

Bijlage 1: Oppervlaktewatermodellering Gulp

Notitie / Memo

**HaskoningDHV Nederland B.V.
Water**

Aan: WL, Ralf Dinnesen
Van: Paul Aalders, Lisa Weijers, Harm Nomden
Datum: 20 december 2019
Kopie:
Ons kenmerk: BG1660WATNT1912241513
Classificatie: Projectgerelateerd

Onderwerp: Oppervlaktewatermodellering Gulp

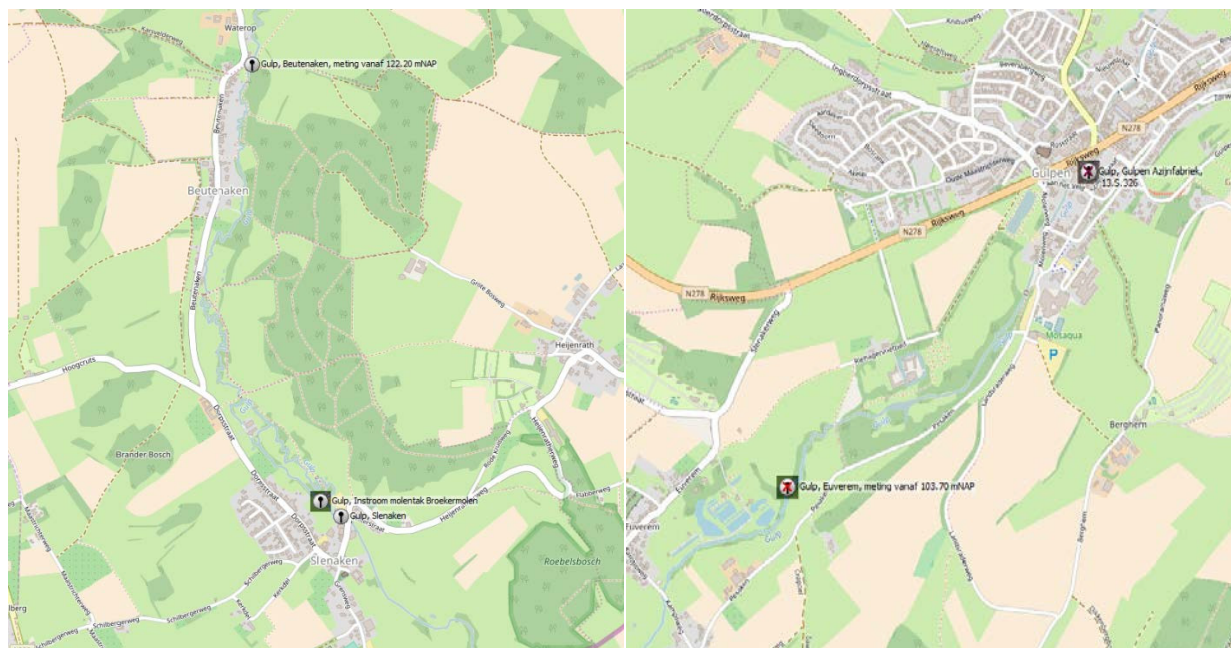
1 Inleiding

Waterschap Limburg, Gemeente Gulpen-Wittern, Provincie Limburg en Staatsbosbeheer hebben in 2016 op bestuurlijk niveau een (project-)stuurgroep opgericht om te komen tot een maatregelenpakket ter voorkoming van toekomstige wateroverlast te Slenaken zoals in 2012 is opgetreden. Op globaal niveau zijn binnen deze samenwerkingsovereenkomst maatregelen bedacht. Het waterschap heeft Royal HaskoningDHV eind 2018 gevraagd voor een nadere beschrijving, onderbouwing en uitwerking van deze maatregelen. Voor een aantal van deze maatregelen is een hydraulische onderbouwing met een SOBEK-model uitgevoerd. Dit memo geeft een beschrijving van de modelverbeteringen, uitgangspunten en -berekeningen die zijn uitgevoerd om het ontwerpproces te ondersteunen en is daarmee een bijlage van het overkoepelende rapport (Royal HaskoningDHV, 2019). In het overkoepelende rapport zijn de relevante resultaten van de maatregel berekeningen opgenomen, zodat in dit memo wordt volstaan met het puntsgewijs beschrijven van de gekozen uitgangspunten, achtergronden en resultaten bij de oppervlaktewatermodellering.

2 Modelverbeteringen

Deze paragraaf beschrijft de modelverbeteringen aan het model van de Gulp. Hiervoor zijn onder andere nieuwe inmetingen van het beekprofiel (LievenseCSO, 2018) in het aanwezige model toegevoegd. Daarna is het model zodanig aangepast om de resultaten te laten overeenkomen met de extreme situatie op 29 juli 2012. Het bestaande model, de waterstands- en afvoermetingen en de in kaart gebrachte inundatiezone zijn gebruikt om het model zo goed mogelijk te kalibreren.

Er zijn een aantal waterstandsmeetpunten beschikbaar in de Gulp: bij Slenaken (13.H.25), Instroom molentak Broekermolen (13.H.26), Beutenaken (13.H.229) en Euverem (13.H.230). Daarnaast worden de gemeten waterstanden van meetpunt Azijnfabriek in Gulpen omgerekend naar afvoeren. Zie Figuur 1, Figuur 2. De stations van Beutenaken en Euverem zijn echter pas sinds 2015 operationeel en hebben voor de afvoergolf van 2012 dus geen metingen.



Figuur 1: Locatie meetstations Gulp Slenaken (13.H.25), Gulp, Instroom molentak Broekermolen (13.H.26) en Gulp, Beutenaken (13.H.229)
Figuur 2: Locatie meetstations Gulp, Euveren (13.H.230) en Gulp, Gulpen Azijnfabriek (13.Q.34)

De volgende stappen waren ten doel gesteld in het modelverbeterplan (referentie: BG1660WATNT1807271457 van 27/7/2018)

- 1 Updaten dimensies kunstwerken aan de hand van de inmetingen en de legger. Na gesprek met waterschap Limburg bleek dit niet nodig te zijn. De benoemde inconsistenties tussen model en legger bleken te liggen aan fouten in de legger.
- 2 Nieuwe ingemeten profielen (van LievenseCSO) verwerken in het model.
- 3 Aanpassing bovenstroomse randvoorwaarde: eerste voorlopige aanpassing doen aan de afvoergolf met het huidige model zodat de piek en staart aan de benedenstroomse zijde zo goed mogelijk overeenkomen met de gemeten afvoeren.
- 4 Vergelijking waterstanden model met de gemeten waterstanden tijdens de afvoergolf bij de meetpunten Slenaken, instroom Broekermolen en Azijnfabriek Gulpen .
- 5 Vergelijking maximaal gesimuleerde waterstanden met de maximale opgetreden waterstanden ingemeten door waterschap. Dit zal plaatsvinden op ongeveer iedere 500 meter. Dit zal gebeuren aan de hand van de gegenereerde inundatiekaart van de huidige situatie.
- 6 Calibratie van de ruwheden in het model op basis van waterstandsmetingen met steeds een check of de benedenstroomse afvoer nog klopt. Zonodig wordt de bovenstroomse rand nog een keer aangepast.

3 Info met betrekking tot modelverbeteringen

3.1 Verbetering schematisatie

Verbeterstap 2: Profielen

De nieuwe profielen ingemeten door LieveenseCSO (juli 2018) zijn verwerkt in het model.

Additionele tussenstap: update 2D hoogte grid

Het 2D hoogte grid is geupdate: van het oude grid (resolutie 5x5m) gebaseerd op AHN-1, naar een nieuw 2D grid (ook 5x5m) gebaseerd op AHN-2 van het complete guldal. Dit bleek noodzakelijk omdat uit diverse observaties bleek dat het bestaande 2D hoogtetgrid niet overeenkwam met de werkelijkheid. Voor de uitwisseling tussen 1D en 2D is de optie “lowest embankment” gebruikt in plaats van “no embankments”. Hierdoor stroomt er pas water vanuit het 1D profiel naar het 2D grid wanneer de waterstand hoger is dan 1 van laagste insteken in het 1D profiel.

3.2 Calibratie van het model

De calibratie van het model op de afvoergolf van 2012 bestaat uit de volgende stappen die iteratief zijn uitgevoerd om zowel de gesimuleerde waterstanden te laten overeenkomen met de metingen bij Slenaken en instroom Broekermolen, de gesimuleerde afvoer in Gulpen met de gemeten (afgeleide) afvoer en de inundatieextent.

