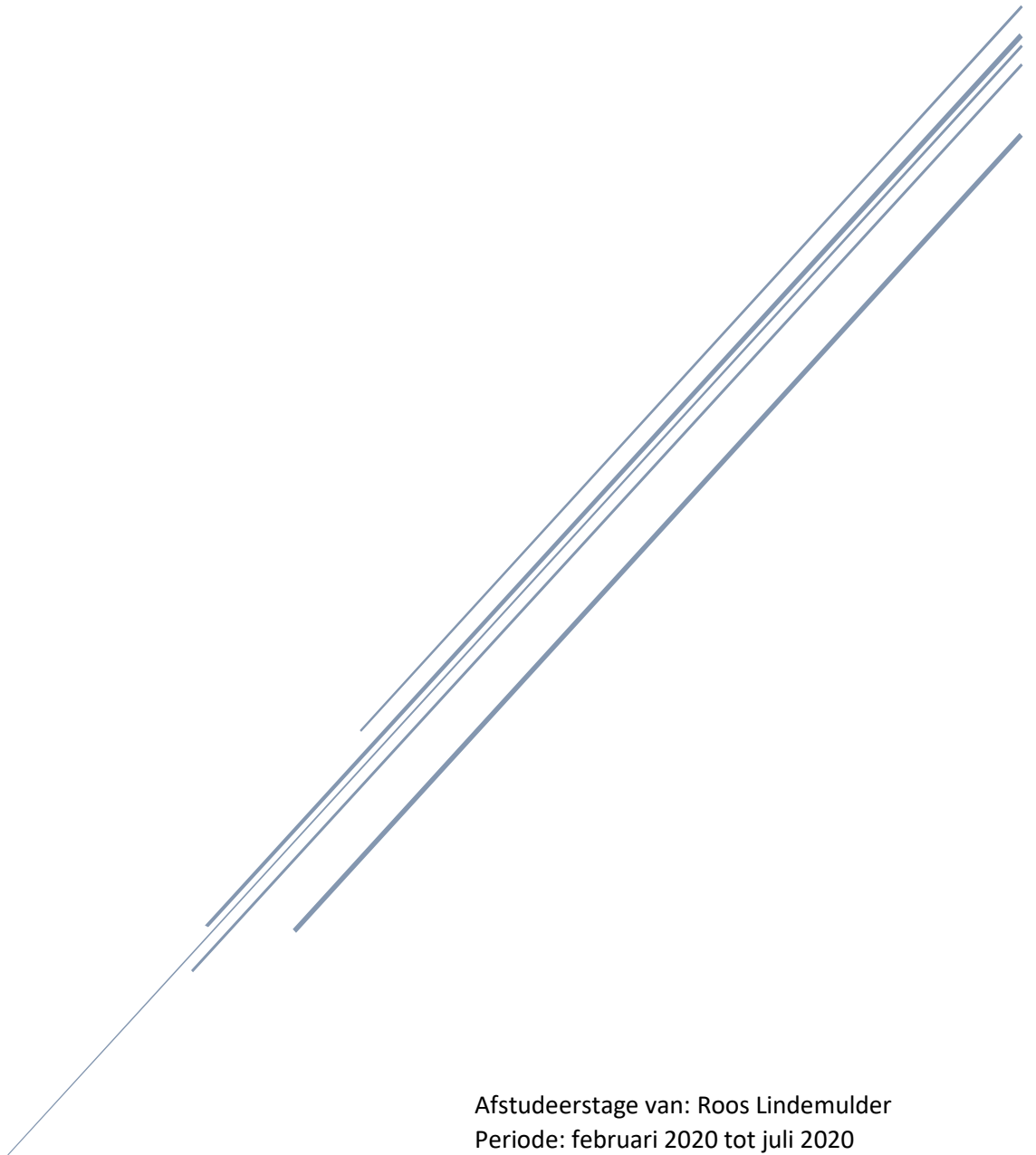


MODELLEREN VAN INUNDATIE

Definitieve versie

Onderzoek naar de verschillende methoden om inundatie in Sobek te modelleren



Afstudeerstage van: Roos Lindemulder
Periode: februari 2020 tot juli 2020
Aveco de Bondt
Hogeschool Van Hall Larenstein

Modelleren van inundatie

Onderzoek naar de verschillende methoden om inundatie in Sobek te modelleren

Status	Definitief
Plaats	Holten
Datum	09-juni-2020
Opdrachtgever	Aveco de Bont
Externe stagebegeleider	Thomas Mittring
Stage begeleidende docent	Anouk Berendsen-Sloot
Opleiding	Land- en Watermanagement
Major	Toegepaste Hydrologie
Opgesteld door	Roos Lindemulder
Studentnummer	000012815

Voorwoord

Voor de afronding van mijn studie, Land- en Watermanagement aan de Hogeschool Van Hall Larenstein, heb ik, Roos Lindemulder, een afstudeeronderzoek uitgevoerd voor Aveco de Bondt. Ik heb onderzoek gedaan van 3 februari 2020 tot 30 juni 2020. Voor het onderzoek heb ik mij verdiept in de verschillen tussen de vijf methoden van modelschematisatie die gebruikt zijn voor het bepalen van de inundatie van landbouwpercelen in Sobek.

Graag wil ik mijn begeleider, vanuit Aveco de Bondt, Thomas Mittring bedanken voor zijn duidelijke sturing, bruikbare adviezen en helpende gesprekken die we gevoerd hebben. Ook wil ik Anouk Berendsen-Sloot, begeleidend docent, bedanken voor het doorsturen van deze afstudeeropdracht, haar feedback en ondersteuning. Als laatste wil ik mijn familie en vrienden bedanken voor de steun tijdens het afstuderen.

Roos Lindemulder
Juni 2020

Samenvatting

Als gevolg van klimaatverandering zijn er vaker intensere buien die leiden tot inundatieschade. Advocaten van gedupeerden van inundatieschade schakelen onafhankelijke adviesbureaus in voor het opstellen van een hydrologisch expertiserapport. Voor deze rapportages wordt het watersysteem geanalyseerd middels een Sobek model. Aveco de Bondt gebruikt voor het berekenen van inundatie vijf methoden van modelschematisatie. De keuze welke methode wordt toegepast kan, op dit moment, niet worden onderbouwd richting de klant. Daarom is gevraagd om te onderzoeken of per situatie/schadeclaim inzichtelijk te maken is of er een voorkeursvariant is.

Voor dit onderzoek is de volgende vraag opgesteld:

Welke methoden van modelschematisatie in Sobek zijn het meest geschikt voor het modelleren van inundatie van landbouwpercelen in zuidoost Nederland?

Voor het onderzoek is voornamelijk gebruik gemaakt van de kennis binnen Aveco de Bondt en eigen gebruik van Sobek.

De beschikbare methoden van modelschematisatie voor het berekenen van inundatie zijn: 1D met dummytakken, 1D 2-fase profiel, 1D takken, 1D met bergingsknopen en 1D-2D.

De hydrologische relevante landschappelijke kenmerken zijn de oppervlakte van de percelen en het onderzoeksgebied, de hoogteligging van de percelen ten opzichte van de omgeving, het verval, de grondwallen langs de watergang, mate van meandering, stuwen, duikers, dynamisch of stationair debiet en de herhalingstijd.

De methoden zijn per casus beoordeeld aan de beoordelingscriteria kwaliteit, gevoeligheid, arbeidsintensiviteit modelopbouw, arbeidsintensiviteit resultaatverwerking en doorrekeningsnelheid. Deze criteria zijn opgedeeld in vier klassen.

De methode 1D takken is het minst geschikt voor het modelleren van inundatie. 1D met bergingsknopen heeft vaak de hoogste waterstand en daarmee de meeste inundatie. De methode 1D 2-fase profiel heeft de laagste waterstand. De methoden 1D met dummytakken en 1D-2D hebben de middelste waterstanden.

De methode 1D-2D is, in het algemeen, de meest geschikte methode volgens dit onderzoek. Als er sprake is van te lange rekentijd of te veel subtiele oneffenheden in het landschap, dan is de methode 1D-2D minder geschikt. Naast deze methode is de methode 1D met dummytakken een voorkeursvariant. Tevens is de methode 1D 2-fase profiel een geschikte methode voor het modelleren van inundatieschade op landbouwpercelen. Verder onderzoek naar de methoden 1D met bergingsknopen is aanbevolen, omdat deze methode nu als uitwijkmogelijkheid is beschouwd terwijl deze methode veel onzekerheden kent.

Inhoudsopgave

Voorwoord	2
Samenvatting.....	3
Afkortinglijst	1
Begrippenlijst.....	1
1 Inleiding	2
2 Werkwijze	5
3 Inundatie methodieken van modelschematisatie.....	8
4 Casus introducties	15
5 Beoordelingscriteria	17
6 Modelresultaten	20
7 Resultaatverwerking.....	25
8 Eindproduct	30
9 Conclusie	33
10 Discussie en aanbevelingen.....	35
11 Bibliografie.....	37
Bijlagen	38

Afkortinglijst

Afkorting	Betekenis
AHN	Algemeen Hoogtebestand Nederland
MCA	Multi Criteria Analyse
NAP	Normaal Amsterdams Peil

Begrippenlijst

De eerste keer dat een begrip in de tekst is, is het onderstreept.

Begrip	Betekenis
Inundatie	Het overstromen van een stuk land vanuit een waterlichaam
Inundatieschade	Schade aan gewassen of bodem als gevolg van inundatie
Methode van modelschematisatie/ rekenmethode	De modelopbouw binnen Sobek
Sobek	Software voor het modelleren van watersystemen
1D basismodel	Een modelschematisatie waarin alleen de watergang is gemodelleerd en de berging op het maaiveld mist.
1D met dummytakken	Methoden van modelschematisatie waar het maaiveld in haakse takken op de watergang is gemodelleerd
1D 2-fase profiel	Rekenmethoden waarin de dwarsprofielen naar de watergang ook het omliggende maaiveld omvatten
1D takken	Methode met een watergangtak en maaiveldtak
1D met bergingsknoop 1D-2D	Methode van modelschematisatie waarin de beschikbare bergingsoppervlakte per maaiveldhoogte in een knoop is verwerkt Modelschematisatie welke het maaiveld meeneemt in een 2D grid onderliggend aan de 1D watergang
Sobek modulen	Sobek instelling betreft de rekenmodule waarin een Sobek model rekent.
Frictie	Waarde waarmee de wrijving van het maaiveld en in de watergang is gebruikt in Sobek
Qgis	Open source geografisch informatiesysteem waar geografische informatie kan worden bekeken en bewerkt
Boundary	Begin en/of eindknoop aan de watergangtakken waar aan randvoorwaardes kunnen worden geplaatst
Cross Section	Dwarsprofielen waarin fricties zijn verwerkt
Calculation Point	Rekenknopen die per tijdstap de gevraagde resultaten weergegeven
Connection Node	Connectieknoop die een verbinding tussen meerdere takken mogelijk maakt
Restart file	Een instelling in Sobek waardoor de initiële data per rekenknoop wordt bepaald vanuit de laatste rekenstap van de voorafgaande berekening.

1 Inleiding

1.1 Kader

Als gevolg van klimaatverandering is sinds 1950 de hoeveelheid jaarlijkse neerslag met circa 20% toegenomen. Ook valt er meer neerslag in een kortere periode (Beersma, 2016). De intensere buien komen vooral in de zomer voor en kunnen hoge afvoerpieken veroorzaken. Watergangen zijn niet altijd berekend op het verwerken van dergelijke afvoerpieken. Het gevolg is dat de zomerse piekbuien op diverse manieren tot overlast leiden, onder andere doordat watergangen buiten hun oevers treden. Hierdoor inundeert het omliggende land. Wanneer de inundaties tot schade leiden, kunnen particulieren een schadeclaim indienen bij de verantwoordelijke overheid; in de meeste gevallen het waterschap. Dit is veelvuldig gebeurd naar aanleiding van de extreme neerslag in mei en juni 2016 voor de waterschappen Aa en Maas, De Dommel en Limburg (Procee & Kramer, 2016).

De advocaat van een particulier met inundatieschade kan ervoor kiezen om een onafhankelijk adviesbureau in te schakelen, bijvoorbeeld Aveco de Bondt. Het doel is om te bepalen of het waterschap heeft voldaan aan haar zorgplicht. Hiervoor stelt het adviesbureau een hydrologisch expertiserapport op, waarin vaak op basis van een hydrologische modelschematisatie in Sobek het watersysteem wordt geanalyseerd. Met behulp van de Sobek modellen kan inzichtelijk worden gemaakt in welke mate bijvoorbeeld een niet-gestreden stuw of een niet-gemaaide watergang invloed heeft gehad op het peil in een waterloop. Ook maken de modellen het mogelijk, indien er voldoende data voorhanden zijn, om de situatie tijdens de wateroverlast te reconstrueren en te analyseren in welke mate een inundatie van een landbouwperceel voorkomen had kunnen worden. Voor deze bepaling worden hedendaags (2020) verschillende methoden van modelschematisatie toegepast.

1.2 Probleem

Een 1-Dimensionaal (1D) model rekent enkel in één dimensie meer dan 0-Dimensionaal (0D); de lengte. Voor een groot aantal toepassingen is een 1D basismodel voldoende. Hierbij kan gedacht worden aan het berekenen van opstuwings door een duiker of het waterpeil binnen een dwarsprofiel. Treedt het water echter buiten de oevers (het maaiveld inundeert) en dit in de modellering wordt geanalyseerd, dan voldoet een 1D basismodel niet meer. De 1D basismodellen voldoen niet omdat de berging op het maaiveld niet wordt meegenomen. Daarom voegt Aveco de Bondt bij het modelleren van inundatie van landelijk gebied binnen Sobek 2-Dimensionale (2D) aspecten toe aan de hydrologische 1D modellen.

Voor de berekening van inundatie gebruikt Aveco de Bondt vijf methoden van modelschematisatie:

- 1D met dummytakken
- 1D 2-fase profiel
- 1D takken
- 1D met bergingsknopen
- 1D-2D

Binnen Aveco de Bondt zijn de verschillende methoden nog niet binnen dezelfde casus met elkaar vergeleken. Hierdoor is het niet bekend of de methoden voor dezelfde hydrologische situatie een verschillend berekeningsresultaat geven, in welke mate de resultaten verschillen, waarvan deze verschillen afhankelijk zijn, wat het verschil is in arbeidsintensiviteit van de modelbouw en resultaatverwerking en de verschillende rekentijden. De resultaten kunnen verschillen doordat de beschikbare oppervlakte per hoogte verschilt bij de methoden. Dit heeft als gevolg dat er geen onderbouwing kan worden gegeven naar de klant voor de voorkeursvariant. Voor particulieren is het van belang dat de voorkeursvariant een betrouwbare methode is voor de schadeclaims.

1.3 Onderzoeksvragen

Hoofdvraag: Welke methoden van modelschematisatie in Sobek zijn het meest geschikt voor het modelleren van inundatie van landbouwpercelen in zuidoost Nederland?

Deelvragen:

1. Op welke manier kunnen de beschikbare rekenmethoden toegepast worden om inundaties van landbouwpercelen te modelleren?
2. Wat zijn de hydrologische relevante landschappelijke kenmerken van de vijf casussen voor het modelleren van 1D en 2D Sobek modulen?
3. Welke criteria kunnen worden toegepast om de rekenmethoden te beoordelen?
4. Wat zijn de modelresultaten van de rekenmethoden voor alle casussen?
5. Wat is op basis van de beoordelingscriteria en modelresultaten de mate van geschiktheid van de gebruikte methode per casus?

1.4 Doel

Het doel van het onderzoek is het opstellen van een beslisboom welke kan worden toegepast voor de keuze van methode van modelschematisatie. Deze beslisboom is specifiek ontworpen voor watersystemen met gebiedseigenschappen die veelvoorkomend zijn in zuidoost Nederland. Voor het bereiken van dit doel worden de verschillende methoden van modelschematisatie toegepast binnen meerdere casussen.

1.5 Werkwijze

Het beschrijven van de rekenmethoden is uitgevoerd aan de hand van kennisoverdracht en literatuurstudie. Alle vijf casussen zijn voorzien van een korte introductie en gebiedsbeschrijving die grotendeels gebaseerd zijn op de oorspronkelijke rapportage voor de schadeclaims en bijbehorende kaartgegevens die zijn vrijgegeven door Aveco de Bondt. De beoordelingscriteria zijn opgesteld door middel van kennisoverdracht van Aveco de Bondt, gebruikservaringen binnen Sobek en literatuurstudie. Het beoordelen van de modeluitkomsten is gedaan aan de hand van het modelleren binnen Sobek en kennisoverdracht. Het eindproduct is de beslisboom, die is opgesteld met behulp van een MCA en het testen en verbeteren van de concept-beslisbomen. De methode staat per stap beschreven in hoofdstuk 2.

1.6 Afbakening

De voorkeursvariant per situatie kan verschillen. Om deze reden zijn in het onderzoek vijf casussen behandeld. De locaties zijn door Aveco de Bondt uitgekozen. Op alle vijf locaties is waterschade ontstaan als gevolg van inundatie vanuit een A-watergang. Van alle casussen is een Sobek model van het watersysteem beschikbaar.

Voor de frictie in de watergang is de Manning waarde $0,05 \text{ s/m}^{1/3}$ gemodelleerd en voor het maaiveld $0,04 \text{ s/m}^{1/3}$. Deze waarden representeren een begroeide watergang en een akkerveld met gewas als maaiveld (Tak, Dong Kim, Do Kim, & Boosik, 2016). Hiervoor is gekozen omdat alle casussen plaatsvinden in de zomer en zo de variant frictie kan worden uitgesloten. Binnen een vervolgstudie kan worden bepaald of de frictie invloed heeft op de voorkeursvariant modelschematisatie.

1.7 Leeswijzer

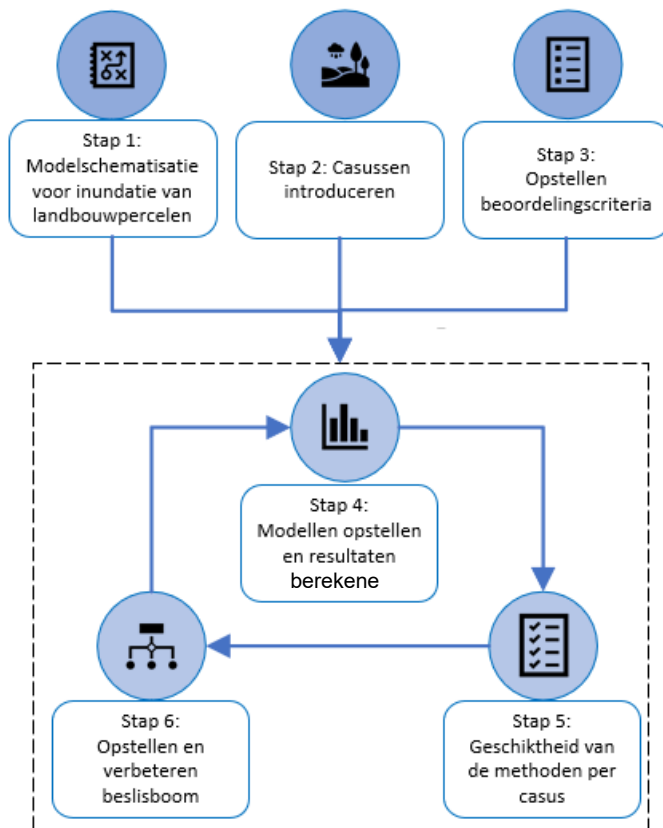
In hoofdstuk 2 is de werkwijze uitgebreider beschreven. Hoofdstuk 3 gaat in op de vijf methoden van modelschematisatie. De relevante hydrologische landschappelijk kenmerken zijn per casus in hoofdstuk 4 gepresenteerd. Hoofdstuk 5 omvat de uitleg waarop de rekenmethoden zijn beoordeeld. In hoofdstuk 6 zijn de resultaten uit de modellen weergegeven en geanalyseerd. Hoofdstuk 7 bevat de

verwerking van alle resultaten per beoordelingscriterium. De beslisboom, eindproduct voor Aveco de Bondt, staat centraal in hoofdstuk 8. De conclusies zijn in hoofdstuk 9 beschreven en de discussies en aanbevelingen in hoofdstuk 10.

In het bijgaande bewijslasten document staan extra grafieken weergegeven waarop het onderzoek is onderbouwt. Daarnaast zijn figuren van de Sobek modelschematisatie hierin weergegeven.

2 Werkwijze

In dit hoofdstuk zijn de gebruikte methoden van onderzoek, de doelen en resultaten per stap beschreven.



Figuur 1 Flowschema ondernomen stappen

Stap 1: Modelschematisatie voor inundatie van landbouwpercelen

Aan deze stap is de deelvraag; “Op welke manier kunnen de beschikbare methoden toegepast worden om inundaties van landbouwpercelen te modelleren?” gekoppeld.

De methoden van modelschematisatie zijn in eerste instantie beschreven door kennisoverdracht binnen Aveco de Bondt. Deze beschrijving is verder aangevuld na eigen gebruik van de methoden. Het doel is inzicht te krijgen welke methoden van modelschematisatie gebruikt zijn voor de berekening van inundatie van landbouwpercelen. Het product is een weergave per methode van een voorbeeldmodel en een beschrijving van de uitgangspunten, aanpassingen en aandachtspunten. Dit is beschreven in hoofdstuk 3.

Stap 2: Casussen introduceren

Met deze stap is de deelvraag, “Wat zijn de hydrologische relevante landschappelijke kenmerken van de vijf casussen voor het modelleren van 1D en 2D Sobek modulen?” beantwoord.

Vanuit de opdrachtgever zijn de oorspronkelijke rapporten en de bijbehorende gegevens van de schadeclaims beschikbaar gesteld voor dit onderzoek. De informatie gebiedsgrootte, grondgebruik en het watersysteem zijn hieruit overgenomen. De hoogte analyses zijn deels vanuit de rapportages overgenomen en deels bepaald vanuit AHN3 0,5 meter raster DTM-bestanden (pdok, 2019).

Het verhang van de watergang is bepaald door het maken van een hoogtelijn langs de watergang. Hiervoor is de plug-in Profile gebruikt binnen Qgis3.4 en het AHN3 bestand. Dezelfde tool is gebruikt voor het bepalen van de aanwezigheid en ligging van grondwalle. Dit is bepaald door meerdere dwarslijnen op de watergang te plaatsen. De mate van meandering is bepaald met het verschil tussen de lengte van de watergang en de lengte hemelsbreed. Alle maten zijn bepaald in Qgis met het coördinatensysteem RD-new.

Het doel van deze stap is het beschrijven van de hydrologische relevante kenmerken van de casussen. Een beschrijving van deze kenmerken is het eindproduct van deze stap. Het eindproduct is weergegeven in hoofdstuk 4.

Stap 3: Opstellen beoordelingscriteria

Het doel van deze stap is het beantwoorden van de deelvraag, “Aan de hand van welke beoordelingscriteria worden de rekenmethoden beoordeeld?”.

De beoordelingsklassen zijn opgesteld aan de hand van kennisoverdracht, ervaring en literatuurstudie. De wegingsfactoren zijn opgesteld in overleg met de opdrachtgever.

Het doel is het inzichtelijk maken waarop de rekenmethoden zijn beoordeeld. Hoofdstuk 5 is het eindproduct van deze stap en omvat een beschrijving van de beoordelingscriteria en de beoordelingsklassen.

Stap 4: Modellen opstellen en resultaten berekenen

De deelvraag, “Wat zijn de modelresultaten van de rekenmethoden voor alle casussen?” is behandeld in deze stap.

Voor deze stap zijn voor alle casussen de methoden van modelschematisatie toegepast in Sobek. De modellen zijn gebouwd aan de hand van het eindproduct van stap 1. Vanuit de modellen zijn de waterstanden en debieten rechtstreeks overgenomen. Het onderzoek is uitgevoerd op het lengteprofiel en op drie meetlocaties. De meetlocaties zijn gelegen in de watergang benedenstrooms, bovenstrooms en ter hoogte van de percelen.

De totaalsommen van het debiet zijn gehaald uit een rekenknoop benedenstrooms in de watergang. Hier zijn in geen van de methoden aanpassingen gemaakt ten opzichte van het 1D basismodel. Waardoor geen van de methoden benadeeld is door water dat later de watergang instroomt. De inundatievlakken zijn opgesteld vanuit de hoogste waterstand die naast een perceel is berekend. Bij langgerekte percelen is het perceel opgedeeld bij verschillen in oppervlaktewaterstand op maaiveld.

Het doel is om de resultaten van de methoden van modelschematisatie binnen een casus op een consistente en overzichtelijke wijze weer te geven. Het eindresultaat van deze stap zijn de Sobek modellen en de resultaten. In deze rapportage zijn alleen de resultaten op het lengteprofiel en op een meetlocatie weergegeven. Deze resultaten en het eindproduct van deze stap zijn weergegeven in hoofdstuk 6 en bijlage B.

De overige modelresultaten zijn weergegeven in het bijgaande bewijslasten document. Hierin zijn ook visualisaties van de modellen weergegeven.

Stap 5: Geschiktheid van de methoden per casus

Aan deze stap is de deelvraag, “Wat is op basis van de beoordelingscriteria en modelresultaten de mate van geschiktheid van de gebruikte methode per casus?” gekoppeld.

In een MCA zijn de modelresultaten uit stap 4 beoordeeld en aangevuld met de overige relevante criteria. De methode van beoordeling is beschreven in hoofdstuk 5 en is een tussenresultaat van stap 3. Dit is per casus en per methode gedaan. Hierdoor is de geschiktheid van de methoden per casus vastgesteld.

Het doel van deze stap is de geschiktheid van de rekenmethoden per casus te bepalen. De resultaten zijn per casus beschreven en is de MCA ingevuld. Het eindresultaat is een beschrijving van de geschiktheid per methode per casus, weergegeven in hoofdstuk 7.

Stap 6: Beslisboom

Bij deze stap is de hoofdvraag beantwoord, “Welke methoden van modelschematisatie in Sobek zijn het meest geschikt voor het modelleren van inundatie van landbouwpercelen in zuidoost Nederland?”

Na het doorlopen van de voorgaande stappen, voor drie casussen, is de concept-beslisboom opgesteld. Deze beslisboom is aangevuld en verbeterd na de resultaatverwerking van de vierde en vijfde casus.

Het doel van deze stap is het opstellen van een beslisboom die in de toekomst door Aveco de Bondt wordt gebruikt bij het kiezen van de methode van modelschematisatie. De concept-beslisbomen na drie en vier casussen zijn tussenresultaten. De beslisboom na de vijfde casus is het eindresultaat van deze stap en weergegeven in hoofdstuk 8.

3 Inundatie methodieken van modelschematisatie

In dit hoofdstuk zijn de vijf methoden van modelschematisatie beschreven die voor dit onderzoek zijn gebruikt. Per methode is een voorbeeldmodel weergegeven en zijn de uitgangspunten, aanpassingen en aandachtspunten beschreven. De legenda voor de voorbeeldmodellen staat in Tabel 1. Dit hoofdstuk geeft het antwoord op de deelvraag; “Op welke manier kunnen de beschikbare methoden toegepast worden om inundaties van landbouwpercelen te modelleren?”.

Tabel 1 Legenda Sobek symbolen

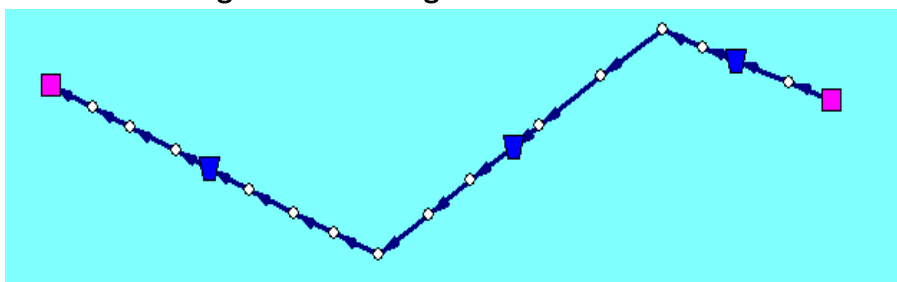
Symbolen	Sobek naamgeving	Naamgeving binnen deze rapportage
	<u>Boundary</u>	Boundary
	<u>Cross Section</u>	Dwarsprofiel
	<u>Calculation Point</u>	Rekenknoop
	<u>Connection Node</u>	Connectieknoop
	Connection Node with Storage and Lateral flow	Bergingsknoop

3.1 Toelichting relevante werking Sobek voor dit onderzoek

De toevoer van het debiet in een model is gedaan met boundaries knopen, lateral knopen en/of lateral takken. Daarbij is er water in de takken vanaf het begin aanwezig door het instellen van de initiële data. Voor de initiële data kan gekozen worden tussen vast waterdiepte, -hoogte of een restart file. Vanuit dit beginpunt rekent Sobek bij elke tijdstap een nieuwe waterstand uit op de rekenknopen. Bij elke tijdstap en rekenknoop vult het Sobek model vanaf onderen.

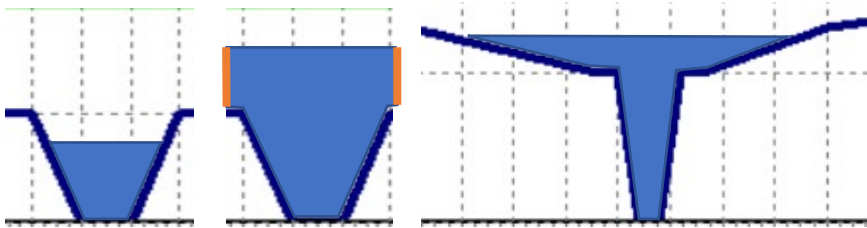
Voor het toevoegen van een connectieknoop en bergingsknoop is de tool “Split Reach at Node” gebruikt. Op elke tak moet een dwarsprofiel zijn gemodelleerd en door het gebruiken van deze tool is de tak gesplitst. Bij het toevoegen van een connectieknoop is het mogelijk om in de instelling te kiezen voor “Interpolate Cross-section Bathymetry (only) over Node”. Met deze instelling is het niet nodig om aan elke tak een dwarsprofiel toe te kennen. Deze instelling is niet mogelijk bij het toevoegen van een bergingsknoop.

3.2 Toelichting 1D berekeningen



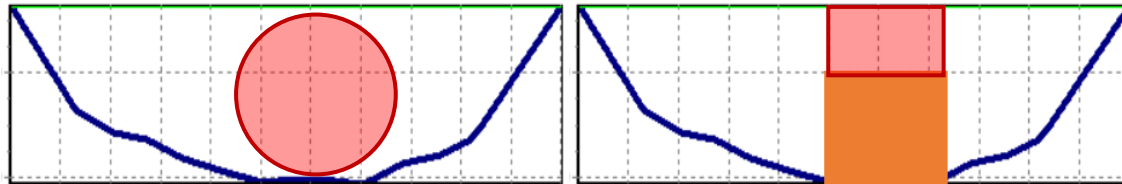
Figuur 2 Voorbeeld 1D basismodel

De methoden zijn opgebouwd vanuit de 1D basismodellen, aangeleverd vanuit de opdrachtgever. De modellen omvatten alleen de A-watergangen. Hierdoor mist de berging op het maaiveld en zijn extreme waterstanden, waarbij inundatie optreedt, niet te berekenen met dit model. Bij een berekening waar de waterstanden niet hoger komen dan de insteek, geeft het 1D basismodel correcte rekenresultaten. Echter, als een extreme situatie wordt doorgerekend met een 1D basismodel zijn de berekende waterstanden overschat, omdat het water tegen de randen van de dwarsprofielen opbouwt, zie het middelste figuur in Figuur 3. In de werkelijkheid verspreid dit water zich over het maaiveld. Om dit te modelleren zijn 2D aspecten toegevoegd aan het 1D basismodel.



Figuur 3 Links een lage waterstand, in het midden een extreme waterstand in het 1D basismodel (de oranje randen geven de gebreken weer) en rechts extreme waterstand

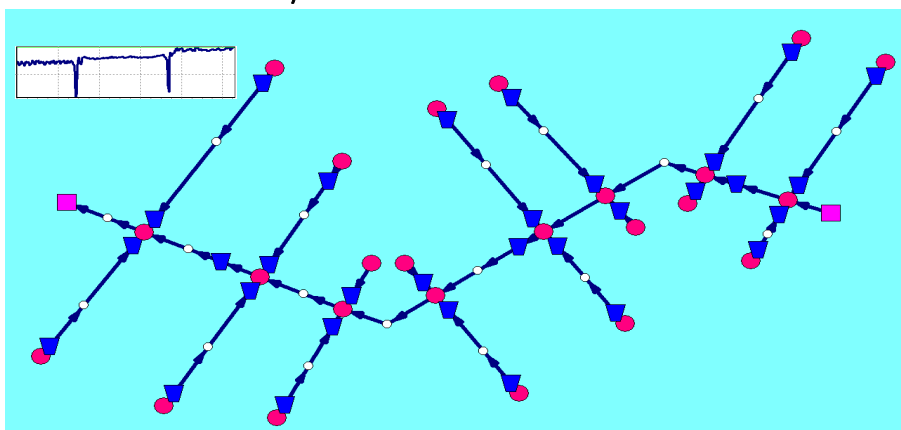
Bij 1D modellen stroomt het water alleen in de takken. Wanneer op een tak een stuw of duiker is gemodelleerd houdt dit in dat al het water door/over dit kunstwerk stroomt. Bij een duiker moet al het water door de duiker. Dit leidt tot veel opstuwing totdat het hoogteverschil genoeg is om het water met voldoende snelheid door de duiker te laten gaan. In de praktijk stroomt het water deels over de duiker of op het maaiveld. Hierdoor ontstaan incorrecte snelheden in de duikers in een 1D model. Bij stuwen veroorzaakt een 1D model naast de hoogte ook de breedte opstuwing. De breedte is een relevant aspect omdat ter hoogte van de stuw het dwarsprofiel van stuw leidend is voor Sobek, in plaats van het dwarsprofiel van de watergang.



Figuur 4 Links de verandering in profiel bij een duiker en rechts de verandering in doorstromend oppervlakte bij een stuw. Zonder kunstwerk is het natte oppervlakte alles binnen het dwarsprofiel. Bij een duiker of stuw is het beperkt tot de oppervlakte binnen het rode gebied

In dit onderzoek zijn de uitkomsten van het 1D basismodel gebruikt om aan te tonen dat de andere methoden gebruik maken van maaiveldberging. Indien de berekende waterstand in de andere modellen lager is dan in het 1D model, is er sprake bergingsgebruik.

