



Neerslag- afvoermodellering

Noord- en midden Limburg

Opdrachtgever



Neerslag- afvoermodellering



Noord- en midden Limburg

Definitief rapport

Auteurs

Bertus de Graaff
Geerten Horn
Sabine Bartussek
Rianne Meeusen

PR4367.10

Mei 2020

Inhoud

1	Inleiding	1
1.1	Aanleiding tot het project	1
1.2	Doelstelling bij de start van het project	1
1.3	Wijziging van de doelstelling tijdens het project	2
1.4	Onderzoeksvragen	2
1.5	Colofon	2
1.6	Leeswijzer	3
2	Bouw 1D2D-model	5
2.1	Inleiding	5
2.2	1D-model	6
2.3	2D-model	8
3	Bouw RR-model Ernst	9
3.1	Inleiding	9
3.2	Landgebruik en typen RR-knopen	9
3.3	Onverhard gebied	10
3.4	Verhard gebied en rioolwaterzuiveringen	12
3.5	Glastuinbouwgebied	13
3.6	Meteobelasting	14
3.7	Kalibratie van de basisafvoer en intermediaire afvoer	14
3.8	Kalibratie van de hoogwaterafvoer	31
3.9	Evaluatie kalibratie hoogwaterafvoer	38
3.10	Gevoeligheidsanalyse voor meetpunt Holthees	46
3.11	Finale simulatie	49
3.12	Slotbeschouwing	56
4	WFLOW-SBM model	59
4.1	Inleiding	59
4.2	Modelbeschrijving	59
4.3	Landgebruik, bodemtype en DTM	64
4.4	Meteobelasting	67
4.5	Modelbouw WFLOW	67
4.6	Kalibratie WFLOW	72
5	Advies	81
5.1	Inleiding	81
5.2	Aanbevelingen	81
5.3	Beantwoording onderzoeksvragen	84

6	Referenties	91
	Bijlagen	93
A	Landgebruik Ernst	95
B	Terreinruwheid	101

1 Inleiding

1.1 Aanleiding tot het project

Waterschap Limburg wil in 2022 starten met de toetsing aan de provinciale normen voor wateroverlast. Het waterschap wil het gehele beheergebied dan in een periode van 6 jaar hebben getoetst met D-HYDRO, de opvolger van SOBEK2. Daarnaast wil het waterschap bij voorkeur werken met een geïntegreerd grond- en oppervlaktewatermodel. In het project Lumbricus wordt gewerkt aan een volledige koppeling van MODFLOW, METASWAP en D-HYDRO, waarmee de wens van een geïntegreerd grond- en oppervlaktewatermodel kan worden gerealiseerd. Deze koppeling werkt echter nog onvoldoende en het waterschap verwacht dat de koppeling nog niet kan worden ingezet voor de toetsing aan de provinciale normen.

Het waterschap wil daarom onderzoeken of het de toetsing kan uitvoeren met de inzet van neerslag-afvoermodellen gekoppeld aan D-HYDRO. Daarnaast wil het waterschap weten of neerslag-afvoermodellen ook voor de andere toepassingen van het waterschap bruikbaar zijn, waarbij de modellen bruikbare informatie moeten opleveren in hoogwatersituaties, gewone afvoersituaties en droge afvoersituaties.

Het waterschap heeft aan HKV gevraagd dit met het waterschap te onderzoeken, waarbij HKV haar expertise van neerslag-afvoermodellering in hellende vrij afwaterende systemen in Nederland inbrengt en het waterschap betreft bij inhoudelijke discussies en de te maken keuzes.

1.2 Doelstelling bij de start van het project

Het doel van de opdracht was het met het waterschap verkennen van de mogelijkheden, beperkingen en geschiktheid van binnen D-HYDRO beschikbare neerslag-afvoerconcepten voor noord- en midden Limburg. Het waterschap wilde daarbij op voorhand de volgende neerslag-afvoerconcepten onderzoeken:

- RR-lumped met het Ernst concept voor onverhard (unpaved) gebied, zoals geïmplementeerd in D-HyDAMO voor Waterschap Rivierenland;
- RR-lumped met het Walrus concept voor onverhard gebied;
- WFLOW-SBM.

Voor beide RR-lumped concepten wordt het verharde gebied in paved knopen geschematiseerd, het glastuinbouwgebied in greenhouse knopen en het oppervlaktewater in open water knopen.

1.3

Wijziging van de doelstelling tijdens het project

In de loop van het project is de doelstelling voor het RR-lumped concept aangepast, omdat het Ernst-concept relatief veel inspanning vroeg, het Walrus neerslag-afvoerconcept nog niet in de modelgenerator D-HyDAMO was opgenomen en omdat is ingeschat dat de meerwaarde van het daarnaast toepassen van Walrus beperkt is. Het Ernst- en het Walrus neerslag-afvoerconcept zijn in grote lijnen goed vergelijkbaar. Daarom is in het onderzoek geen neerslag-afvoermodel met Walrus opgezet. Bij het beantwoorden van de onderzoeksvragen (paragraaf 1.4) is op basis van een expertoordeel wel aangegeven op welke specifieke punten Walrus een beter of minder goed alternatief zou zijn.

Het WFLOW-SBM concept is in vergelijking met het Ernst-concept minder diepgaand uitgewerkt in dit rapport. Achtergrond hiervan is dat er minder ervaring met dit concept is voor toepassingen in Nederland en de modelparameters bijvoorbeeld op dit moment alleen beschikbaar zijn voor grootschalige internationale modellen met een internationale landgebruik classificering die niet eenduidig past op de Nederlandse langgebruiken. Daarnaast is de modelcode recent gewijzigd van PC-raster naar Julia en er waren nog geen hulpmiddelen voorhanden om een schematisatie in Julia op te zetten. De schematisatie is daarom opgebouwd in de PC-raster versie van WFLOW-SBM.

1.4

Onderzoeksvragen

Het waterschap heeft de volgende onderzoeksvragen die ze in het onderzoek beantwoord wil hebben:

1. Wat is de geschiktheid van de modelconcepten voor Noord- en Midden-Limburg voor zowel zeer natte, als gewone en droge situaties?
2. Zijn de modelconcepten goed te koppelen aan andere modelconcepten?
3. Hoe goed laat het model zich kalibreren?
4. Zijn de modelconcepten geschikt om hoogwaterstatistiek te bepalen met de stochastenmethode en tijdreeksmethode?
5. Welke data, software en hardware zijn nodig om een model te bouwen en te simuleren?
6. Nemen de concepten de fysische processen in het grondwater voldoende nauwkeurig mee en wanneer is dit relevant?

1.5

Colofon

Dit rapport is een coproductie van Waterschap Limburg en HKV. Waterschap Limburg heeft de bouw van het oppervlaktewatermodel (hoofdstuk 2) geschreven en heeft de overige hoofdstukken becommentarieerd. HKV heeft de andere hoofdstukken geschreven en de eindredactie van het rapport verzorgd.

1.6

Leeswijzer

Hoofdstuk 1 presenteert de aanleiding voor het project, de doelstellingen en de onderzoeksvragen.

Hoofdstuk 2 beschrijft de bouw van het oppervlaktewatermodel inclusief de schematisatie van het maaiveld waarover het water kan stromen in extreme omstandigheden, het zogenaamde 1D2D-model.

Hoofdstuk 3 beschrijft de bouw van het neerslag-afvoermodeel met het Ernstconcept gekoppeld aan het 1D2D-model, het zogenaamde 1D2D-RR model. De beschrijving is in chronologische volgorde, zoals de modelbouw en bijbehorende analyses zijn uitgevoerd. Het hoofdstuk is hierdoor omvangrijk en heeft het karakter van een logboek.

Hoofdstuk 4 beschrijft de bouw van het WFLOW-SBM model.

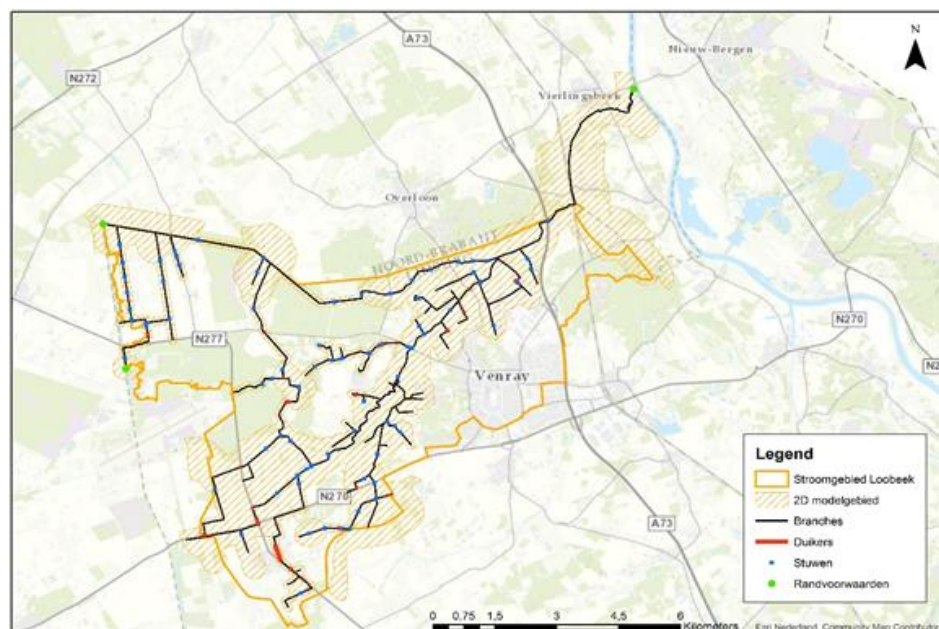
Hoofdstuk 5 geeft advies op basis van het uitgevoerde onderzoek door beantwoording van de onderzoeksvragen en via aanbevelingen.

2 Bouw 1D2D-model

2.1 Inleiding

Het 1D2D-model is opgezet binnen D-HYDRO met behulp van D-HyDAMO. In dit hoofdstuk zijn de gegevens die voor de modelopbouw en schematisatie zijn gebruikt beschreven. Het stroomgebied van de Loobek is qua omvang geschematiseerd zoals weergegeven in figuur 1. Dit is gebaseerd op het stroomgebied van de Loobek en de grens van het beheergebied van het waterschap Limburg. Het gebied omvat het Afleidingskanaal en de gehele Loobek met zijtakken tot aan de Maas. De waterlopen en kunstwerken die in de figuur zijn weergegeven zijn geschematiseerd in het 1D-model van D-HYDRO.

*Figuur 1
Modelgebied van de
Loobek*



Het overstroombare maaiveld naast deze waterlopen is geschematiseerd in het 2D-model van D-HYDRO. Dit 2D-model is oranje gearceerd weergegeven in de figuur. Het 2D-model is zo klein mogelijk gehouden om rekentijd te beperken. Om ervoor te zorgen dat het 2D-model wel groot genoeg is om de door D-HYDRO gesimuleerde inundaties te omvatten, is gebruikt gemaakt van eerder gemaakte simulaties en zijn de volgende buffergebieden gecombineerd:

- Het berekende T1000 inundatiegebied afkomstig van project Waterpanel Noord. Dit komt overeen met het gebied dat overstroomt bij een 3.5 x maatgevende afvoer in de winter. Hieromheen is een buffer van 500 m getrokken.
- Het berekende inundatiegebied van het hoogwater van 2016, zoals berekend met SOBEK2, met daaromheen een buffer van 250 m.

- Een buffer van 100 m rondom de geschematiseerde watergangen, zodat inundatie langs de beek altijd mogelijk is.

2.2 1D-model

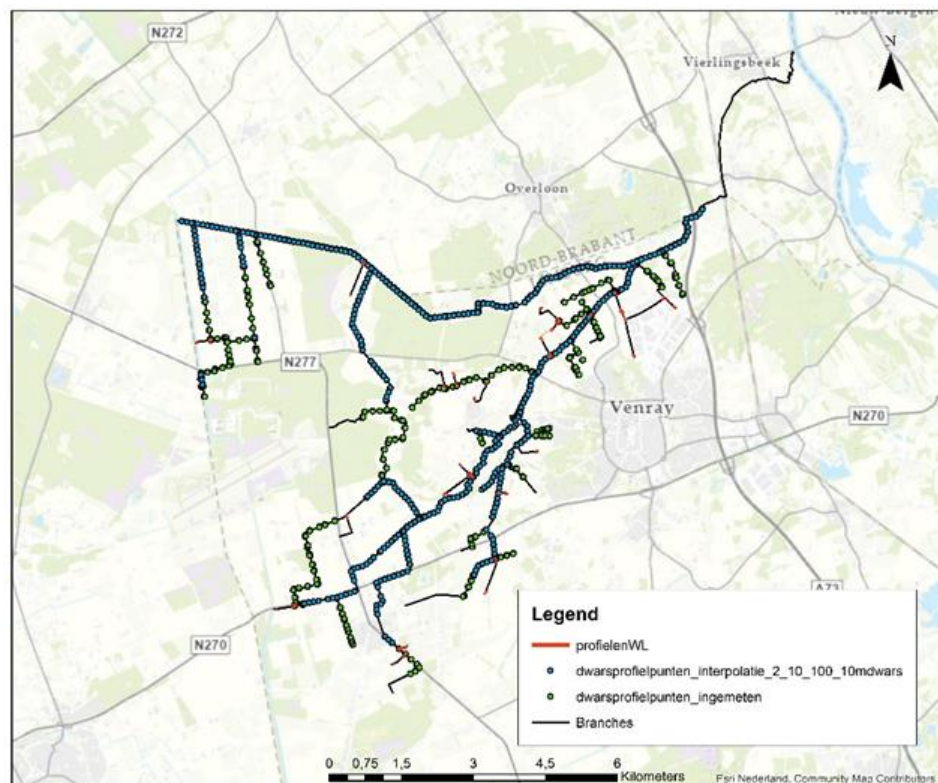
2.2.1 Watergangen

De watergangen die zijn gebruikt betreffen de primaire en secundaire watergangen van het waterschap zoals aanwezig in de kernregistratie. Naast deze watergangen zijn ook alle tertiaire watergangen meegenomen in het model. De watergangen zijn omgezet naar HyDAMO format met een FME-script.

2.2.2 Dwarsprofielen

Figuur 2 geeft de locaties weer waar dwarsprofielen zijn geschematiseerd.

*Figuur 2
Typen
dwarsprofielen in het
1D-model*



In het model zijn 3 soorten dwarsprofielen gebruikt:

- **Ingemeten dwarsprofielen** (groene punten): deze profielen zijn met een aantal punten ingemeten over de breedte van de watergang. Voornamelijk secundaire watergangen hebben deze profielen.
- **Geïnterpoleerde profielen** (blauwe punten): deze profielen zijn geïnterpoleerd over de breedte vanuit gemeten lengteprofielen van de watergangen op verschillende dieptes in de watergang. Het grootste deel van de Loobek en het afleidingskanaal heeft deze profielen.

- **Profielen uit AHN3 (rode lijnen):** Voor de watergangen zonder profielen zoals de tertiaire watergangen zijn profielen van het AHN uitgelezen. De breedte van de profielen is bepaald op basis van het watervlak in de BGT_waterdeel. In de nodata cellen van de AHN3 (water) is een standaard diepte van 0.2 m onder het laagste punt van het wel nog beschikbare terrein gebruikt. De profielen zijn gegenereerd op 30 m van de uiteinden van de watergangen en aan weerszijden van duikers. Bij duikers is de binnen onderkant gebruikt voor het laagste punt van het profiel.

De ruwheden van de profielen zijn overgenomen uit het SOBEK2-model van hoogwater 2016. Hierbij is de ruwheid van nog niet gemaakte sloten overgenomen (n_begin).

2.2.3

Duikers

De duikers zijn uit de kernregistratie overgenomen en omgezet naar HyDAMO. Binnen het model zijn alle bruggen ook als duiker meegenomen. Voor de binnen onderkant buis (BOB) boven en benedenstrooms van de duikers zijn, waar de data mist, handmatig gegevens overgenomen uit de gemeten lengteprofielen van de waterlopen en van de AHN3.

2.2.4

Stuwen

De stuwen in het model zijn uit kernregistratie gehaald en omgezet naar HyDAMO. Als kruinhoogte is in eerste instantie de drempelhoogte van de stuw gebruikt, en later zijn de stuwstanden van de stuwen uit het SOBEK2-model voor hoogwater 2016 gehaald. De stuw met de code S_97681 is uit het model gehaald vanwege een error in D-HYDRO die niet tijdig in het project kon worden opgelost.

Bodemvallen met een val van meer dan 20 cm zijn overgenomen in het model als stuwen. De laagste stuwhoogte is bepaald op het bovenste niveau van de bodemval.

De stuw De Smakt is een automatische stuw. De stuwstanden van 2016 tot 2020 zijn als tijdreeks aan het model toegevoegd. Later zijn de stuwstanden van de handmatig bediende stuwen uit FEWS omgezet naar tijdseries en zijn deze ook opgenomen in het model voor de hoogwaterberekening (28-5-2016 tot 6-6-2016). Dit is gedaan binnen een python script van de modelopzet en staat in het blokje: Handmatig bediende stuwen. Het script verwijst naar twee Excel bestanden. De eerste Excel bevat een lijst welke stuwen een tijdreeks moeten krijgen voor hun stuwhoogte (\\Data\\dynamisch\\handmatige_stuwen\\stuw_KR_Loobeek.xlsx). Het tweede bestand bevat de tijdreeksen van de kruinhoogte in m + NAP. Deze zijn uit FEWS gekopieerd als uurwaarden. Er is een bestand beschikbaar met de data vanaf 1-1-2014 0:00 en een bestand met data vanaf 28-5-2016. Omdat er vaak geen data beschikbaar is van vóór 2015 moesten de

tijdreeksen vanaf 1-1-2014 tot aan de eerste waarde aangevuld worden met de eerstvolgende record. Aan het eind van de tijdreeks moest de laatste waarde worden doorgetrokken.

2.2.5

Randvoorwaarden

Binnen het model zijn 3 randvoorwaarden toegepast:

- De aanvoer vanuit het Peelkanaal naar het Afleidingskanaal. Deze debietreeks is aanwezig van 2014 tot 2020 en is slechts een indicatie van de hoeveelheid water doordat de meetreeks niet geheel betrouwbaar is.
- Aanvoer vanuit Peelkanaal, Aanvoerleiding Vredepeel. Hier is een vast debiet van 0.125 m³/s op gezet aangezien hier geen meetreeks beschikbaar is.
- Benedenstroomse waterstand van de Maas is gezet op NAP+11 m. Dit is de gemiddelde maaswaterstand van de Maas op het meetpunt Sambeek boven over de periode van 2010-2020. Dit punt ligt benedenstrooms van de monding van de Loobeek.

2.3

2D-model

2.3.1

2D-rooster met verfijning

Om geen overlap tussen het 1D- en 2D-model te krijgen, zijn de watergangen uit het 2D-modelgebied geknipt. Hiertoe zijn het BGT_waterdeel en BGT_overig_waterdeel samengevoegd met daaromheen een buffer van 1 meter breed. Dit is uit het 2D-modelgebied geknipt. Daarnaast zijn de profielen op deze shape afgeknipt, zodat profielpunten buiten dit gebied niet meegenomen worden in het 1D-model. Het 2D-rooster heeft een initiële grootte van 10 bij 10 meter. Het model is daarnaast verfijnd rond de watergangen naar een resolutie van 5 x 5 meter in een gebied van 10 meter rond de watergangen.

2.3.2

Terreinhoogte

De terreinhoogte is overgenomen uit het AHN3. Hiervoor is het AHN3 DTM met een resolutie van 0.5 x 0.5 m gebruikt. De benodigde tegels van de AHN3 zijn samengevoegd en uitgeknipt op de extent van het model. De nodata waarden in het AHN3 zijn opgevuld door interpolatie vanaf de randen rondom de nodata gebieden. Vervolgens is de terreinhoogte met 3 m verhoogd ter plaatse van gebouwen (BAG).

2.3.3

Terreinruwheid

De terreinruwheid is bepaald op basis van de BGT en de BAG. Aan elke type grondgebruik is een Nikuradse waarde toegewezen. De wijze van omzetting is beschreven in bijlage B.

3 Bouw RR-model Ernst

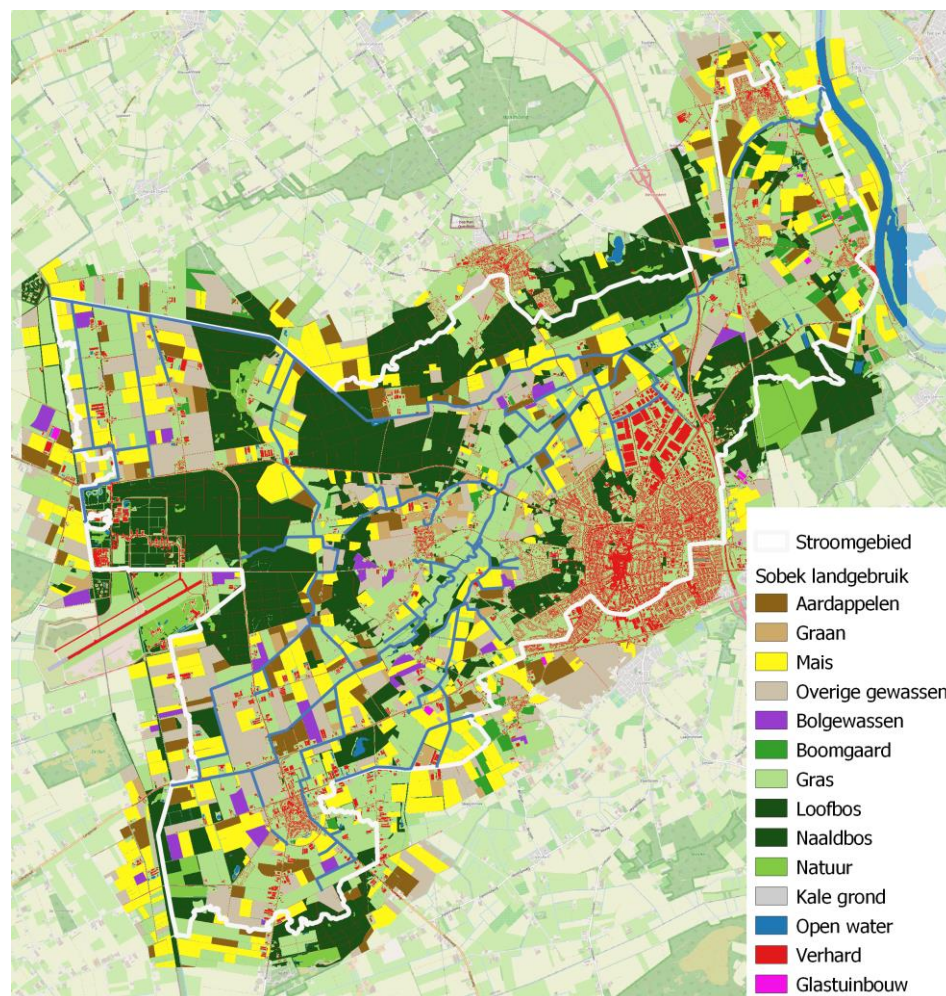
3.1 Inleiding

Het Ernst neerslag-afvoermodel is opgezet met D-HyDAMO. In dit hoofdstuk beschrijven we de basisgegevens die we daarvoor hebben gebruikt, de schematisatie van de diverse typen RR knopen en de kalibratie van het model.