Verbeterstap 3: Aanpassing bovenstroomse randvoorwaarde

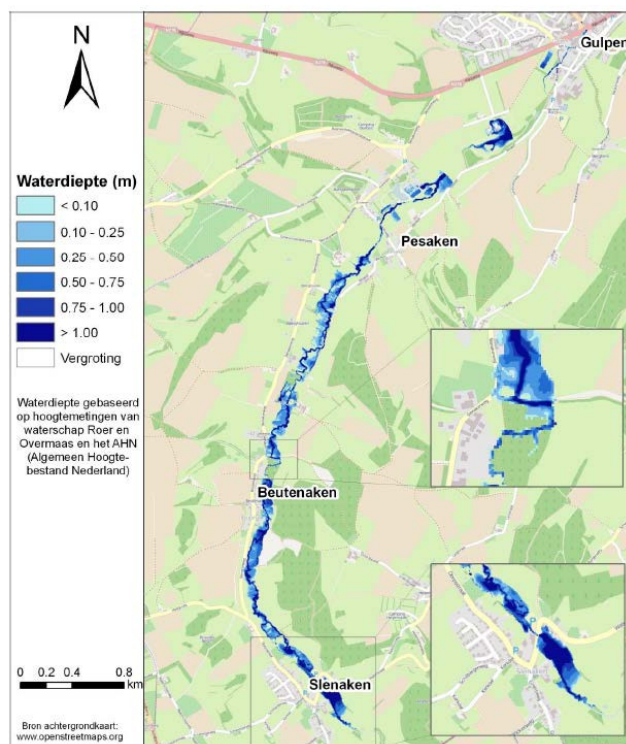
Aan de bovenstroomse randvoorwaarde is enkele malen gedraaid, de golf is qua vorm en volume aangepast. Dit om te zorgen dat er de juiste hoeveelheid inundatie plaats vindt, maar ook om de juiste gemeten uitstroom uit het guldal (door Gulpen) te simuleren. Het cumulatief gemeten volume dat het gebied verlaat tijdens de golf ligt rond de 135.000 m³, echter blijkt er nog redelijk veel water in het gebied achter te blijven.

Verbeterstap 4: Vergelijking gesimuleerde waterstanden met de metingen bij Slenaken en instroom Broekermolen

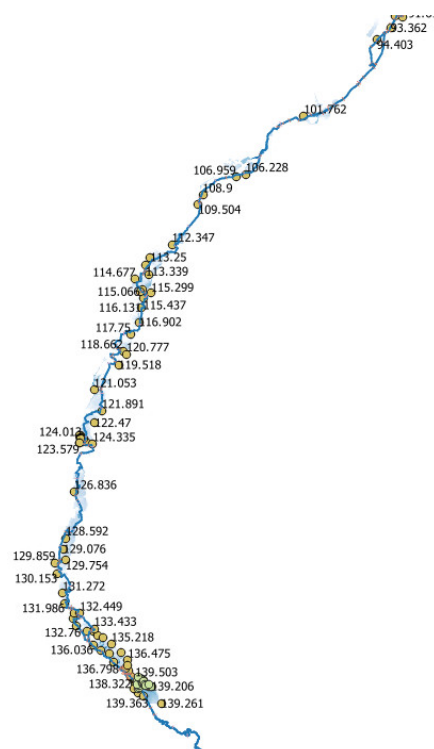
De vergelijking met de gemeten waterstanden bij Slenaken en instroom Broekermolen is gemaakt en het bleek dat de gesimuleerde waarden in het begin erg afwaken. Na invoegen nieuwe profielen en de wijziging van het 2D grid werden de waterstanden veel representatiever voor de opgetreden situatie. Vervolgens is gekalibreerd middels het wijzigingen van de ruwheden in het 1D profiel en op het 2D hoogtetgrid. Daarnaast is de afvoergolf nog enkele malen een klein beetje aangepast om de afvoergolf zo goed mogelijk te representeren.

Verbeterstap 5: Maximaal inundatieniveau vergelijken met maximaal gemeten waterstand

Over de hele lengte van het Guldal is de maximale waterhoogte door het waterschap in beeld gebracht. Op basis daarvan is een inundatiekaart gemaakt inclusief waterdieptes (zie Figuur 3 en Figuur 4. Aan de hand van deze inundatiekaart wordt gekeken of op bepaalde plekken in het systeem de inundatie onderschat wordt.



Figuur 3: Kaart met indicatieve overstromingsvlakken, afgeleid uit een veldinventarisatie door het waterschap en AHN-1 (bron: rapport Deltares)



Figuur 4: Loop van de Gulp met de ingemeten maximaal opgetreden waterstanden tijdens 2012 afvoergolf

Verbeterstap 6: Calibratie van de ruwheden in het model met zo nodig aanpassing bovenstroomse randvoorwaarde.

De calibratie van de ruwheid kan middels het 1D profiel en het 2D grid. Bij het verruwen van het 1D profiel en het 2D grid worden de waterstanden hoger, gaat de afvoergolf langzamer door het system en vind er sneller en hogere inundatie plaats.

Ruwheid 1D profiel

De ruwheid in het model op de 1D reach profielen is verhoogd van n (Manning) = 0.07 naar n (Manning) = 0.1. Dit is gebaseerd op de volgende redeneringen:

- Uit de rapportage van Deltares en uit de gesprekken met de hydrologen van waterschap Limburg, blijkt dat de beek in juni 2012 sterk begroeid was en er tijdens de afvoergolf veel takken en dergelijke de afvoer hebben opgehouden. Dit is een sterke indicatie dat de ruwheid van de beek hoger was dan normaal.
- Een andere indicatie voor een hogere ruwheid was de onderschatting van de waterstanden door het model onder normale (lage) afvoeren. Deze gesimuleerde waterstanden kunnen verhoogd worden, middels een hogere ruwheid.
- De simulaties laten zien dat de totale inundatiezone in het gebied onderschat werd. Dit werd geconcludeerd uit vergelijking met de inundatiekaart

Ruwheid 2D grid

Op advies van het waterschap is ook gekeken naar het verruwen of gladder maken van het 2D grid. Vanuit het oogpunt dat het sterker begroeid was dan een gemiddelde situatie omdat de 2012 flash flood

plaatsvond in de zomerperiode (hoge gewassen gezien vanuit groeiseizoen), kan ook hier geconcludeerd worden dat een hogere ruwheid begrijpelijk zou zijn. Een factor 2 voor verruwen en gladder maken is gebruikt om de gevoeligheid in kaart te brengen.

Afvoergolf bovenstrooms

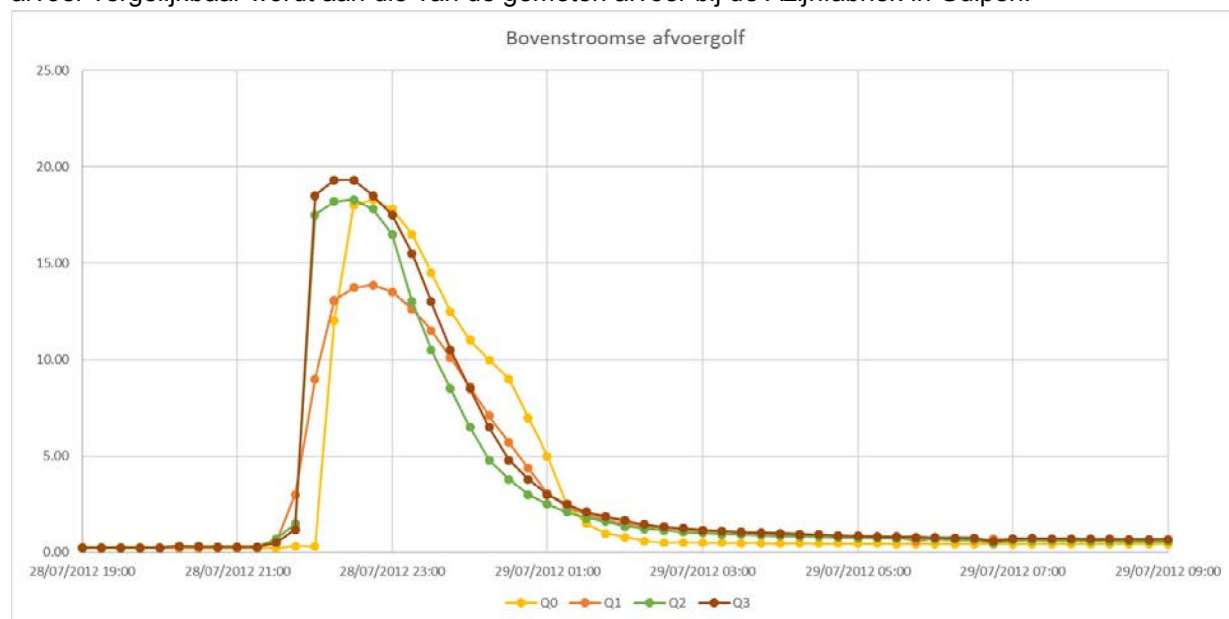
De afvoergolf bovenstrooms is diverse malen aangepast om na aanpassing van de ruwheden, weer de juiste uitstroming uit het gebied te krijgen, conform de metingen. Het wijzigen van de ruwheden heeft snel een impact op de vertraging van de golf en de hoeveelheid water die achter blijft in het gebied, waardoor de afvoergolf die uit het gebied stroomt bij Gulpen zowel veranderd in vorm, in hoogte en in totaal volume.