3.3 1D met dummytakken



Figuur 5 Voorbeeld 1D met dummytakken model

Uitgangspunten

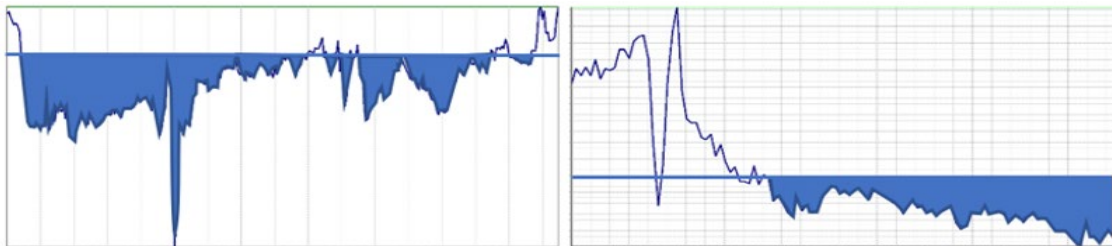
De dummytakken representeren het maaiveld en haakse B- en C-watergangen. De dummytakken worden gevuld vanuit de hoofdwatgang naar het einde van de dummytak. De ruwheid van het maaiveld is ingevoerd in de dwarsprofielen.

Aanpassingen

Het toevoegen van dummytakken haaks op de A-watergang. De herhaling van de dummytakken is per situatie bepaald. De richtlijn is om voor elk perceel een dummy tak te modelleren. De verbinding tussen de watergang en de dummytakken zijn met connectie knopen, welke interpoleren over de watergang, gemodelleerd.

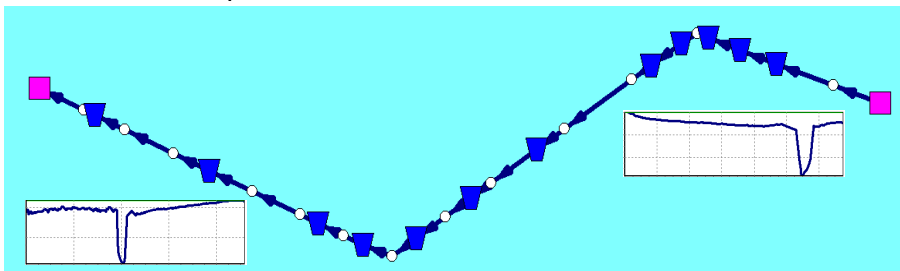
Aandachtspunten

De dwarsprofielen op de dummytakken moeten een soort bakje vormen waardoor het water niet tegen een rand oploopt, zoals in Figuur 6 het rechtse figuur. Daarbij moeten de zijkanten van het bakje hoger zijn dan de maximale waterstand.



Figuur 6 Dwarsprofielen op dummytakken. Links correct, rechts niet correct

3.4 1D 2-fase profiel



Figuur 7 Voorbeeld 1D 2-fase profiel model

Uitgangspunten

Bij deze methode is de berging op het maaiveld meestromende berging. Het model vult zich van onderen. De ruwheid van het maaiveld is per dwarsprofiel apart van de watergang ingevoerd.

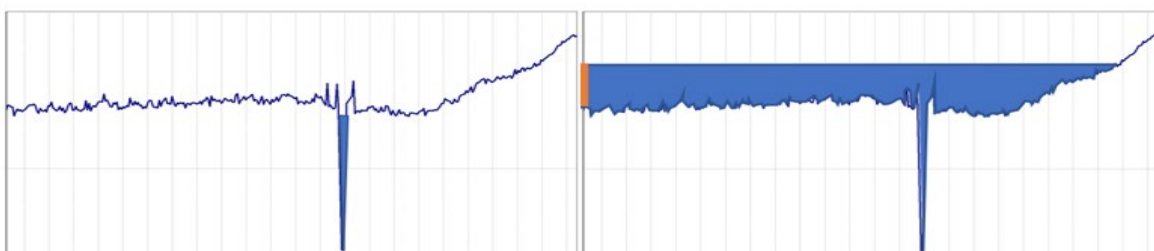
Aanpassingen

Het uitbreiden van de dwarsprofielen met de maaiveldhoogtes.

Aandachtspunten

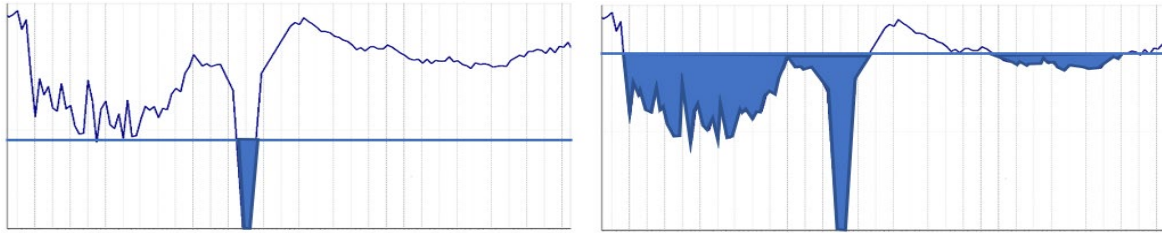
Van belang is dat bij alle dwarsprofielen het maaiveld is toegevoegd. Als een dwarsprofiel overgeslagen is leidt dit tot geen maaiveld berging over een lengte stuk van een tak.

Een ander aandachtspunt is dat de randen van de dwarsprofielen hoger moeten zijn dan de maximale waterstand, zie Figuur 8. Dit kan door het profiel verder uit te bereiden.

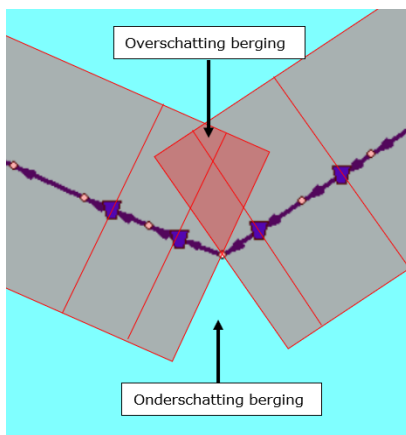


Figuur 8 Dwarsprofielen zonder hoog genoeg randen. Links met een lage waterstand, rechts met een extreme waterstand wat leidt tot onderschatting van de berging

Bij grondwallen kan de waterstand zijn onderschat. Hiervan is sprake als de waterstand lager is dan de grondwal, een voorbeeld van deze misberekening is weergegeven in Figuur 9. De fout ontstaat doordat Sobek de dwarsprofielen in de 1D watergang van beneden naar boven vult. Binnen deze methode is voor Sobek het maaiveld gelijk aan de watergang.



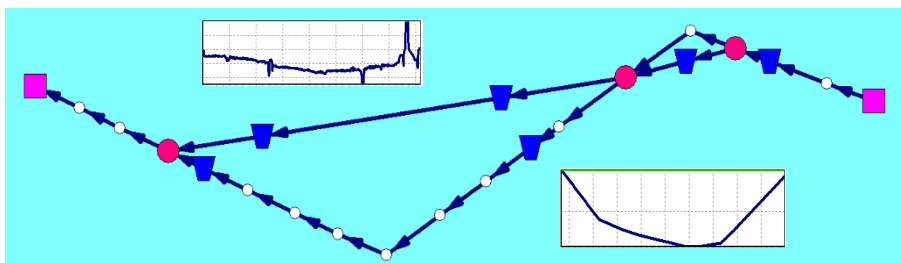
Figuur 9 Dwaarsprofielen met grondwal. Links met een lage waterstand, rechts met een extreme waterstand



Figuur 10 Over- en onderschatting berging in de bochten

Het laatste aandachtspunt is dat de onderschatting van bergingscapaciteit in de buitenbochten gelijk moet zijn aan de overschatting in de binnenbochten, zie Figuur 10. Bij een relatief vlak gebied moet de overlappende oppervlakte gelijk zijn aan de oppervlakte in de buitenbocht. Bij grote lokale hoogteverschillen is dit niet het geval en kan dit leiden tot misberekeningen.

3.5 1D takken



Figuur 11 Voorbeeld 1D takken model

Uitgangspunten

De berging op het maaiveld is gemodelleerd in een aparte tak. De extra tak wordt gevoed vanuit de watergang tak middels verschillende connectieknoten. Deze methode is alleen gebruikt bij meanderende watergangen. Aan de extra tak is via de dwarsprofielen een ruwheid toegekend.

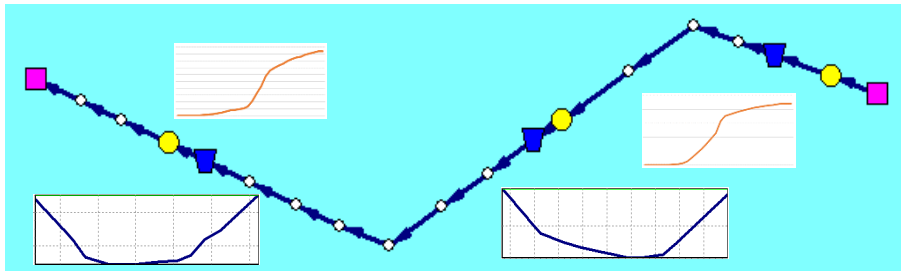
Aanpassingen

Een extra tak toevoegen met dwarsprofielen en deze met verbindingsknoten verbinden met de watergangtak.

Aandachtspunten

De verbindingen tussen de maaiveldtak en watergangtak mogen niet gemodelleerd zijn op plekken waar het maaiveld verlagingen heeft. Dit zijn plekken waar B-watergangen stromen of poelen in het landschap zijn. Deze plekken moet worden voorkomen zodat niet te veel water de maaiveldtak instroomt. Een correcte plaatsing van het eerste dwarsprofiel kent geen van deze verlagingen.

3.6 1D met bergingsknopen



Figuur 12 Voorbeeld 1D met bergingsknopen model

Uitgangspunten

De berging op het maaiveld is per perceel in een knoop gemodelleerd. Per stapgrootte van vijf centimeter hoogte is de beschikbare oppervlakte bepaald. Het toepassen van een aparte ruwheid van het maaiveld is niet mogelijk bij deze methode. Daardoor is de ruwheid van de bergingsknopen gelijk aan de ruwheid van de watergang.

Aanpassingen

Bergingsknopen toevoegen aan de watergang. De bergingsknopen zijn toegevoegd aan de watergang door; eerst het plaatsen van een rekenknoop en deze met de tool "split reach at node" te vervangen met een bergingsknoop. Binnen deze knopen zijn de hoogtes en de beschikbare oppervlaktes tegen elkaar opgezet wat leidt tot een S-curve.

Aandachtspunten

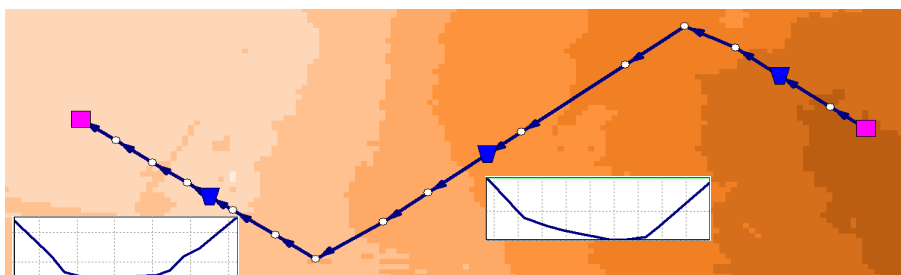
Bij dieptes in het landschap is bepaald of deze wel of niet worden meegenomen. Dit is niet aan de orde als de waterstand hoger is dan het omliggende landschap van de diepte. Haakse watergangen worden altijd meegenomen.

Tevens moet de maximale waterstand lager zijn dan de maximale hoogte van het maaiveld in de bergingsknoop, om de berging niet te onderschatten.

Er kan geen aparte frictie worden toegekend aan het maaiveld in de bergingsknoop. Hierdoor is de frictie in de bergingsknoop gelijk aan de frictie van de watergang. Dit betekent dat de methode alleen toepasbaar is in situaties waar de frictie van de watergang vergelijkbaar is met de frictie van het maaiveld. Voor dit onderzoek is de randvoorwaarde een vaste frictie waarde van $0,04 \text{ s/m}^{1/3}$ voor het maaiveld en $0,05 \text{ s/m}^{1/3}$ voor de watergang. Binnen deze methode geldt dit dus niet en is de frictie $0,05 \text{ s/m}^{1/3}$ zowel in de watergang als in de bergingsknopen.

Door het toevoegen van de bergingsknopen zijn extra dwarsprofielen toegevoegd. Het gevolg hiervan is dat de bodemhoogte en de lengte waarop een dwarsprofiel geldt veranderd. Dit kan zowel leiden tot toename als afname van de berging in de watergang zelf.

3.7 1D-2D



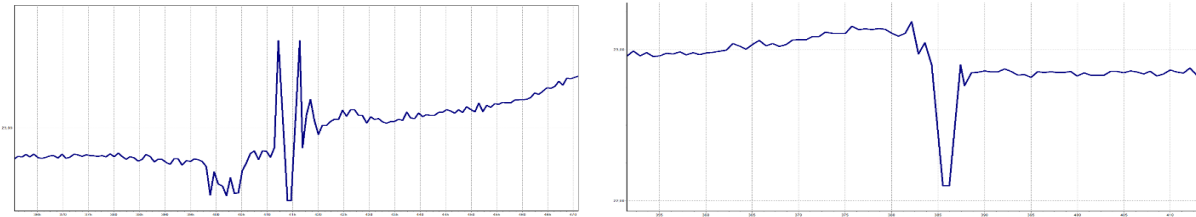
Figuur 13 Voorbeeld 1D-2D model

Uitgangspunten

Het maaiveld is als grid meegenomen. Het grid heeft een bergingsfunctie maar het water stroomt ook mee op het grid. Per gridcel is de waterdiepte bepaald. Afhankelijk van de grootte van het gebied en gewenste rekentijd is een fijn of grof grid toegepast.

Aanpassingen

Het toevoegen van een 2D maaiveld grid. Voor de advanced settings is gekozen voor de “Method of over flowing 1D-channel; Assume No Embankments”. Hiermee vult het 2D-grid zich op wanneer de waterstand hoger is dan de 2D grid cellen en hoeft niet eerst de 1D watergang te overstromen. Met deze setting is een situatie zoals weergegeven is in Figuur 14 geen afwijking ten opzichte van de miscalculatie bij de andere methoden.



Figuur 14 Hoogte aangeleverde bakje ten opzichte van het gemeten AHN3 profiel. Links een niet correcte situatie, rechts een kloppend dwarsprofiel

Aandachtspunten

Wanneer gebruik wordt gemaakt van een grof grid is er een grote kans dat verhogingen vervallen. Deze verhogingen kunnen in werkelijkheid als watersysteem scheidingen dienen. Hierom is het van belang deze handmatig terug te brengen in het 2D grid. Tevens vervagen subtiele verhogingen en verlagingen wat tot overschatting of onderschatting van de berging leidt.

Deze methode heeft een hogere rekentijd dan de 1D modellen en de regel is dat hoe fijner het grid is hoe langer de rekentijd. Hierdoor is voor grote gebieden de afweging gemaakt tussen een fijn grid met een hoge rekentijd en een grover grid met minder rekentijd.



Figuur 15 B-watergang in een 2D grid. De lichte hokjes zijn de B-watergang en de donkere het maaiveld.

Zowel haakse als parallelle B- en C-watergangen zijn bij deze methode meegenomen. Echter, door de grootte van de cellen kunnen in sommige gevallen de watergangen niet goed stromen. Dit komt voornamelijk doordat het 2D grid is opgebouwd uit rijen en kolommen en de watergangen niet binnen een rij of kolom vallen, zie Figuur 15. Dit heeft als gevolg dat tijdens een lage waterstand het tot onderschatting van de berging kan leiden. Bij een extreme waterstand leidt dit juist tot overschatting van de berging, omdat cellen over het algemeen meer oppervlakte bevatten dan de B- of C-watergangen in werkelijkheid hebben.

3.8 Rekenmodulen

De 1D modellen rekenen met behulp van de Sobek 1DFLOW (Rural) module. De 1D-2D methode rekent zowel in de Sobek 1DFLOW (Rural) als Sobek de 2DFLOW (Overland Flow) modulen. De modulen houden het volgend in:

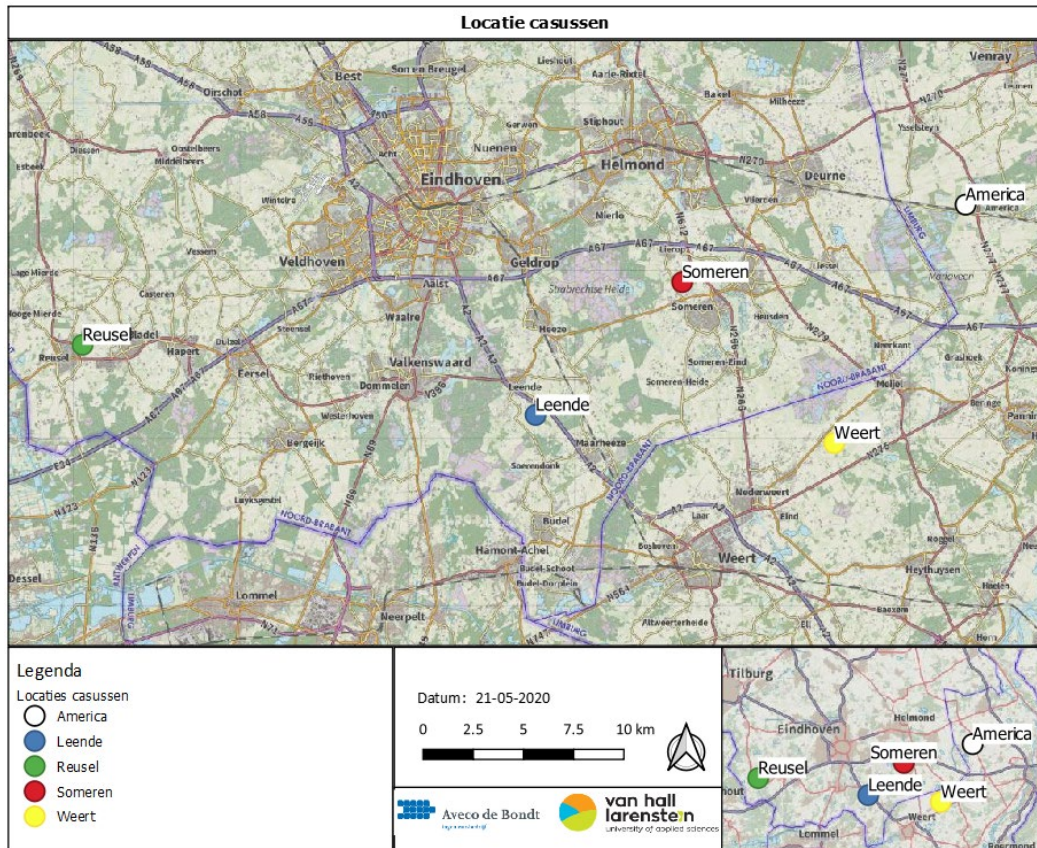
De module Sobek 1DFLOW (Rural) wordt veelal gebruikt voor het dimensioneren van openwatergangen (Deltares, sd). Het 1D model wordt opgebouwd met boundaries en dwarsprofielen

In de watergangen kunnen waterkunstwerken worden gemodelleerd. Binnen deze module kan alleen de stroming in de watergangen worden bepaald. Daarbij wordt de berging op het maaiveld niet meegenomen. Het model kan worden gevoed vanuit een RR-model, de boundaries en lateraal punten en/of lijnen. Alle 1D methoden rekenen met deze module.

De module 2DFLOW (Overland Flow) wordt toegepast in combinatie met een Sobek 1DFLOW module en simuleert oppervlakkige stroming op het maaiveld. Bij deze combinatie is er sprake van een 1D-2D model. Voor het modelleren van een Sobek 2DFLOW module moet een 2D grid worden toegevoegd aan het 1D model (Deltares, sd).

4 Casus introducties

In de paragrafen zijn de 5 casus geïntroduceerd en zijn de relevante landschappelijke karakteristieken puntsgewijs beschreven. In bijlage A zijn de casussen verder tekstueel uitgewerkt. In dit hoofdstuk wordt de deelvraag beantwoord; “Wat zijn de hydrologische relevante landschappelijke kenmerken van de vijf casussen voor het modelleren van 1D en 2D Sobek modulen?”.



Figuur 16 Locaties casussen

4.1 Leende

- Oppervlakte percelen: circa 25 hectare, projectgebied: circa 250 hectare;
- Gras en snijmais werden tijdens de inundatie geteeld op de percelen
- De percelen liggen laag in verhouding met de omgeving. Hoogte verval op de percelen van 23 m +NAP tot 25 m +NAP, aflopend naar de watergang;
- Het verhang langs de watergang van de percelen is ongeveer 1,5 ‰;
- Er is geen sprake van dijkes rond de watergang;
- Door de meandering is de verhouding lengte watergang en lengte stroomrichting 123%;
- Ter hoogte van de percelen is een aangestuurde stuw aanwezig;
- Dynamische stroming;
- Het gebruikte debiet komt overeen met een herhalingstijd van T=100.

4.2 America

- Oppervlakte percelen: circa 60 hectare, projectgebied: circa 500 hectare;
- Ten tijde van de inundatie werden blauwe bessen geteeld;
- De percelen zijn twee meter lager gelegen dan de omgeving. De percelen zijn relatief vlak op zandruggetjes voor de blauwe bessen teelt na;
- Uit de dwarsprofielen blijkt dat er een grondwallepje aanwezig is ter hoogte van de insteek;
- Alle dwarsprofielen, van het maaiveld, geven dijkes weer langs de watergang;

- Gestuurde stroming vanuit bovenstrooms verdeelpunt;
- Het gebied kent stuwen en duikers, waarvan er een aantal zijn gelegen ter hoogte van de percelen;
- Een meter stroomrichting is gemiddeld 1,06 meter watergang;
- Meerdere watergangen waaruit het land inundeert;
- Dynamische debiet;
- De afvoer in de berekening komt overeen met een herhalingstijd van $T=25$.

4.3 Reusel

- Oppervlakte percelen: circa 10 hectare, projectgebied: circa 100 hectare;
- Op de percelen werd mais, aardappelen en gras verbouwd;
- Veel hoogteverschil in de omgeving. Binnen de percelen een hoogteverschil van 27,5 m +NAP naar 31,75 m +NAP, aflopend naar de watergang;
- Verhang maaiveld langs watergang ter hoogte van de percelen is 2,5 ‰;
- Bij circa 50% is een dijkje om de watergang aanwezig in een uitgebreid dwarsprofiel;
- Overstort bovenstrooms;
- Eén duiker net benedenstrooms van de percelen gelegen;
- Lengte watergang 2500 meter ten opzichte van lengte stroomrichting 2200 meter, 114%;
- Stationair debiet met een tijdelijke overstort;
- Ten tijde van de inundatie was sprake van een herhalingstijd van $T=25$;
- Opstuwing bij samenkomst watergangen benedenstrooms.

4.4 Someren

- Oppervlakte percelen: circa 15 hectare, projectgebied: circa 150 hectare;
- Op de percelen werd gras en mais geteeld;
- Hoogteverschil van 1 tot 2 meter direct aanliggend stedelijk gebied. Hoogteverschil binnen de percelen van 22,6 tot 25,2, aflopende naar de watergang met enkele poel;
- Een minimaal verhang van 0,5 ‰ van het maaiveld langs de percelen;
- Geen dijkjes, wel verschillende poelen;
- Meerdere vaste stuwen en duikers ter hoogte van de percelen;
- Overstort riolering van het stedelijk gebied;
- De mate van meandering leidt tot een verhouding tussen de waterganglengte en stroomrichting lengte van 102%;
- Stationair debiet met een tijdelijke extreme overstort;
- Het debiet in de berekeningen is vergelijkbaar met een herhalingstijd van $T=25$.

4.5 Weert

- Oppervlakte percelen: circa 4 hectare, projectgebied: circa 450 hectare;
- Ten tijde van de overlast werden er consumptieaardappelen verbouwd op het perceel.
- Hoogteverschil op het perceel van 1,3 meter, over het algemeen aflopend richting de watergang;
- Veel verhoogde wegen in het projectgebied, dit zijn waterscheidingen in het model;
- Het verhang is 1‰ langs de watergang met elke plaatselijke verhoging;
- Meerdere duikers en vaste stuwen bovenstrooms en benedenstrooms van het perceel;
- Een meter stroomrichting is 1,26 meter watergang;
- Het model is gevoed vanuit de RR-unpaved knopen waarop de neerslag is gemodelleerd. De data in deze knopen zijn niet gewijzigd;
- Het perceel is bovenstrooms in het stroomgebied gelegen;
- De afvoer heeft een herhalingstijd van $T=25$ in de modellen.

5 Beoordelingscriteria

In dit hoofdstuk zijn de beoordelingscriteria beschreven. Per criterium is de methode van beoordeling, de beoordelingsklassen en de wegingsfactor toegelicht. Dit hoofdstuk is het antwoord op de deelvraag; “Aan de hand van welke beoordelingscriteria worden de rekenmethoden beoordeeld?”.

Om te bepalen welke methode van modelschematisatie het meest geschikt is voor een casus worden de resultaten afgewogen tegen criteria, deze zijn:

1. Kwaliteit

Op basis van expert judgement is besloten welke methode in een casus de beste resultaten in waterstand en debiet heeft. Het beste resultaat is behaald in een model met een minimale hoeveelheid aandachtspunten waarbinnen de casus sprake van is, een goed behoud van debiet en een verwachte correcte afvlakking van de piek. De afvlakking van de waterstand verschilt per casus en per meetpunt. Een voorbeeld van een correcte afvlakking van de piek: indien er sprake is van dijkjes om de watergang, wordt een snelle stijging gevolgd door een afvlakking en snelle daling van de waterstand verwacht. Dit is het gevolg van het feit dat het water op deze locaties niet terug de watergang in kan stromen.

Binnen de kwaliteit wordt geen rekening gehouden met de duur van de inundatie maar enkel met de waterstand van de piek, omdat tijdens het toepassen van de methoden in de toekomst hiermee geen rekening wordt gehouden bij Aveco de Bondt. Aveco de Bondt neemt de duur van de inundatie niet mee omdat dit lastig is te vergelijken met de werkelijkheid door de onmeetbaarheid van de factor. Daarbij wordt in de praktijk dit nooit gemeten.

De kwaliteitsbeoordeling van de overige methoden is gedaan op basis van een vergelijking van de maximale waterstand over het lengteprofiel en de waterstand op drie meetpunten in het watersysteem gedurende de simulatietijd. Op basis van de onderstaande classificatie is de kwaliteit van de andere methoden bepaald:

4 punten	Maximale afwijking waterstand < 0,03 meter;
3 punten	Maximale afwijking waterstand > 0,03 en < 0,05 meter;
2 punten	Maximale afwijking waterstand > 0,05 en < 0,10 meter;
1 punt	Maximale afwijking waterstand > 0,10 meter.

De classificatie is opgesteld vanuit het uitgangspunt dat een afwijking van vijf tot tien centimeter toelaatbaar is voor dit onderzoek. Daarbij houden vergelijkbare onderzoeken afwijkingen van tien tot twintig centimeter bij zeer extreme situaties en bij gewone situaties een maximale afwijking van vijf centimeter aan (Eugelink, 2019).

De kwaliteit van de berekeningsresultaten is het belangrijkste beoordelingscriterium. Daarom is de wegingsfactor 4 voor dit criterium.

2. Gevoeligheid

Het criterium gevoeligheid gaat in op de robuustheid van de methode van modelschematisatie voor de specifieke casus. Het is bepaald door hetzelfde model te testen met verschil in frictie van het maaiveld. Deze gevoeligheid is getest aan de hand van de Manning waarden $0.018 \text{ s/m}^{1/3}$ (zeer kort gras), $0.026 \text{ s/m}^{1/3}$ (gemiddeld gras) en $0.045 \text{ s/m}^{1/3}$ (zeer lang gras) (Querner & Makaske, 2012).

In de methode 1D met bergingsknopen is de frictie van het maaiveld gelijk aan de watergang. Voor deze methode is daarom gekozen om van de vervangende gevoeligheidstest de stapgrootte van de hoogte binnen de bergingsknoop aan te passen naar 10, 15 en 20 centimeter.

Hierbij is de gevoeligheid getest op de intensiviteit van het toepassen van de methoden. Dit houdt in dat er bijvoorbeeld per drie dwarsprofielen een extra dwarsprofiel is toegevoegd of weggehaald. Voor de methode 1D-2D is gekozen om het grid een stap fijner en grover te modelleren. De stappen in het 2D grid zijn: 5x5, 10x10, 25x25 en 50x50 meter.

De resultaten van deze gevoeligheidsmodellen zijn vergeleken met de resultaten van de oorspronkelijke modellen.

De beoordelingsklasse van dit criterium zijn:

4 punten	Gemiddelde afwijking < 0,01 meter en maximale afwijking < 0,03 meter;
3 punten	Gemiddelde afwijking < 0,03 meter en maximale afwijking < 0,05 meter;
2 punten	Gemiddelde afwijking < 0,05 meter en maximale afwijking > 0,05 meter;
1 punt	Gemiddelde afwijking > 0,05 meter

De wegingsfactor voor het gevoeligheids criterium is 3, omdat met een hoge gevoeligheid de kans op kwaliteitsvermindering hoog is.

3. Arbeidsintensiviteit

3.1 Modelopbouw

De beoordeling van dit criterium is bepaald door de tijd dat de uitvoerder bezig is geweest met de bouw van de modellen te delen door de totaaloppervlakte, in hectare van de percelen.

De beoordelingsklasse zijn:

4 punten	< 2 minuten per hectare perceel
3 punten	< 4 minuten per hectare perceel
2 punten	< 6 minuten per hectare perceel
1 punt	> 6 minuten per hectare perceel

Voor dit sub criterium is gekozen voor een wegingsfactor van 2, omdat het niet van invloed is op het eindresultaat maar wel een deel van de kosten van een project bepaalt.

3.2 Resultaatverwerking

Het criterium resultaatverwerking gaat over de tijd van het verwerken van de resultaten tot het gewenste resultaat. Dit zijn bijvoorbeeld inundatiekaarten, sideviews, waterstandsgrafieken en stroomsnelheidsgrafieken. De beoordelingsklasse zijn:

4 punten	< 0,4 minuut per hectare perceel
3 punten	< 0,9 minuut per hectare perceel
2 punten	< 1,4 minuut per hectare perceel
1 punt	> 1,4 minuut per hectare perceel

Net als het vorige subcriterium is de wegingsfactor 2, omdat het ten dele de kosten van het project bepaalt en in mindere mate het resultaat.

4. Doorrekensnelheid

Het criterium doorrekensnelheid is ingevuld aan de hand van de tijd die Sobek nodig heeft voor het doorrekenen van het model. Randvoorwaarde aan dit beoordelingscriterium is een maximale rekentijd van twee uur. Deze randvoorwaarde is opgesteld vanuit Aveco de Bondt, omdat vaak meerdere situaties moeten worden berekend voor het vaststellen van een schadeclaim. Met deze maximale rekentijd kunnen deze in één nacht worden doorgerekend. Het streven is om een rekentijd van minder dan vijf minuten te hebben zodat het tijdens het verwerken van een schadeclaim overdag, tijdens de

werkzaamheden kan worden doorgerekend. De doorrekentijd is voor elk model met een stopwatch gemeten. De beoordelingstappen zijn arbitrair vastgesteld op;

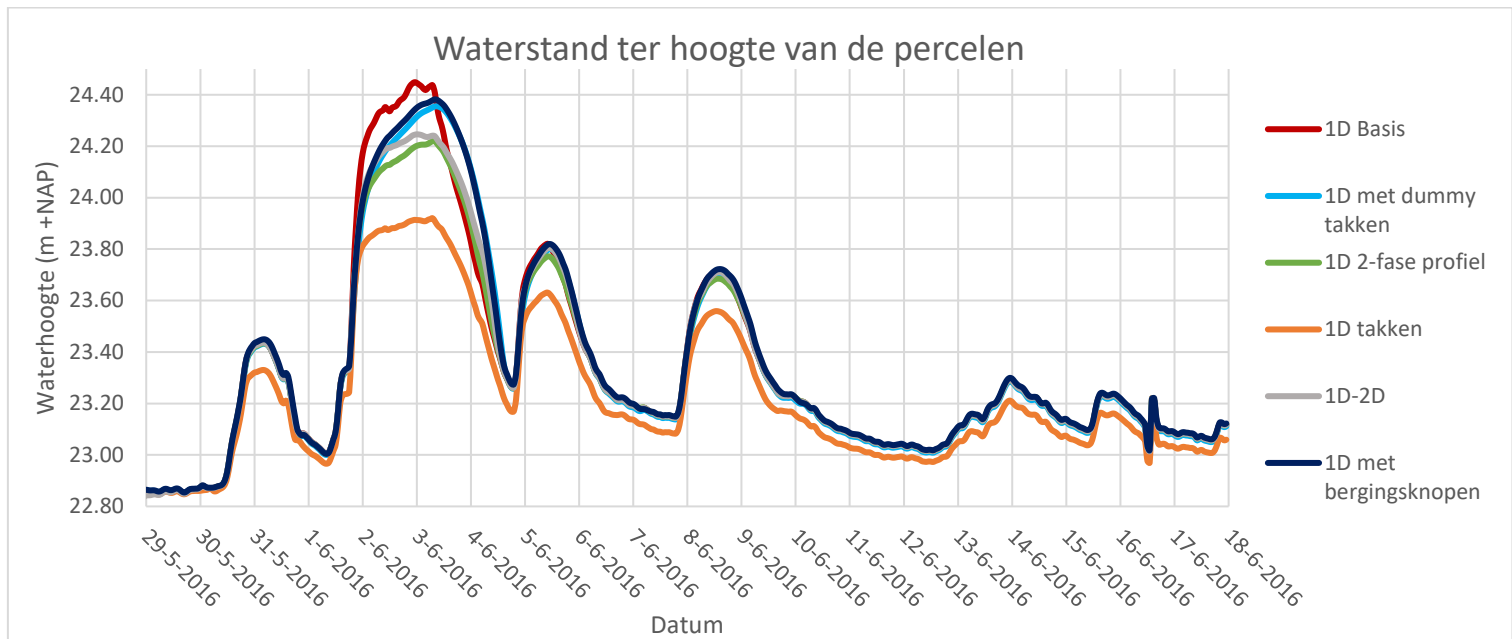
4 punten	< 5 minuten
3 punten	< 15 minuten
2 punten	< 60 minuten
1 punt	<120 minuten

Dit criterium heeft een wegingsfactor van 1 omdat het, uitgezonderd de methodiek 1D-2D, niet de kosten en het resultaat beïnvloed. Bij de methode van modelschematisatie 1D-2D kan worden besloten om een grover grid te modelleren om de rekentijd te verkorten. Dit kan leiden tot kwaliteitsvermindering.