3.2 Landgebruik en typen RR-knopen

Het grondgebruik hebben we opgezet op basis van de Basisregistratie Grootchalige Topografie (BGT¹), de Basisregistratie Percelen (BRP) en de TOP10. De geautomatiseerde omzetting van bovenstaande grondgebruiken naar SOBEK2 grondgebruiken is beschreven in bijlage A en het resultaat is weergegeven in Figuur 3.

Figuur 3
SOBEK-
landgebruiken



¹ Geometrieën in transitie zijn niet meegenomen.

Tabel 1 laat zien hoe de landgebruiken over de vier typen RR-knopen zijn verdeeld. De volgende paragrafen beschrijven hoe de parameters van de knopen zijn ingevuld.

*Tabel 1
Landgebruik en
verdeling over RR-
knopen*

Id	Landgebruik	Type RR knoop			
		Onverhard (unpaved)	Verhard (paved)	Glastuinbouw (Greenhouse)	Open water
1	Aardappelen	X			
2	Graan	X			
3	Suikerbiet	X			
4	Maïs	X			
5	Overige gewassen	X			
6	Bolgewassen	X			
7	Boomgaard	X			
8	Gras	X			
9	Loofbos	X			
10	Naaldbos	X			
11	Natuur	X			
12	Kale grond	X			
13	Open water				X
14	Verhard		X		
15	Kassen			X	

3.3 Onverhard gebied

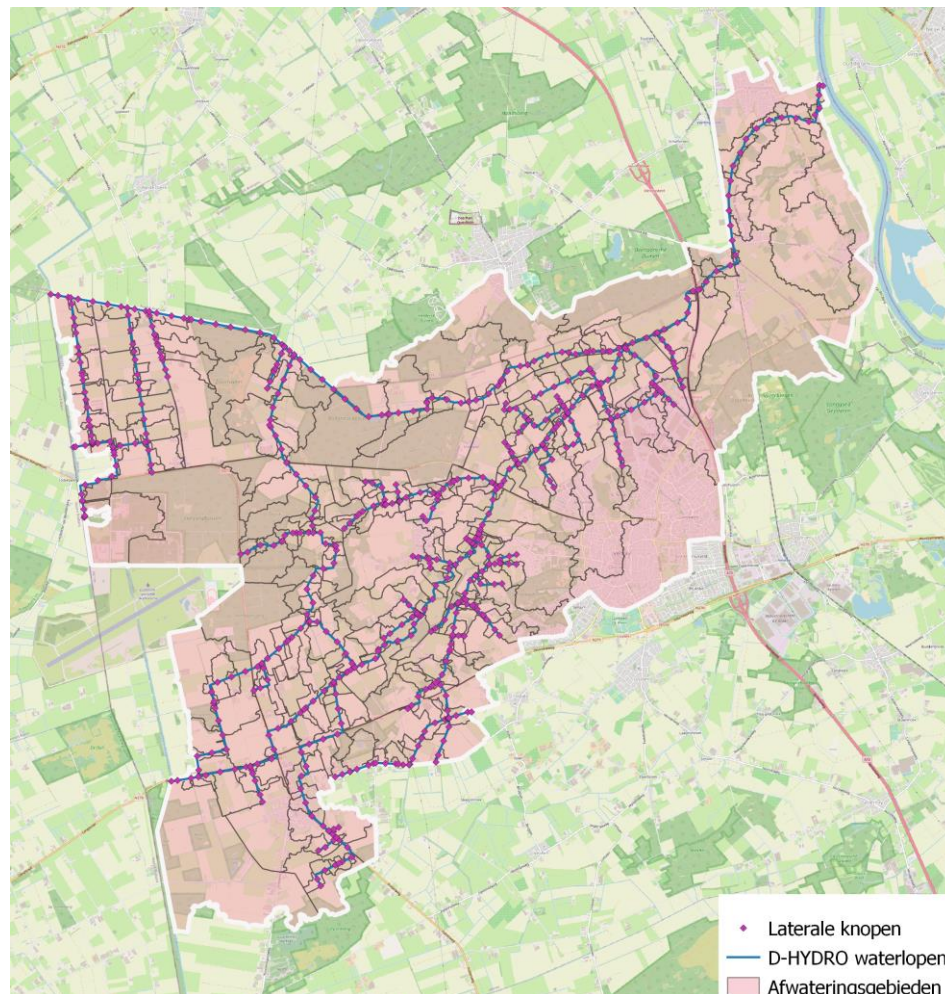
Het onverharde gebied is geschematiseerd op het niveau van afwateringsgebieden. Het waterschap heeft een afwateringsgebiedenkaart (Figuur 4) gemaakt met orde 550 afwateringsgebieden, waarbij ervoor is gezorgd dat:

- afwateringsbieden als geheel bovenstrooms van stuwen afwateren;
- de uiteinden van alle bovenstroomse waterlopen een afwateringsgebied hebben, om problemen met droogval te voorkomen;
- alle waterlopen ongeveer elke 250 m een instroompunt van een afwateringsgebied hebben.

Binnen deze gebieden is met D-HyDAMO de verdeling van de landgebruiken uit Tabel 1 bepaald. Met D-HyDAMO is ook het overwegende bodemtype bepaald uit de BOFEK2012. De PAWN-codes uit de BOFEK2012 komen exact overeen met de bodemtype codering in D-HYDRO. Uitzondering daarop zijn de BOFEK 2012 typeringen voor water en stedelijk. Die zijn respectievelijk omgezet naar bodemtype lichte klei en podzol (grof zand). De resulterende

bodemkaart is weergegeven in Figuur 5. De gemiddelde maaiveldhoogte is bepaald uit het AHN3.

Figuur 4
Afwateringsgebieden

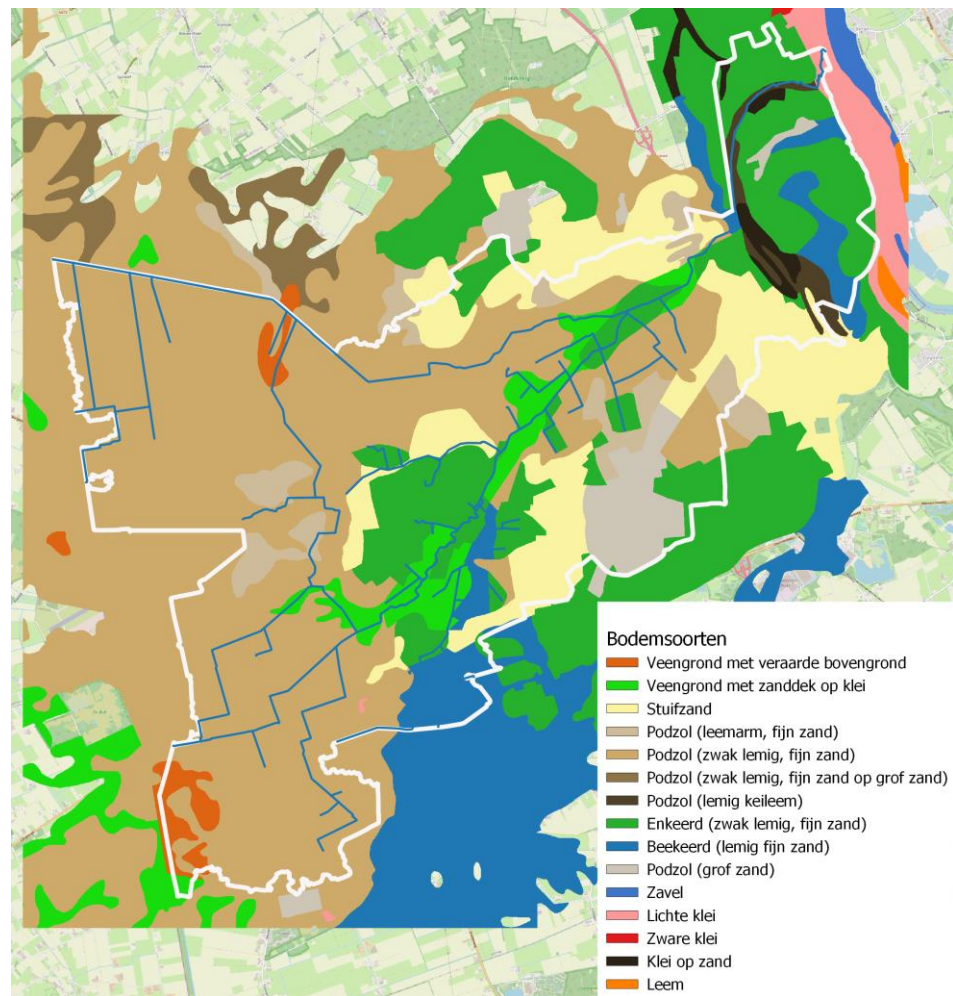


Daarnaast zijn de volgende waarden voor de overige parameters aangehouden:

- Maaiveldberging = 5 mm
- Infiltratiecapaciteit = 1000 mm/dag (zeer grote waarde, nagenoeg niet beperkend t.o.v. de neerslagintensiteit)
- Initiële grondwaterstand = Opgelegd als raster op basis van eerdere D-HYDRO simulatie met RR
- Oppervlakkige afstromingsweerstand = 1 dag
- Infiltratieweerstand = 300 dagen
- Drainagedieptes = [0.0, 0.25 ,1.0, 2.0] m
- Drainageweerstand = [5 ,150 ,300 ,10000] dag
- Kwel/wegzijging = 0 mm/dag

De kwel of wegzijging is in eerste instantie verwaarloosd. Tijdens de kalibratie is onderzocht of deze fluxen dynamisch in de tijd moeten worden opgelegd. Hiervoor zijn rekenresultaten uit het SIMGRO7 model van de Loobek gebruikt.

Figuur 5
Bodemkaart



3.4 Verhard gebied en rioolwaterzuiveringen

In eerste instantie is al het verhard gebied eenvoudig geschematiseerd via de afwateringsgebieden en lozing van de overstorten op dezelfde locatie als de afwateringsgebieden. Hierbij zijn de volgende eigenschappen van de riolering gebruikt:

- Berging op straat = 5 mm
- Berging in het rioolstelsel = 0 mm
- Pompoevercapaciteit = 0 mm/uur

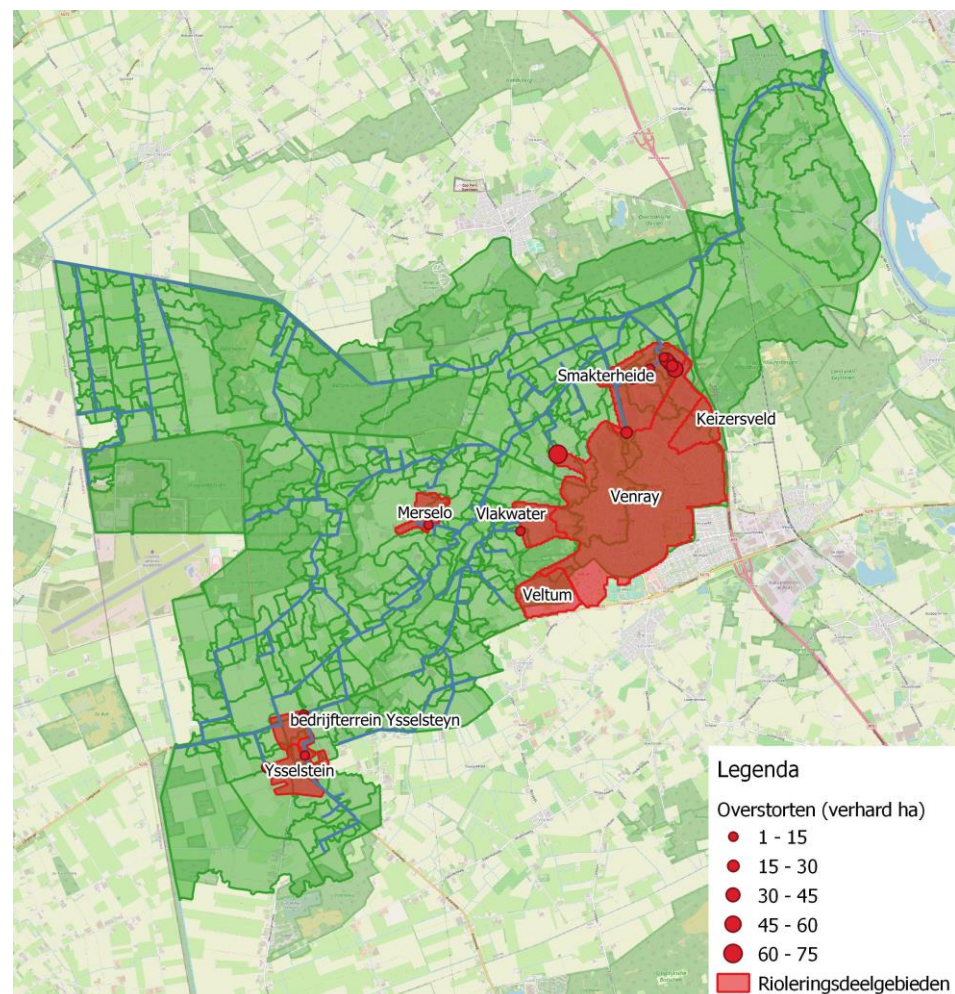
Tijdens het project kwam informatie beschikbaar over de rioleringsgebieden en bijbehorende overstorten. De rioleringsdeelgebieden en overstorten zijn weergegeven in Figuur 6. De locaties van de overstorten zijn in een aantal gevallen wat verschoven om aan te sluiten op de geschematiseerde waterlopen. Er zijn twee bijzonderheden:

1. Rioleringsgebied Veltum heeft een overstort buiten en modelgebied;
2. Rioleringsgebied Venray beslaat een groter gebied dan de afwateringsgebieden.

We behouden rioleringsgebied Veltum als invoer voor de modelconverter en nemen de overstort niet mee in de modelconverter. Dit heeft als gevolg dat het verharde gebied in de afwateringsgebieden binnen het rioleringsgebied niet wordt geschematiseerd in het model en het onverharde gebied wel. Dat is precies zoals we dat willen.

Doordat rioleringsgebied Venray groter is dan de afwateringsgebieden wordt het verharde oppervlak binnen het rioleringsgebied maar buiten de afwateringsgebieden niet geschematiseerd. Dat is niet zoals we dat zouden willen. De modelconverter zal hierop worden aangepast, maar voor nu hebben we dit oppervlak handmatig aan de schematisatie toegevoegd.

Figuur 6
Rioleringsgebieden
en overstorten



3.5 Glastuinbouwgebied

Het glastuinbouwgebied is geschematiseerd met een greenhouse knoop per afwateringsgebied, als dit landgebruik in het afwateringsgebied voorkomt. Hierbij is een berging op het dak van 1 mm gebruikt.

3.6

Meteobelasting

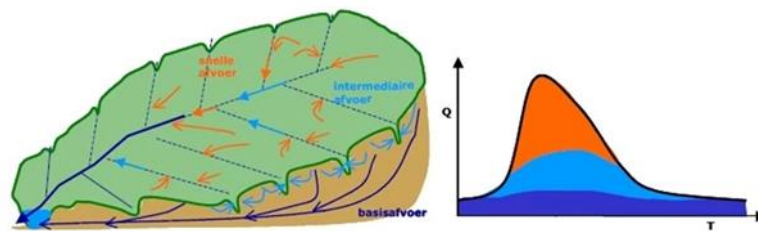
In het project zijn twee typen meteobelasting gebruikt. In eerste instantie is gebruik gemaakt van de uurneerslag van station Arcen en van de dagelijkse verdamping van dit station. De neerslag en verdamping zijn in rasters omgezet en voor elk afwateringsgebied (en de knopen daarin) is hetzelfde station gebruikt en is de neerslag en verdamping dus gelijk. Later in het project (in de rapportage vanaf paragraaf 0) is gebruik gemaakt van de neerslagrasters van Meteobase met een tijdsresolutie van 1 uur, omdat de neerslag hiermee ruimtelijk nauwkeuriger kan worden opgelegd.

3.7

Kalibratie van de basisafvoer en intermediaire afvoer

We kalibreren het model eerst langjarig op de basisafvoer en de intermediaire afvoer. Dat zijn respectievelijk de donkerblauwe en lichtblauwe componenten van de afvoergolf zoals gepresenteerd in Figuur 7. We kunnen met de huidige versie van D-HYDRO (DIMR) standaard alleen een online gekoppelde simulatie maken van RR met 1D of 1D2D. We gebruiken een globale schematisatie van het stromingsmodel zonder 2D rooster, met een grove 1D resolutie (150 m) en een Courantgetal van 5, zodat de reketijden beperkt blijven tot orde 5 uur en we voldoende simulaties kunnen maken.

*Figuur 7
Onderdelen van een
afvoergolf.*



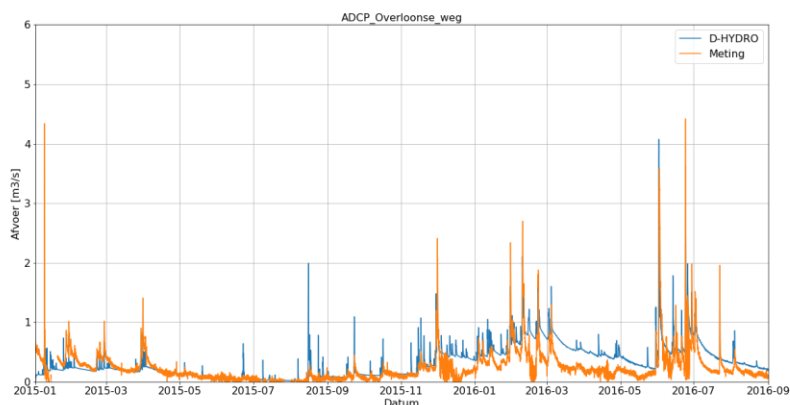
3.7.1

Geen gw-fluxen, 1DRR-model zonder stuwen en verhard simpel

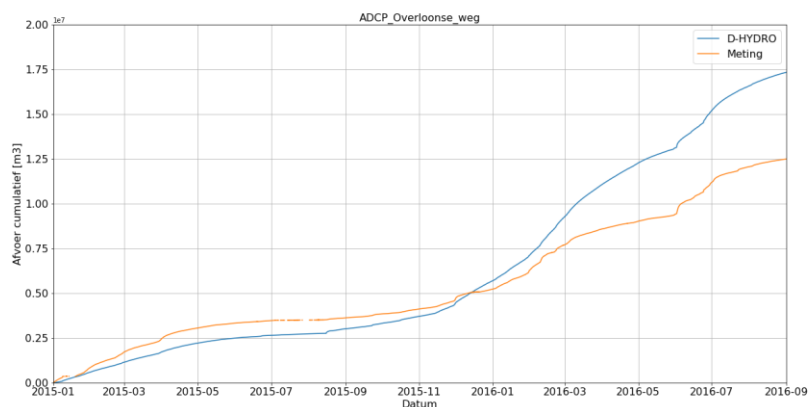
Het eerste model dat we evalueren is een model zonder stuwen, zonder grondwaterfluxen voor het onverharde gebied en met het verharde gebied simpel geschematiseerd zonder realistische overstorten. De stuwen waren op het moment van deze berekening nog niet beschikbaar in het model. We moeten er dus rekening mee houden dat de oppervlaktewaterstanden te laag kunnen zijn zowel in droge als in natte situaties.

Figuur 8 tot en met Figuur 9 geven de gesimuleerde afvoeren weer naast de gemeten afvoeren voor ADCP Overloonseweg voor de periode januari 2015 tot en met september 2016. Figuur 8 geeft de momentane afvoeren weer en Figuur 9 geeft voor diezelfde periode de cumulatieve afvoeren weer.

*Figuur 8
Afvoer bij ADCP
Overloonseweg*



*Figuur 9
Cumulatieve afvoer
bij ADCP
Overloonseweg*

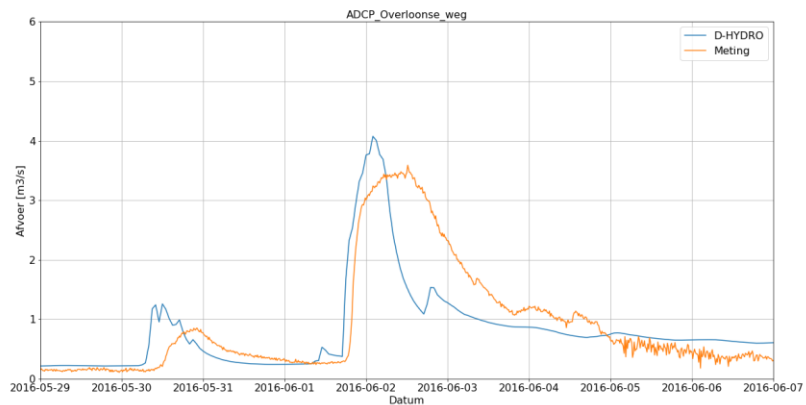


Gezien dat het model nog geen stuwen bevat, de grondwaterfluxen nog niet zijn afgeregeld en ook de drainagewaarden niet, is de modelprestatie nog helemaal niet zo slecht. We zien dat het model initieel iets te droog start, waardoor de gesimuleerde afvoeren te laag zijn. Dat wordt veroorzaakt door de keuze van de beginvoorwaarde. Daarnaast zien we dat de afvoer in het model op een te hoog bereik blijft hangen na een droge periode die wordt opgevolgd door een periode met neerslag. Dat betekent dat drainagewaarden van de diepere bodemlagen te klein zijn en er dus te weinig water wordt vastgehouden.

We zien in de figuur ook dat de gesimuleerde afvoer af en toe wat te veel piekt, zoals bijvoorbeeld in augustus 2015. Deze afvoer komt grotendeels uit verhard gebied dat nog niet nauwkeurig is geschematiseerd en gekalibreerd. Het verharde gebied voegen we later toe en zullen daarbij naar verwachting de parameters van de afstroming nog moeten afregelen.

Figuur 10 presenteert voor het hoogwater van juni 2016 de gemeten en gesimuleerde afvoeren. We zien dat er nog onvoldoende demping en vertraging in het model optreedt. Daar doen we op dit moment nog niets mee, omdat de we eerst het effect van de stuwen en de 2D modellering willen zien.