4 Resultaten calibratie

Afvoeren

Bovenstroomse afvoer

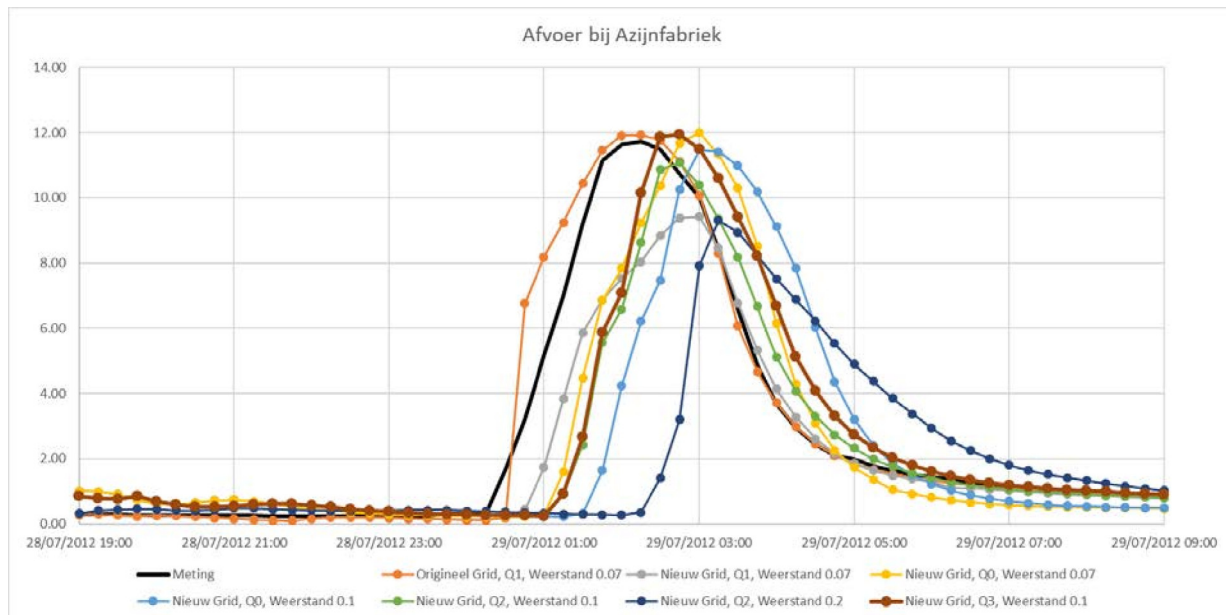
In onderstaande figuur staan de verschillende afvoertijdseries voor de bovenstroomse rand van het systeem. De originele afvoer Q0 uit de vorige studie is opgenomen als referentie. Deze is tot 3 maal toe aangepast (Q1, Q2 en Q3) om na het aanpassen van de ruwheden te zorgen dat de benedenstroomse afvoer vergelijkbaar wordt aan die van de gemeten afvoer bij de Azijnfabriek in Gulpen.



Figuur 5: Tijdseries bovenstroomse instroom in het Gulpdal. Q3 is uiteindelijk de afvoertijdserie waar we op uit zijn gekomen.

Benedenstroomse afvoer (gemeten)

De tijdserie van de benedenstroomse uitstroom is gepresenteerd in onderstaande figuur voor verschillende cases. Na aanpassing van het 2D grid is de uitstroomgolf (grijs) vertraagd en ook lager geworden en is het totale uitstroomvolume ook significant lager geworden. Na enkele iteraties met verandering van de ruwheid in het 1D grid (n (Manning) veranderen van 0.07 en 0.10 en 0.20), blijkt dat n (Manning) = 0.10 met aanpassing van de afvoergolf, een goede golf oplevert.



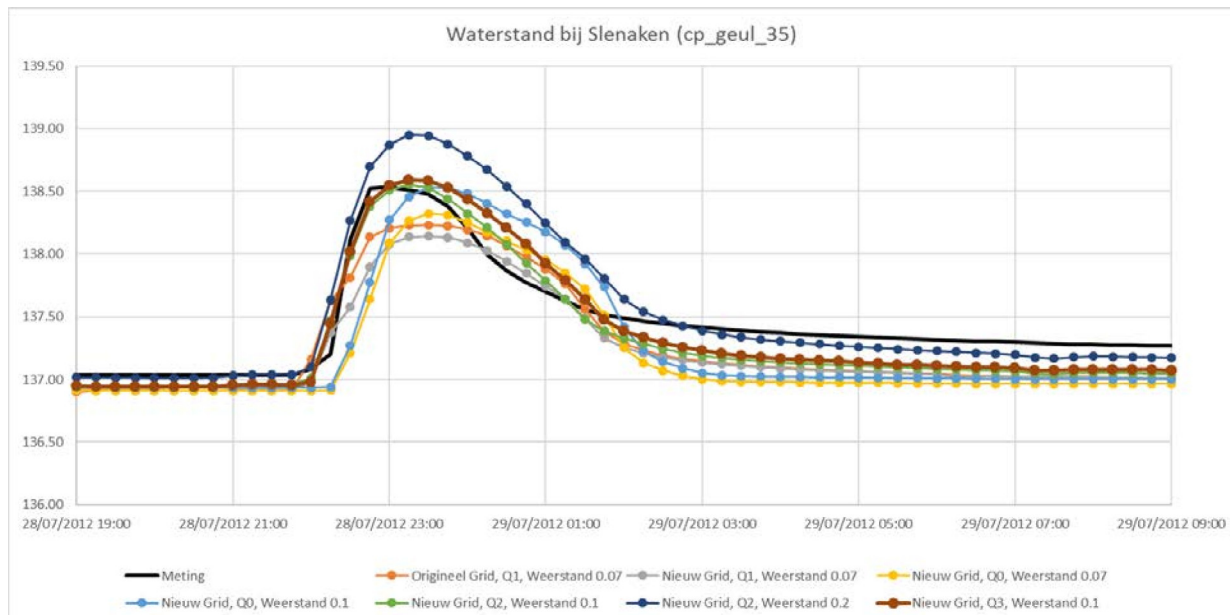
Figuur 6: Tijdsreeks benedenstroomse uitstroom bij Aziijnfabriek in Gulpen. Eindresultaat calibratie: Nieuw grid, Q3, Weerstand 0.1

Waterstanden

Slenaken

Onderstaande figuur presenteert de gesimuleerde waterstand bij het meetpunt Slenaken. Hieruit blijkt:

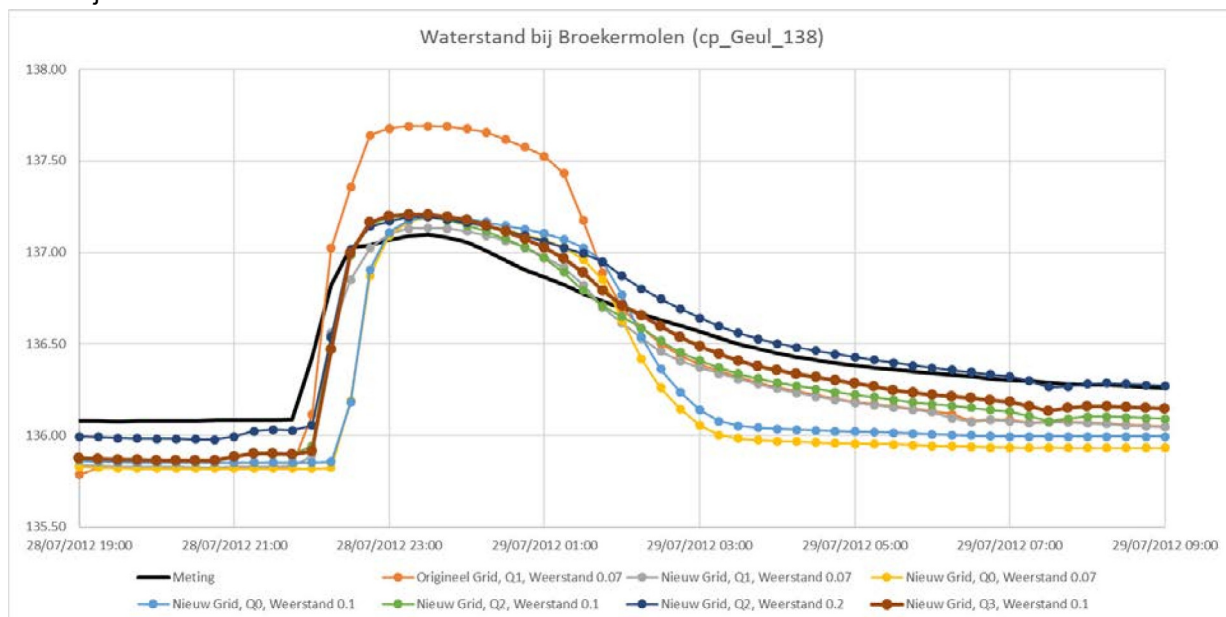
- Waterstanden voor en na de golf worden consequent licht onderschat.
- Door verhogen en versmallen van de piekafvoer is het mogelijk om de piek gelijk te laten lopen met de metingen.
- Verhogen van de ruwheid in het 1D profiel naar n (Manning) = 0.10 zorgt ervoor dat de maximale waterstand goed is. Verruwing tot n (Manning) = 0.2 leidt tot overschatting van de waterstand.
- De staart geeft nog niet exact het goede verloop: eerst lichte overschatting, daarna lichte onderschatting vergeleken met de gemeten waterstand.



Figuur 7: Waterstand bij meetpunt Slenaken (net benedenstrooms van de brug). Eindresultaat calibratie: Nieuw grid, Q3, Weerstand 0.1

Instroom Broekermolen

Onderstaande figuur presenteert de gesimuleerde waterstanden in vergelijking met de metingen bij de instroom van Broekermolen. De grootste aanpassing is zichtbaar bij de aanpassing van het 2D grid. Hierdoor is de instroomhoogte richting Broekermolen duidelijk verbeterd, boven de 137.00 m+NAP stroomt het overtollige water de instroom in, wat ervoor zorgt dat de waterstand nauwelijks hoger wordt. Aanpassingen van ruwheden etc. hebben nauwelijks invloed op de waterstand, al beïnvloeden die natuurlijk wel de hoeveelheid afvoer die door de Broekermolen zal stromen.



Figuur 8: Waterstand bij meetpunt Instroom Broekermolen. Eindresultaat calibratie: Nieuw grid, Q3, Weerstand 0.1

Inundatie extent

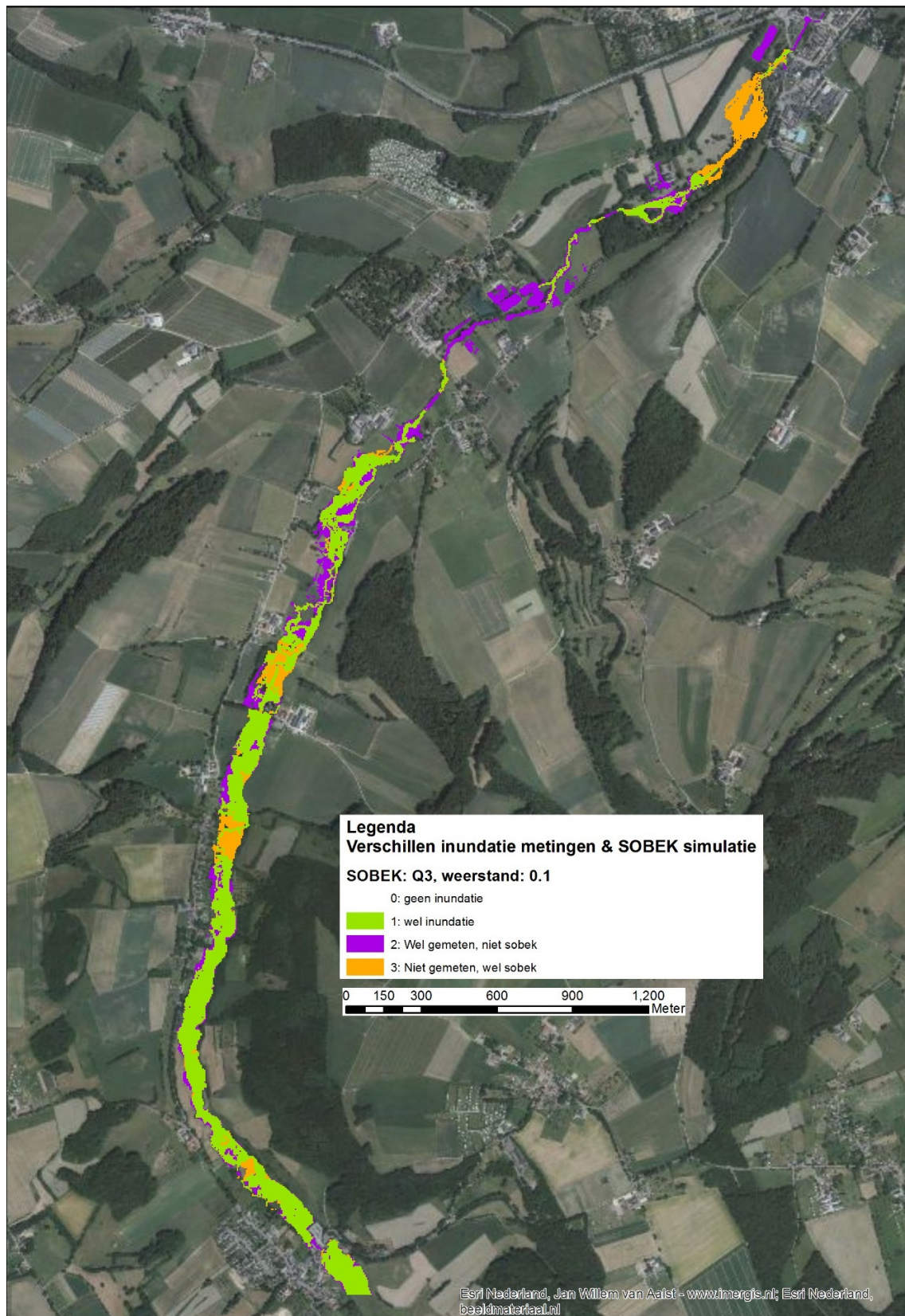
De inundatie extent is weergegeven in de figuur op de volgende pagina. De aangeleverde kaart geeft een goede indicatie van de opgetreden inundaties, echter deze bevat ook een zekere onbetrouwbaarheid. De moeilijk toegankelijke locaties zijn destijds niet optimaal bemeten.

Er is een vergelijking gemaakt met de originele inundatie kaart op basis van de ingemeten waterhoogtes, waarbij is weergegeven wanneer de inundatie overeenkomt (groen), of de simulatie de inundatie onderschat (paars) en of de simulatie de inundatie overschat (oranje).

Hieruit blijkt dat de inundatie goed wordt gesimuleerd in het bovenstroomse gebied rond Slenaken, Broekermolen tot Beutenaken. Vanaf Beutenaken tot aan Gulpen lijkt de inundatie op veel plekken onderschat te worden in de simulatie (paars)

3 oranje vlakken zijn te herkennen:

- In Beutenaken inundeert de SOBEK-simulatie ook de bossen bij Waterop, terwijl die niet ingemeten was (dit kan ook komen door verschil in gebruikte hoogtemodel bij analyse Deltares).
- Tussen Waterop en Billinguizen simuleert SOBEK ook inundaties rond de beek, waar de inmetingen geen inundatie lieten zien. Ook hier gaat het om bebost gebied, wat mogelijk een verschil opleverde in de gebruikte hoogtekaart.
- Ten zuiden van Gulpen simuleert SOBEK inundaties in het gebied net bovenstrooms van de bypass. Hier zit een overlaat, waarvan de hoogte is gecheckt, maar door gebrek aan verdere metingen is hier verder niet naar gekeken.