6 Modelresultaten

In dit hoofdstuk zijn de modelresultaten per casus kort beschreven en in bijlage B zijn de modelresultaten uitgebreider beschreven. Dit hoofdstuk gaat in elke paragraaf in op de resultaten van een casus. In bijlage B zijn de paragrafen zodanig gestructureerd dat eerst een overzicht van de resultaten in waterstanden en debieten is weergegeven, gevolgd door een analyse en de verschillen in inundatie. Dit hoofdstuk beantwoordt de deelvraag: “Wat zijn de modelresultaten van de rekenmethoden voor alle casussen?”

6.1 Leende



Figuur 17 Waterstand ter hoogte van de percelen

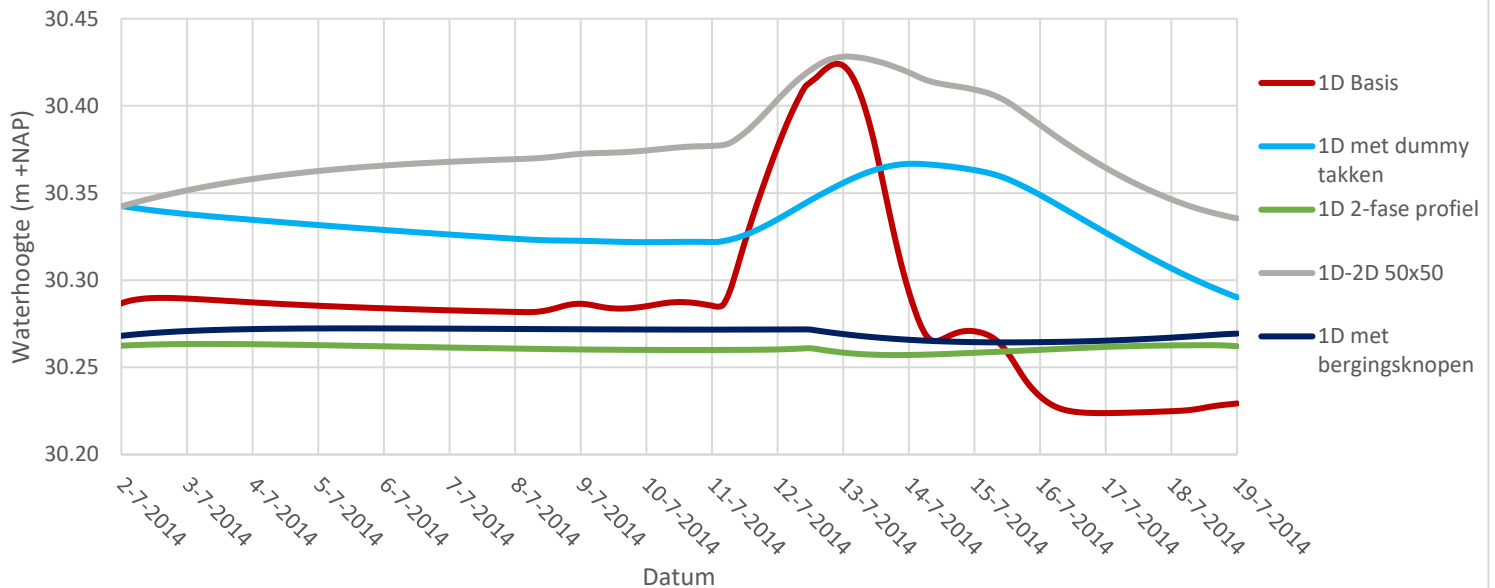
Figuur 17 geeft de waterstanden gedurende de simulatietijd weer. Zichtbaar in dit figuur is dat bij alle methoden berging op het maaiveld wordt gebruikt tijdens de piek van 2 op 3 juni. Echter is ook zichtbaar dat de methoden 1D met dummytakken en 1D takken een verlaagde waterstand tonen tijdens de rest van de berekening.

Bij de methoden 1D met dummytakken en 1D met bergingsknopen is de verlaging minimaal bij de piek van 2 op 3 juni, doordat het maaiveld van de projectgebiedsgrenzen lager is dan de waterstand. Dit probleem doet zich alleen voor benedenstrooms van de percelen. Berging in de haakse B-watgangen is niet goed meegenomen in de methode 1D 2-fase profiel, de parallelle watgangen wel. De lage waterstand van de methode 1D takken is doordat het eerste dwarsprofiel van de maaiveldtak dieptes kent. Voor het 2D grid is een celgrootte van 10x10 meter gebruikt. Hierdoor zijn meerdere B- en C-watgangen niet goed meegenomen.

De methode 1D takken heeft een te lage waterstand doordat in het begin te veel water de maaiveldtak instroomt door de diepte van de parallelle B-watgangen. De methode 1D 2-fase profiel geeft volgens expert judgement goede modelresultaten.

6.2 America

Waterstand zuidelijke watergang ter hoogte van de percelen



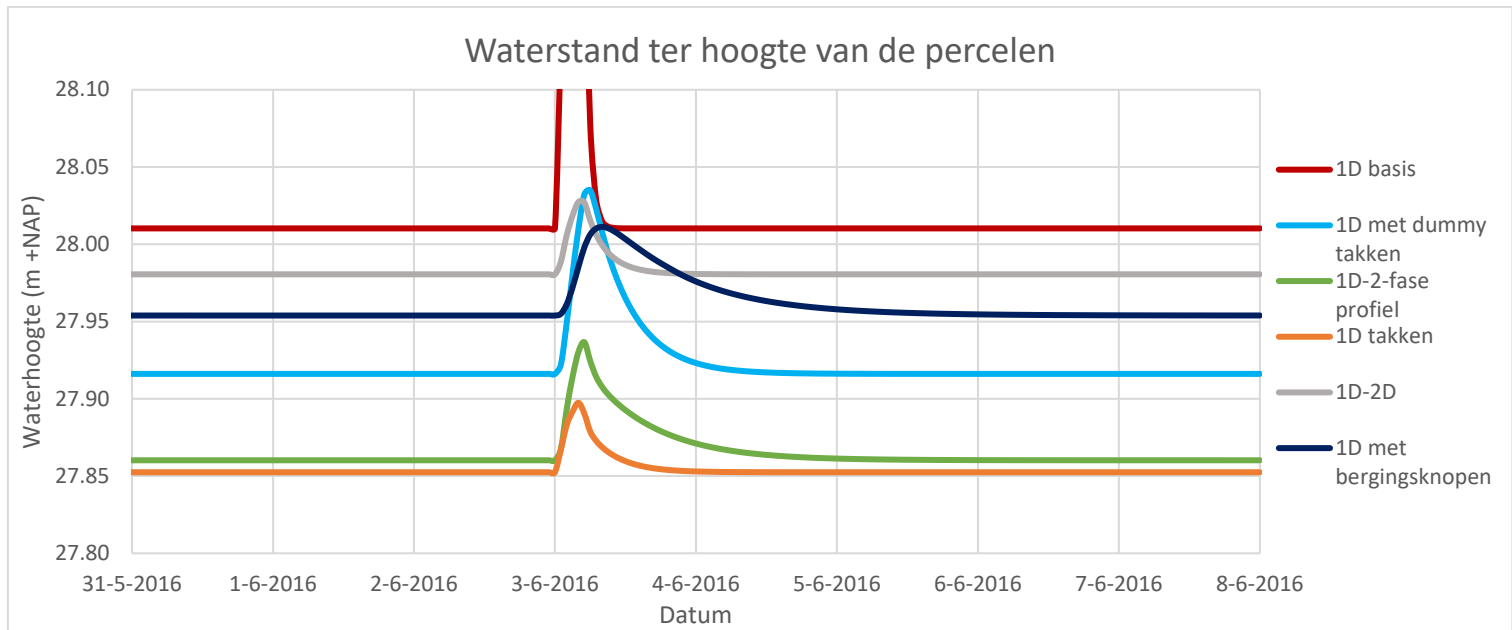
Figuur 18 Waterstand zuidelijke watergang ter hoogte van de percelen

Opvallend in het bovenstaande figuur is dat de waterstanden van de methoden 1D met dummytakken en 1D-2D hoger zijn dan van het 1D basismodel. Daarbij is zichtbaar dat de andere methode geen piek hebben. Voor deze casus is de methode 1D takken niet meegenomen omdat deze niet zuiver is uit te voeren.

Met de methoden 1D met dummytakken en 1D-2D is het mogelijk om parallelle watergangen door inundatie water te laten uitwisselen. In deze casus is de noordelijke watergang iets hoger gelegen dan de zuidelijke. Dit in combinatie met het vlakke maaiveld maakt dat de watergangen water uitwisselen tijdens inundatie. Hierdoor stijgt de waterstand in de zuidelijke watergang. Bij de andere methoden is dit niet mogelijk.

Gezien de grootte van het projectgebied is gekozen voor gridcellen van 50x50 meter. Hierdoor is de methode 1D-2D minder betrouwbaar. Op basis van expert judgement heeft de methode 1D met dummytakken goede modelresultaten.

6.3 Reusel



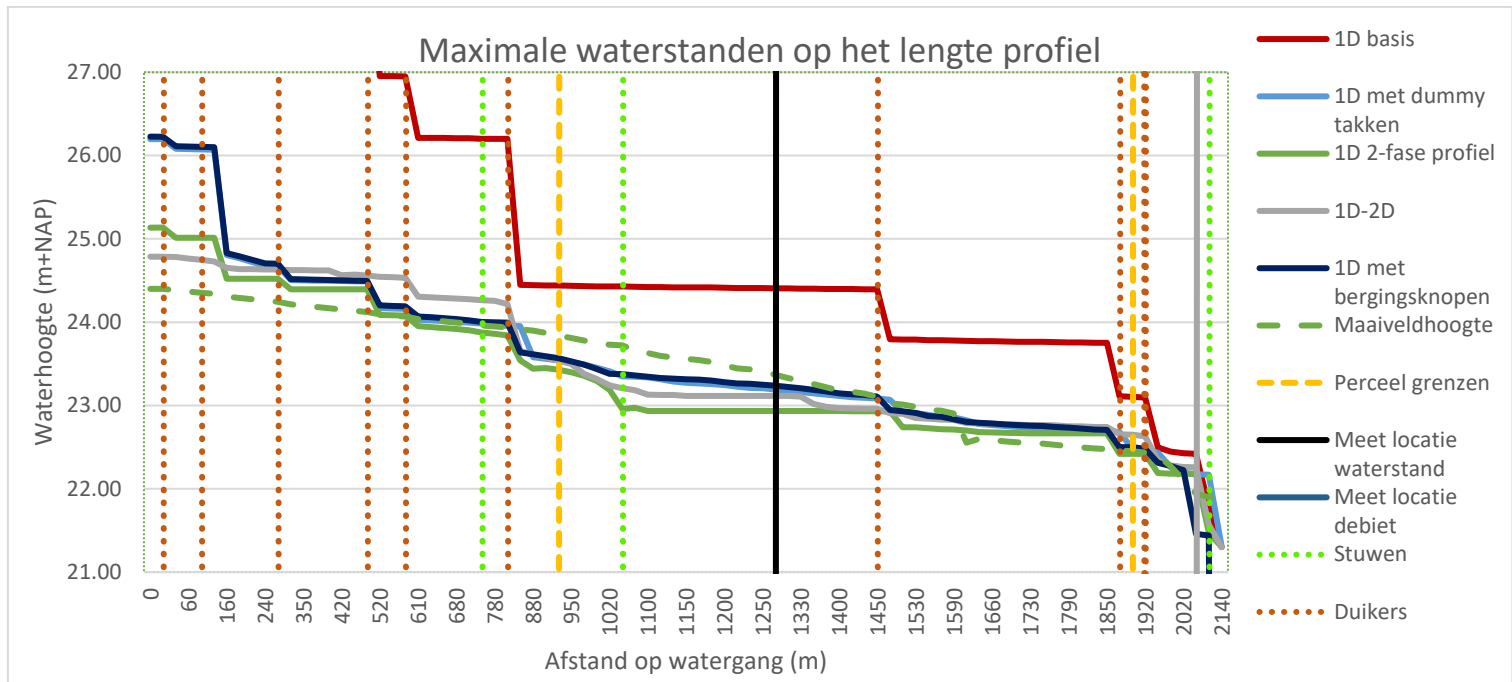
Figuur 19 Waterstand ter hoogte van de percelen

In Figuur 19 zijn de waterstanden gedurende de tijd weergegeven per methode. Alle methoden gebruiken berging op het maaiveld zowel tijdens de stationaire waterstand als tijdens de overstort. Het verschil in waterstandsresultaten tussen de methoden is maximaal dertien centimeter.

De lagere waterstand bij de methode 1D met dummytakken is, doordat benedenstrooms de dwarsprofielen geen bakjes zijn. Zowel tijdens de overstort als het stationaire debiet zijn de lagere waterstanden van de methoden 1D 2-fase profiel en 1D takken te verklaren met de parallelle B-watgangen en grondwallekes. De methode 1D met bergingsknopen heeft die verlaging niet. De verwachting is dat het vervroegd en overmatig gebruik van berging in onbekende mate is opgeheven door de verandering van berging in de watergang. Voor de methode 1D-2D zijn geen opmerkingen om te verwachten dat de waterstand niet correct is.

De methode 1D 2-fase profiel en 1D takken hebben een te lage waterstand door overschatting van de berging. De methode 1D-2D is de verwachting dat de waterstand correct is.

6.4 Someren



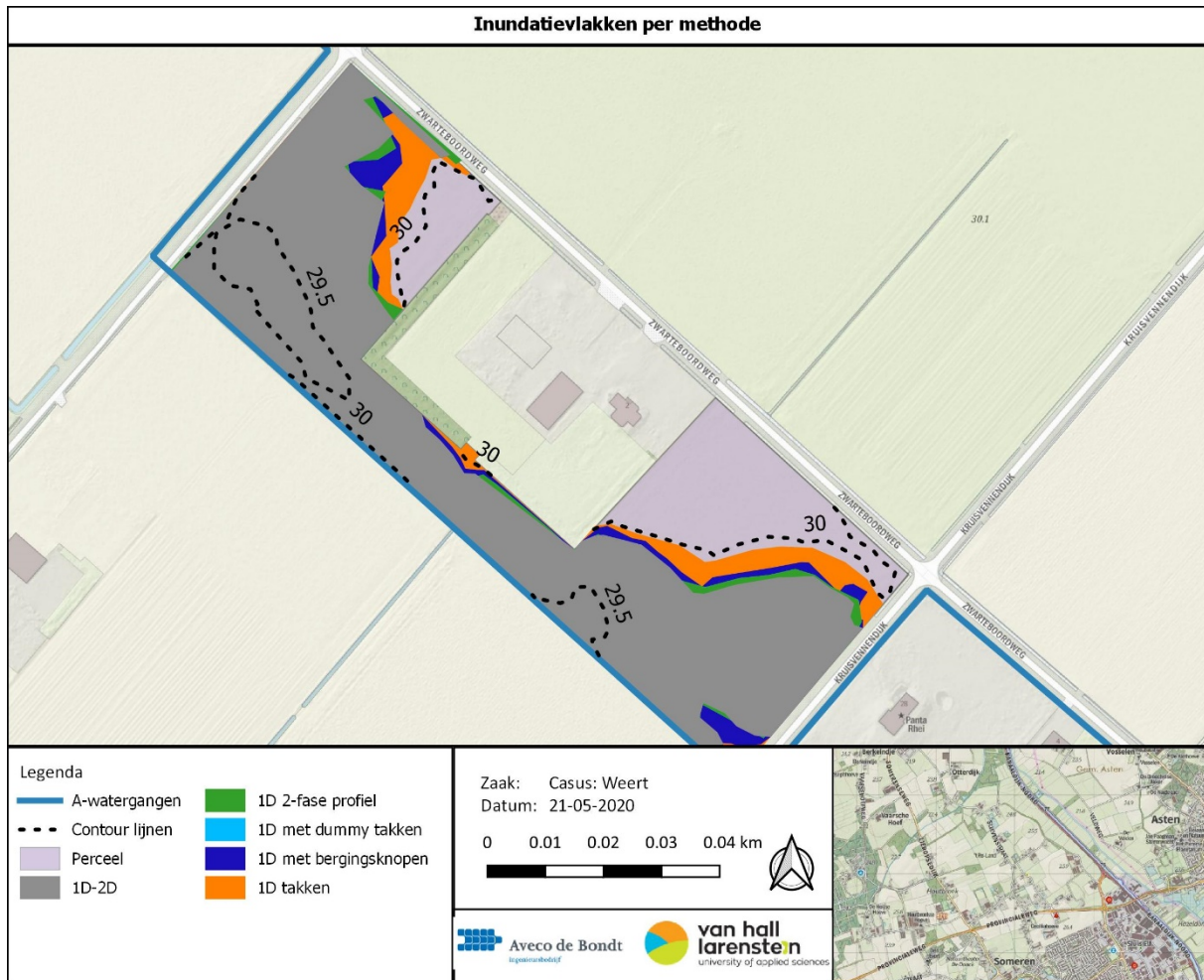
Figuur 20 Maximale waterstand op het lengteprofiel

Uit Figuur 20 blijkt dat berging op het maaiveld de waterstand over het hele lengteprofiel verlaagd. Door de verlaging is vanaf 880 meter tot 1330 meter de waterstand zo verlaagd dat er geen inundatie optreedt. De methode 1D takken is niet meegenomen in deze casus wegens de mate van meandering.

Het gebied kenmerkt zich met veel subtiele verlagingen in het maaiveld. Deze dieptes kunnen bij alle methoden tot miscalculatie leiden. Uit de analyse is gebleken dat de methoden 1D met dummytakken en 1D met bergingsknopen het minst gevoeligst zijn voor deze subtiele verlagingen. Dit verklaart de lagere waterstand bij de methoden 1D 2-fase profiel en 1D-2D. De methode 1D-2D is het meest gevoelig omdat de verdiepingen vervagen door de celgrootte. Bij de methode 1D met bergingsknopen zijn meerdere dwarsprofielen toegevoegd.

De methode 1D met bergingsknopen heeft opmerkingen waardoor de waterstand niet kloppend kan zijn. De methode 1D met dummytakken geeft volgens expert judgement goede modelresultaten.

6.5 Weert



Figuur 21 Inundatievlakken per methode

In het bovenstaande figuur zijn de arealen van inundatie per methode weergegeven. De methode 1D-2D heeft de minste inundatie en de methode 1D takken de meeste. De verschillen in oppervlakte is minimaal tussen de methoden.

De maximale waterstand verschilt, ter hoogte van de percelen, maximaal twee centimeter. Benedenstrooms van het perceel verschillen de waterstanden meer, doordat het maaiveld minder goed is meegenomen rond de tweede watergang dan rond de watergang gelegen aan het perceel. Daarbij verschilt de interactie tussen de stuwen en de waterstand bij de methode 1D met dummytakken, 1D takken en 1D met bergingsknopen ten opzichte van de methoden 1D 2-fase profiel en 1D-2D. De geringe opstuwing van de waterstand rond de stuwen is bij de methoden 1D 2-fase profiel en 1D-2D logischere dan bij de opstuwing bij de andere methoden.

De methoden hebben ter hoogte van de percelen gelijke resultaten. Over de gehele watergangen hebben de methode 1D 2-fase profiel en 1D-2D een verwachte correcte interactie met de stuwen.

7 Resultaatverwerking

In dit hoofdstuk zijn de resultaten verwerkt en zijn de methoden van modelschematisatie door middel van een Multi Criteria Analyse vergeleken met elkaar. Hieruit volgen per casus, met bepaalde landschaps- en modelkenmerken, de geschiktheden van de methoden van modelschematisatie. Het hoofdstuk beantwoordt de deelvraag; "Wat is op basis van de beoordelingscriteria en modelresultaten de mate van geschiktheid van de gebruikte methode per casus?".

7.1 Leende

De methode 1D 2-fase profiel heeft geen aandachtspunten waarbinnen deze casus sprake van is. Dit in combinatie met dat de pieken in de waterstand voldoen aan de verwachtingen en de methode geen debiet verlies heeft maakt dat deze methode de hoogste kwaliteit geeft. De kwaliteit van de overige methoden is bepaald door de resultaten te vergelijken met de resultaten van de methode 1D 2-fase profiel. De methode 1D-2D geeft redelijke vergelijkbare resultaten. De andere methoden hebben meer dan tien centimeter afwijking.

De methoden geven nauwelijks tot geen verschil in resultaten bij een andere frictie van het maaiveld. Voor de methoden 1D met dummytakken en 1D met bergingsknopen is de gevoeligheid voor de intensiviteit van het toepassen van de methode hoog. Dit is te verklaren door het verval. Ook de methoden 1D 2-fase profiel en 1D takken zijn gevoelig voor het verval, maar in mindere mate.

Het opbouwen van de modellen duurde gemiddeld negentig minuten, 3,6 minuut per hectare perceel. Het verwerken van de resultaten duurde gemiddeld twintig minuten, 0,7 minuut per hectare perceel. De rekentijd van de 1D modellen is minder dan twee minuten en bij de 1D-2D methode tien minuten.

Tabel 2 MCA kwalitatieve beschrijving

Criteria/methode van modelschematisatie	1D met dummytakken	1D 2-fase profiel	1D takken	1D met bergingsknopen	1D-2D
Kwaliteit	> 10 cm	0 cm	> 10 cm	> 10 cm	8 cm
Gevoeligheid (gemiddelde afwijking en maximale afwijking)	4 en 5 cm	2 en 3 cm	2 en 3 cm	4 en 6 cm	< 1 en < 3 cm
Modelopbouw	4 min	4 min	2,4 min	2,8 min	0,8 min
Resultaatverwerking	0,9 min	0,9 min	1 min	0,6 min	0,2 min
Doorrekensnelheid	< 1 min	< 1 min	< 1 min	< 1 min	10 min

In Tabel 2 zijn de resultaten kwalitatief verwerkt. Deze waarden zijn vergeleken met de beoordelingscriteriaklassen en daarmee is Tabel 3 ingevuld. Uit de MCA blijkt dat de methode 1D-2D de hoogste score heeft en daarmee de meest geschikte methode is voor deze casus, ondanks dat deze methode niet de hoogste kwaliteit geeft. Dit komt voornamelijk door de korte verwerkingstijd.

Tabel 3 MCA kwantitatief

Wegingsfactor	Criteria/methode van modelschematisatie	1D met dummytakken	1D 2-fase profiel	1D takken	1D met bergingsknopen	1D-2D
4	Kwaliteit	4	16	4	4	8
3	Gevoeligheid	6	9	9	6	12
2	Model opbouw	4	4	6	6	8

2	Resultaatverwerking	4	4	4	6	8
1	Doorrekensnelheid	4	4	4	4	3
	Totaal	22	37	27	26	39

7.2 America

De methode 1D met dummytakken geeft voor deze casus de beste kwaliteit, omdat de verbinding door inundatie tussen de watergangen hierbij mogelijk is. Enkel deze methode en de 1D-2D methoden hebben de mogelijkheid om parallelle watergangen met elkaar in verbinding te brengen. In deze casus is het resultaat van de methode 1D-2D niet correct door de grootte van de grid cellen. Hierom zijn de andere methoden vergeleken met de resultaten van de methoden 1D met dummytakken. Alle methoden hebben meer dan tien centimeter afwijking.

De frictie van het maaiveld heeft geen significant effect op de resultaten. Voor de intensiviteit zijn de methoden 1D-2D en 1D met bergingsknopen vrij gevoelig. De gevoeligheid van de methode 1D-2D is te verklaren door het zeer grove 2D grid. De kwaliteitsverbetering bij een 25x25 meter grid weegt niet op tegen de extra doorrekentijd. Pas bij grid cellen van 10x10 meter is de kwaliteit gelijk aan de methode 1D met dummytakken, echter de rekentijd van vijftien uur, zonder restart file, valt buiten de toelaatbare rekentijd. Bij de methode 1D met bergingsknopen maakt de stapgrootte van hoogte veel uit door het relatief vlakke gebied.

Het projectgebied is groot en hierdoor is de werktijd lang voor de meeste methoden. De gemiddelde werktijd voor de modellen is honderdvijftig minuten, 2,5 minuut per hectare perceel. Hierbij is ook de resultaatverwerking langer, gemiddeld 25 minuten wat gelijk is aan 0,42 minuut per hectare perceel. De doorrekentijd voor de 1D modellen is minder dan vier minuten en voor de methode 1D-2D 23 minuten.

Met deze uitgangspunten is Tabel 4 in gevuld.

Tabel 4 MCA kwalitatieve beschrijving

Criteria/methode van modelschematisatie	1D met dummytakken	1D 2-fase profiel	1D takken	1D met bergingsknopen	1D-2D
Kwaliteit	0 cm	> 10 cm	-	> 10 cm	> 10 cm
Gevoeligheid (gemiddelde afwijking en maximale afwijking)	< 1 en < 3 cm	< 1 en < 3 cm	-	4 en 6 cm	4 en 5 cm
Modelopbouw	2,5 min	3 min	-	2 min	0,33 min
Resultaatverwerking	0,58 min	0,42 min	-	0,17 min	0,08 min
Doorrekensnelheid	4 min	3 min	-	4 min	23 min

Vanuit de gegevens in Tabel 9 is de MCA kwantitatief ingevuld, zie Tabel 10. Hieruit blijkt dat de methode 1D met dummytakken de voorkeursvariant is voor deze casus. De methode wint het vooral op de kwaliteit door de verbinding tussen de watergangen. De methode 1D-2D heeft deze mogelijkheid ook, echter door het grove grid wijkt het te veel af. Voor een gelijke situatie met een kleiner projectgebied zou dit de voorkeursvariant zijn door de korte arbeidstijd.

Tabel 5 MCA kwantitatief

Wegings- factor	Criteria/methode van modelschema- tisie	1D met dummytakke n	1D 2- fase profiel	1D takken	1D met bergingsknopen	1D-2D
4	Kwaliteit	16	4	-	4	4
3	Gevoeligheid	12	12	-	6	6
2	Model opbouw	6	6	-	6	8
2	Resultaatverwerking	6	6	-	8	8
1	Doorrekensnelheid	4	4	-	4	2
	Totaal	44	32	-	30	28

7.3 Reusel

De methode 1D-2D heeft voor deze casus de hoogste kwaliteit omdat deze methode geen opmerkingen heeft. Vanuit de resultaten van deze methoden zijn de overige methoden beoordeeld op kwaliteit. De methode 1D met bergingsknopen heeft vergelijkbare resultaten. De andere methode wijken veel af.

De methode 1D met dummytakken en 1D 2-fase profiel hebben een hoge gevoeligheid voor frictie. De methode 1D-2D is enkel significant gevoelig op de reactie rond de overstort op frictie verandering, voor de stationaire afvoer kent het geen zichtbare gevoeligheid. Voor de overige gevoeligheidsfactoren zijn de methoden niet significant gevoelig.

Het aanpassen van het 1D basismodel duurde gemiddeld 45 minuten, 4,5 minuut per hectare perceel, van de methoden. De resultaatverwerking duurde gemiddeld tien minuten, één minuut per hectare perceel. De doorrekentijd van de 1D methoden is minder dan één minuut en van de 1D-2D methoden circa vier minuten.

De bovenstaande resultaten zijn kwantitatief beschreven in Tabel 6.

Tabel 6 MCA kwalitatieve beschrijving

Criteria/methode van modelschematisatie	1D met dummytakke n	1D 2- fase profiel	1D takken	1D met bergingsknopen	1D-2D
Kwaliteit	6 cm	> 10 cm	> 10 cm	2 cm	0 cm
Gevoeligheid (gemiddelde afwijking en maximale afwijking)	< 4 en < 6 cm	3 en 5 cm	2 en 3 cm	1 en 4 cm	3 en 4 cm
Modelopbouw	5 min	5 min	4,5 min	4,5 min	2 min
Resultaatverwerking	1 min	1,5 min	1 min	1 min	0,5 min
Doorrekensnelheid	< 1 min	< 1 min	< 1 min	< 1 min	4 min

Tabel 7 MCA kwantitatief

Wegings- factor	Criteria/methode van modelschema- tisie	1D met dummytakke n	1D 2- fase profiel	1D takken	1D met bergingsknopen	1D-2D
4	Kwaliteit	8	4	4	16	16
3	Gevoeligheid	6	6	9	9	9

2	Model opbouw	4	4	4	4	6
2	Resultaatverwerking	4	2	4	4	6
1	Doorrekensnelheid	4	4	4	4	4
Totaal		26	20	26	40	41

De MCA, Tabel 7, is ingevuld aan de hand van de bovengenoemde uitwerkingen. Uit de MCA blijkt dat voor deze casus de methode 1D-2D de voorkeursvariant is. Door de hoge kwaliteit en de korte modelopbouw en resultaatverwerking.

7.4 Someren

1D dummytakken is de voorkeursvariant van kwaliteit voor deze casus, zowel tijdens het stationaire debiet als tijdens en direct na de overstort. Dit model heeft de hoogste kwaliteit, omdat het landschap weinig verhang kent en meer dan vijf procent van het projectgebied subtiële oneffenheden zijn. De resultaten van de andere methoden verschillen meer dan vijf centimeter met deze methode.

De methoden 1D met dummytakken en 1D met bergingsknopen hebben geen significante gevoeligheid binnen deze casus. De methode 1D 2-fase profiel is gevoelig voor frictie, zowel tijdens de stationaire afvoer als vlak na de overstort. Reden hiervoor is de verdiepingen in het maaiveld. Het 1D-2D model is nauwelijks gevoelig voor frictie maar heeft een afwijking bij een grover grid.

Het aanpassen van het 1D basismodel duurde gemiddeld 45 minuten, drie minuut per hectare perceel. Bij de methode 1D 2-fase profiel was meer tijd nodig, omdat de bakjes in een yz-profiel zijn gemodelleerd. De resultaatverwerking kostte bij de methode minder dan twintig minuten, 0,8 minuut per hectare perceel. De rekentijd van de 1D modellen zijn minder dan één minuut en van de methode 1D-2D vier minuten.

Tabel 8 MCA kwalitatieve beschrijving

Criteria/methode van modelschematisatie	1D met dummytakken	1D 2-fase profiel	1D takken	1D met bergingsknopen	1D-2D
Kwaliteit	0 cm	> 10 cm	-	9 cm	7 cm
Gevoeligheid (gemiddelde afwijking en maximale afwijking)	< 1 en < 3 cm	4 en 4 cm	-	< 1 en < 3 cm	3 en 5 cm
Modelopbouw	3,33 min	4 min	-	3 min	1,33 min
Resultaatverwerking	1 min	1 min	-	0,67 min	0,33 min
Doorrekensnelheid	< 1 min	< 1 min	-	< 1 min	4 min

Tabel 9 MCA kwantitatief

Wegingsfactor	Criteria/methode van modelschematisatie	1D met dummytakken	1D 2-fase profiel	1D takken	1D met bergingsknopen	1D-2D
4	Kwaliteit	16	4	-	8	8
3	Gevoeligheid	12	6	-	12	6
2	Model opbouw	6	4	-	6	8
2	Resultaatverwerking	4	4	-	6	8
1	Doorrekensnelheid	4	4	-	4	4

Totaal	42	22	-	36	34
---------------	-----------	-----------	----------	-----------	-----------

Uit de MCA van deze casus blijkt dat de methode 1D met dummytakken de voorkeursvariant is voor deze casus. Dit komt voornamelijk door de hoge kwaliteit en lage gevoeligheid.

7.5 Weert

Het model 1D 2-fase profiel heeft de hoogste kwaliteit vanwege de interactie met de stuw en het behoud van het debiet. De methode 1D-2D heeft een maximale waterstand afwijking van twee centimeter en heeft hiermee ook de hoogste kwaliteit. De waterstanden van de andere methoden wijken meer dan tien centimeter af. Deze afwijkingen zijn zichtbaar rond de stuwen.

De methode 1D met bergingsknopen is gevoelig voor de stapgrootte van de hoogte. De verklaring hiervoor is de grote toename van beschikbaar inundatieoppervlak rond een hoogte van 29,70 m +NAP. De andere methoden zijn niet gevoelig voor de geteste factoren.

Het opbouwen van de modellen duurde gemiddeld dertig minuten, zes minuten per hectare, en het verwerken van de resultaten vijf minuten, 1,2 minuut per hectare perceel. De rekentijd van de 1D modellen is minder dan twee minuten en bij de 1D-2D methode 45 minuten.

Tabel 10 MCA kwalitatieve beschrijving

Criteria/methode van modelschematisatie	1D met dummytakken	1D 2-fase profiel	1D takken	1D met bergingsknopen	1D-2D
Kwaliteit	> 10 cm	0cm	> 10 cm	> 10 cm	2 cm
Gevoeligheid (gemiddelde afwijking en maximale afwijking)	< 1 en < 3 cm	< 1 en < 3 cm	< 1 en < 3 cm	2 en 5 cm	< 1 en < 3 cm
Modelopbouw	5,8 min	5,8 min	7,5 min	6,67 min	3 min
Resultaatverwerking	1,2 min	1,2 min	1,2 min	1,2 min	1,2 min
Doorrekensnelheid	< 2 min	< 2 min	< 2 min	< 2 min	45 min

Uit de kwalitatieve beschrijving in Tabel 10 is de MCA in Tabel 11 ingevuld. Hieruit blijkt dat de methoden 1D 2 fase profiel en 1D-2D de voorkeursvarianten zijn. Dit komt door de hoge kwaliteit. De andere methoden zijn niet geschikt voor deze casus.