*Figuur 10
Afvoer bij ADCP
Overloonseweg voor
hoogwater juni 2016*



3.7.2

Aanpassing drainagewaarden van diepe ontwatering

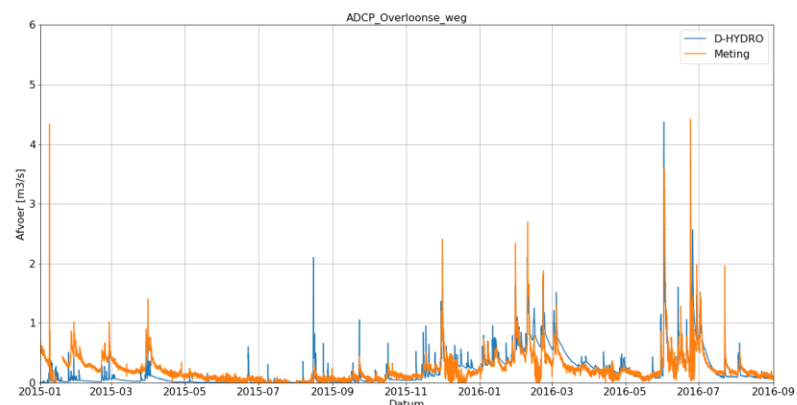
Zoals in de vorige paragraaf aangegeven houden de diepe drainagelagen het water nog onvoldoende vast. Om dit water in de bodem vast te houden is een nieuwe simulatie gemaakt met de volgende drainagewaarden (gewijzigde waarde in het groen):

- Drainagedieptes = [0.0, 0.25 ,1.0, 2.0] m
- Drainageweerstand = [5 ,150, **10000**, 10000] /dag

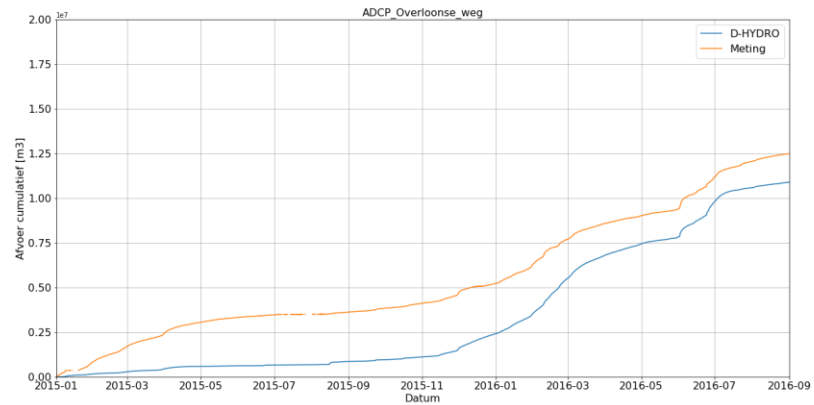
We zien in Figuur 11 dat de afvoer begin 2016 met de aangepaste drainageweerstand beter wordt beschreven. Ook de cumulatieve afvoer in 2016 (Figuur 12) wordt een stuk beter beschreven. Het model start alleen nog wel veel te droog doordat de initiële grondwaterstanden naar verwachting te laag zijn gekozen.

We hebben de simulatie daarom een jaar eerder gestart in januari 2014. Figuur 13 en Figuur 14 laten zien dat het model de metingen met deze aanpassing redelijk goed benadert begin 2015. Maar we zien ook dat de hellingshoek van de gesimuleerde cumulatieve afvoer (Figuur 14) voor 2015 en 2016 te groot is.

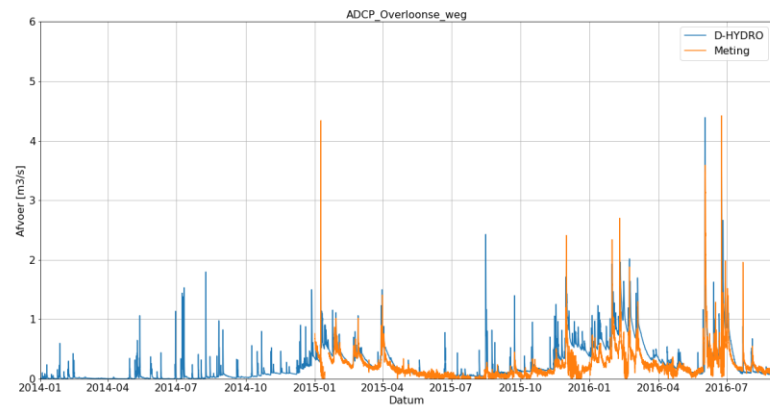
*Figuur 11
Afvoer bij ADCP
Overloonseweg*



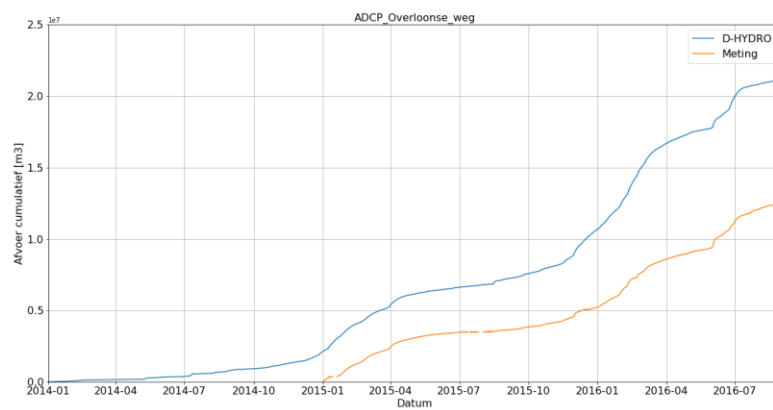
Figuur 12
Cumulatieve afvoer
bij ADCP Overloonse
weg



Figuur 13
Afvoer bij ADCP
Overloonseweg

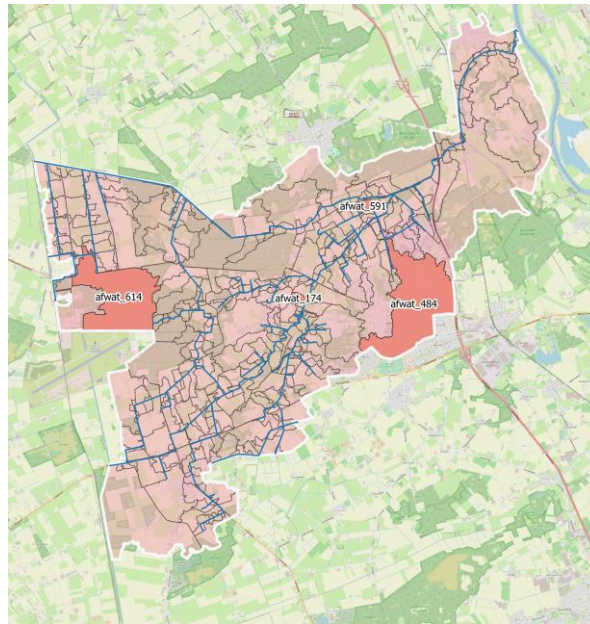


Figuur 14
Cumulatieve afvoer
bij ADCP Overloonse
weg



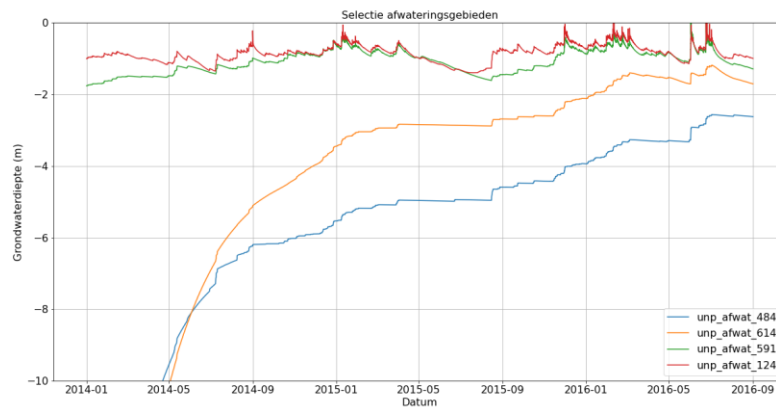
Ter controle van de juistheid van de initiële conditie, hebben we de grondwaterstanden voor vier afwateringsgebieden geverifieerd: twee relatief hooggelegen afwateringsgebieden en twee relatief laag langs de beek gelegen afwateringsgebieden (Figuur 15).

*Figuur 15
Beschouwde
afwateringsgebieden*



Figuur 16 geeft de gesimuleerde grondwaterstanden weer. Het is duidelijk dat de grondwaterstanden in de hooggelegen afwateringsgebieden nog aan het stijgen zijn in 2016 en dat de initiële grondwaterstanden voor deze gebieden nog niet goed zijn gekozen.

*Figuur 16
Gesimuleerde
grondwaterstanden*

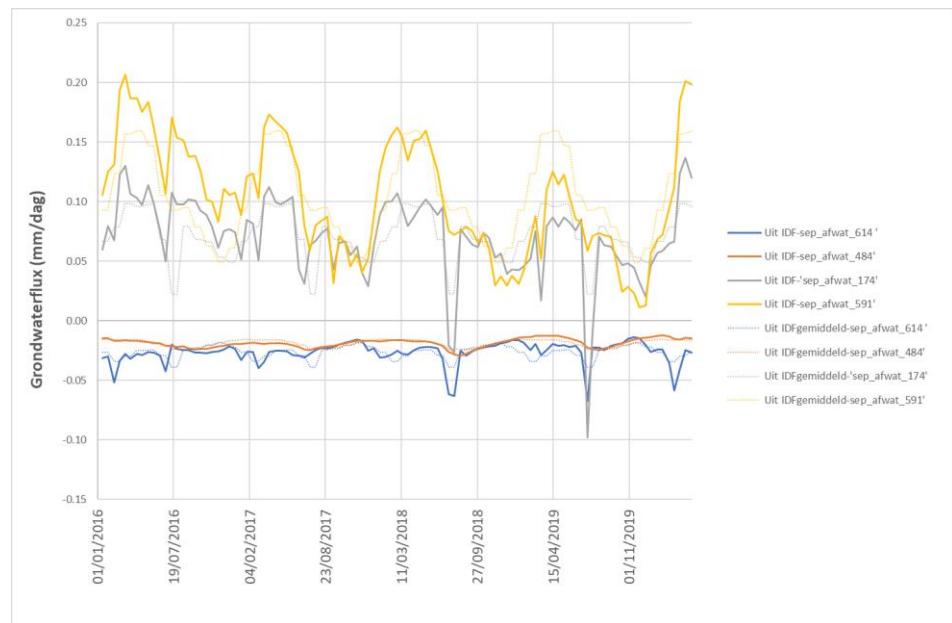


3.7.3

Toevoegen grondwaterfluxen

We zetten de initiële grondwaterstand voor alle afwateringsgebieden initieel 1 m onder het maaiveld om tot een realistischer beginconditie te komen. Daarnaast bleek in de vorige paragraaf dat het verloop van de cumulatieve afvoer te stijl was. Met het aanpassen van de drainageparameters kan de verdamping worden beïnvloed en hiermee ook de jaarlijks afgevoerde hoeveelheden, maar de invloed hiervan zal beperkt zijn. Daarom kalibreren we de cumulatieve afvoer door aanpassing van de grondwaterfluxen. We voegen in deze simulatie de grondwaterfluxen tussen de 2^e en 3^e laag toe uit het SIMGRO7 model van de Loobeek (Figuur 17).

*Figuur 17
Grondwaterfluxen
uit Simgro 7*



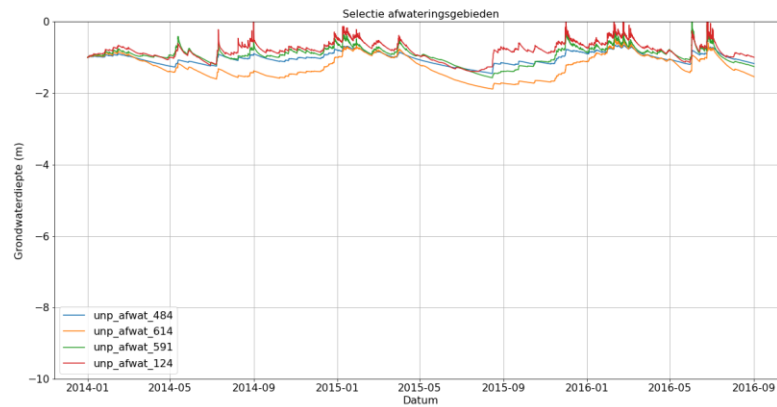
Als we naar de grondwaterfluxen in het SIMGRO7 model van de Loobeeek kijken tussen de 2e en 3e laag, zien we voor een deel van de gebieden een positieve flux (kwel) en voor een deel van de gebieden een negatieve flux (wegzijging). De getrokken lijnen in Figuur 17 geven de waarden uit SIMGRO7 weer voor de afwateringsgebieden uit Figuur 15. De gestippelde lijnen geven de gemiddelde maandwaarden uit SIMGRO7 weer voor die hele periode.

Dat is volgens verwachting. De grote langgerekte en hooggelegen afwateringsgebieden hebben voornamelijk wegzijging en de laaggelegen kleinere afwateringsgebieden langs het beekstelsysteem hebben voornamelijk een kwelbelasting. Met name de gebieden met een kwelbelasting hebben een variabel verloop over de tijd. We gebruiken maandgemiddelde kwel, omdat we hiermee nog relatief onafhankelijk van het grondwatermodel kunnen werken en leggen deze op aan het neerslag-afvoermodel.

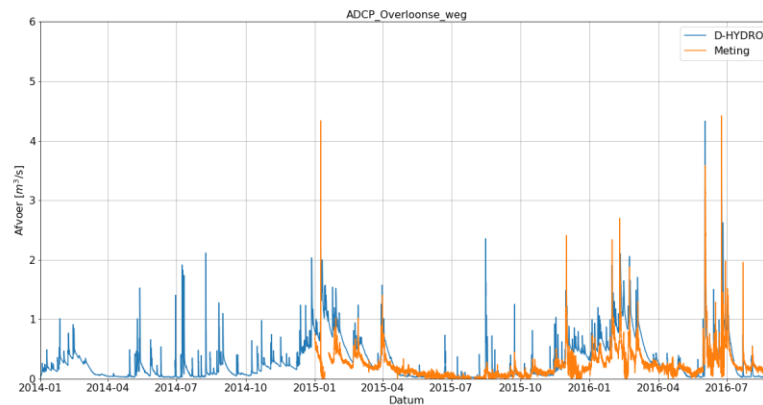
Figuur 18 presenteert het gesimuleerde grondwaterstandsverloop met de aangepaste initiële conditie en de toegevoegde grondwaterfluxen. De grondwaterstand loopt nu niet meer op en blijft redelijk stabiel rondom een bepaald niveau hangen.

Figuur 19 en Figuur 20 laten het afvoerverloop en de cumulatieve afvoer zien. Door de hogere initiële grondwaterstand is de cumulatieve afvoer significant groter en veel te hoog. De totale jaarlijkse afvoer is maar beperkt te beïnvloeden door aanpassing van de drainagewaarden. In de volgende berekeningsslag passen we daarom de grondwaterfluxen aan.

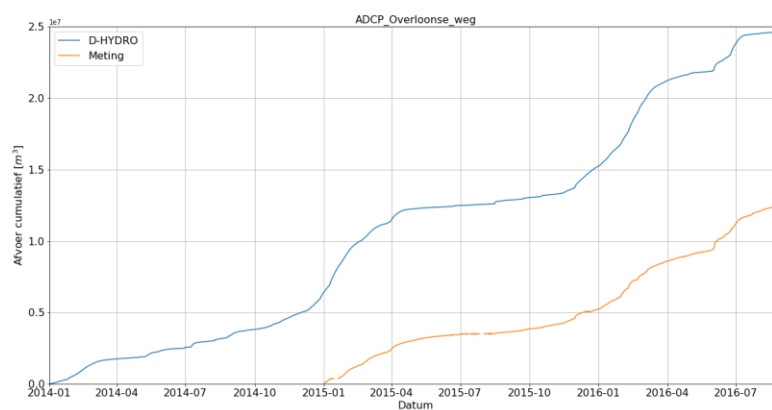
Figuur 18
Gesimuleerde
grondwaterstanden



Figuur 19
Afvoer bij ADCP
Overloonseweg



Figuur 20
Cumulatieve afvoer
bij ADCP Overloonse
weg

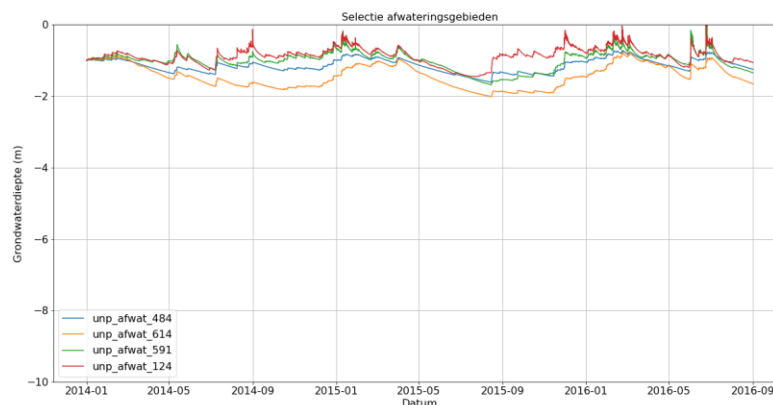


3.7.4

Aanpassen grondwaterflux

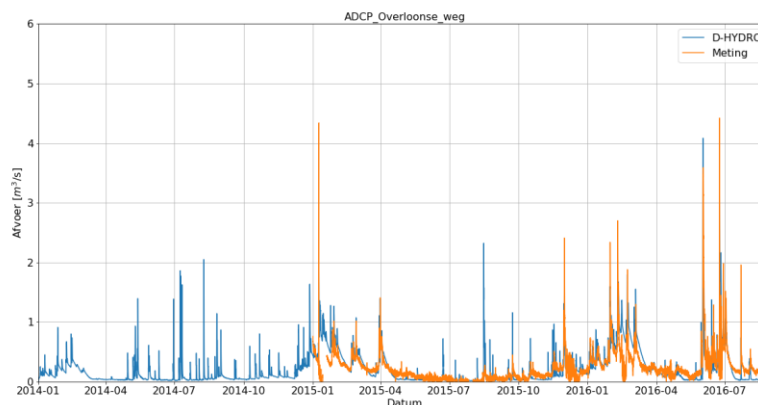
We gebruiken als basis de maandgemiddelde kwel zoals beschreven in paragraaf 3.7.3 en verlagen de grondwaterflux voor alle afwateringsgebieden met 0.3 mm/dag. Figuur 18 laat de resulterende grondwaterstanden zien. Vooral de grondwaterstand van afwateringsgebied afwat_614 daalt.

*Figuur 21
Gesimuleerde
grondwaterstanden*

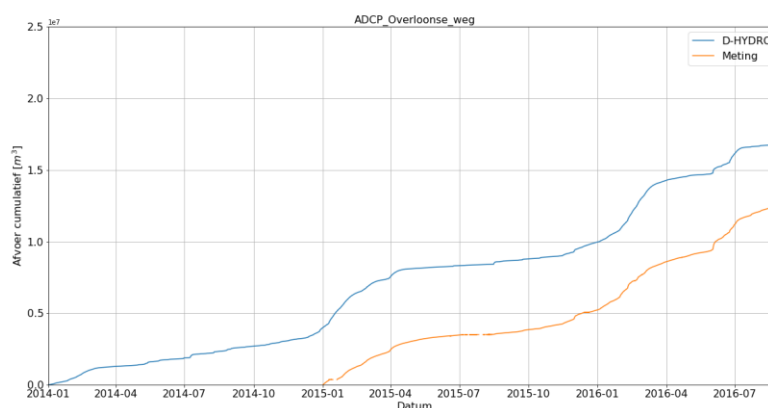


Figuur 22 en Figuur 23 laten het afvoerverloop en de cumulatieve afvoer zien. De gesimuleerde cumulatieve afvoer is nu redelijk vanaf 1/1/2015. Het verloop van de basisafvoer is nog niet helemaal naar wens. Dat wordt wat duidelijker als we naar één jaar kijken, zoals bijvoorbeeld 2016 in Figuur 24. De basisafvoer zakt te ver weg in de simulatie.

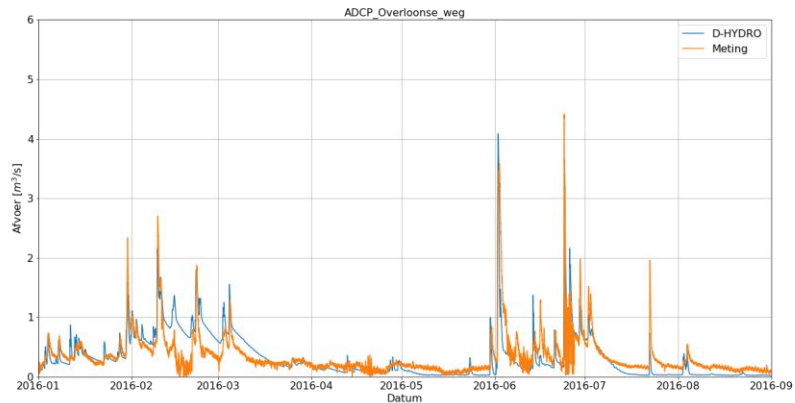
*Figuur 22
Afvoer bij ADCP
Overloonseweg*



*Figuur 23
Cumulatieve afvoer
bij ADCP Overloonse
weg*



*Figuur 24
Afvoer bij ADCP
Overloonseweg voor
2016*

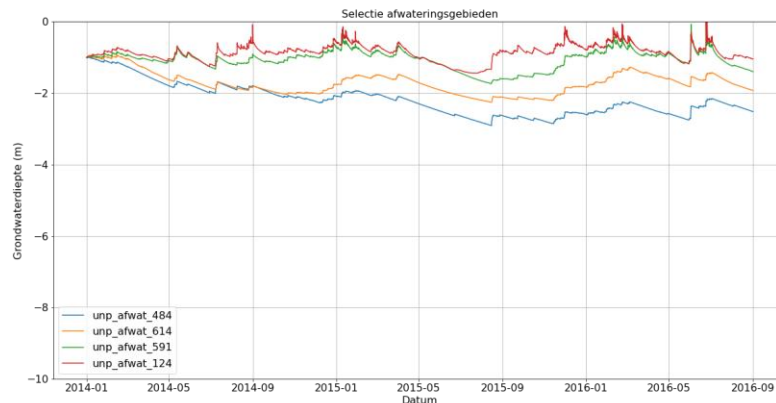


3.7.5

Aanpassen diepe drainage

De basisafvoer wordt grotendeels gegenereerd vanuit de hooggelegen gebieden met relatief diepe grondwaterstanden, zoals afwateringsgebieden afwat_484 en afwat_614. Om de basisafvoer te verhogen is de drainweerstand van de lagen dieper dan 1 m verlaagd van 10000 dagen naar 3000 dagen. Door Figuur 25 te vergelijken met Figuur 21, blijkt dat de grondwaterstanden in de relatief hooggelegen gebieden dalen. Ze komen in de simulatieperiode niet in de bovenste 1 m van de bodem terecht en dragen ook niet meer bij aan piekafvoeren. De initiële grondwaterstanden zijn voor deze hooggelegen gebieden nog wat aan de hoge kant, maar in 2016 zal de invloed hiervan beperkt zijn. In een volgende simulatie zullen we de initiële grondwaterstanden wat verder verlagen.