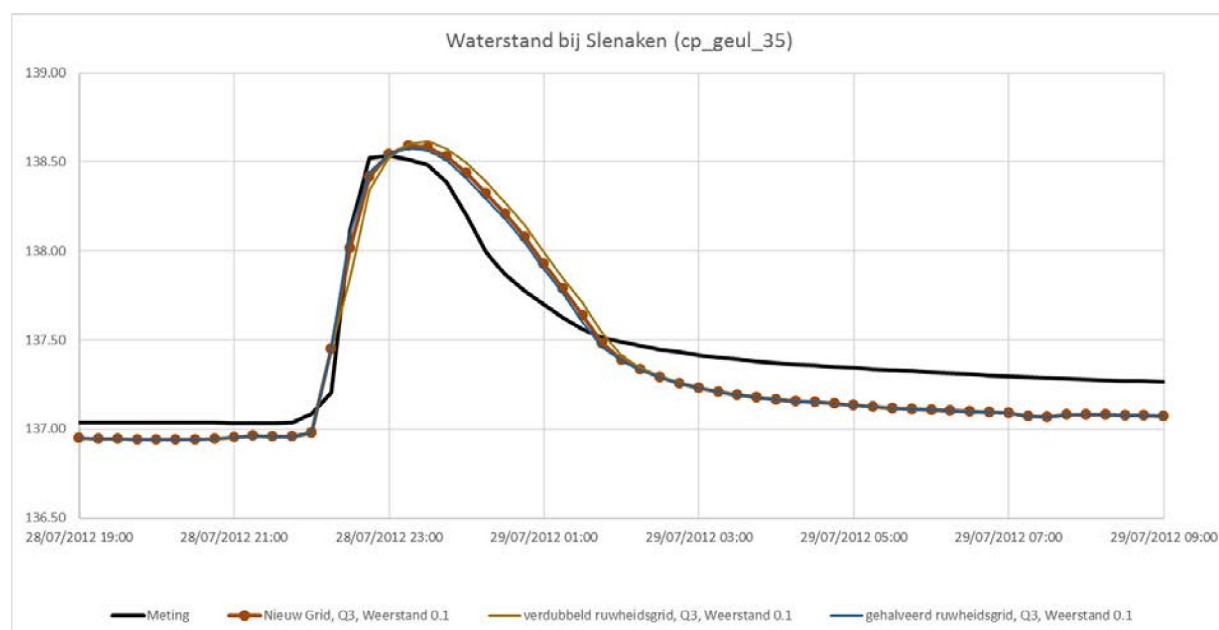


Figuur 9: Inundatiekaart: vergelijking simulatie resultaat met door Deltares gegenereerd inundatiekaart op basis van ingemeten maximale waterhoogte. Eindresultaat calibratie: Nieuw grid, Q3, Weerstand 0.1

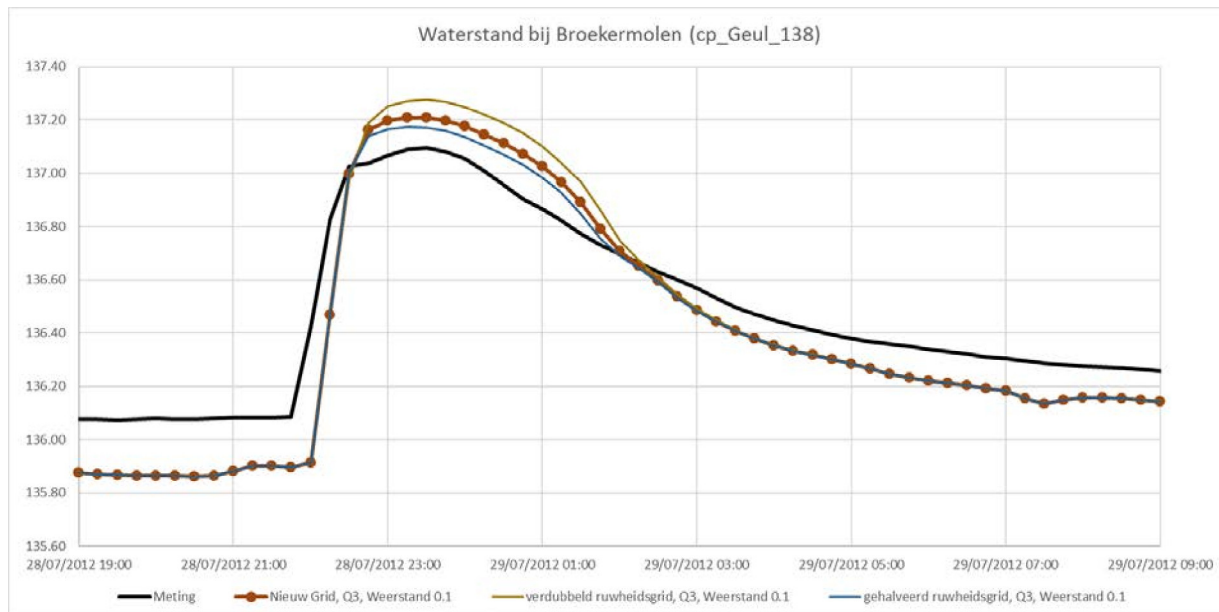
Impact ruwheid 2D hoogtegrid

Om de gevoeligheid van de ruwheid van het 2D grid op het resultaat in kaart te brengen, is de ruwheid verdubbeld en gehalveerd en zijn daarmee sommen gedraaid. In onderstaande figuren is de invloed op waterstanden, benedenstroomse afvoer en inundatiekaart te zien voor de laatste som van de calibratie. Hieruit kan worden geconcludeerd:

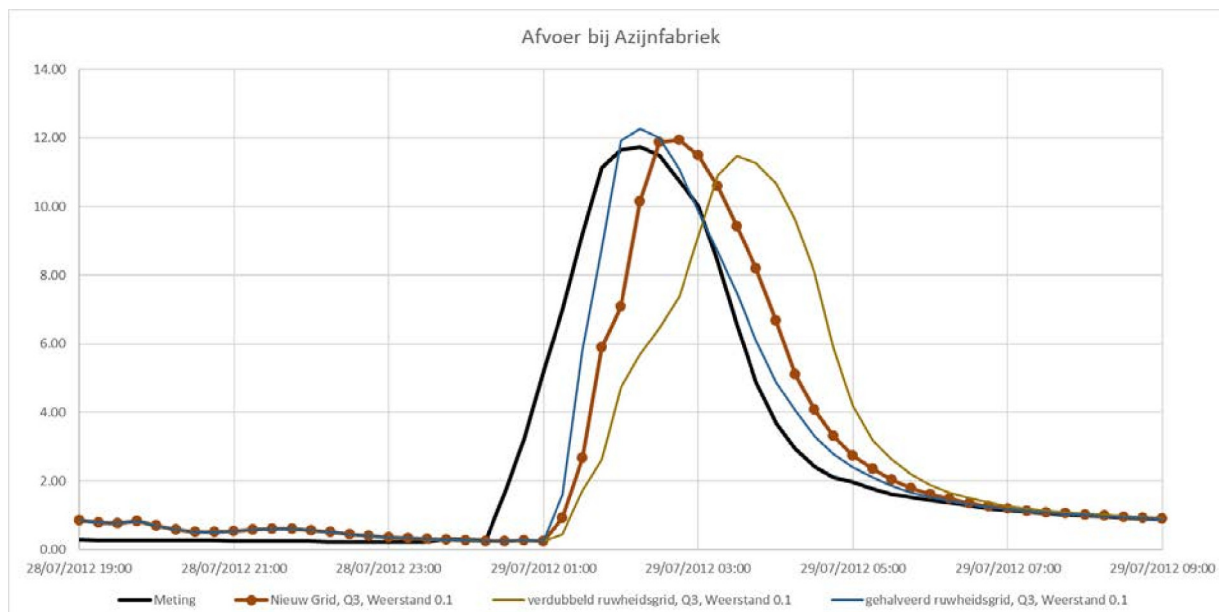
- Invloed op de waterstand is beperkt, tot maximaal 8 cm bij Slenaken en instroom Broekermolen. Op lage waterstanden heeft dit logischerwijs geen impact.
- Hogere ruwheid 2D grid vertraagt en vervormt de afvoergolf en houdt meer water vast in het gebied, waardoor het totaalvolume wat uitstroomt tijdens de afvoergolf lager wordt. Het vastgehouden volume wordt later afgevoerd.
- Inundatiekaart veranderd licht door wijziging ruwheid 2D grid. Het ruwere 2D grid leidt tot iets meer inundatie over het hele traject, al blijven de conclusies gelijk: bovenstrooms van Beutenaken is de inundatie goed, verder benedenstrooms wordt de inundatie onderschat.