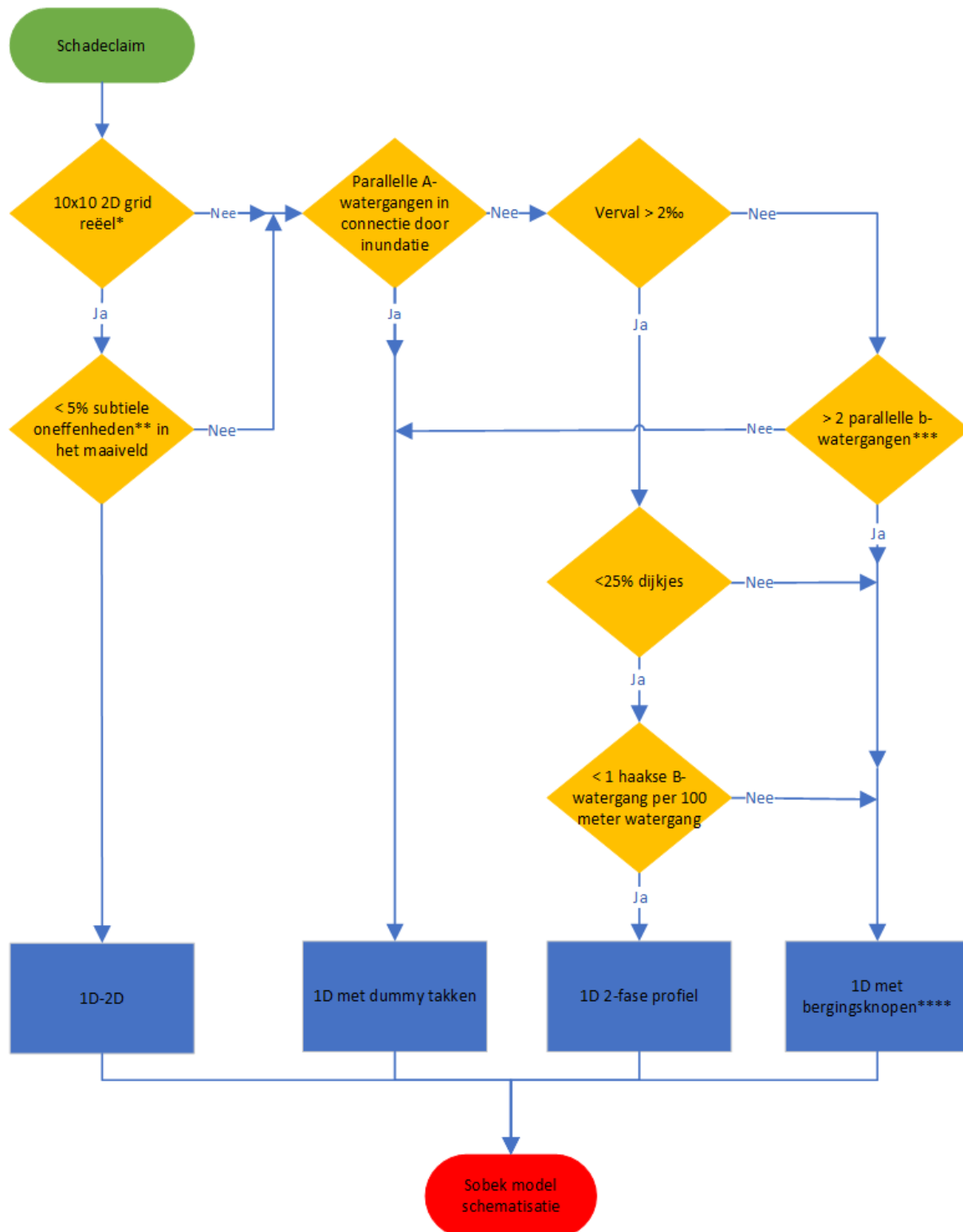
Tabel 11 MCA kwantitatief

Wegingsfactor	Criteria/methode van modelschematisatie	1D met dummytakken	1D 2-fase profiel	1D takken	1D met bergingsknopen	1D-2D
4	Kwaliteit	4	16	4	4	16
3	Gevoeligheid	12	12	12	6	12
2	Model opbouw	4	4	2	2	6
2	Resultaatverwerking	4	4	4	4	4
1	Doorrekensnelheid	4	4	4	4	2
	Totaal	28	40	26	20	40

8 Eindproduct

De onderstaande beslisboom is opgesteld vanuit de resultaten van de beantwoording van de vooraf opgestelde deelvragen. Deze beslisboom kan gebruikt worden als tool om de voorkeursvariant van modelschematisatie te onderbouwen naar de advocaat van de gedupeerde van inundatie schade.

Vanuit het voorafgaande hoofdstuk is geconcludeerd dat de methode 1D-2D over het algemeen de voorkeursvariant is. Mits een 2D grid van 10x10 meter reëel is en het gebied niet veel subtiële oneffenheden heeft. Als dit niet het geval is, is de methode 1D met dummytakken de voorkeursvariant. Bij deze methode mag het verval langs de watergang niet meer dan twee promille zijn. Wanneer deze methoden niet geschikt zijn, heeft de methode 1D 2-fase profiel de voorkeur. Deze methode is enkel niet correct bij veel grondwalletjes en haakse B-watergangen. Als geen van de bovengenoemde methoden toepasbaar is dan kan worden gekozen voor de methode 1D met bergingsknopen. Aan deze methode zitten echter veel onzekerheden. Maar, uit dit onderzoek is naar voren gekomen dat het een bruikbare methode is. De methode 1D takken is in geen enkele casus de voorkeurvariant en heeft vaak een grote afwijking in de waterstand. Hierom valt deze methode af binnen dit onderzoek en is niet verwerkt in de beslisboom.



* Een 2D grid met cellen van 10x10 meter is reëel wanneer de rekentijd korter is dan twee uur. Dit kan worden behaald bij een projectgebied van bijvoorbeeld ter grootte van 300 hectare met uitkomstresultaten per één uur met gridcellen van 10x10 meter.

** Subtiële oneffenheden zijn ververhoging en/of verlagingen van het maaiveld, door poeltjes of watergangen, die kleiner zijn dan de grootte van de gridcel. De 5% is voor nu een verwachte waarde. Om zeker te zijn van dit percentage is verder onderzoek nodig.

*** Deze B-watergangen bedekken minstens de helft van de lengte van A-watergang.



**** De methode 1D met bergingsknopen is volgens dit onderzoek een geschikte methode wanneer de andere methoden niet geschikt zijn. Echter, is ook bekend dat deze methode de meeste aandachtspunten heeft juist op de beslissingspunten. Een aanrader is deze methode beter te onderzoeken.

9 Conclusie

De hoofdvraag van dit onderzoek is; “welke methoden van modelschematisatie in Sobek 2 zijn het meest geschikt voor het modelleren van inundatie van landbouwpercelen in zuidoost Nederland?”. Voor het beantwoorden van deze vraag zijn meerdere deelonderzoeken uitgevoerd. De resultaten van deze deelonderzoeken zijn hieronder beschreven.

Als conclusie is gesteld dat de methode 1D-2D over het algemeen de meest geschikte methode is. Mits een grid van 10x10 of fijner is toegepast en het landschap minder dan vijf procent subtiele oneffenheden kent. Is dit niet mogelijk dan zijn de methoden 1D met dummytakken en 1D 2-fase profiel de meeste geschikte methoden. Dit is afhankelijk van het verval, de positionering van de B-watgangen en de mate van dijkjes. De methode 1D met bergingsknopen is een uitwijkmogelijkheid, maar deze moet nog verder worden uitgezocht.

Deze conclusie is geformuleerd op basis van de antwoorden op de deelvragen. De conclusie per deelvraag is hieronder beschreven.

De beschikbare methoden van modelschematisatie zijn als volgt toegepast;

- 1D met dummytakken, takken die het maaiveld en haakse B- watgangen representeren worden haaks op de watergang gemodelleerd. Hierbij moeten de dwarsprofielen bakjesvormig zijn.
- 1D 2-fase profiel, de dwarsprofielen worden uitgebreid met het maaiveld en parallelle B-watgangen. Belangrijk is dat de uitbreiding op alle dwarsprofielen is toegepast, de dwarsprofielen bakjesvormig zijn en de overschatting en onderschatting in de bochten van de berging gelijk is. Daarbij leiden dijkjes tot onderschatting van de waterstand bij een lage waterstand.
- 1D takken, een tweede tak wordt toegevoegd aan het model, deze tak representeert het maaiveld en is op meerdere plekken verbonden met de watergang tak. Voor het toepassen van deze methode moet de watergang meanderen. Van belang is dat het eerste dwarsprofiel van de tweede tak geen verlaging kent door poelen of B- en C- watgangen.
- 1D met bergingsknopen, de beschikbare berging van een peilgebied/perceel/afwaterende eenheid is in een bergingsknoop gemodelleerd. Deze bergingsknoop heeft per hoogte stap een beschikbare oppervlakte. Poelen, watgangen, grote verschillen in frictie van de watergang en maaiveld en het toevoegen van dwarsprofielen zijn van invloed op de waterhoogte.
- 1D-2D, een 2D grid is toegevoegd aan het verkregen 1D basismodel. De celgrootte is van invloed op de beschikbare berging in subtiele verhogingen en verlagingen en rekentijd.

De hydrologische relevante landschappelijke kenmerken zijn de oppervlakte van de percelen en het onderzoeksgebied, de hoogteligging van de percelen ten opzichte van de omgeving, het verval, grondwallen langs de watergang, mate van meanderingen, stuwen, duikers, dynamische of stationaire afvoer en de herhalingstijd. Binnen de casussen verschilt elke casus op één of meer van deze factoren ten opzichte van de andere casussen.

De rekenmethoden zijn per casus beoordeeld op;

- Kwaliteit; de hoeveelheid aandachtspunten waar sprake van is in de casus, het behoud van debiet en de afvlakking van de piek.

- Gevoeligheid; de gemiddelde en maximale afwijking die ontstaat door het aanpassen van de frictie, intensiviteit van het toepassen van de methode, de stapgrootte van de hoogte in de bergingsknopen en celgrootte van het 2D grid.
- Arbeidsintensiviteit modelopbouw; hoe lang de uitvoerder bezig is geweest met het bouwen van de modellen.
- Arbeidsintensiviteit resultaatverwerking; de tijd van het verwerken van de resultaten tot het gewenste resultaat.
- Doorrekensnelheid; hoe lang Sobek 2 nodig is voor het doorrekenen van het model.

De methode 1D met dummytakken wijkt af van de andere methoden als er sprake is van een groot verval en een connectie tussen parallelle a-watgangen. Bij dijkjes langs de watgang wijkt de methode 1D 2-fase profiel af met een lagere waterstand. Over het algemeen heeft de methode 1D takken een grote afwijking in waterhoogte. Tevens is het niet mogelijk om deze methode toe te passen in alle casussen, vanwege de mate van meandering. De methode 1D met bergingsknopen heeft vaak een van de hoogste waterstanden. Dit komt doordat bij deze methode in de watgang ook de berging onvermijdelijk is aangepast. De waterstanden van de methode 1D-2D zijn meestal in het midden van de andere methoden. De afvlakking van de piek wordt over het algemeen goed meegenomen binnen de 1D-2D modellen. Voor alle casussen geldt dat alle methoden het debiet goed behouden.

Uit het onderzoek is gebleken dat de voorkeursvariant sterk afhankelijk is van de gebiedseigenschappen van de casus. Voor de casus Leende is de methode 1D-2D de voorkeursvariant. Bij deze casus is de methode 1D 2-fase profiel ook een mogelijkheid. De andere methoden zijn niet geschikt. De casus America heeft maar één geschikte methode, 1D met dummytakken. De andere methoden zijn niet geschikt. De methode 1D-2D is de voorkeursvariant van de casus Reusel, de methode 1D met bergingsknopen is de tweede voorkeursvariant. De methode 1D 2-fase profiel en 1D takken zijn niet geschikt voor deze casus. Voor de casus Someren is de methode 1D met dummytakken de voorkeursvariant. De andere methode zijn niet geschikt voor deze casus.

10 Discussie en aanbevelingen

De methoden van modelschematisatie zijn beschreven vanuit kennis van Aveco de Bondt en zijn aangevuld na eigen gebruik van de methoden. Tijdens het onderzoek heeft de uitvoerder pas kennis gemaakt met de verschillende methoden van modelschematisatie. Hierdoor zijn fouten gemaakt bij het toepassen van de methoden in de casussen Leende, America en Reusel. Na deze casussen is de beschrijving van de methoden aangevuld. Bij deze casussen is na het aanvullen van de tekstuele beschrijving onderzocht of de methoden voldoen aan de aandachtspunten. Waar dit niet was, zijn de modellen opnieuw opgebouwd. De beschrijving van de rekenmethoden is ook nog aangevuld vanuit de vierde en vijfde casus. Dit heeft niet geleid tot verslechtingen van de eerste drie casussen. Wel is de verwachting dat de rekenmethoden nog niet volledig beschreven zijn, omdat bij elke casus een ander probleem zich voor deed. Het is interessant om dit onderzoek uit te breiden naar nog extra casussen.

Voor de frictie van het maaiveld en de watergang zijn vaste waardes aangehouden voor alle casussen. Dit is gekozen om de factor frictie uit te sluiten als invloed op de resultaten. Voor de waarden is gekozen omdat alle casussen het zomerjaargetijde betreffen. Hierdoor is de factor frictie niet meegenomen in de beoordeling van de kwaliteit. Daarom is het aanbevolen om te onderzoeken of de kwaliteit afhankelijk is van de frictie van de watergang.

De casussen verschillen elk op meerdere factoren. Hierdoor is het lastig om aan te tonen waarom een methode geen goed resultaat gaf. Bij een volgend onderzoek is het aan te raden om het onderzoek te doen binnen surrealistische casussen. Hierbij kunnen de wijzigingen in resultaat simpeler worden gekoppeld aan het verschil in landschap.

In dit onderzoek zijn de modelresultaten niet vergeleken met de situaties in de praktijk. De methoden zijn beoordeeld op basis van expert judgement. Dit is een werkwijze met veel onzekerheden. Voor deze werkwijze is gekozen omdat in de praktijk gemeten gegevens, bij meerdere casussen, niet nabij de percelen zijn. Hierdoor zijn de 'echte' waterstanden bij de percelen op aannames gebaseerd en kent deze werkwijze ook veel onzekerheden. Voor een gelijksoortig onderzoek is het beter om casussen te onderzoeken waarbij geen aannames zijn gedaan betreft de waterstand nabij de inundatie. Hierdoor kunnen de modelresultaten met deze waterstanden vergeleken worden.

Voor het bepalen van de gevoeligheid, van de intensiviteit van het toepassen van de methode, is over het algemeen per drie dummytakken en bergingsknopen één toegevoegd of verminderd. In de casussen Reusel en Weert was dit niet mogelijk door het verval langs de watergang. Bij deze casussen zijn meerdere dummytakken verminderd om te voorkomen dat het water tegen de randen van de dwarsprofielen opbouwt. Dezelfde intensiviteit is aangehouden bij de methode 1D met bergingsknopen. Dit is niet volledig correct in vergelijking met de andere methoden. Echter, bij het anders uitvoeren van de gevoeligheidstest zouden deze twee methoden benadeeld zijn door de miscalculatie.

De arbeidstijd van de modelopbouw en resultaatverwerking is binnen dit onderzoek de totaal tijd gedeeld door de oppervlakte van de percelen. Op deze schaal zijn de eerste vier casussen vergelijkbaar met elkaar, omdat de oppervlakte van de percelen ongeveer tien procent zijn van het onderzoeksgebied. Bij de casus Weert is het perceel maar één procent van de totaaloppervlakte. Om te voorkomen dat deze niet op dezelfde schaal gemeten is, is gekeken naar de tijd die het kostte om de watergang Diepven te modelleren bij de methoden. Naast deze afwijking geeft deze meetschaal

het effect, hoe kleiner het gebied hoe langer de methoden duren om op te bouwen en de resultaten te verwerken.

Voor de doorrekensnelheid is niet gekozen om deze afhankelijk te maken van de oppervlakte. Hiervoor is gekozen omdat de randvoorwaarde maximale rekentijd twee uur onafhankelijk is van de grootte van het gebied.

In dit onderzoek is de methode 1D met bergingsknopen als uitwijkmogelijkheid gekozen, als de andere methoden niet toepasbaar zijn. Uit het onderzoek is naar voren gekomen dat de methode 1D met bergingsknopen goede resultaten geeft. Echter, lijken de goede resultaten te komen doordat het aandachtspunt betreft de bergingsverandering in de watergang en het aandachtspunt bergingsoverschatting door grondwalleltjes en verlagingen in het maaiveld tegen elkaar op te wegen. Dit maakt de methode onzeker in het gebruik. Hierom is verder onderzoek naar uitwijkmogelijkheden aanbevolen.

Binnen deze rapportage is de beslisboom het eindproduct naar de opdrachtgever. Het kan ook worden beschouwd als concept-beslisboom voor een vervolgonderzoek. De verwachting is dat naast de beschrijving van de rekenmethoden het ook mogelijk is dat bepaalde problemen, die leiden tot een verandering in de beslisboom, niet zijn voorgekomen binnen de casussen. Daarom is het een aanbeveling om de methoden op meer casussen te testen en het proces van testen en verbeteren van de beslisboom door te zetten.

11 Bibliografie

- Beersma, J. (2016). *Schaling neerslagstatistiek korte duren*. KNMI. Opgeroepen op februari 03, 2020, van
http://cdn.knmi.nl/system/data_center_publications/files/000/070/058/original/memo_schaling_neerslagstatistiek_voor_rws_definitief.pdf?1495622135
- Deltares. (sd). *SOBEK 1DFLOW (Rural)*. Opgeroepen op februari 11, 2020, van Deltares:
<https://www.deltares.nl/en/software/module/sobek-1dflow-rural/>
- Deltares. (sd). *SOBEK 2DFLOW (Overland Flow)*. Opgeroepen op februari 11, 2020, van Deltares:
<https://www.deltares.nl/en/software/module/sobek-2dflow-overland-flow/>
- Eugelink, G. (2019). *Hydrologisch handboek Waterschap Vechtstromen*. Waterschap Vechtstromen. Opgeroepen op maart 2, 2020
- Mittring, T. (2019). *Hydrologisch expertiserapport wateroverlast America, De Kleijne van Vonderen & Geurts-Fleuren*. Holten: Aveco de Bondt. Opgeroepen op maart 23, 2020
- Mittring, T. (2019). *Hydrologisch expertiserapport wateroverlast Lavrijsen*. Holten: Aveco de Bondt. Opgeroepen op April 6, 2020
- Mittring, T. (2019). *Hydrologisch expertiserapport wateroverlast Maatschaat swinkels - Aanvullende rapportage*. Holten: Aveco de Bondt. Opgeroepen op April 28, 2020
- Mittring, T. (2020). *Hydrologisch expertiserapport wateroverlast Van Dommelen, Leende*. Holten: Aveco de Bondt. Opgeroepen op maart 6, 2020
- Mittring, T. (2020). *Hydrologisch expertiserapport waterschade Creemers*. Holten: Aveco de Bondt. Opgeroepen op mei 11, 2020
- pdok. (2019). *downloadpage*. Opgeroepen op maart 2, 2020, van pdok:
<https://downloads.pdok.nl/ahn3-downloadpage/>
- Procee, J., & Kramer, J. (2016, december 01). *schadeclaim wateroverlast afgewezen door waterschappen*. Opgeroepen op februari 03, 2020, van blogomgevingsrecht:
<https://blogomgevingsrecht.nl/nieuws/schadeclaims-wateroverlast-afgewezen-waterschappen/>
- Querner, E., & Makaske, A. (2012). *Verkenning van stromingsweerstand*. Wageningen: alterra Wageningen UR. Opgeroepen op maart 19, 2020
- Rijkswaterstaat Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat. (sd). *normen wateroverlast*. Opgeroepen op februari 03, 2020, van infomil: <https://www.infomil.nl/onderwerpen/lucht-water/handboek-water/thema-s/wateroverlast-0/normen-wateroverlast/>
- Tak, Y. H., Dong Kim, Y., Do Kim, Y., & Boosik, K. (2016, Juni). *A Study on Urban Inundation Prediction Using Urban Runoff Model and Flood Inundation Model*. Opgeroepen op April 16, 2020, van ResearchGate:
https://www.researchgate.net/publication/304374970_A_Study_on_Urban_Inundation_Prediction_Using_Urban_Runoff_Model_and_Flood_Inundation_Model/figures?lo=1

Bijlagen

Bijlage inhoudsopgave

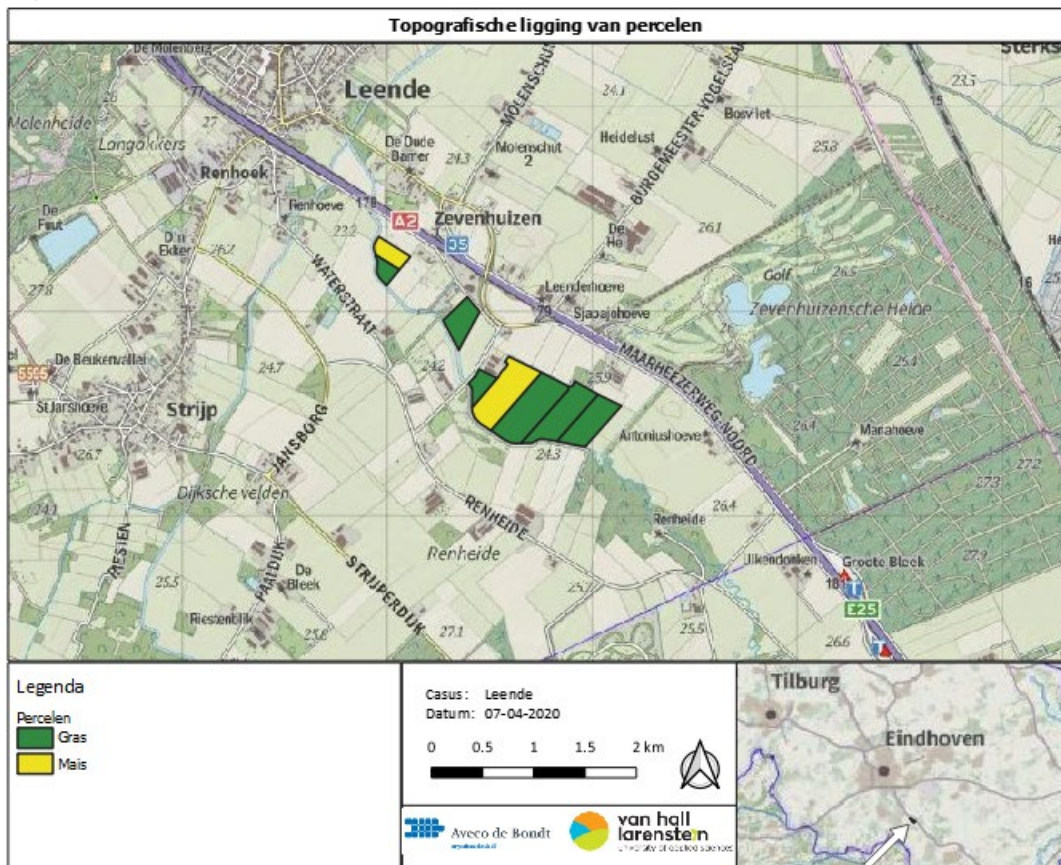
A.	Casus introductie.....	39
A-1.	Leende (Mittring, 2020)	39
A-2.	America (Mittring, 2019)	43
A-3.	Reusel (Mittring, 2019).....	47
A-4.	Someren (Mittring, 2019).....	51
A-5.	Weert (Mittring, 2020)	55
B.	Modelresultaten.....	59
B-1.	Leende	59
B-2.	America	62
B-3.	Reusel	67
B-4.	Someren	70
B-5.	Weert.....	74
C.	Reflectie.....	77

A. Casus introductie

In deze bijlage staan de introductie van de casus uitgeschreven en in beeld weergegeven. Deze bijlage is ondersteunend aan hoofdstuk 2.

A-1. Leende (Mittring, 2020)

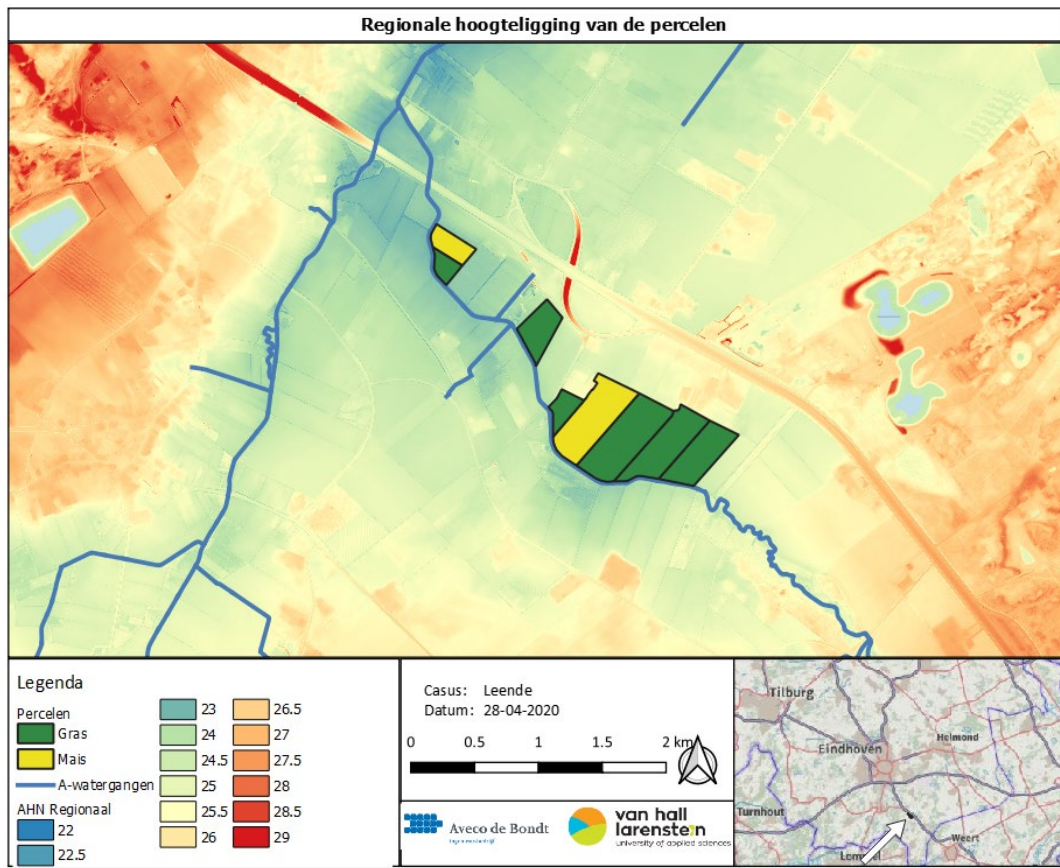
Nabij Leende zijn tijdens de neerslag in het begin van de maand juni 2016 meerdere percelen geïnundeerd vanuit de Bulder Aa, Waterschap De Dommel. De geïnundeerde percelen werden gebruikt voor het telen van gras en snijmais. Het betreft acht percelen met een totaaloppervlakte van 24,5 hectare.



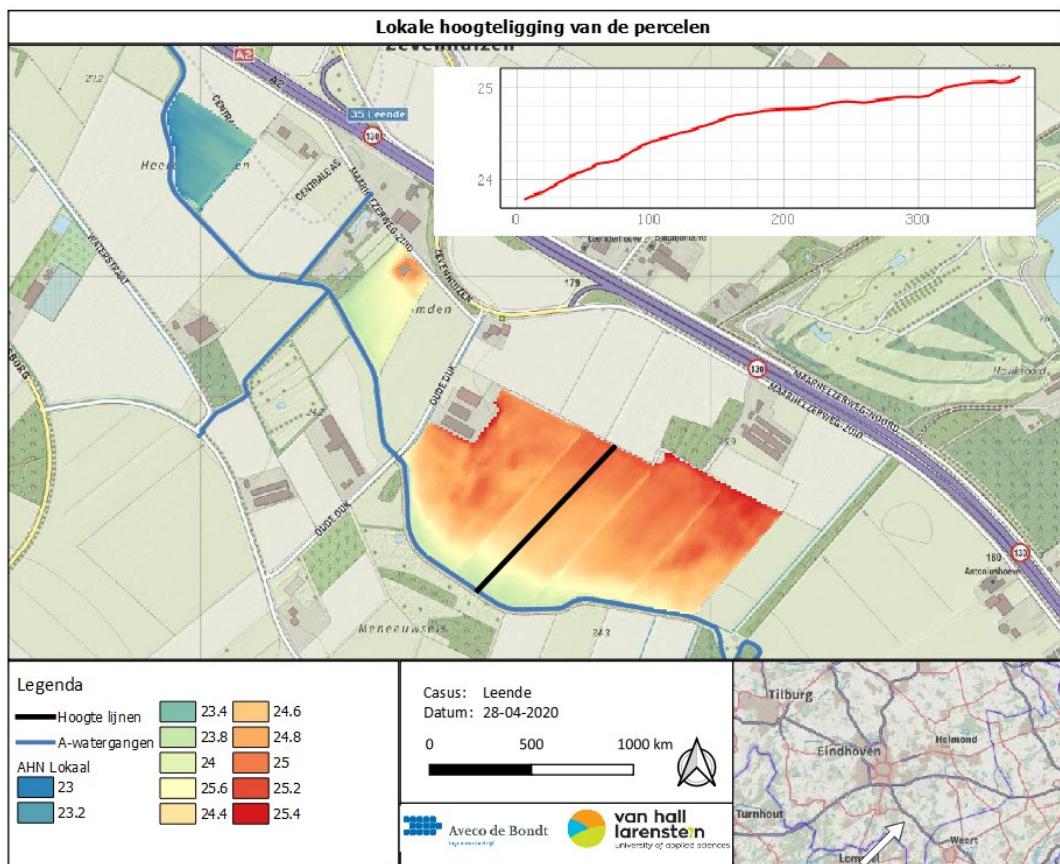
Bijlage figuur 1 Topografische ligging van percelen casus Leende

De percelen liggen lager dan het omliggende landschap, zie Bijlage figuur 2. Het hoogteverschil binnen de percelen loopt tussen de 23 m +NAP tot 25 m +NAP, zie Bijlage figuur 3. De percelen lopen af richting de watergang. Hiermee stroomt de gevallen neerslag onder vrij verval af naar de watergang. Dit gebeurt zowel direct (afstroming via maaiveld) als indirect (door de bodem).

Meegaand met de watergang kent het maaiveld een hoogteverschil van ongeveer zestig centimeter over een lengte van vierhonderd meter. Dit duidt op een verhang van 1,5 %. Overall loopt het maaiveld af naar de watergang toe en hierbinnen is geen sprake van grondwallen of poelen.



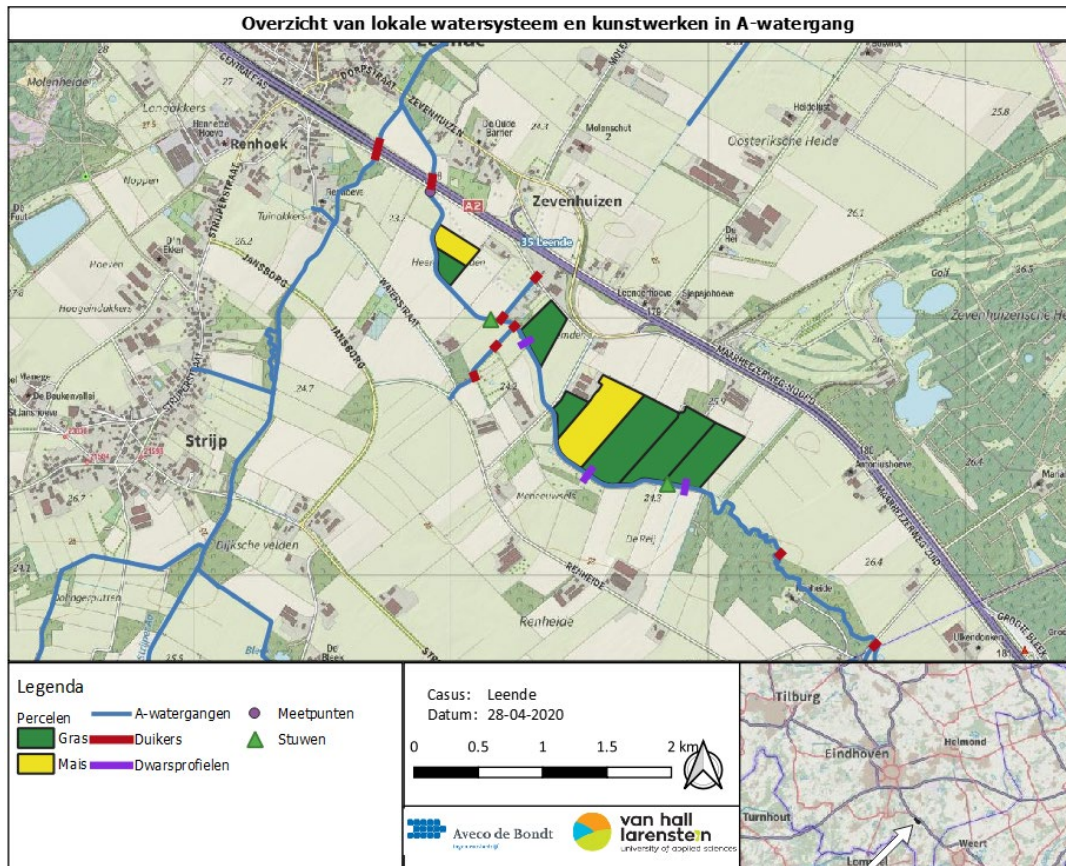
Bijlage figuur 2 Regionale hoogteligging van de percelen casus Leende



Bijlage figuur 3 Lokale hoogteligging van de percelen casus Leende

De percelen zijn gelegen aan de Buulder Aa, ongeveer een halve kilometer benedenstrooms van de percelen komt de Buulder Aa samen met de Strijper Aa en wordt het de Groote Aa. Het watersysteem kent meerdere stuwen en duikers. Direct aan de percelen bevindt zich één stuw, zie Bijlage figuur 4.

De watergang kent veel meandering. De lengte van de watergang is 3200 meter. Hemelsbreed is de lengte van beginpunt tot eindpunt van de watergang 2600 meter. Hiermee is de lengte van de watergang 123 % ten opzichte van de hemelsbreedte lengte.



Bijlage figuur 4 Overzicht van lokale watersysteem en kunstwerken in A-watergang casus Leende

Het model heeft een dynamische stroming en is gevoed vanuit de bovenstroomse boundaryknoop en lateral flow reaches. Het totale debiet is vastgesteld op een herhalingstijd van $T=100$. Voor deze herhalingstijd is gekozen om inundatie te modelleren op de percelen. Ten tijde van de inundatie zelf was sprake van een herhalingstijd van $T=25$. Echter bij een gekalibreerd en gevalideerd model met dit debiet treedt geen inundatie op.

