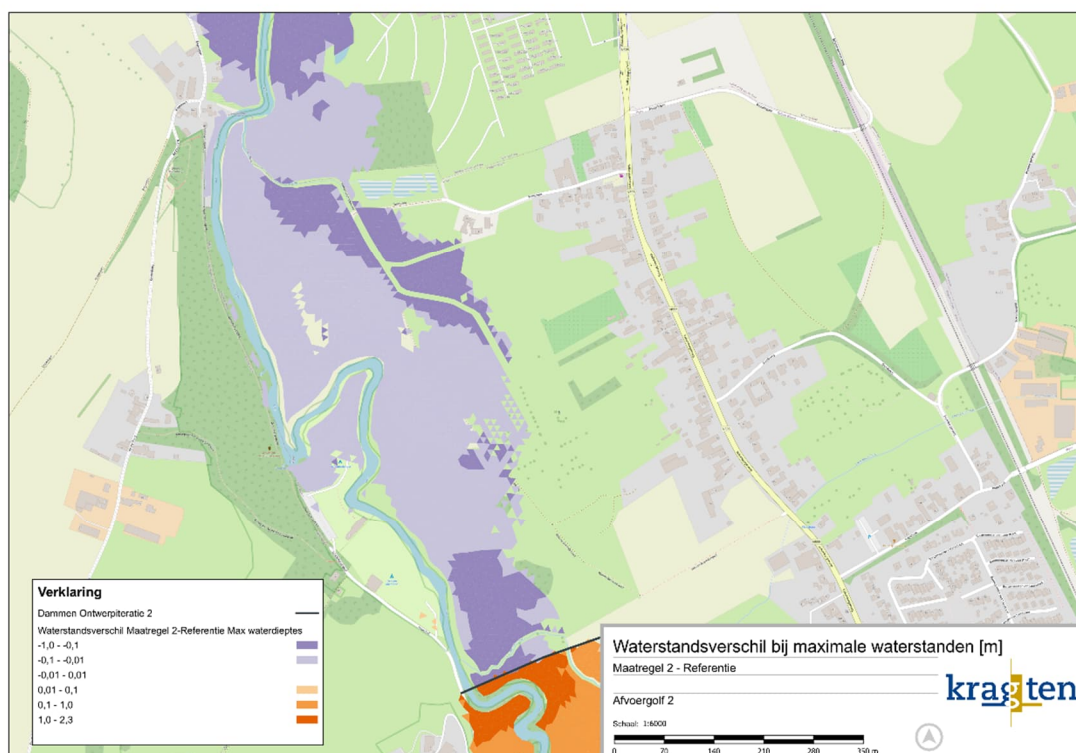
Figuur 9. Waterstandsverschillen tussen Maatregel 2 en de referentiesituatie bij maximale waterstanden nabij Valkenburg, afvoergolf 2.



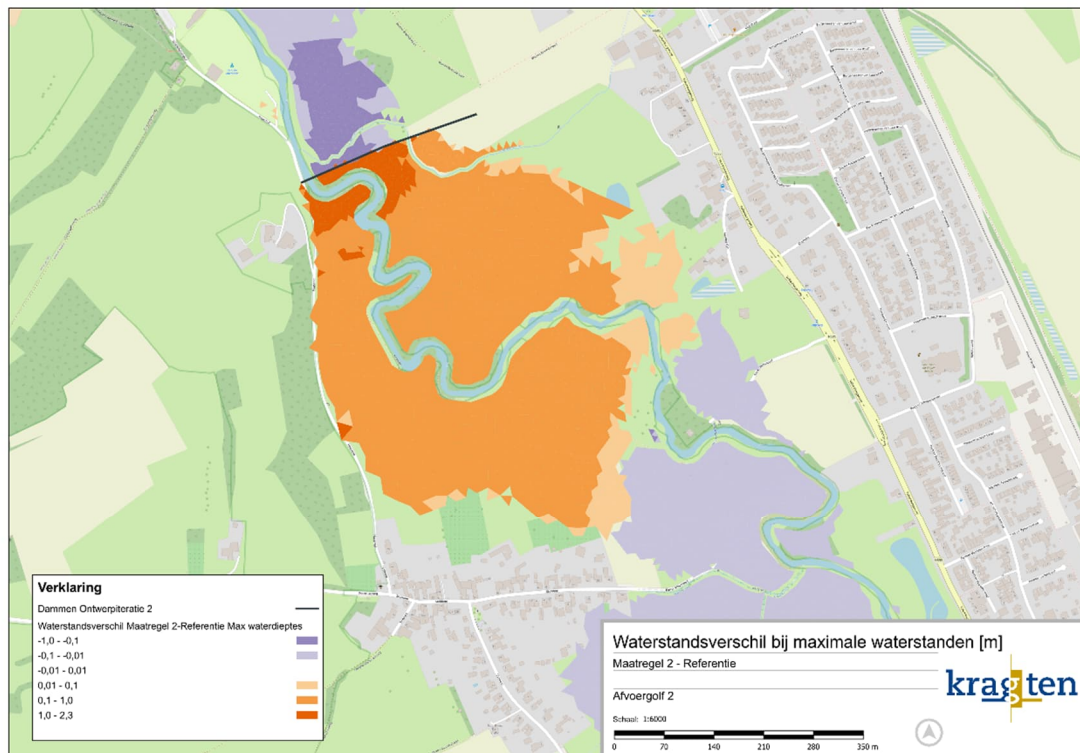
Figuur 10. Waterstandsverschillen tussen Maatregel 2 en de referentiesituatie bij maximale waterstanden nabij Oud Valkenburg, afvoergolf 2.