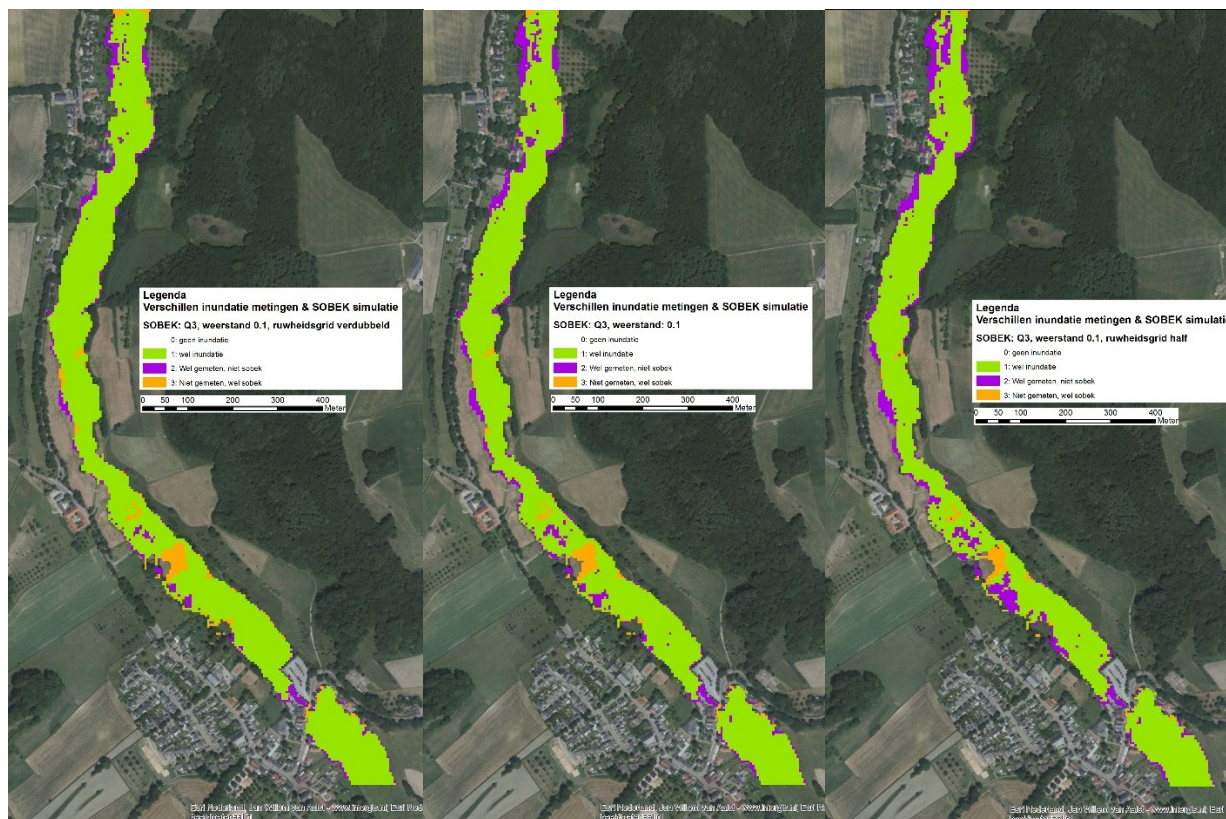
Figuur 10: Waterstand meetpunt Slenaken (net benedenstrooms van de brug). Gevoeligheid ruwheid 2D grid: normaal, verdubbeld, gehalveerd.



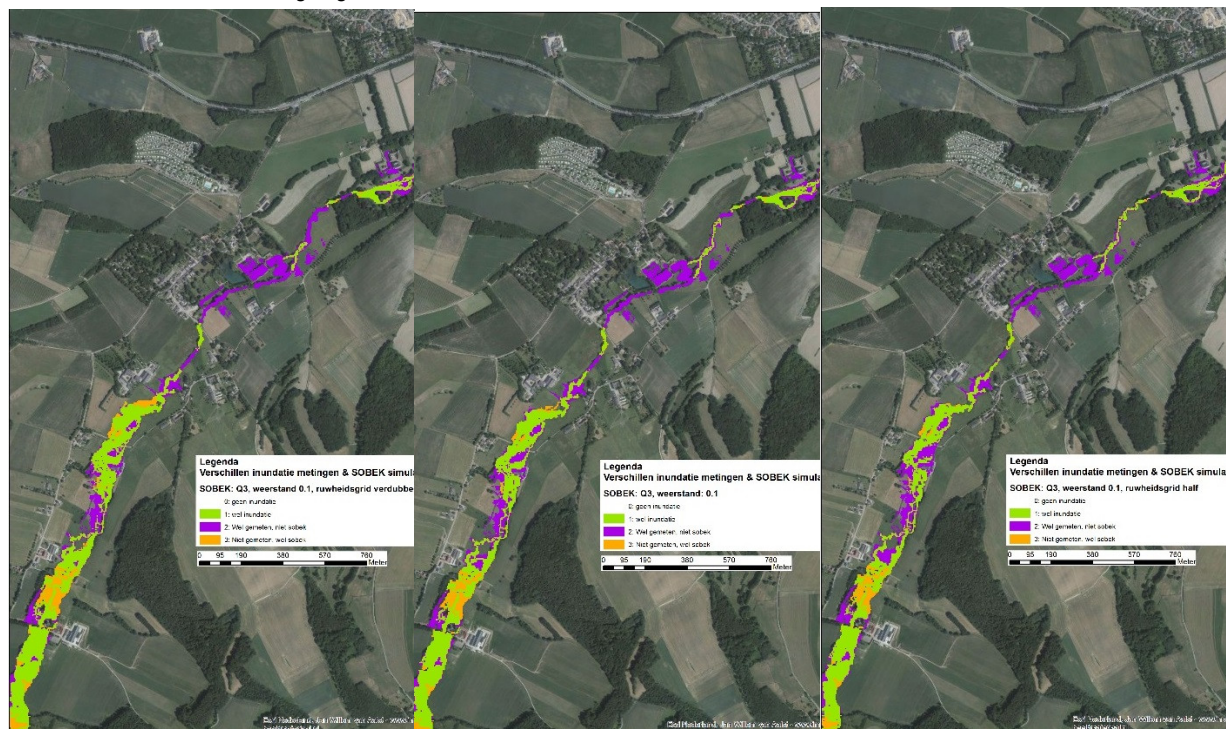
Figuur 11: Waterstand meetpunt instroom Broekermolen. Gevoeligheid ruwheid 2D grid: normaal, verdubbeld, gehalveerd.



Figuur 12: Afvoer meetpunt Azijnfabriek Gulpen. Gevoeligheid ruwheid 2D grid: normaal, verdubbeld, gehalveerd.



Figuur 13: Inundatiekaart van bovenstroomse deel Gulp: vergelijking simulatie resultaat met door het waterschap vervaardigde inundatiekaart op basis van ingemeten maximale waterhoogte. Links: ruwheid 2D grid verdubbeld, Midden: Eindresultaat calibratie, Rechts: ruwheid 2D grid gehalveerd



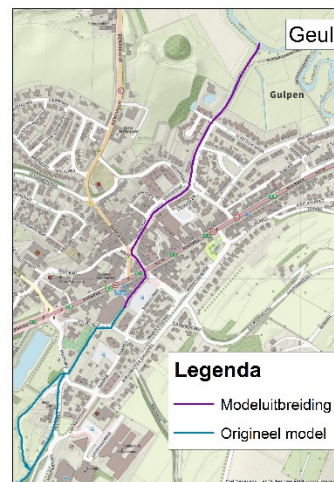
Figuur 14: Inundatiekaart van benedenstroomse deel Gulp: vergelijking simulatie resultaat met door Deltares gegenereerd inundatiekaart op basis van ingemeten maximale waterhoogte. Links: ruwheid 2D grid verdubbeld, Midden: Eindresultaat calibratie, Rechts: ruwheid 2D grid gehalveerd

5 Model uitbreiding in Gulpen

Ten behoeve van de vraag voor de effecten in Gulpen was het nodig om het model benedenstrooms verder uit te breiden. Hiervoor is gebruik gemaakt van het model van de hele Geul (GEU08c08.lit), zoals opgeleverd door het waterschap. De schematisatie is 1 op 1 overgenomen voor het resterende deel van de Gulp tot aan de Geul (Figuur 15).