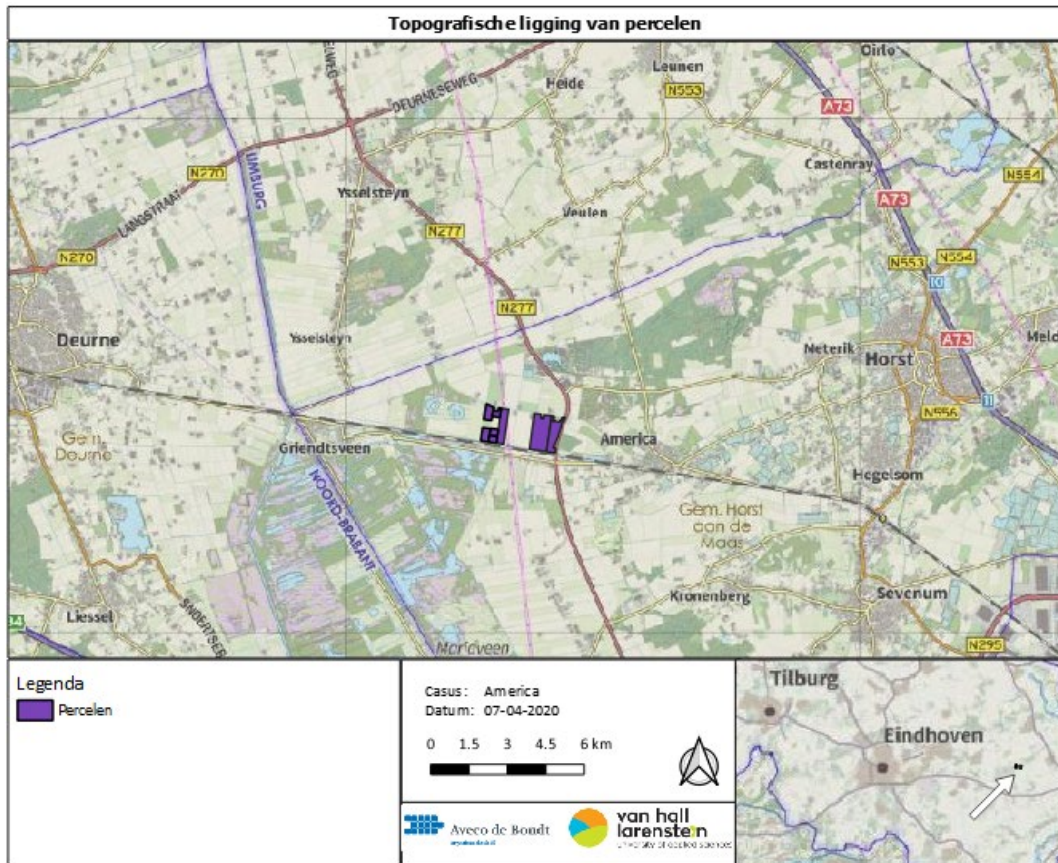
Tijdens de inundatie zijn foto's gemaakt van de geïnundeerde percelen, zie Bijlage figuur 5.



Bijlage figuur 5 Foto's geïnundeerde percelen casus Leende

A-2. America (Mittring, 2019)

Twee kilometer ten westen van het dorp America zijn meerderen percelen geïndeerd vanuit de watergangen van de Dorperpeel geïndeerd. Dit als gevolg van twee hevige neerslaggebeurtenissen. De totaaloppervlakte is 59,75 hectare. Zie Bijlage figuur 6 voor een overzicht van de ligging. Ten tijde van de inundatie werd op alle percelen blauwe bessen geteeld.

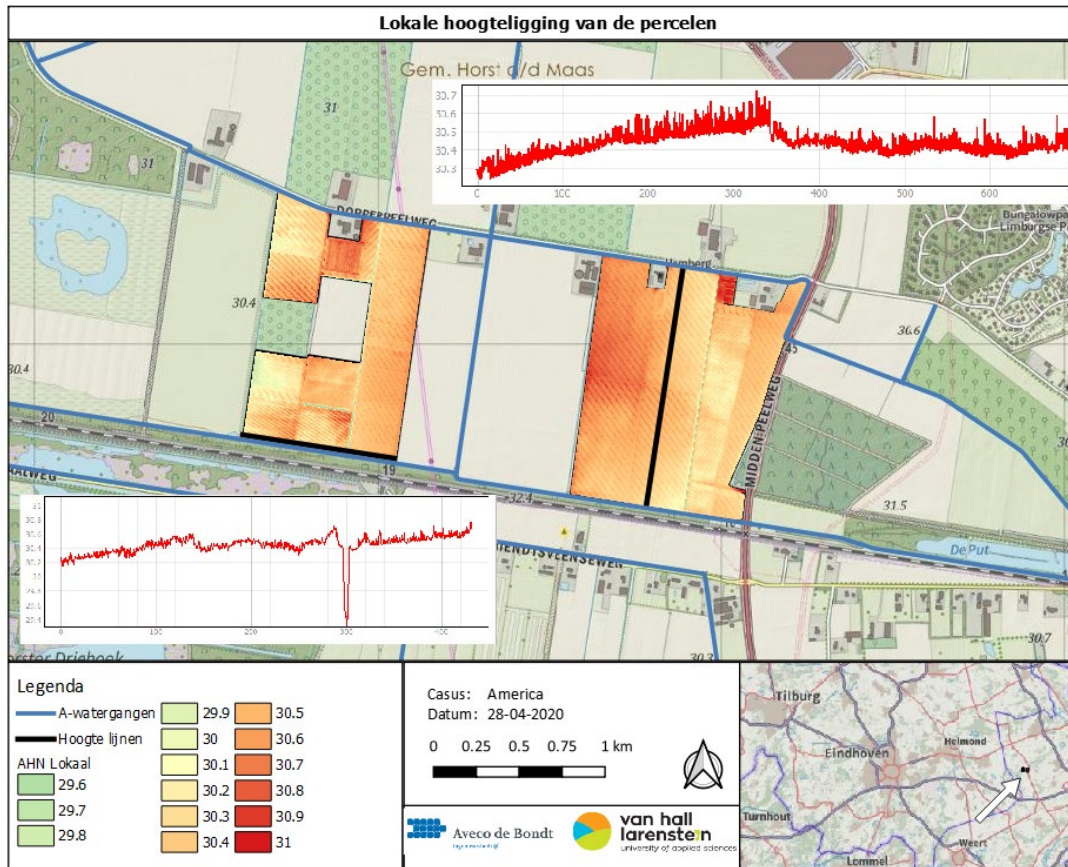


Bijlage figuur 6 Topografische ligging van percelen casus America

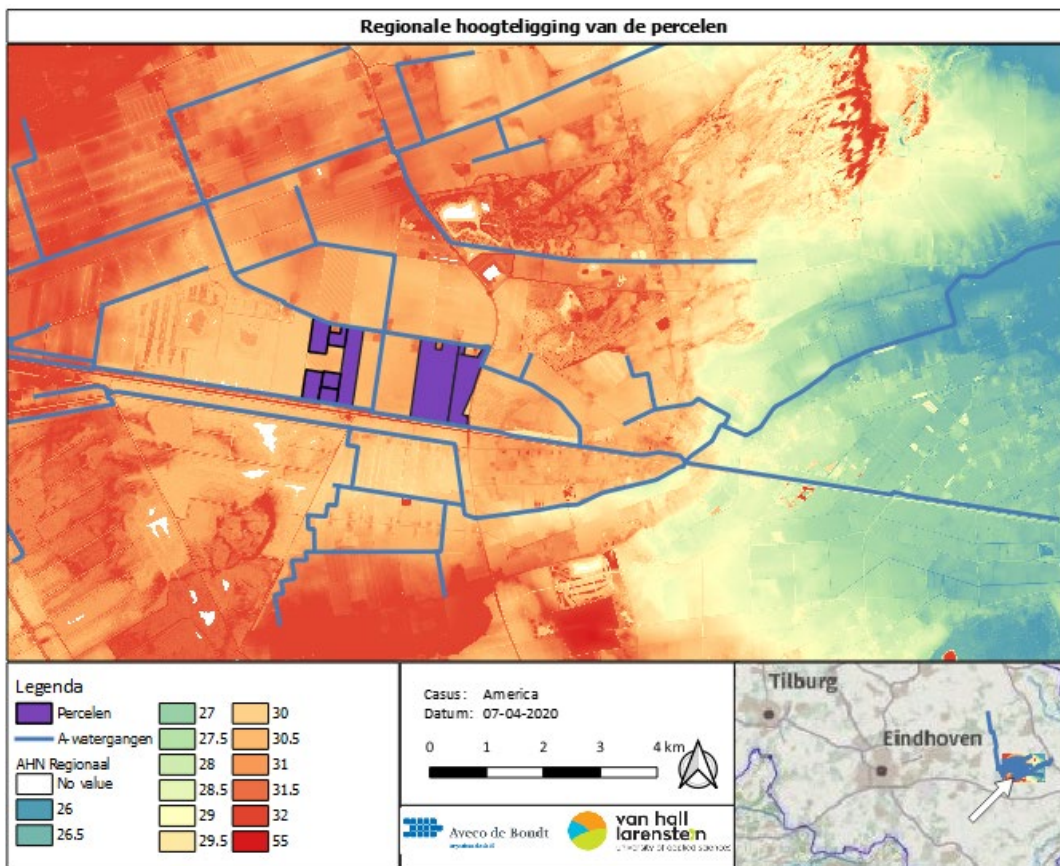
De percelen hebben een hoogte tussen de 30,15 en 30,60¹ m +NAP en zijn relatief vlak op enkele lage zandruggen na, zie Bijlage figuur 7. De percelen liggen ruim een tot twee meter lager dan de omgeving. De neerslag watert zowel direct (via het maaiveld) als indirect (door de bodem) af naar de watergangen.

Het maaiveld langs de watergangen kent, ter hoogte van de percelen, geen significant verhang. Door de zandruggen geeft het AHN-dammetje weer langs de watergang. Dit is bij 100 % van de dwarsprofielen bij de percelen terug te zien.

¹ Op de AHN kaart zijn de blauwe bessen ook meegenomen. Hierdoor zijn de zandruggen in het AHN hoger dan in werkelijkheid

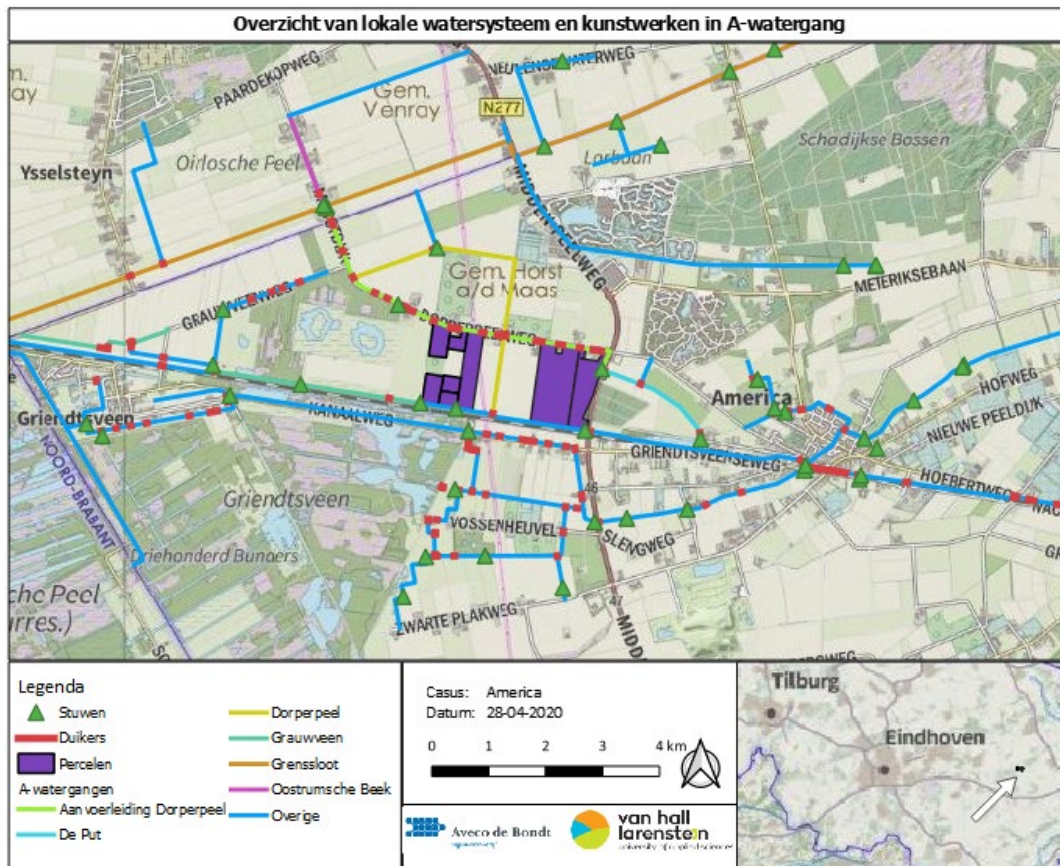


Bijlage figuur 7 Lokale hoogteligging van de percelen casus America



Bijlage figuur 8 Regionale hoogteligging van de percelen casus America

De percelen zijn gelegen aan één of meerdere A-watergangen, de Aanvoerleiding Dorperpeel aan de zuidzijde, Grouwveen aan de noordzijde en De Put aan de oostzijde. De afstroming wordt gecontroleerd vanuit het bovenstroomse verdeelpunt. Van dit verdeelpunt zijn meetgegevens tijdens de wateroverlast bekend. Hierna stroomt het water onder vrij verval af en wordt gestreefd naar een continue waterstand door meerdere stuwen en duikers. Ter hoogte van de percelen zijn meerdere duikers gelegen.



Bijlage figuur 9 Overzicht van lokale watersysteem en kunstwerken in A-watergang casus America

De watergangen kennen weinig meandering. Hierdoor verschilt de lengte van de watergang niet veel met de lengte hemelsbreed van begin tot eindpunt. De noordelijke watergang heeft een lengte van 4500 meter ten opzichte van 4000 meter hemelsbreed, 112 %. De zuidelijke watergang is 4300 meter lang ten opzichte van 4300 meter hemelsbreed, 100 %. Dit betekent dat gemiddeld een meter stroomrichting 1,06 meter watergang is.

De verwachting is dat tijdens de inundatie water van de noordelijke watergang naar de zuidelijk watergang is gestroomd, over het maaiveld door de inundatie.

Het model wordt gevuld vanuit de verschillende boundary knopen en laterale knopen. Opvallend aan dit model is dat het bestaat uit meerdere watergangen waaruit het landschap geïnundeerd is. De zuidelijke watergang heeft een stationair bovenstroomse aanvoer en de noordelijke een dynamische. Door de verbinding tussen de watergangen benedenstrooms heeft ook de zuidelijke watergang een dynamisch debiet. Het debiet is destijds door het waterschap geschat op een herhalingsdij van $T=25$. Voor het snel op peil maken van de zuidelijke watergang is bij alle methoden een restart file gebruikt. Hierdoor wordt vanaf het begin berging op het maaiveld benut. De noordelijke en zuidelijke watergangen liggen redelijk op gelijke hoogte. Echter door het hogere dynamische debiet in de noordelijke watergang komt de waterstand in deze watergang hoger.

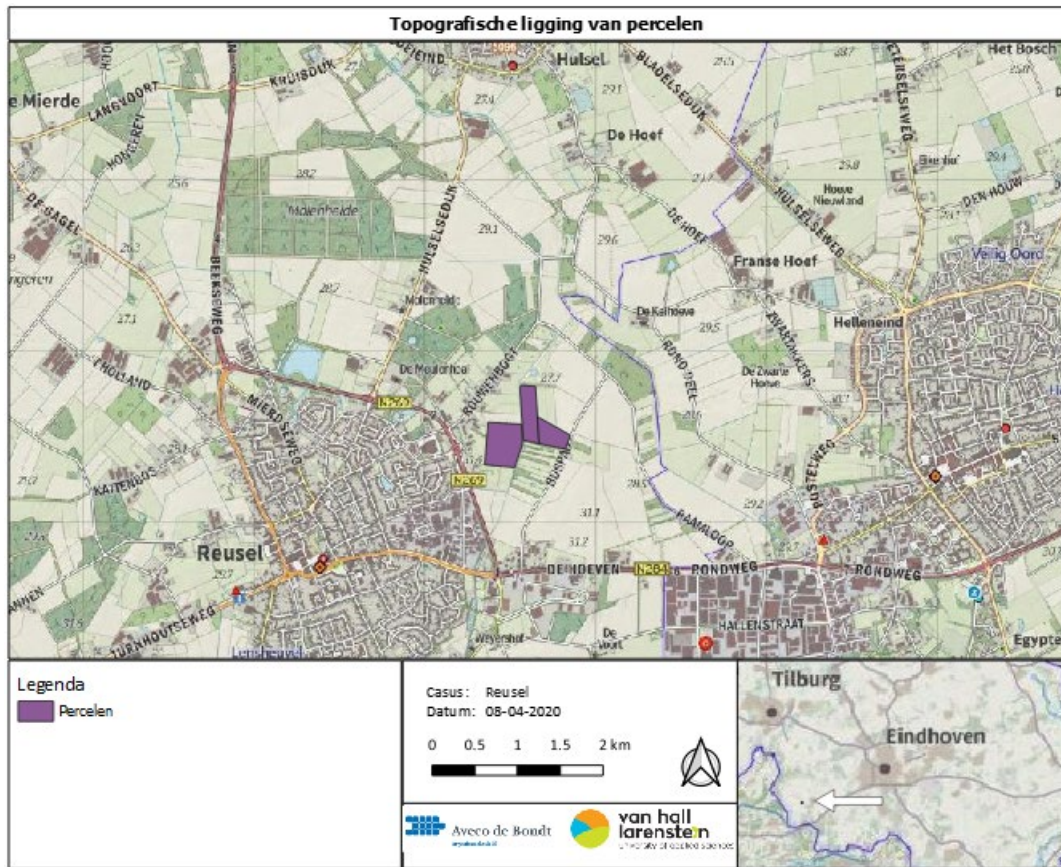
Foto's van de inundatie op de percelen zijn weergegeven in Bijlage figuur 10.



Bijlage figuur 10 Foto's geïnundeerde percelen casus America

A-3. Reusel (Mittring, 2019)

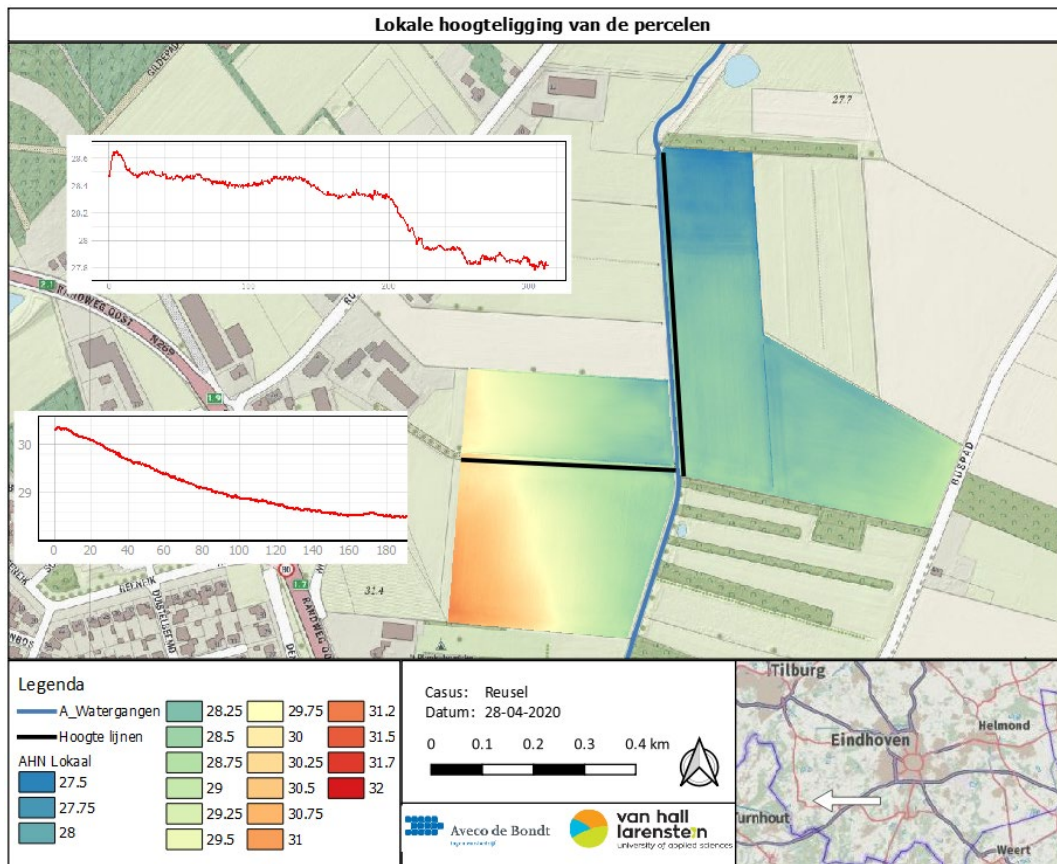
In de maand juni 2016 zijn percelen nabij Reusel, Noord-Brabant, geïnundeerd vanuit de Rouwenbogtloop als gevolg van hevige neerslag. De percelen hebben bij elkaar een totaaloppervlakte van 10,15 hectaren. Op de percelen werd mais, aardappelen en gras verbouwd.



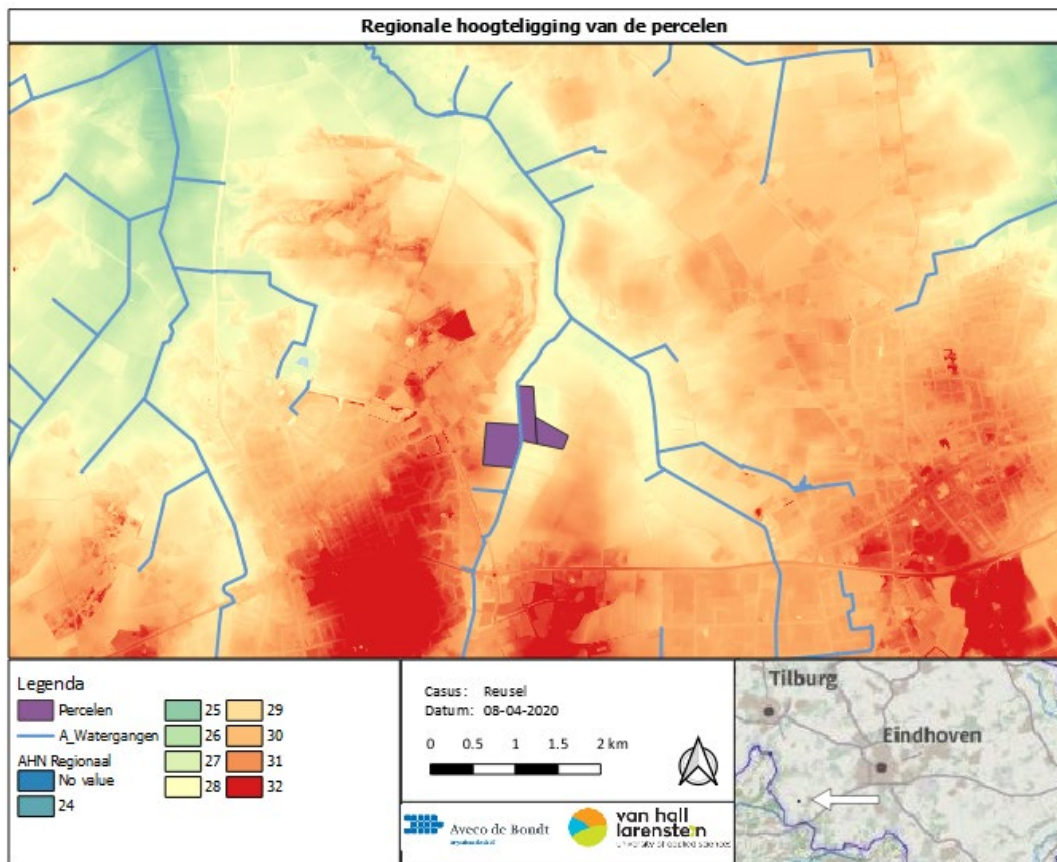
Bijlage figuur 11 Topografische ligging van de percelen casus Reusel

Voor Nederlandse begrippen zijn de plaatselijke hoogte verschillen groot. Binnen de percelen is een hoogteverschil van ongeveer vier meter, van 27,5 m +NAP naar 31,75 m +NAP, zie Bijlage figuur 12. De plaatselijke helling in het landschap is een oorzaak voor de snelle afwatering van hemelwater naar en in het oppervlaktewatersysteem. De percelen wateren met vrij verval af naar de omliggende watergangen zowel direct als indirect.

Het hoogteverschil langs de watergang, ten hoogte het perceel is van 28,6 m +NAP naar 27,85 m +NAP. Dit is over een lengte van circa 300 meter. Dit houdt in dat het verhang hier langs de watergang 2,5 ‰ is. Over de hele watergang is een vergelijkbaar verhang. Bij dwarsprofielen op de watergang van het maaiveld is voor circa 50 % van de gevallen een grondwal rond de watergang zichtbaar.



Bijlage figuur 12 Lokale hoogteligging van de percelen casus Reusel

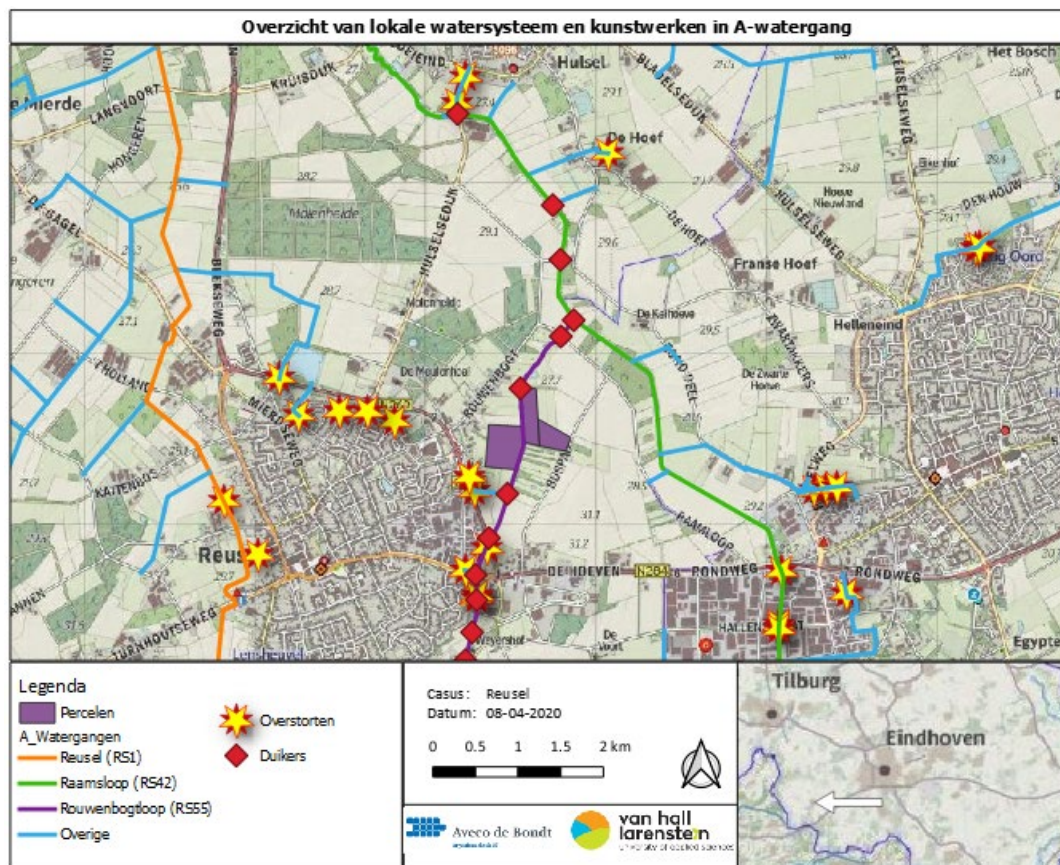


Bijlage figuur 13 Regionale hoogteligging van de percelen casus Reusel

De Rouwenbogtloop watert onder vrij verval af in noordelijke richting naar de Raamsloop. Op de Rouwenbogtloop wateren meerdere B-watergangen af. Bovenstrooms van de percelen zijn meerdere overstorten gesitueerd. Benedenstrooms van de percelen is de Rouwenbogtloop gedeeltelijk meanderend heringericht.

Het onderzoeksgebied kent enkele duikers. Hiervan is er één gelegen net benedenstrooms van de percelen.

De Rouwenbogtloop kent enkele bochten in de watergang. Hierdoor is de lengte van de watergang 114 % ten opzichte van de lengte van 2200 meter van begin tot eindpunt.



Bijlage figuur 14 Overzicht van lokale watersysteem en kunstwerken in A-watergangen casus Reusel

Het model wordt gevoed vanuit de bovenstroomse boundary met een constant debiet van $0,635 \text{ m}^3/\text{s}$ en een overstort met een debiet (van 3 juni 2016 van 00:00 tot 04:00 uur) $0,385 \text{ m}^3/\text{s}$ op de waterloop. Het constante debiet heeft een herhalingsstijd van $T=25$ en is gebruikt voor het modelleren van de schadezaak. Daarbij wordt het model gevoed vanuit de benedenstroomse boundary van de tweede watergang. Deze samenkomst van watergangen leidt tot opstuwing in de watergang.

De foto's, weergegeven in Bijlage figuur 15, zijn genomen op 24 juni na afloop van de tweede hevige neerslaggebeurtenis.

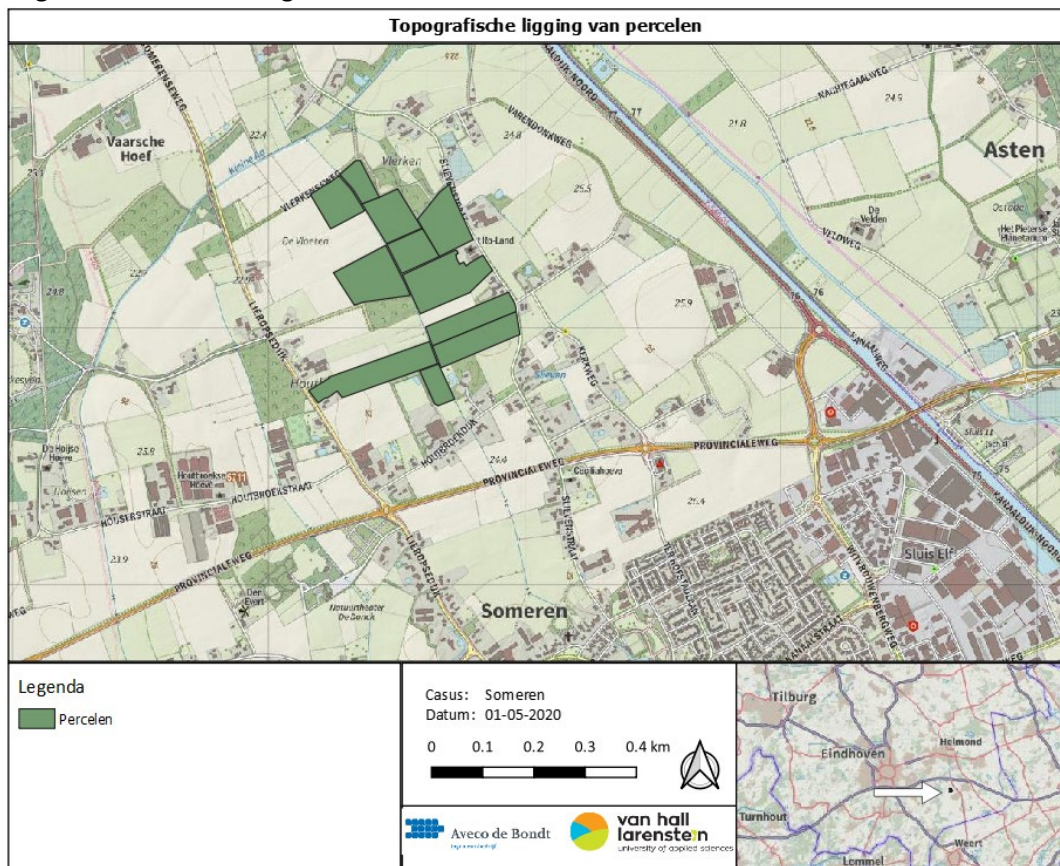


Bijlage figuur 15 Foto's van de geïnundeerde percelen casus Reusel

A-4. Someren (Mittring, 2019)

Direct ten noorden van Someren is als gevolg van hevige neerslag meerdere percelen geïndeerd in de maand juni 2016, de topografische ligging is weergegeven in Bijlage figuur 16. De percelen hebben een totaaloppervlakte van circa 15 hectare. Hierop werd destijds gras en mais geteeld. Het stroomgebied is circa 150 hectare.

De inundatie werd veroorzaakt door het uit de oevers treden van de A-watergang Slievenseloop. De hoge waterstand werd grotendeels veroorzaakt door de overstort van Someren.

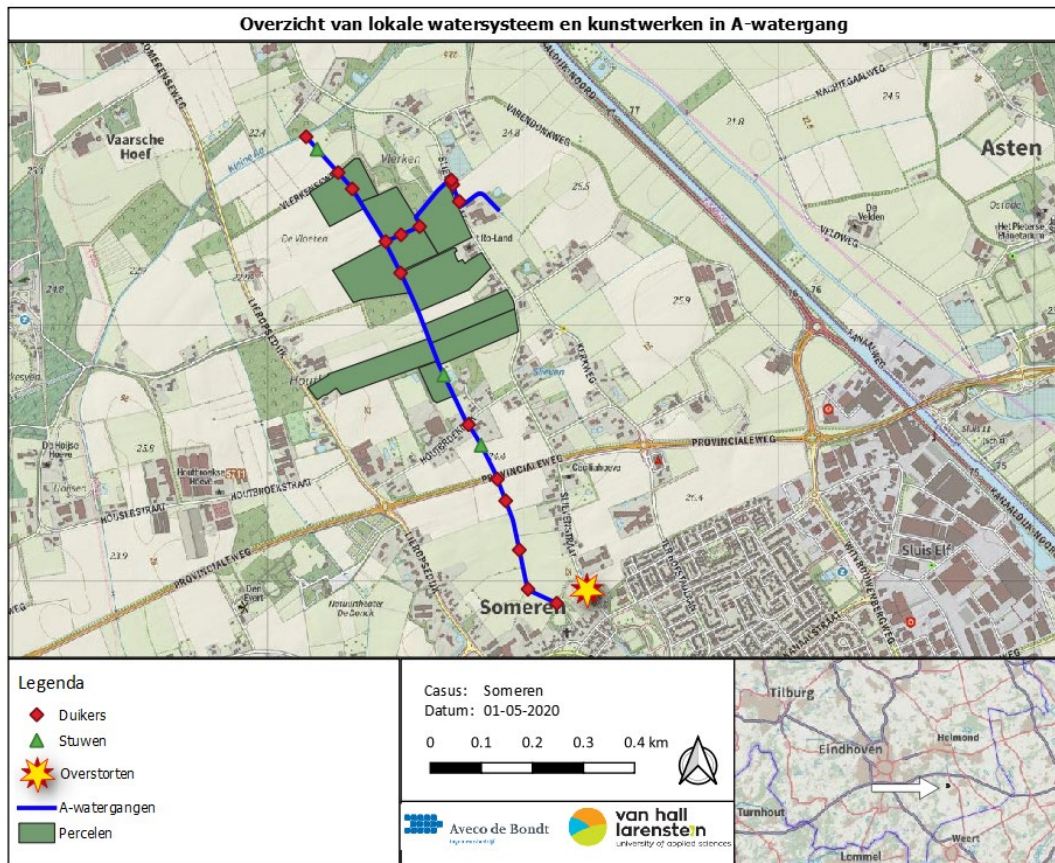


Bijlage figuur 16 Topografische ligging van de percelen casus Someren

De verwachting is dat de afwatering vanuit de bebouwde kom van Someren snel naar de watergang is, gezien het hoogteverschil. Uit Bijlage figuur 18 blijkt dat de bebouwde kom één tot twee meter hoger gelegen is dan de percelen, de afstand van de bebouwde kom tot de percelen is minder dan vijfhonderd meter. Dit verhang vervlakt ter hoogte van de percelen.