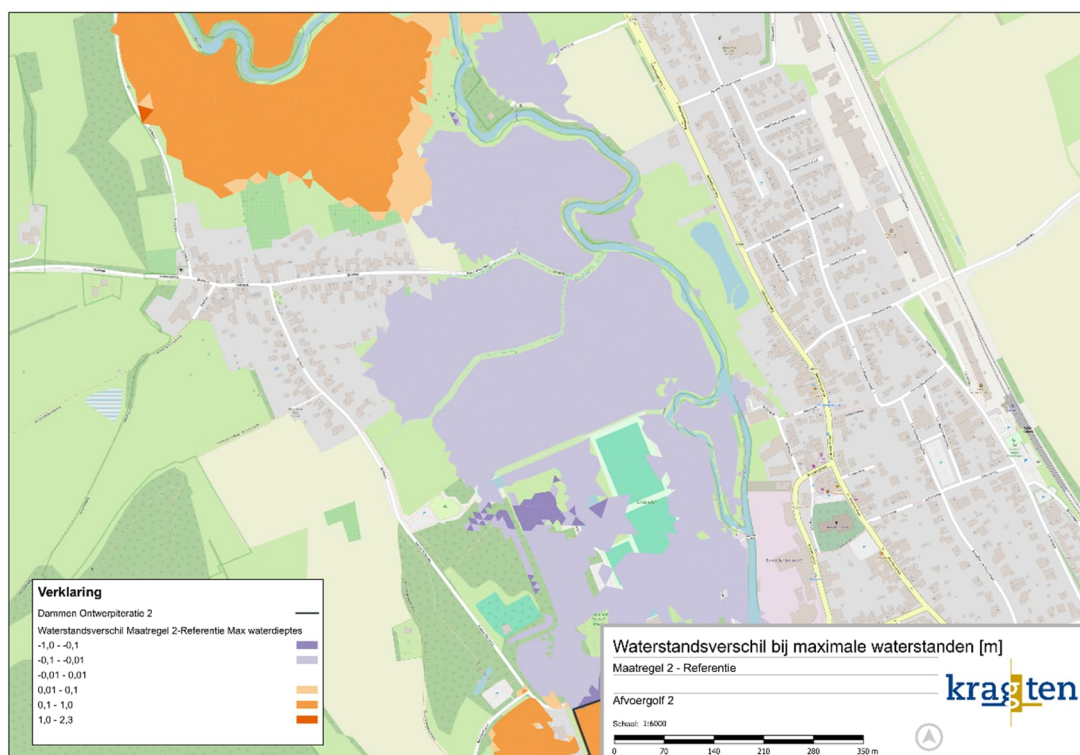
Figuur 11. Waterstandsverschillen tussen Maatregel 2 en de referentiesituatie bij maximale waterstanden nabij Schoonbron, afvoergolf 2.