Randvoorwaarde benedenstrooms

- De T100 situatie zat al in het Geul model, en is direct overgenomen als waterstand tijdreeks benedenstrooms.
- De randvoorwaarde van T25 is aangeleverd en direct overgenomen als waterstand tijdreeks.
- De randvoorwaarde in 2012 is niet gemeten, want waterstanden rondom de instroom van de Gulp in de Geul zijn pas in 2015 gestart. Wel is bekend dat het debiet in 2012 circa 16 m³/s bedroeg. Dit debiet is tevens gemeten op 01-06-2018. Uit de meetreeks van deze locatie (10.H.196) tijdens dit event bleek de maximale waterstand 88.53 m NAP. Voor het 2012 model is gekozen voor een vaste benedenstroomse waterstand van 88.53 m NAP. Hiermee wordt de piek betrouwbaar genoeg gesimuleerd, echter in de aanloop en uitloop van de piek worden de waterstanden in het benedenstroomse deel van het model overschat bij de 2012 berekeningen.



Figuur 15: Modeluitbreiding in Gulpen tot de Geul.

2D grids

Het originele model had een grid op basis van het AHN2, zoals eerder omschreven. Met dezelfde methodiek is het 2D hoogtetgrid uitgebreid tot aan de Geul. De benedenstroomse grens van het grid is dusdanig gekozen dat het water volledig via het 1D netwerk het model uit stroomt. Het moment van inunderen wordt bepaald door de laagste insteek van het 1D-profiel.

Het ruwheidsgrid is uitgebreid op basis van het hele Geul model (GEU08c08.lit). Eerst is vergeleken hoe de weerstanden in het Gulp model zich verhouden tot de weerstanden in het Geul model. In het Gulp model zaten maar 2 verschillende waarden, terwijl het Geul model er 4 had. Deze 4 waarden konden consistent worden omgezet tot de 2 waarden zoals die in het Gulp grid voorkwamen. Op deze wijze is het ruwheidsgrid op uniforme wijze uitgebreid tot de Geul.

Overige aanpassingen/opmerkingen

Er is 1 node ("4") uit het model verwijderd in Gulpen. Dit was een node met een gekopieerd profiel en een cross level shift, vlakbij de oude benedenstroomse model rand. Met de uitbreiding van het model lag deze node niet meer natuurlijk in het lengteprofiel.

Het kunstwerk wst_S_13_001_0125s is verplaatst. Dit betreft een vaste overlaat welke deel is van een samengesteld kunstwerk samen met wst_S_13_001_0125. De vaste overlaat is ruimtelijk dichterbij het andere kunstwerk geplaatst. Dit was mogelijk omdat het grid fijner is dan een oudere versie van dit model. Nieuwe locatie: X: 190290.7, Y: 313516.4.

6 Conclusies modelverbeteringen en vervolg

Het model van de Gulp is sterk verbeterd en gekalibreerd voor de flash flood situatie zomer 2012. Bovenstrooms (globaal traject met Slenaken, Beutenaken) presteert het model goed, benedenstrooms

(globaal traject met Pesaken, Gulpen) zijn de resultaten minder betrouwbaar. Er zijn verschillende denkrichtingen waarom het model daar minder goed presteert:

- Laterale toestroom zit niet op het model. Het model gaat uit van een flash flood geschikt voor Slenaken. Vermoedelijk heeft het toch geregend in Nederland.
- Er zijn geen meetpunten op het benedenstroomse traject m.u.v. één punt in Gulpen. De overstromingscontour van 2012 is niet 100% betrouwbaar.
- Het ruwheidsgrid is niet geoptimaliseerd alleen met gevoeligheidsanalyse beschouwd. Benedenstrooms zou dit nog tot een verbetering kunnen leiden, echter dit kan dan alleen in combinatie met extra afvoer (lateraal debiet, aanpassing golf bovenstrooms) omdat anders het debiet in Gulpen helemaal niet meer klopt. Dit is uit de gevoeligheidsanalyse geconcludeerd.

Voor het vervolgtraject zijn in overleg met het waterschap de volgende afspraken gemaakt met betrekking tot de modelberekeningen van de maatregelen:

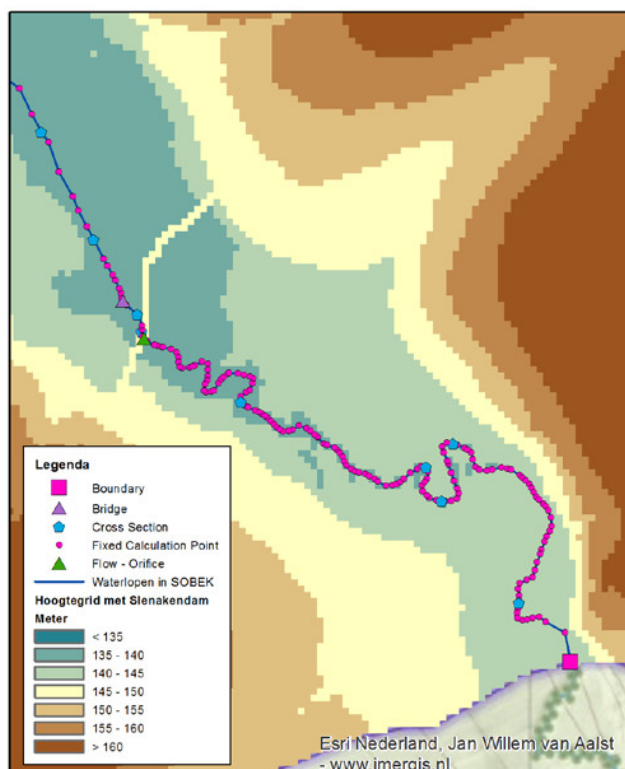
- De verbeterde modelgolf 2012 wordt gebruikt voor de berekeningen rondom Slenaken. Het model van de 2012 situatie presteert benedenstrooms minder goed, maar dit is niet erg omdat deze situatie alleen voor de betreffende flash flood relevant is. De maatregelen die hierbij horen zijn de Slenaken dam en lokale maatregelen (bv. muurtjes) in Slenaken zelf.
- Maatregelen benedenstrooms Slenaken hebben als doel de wateroverlast in Gulpen te beperken. Deze worden getoetst met de T25 en T100 afvoersituaties aangezien er dan knelpunten in Gulpen optreden.
- Het model wordt benedenstrooms uitgebreid in Gulpen aangezien ook een T25 en T100 situatie worden doorgerekend en deze knelpunten in Gulpen veroorzaken. De maatregelen benedenstrooms Slenaken worden hieraan getoetst. Ook de referentiesom van de 2012 situatie is met het verlengde model opnieuw doorgerekend. Voor de berekeningen aan de maatregelen benedenstrooms Slenaken gelden aanvullende uitgangspunten:
 - Er wordt geen volledige knelpuntanalyse in Gulpen uitgevoerd. Vereenvoudigde analyses geven een eerste inzicht in de effectiviteit van de maatregelen op de wateroverlast problematiek in Gulpen. De wateroverlast problematiek wordt opgehangen aan 2 locaties in Gulpen waar de maximale waterstand wordt gepresenteerd en het inundatiebeeld in Gulpen.
 - Het model wordt niet aanvullende gekalibreerd voor wintersituaties T25 en T100. Er wordt een weerstand van 0,04 (Manningcoëfficiënt) gehanteerd.
 - Centrumplan Gulpen wordt niet meegenomen in de modellering. De schematisatie is gelijk aan de huidige situatie.