Rond de percelen is het verhang, ongeveer 0,2 meter over circa vierhonderd meter, 0,5‰. Ter hoogte van de percelen is geen sprake van grondwallen. Wel zijn er meerdere verlagingen in het landschap. Over het algemeen wateren de percelen af naar de watergang door de helling richting de watergang, zie Bijlage figuur 17.





Bijlage figuur 19 Overzicht van lokale watersysteem en kunstwerken in A-watgang casus Someren

In de watgang zijn meerdere stuwen en duikers gesitueerd, ook ten hoogte van de percelen. Bovenstrooms van de percelen is een overstort van het riool gelegen. Deze overstort is van de riolering van het stedelijke gebied Someren.

De lengte van de watgang is 2150 meter ten opzichte van 2100 meter hemelsbreed van beginpunt tot eindpunt. De mate van meandering leidt tot een verhouding tussen de watgang lengte en stroomrichting lengte van 102%.

Het model wordt voornamelijk gevoed vanuit de bovenstroomse boundary knoop met een stationair debiet. Hiernaast zijn er op de waterloop enkele laterale knopen gemodelleerd die een stationair debiet afgeven. Deze stationaire debieten komen overeen met een herhalingsstijd van $T=25$. Het debiet bij de benedenstroomse boundary knoop is $0,483 \text{ m}^3/\text{s}$.

De eerste laterale knoop heeft een dynamisch debiet en is representatief aan de overstort. Binnen het model loost de overstort 4 uur water op de watgang, met een debiet van $1,659 \text{ m}^3/\text{s}$. Met dit debiet speelt de overstort een zeer grote rol in de inundatie.

Bij alle modellen is gewerkt met een restart file om de stationaire waterstand vanaf het begin kloppend te hebben.

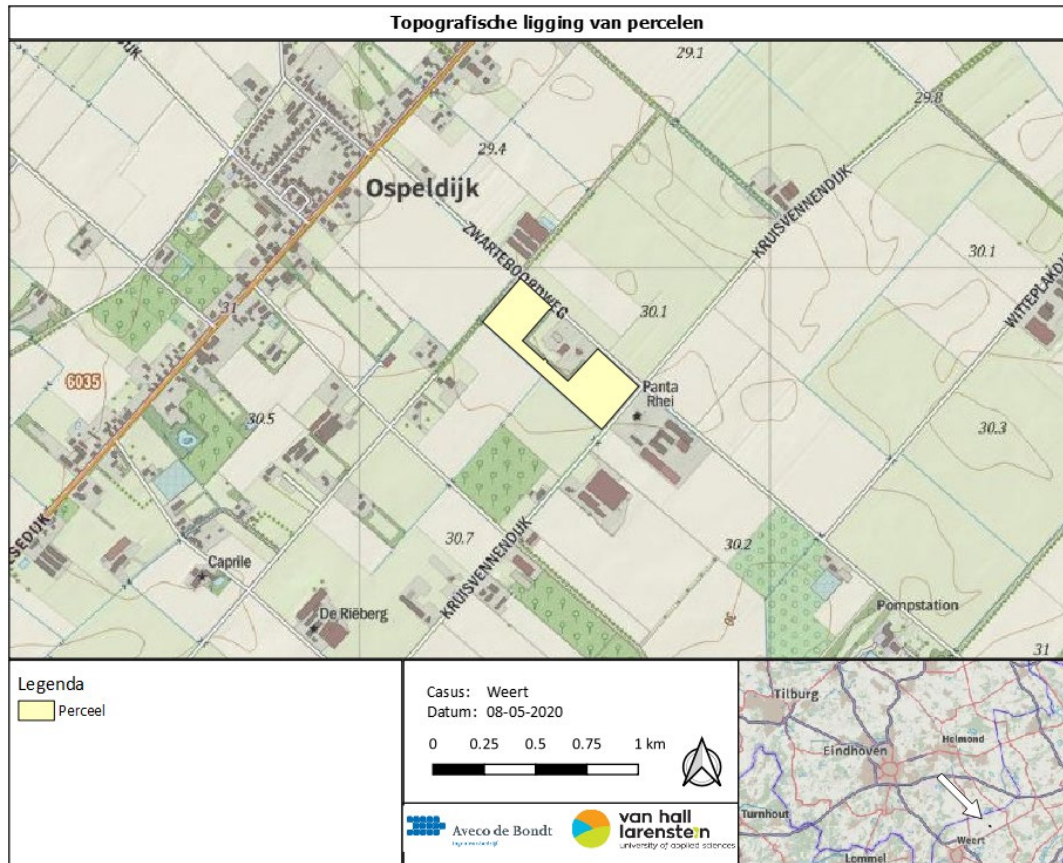
In Bijlage figuur 20 staan enkele foto's weergegeven tijdens de inundatie.



Bijlage figuur 20 Foto's tijdens de inundatie casus Someren

A-5. Weert (Mittring, 2020)

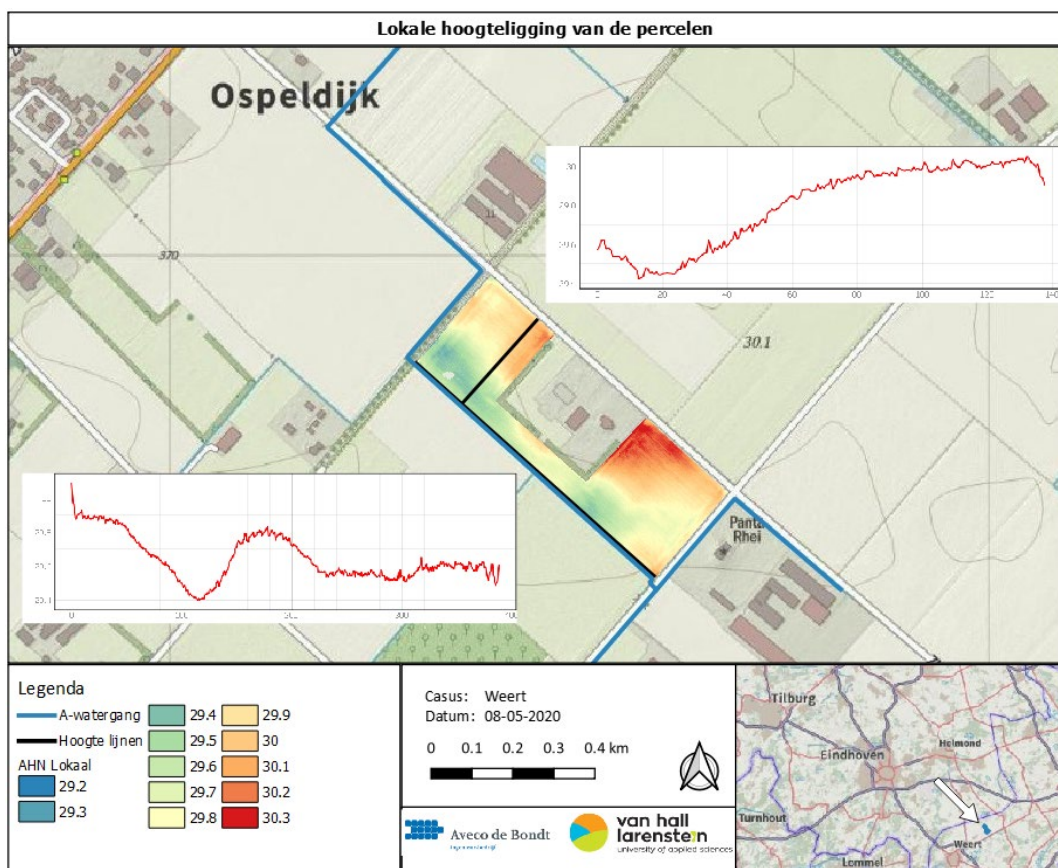
De locatie van het perceel van de casus is weergegeven in Bijlage figuur 21. Grote delen van het perceel zijn geïnundeerd door de neerslag in juni 2016. Het perceel ligt 10 kilometer ten noordoosten van Weert, provincie Limburg en gemeente Nederweert. De oppervlakte van het perceel is 3,8 hectare. Ten tijde van de overlast werden er consumptieaardappelen verbouwd op het perceel. Voor de hydraulische berekeningen binnen Sobek is gewerkt met een projectgebied van 452 hectare groot. De inundatie is opgetreden vanuit het Diepven, de watergang direct gelegen aan het perceel.



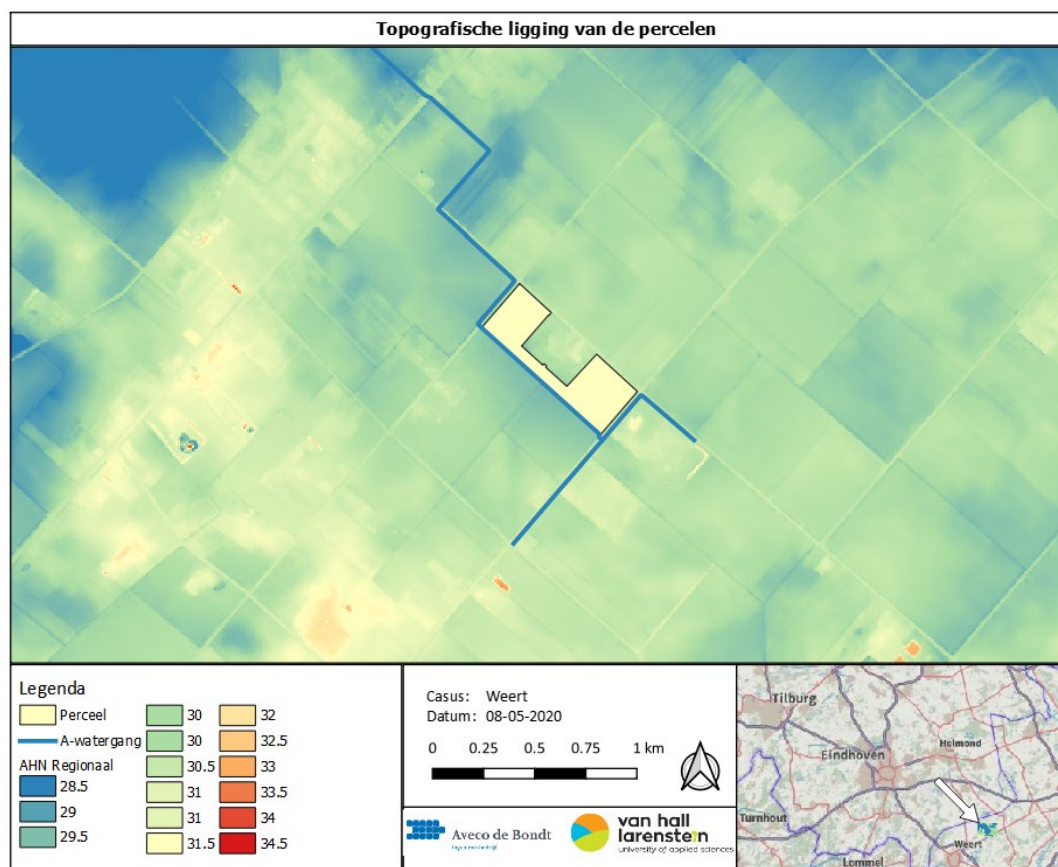
Bijlage figuur 21 Topografische ligging van perceel casus Weert

Binnen het perceel is een hoogteverschil van 29 m +NAP tot 30,3 m +NAP. Over het algemeen loopt het maaiveld af richting de waterloop. Echter zijn er grondwallen gelegen om de watergang. Hemelwater watert zowel direct als indirect af naar de watergang. In het gebied zijn meerdere verhoogde wegen, deze zijn zowel haaks als parallel aan de watergang.

Het verval langs de watergangen loopt van 30,3 m +NAP tot 28,3 m +NAP over een traject van twee kilometer. Daarmee is het verhang van het maaiveld langs de waterloop 1‰. In Bijlage figuur 22 is het verval ter hoogte van het perceel weergegeven. Wat opvallend is, is dat het maaiveld plaatselijke verhogingen heeft over het lengteprofiel.



Bijlage figuur 22 Lokale hoogteligging van het perceel casus Weert

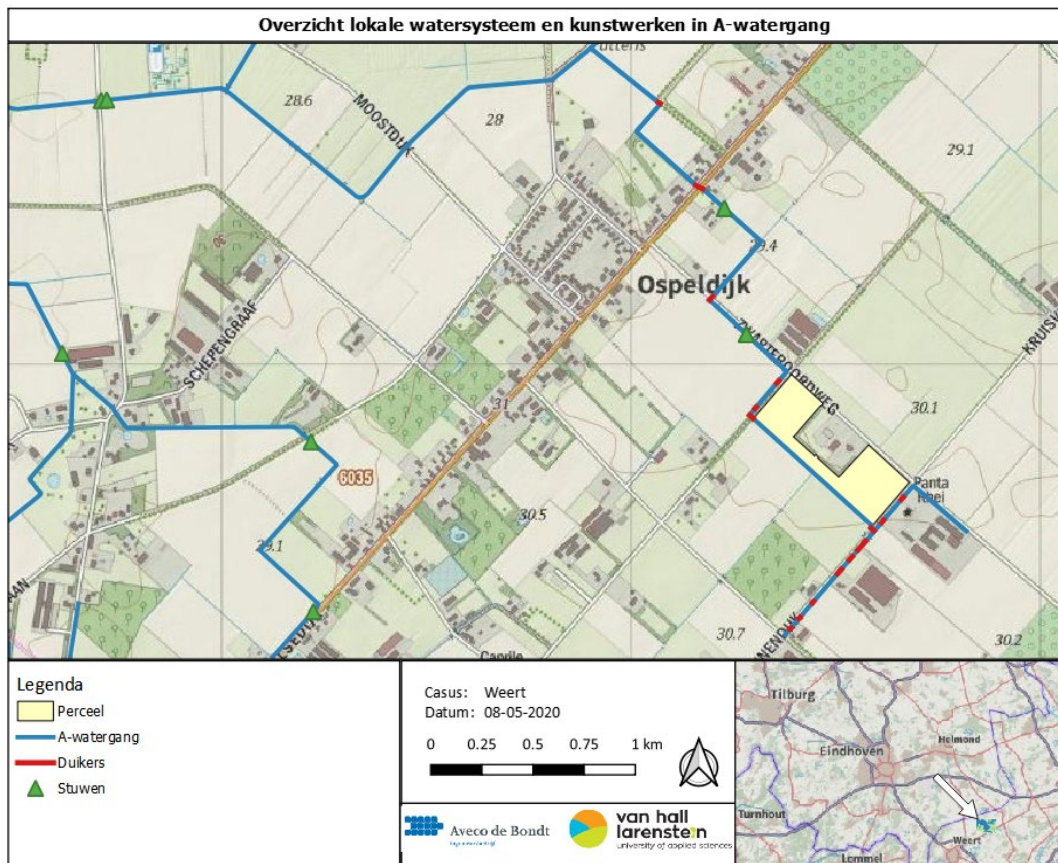


Bijlage figuur 23 Regionale hoogteligging van het perceel casus Weert

Het Diepven ontspringt 0,3 kilometer bovenstrooms van het perceel en gaat na twee kilometer over op de Aa. Hiermee ligt het perceel bovenstrooms in het stroomgebied, zie Bijlage figuur 24. Dit betekent dat de neerslag relatief snel en kort op de afvoer van invloed is.

In de watergang zijn meerder duikers gesitueerd, deze zijn voornamelijk bovenstrooms gelegen. Benedenstrooms van het perceel zijn meerder stuwen gelegen.

De lengte van het beginpunt tot het eindpunt van het Diepven is 1350 meter en het Diepven is 1700 meter lang. Dit geeft een mate van meandering van 126%.



Bijlage figuur 24 Overzicht van lokale watersysteem en kunstwerken in A-watergangen casus Weert

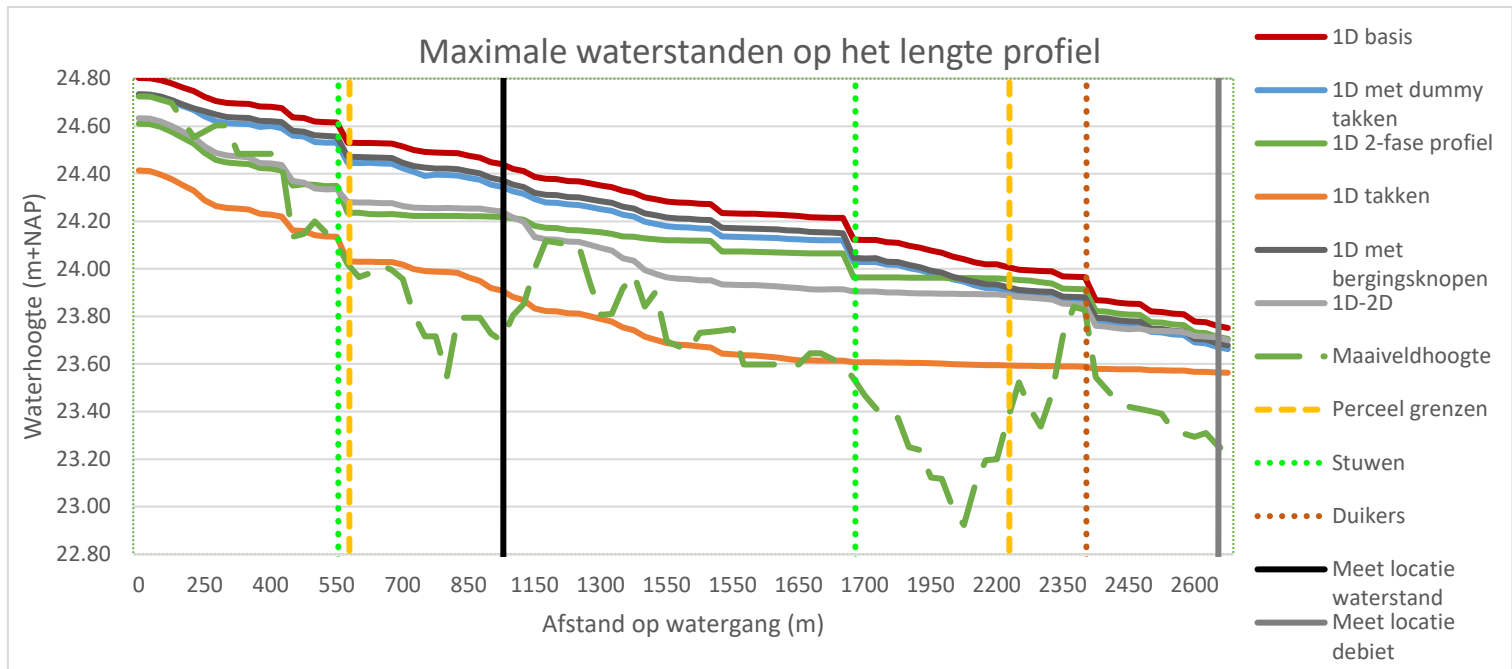
Het aangeleverde model is opgebouwd met RR-unpaved knopen, vanuit deze knopen wordt de watergang gevuld. Daarbij stroomt bovenstrooms, via bergingsknopen, een constant debiet van 0,04 m³/s de watergang in. Dit debiet representeert het water uit de bronnen. Het perceel is bovenstrooms in het stroomgebied gelegen. Daardoor reageert de afvoer snel op de neerslag. De watergang Aa heeft geen constant debiet en is alleen gevuld vanuit de RR-unpaved knopen en het Diepven.



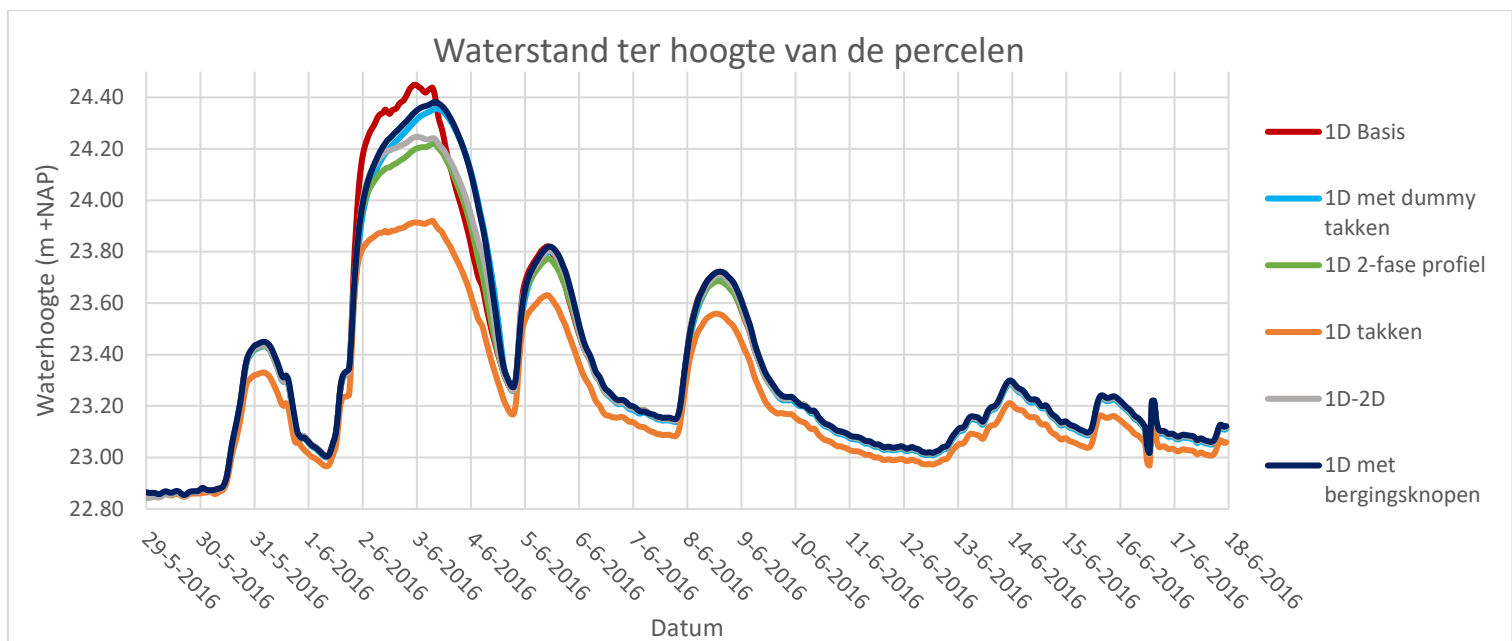
Bijlage figuur 25 Foto's tijdens de inundatie casus Weert

B. Modelresultaten

B-1. Leende



Bijlage figuur 26 Maximale waterstand lengteprofiel



Bijlage figuur 27 Waterstand ter hoogte van de percelen

Bijlage tabel 1 Totaalsommen debiet in watergang per methoden van modelschematisatie benedenstrooms

Methoden modelschematisatie	van	Totaalsom debiet in m ³	Afwijking debiet in m ³ t.o.v. het 1D basismodel
1D met dummytakken		8,96E+06	+ 0,05E+06
1D 2-fase profiel		8,91E+06	± 0,00E+06
1D takken		8,91E+06	± 0,00E+06
1D-2D		8,89E+06	- 0,02E+06
1D met bergingsknopen		8,94E+06	+ 0,03E+06

Opmerkingen modelschematisatie

- Bij meerdere dummytakken, benedenstrooms van de percelen, is niet voldaan aan het aandachtspunt dat de randen hoger zijn dan de maximale waterstand. Hetzelfde probleem komt voor bij de methode 1D met bergingsknopen. Hiervoor geldt dat benedenstrooms van de percelen de maximale hoogte binnen de bergingsknoop soms niet hoger is dan de maximale waterstand, een aandachtspunt voor deze methode. Het probleem ontstaat in deze casus door de extreme herhalingstijd van de afvoer. Beide problemen kunnen leiden tot overschatting van de waterstand bij de piek van 2 op 3 juni.
- In de methode 1D takken is in het eerste dwarsprofiel van de maaiveldtak een diepte zichtbaar onder de maaiveldhoogte de watergang tak. Hierdoor stroomt water eerder de maaiveld tak in dan in de werkelijkheid. Deze dieptes komen door de parallel lopende B-watergangen en zijn dus met deze methoden niet te vermijden, behalve door deze met aanvullende handelingen of een bewerkt AHN te verwijderen. Het verwijderen van deze B-watergangen uit het AHN heeft als gevolg dat de bergingscapaciteit van het systeem vermindert, waardoor de maximale waterstand wordt onderschat. Daarom is besloten deze bewerking niet uit te voeren.
- De celgrootte van het grid voor de methode 1D-2D is 10x10 meter.

B-1.1 Waterstand

In Bijlage figuur 26 zijn de maximale waterstanden van de verschillende methoden weergegeven voor het lengteprofiel. Uit dit figuur komt naar voren dat in alle methoden de berging op het maaiveld wordt benut, gezien de waterstand verlaagd is ten opzichte van het 1D basismodel. De 1D modellen vertonen meer opstuwung rond de stuwen en duikers dan het 1D-2D model. Dit wordt veroorzaakt omdat bij het 1D-2D model water over het maaiveld langs de stuwen en duikers stroomt en bij de andere modellen het water alleen over de stuwen en door de duikers stroomt. De stuwen zijn bestuurd op basis van de waterstand.

In Bijlage figuur 27 is de waterstand bij de percelen weergegeven gedurende de gehele modelberekening. Zichtbaar in dit figuur is dat bij alle methoden berging op het maaiveld wordt gebruikt tijdens de piek van 2 op 3 juni. Echter is ook zichtbaar dat de methoden 1D met dummytakken en 1D takken een verlaagde waterstand tonen tijdens de rest van de berekening. Bij verdere analyse is gebleken dat de verlagingen het gevolg zijn van het bergingsgebruik zonder dat het water buiten de oevers treedt (bewezen met het lengteprofiel op tijdstap 7-6-2016 10:00, zie bijgaand bewijslasten document) In deze casus duidt dit op het meer benutten van de berging in de B- en C-watergangen, gezien er geen grondwallen en poelen zijn in het gebied.

De meeste B- en C-watergangen staan haaks op de watergangen en zijn meegenomen in de methoden 1D met dummytakken, 1D-2D en 1D met bergingsknopen. De berging in de parallel lopende B- en C-watergangen zijn meegenomen met de methoden 1D 2-fase profiel, 1D-2D en 1D met bergingsknopen.

In het 2D grid is zichtbaar dat de B- en C-watergangen haperingen kennen door de positionering van de watergang. Dit is aangegeven in de aandachtspunten van deze methoden met Figuur 15. Hierdoor is de berging van de B- en C-watergangen niet goed meegenomen binnen de methode.

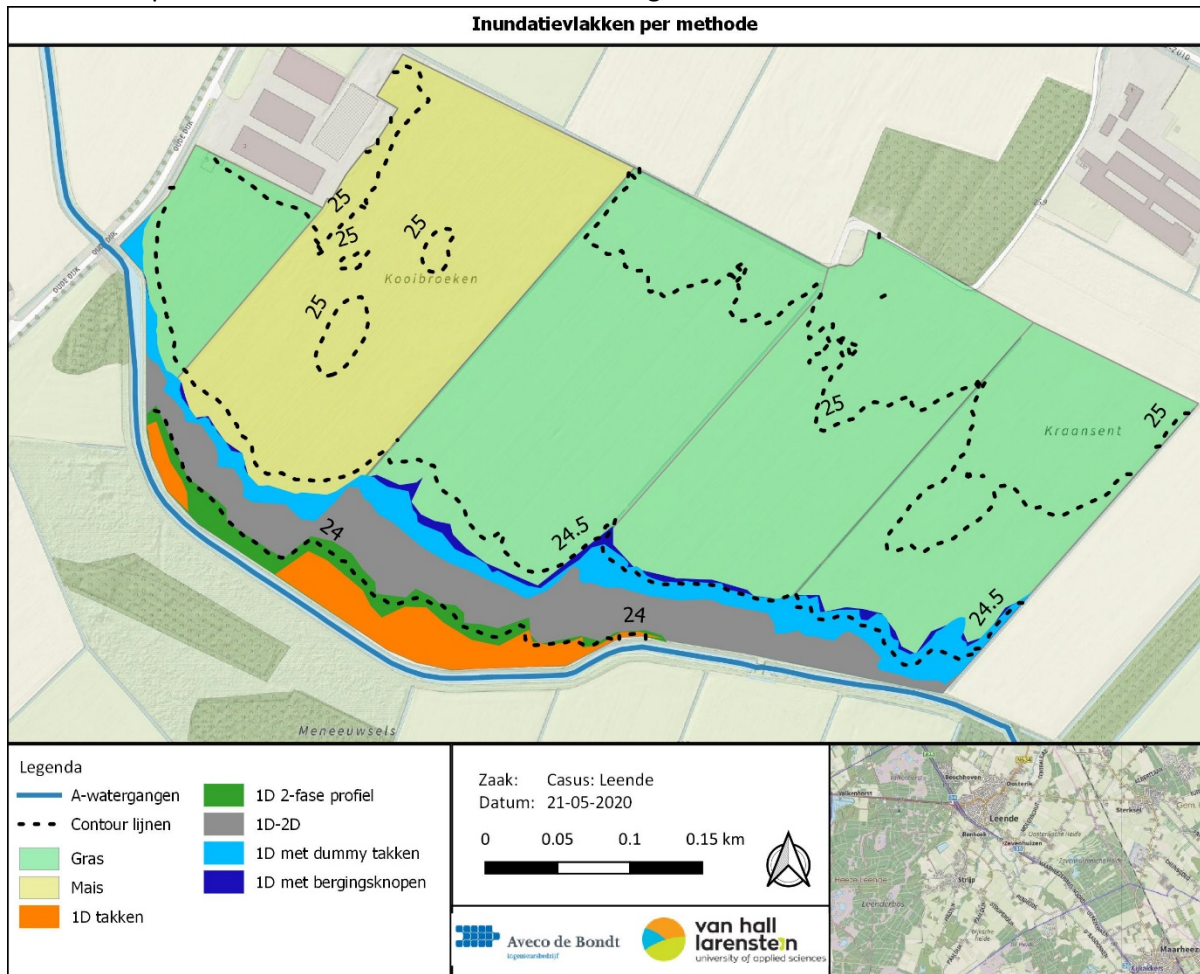
B-1.2 Debiet

Het berekende debiet is weergegeven voor een locatie waarbij in geen van de methoden een aanpassing is gemaakt ten opzichte van het 1D basismodel. De totaalsommen van het debiet,

weergegeven in Bijlage tabel 1, laten zien dat enkel bij de methoden 1D-2D debiet achterblijft op het maaiveld. Bij de andere methoden is het debiet gelijk of hoger dan bij het 1D basismodel. Het hogere debiet is te verklaren door het feit dat er niet is gewerkt met een restart file maar met een initiële waterdiepte van 0,3 meter ten opzichte van de bodemhoogte. Vanuit het debiet is geen voorkeur te geven gezien alle methoden relatief goed behoud hebben van debiet.

B-1.3 Inundatie

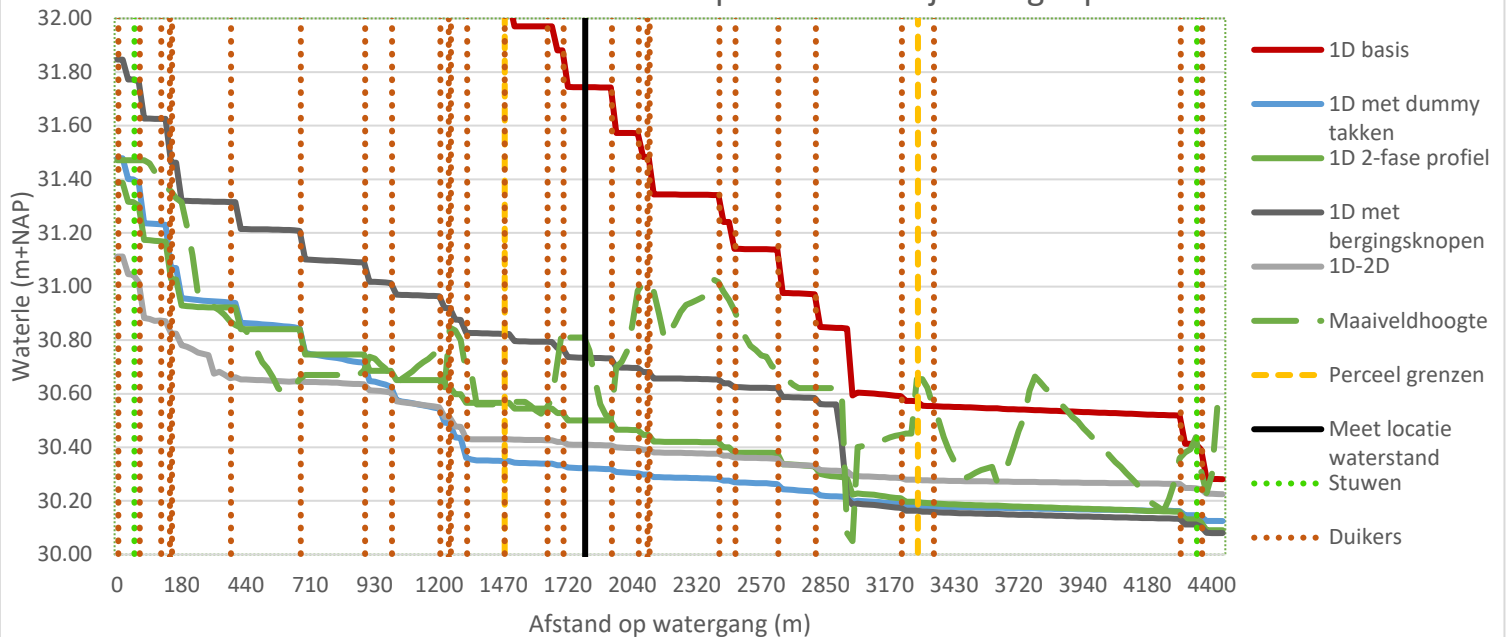
De beschouwing van de inundatiehoogte is beperkt tot het analyseren van de maximale inundatiehoogte. Voor iedere methode is in Bijlage figuur 28 weergegeven welk areaal van de percelen geïnundeerd raakt als gevolg van het berekende waterpeil. Er is gekozen voor het weergegeven van een deel van de percelen om het verschil in de methoden goed te zien.