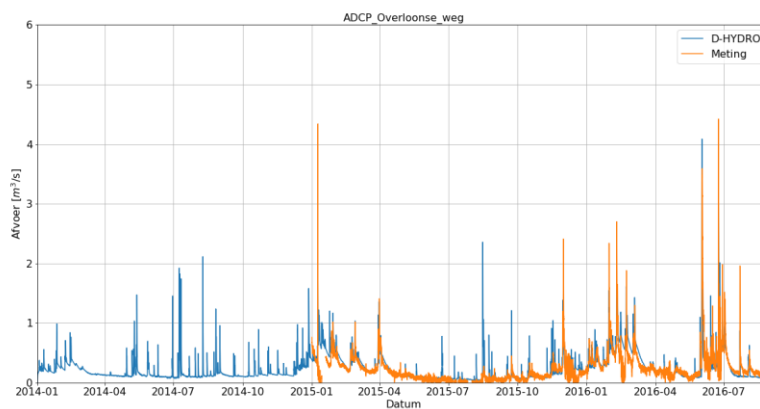
*Figuur 25
Gesimuleerde
grondwaterstanden*



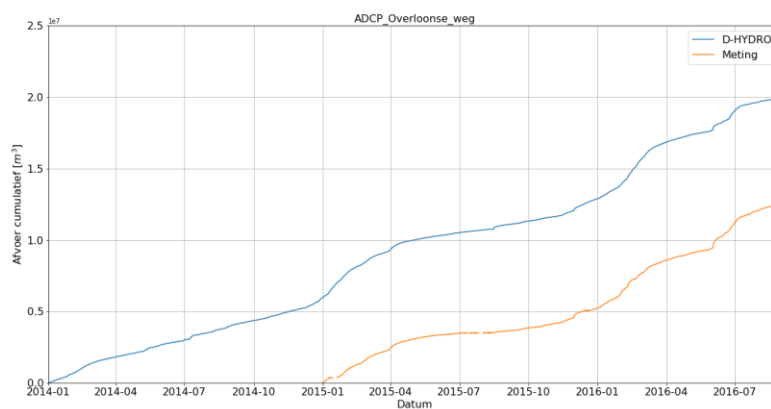
Figuur 26 tot en met Figuur 28 laten zien dat de aanpassing de gesimuleerde basisafvoer verhoogt tot een niveau dat goed past bij de meting. We zien nog wel dat de intermediaire afvoer begin 2016 nog niet goed is en te hoog blijft hangen. Dat zullen we in een van de volgende simulaties verder proberen te verbeteren. Maar in het project kwamen op dit moment de gegevens van stuwen en de inlaat vanuit het Peelkanaal beschikbaar. Deze zijn eerst

toegevoegd. Het toevoegen van stuwen kan met name de intermediaire afvoer nog beïnvloeden. Voor de basisafvoer zal de invloed relatief klein zijn.

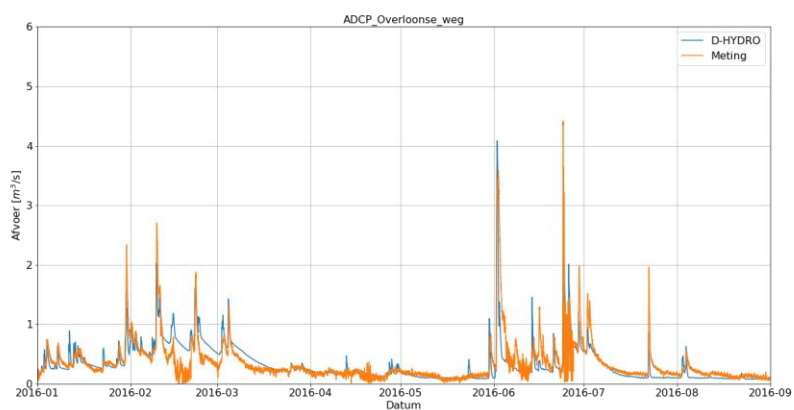
Figuur 26
Afvoer bij ADCP
Overloonseweg



Figuur 27
Cumulatieve afvoer
bij ADCP Overloonse
weg



Figuur 28
Afvoer bij ADCP
Overloonseweg voor
2016



3.7.6

Toevoegen stuwen en inlaat Peelkanaal

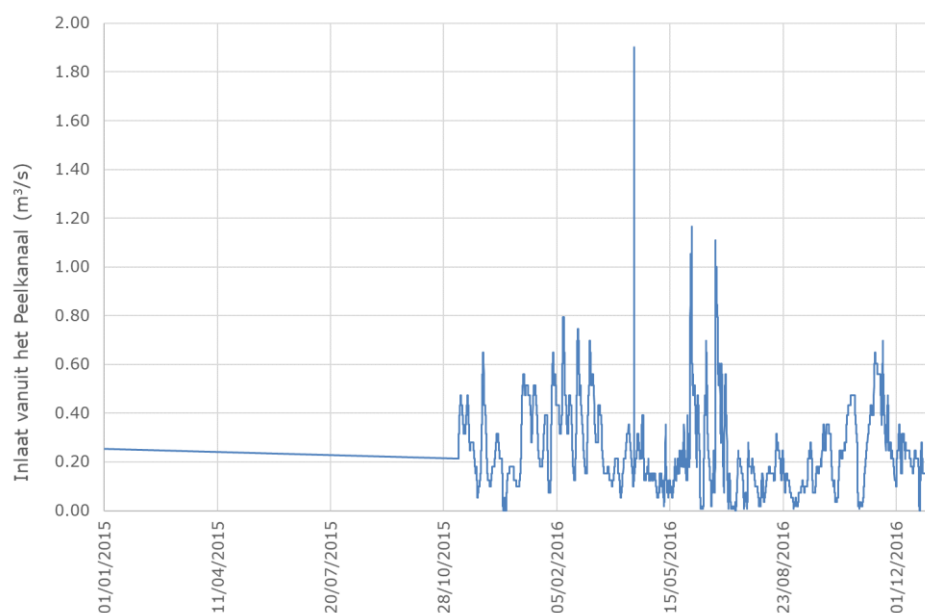
In het model zijn de aanwezige stuwen toegevoegd, waarbij voor stuw de Smakt (S97863) vanaf 14/12/2015 de stuwstanden dynamisch in de tijd zijn opgelegd. Voor de overige stuwen is een constante stuwstand aangehouden. Daarnaast is inlaat vanuit het Peelkanaal naar het Afleidingskanaal aangepast. Deze inlaat was met een standaardwaarde van 0.3 m³/s geschematiseerd. Deze inlaat is vervangen door een tijdreeks vanaf 09/11/2015. Figuur 29 geeft het verloop van de inlaat weer. De afvoer van het Peelkanaal komt benedenstrooms van meetpunt Overloonseweg op de LoobEEK en beïnvloed de afvoer in dit meetpunt dan ook niet, of slechts heel beperkt via stuwkromme effecten.

Daarnaast is ook de initiële grondwaterstand verlaagd van 1 m naar 2 m, zodat we geen invloed meer hebben van een arbitraire keuze van de initiële grondwaterstand. Figuur 30 laat het verloop van de grondwaterstanden zien voor de vier eerder beschouwde gebieden. Op basis van deze figuur concluderen we dat initiële grondwaterstanden voldoende nauwkeurig zijn gekozen om het afvoerverloop over 2016 te beschrijven.

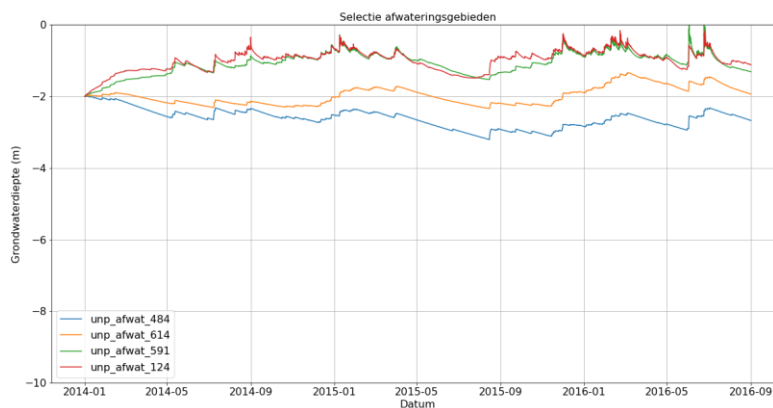
Figuur 31 laat het cumulatieve verloop van de afvoer zien bij meetpunt Overloonseweg. Duidelijk zichtbaar ten opzichte van de voorgaande run (Figuur 27) is dat de cumulatieve afvoer over 2014 daalt. Dit komt naar verwachting door een lager gekozen initiële grondwaterstand. De gesimuleerde cumulatieve afvoer is goed te noemen.

Figuur 32 presenteert het verloop van de afvoer over 2016. Globaal valt op dat de afvoer in de periode februari/maart wat te hoog blijft hangen. Verder zien we dat de basisafvoer eind 2016 wat te laag is.

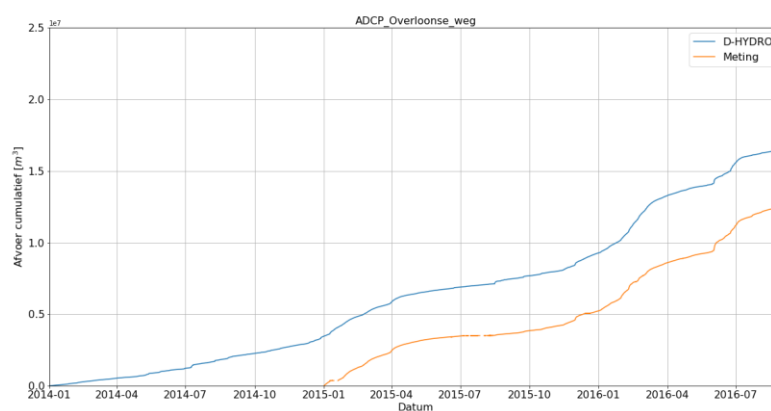
*Figuur 29
Inlaat vanuit het
Peelkanaal*



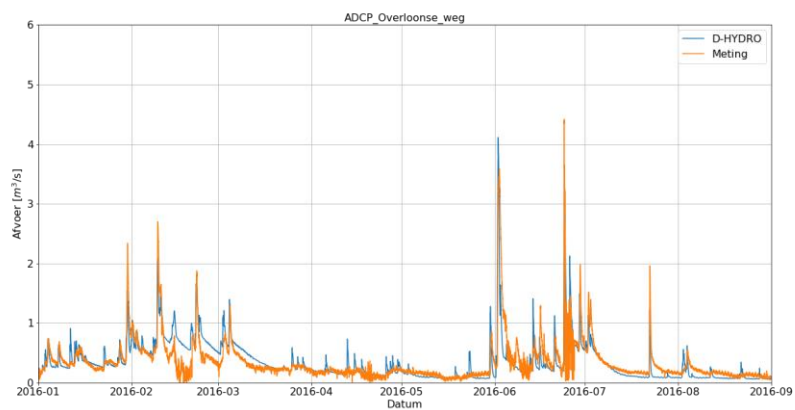
*Figuur 30
Gesimuleerde
grondwaterstanden*



*Figuur 31
Cumulatieve afvoer
bij ADCP Overloonse
weg*



*Figuur 32
Afvoer bij ADCP
Overloonseweg voor
2016*



3.7.7

Ruimtelijk gedifferentieerde drainagewaarden

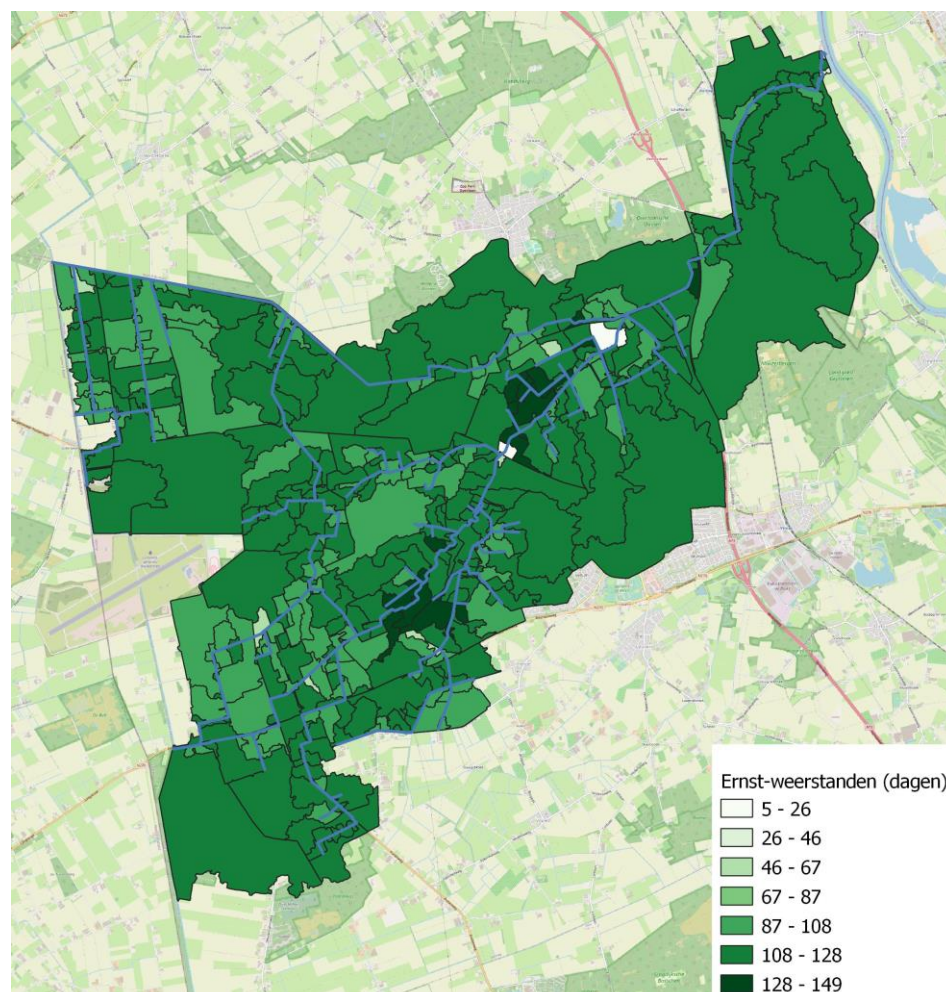
Tot nu toe hebben we gewerkt met de volgende standaard Ernst drainageweerstanden:

- Drainagedieptes = [0.0, 0.25 ,1.0, 2.0] m
- Drainageweerstanden = [5, 150, 3000, 3000] dag

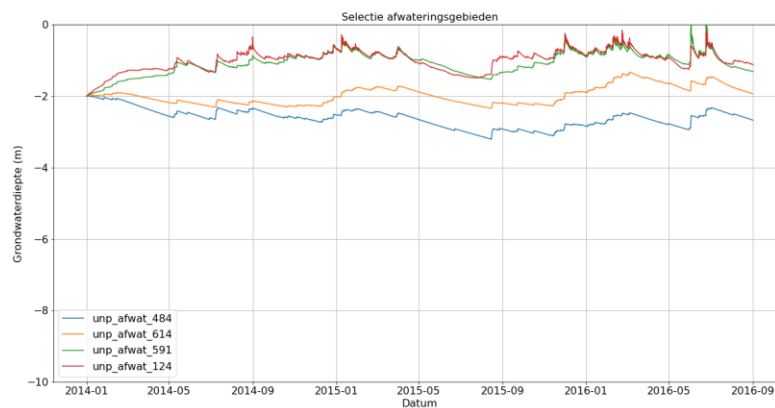
De tweede laag die nu standaard op 150 dagen staat leiden we af op basis van het grondgebruik, het bodemtype, de grondwaterflux, de drooglegging en de ontwerpgrafieken uit het Cultuurtechnisch Vademecum [1]. Hiervoor is een Python script opgesteld. De grondwaterfluxen zijn daarbij alleen meegenomen op het moment dat er een positieve grondwaterflux is (kwel). Bij negatieve grondwaterfluxen ontstaan er onrealistische drainagewaarden. Verder is over het gehele stroomgebied een drooglegging van 1 m aangehouden. Figuur 33 laat de ruimtelijke verdeling van de weerstanden tussen 0.25 m en 1.00 m over de afwateringsgebieden zien.

De grondwaterstanden (Figuur 34), cumulatieve afvoer (Figuur 35) en het afvoerverloop in 2016 (Figuur 36) veranderen nauwelijks door de aanpassing van de drainageweerstanden. Het kan zijn dat de vorm van de hoogwaterpiek verandert, maar dat zullen we later bij de kalibratie op het hoogwater beschouwen.

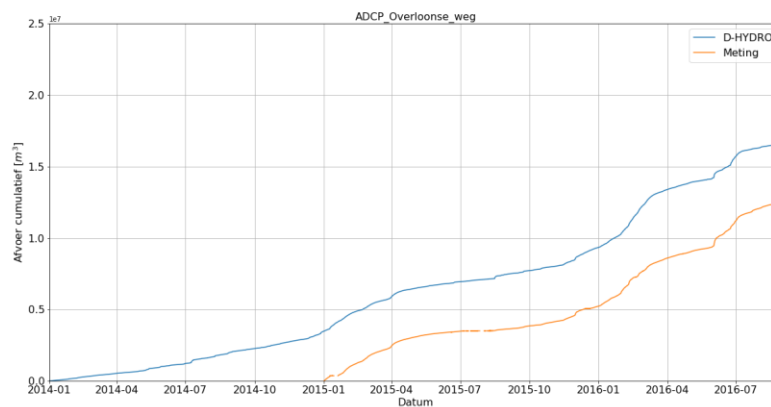
*Figuur 33
Ernst drainage-
weerstanden*



Figuur 34
Gesimuleerde
grondwaterstanden

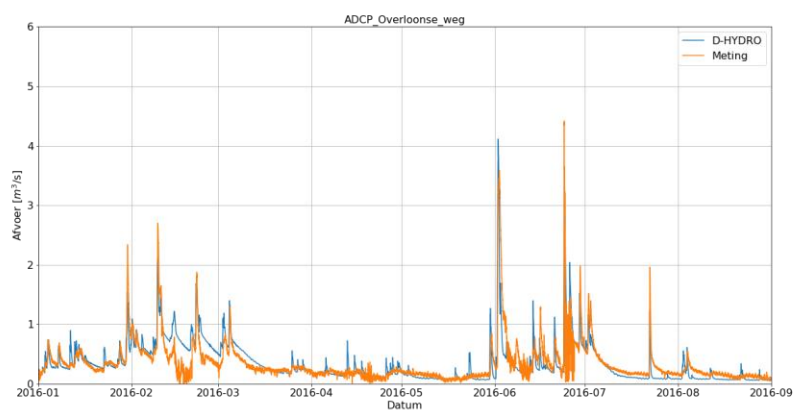


Figuur 35
Cumulatieve afvoer
bij ADCP Overloonse
weg



Figuur 36 presenteert het verloop van de afvoer over 2016. Globaal valt op dat de afvoer in de periode februari/maart wat te hoog blijft hangen. Verder zien we dat de basisafvoer eind 2016 wat te laag is.

Figuur 36
Afvoer bij ADCP
Overloonseweg voor
2016



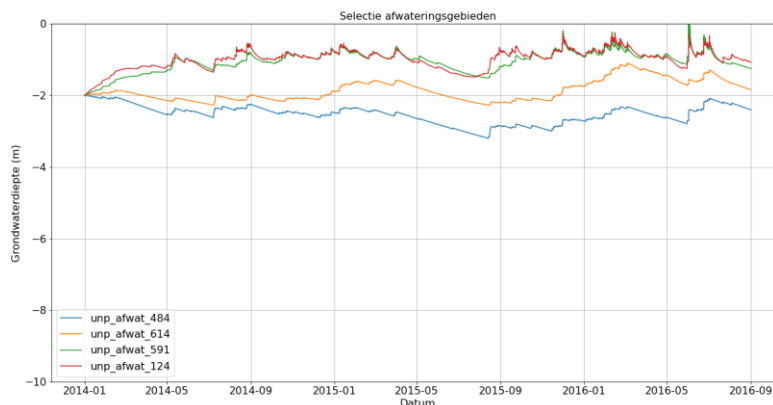
3.7.8

Ruimtelijk gevarieerde neerslag

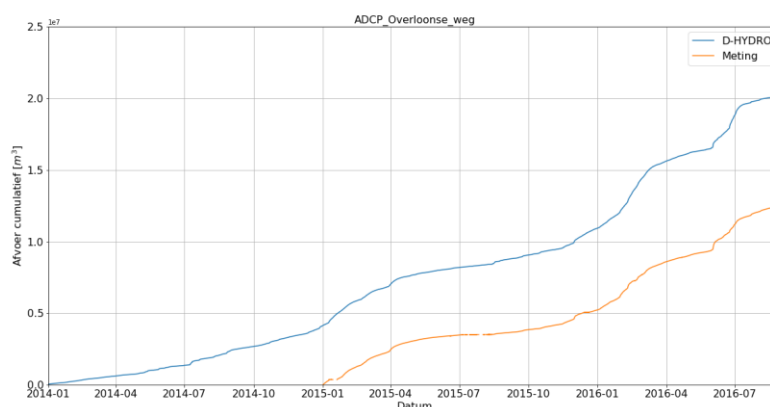
In voorgaande rekenslagen is elke keer uitgegaan van neerslag van meteostation Arcen. We leggen nu de neerslag ruimtelijk gevarieerd op vanuit Meteobase en rekenen het model weer door. Figuur 37 tot en met Figuur 39 laten de resultaten zien met de ruimtelijk gevarieerde neerslag.

We zien dat de cumulatieve afvoer significant toeneemt bij gebruik van de neerslag uit Meteobase (vergelijk Figuur 38 met Figuur 35). In de periode februari-maart 2016 blijft de afvoer te hoog hangen en we zien ook na afloop van de hoogwaterperiode in juli 2016 dat de recessiecurve te vlak is. Naar verwachting moeten we de grondwaterfluxen verder verlagen (meer wegzijging) en de ruimtelijk gedifferentieerde drainageweerstand verhogen om de intermediaire afvoer (Figuur 7) te verlagen.

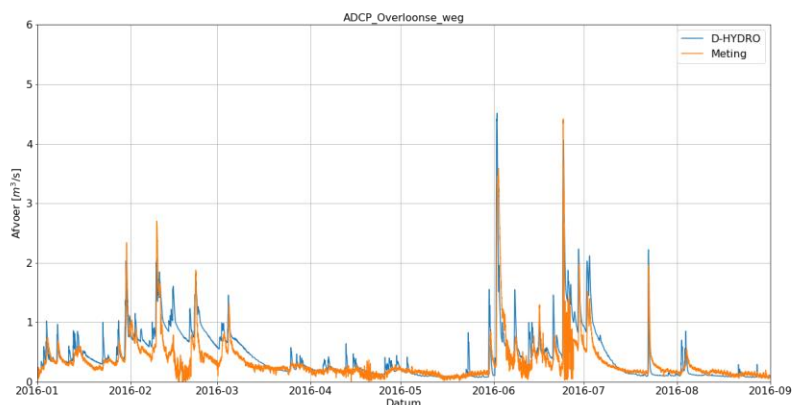
*Figuur 37
Gesimuleerde
grondwaterstanden*



*Figuur 38
Cumulatieve afvoer
bij ADCP Overloonse
weg*



*Figuur 39
Afvoer bij ADCP
Overloonseweg voor
2016*

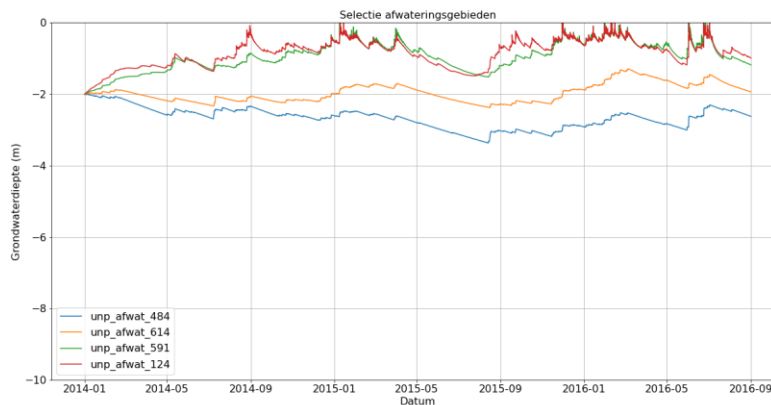


We hebben twee simulaties aangezet waarbij we weer de maandelijks gemiddelde grondwaterfluxen uit paragraaf 3.7.3 als basis gebruiken en deze verder verlagen van 0.3 mm/dag naar 0.4 mm/dag en daarnaast de ruimtelijk gedifferentieerde Ernst drainagewaarden met een factor 2 tot 4 verhogen. Van deze berekeningen levert degene met een aanpassing van de drainagewaarde met een factor 4 de beste resultaten. De gemiddelde maandelijks grondwaterflux is in deze simulatie verlaagd met 0.4 mm/dag. De resultaten zijn weergegeven in Figuur 40 tot en met Figuur 42.