7 Resultaten maatregelen

7.1 Slenaken dam: 2012 situatie

De maatregel Slenaken dam is zowel in het 1D als 2D model verwerkt. Hierbij zijn in overleg met het waterschap de volgende uitgangspunten gehanteerd:

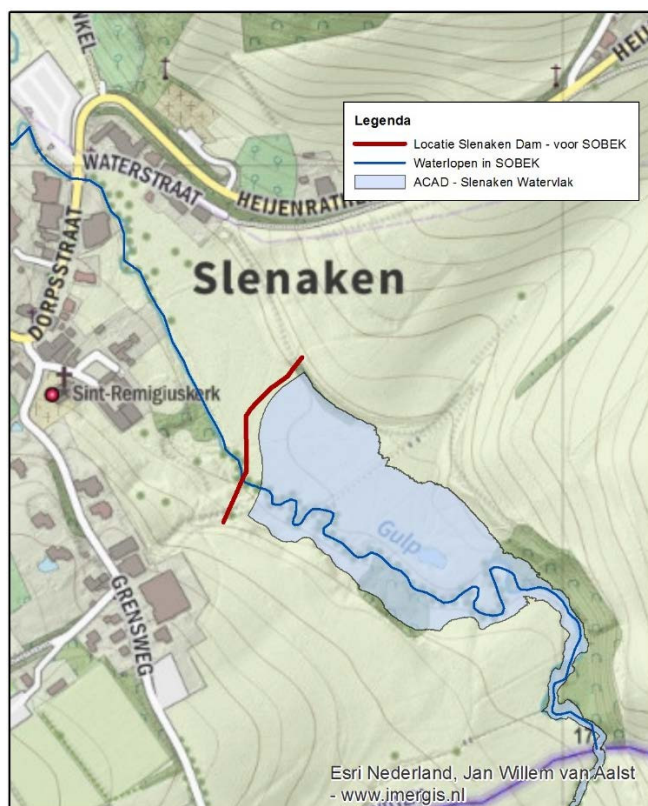
- De verbeterde afvoergolf van 2012 is als bovenstroomse belasting gebruikt. De maatregel Slenaken dam heeft als doel de wateroverlast van de flash flood 2012 te beperken. De gekalibreerde 1D-weerstand (hoofdstuk 4) is hiervoor gebruikt, dit past bij een zomersituatie.
- De referentiebergings is gelijk aan de hoeveelheid inundatiewater van de huidige situatie. Hierbij zijn de maatregelen zelf (dam, regelwerk) buiten beschouwing gelaten.
- In het 2D-model is een verhoging van het hoogtegriid toegepast waar de dam komt te liggen, zodat het water achter de dam geborgen wordt. De hoogte van de dam is in het model overschat, zodat er geen water over de dam zou lopen tijdens de berekeningen. Op deze manier wordt de maximale waterstand in het bergingsgebied berekend en is de benodigde damhoogte een resultaat uit deze analyse. In het model is een damhoogte van 145.0 m NAP gehanteerd. De locatie van de schematisatie is te zien in Figuur 16.
- Het debiet wordt gereguleerd door middel van een kunstwerk in 1D. Voor de modellering in SOBEK is gekozen voor een orifice, omdat hiermee een maximaal debiet kan worden gehandhaafd. Er zijn 2 verschillende knijpdebieten gebruikt voor diverse analyses: 10 m³/s en 12 m³/s. De 10 m³/s heeft als doel effecten inzichtelijk te maken bij de meest efficiënte inzet van de berging. De 12 m³/s geeft inzicht op effecten ten behoeve van de lokale maatregelen. Uit het verloop van de afvoergolf die bovenstrooms op de Belgische grens aankwam volgt dat gedurende ongeveer 2 uur de 10 tot 12 m³/s wordt overschreden en dus gedurende die periode worden afgeknepen. Het afknijpen van het debiet tot een maximum waarde heeft tot gevolg dat dit maximum wel langer aanhoudt dan in de oorspronkelijk golf; hetzelfde volume moet namelijk wel door de uitlaat naar buiten met gemiddeld een lager debiet, dus dat gaat over een langere periode.



Figuur 16: Model schematisatie Dam Slenaken

- Voor het doorrekenen is de locatie van de Slenaken dam is de locatie vastgezet voor de hydrologische modellering. De precieze ligging & vorm van de dam is daarna nog enigszins aangepast. Uiteindelijk is een inrichtingsvoorstel van het dal bij Slenaken opgesteld, waarbij de retentiedam verholten in het landschap is opgenomen. Daarbij is ook een combinatie met vergraving aanwezig.

Om de gevoeligheid van een kleine verschuiving van de dam te bepalen is een berekening gemaakt. De locatie van de dam in SOBEK ten opzichte van de later technisch functioneel ontworpen ("ACAD locatie") dam zijn in kaart gebracht in Figuur 18. De berekening levert op dat maximale waterstand achter de dam toeneemt van 141,87 m NAP naar 142,02. Deze toename is in het ontwerp niet verder meegenomen. Het ontwerp is verder robuust opgezet met een waakhogte van 0,3 m op de dam en delen afgegraven, waarmee deze variaties kunnen worden opgevangen. In combinatie met afgraving is ook berekend dat de maximale waterstand 30 cm daalt.



Figuur 17: Verschil locaties Slenaken dam voor SOBEK en in ACAD

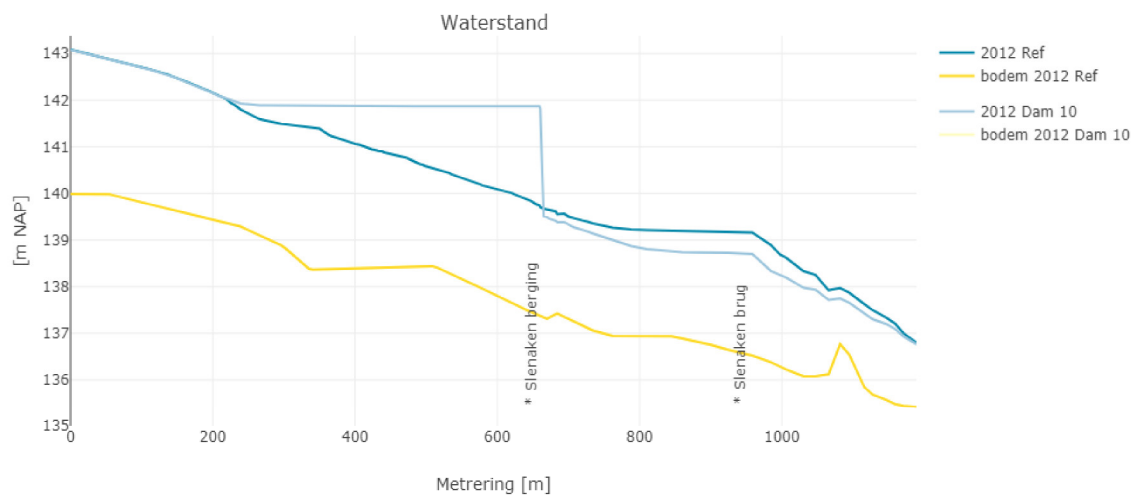
Resultaten Slenaken Dam

De resultaten van de som met de Slenaken Dam betreffen vooral de situatie in Slenaken zelf. Deze maatregel is namelijk bedoeld voor Slenaken en voor de overlast die bij een flash flood zoals in 2012 voorkomt. Bij een knijpdebiet van 10 m³/s stijgt het water in de berging tot 141,87 m NAP. In totaal wordt er 42.201 m³ extra waterberging gerealiseerd bij deze waterstand (dus: bovenop de 1584 m³ die tijdens de 2012 situatie al inundeerde in het gebied waar de dam ligt). De maximale waterstand en de effectieve berging bij een knijpdebiet van 12 m³/s zijn beide lager, respectievelijk 141,47 m NAP en 31.354 m³, zoals te zien in het overzicht in Tabel 1.

Voor de brug in Slenaken daalt de waterstand het meeste: 46 cm bij een knijpdebiet van 10 m³/s. Bij een knijpdebiet van 12 m³/s is dit 31 cm. Benedenstrooms van Slenaken daalt de maximale waterstand ook. De maximale waterstand in de Gulp tot en met Slenaken is zichtbaar in Figuur 18. De waterstand op diverse punten in de hele Gulp zijn in een overzichtstabel gezet (Bijlage 10.2).

Het inundatiebeeld rondom Slenaken wordt sterk aangepast bij het inzetten van de Slenaken Dam met een knijpdebiet van 10 m³/s van de dam inundeert de hele beekvlakte. Het beekdal ten noorden van de dam inundeert nog steeds, maar in significant mindere mate. Ten noorden van Slenaken neemt de hoeveelheid inundatie tevens af. Vanaf de bypass en rondom Broekermolen treedt de Gulp vrijwel niet meer buiten de oevers.

Slenaken - 2012 Referentie & Dam (knijpdebiet 10)



Figuur 18: Maximale waterstand in Slenaken, in 2012 Referentie en 2012 Slenaken dam (knijpdebiet 10 m³/s)

Tabel 1: Overzicht kerngetallen Slenaken dam

	Effectieve berging	Max waterstand	Damhoogte (waakhoogte 0,3m)	Overlaathoogte (noodoverlaat)
Knijpdebiet: 10m³/s	42.201 m³	141,87 m t.o.v. NAP	142,17 m t.o.v. NAP	NAP+141,97m
Knijpdebiet: 12m³/s	31.354 m³	141,47 m t.o.v. NAP	141,77m t.o.v. NAP	NAP+141,57m