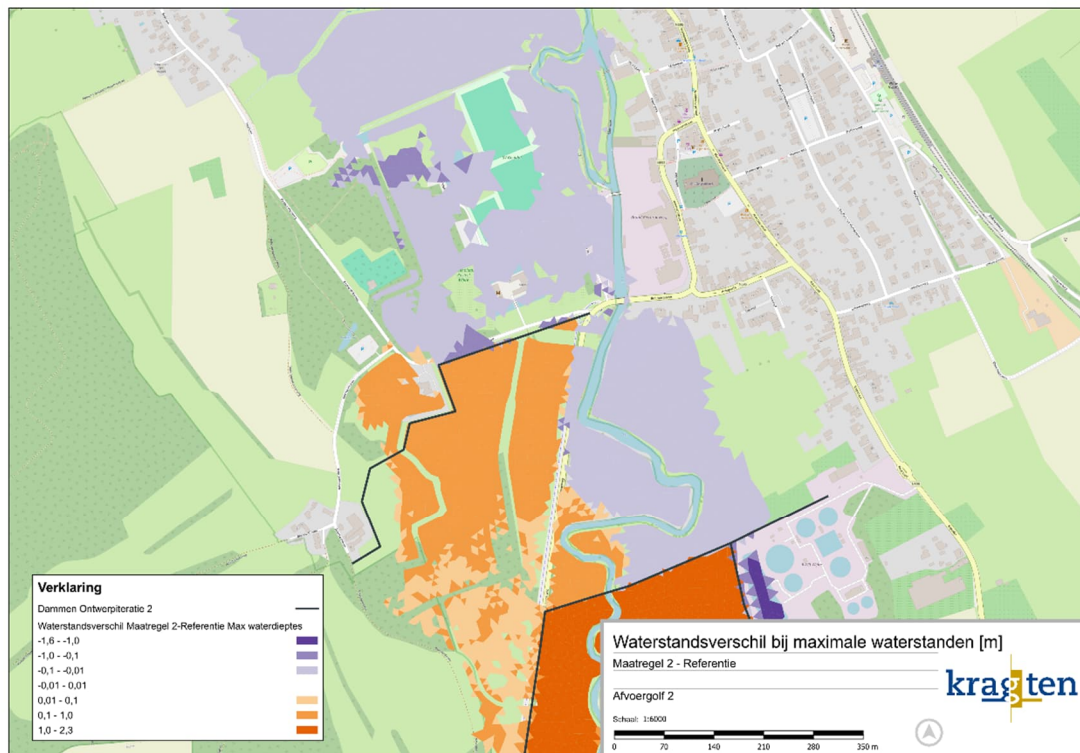
Figuur 12. Waterstandsverschillen tussen Maatregel 2 en de referentiesituatie bij maximale waterstanden nabij Etenaken, afvoergolf 2.



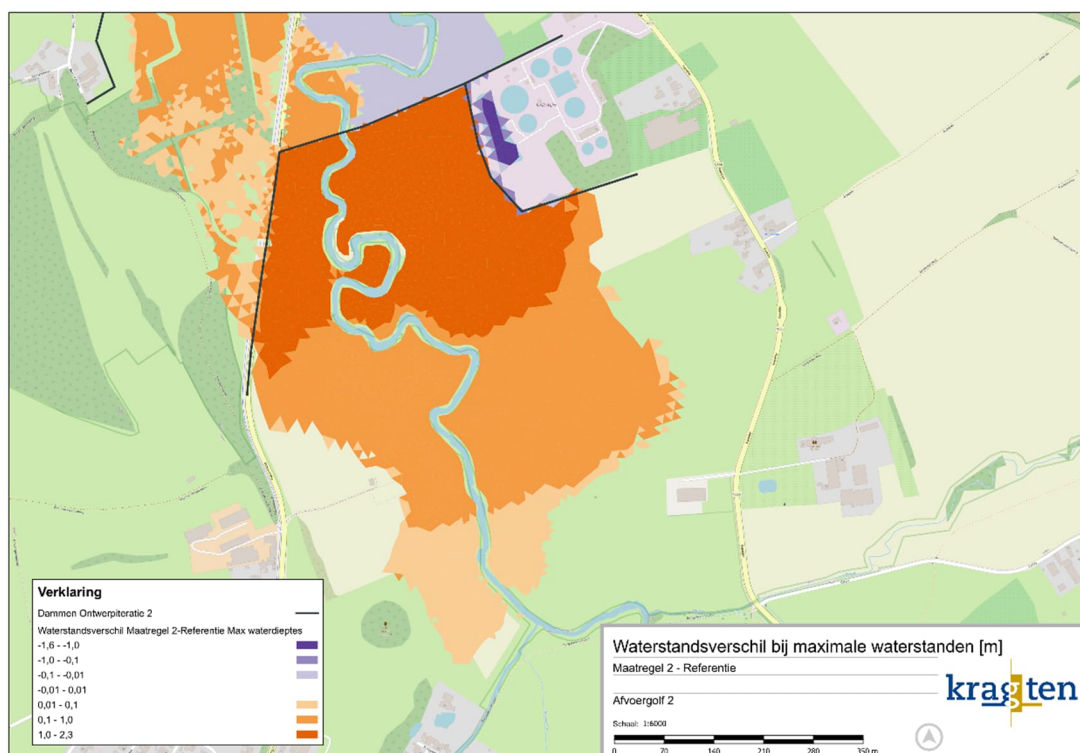
Figuur 13. Waterstandsverschillen tussen Maatregel 2 en de referentiesituatie bij maximale waterstanden nabij Wijlre Noord, afvoergolf 2.



Figuur 14. Waterstandsverschillen tussen Maatregel 2 en de referentiesituatie bij maximale waterstanden nabij Wijlre, afvoergolf 2.



Figuur 15. Waterstandsverschillen tussen Maategel 2 en de referentiesituatie bij maximale waterstanden nabij Kasteel Wijlre, afvoergolf 2.



Figuur 16. Waterstandsverschillen tussen Maategel 2 en de referentiesituatie bij maximale waterstanden nabij Kapolder, afvoergolf 2.