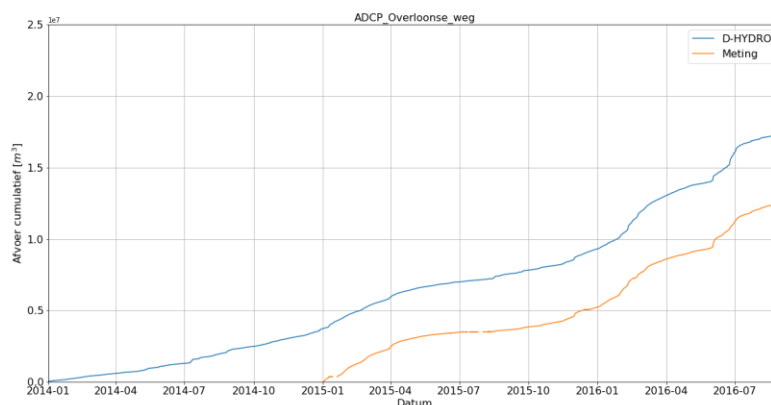
Het neerslag-afvoermodel simuleert de basisafvoer en de intermediair afvoer redelijk. Het uitzakkingsverloop (intermediaire afvoer) na juli 2016 is goed en komt redelijk goed op het niveau van de gemeten basisafvoer. Ook geeft het model de afvoeren in de periode februari-maart 2016 beter weer dan eerdere simulaties. Het gesimuleerde uitzakkingsverloop na maart 2016 is wat aan de vlakke kant, maar als we deze verbeteren, zal het gesimuleerde uitzakkingsverloop na juli 2016 weer minder goed bij de metingen passen.

We beoordelen dat de weergave van de intermediaire afvoer en de basisafvoer voor de scope van dit project voldoende is. Het verloop zou nog verder gedetailleerd en verbeterd kunnen worden, maar dat is niet nodig voor het advies dat we in dit project willen geven.

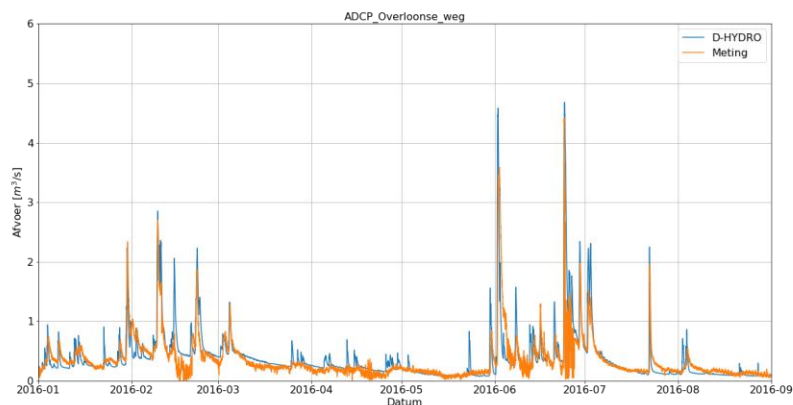
*Figuur 40
Gesimuleerde
grondwaterstanden*



*Figuur 41
Cumulatieve afvoer
bij ADCP Overloonse
weg*

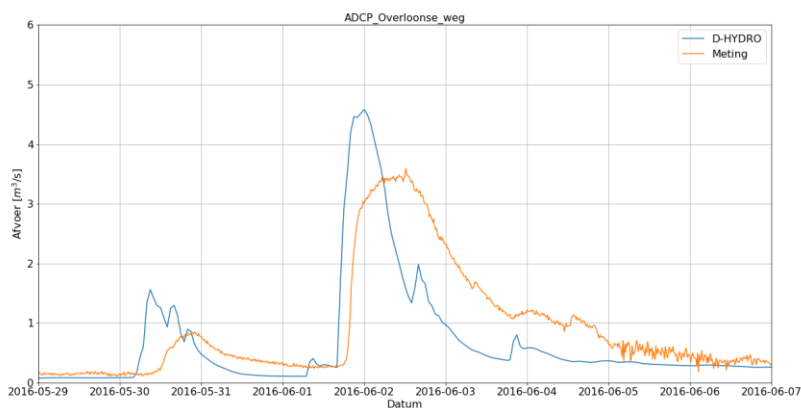


*Figuur 42
Afvoer bij ADCP
Overloonseweg voor
2016*



Figuur 43 presenteert het afvoerverloop in juni 2016. De afvoer is nog wat te gepiekt en de afvoer komt ook wat te snel op gang. Dat kan deels te maken hebben met overstorten in het model die direct en onvertraagd tot afvoer komen. Daarnaast is er nog geen 2D-rooster opgenomen, waardoor er geen inundaties optreden. Ook kan de ruwheid in de waterlopen in de zomer hoger zijn geweest dan nu in het model geschematiseerd. Op deze aspecten zullen we ons richten bij de kalibratie op de afvoerpiek.

*Figuur 43
Afvoer bij ADCP
Overloonseweg voor
juni 2016*



3.8

Kalibratie van de hoogwaterafvoer

We richten ons bij de kalibratie verder op de weergave van het hoogwater van juni 2016. Om dit hoogwater voldoende nauwkeurig te kunnen weergeven, zien we de volgende verbeteringen:

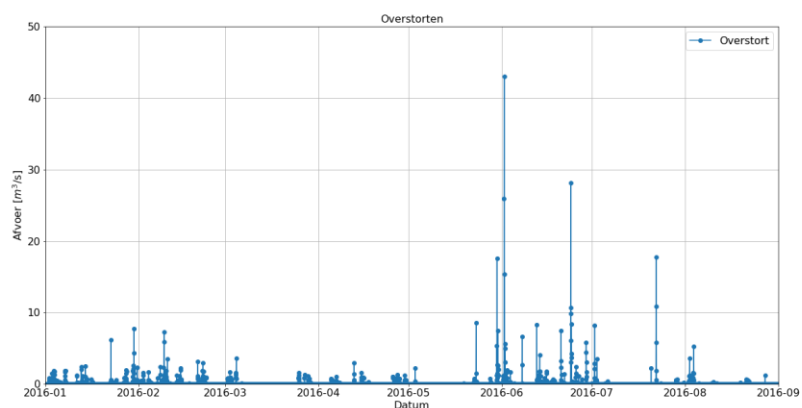
1. Gedetailleerde opname van overstorten en rioleringsgebieden en kalibratie van de stedelijke afvoer;
2. Opname van het 2D-rooster in het model en kalibratie van de maaiveld drainage en ruwheid van de waterlopen.

Ad 1 Gedetailleerde opname overstorten en rioleringsgebieden

Tot nu toe is het verharde gebied eenvoudig geschematiseerd via de afwateringsgebieden. Er is echter ook meer gedetailleerde informatie over de rioleringsgebieden en bijbehorende overstorten beschikbaar, zoals in paragraaf 3.4 beschreven. Deze nemen we op in de schematisatie.

We merken verder op dat het gesimuleerde afvoerverloop af en toe wat meer gepiekt verloopt dan in de meting. Wij verwachten dat dit komt door de afvoer van het verharde gebied. Deze afvoer treedt instantaan zonder vertraging op, terwijl de afvoer in de praktijk vertraagd zal zijn. Figuur 44 presenteert de gesommeerde afvoer vanuit overstorten in het modelgebied voor 2016 voor de schematisatie zonder gedetailleerde opname van overstorten en rioleringsgebieden. In één uur kan de overstort 30 tot 40 m³/s bedragen. Als we naar de periode april-mei 2016 kijken in Figuur 42, zien we daar kleine afvoerpiekjes in de simulatie die we niet terugzien in de meting. We zien die piekjes ook terug in de overstorten (Figuur 44). Wij zullen daarom bij de kalibratie op het hoogwater van 2016 ook de afvoer vanuit de overstorten kalibreren door aanpassing van de 'delay coëfficiënt'.

*Figuur 44
Gesimuleerde
gesommeerde
overstort*



Ad 2 Opname van 2D-rooster en kalibratie maaiveld drainage

Vervolgens rekenen we het gekoppelde 1DRR-model door vanaf 1/1/2014 tot 29/05/2016 en schrijven een 'restart' weg voor de RR-berekeningen die we kunnen gebruiken voor de hoogwaterperiode. In voorgaande simulaties is een rekenpuntafstand van 150 m en een Courantgetal van 5 gehanteerd om ervoor te zorgen dat de langjarige simulatie voldoende snel is. Voor deze

restart-berekening zetten we de rekenpuntafstand naar 100 m en zetten we aanvullend rekenpunten op 10 m rondom kunstwerken.

Vervolgens nemen we het 2D-rooster in het model op en maken een eerste simulatie om te zien of het afvoerverloop voldoende nauwkeurig bij het meetpunt wordt gesimuleerd. We kunnen het afvoerverloop vervolgens verder kalibreren door aanpassing van:

- de 'delay coefficient' in de riolering;
- de ruwheid van de waterlopen;
- de maaiveld drainage (en eventueel de oppervlakkige afvoer).

Doordat we de grondwaterfluxen en drainageweerstand die de basisafvoer en intermediaire afvoer beïnvloeden niet meer aanpassen, hoeven we geen langjarige simulatie meer te maken en kunnen we ons richten op deze hoogwaterperiode en deze met een gedetailleerd 2D rooster simuleren.

3.8.1

Opname gedetailleerde overstorten en 2D rooster

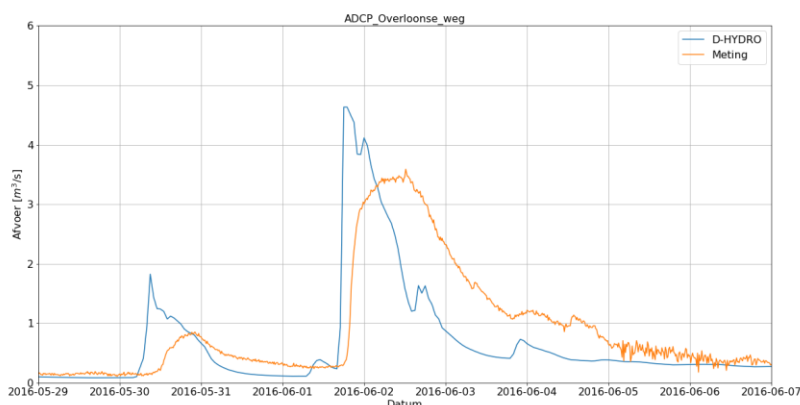
We hebben de overstorten opgenomen zoals beschreven in paragraaf 3.4. Daarnaast hebben we de 1D rekenpuntafstand op 10 m gezet en een 2D rooster opgesteld met globale resolutie van 10 m. Zichtbaar is dat er naast het blauwe watervlak nog een klein deel van maaiveld niet in het 2D-rooster is geschematiseerd (Figuur 45). Dat zou kunnen worden verbeterd door verdere verkleining van de roosterresolutie of door generatie van het rooster buiten D-HYDAMO met uitlijning op de watervakken met de roostergenerator SMS. Dat laatste is in dit project verder niet uitgewerkt of onderzocht. We onderzoeken wel de invloed van het verfijnen van het rooster naar een resolutie van 5 m naar de waterlopen toe (zie §3.8.2).

*Figuur 45
Detail uit het 2D
rooster*



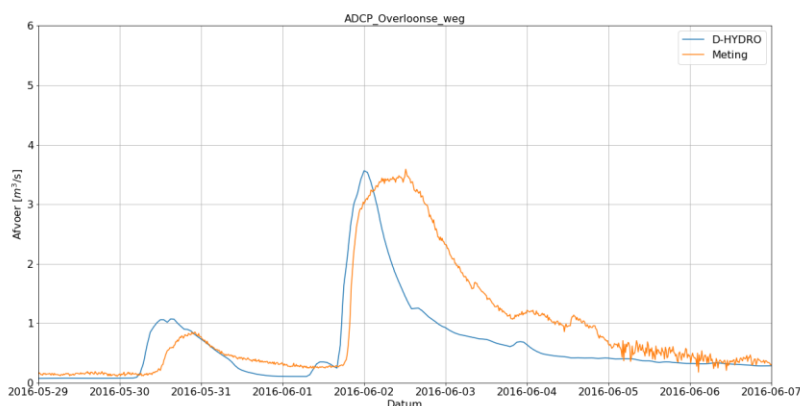
Vervolgens hebben we het hoogwater van juni 2016 gesimuleerd met de in de vorige paragraaf beschreven 'restart' voor RR. Figuur 46 presenteert het afvoerverloop bij Overloonseweg voor het hoogwater. Door toevoeging van het 2D rooster en de gedetailleerd opname van overstorten verandert het afvoerverloop iets, maar er lijkt nog onvoldoende demping en vertraging te zijn.

*Figuur 46
Afvoer bij ADCP
Overloonseweg voor
juni 2016*



Vervolgens hebben we onderzocht of we de afvoer via de maaiveld drainage en oppervlakkige afvoer via het maaiveld zodanig kunnen vertragen dat het gesimuleerde afvoerverloop verbeterd. Hiermee proberen we de berging en vertraging van afvoergolven in de niet gemodelleerde kleinere watergangen te simuleren (zie ook Figuur 61). Hiertoe hebben we het model zonder 2D-rooster gesimuleerd, omdat we het langjarige afvoerverloop willen kunnen verifiëren en het effect van het opnemen van het 2D-rooster op de hoogwatergolf beperkt was. De drainagewaarde van de bovenste 25 cm van de bodem (maaiveld drainage) is verhoogd naar de helft van de drainagewaarde van de laag daaronder (veelal in de orde van 300-500 dagen) en de drainagewaarde voor de oppervlakkige afvoer is op 10 dagen (tot nu toe 5 dagen) gezet. Figuur 47 presenteert het resulterende afvoerverloop bij Overloonseweg voor juni 2016. De piekafvoer neemt af en de afvoergolf vertraagt wat, maar het totale effect is nog niet naar wens.

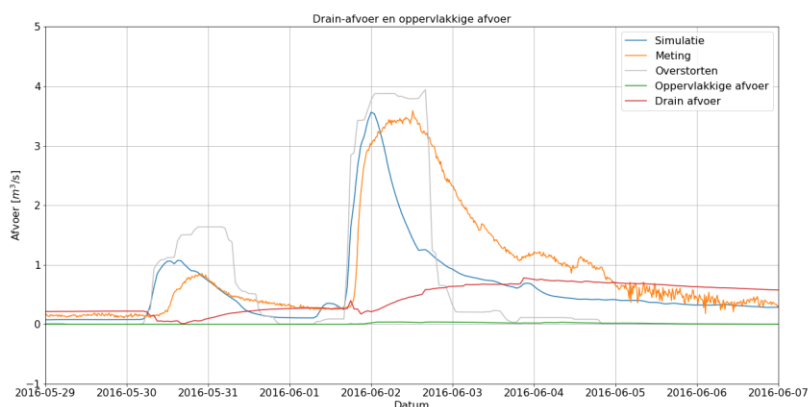
*Figuur 47
Afvoer bij ADCP
Overloonseweg voor
juni 2016 met
gedempte afvoer
van onverhard
gebied*



Vooraf opvallend ten opzichte van het afvoerverloop in Figuur 46 is dat het volume in de afvoergolf afneemt. Met de aanpassing van de

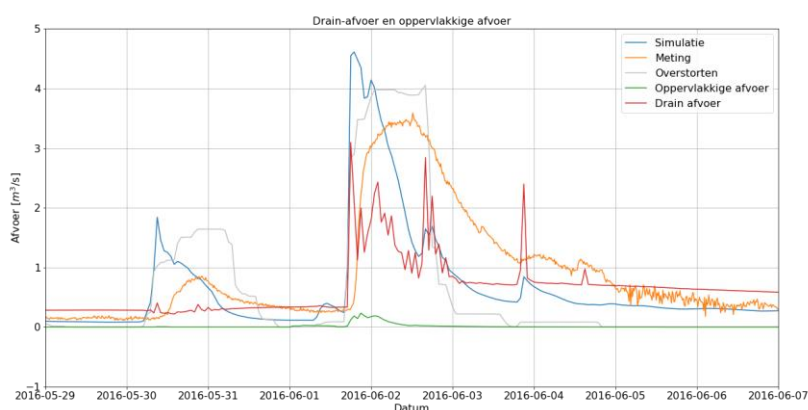
maaiveld drainage blijft water langer in de bodem en wordt langzamer via diepere bodemlagen afgevoerd. We kunnen vrij eenvoudig voor het hele modelgebied de totale afvoer van het onverharde gebied en van het verharde gebied bepalen en in de figuur opnemen (Figuur 48). We zien dan in het rood de totale drainafvoer en in het groen de totale oppervlakkige afvoer van het onverharde gebied. Omdat het totale modelgebied groter is dan het gebied bovenstrooms van meetpunt Overloonseweg, zijn deze waarden niet direct te vergelijken met het afvoer verloop bij Overloonseweg.

*Figuur 48
Afvoer bij ADCP
Overloonseweg voor
juni 2016 met
gedempte afvoer
van onverhard
gebied en verharde
afvoeren*



Ter illustratie is ook een figuur gemaakt van de onverharde afvoer zonder demping van de afvoer via maaiveld drainage en het maaiveld (Figuur 49). Door vergelijking van Figuur 48 met Figuur 49, blijkt dat de onverharde afvoer (rood) flink wordt gedempt. Ook is daardoor duidelijk dat een groot deel van de afvoerpiek bij Overloonseweg gesimuleerd wordt vanuit overstorten. De overstorten zijn grijs in de figuur opgenomen met een lopend gemiddelde over 24 uur. Het lopende gemiddelde is weergegeven omdat de gesimuleerde afvoer zo hoog is dat deze niet goed in de figuur zou passen.

*Figuur 49
Afvoer bij ADCP
Overloonseweg voor
juni 2016 zonder
gedempte afvoer
van onverhard
gebied*



3.8.2

Verfijnen 2D rooster en kalibratie overstorten

Op basis van voorgaande simulatie is besloten om het 2D rooster rondom de waterloop te verfijnen, zodat de maaiveldhoogte nauwkeuriger wordt

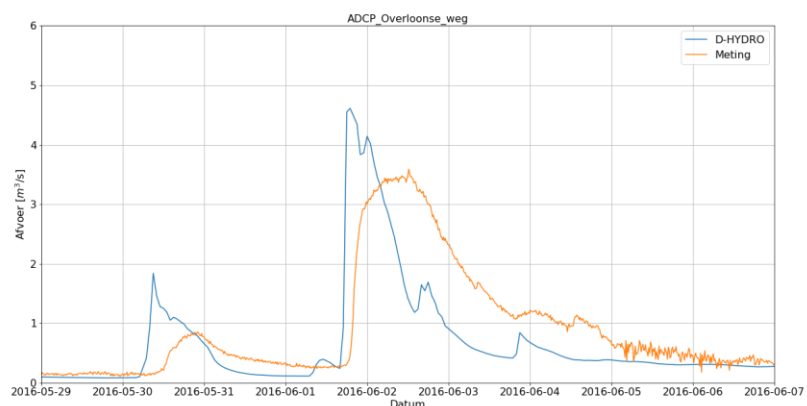
meegenomen en het rooster nog wat beter uitgelijnd is op de watervlakken. Mogelijk kan hierdoor meer terrein langs de waterlopen inunderen. Het rooster is rondom de waterlopen verfijnd naar een resolutie van 5 m (Figuur 50).

*Figuur 50
Detail uit het 2D
rooster*



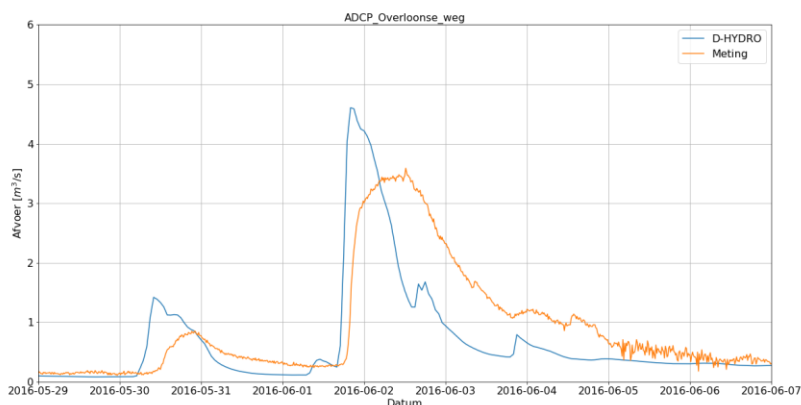
Het blauwe watervlak in de figuur is via dwarsprofielen in het 1D model geschematiseerd. Door de verfijning is er naast het blauwe watervlak nog maar een klein deel van het maaiveld niet in het 2D-rooster opgenomen. Dat zou nog kunnen worden verbeterd door een nog verdere verkleining van de roosterresolutie of door generatie van het rooster buiten D-HYDAMO met uitlijning op de watervakken met SMS. Dat is in dit project verder niet uitgewerkt of onderzocht. Het resulterende afvoerverloop bij Overloonseweg is vergelijkbaar met die van het model met een algehele resolutie van 10 m (Figuur 46). De verfijning van de resolutie rondom de waterlopen zorgt dus niet voor meer piekafvlakking door inundaties langs de waterlopen.