Bijlage figuur 28 Inundatievlakken

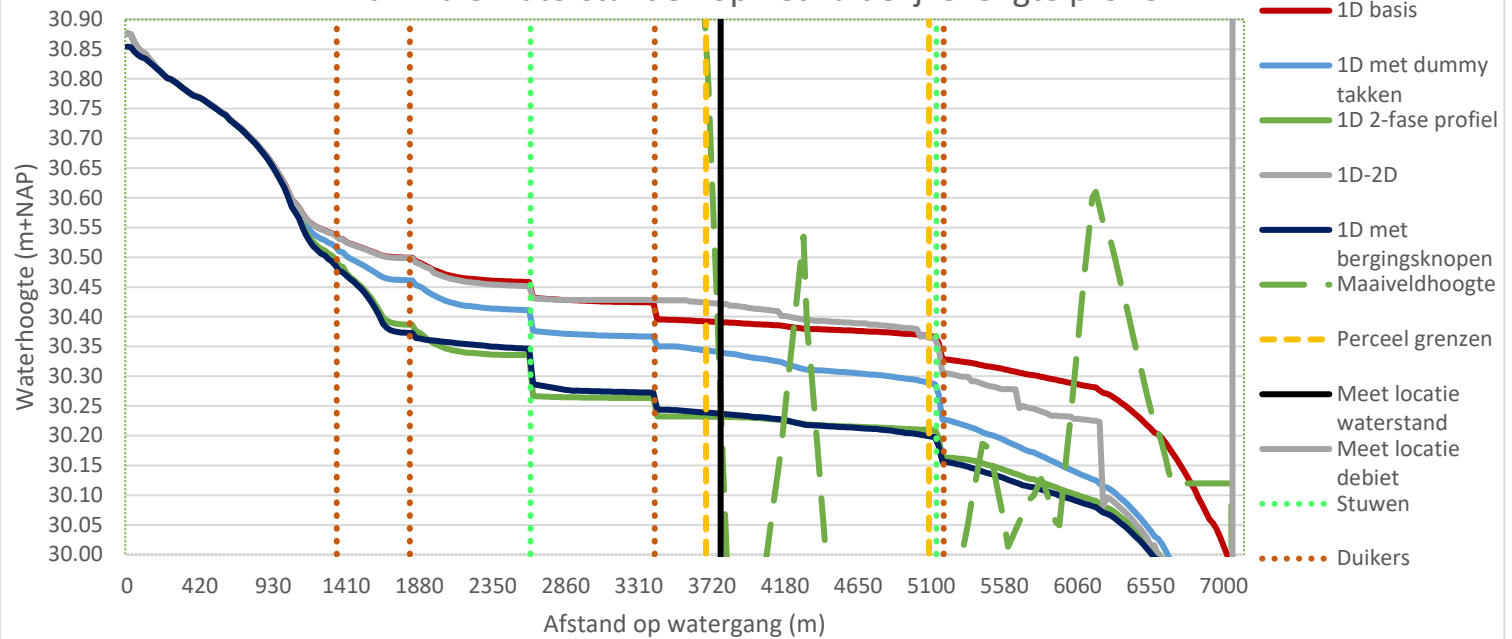
B-2. America

Maximale waterstanden op het noordelijke lengte profiel



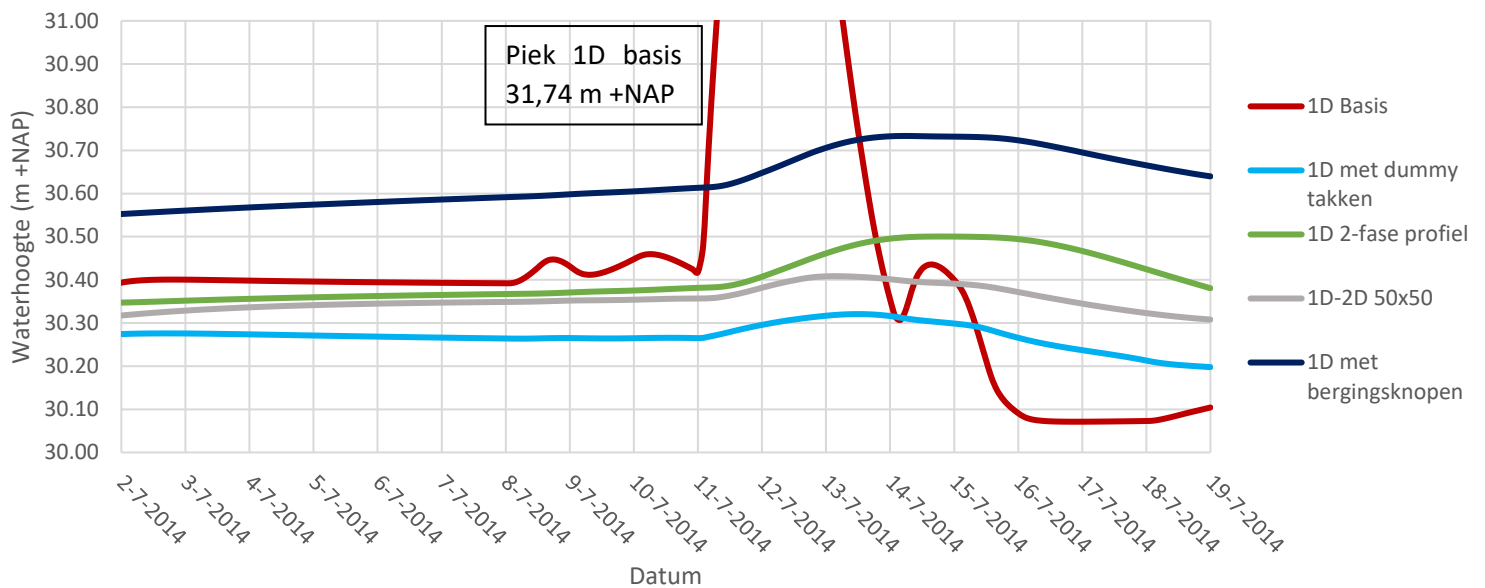
Bijlage figuur 29 Maximale waterstanden op het noordelijk lengteprofiel

Maximale waterstanden op het zuidelijke lengte profiel



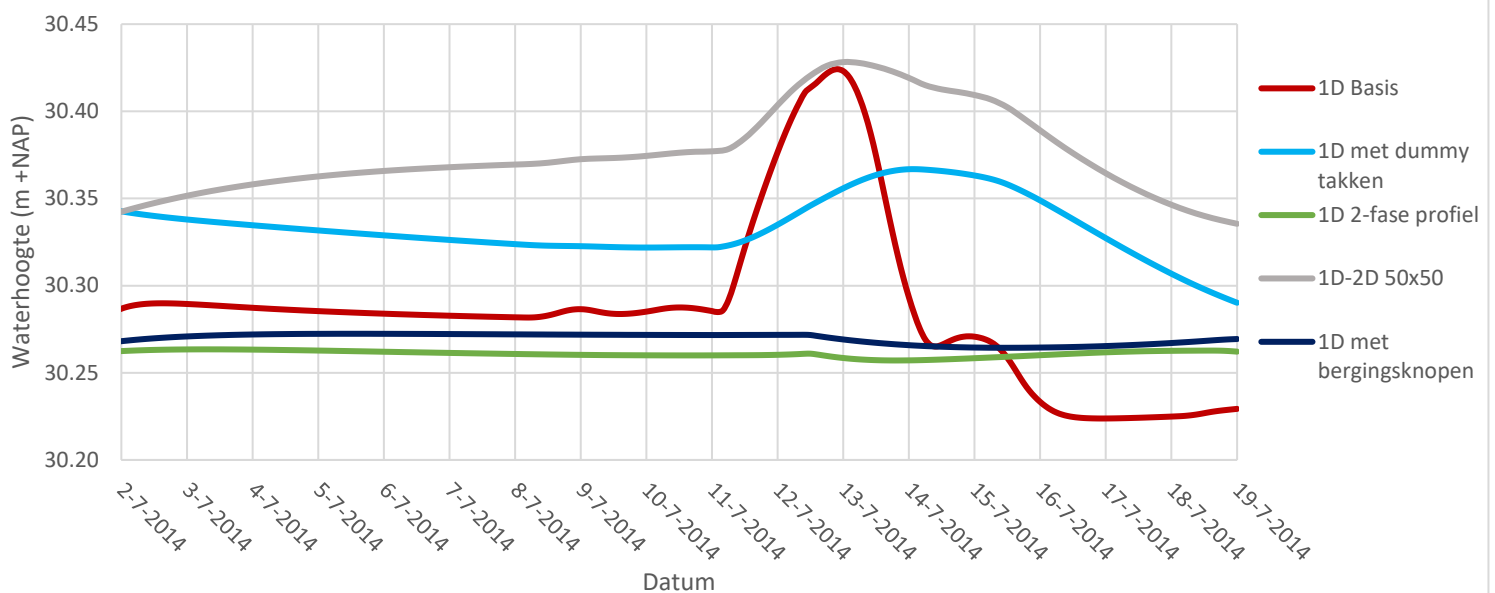
Bijlage figuur 30 Maximale waterstand op het zuidelijk lengteprofiel

Waterstand noordelijke watergang ter hoogte van de percelen



Bijlage figuur 31 Waterstand noordelijke watergang ter hoogte van de percelen

Waterstand zuidelijke watergang ter hoogte van de percelen



Bijlage figuur 32 Waterstand zuidelijke watergang ter hoogte van de percelen

Bijlage tabel 2 Totaalsommen debiet in watergang per methoden van modelschematisatie benedenstrooms

Methoden modelschematisatie	van Totaalsom debiet in m ³	Afwijking debiet in m ³ t.o.v. het 1D basismodel
1D met dummytakken	2,90E+06	+0,05E+06
1D 2-fase profiel	2,85E+06	±0,00E+06
1D-2D	2,87E+06	+0,02E+06
1D met bergingsknopen	2,79E+06	-0,06E+06

Opmerkingen modelschematisatie

- De methode 1D takken is binnen de vergelijking voor deze casus niet meegenomen, omdat de mate van meandering te weinig is voor het zuiver uitvoeren van deze methode.
- De grondwalle, voor de teelt van de blauwe bessen, levert bij de methoden 1D 2-fase profiel en 1D met bergingsknopen een onderschatting van de waterstand op. Dit is vergelijkbaar aan de onderschatting bij een dijkje zoals beschreven is bij de aandachtspunten van deze methoden.
- De celgrootte van het 2D grid is voor deze casus vastgesteld op 50x50 meter. Dit om de rekentijd te verminderen. Door deze celgrootte zijn de spoorweg en hoofdweg, die als waterscheiding gelden, handmatig in het grid hersteld waar deze waren vervallen. Door de grootte van de cellen zijn de grondwallen vervallen. Deze zijn niet handmatig hersteld omdat de breedte niet overeenkomt met de celgrootte en het niet als waterscheiding geldt. Dit leidt tot onderschatting van berging.
- Door het toevoegen van de bergingsknopen is de bodem van de methode 1D met bergingsknopen niet gelijk aan de bodem van de overige methoden. De reden hiervoor staat beschreven bij de aandachtspunten van de methoden. Binnen deze casus is het niet gelukt om de afwijking in de watergang te voorkomen. Dit leidt in de resultaten tot een te hoge waterstand.

B-2.1 Waterstand

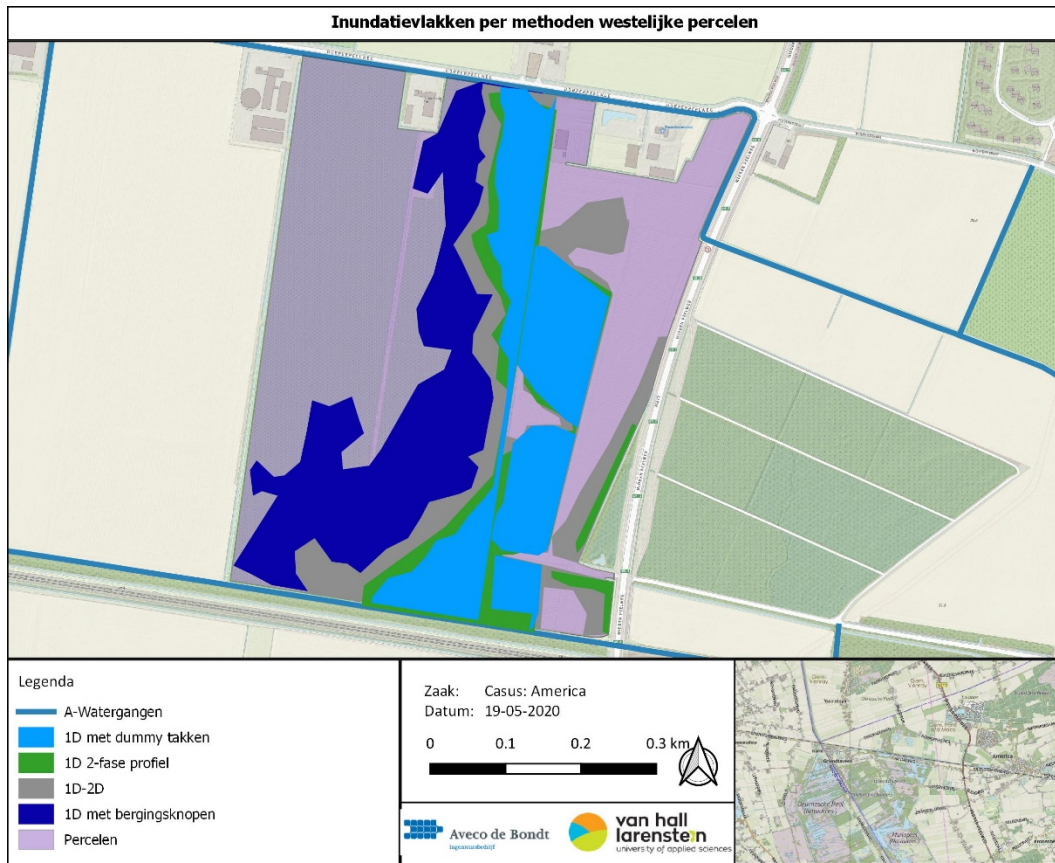
In Bijlage figuur 29 zijn de maximale waterstanden in de noordelijke watergang weergegeven op het lengteprofiel. Bij dit profiel treedt inundatie op over de gehele lengte. Hierdoor zijn de waterstanden met berging op het maaiveld veel lager dan in het 1D basismodel. Tevens zijn tussen de methoden de verschillen groot in dit profiel. Het grote verschil is voornamelijk te verklaren doordat binnen de methoden 1D met dummytakken en 1D-2D water van de noordelijke via het maaiveld naar de zuidelijke watergang stroomt. Aannemelijk is dat dit gebeurt in de praktijk gezien het vlakke maaiveld. Het is niet mogelijk om deze stroming te modelleren bij de overige methoden. Dit verklaart echter niet de te hoge waterstand van de methode 1D met bergingsknopen in Bijlage figuur 31. Dit komt door de verandering in de berging in de watergang. De waterstroom naar de zuidelijke watergang is terug te zien in de hogere waterstanden bij de methoden 1D met dummytakken en 1D-2D ondanks de berging, zie Bijlage figuur 32. Voor de methode 1D-2D is ook de piek hoger dan bij het basismodel. Zichtbaar in Bijlage figuur 30 is dat over de hele lengte van het perceel de maximale waterstand hoger is.

B-2.2 Debiet

Voor elk model is gewerkt met een restart file. Hierdoor is op de eerste tijdstap in het model bij de ene methode meer water aanwezig dan bij de andere methode. Dit komt door het verschil in berging gebruik bij de eerste tijdstap. De restart files zijn gemaakt door dezelfde situatie een keer door te reken met een initiële waterdiepte van 0,3 meter. Echter, door het niet stationaire debiet komt niet overal in het model de initiële data overeen met de volgende rekenstap. Dit verklaart de toename en afname van de totaalsommen van het debiet in Bijlage tabel 2. Er is gewerkt met restart files, omdat de waterstand daardoor snel kloppend zijn. Zonder restart file duurt dit meerder dagen in de simulatie tijd en het verschil in de totaalsommen van het debiet waren groter.

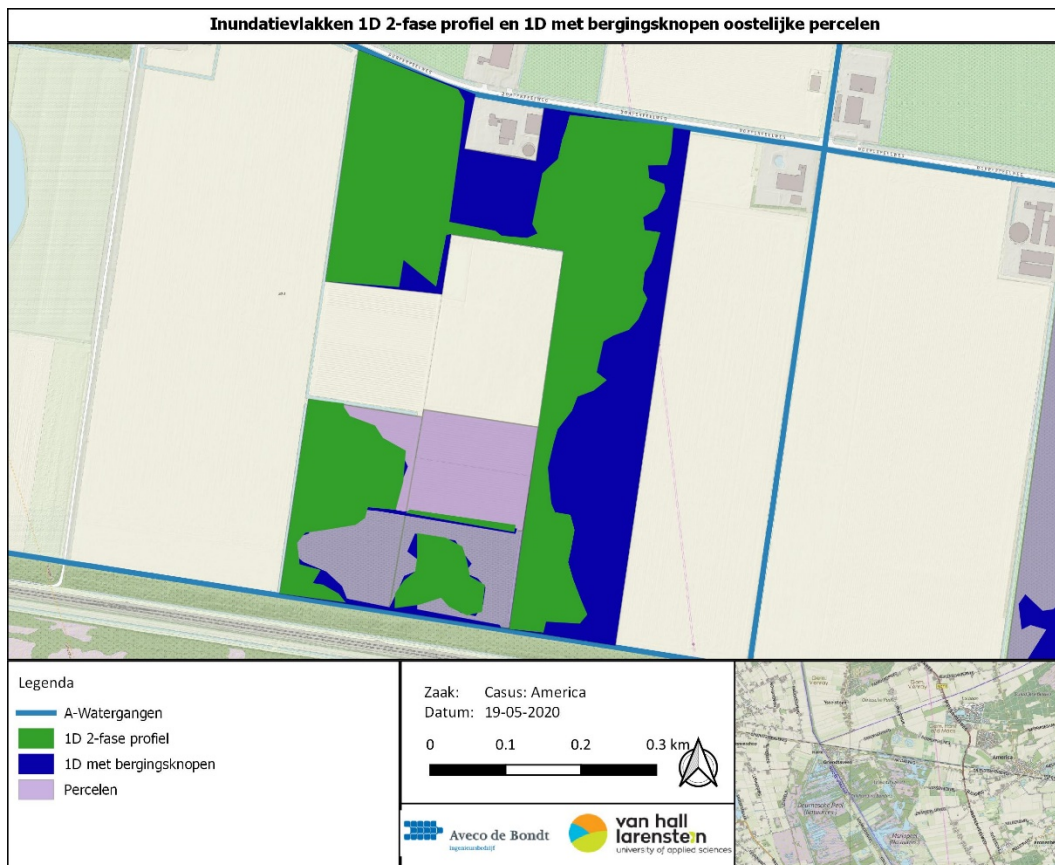
De debieten in de noordelijke en zuidelijke watergang, ter hoogte van de percelen, verschillen per methode. Wat voornamelijk opvalt is het hogere debiet in de zuidelijke watergang voor de methoden 1D met dummytakken en 1D-2D. Dit is te verklaren met het feit dat binnen deze methoden de watergangen water uitwisselen over het maaiveld.

B-2.3 Inundatie



Bijlage figuur 33 Inundatievlakken westelijke percelen

In Bijlage figuur 33, Bijlage figuur 34 en Bijlage figuur 35 zijn grote verschillen in de geïnundeerde oppervlakte zichtbaar. De oorzaak is dat de waterstand in de noordelijke watergang overschat is bij de methoden 1D 2-fase profiel en 1D met bergingsknopen, als gevolg van het feit dat water niet vanuit de noordelijke naar de zuidelijke watergang kan stromen. De overschatting van de waterstand in deze twee methoden maakt duidelijk dat de verbinding tussen deze watergangen een vereiste is voor nauwkeurige modellering. Een andere reden is dat het komt door de vlakte van de percelen. Hierdoor is een klein verschil in hoogte een groot verschil in het oppervlakte geïnundeerd gebied.



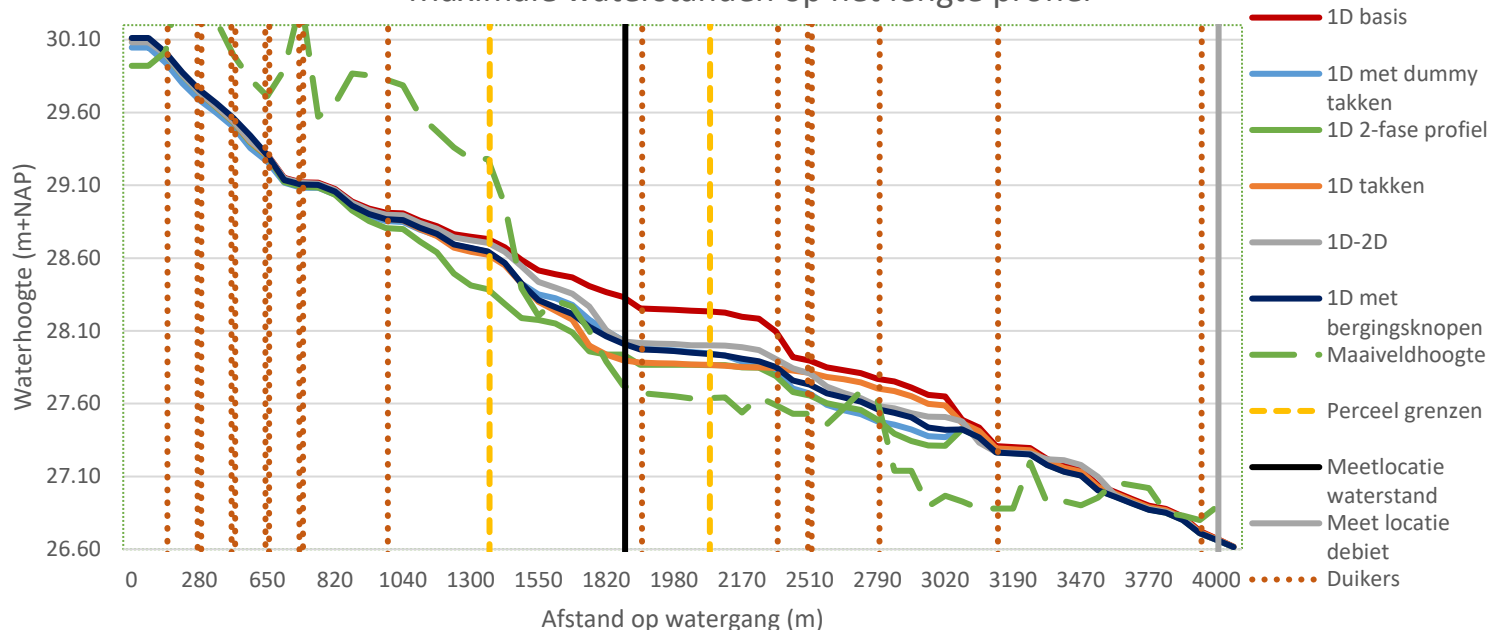
Bijlage figuur 34 Inundatievlakken 1D 2 fase profiel en 1D met bergingsknopen oostelijke percelen



Bijlage figuur 35 Inundatievlakken 1D met dummytakken en 1D-2D oostelijke percelen

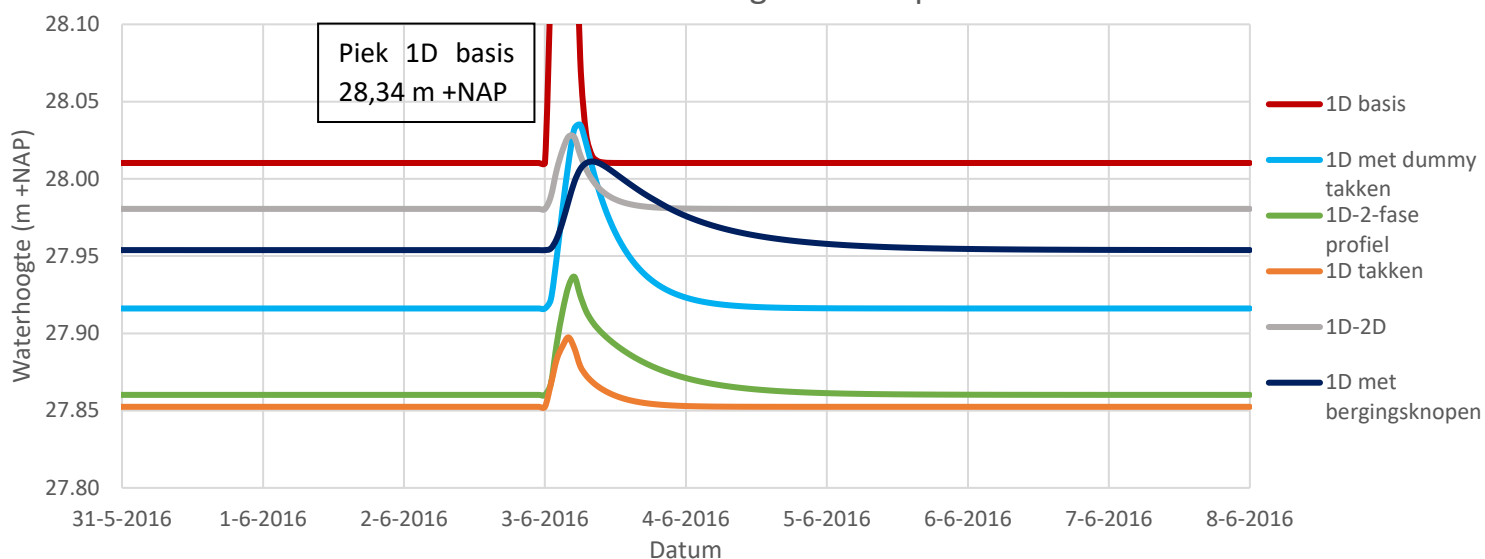
B-3. Reusel

Maximale waterstanden op het lengte profiel



Bijlage figuur 36 Maximale waterstand op het lengteprofiel

Waterstand ter hoogte van de percelen



Bijlage figuur 37 Waterstand ter hoogte van de percelen

Bijlage tabel 3 Totaalsommen debiet per methoden van modelschematisatie ter hoogte van de percelen

Methoden modelschematisatie	van	Totaalsom debiet in m ³	Afwijking debiet in m ³ t.o.v. het 1D basismodel
1D met dummytakken		2,10E+06	± 0,00E+06
1D 2-fase profiel		2,10E+06	± 0,00E+06
1D takken		2,10E+06	± 0,00E+06
1D-2D		2,10E+06	± 0,00E+06
1D met bergingsknopen		2,10E+06	± 0,00E+06

Opmerkingen modelschematisatie

- Voor direct op peil krijgen van de stationaire waterstand is gewerkt met restart files.
- Bij de methode 1D met dummytakken zijn de dwarsprofielen niet allemaal als bakjes gemodelleerd, omdat dit door het verval niet mogelijk is. Dit leidt mogelijk tot een miscalculatie van de waterstand. Voor de methode 1D met bergingsknopen kan het verval ook tot miscalculatie leiden. Dit is beschreven bij de aandachtspunten van de methoden.
- Bij de 1D 2-fase profiel methode zijn vaak dijkjes te zien om de watergang, ook loopt er een parallelle watergang. Voor deze methode leidt dit tot onderschatting van de waterstand. Hetzelfde probleem geldt bij de methode 1D met bergingsknopen.
- Bij de methode 1D takken stroomt de maaiveldtak de hele simulatie mee. Dit komt doordat ter hoogte van de percelen ook enkele parallelle watergangen lopen. Deze watergangen zijn meegenomen in de maaiveldtak en dit leidt tot dieptes in de dwarsprofielen. Voor dit onderzoek is besloten het AHN niet te bewerken om deze fout te voorkomen. Dit gezien anders de berging tijdens de overstort, wanneer het maaiveld verder dan de B-watergang geïnuundeerd is, niet klopt.
- Voor het toepassen van de methode 1D met bergingsknopen zijn meerdere dwarsprofielen toegevoegd. Hierdoor is de berging in de watergang veranderd.
- Voor de methode 1D-2D heeft het onderliggende 2D grid een celgrootte van 10x10 meter;

B-3.1 Waterstand

In Bijlage figuur 36 is zichtbaar dat bij alle methoden berging op het maaiveld wordt benut tijdens de overstort, gezien de verlaagde waterstand. De methoden 1D 2-fase profiel en 1D takken vertonen de laagste waterstand. De redenen van deze onderschattingen zijn in de opmerkingen benoemd. In het bijgaande document is hetzelfde lengteprofiel weergegeven met de waterstanden van de stationaire afvoer. Hierin zijn vergelijkbare resultaten zichtbaar.

De waterstanden van de methoden 1D met dummytakken, 1D-2D en 1D met bergingsknopen zijn vergelijkbaar met elkaar. Tevens zijn de methoden 1D 2-fase profiel en 1D takken aan elkaar gelijk ter hoogte van de percelen, zie Bijlage figuur 37. Deze twee methoden hebben allebei de afwijking dat in de stationaire waterstand al berging in de parallelle watergang en achter de dijkjes wordt gebruikt. Dit leidt in beide situaties tot een verlaagde waterstand. Tegen verwachting in is dit niet terug te zien bij de methode 1D met bergingsknopen. Het is minder laag omdat het vervroegd/overmatig gebruik van berging in onbekende mate is opgeheven door de verandering van berging in de watergang.

Benedenstrooms heeft de methode 1D met dummytakken een lagere waterstand. Dit komt doordat niet alle dwarsprofielen in de dummytakken als bakjes zijn gemodelleerd. Dit is niet mogelijk door het verval langs de watergang.

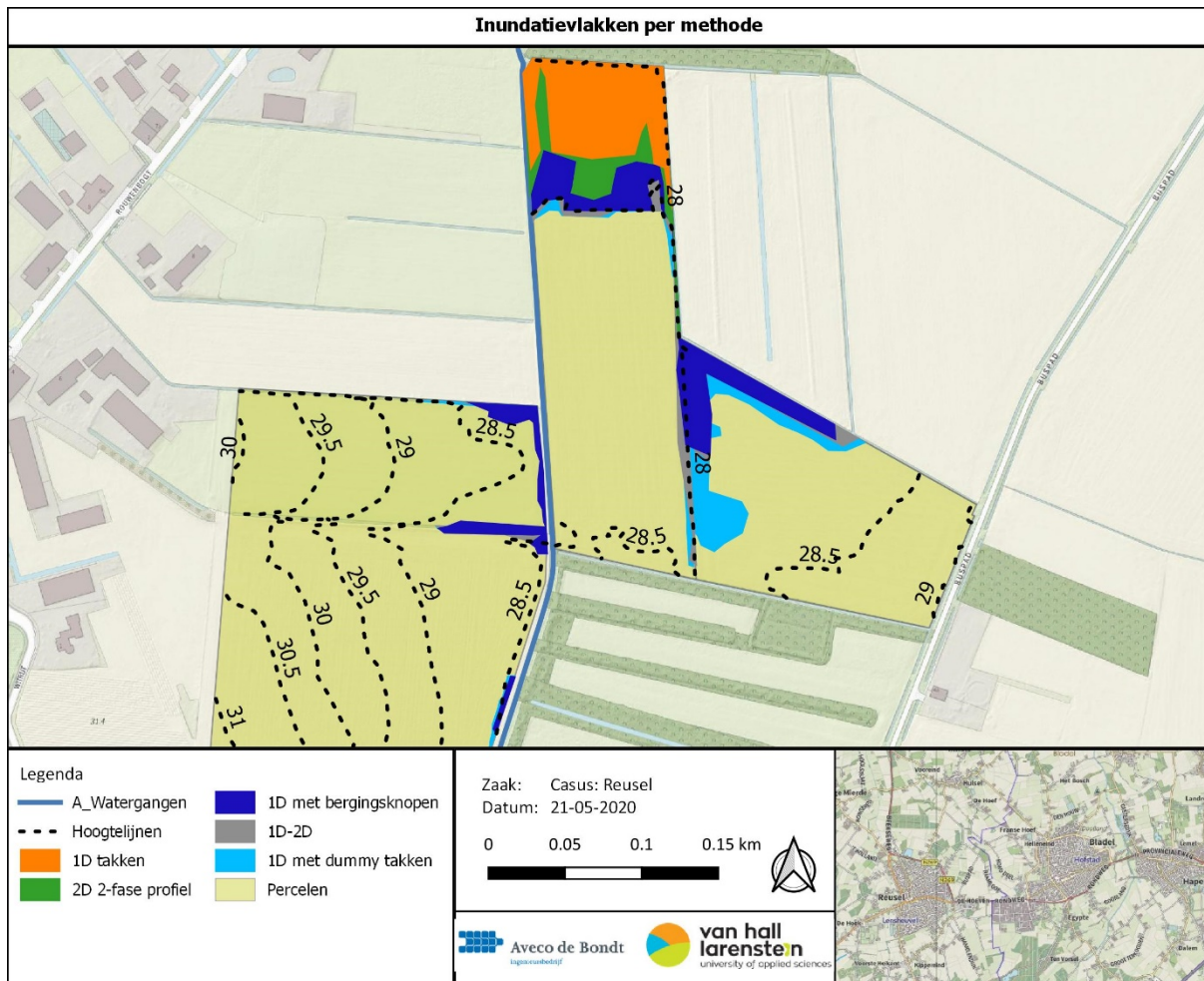
De methode 1D-2D reageert minimaal op de overstort en laat geen vertraging in de waterstandsval zien. Dit is te verklaren met de dijkjes waar het water, ter hoogte van het meetpunt, achter blijft staan. Het water stroomt verder benedenstrooms terug de watergang in.

B-3.2 Debiet

Bij alle methoden blijft het debiet volledig behouden, zie Bijlage tabel 3. Door de stationaire waterstand en de restart files is van een toename van het debiet bij de methode 1D met dummytakken, zoals bij de andere casussen, geen sprake.