*Figuur 51
Afvoer bij ADCP
Overloonseweg voor
juni 2016*



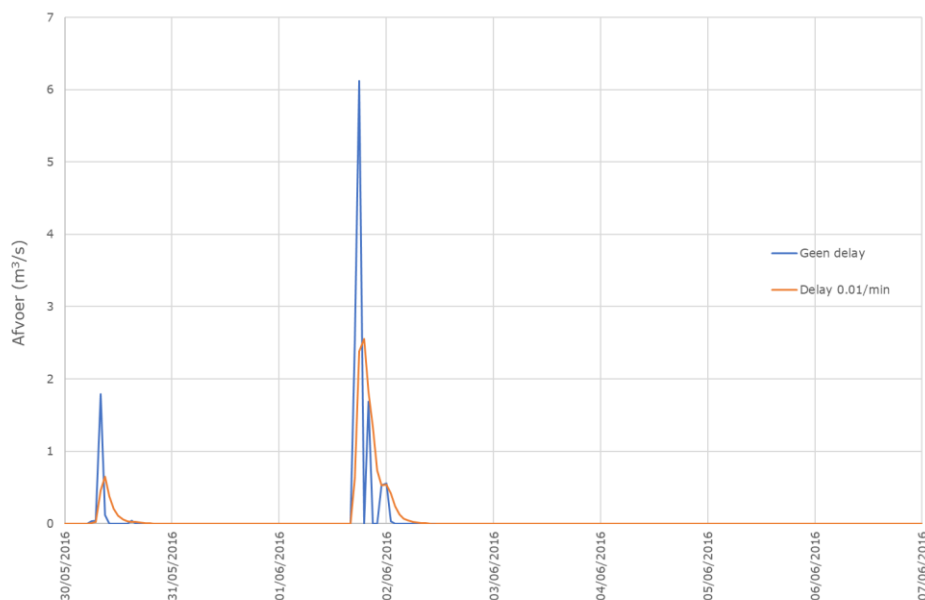
We hebben vervolgens het effect van het vertragen van de piekafvoer vanuit onverhard gebied onderzocht. Hiertoe hebben we een delay coëfficiënt ingesteld van 0.01/min, waarmee 1% van de overstort in de eerste minuut tot afvoer komt. Daarmee vakt de afvoerpiek wat af (Figuur 52), maar nog niet zodanig dat het afvoerverloop significant beter wordt beschreven.

*Figuur 52
Afvoer bij ADCP
Overloonseweg voor
juni 2016*



Figuur 53 geeft voor een grote overstort vanuit Venray bovenstrooms van meetpunt Overloonseweg weer wat het effect van de demping van de afvoer vanuit de riooloverstort is. De piekafvoer daalt met meer dan een factor twee en de afvoerpiek wordt wat breder. De demping is echter bij lange na niet genoeg om de gemeten afvoerpiek bij meetpunt Overloonseweg beter te benaderen.

*Figuur 53
Effect van demping
van de afvoer vanuit
overstorten voor
overstort met id
M1906.7*



3.8.3

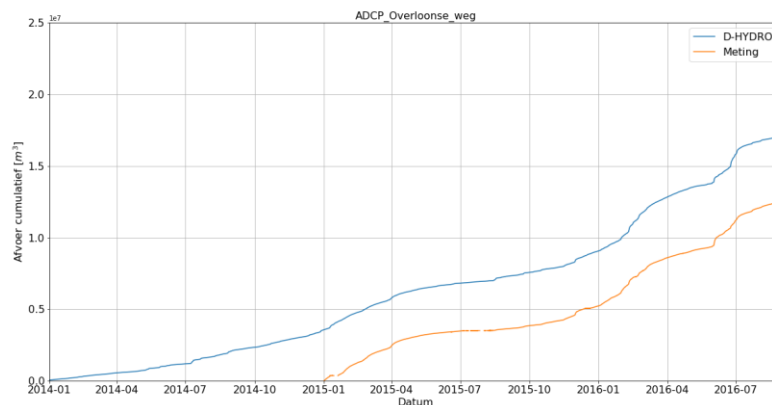
Aanpassing berging verhard gebied

Het waterschap heeft de schematisatie van het verharde gebied nader onderzocht en gevonden dat de belangrijkste overstort van Venray qua overstortfractie goed overeenkomt met de modellering van deze overstort in

het Code Oranje project. Daar lijkt geen grote fout in te zitten. Verder heeft het waterschap gevonden dat er een fout zit in de basisgegevens van de rioolgebieden, waardoor de berging in de rioolstelsels systematisch te laag is. Door het vergroten van deze berging naar realistische waarden kunnen de afvoerpieken significant afnemen. Om het effect hiervan te bepalen is de berging in het model aangepast en zijn de langjarige gebeurtenis (1DRR) en de hoogwatergebeurtenis (1D2DRR) gesimuleerd. Hierbij is de delay coëfficiënt voor de overstorten weer op 0.01/min gezet. Verder is de berging op straat op 2 mm gezet, net zoals bij het Code Oranje project.

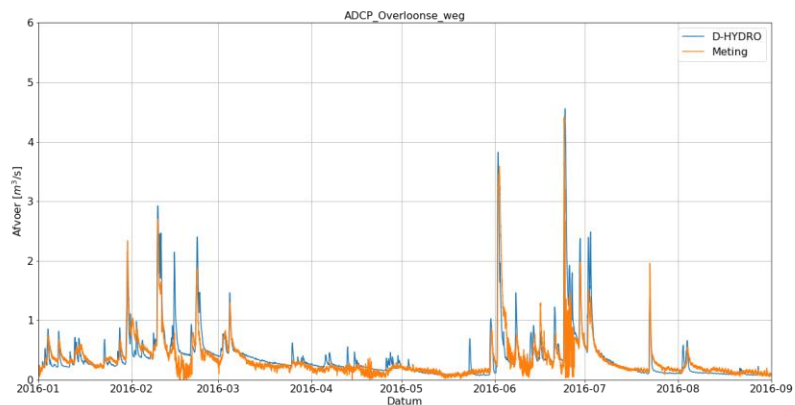
Figuur 54 presenteert de cumulatieve afvoer voor de langjarige 1DRR simulatie. Deze is goed vergelijkbaar met die van de langjarige 1DRR simulatie zonder nauwkeurige schematisatie van de overstorten, zonder aanpassing van de berging in het stelsel en op de straat en zonder aanpassing van de delay coëfficiënt (zie Figuur 41).

*Figuur 54
Cumulatieve afvoer
bij ADCP Overloonse
weg*



Figuur 55 geeft het afvoerverloop voor 2016 weer. Als we hier ook weer de vergelijking maken met de eerdere simulatie (Figuur 42), zien we dat de kleinere afvoerpieken nauwelijks afnemen en dat de invloed van de aanpassing beperkt is. Voor het juni 2016 hoogwater neemt de afvoerpiek wel af, zoals we verderop zullen zien.

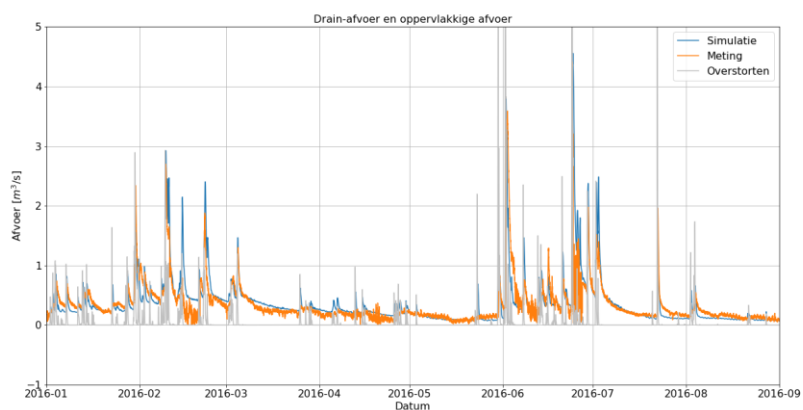
*Figuur 55
Afvoer bij ADCP
Overloonseweg voor
2016*



Figuur 56 laat daarnaast de gesommeerde overstorten in het modelgebied zien, waarbij deze niet zijn gemiddeld over de tijd. We zien voor alle

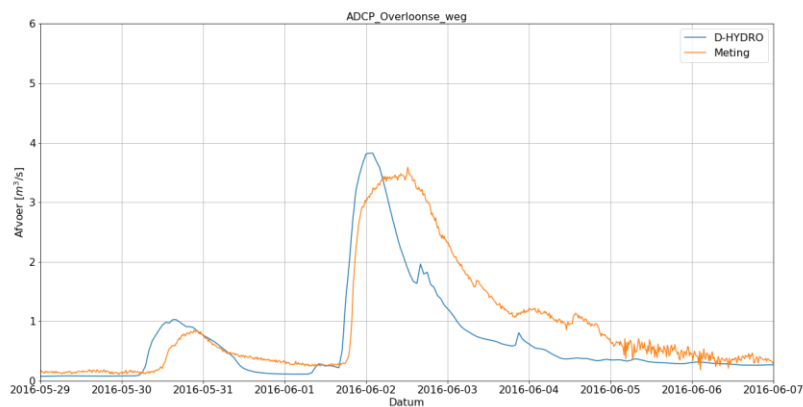
afvoerpiekjes in de zomer bij meetpunt Overloonseweg dat daar ook een overstortpiek optreedt die deze piekjes zou kunnen veroorzaken. Mogelijk komt een deel van deze piekjes uit verhard gebied buiten de rioleringsgebieden. Dit verharde gebied is in het model geschematiseerd zonder berging en met een delay coëfficiënt van 0.01/min. We zouden in een vervolgberekening kunnen kiezen om dit gebied met een nog kleinere delay coëfficiënt te simuleren of om dit gebied als onverhard te schematiseren.

*Figuur 56
Overstorten in het
afvoerverloop*



Figuur 57 presenteert het afvoerverloop voor het hoogwater van juni 2016. Door de vergroting van de berging neemt de afvoerpiek af van 4.7 m³/s naar 3.8 m³/s. Het volume in de gesimuleerde afvoergolf wordt hierdoor ook kleiner en is daarmee ook kleiner dan in de gemeten afvoergolf.

*Figuur 57
Afvoer bij ADCP
Overloonseweg voor
juni 2016*



3.9

Evaluatie kalibratie hoogwaterafvoer

Bij de kalibratie van de hoogwaterafvoer in paragraaf 3.8.3 bleek dat er nog te grote afwijkingen zitten tussen het gesimuleerde en gemeten afvoerverloop voor juni 2016. Als we naar het afvoerverloop kijken zien we de volgende problemen:

1. Het gesimuleerde volume in de afvoerpiek van juni 2016 is te klein en de piek is te smal (Figuur 57);

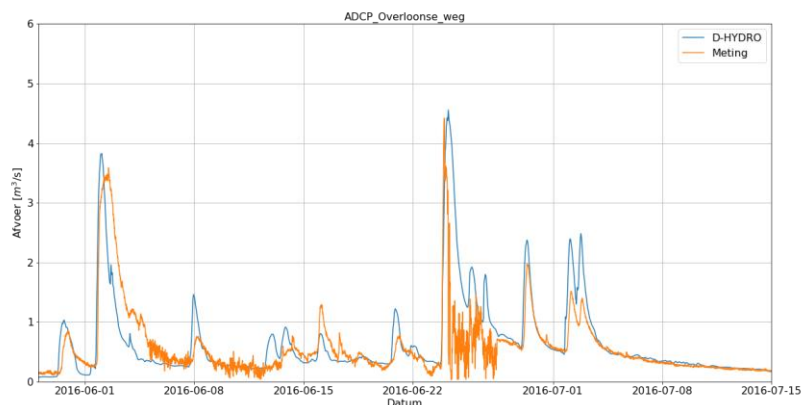
2. De gesimuleerde afvoer komt te snel op gang en loopt voor op de gemeten afvoer (Figuur 57);
3. In het gesimuleerde langjarige afvoerverloop treden als gevolg van overstorten, vermoedelijk van verhard gebied buiten de rioleringsgebieden omdat hier geen berging in het rioolstelsel is geschematiseerd, te veel kleine afvoerpiekjes op (Figuur 56).

We hebben hiervoor elke keer in detail maar naar één afvoerpiek en één meetpunt gekeken. Dat is een risico, omdat metingen ook fouten kunnen kennen. Daarom is in paragraaf 3.9.1 een wat langer afvoerverloop geanalyseerd en is in paragraaf 3.9.2 het gesimuleerde afvoerverloop beoordeeld op basis van het verder benedenstrooms gelegen meetpunt Holthees. Verder zijn ook de inundaties nog niet nader geanalyseerd. Dat doen we in paragraaf 3.9.3.

3.9.1 Analyse langer afvoerverloop

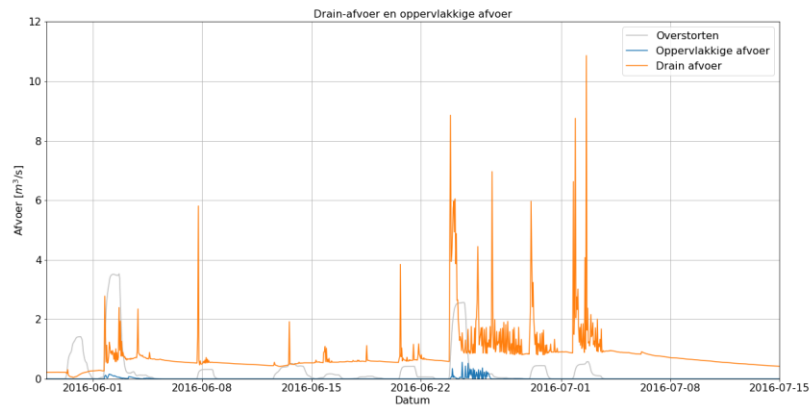
In Figuur 58 is het afvoerverloop over de periode 01/06/2016-15/07/2016 gepresenteerd van de 1DRR simulatie uit paragraaf 3.8.3. We zien daar ook het grootste hoogwater van de simulatie eind juni, maar voor deze periode heeft de meetnetbeheerder beoordeeld dat de afvoermetingen niet betrouwbaar zijn. Opvallend is dat de gesimuleerde afvoerpiek voor juni 2016 te smal is, terwijl de kleinere gesimuleerde afvoerpieken eind juni en begin juli qua vorm redelijk goed overeenkomen met de metingen.

*Figuur 58
Afvoer bij ADCP
Overloonseweg voor
de periode juni/juli
2016*

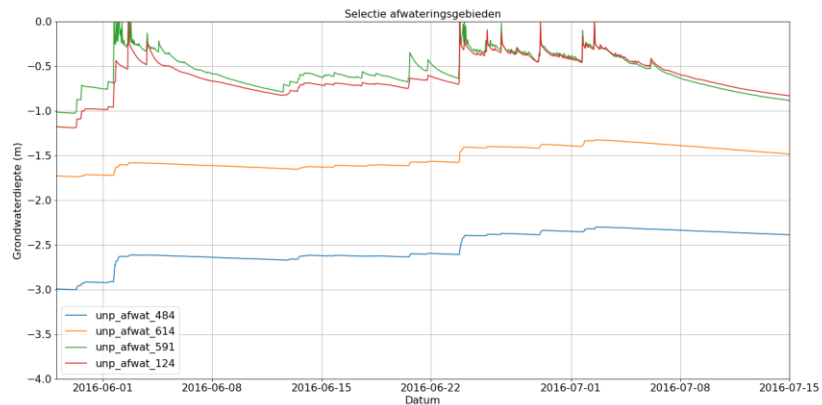


Figuur 59 laat voor de gehele periode en voor het hele modelgebied de bijdrage van de overstorten, oppervlakkige afvoer en drainafvoer zien. Let op dat de verticale as een groter bereik heeft dan in Figuur 58 om de drainafvoer weer te kunnen geven. Uit de figuur wordt duidelijk dat de afvoerpiek voor het beschouwde hoogwater begin juni 2016, zoals eerder gezegd, voor een groot deel door overstorten wordt veroorzaakt. Naarmate de bodem in de tijd natter wordt zien we dat de drainafvoer ook belangrijk wordt in de simulatie van de afvoerpieken. Het natter worden van de bodem is zichtbaar in Figuur 60.

*Figuur 59
RR-componenten
voor de periode
juni/juli 2016*



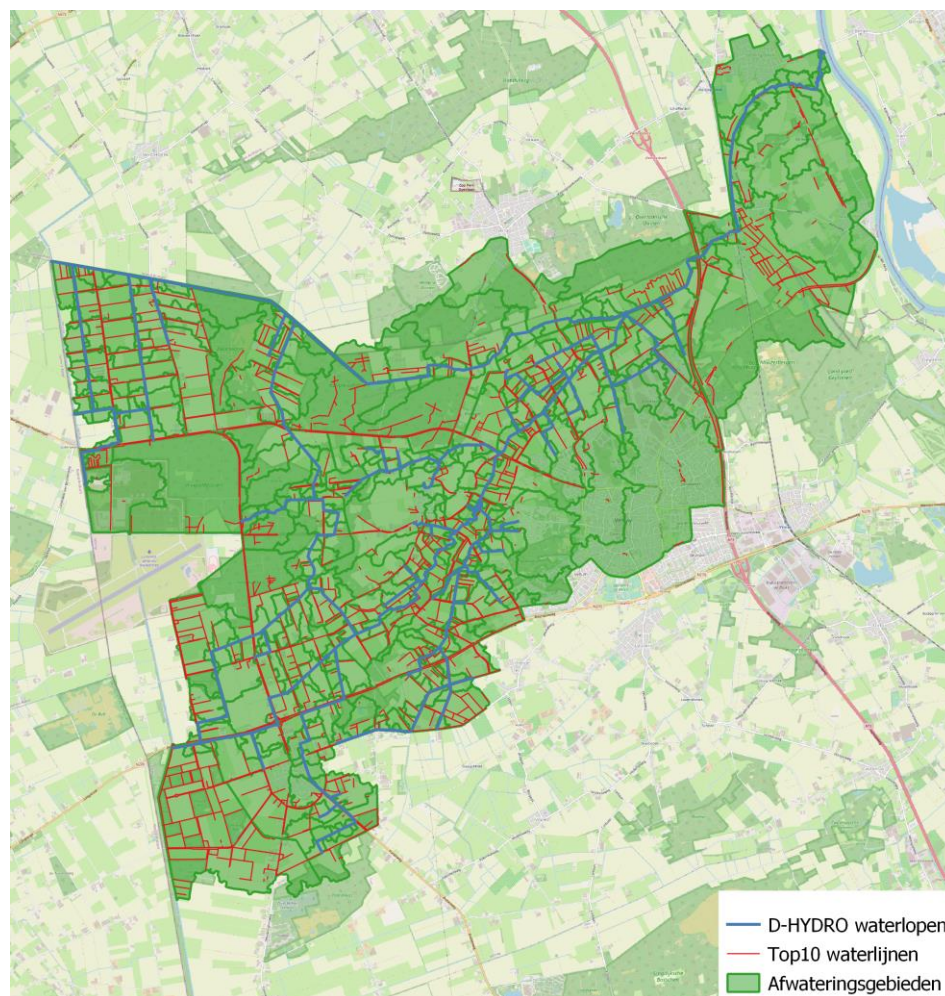
*Figuur 60
Grondwaterstanden*



De laatste twee pieken eind juni en begin juli komen grotendeels door afvoer van onverhard gebied in gebieden waar de grondwaterstanden tot in de maaiveld drainage stijgen, zoals voor afwateringsgebieden unp_afwat 591 en unp_afwat_124 (Figuur 60). Deze pieken worden wat te hoog gesimuleerd. We zien voor deze laatste twee afvoerpieken ook dat de gesimuleerde afvoergolf vooruitloopt op de gemeten afvoergolf, net zoals de hoogwatergolf van juni 2016. Het te vroeg op gang komen van de afvoer kan te maken hebben met te weinig berging en demping in het oppervlaktewatersysteem, maar ook met een te kleine berging in de bodem waardoor de grondwaterstanden te snel tot in de maaiveld drainage stijgen.

Het is de vraag of we de breedte van de hoogwatergolf bij Overloonseweg met de huidige schematisatie goed kunnen benaderen. Figuur 61 geeft de met D-HDYRO gemodelleerde watergangen weer naast alle bekende watergangen uit de TOP10. De figuur laat zien dat een groot deel van de kleinere watergangen niet is geschematiseerd. De demping en vertraging van de afvoer in deze watergangen kan met de huidige schematisatie alleen worden gesimuleerd door aanpassing van de drainagewaarden van de maaiveld drainage.

*Figuur 61
D-HYDRO
gemodelleerde
watergangen en
TOP10 watergangen*



Deze schematisatie van demping en vertraging van de afvoer via de maaiveld drainage heeft twee nadelen:

1. De schematisatie van de demping en vertraging via de maaiveld drainage is fysisch niet gelijk aan de schematisatie van de kleinere waterlopen in het stromingsmodel. Door de maaiveld drainage te verminderen blijft er meer water in de bodem en dat water komt via de diepere lagen vertraagt tot afvoer. In werkelijkheid zal het water wel snel tot afvoer komen naar de kleinere watergangen. In deze watergangen kan het water worden geborgen en via deze watergangen en kunstwerken daarin met enige vertraging worden afgevoerd. Via deze watergangen kan het water ook weer in de bodem infiltreren, maar de omvang daarvan zal kleiner zijn dan wanneer het water op het maaiveld wordt vastgehouden.
2. De drainagewaarden gelden voor de gehele simulatieperiode en dus ook voor periodes met minder begroeiing.

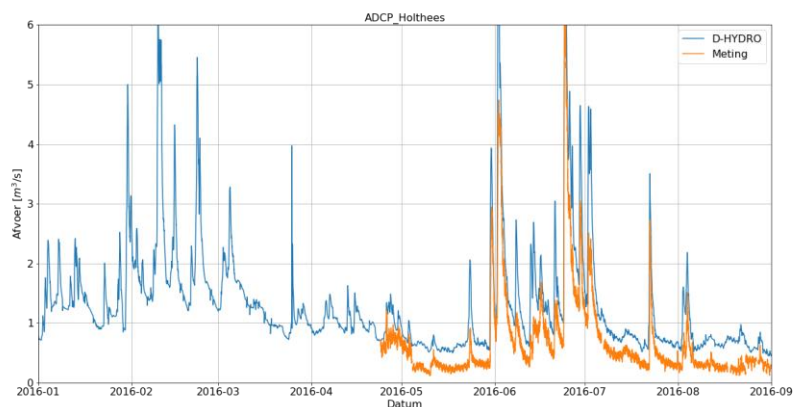
Het zou eigenlijk beter zijn deze watergangen in D-HYDRO te schematiseren, zodat de ruwheid ook tijdsafhankelijk kan worden geschematiseerd en de maaiveld drainage los van de ruwheid in de waterlopen kan worden afgeregeld. Dit heeft uiteraard wel gevolgen voor de rekentijd. Er zullen meer afwateringsgebieden en ook meer 1D-watergangen worden geschematiseerd.

3.9.2

Analyse afvoerverloop meetpunt Holthees

Figuur 62 presenteert de gemeten en gesimuleerde afvoer bij meetpunt Holthees voor 2016. Figuur 63 presenteert het afvoerverloop gedurende het hoogwater van 2016 met daarnaast de neerslag-afvoercomponenten voor het hele modelgebied. Omdat meetpunt Holthees aan het benedenstroomse eind van het stroomgebied ligt, zijn deze neerslag-afvoercomponenten representatief voor het bovenstrooms van het meetpunt gelegen gebied. Het afvoerende onverharde en verharde gebied bovenstrooms van het meetpunt is groter dan voor meetpunt Overloonseweg. Daarnaast komt de inlaat Vredepaal erbij en ook de effluent afvoer van RWZI Venray.

*Figuur 62
Afvoer bij ADCP
Holthees voor 2016*



*Figuur 63
Afvoer bij ADCP
Holthees voor
hoogwater juni 2016*

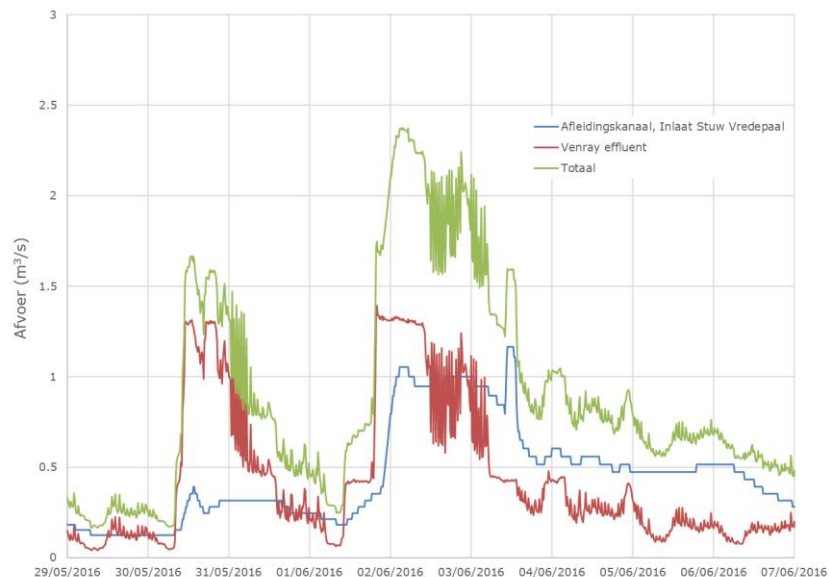


Het is duidelijk dat de gesimuleerde basisafvoer hoger is dan de gemeten basisafvoer en ook de piekafvoeren zijn significant hoger. Opvallend is dat de gemeten basisafvoer goed overeenkomt met de gesimuleerde drainafvoer.

Verder roept de vergelijking van de simulatie met meting bij afvoermeetpunt Holthees meer vragen op dan dat de prestatie van het model bij meetpunt Overloonseweg verduidelijkt. Terwijl het gesimuleerde volume in de afvoerpiek bij meetpunt Overloonseweg duidelijk te klein is, is het gesimuleerde volume in de afvoerpiek bij meetpunt Holthees duidelijk te hoog. Het verharde en onverharde gebied dat via het meetpunt Holthees

afvoer is groter, maar de aanpak van de schematisatie is hetzelfde als voor het stroomgebied bovenstrooms van meetpunt Overloonseweg. Een verschil is wel is dat benedenstrooms van meetpunt Overloonseweg inlaat van Vredepaal erbij komt en ook de effluentafvoer van RWZI Venray. Figuur 64 presenteert de opgelegde afvoeren bij RWZI Venray en bij Vredepaal.

*Figuur 64
Geschematiseerde
inlaat Vredepaal en
effluentlozing RWZI
Venray*



De meetnetbeheerder geeft op basis van handmetingen aan dat de meetreeks van de inlaat bij Vredepaal onzeker is en een onnauwkeurigheid heeft van ongeveer 50%, ofwel in de orde van 0.5 m³/s tijdens de afvoerpiek. Als de onzekerheid van de RWZI-lozing van dezelfde orde is, dan is de onzekerheid in de opgelegde afvoeren in de orde van 1 m³/s. Dat kan het verschil tussen de meting en de simulatie niet verklaren. Ook de onzekerheid in de afvoermeting bij Holthees die het waterschap op 20% schat, kan het verschil tussen meting en simulatie niet verklaren. De gemeten afvoerpiek zou gegeven de onnauwkeurigheid 1 m³/s hoger kunnen zijn. De gesimuleerde afvoerpiek zou daarmee nog steeds orde 2 m³/s te hoog zijn. Dit is opvallend omdat het volume in de gesimuleerde afvoerpiek bij Overloonseweg te laag is.

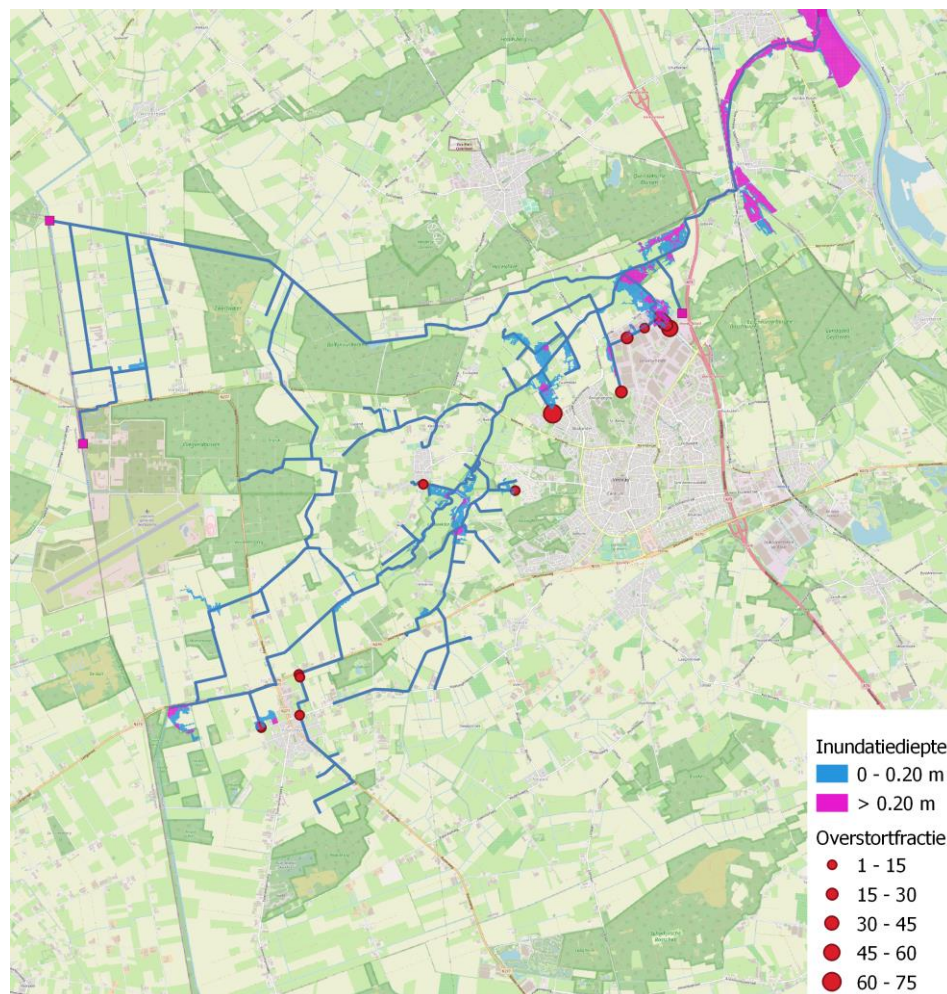
3.9.3

Analyse inundatiebeeld

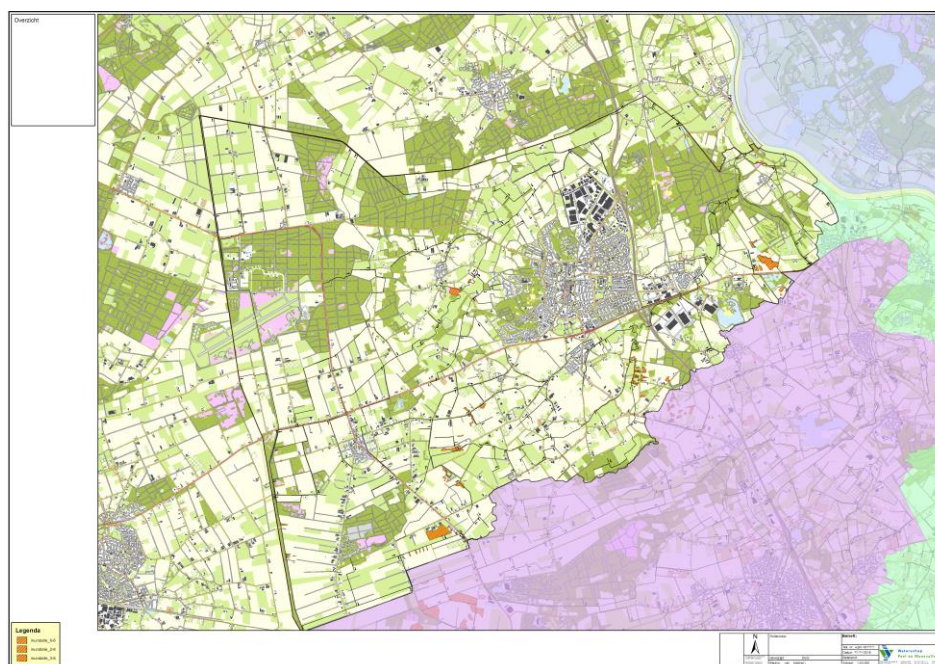
Figuur 65 presenteert het maximaal geïnundeerd gebied tijdens het hoogwater van juni 2016. In de figuur zijn daarnaast de geschematiseerde overstorten weergegeven, waarbij de symboolgrootte afhankelijk is van de geschematiseerde overstortfractie. Ten noorden van Venray treden benedenstrooms van de overstorten en RWZI Venray aanzienlijke inundaties op. Dat gebeurt ook benedenstrooms van overstorten van Merselo en Ysselstein. Figuur 66 presenteert de door het waterschap ingetekende inundaties (oranje vlakken) op basis van luchtfoto's. De gesimuleerde inundaties zijn veel uitgestrekter dan die op basis van de ingetekende luchtfoto's. Dat zou deels kunnen komen doordat de inundatiedieptes te klein zijn om vanuit de lucht te detecteren. Maar als we de inundatiedieptes

beschouwen groter dan 0.20 m (roze), dan is het geïnundeerde gebied nog steeds te groot.

*Figuur 65
Maximaal
geïnundeerd gebied
tijdens juni 2016*



*Figuur 66
Ingetekende
inundaties op basis
van luchtfoto's*



In het traject benedenstrooms van de A73 in het beheergebied van Aa en Maas zijn geen dwarsprofielen in het model geschematiseerd (zie Figuur 2). Hierdoor treden in het benedenstroomse deel van het model teveel inundaties op.

Omdat we zien dat de inundaties vooral benedenstrooms van verhard gebied optreden hebben we het verharde gebied in schematisatie geanalyseerd. We zien daarbij dat het verharde gebied buiten de rioleringsgebieden ongeveer even groot is als het verharde gebied binnen de rioleringsgebieden. Dit verharde gebied is op een vergelijkbare wijze geschematiseerd als het verharde gebied in de rioleringsgebieden, maar het komt niet op in de praktijk aanwezige overstorten tot afvoer. De lozing is geschematiseerd op dezelfde locatie als waar de onverharde knoop op afvoert. Dit zou wel eens tot een flinke overschatting van de piekafvoeren kunnen leiden. In werkelijkheid zal de neerslag op wegen en verspreide bebouwing grotendeels in de bodem infiltreren en vertraagt tot afvoer komen en zeker niet direct op de grotere watergangen.

3.9.4

Integrale samenvatting

De kalibratie van de afvoeren heeft zich in deze studie met name gericht op meetpunt Overloonseweg. Het model simuleert de wat kleinere afvoerpieken in periodes met overwegend onverharde afvoer vrijwel allemaal te hoog (Figuur 58). De vorm en de breedte van de gesimuleerde afvoergolven lijkt wel goed te passen bij de gemeten afvoergolven. Het model simuleert de piekafvoer tijdens het hoogwater in juni 2016 (Figuur 57) orde 10% te hoog. Een aanzienlijk deel van de afvoer in deze periode komt uit verhard gebied. De gesimuleerde afvoer komt te snel op gang en de gesimuleerde golf is niet breed genoeg en heeft een te klein volume. Een aanzienlijk deel van de kleinere watergangen en de daarin aanwezige kunstwerken is niet geschematiseerd. Het kan goed zijn dat deze watergangen in juni 2016 dichtgegroeid waren en dat er veel berging en vertraging van afvoer in deze watergangen en is opgetreden. Dat is met het huidige model niet te simuleren omdat deze watergangen niet in het model zijn opgenomen en omdat een alternatieve schematisatie via een vertraging van de maaiveldafvoer leidt tot te veel afvoer via de diepere bodemlagen. Opvallend is verder dat we aanzienlijke inundaties met het model simuleren die in de praktijk niet zijn opgetreden.

Bij de nadere analyse van het model hebben we vervolgens de prestatie voor meetpunt Holthees beschouwd. Het model simuleert voor dit meetpunt te hoge afvoeren. Dit lijkt ook beter in lijn te zijn met de gesimuleerde inundaties. Het lijkt raadzaam om bij het vervolg van modelberekeningen en analyses wat meer nadruk te leggen op de modelprestatie voor dit meetpunt.

3.10

Gevoeligheidsanalyse voor meetpunt Holthees

Op basis van de evaluatie van de kalibratie uit de vorige paragraaf, hebben we besloten om de inspanning wat meer te richten op de modelprestatie voor meetpunt Holthees. Daarnaast hebben we beoordeeld dat het verharde gebied buiten de rioleringsgebieden te snel tot afvoer komt. Op basis daarvan hebben we besloten om het verharde gebied buiten de rioleringsgebieden als onverhard gebied (braakliggend terrein) te schematiseren. Om de gevoeligheid voor de beschikbare bodemberging te verkennen, hebben we simulaties gemaakt met een dikte van het drainerende pakket van 0.75 m en van 1.5 m. In de voorgaande simulaties is uitgegaan van een dikte van 1.0 m. We hebben in de simulaties de grondwaterfluxen ongewijzigd gelaten, omdat gesimuleerde de cumulatieve afvoer anders te veel afwijkt van de gemeten cumulatieve afvoer.

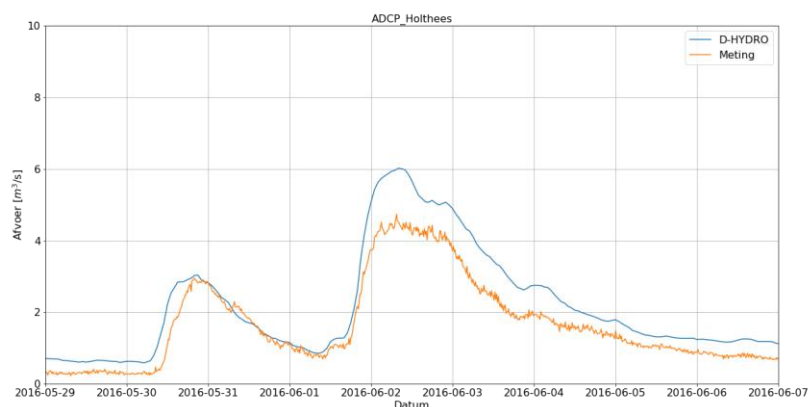
3.10.1

Dikte drainerend pakket 0.75 m

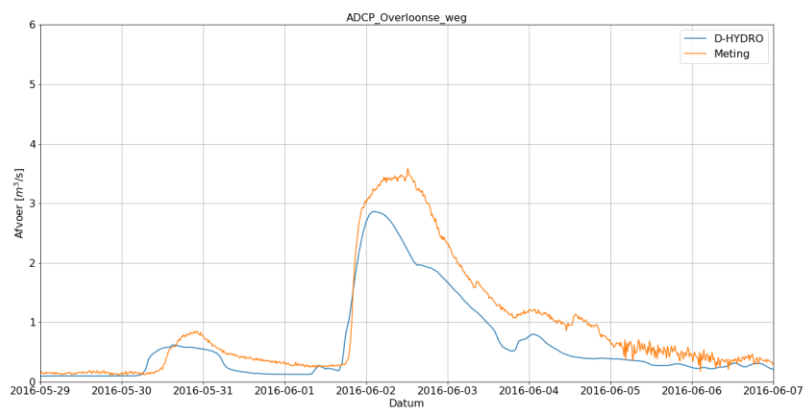
Voor een dikte van het drainerende pakket hebben we simulaties gemaakt met het 1D-RR model voor maaiveldrainagewaarden van 10 dagen en 20 dagen. We laten hier de resultaten zien voor een drainagewaarde van 20 dagen omdat we de modelprestatie hiervoor iets beter vinden. Figuur 67 en Figuur 68 laten het gesimuleerde en gemeten afvoerverloop zien bij meetpunt Holthees en Overloonseweg voor het hoogwater van juni 2016. Het model benadert de gemeten afvoer bij Holthees veel beter dan in de voorgaande simulatie (Figuur 63). Voor meetpunt Overloonseweg is de vorm van de gesimuleerde afvoergolf ook beter (vergelijk met Figuur 57).

Figuur 69 presenteert het gesimuleerde en gemeten afvoerverloop voor wat kleinere afvoerpieken. Het model onderschat of overschat deze niet structureel en de gesimuleerde basisafvoer is ook redelijk. De simulatie laat één afvoerpiekje zien halverwege februari die niet zichtbaar is in de metingen. Op basis van het slingerende verloop van de meting en de ineens sterk dalende basisafvoer, vermoeden wij dat de meting in deze periode niet nauwkeurig is.

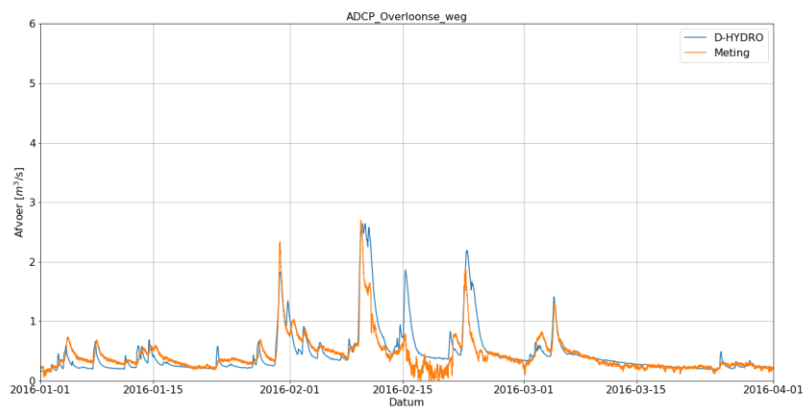
*Figuur 67
Hoogwater juni 2016
bij meetpunt
Holthees*



*Figuur 68
Hoogwater juni 2016
bij meetpunt
Overloonseweg*

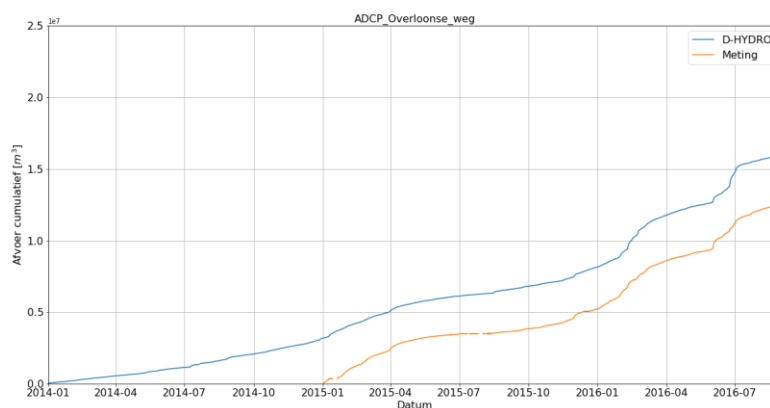


*Figuur 69
Afvoer bij meetpunt
Overloonseweg
begin 2016*



Figuur 70 presenteert het gesimuleerde en gemeten cumulatieve afvoerverloop voor meetpunt Overloonseweg. Rekening houdend met het verschil tussen meting en simulatie op 1 januari 2015, simuleert het model de cumulatieve afvoer over 2015 en 2016 redelijk goed.

*Figuur 70
Cumulatieve afvoer
bij meetpunt
Overloonseweg*



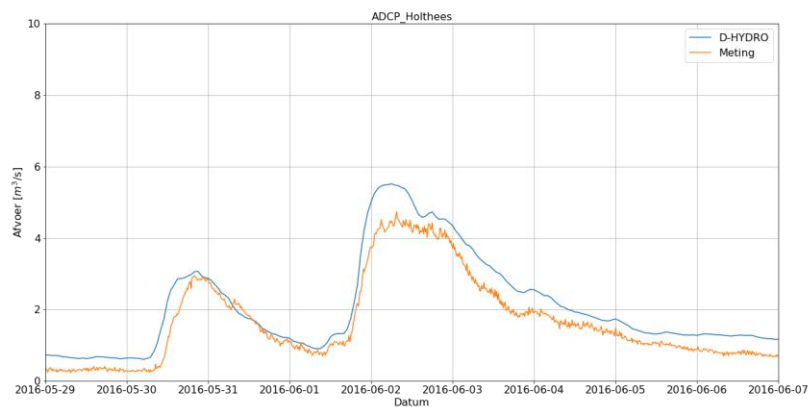
3.10.2

Dikte drainerend pakket 1.50 m

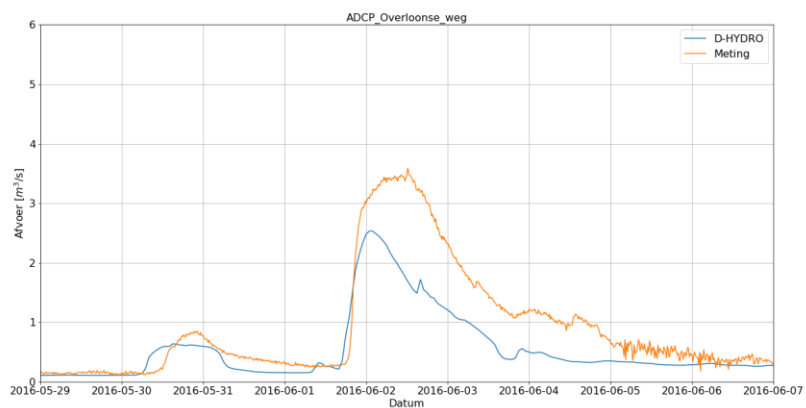
Figuur 71 tot en met Figuur 74 presenteren de resultaten, maar nu voor een dikte van het drainerend pakket van 1.50 m. Om de basisafvoer te beperken, zijn de drainagewaarden van de drainerende laag op een factor 6 van de oorspronkelijke waarden gezet. In Figuur 73 kunnen we zien dat de afvoer nog wat te hoog blijft hangen in maart. Dat kan nog worden verbeterd door de factor te verhogen in combinatie met een aanpassing van de maaiveld drainage van 5 dagen naar 10 of 20 dagen. Dat is niet meer gedaan in het project. In de simulatie met een drainerende dikte van 0.75 m in de vorige paragraaf was de factor 4.

Verder zien we vooral dat het afvoerverloop bij Holthees beter wordt beschreven in vergelijking met een drainagediepte van 0.75 m en het afvoerverloop bij Overloonseweg wat minder.