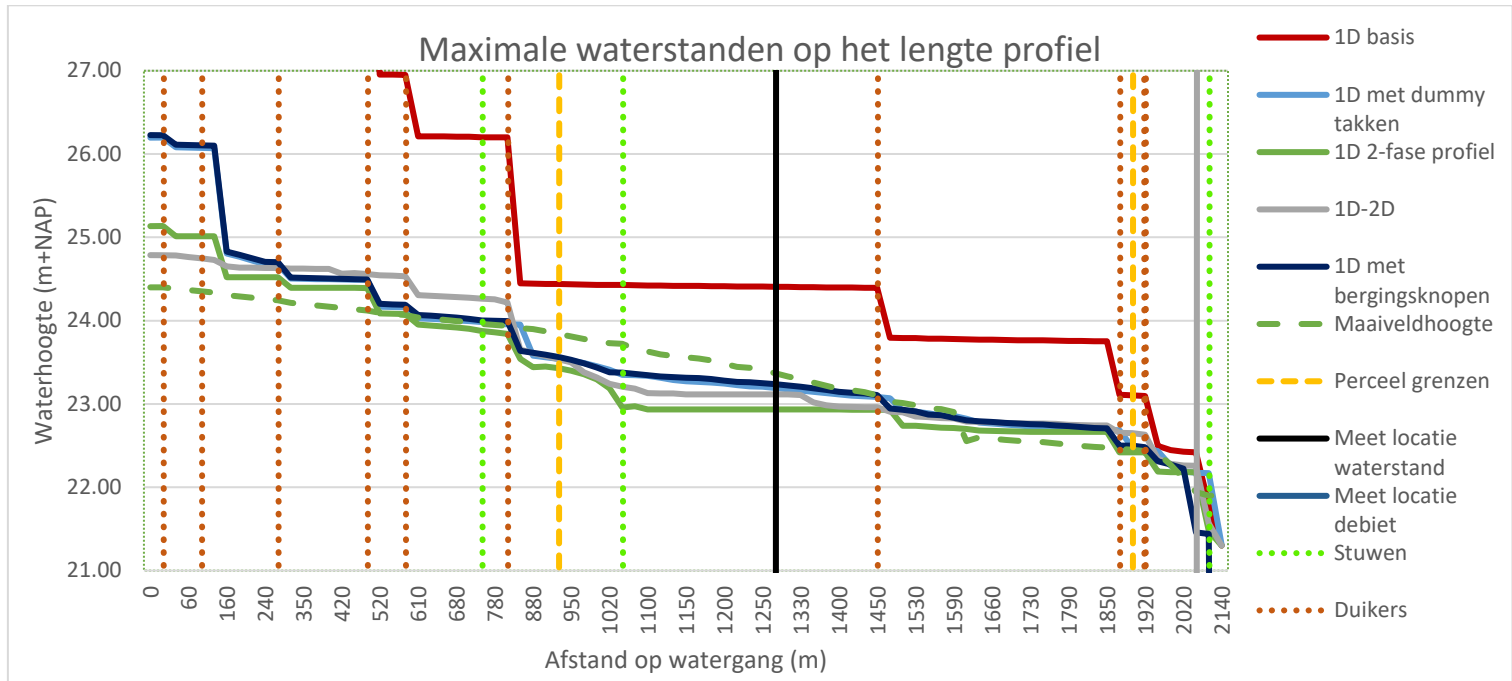
B-3.3 Inundatie

Voor iedere methode is in Bijlage figuur 38 weergegeven welk areaal van de percelen geïnundeerd raakt als gevolg van het berekende maximum waterpeil. Voor de methode 1D-2D en 1D met bergingsknopen zijn de inundatie nagenoeg gelijk.

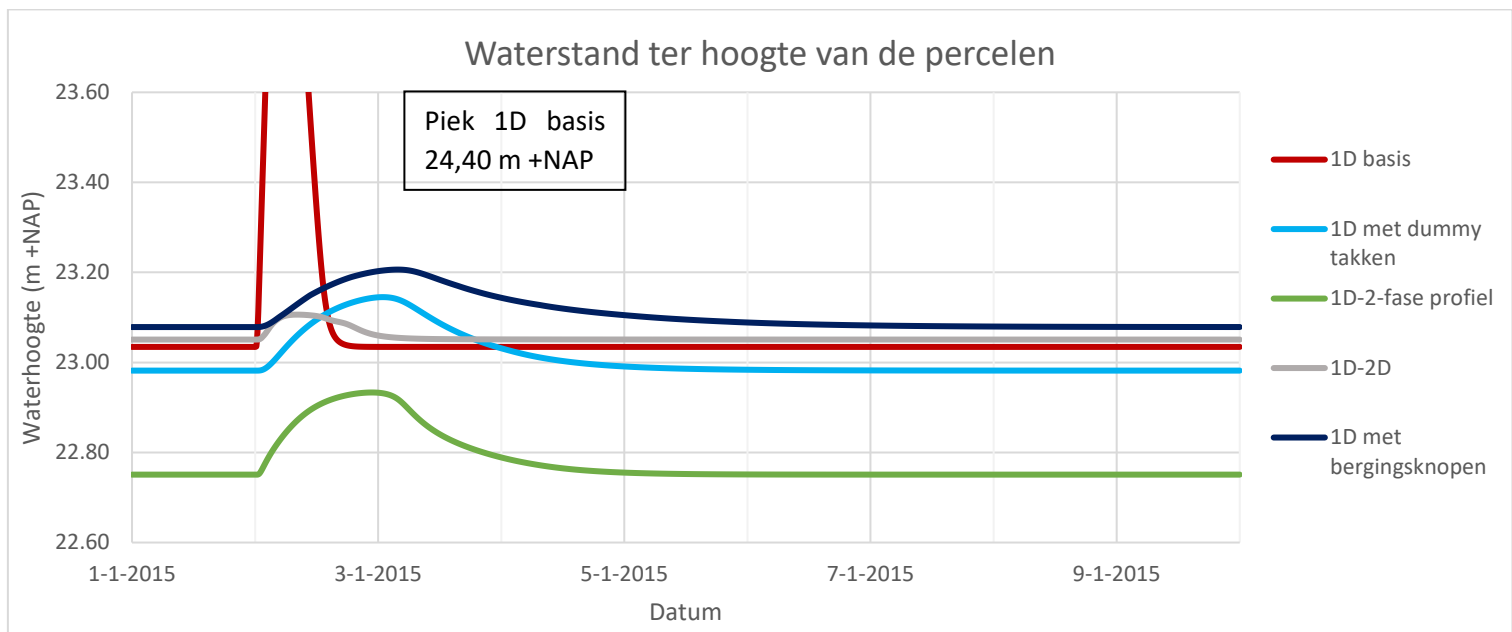


Bijlage figuur 38 Inundatievlakken per methode

B-4. Someren



Bijlage figuur 39 Maximale waterstand op het lengteprofiel



Bijlage figuur 40 Waterstand ter hoogte van de percelen

Bijlage tabel 4 Totaalsommen debiet per methoden van modelschematisatie ter hoogte van de percelen

Methoden modelschematisatie	van	Totaalsom debiet in m ³	Afwijking debiet in m ³ t.o.v. het 1D basismodel
1D met dummytakken		3.95E+05	± 0,00E+05
1D 2-fase profiel		3.95E+05	± 0,00E+05
1D-2D		3.95E+05	± 0,00E+05
1D met bergingsknopen		3.95E+05	± 0,00E+05

Opmerkingen modelschematisatie

- De methode 1D takken is niet meegenomen in de vergelijking voor deze casus, omdat de methode niet zuiver is uit te voeren.
- Het landschap kent meerdere poeltjes, deze zijn meegenomen binnen de methoden. Bij de methode 1D met bergingsknopen kunnen deze poeltjes niet worden vermeden. Dit kan leiden tot onderschatting van de waterstand wanneer het omliggende landschap niet is geïnundeerd. Als het omliggende land ook geïnundeerd is geeft het bij deze methode geen problemen.
- Bij de methode 1D 2-fase profiel en 1D met dummytakken zijn enkele poeltjes meegenomen. Hierdoor wordt de berging in de poeltjes niet overschat, omdat bij deze methoden de poeltjes over een stuk lengte zijn gemodelleerd.
- Bij de methode 1D-2D zijn de poelen vervaagd. Dit leidt tot onder- of overschatting van de berging of waterstand. De celgrootte van het 2D grid is 10x10 meter.
- Het 1D basismodel bevat niet genoeg dwarsprofielen voor het uitvoeren van de methode 1D met bergingsknopen zonder dat er dwarsprofielen moeten worden toegevoegd. Dit kan leiden tot miscalculatie, zie het aandachtspunt bij de methode.
- De data van de bakjes, die is aangeleverd vanuit Aveco de Bondt, is niet gewijzigd ondanks dat het lijkt dat sommige bakjes niet kloppend zijn qua hoogte, zie Figuur 14. Hiervoor is gekozen omdat de data rechtstreeks is overgenomen uit de legger van het waterschap en ervan uit wordt gegaan dat deze data klopt. Als de data van het waterschap correct is zou het kunnen dat het AHN plaatselijk niet correct is ingemeten.
- In het aangeleverde model zijn de dwarsprofielen gemodelleerd als trapeziums.

B-4.1 Waterstand

Uit Bijlage figuur 39 blijkt dat over het hele lengteprofiel de berging op het maaiveld leidt tot een waterstandsverlaging. Door deze waterstandsverlagingen is op plaatsen, waar in het 1D basismodel water boven het maaiveld uitkomt, het water zo verlaagd dat daar geen berging wordt gebruikt. De methoden lijken niet veel van elkaar af te wijken.

Uit Bijlage figuur 40 blijkt echter dat de methoden meer dan 5 centimeter van elkaar afwijken, zowel in de stationaire als dynamische waterstand. Opvallend in dit figuur is dat de methode 1D met bergingsknopen tegen verwachting in, de hoogste waterstand weergeeft. Dit is te verklaren met de verandering van berging in de watergang. Daarbij heeft de methode 1D 2-fase profiel een lage waterstand. De reden hiervoor is dat de poelen vermoedelijk, door de lengte waarop een dwarsprofiel geldt, te veel berging geven.

Bovenstrooms en benedenstrooms zijn de verschillen in waterhoogte minder groot. Dit is te verklaren met het feit dat ter hoogte van de percelen meer poeltjes aanwezig zijn dan boven- en benedenstrooms. Aan de hand van deze uitkomsten kan geconcludeerd worden dat poelen in methode 1D met dummytakken en 1D met bergingsknopen beter worden meegenomen dan in de overige methoden.

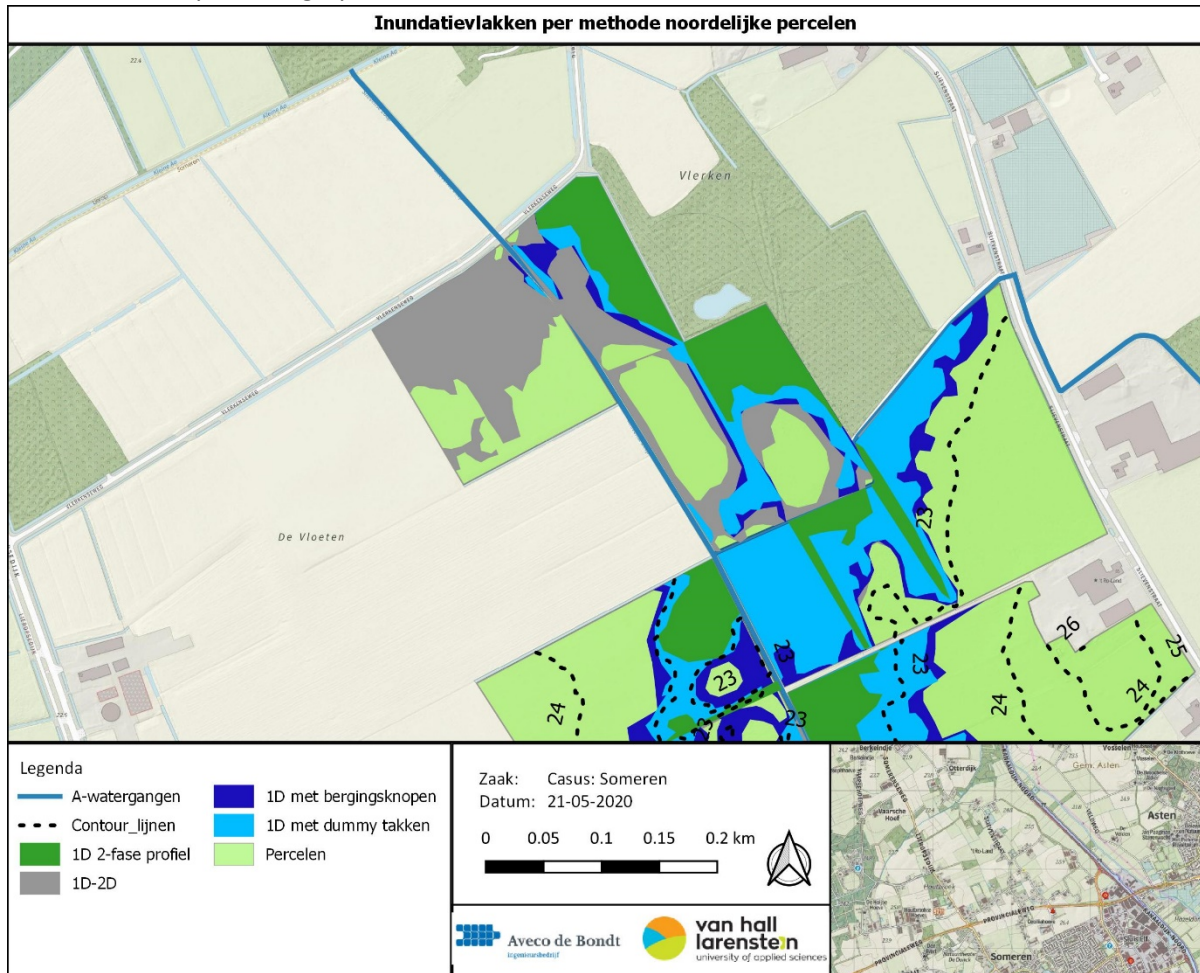
B-4.2 Debiet

Bij alle methoden is sprake van afvlakking van het debiet. Bovenstrooms is de afvlakking minimaal, een reden hiervoor is dat de methoden hier minder intensief zijn toegepast dan ter hoogte van de percelen. Benedenstrooms is de afvlakking het grootst. Dit wordt veroorzaakt doordat het water van het maaiveld terugstroomt.

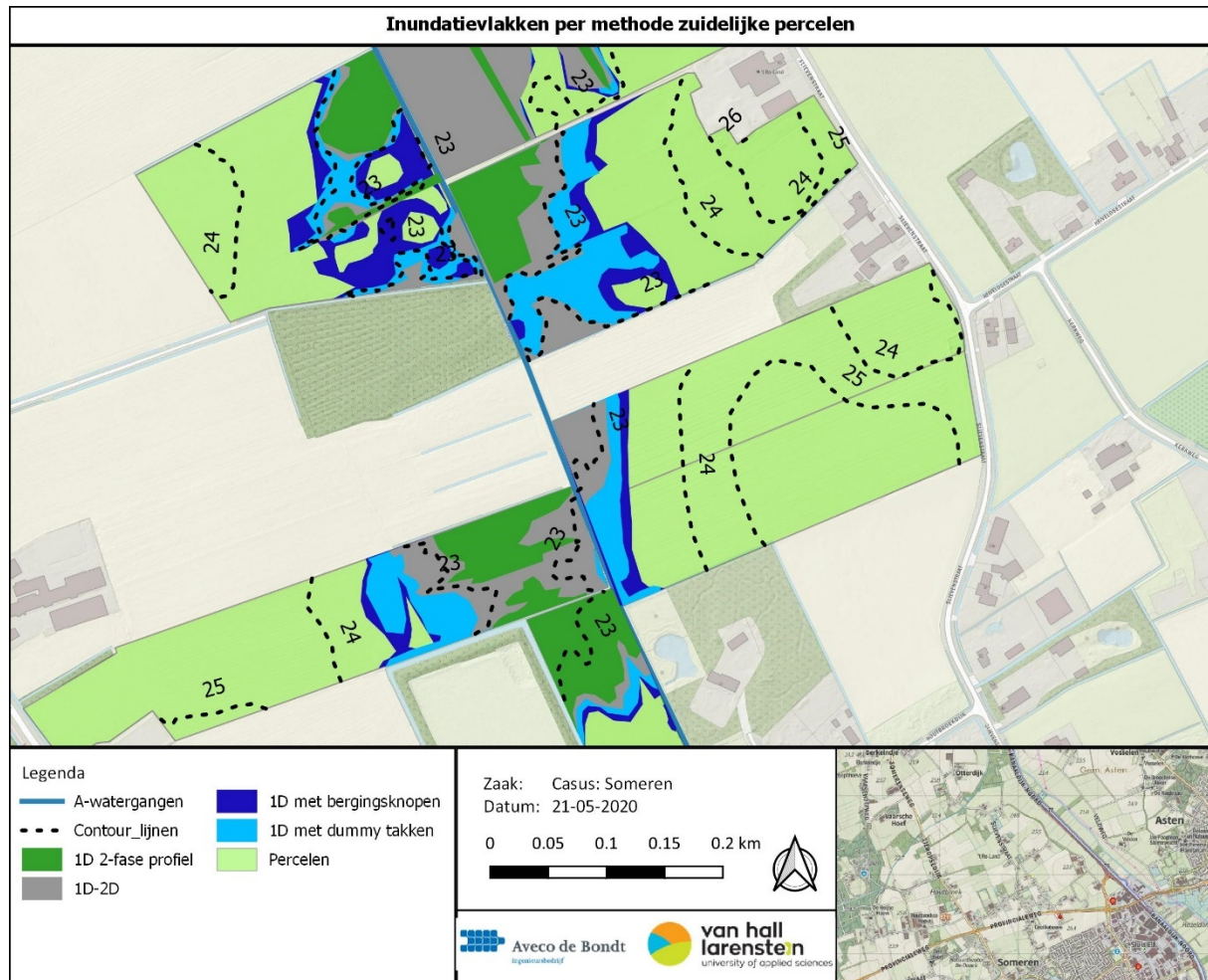
In Bijlage tabel 4 zijn de totaal sommen van het debiet weergegeven. Hieruit blijkt dat de methoden geen verlies van debiet hebben. Dit komt doordat er gewerkt is met restart files en het, exclusie de overstort, een stationair debiet is.

B-4.3 Inundatie

In de inundatie arealen, weergegeven in Bijlage figuur 41 en Bijlage figuur 42, zijn grote verschillen zichtbaar. Deze inundatievlakken zijn gemaakt op basis van de maximale lokale waterstanden. De verschillen zijn te verklaren door de lokale verschillen die ook zichtbaar zijn in de maximale waterstanden op het lengteprofiel.



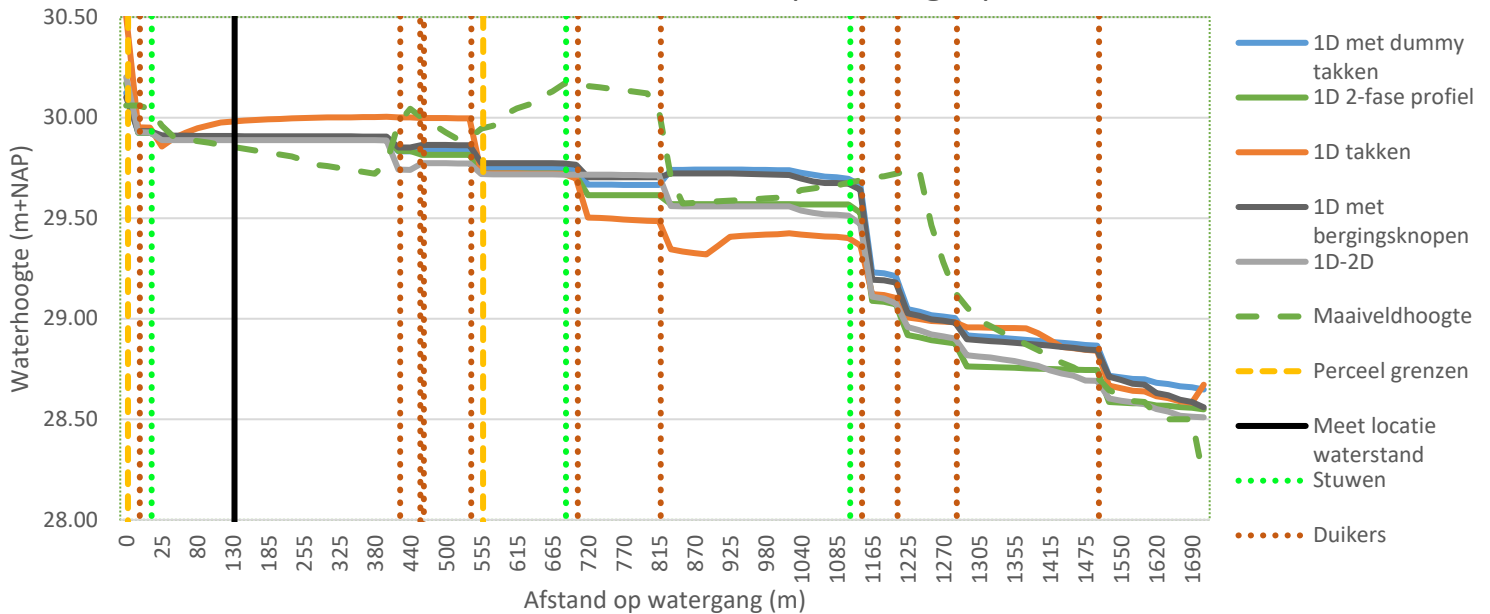
Bijlage figuur 41 Inundatievlakken per methode noordelijke percelen



Bijlage figuur 42 Inundatievlakken per methode zuidelijke percelen

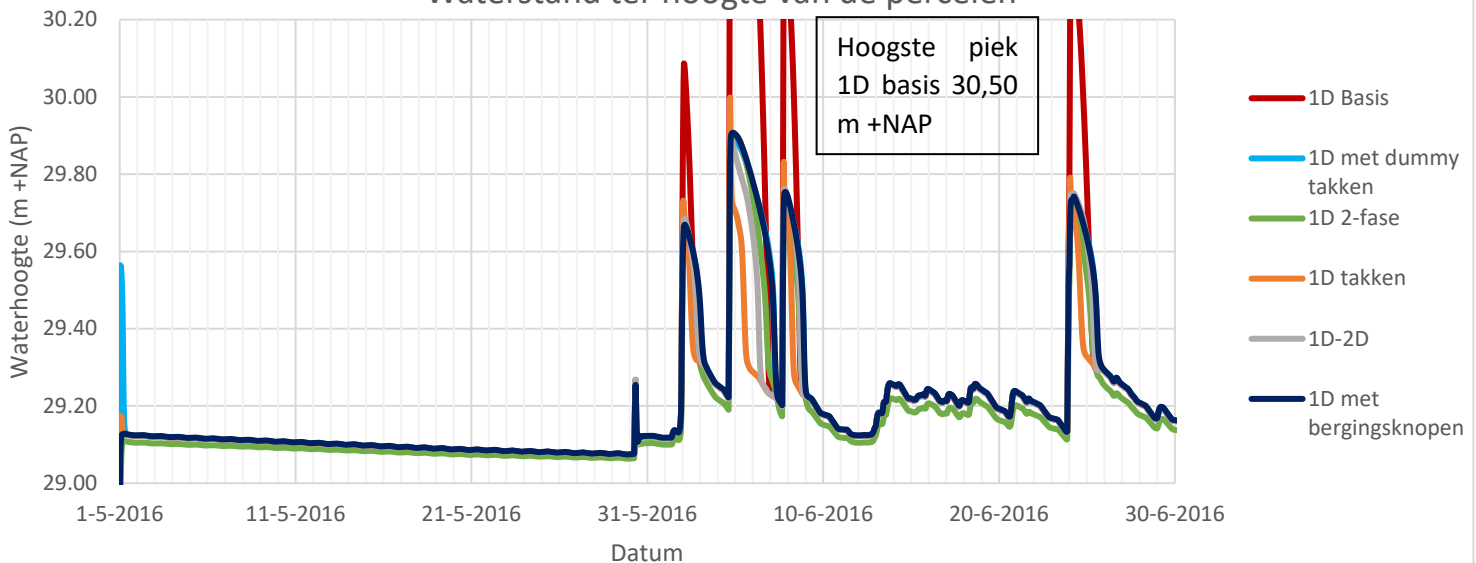
B-5. Weert

Maximale waterstanden op het lengte profiel



Bijlage figuur 43 Maximale waterstand op het lengteprofiel

Waterstand ter hoogte van de percelen



Bijlage figuur 44 Waterstand ter hoogte van het perceel

Bijlage tabel 5 Totaalsommen debiet per methoden van modelschematisatie ter hoogte van de percelen

Methoden modelschematisatie	van	Totaalsom debiet in m ³	Afwijking debiet in m ³ t.o.v. het 1D basismodel
1D met dummytakken		8,20E+05	+ 0,05E+05
1D 2-fase profiel		8,14E+05	- 0,01E+05
1D takken		8,17E+05	+ 0,02E+05
1D-2D		7,89E+05	- 0,06E+05
1D met bergingsknopen		8,14E+05	- 0,01E+05

Opmerkingen modelschematisatie

- Voor de methode 1D 2-fase profiel is gekozen om de dwarsprofielen tot de verhoogde wegen te maken. Hiermee is overbodige beging achter de verhogingen voorkomen. Subtiële verhogingen, waarvan verwacht is dat het water er overheen stroomt, zijn meegenomen in de dwarsprofielen.
- Bij de methode 1D met bergingsknopen en 1D takken zijn gelijke gebieden aangehouden als bij de methode 1D 2-fase profiel.
- Voor de methoden 1D met bergingsknopen zijn geen extra dwarsprofielen toegevoegd. Hiermee is het aandachtspunt betreffende de verandering van de berging in de watergang niet van toepassing.
- De dummytakken en het 2D grid dekken wel de gebieden achter de verhoogde wegen. Binnen de methoden 1D met dummytakken en 1D-2D zijn de verhoogde wegen goed meegenomen als waterscheidingen langs het Diepven.
- De methoden zijn minder intensief toegepast bij de watergang de Aa, omdat dit geen invloed heeft op de waterstand rond het perceel. Het is echter, van invloed op de waterstand in het benedenstrooms meetpunt.
- Bij het 2D grid zijn, benedenstrooms rond de Aa, de verhoogde wegen niet altijd goed gebleven. Deze zijn niet hersteld omdat het niet van invloed is op de waterstand van de percelen. Het heeft wel invloed op het debiet, omdat water achter de stukken wegen blijft die wel goed zijn meegenomen.
- Het 2D grid heeft cellen van 10x10 meter.
- Voor de vergelijking in de waterstand is alleen gekeken naar de waterstand in het Diepven en niet de andere watergangen in het model. Hiervoor is gekozen omdat bij de methode 1D 2-fase profiel en 1D takken deze haakse watergangen niet correct zijn mee te nemen.

B-5.1 Waterstand

Benedenstrooms, zie Bijlage figuur 43 wijkt de methode 1D takken veel af. Doordat de watergangtak en maaiveldtak voor vierhonderd meter niet in verbinding zijn, waardoor uitwisseling van water tussen de takken niet mogelijk is en in feite geen inundatie kan optreden. Daarnaast is benedenstrooms een scheiding zichtbaar tussen de methoden 1D met dummytakken en 1D met bergingsknopen en de methoden 1D 2-fase profiel en 1D-2D. Een reden hiervoor is het verschil in het meenemen van de stuw. De methoden 1D met dummytakken en 1D met bergingsknopen hebben meer opstuwingsdoordat relatief veel doorstromend oppervlakte vult bij deze methoden. In de werkelijk heeft het water, tijdens de inundatie, een groter doorstromend oppervlakte dan de oppervlakte van de watergang. Hierom zijn de resultaten, achter de stuw, van de methoden 1D 2-fase profiel en 1D-2D het meest logisch.

Ter hoogte van het perceel verschillen de waterstanden van de methoden minder dan twee centimeter, zie Bijlage figuur 44. Wel verschilt de tijdsduur van het terugstromen van het water naar de watergang. Bij de methode 1D-2D verschil is te verklaren met water dat achterblijft bij de eerste twee pieken, want bij de laatste twee pieken is de waterstand iets hoger en de versnelde verlaging niet zichtbaar. Bij de andere methoden blijft geen water achter op het maaiveld tijdens de berekening. De duur van de inundatie wordt binnen het onderzoek niet meegenomen, omdat dit voor Aveco de Bondt niet van belang is. Het is niet van belang omdat de tijdsduur van de inundatie in de praktijk vaak niet is gemeten.

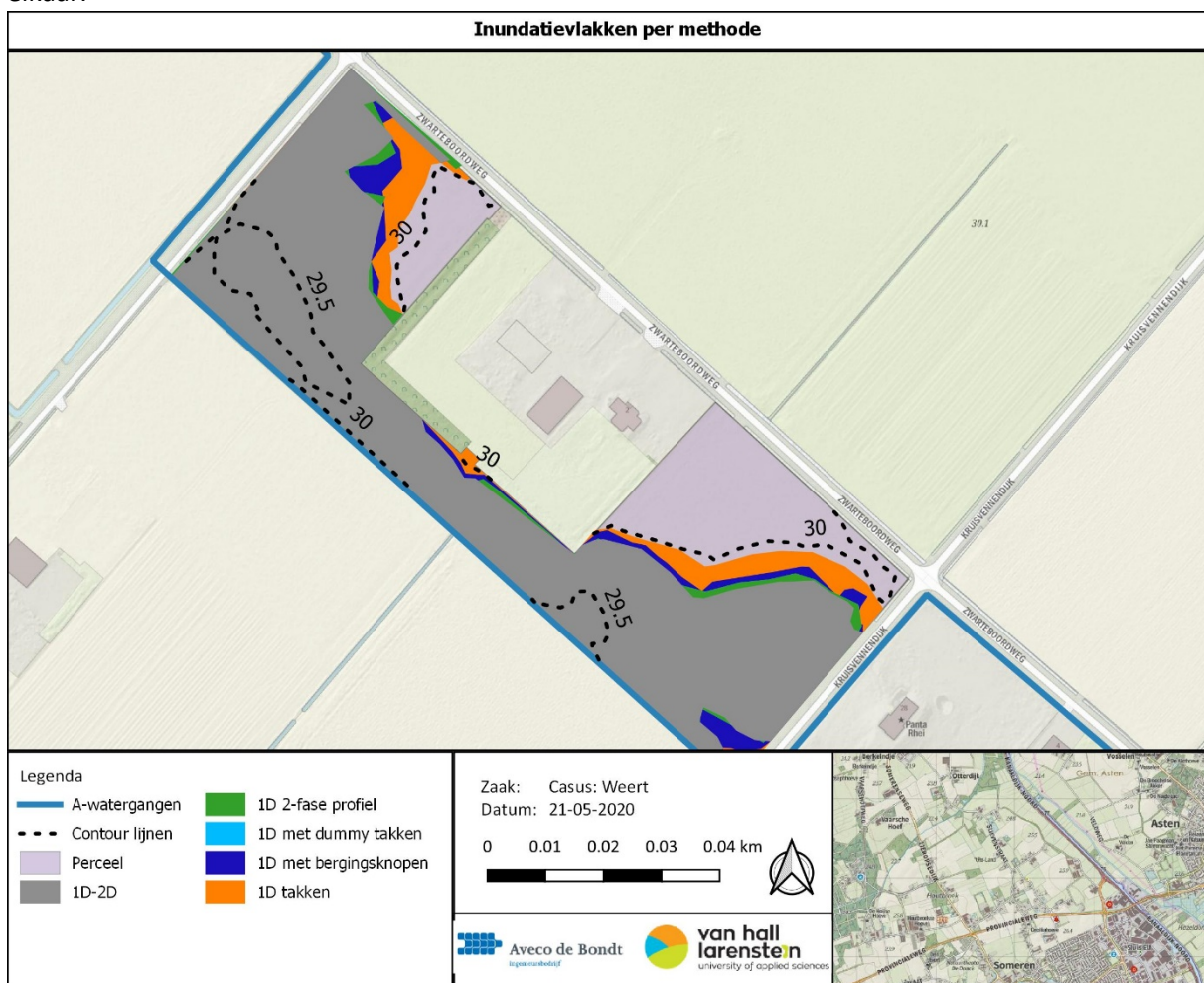
B-5.2 Debiet

Het debiet is benedenstrooms in de Aa uit het model gehaald, hierdoor is de meetlocatie niet weergegeven in Bijlage figuur 43. Bij deze meetlocatie is geen methode benadeeld door water dat verderop de watergang instroomt.

In Bijlage tabel 5 zijn de totaalsommen van de debieten per methode beschreven. Voor deze casus is niet gewerkt met een restarte file, dit leidt tot de toename van debiet voor de methoden 1D met dummytakken en 1D takken. De afname van het debiet van de methode 1D-2D is af te leiden aan het water wat achter de, slecht meegenomen, verhoogde wegen blijft. Het debietverlies van de methoden 1D 2-fase profiel en 1D bergingsknopen is verwaarloosbaar.

B-5.3 Inundatie

Het verschil in geïnundeerd oppervlakte is minimaal tussen de methoden, omdat de waterhoogten weinig van elkaar verschillen. De methoden 1D met dummytakken en 1D 2-fase profiel zijn gelijk aan elkaar.



Bijlage figuur 45 Inundatievlakken per methode

C. Reflectie

Toen ik mijn eerste stage liep in Portugal stuurde Anouk deze afstudeeropdracht door naar de hydrologie groep en ik wist meteen dit is de afstudeeropdracht die ik zoek. In februari begonnen en toen de opdracht echt vorm begon te krijgen werd ik steeds enthousiaster.

Het in de hand krijgen van de methoden heeft mij meer tijd gekost dan ik zelf had verwacht ondanks dat Thomas in het begin had aangegeven dat dit tijd zou kosten. Ik ben blij dat ik tijdens het leren van de methoden heb geoefend op meerdere casussen. Dit heeft mogelijk meer tijd gekost maar hierdoor liep ik sneller tegen problemen aan bij de methoden.

Een van de lastigste onderdelen in het onderzoek vond ik om de keuze maken hoe bepaalde criteria te beoordelen. Dit vond ik lastig omdat het een keuze was tussen meerdere opties en waarvan het onzeker was of er één goede methode zou zijn. Hier heb ik meerder malen met de opdrachtgever over gesproken.

Na enkele weken thuis te werken was mijn motivatie wat minder geworden. Maar deze had ik gelukkig redelijk snel weer terug. Het heeft uiteindelijk geen nadelig effect gehad op het eindresultaat.

Door de tips en opmerkingen van Thomas heb ik veel geleerd over rapportagetechnieken en van de Nederlandse taal. Veel van zijn tips zijn niet alleen toepasbaar op deze rapportage maar zeker ook voor toekomstige rapportages die ik zal maken.

Het is mijn verwachting dat de beslisboom, helaas, nog niet volledig af is. Dit komt omdat na iedere casus de beslisboom aangepast werd. Ik vermoed dat bij een zesde of een zevende test dat niet anders zal zijn. Dat maakt dat ik het eerlijk gezegd niet zou weten hoeveel testen er nog nodig zijn om tot een definitieve versie te komen. De toekomst zal dit uitwijzen aangezien binnen dit onderzoek hiervoor onvoldoende tijd was.