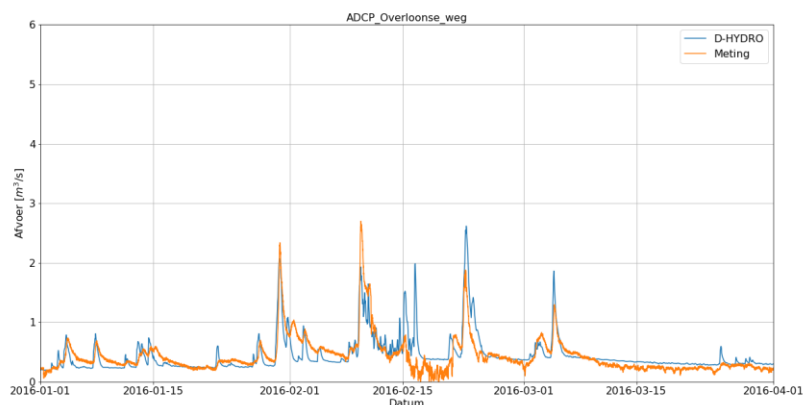
*Figuur 71
Hoogwater juni 2016
bij meetpunt
Holthees*



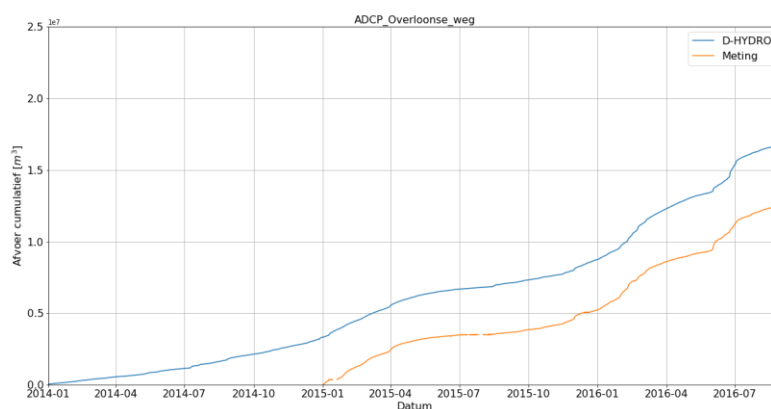
*Figuur 72
Hoogwater juni 2016
bij meetpunt
Overloonseweg*



*Figuur 73
Afvoer bij meetpunt
Overloonseweg
begin 2016*



*Figuur 74
Cumulatieve afvoer
bij meetpunt
Overloonseweg*



3.11 Finale simulatie

Op basis van voorgaande hebben we besloten om een finale simulatie te maken met het 1D2D-RR-model met een dikte van het drainerend pakket van 0.75 m (beschreven in paragraaf 3.10.1) en het verharde gebied buiten de rioleringsgebieden als braakliggend terrein. Daarnaast hebben we de handmatige aanpassing van stuwstanden uit FEWS overgenomen, zodat we ook de gesimuleerde en gemeten waterstanden kunnen vergelijken. In de volgende paragrafen presenteren we het inundatiebeeld, de afvoeren bij de meetpunten en de waterstanden.

3.11.1 Inundatiebeeld

Figuur 75 presenteert het inundatiebeeld uit de 1D2D-RR simulatie in het blauw. In het roze daaronder is ook nog het inundatiebeeld gegeven uit Figuur 65. Door het schematiseren van het verharde gebied buiten de rioleringsgebieden als onverhard gebied en door opname van handmatige aanpassingen van de stuwstanden is de maximale omvang van de inundaties

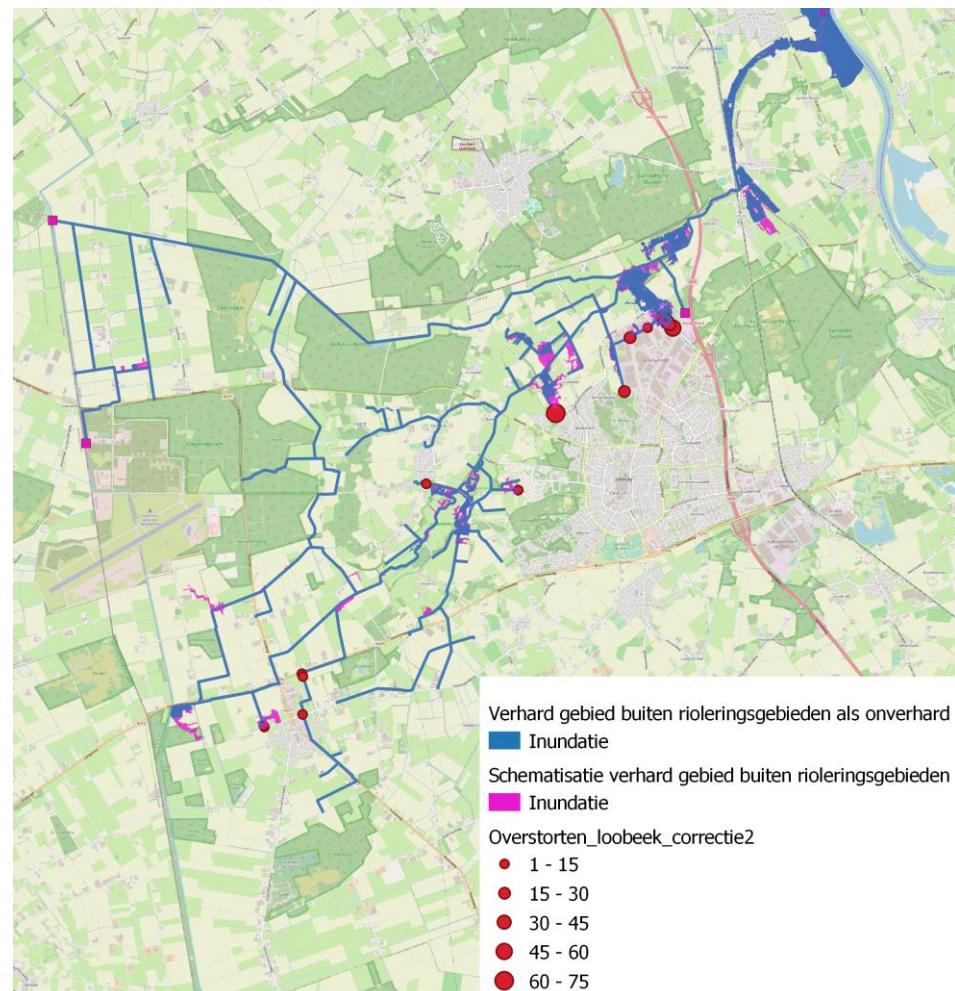
flink afgenomen, maar de gesimuleerde inundatie omvang is nog steeds te groot.

3.11.2

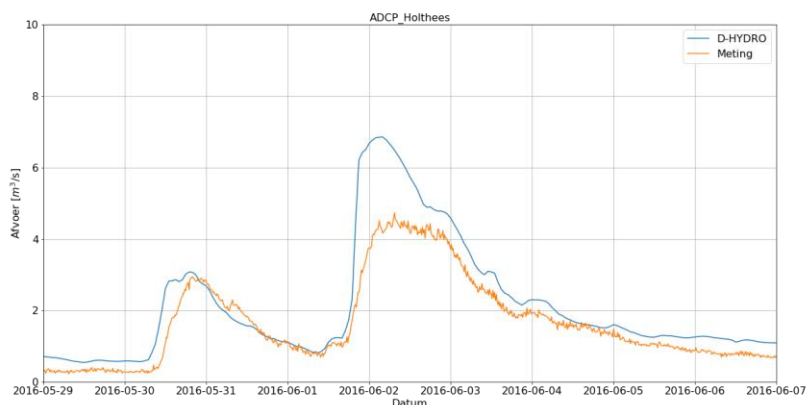
Afvoeren bij de meetpunten

Figuur 76 en Figuur 77 presenteren weer het afvoerverloop in de meetpunten Holthees en Overloonseweg, maar nu voor de 1D2D-RR simulatie. Het afvoerverloop bij Overloonseweg komt nog wel redelijk goed overeen met die van de 1D-RR simulatie (Figuur 72), maar het afvoerverloop bij Holthees wijkt flink af van de 1D-RR simulatie. (Figuur 71) Na analyse van de afvoeren in de Loobek blijkt dat dit komt door de inundaties benedenstrooms van overstorten in het noorden van Venray. Door deze inundaties, die in de 1D-RR simulatie niet optreden, komt het overstortwater versneld op de Loobek terecht. Duidelijk is dat de gesimuleerde afvoer veel te hoog is. Ook duidelijk is dat de gesimuleerde afvoer uit het verharde gebied van Venray te groot is, want in de praktijk treden deze inundaties niet op.

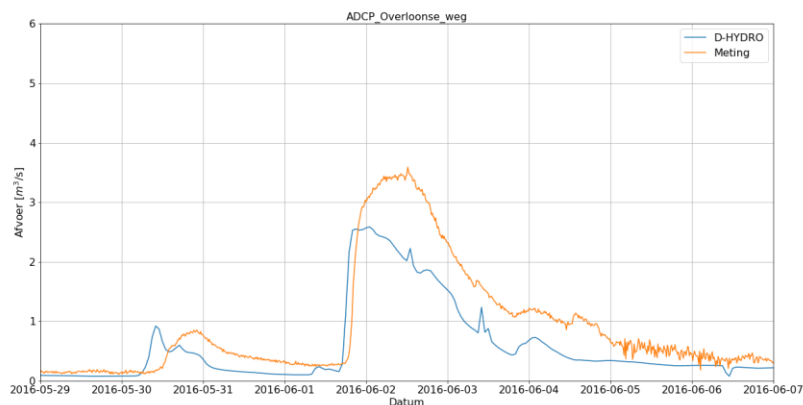
*Figuur 75
Inundatiebeeld bij
schematisatie
verhard gebied
buiten
rioleringsgebieden
als verhard (roze)
en als onverhard
(blauw)*



*Figuur 76
Hoogwater juni 2016
bij meetpunt
Holthees*



*Figuur 77
Hoogwater juni 2016
bij meetpunt
Overloonseweg*

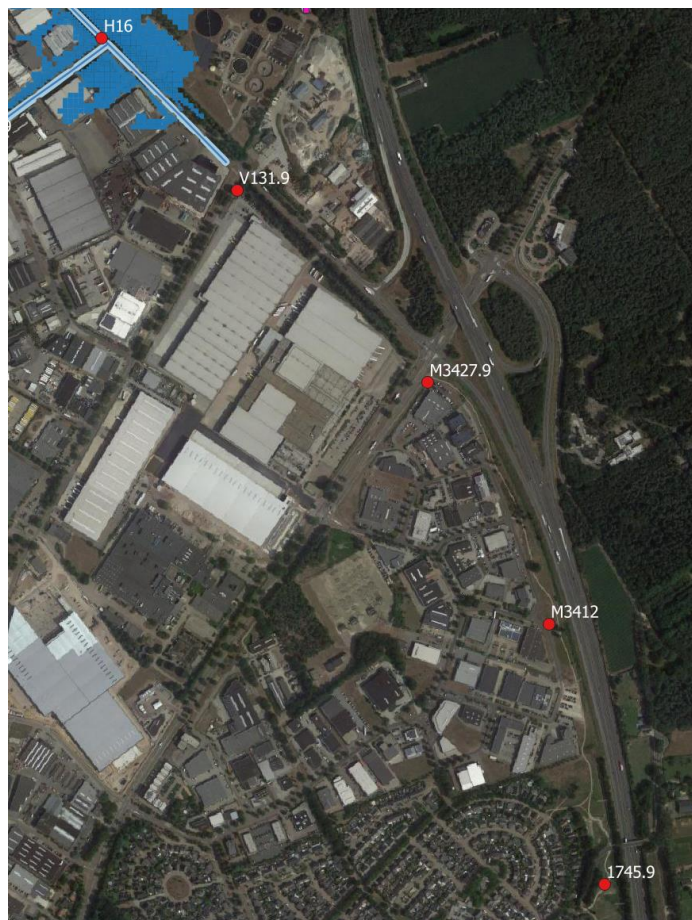


We hebben voor de grootste overstorten in Venray (rioleringsgebieden Venray, Smakterheide en Keizersveld) het geschematiseerde verharde oppervlak vergeleken met het verharde oppervlak uit de rioleringsplannen. Daarbij blijkt dat het geschematiseerde verharde gebied (262 ha) 15% groter is dan het verharde in de rioleringsplannen. Dat is een significant verschil, maar dat verklaart niet de grootschalige inundaties benedenstrooms van de overstorten.

Een andere mogelijke verklaring is dat we een deel van de overstorten hebben moeten verplaatsen naar het oppervlaktewater, omdat ze niet terechtkwamen op het oppervlaktewater. Deze vier overstorten zijn met rode punten weergegeven in Figuur 78.

Bij een nadere beschouwing lijken deze overstorten uit te komen in een droge bedding waarin het zou kunnen infiltreren en/of ook deels vertraagd via de bedding op het oppervlaktewater zou kunnen afvoeren. De betreffende overstorten vertegenwoordigen in het model een verhard oppervlak van 116 ha en dat is dus een significant deel van het verharde oppervlak in het model. De wijze waarop deze overstorten zijn geschematiseerd kan goed verklaren waarom er een te groot overstortvolume bij meetpunt Holthees passeert en de afvoerpiek daar ook veel te hoog is.

*Figuur 78
Verplaatste
overstorten*



Naast bovenstaande verklaring kan het ook zijn dat de berging in de rioolstelsels is onderschat. Ook merken we op dat het verharde gebied simpel is geschematiseerd. In werkelijkheid zal de afvoercapaciteit naar de overstorten beperkt zijn en zal een aanzienlijk deel van de neerslag op straat en in laagtes worden geborgen, waarna het deels vertraagt tot afvoer komt naar de overstorten. Het is mogelijk dat hierdoor in de praktijk meer afgevoerd kan worden door de rioolgemalen en dit water komt dan niet meer via de overstorten tot afvoer. In de schematisatie is al wel een vertraging in de riolering geschematiseerd, maar dit heeft geen invloed op de afvoer via de rioolgemalen. De vertraging zorgt er wel voor dat overstortpieken kleiner zijn 40 l/s/ha. Het waterschap houdt zelf als stelregel aan dat de overstorten door beperkingen in de afvoercapaciteit van rioolstelsel begrensd zijn op orde 90 l/s/ha.

3.11.3

Waterstanden

Figuur 79 tot en met Figuur 82 presenteren de gesimuleerde waterstanden naast gemeten waterstanden. We zien in ieder geval dat er vaak een verschil in basisniveau van de waterstand is tussen de meting en de simulatie. Een deel hiervan kan te maken hebben met een onnauwkeurig geschematiseerde basisafvoer of door onnauwkeurig geschematiseerde ruwheden. Maar onze ervaring is dat de basisafvoer een kleine invloed heeft als deze enigszins

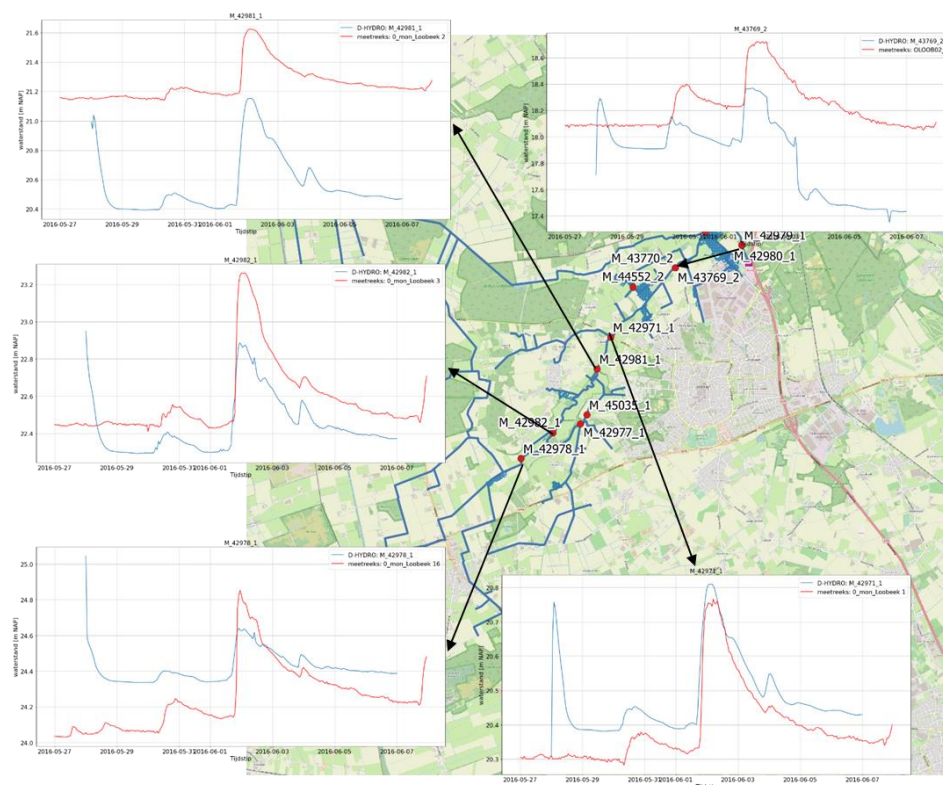
nauwkeurig is geschematiseerd. Aanpassing van de ruwheden heeft daarnaast niet alleen op het basisniveau van de waterstanden invloed, maar ook op de piekwaterstanden. Verklaringen die wij vaker vinden hebben veelal te maken met:

- een verkeerd geschematiseerde stuwhoogte;
- onnauwkeurige bodemprofielen of een te lage resolutie om de bodemveranderingen te kunnen volgen;
- een verkeerde nulpuntinstelling van de meting;
- een te grote afstand tussen het rekenpunt waarin de gesimuleerde waterstand is afgelezen en het meetpunt.

Deze oorzaken kunnen in een vervolg nader worden onderzocht. Wij hebben ons in de analyse verder vooral gericht op de waterstandstijgingen ten opzichte van het basisniveau.

Bovenstrooms van Overloonseweg (Figuur 79) is de gesimuleerde (blauw) waterstandstijging over het algemeen wat te klein. Het gesimuleerde waterstandsverloop in meetpunt Overloonseweg (rechtsboven) wijkt sterk af van de meting en we zien hier de aanpassing van een stuwhoogte die we niet in de meting terugzien. Mogelijk zijn de handmatige aanpassingen van de stuwstanden niet goed in FEWS geregistreerd.

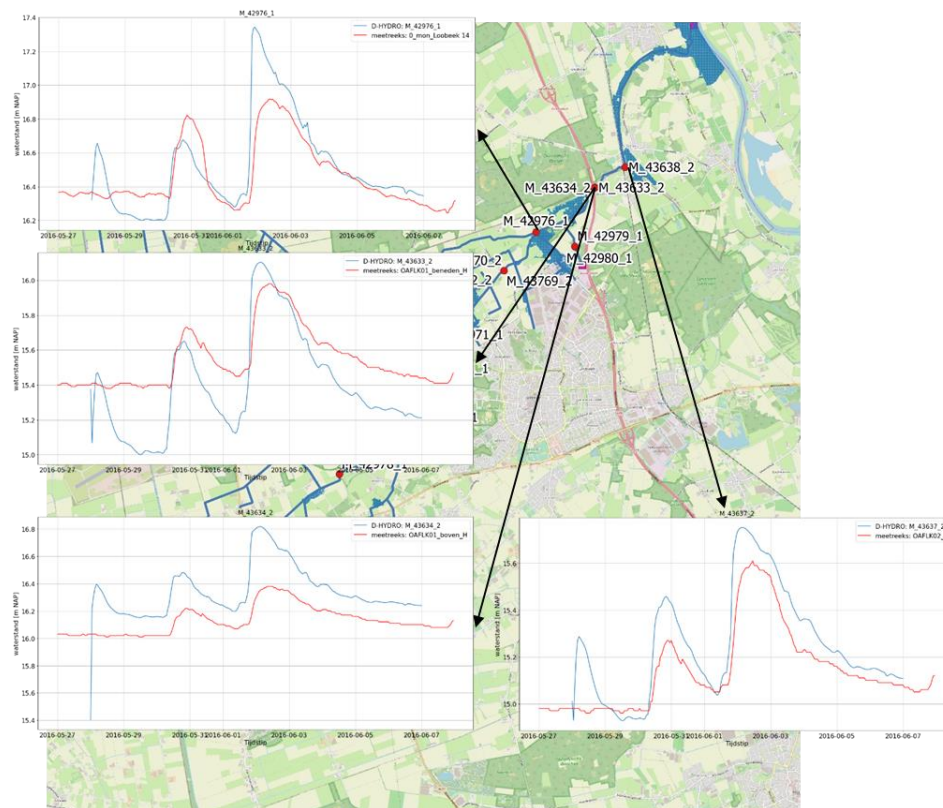
*Figuur 79
Meetpunten
bovenstrooms van
Overloonseweg*



Figuur 80 presenteert de gesimuleerde en gemeten waterstanden benedenstrooms van meetpunt Overloonseweg. Deze meetpunten liggen allemaal benedenstrooms van de grootste overstorten van Venray. We hebben bij de analyse van de afvoeren al gezien dat deze overstorten te groot zijn gesimuleerd en zorgen voor een te grote afvoer in de Loobek. We

zien dan ook dat de gesimuleerde waterstandstijgingen groter zijn dan de gemeten waterstandstijgingen. Dat is in lijn met wat we hebben gezien voor de afvoer bij meetpunt Holthees.

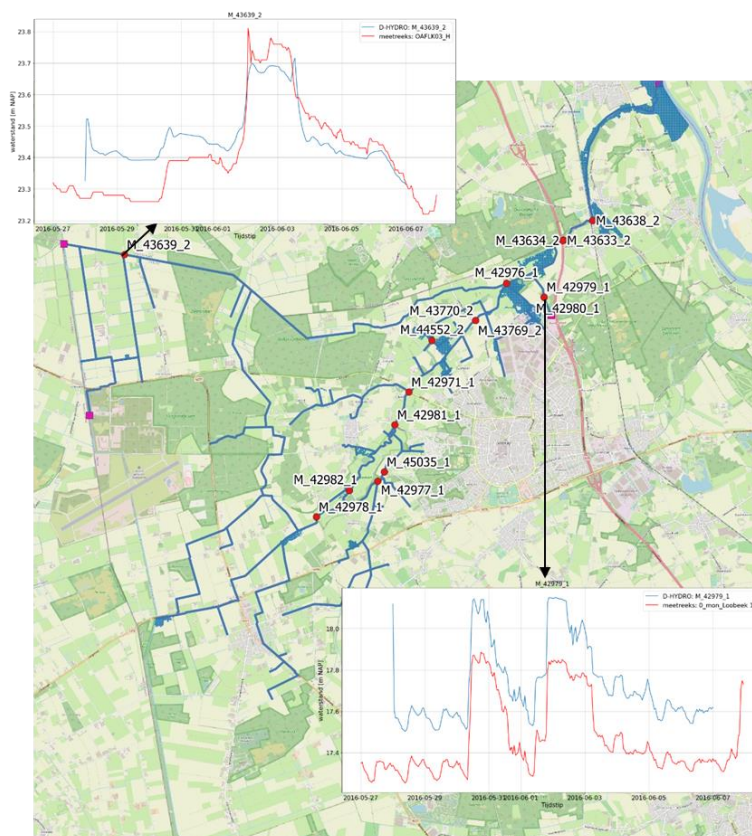
*Figuur 80
Meetpunten
benedenstrooms van
Overloonseweg*



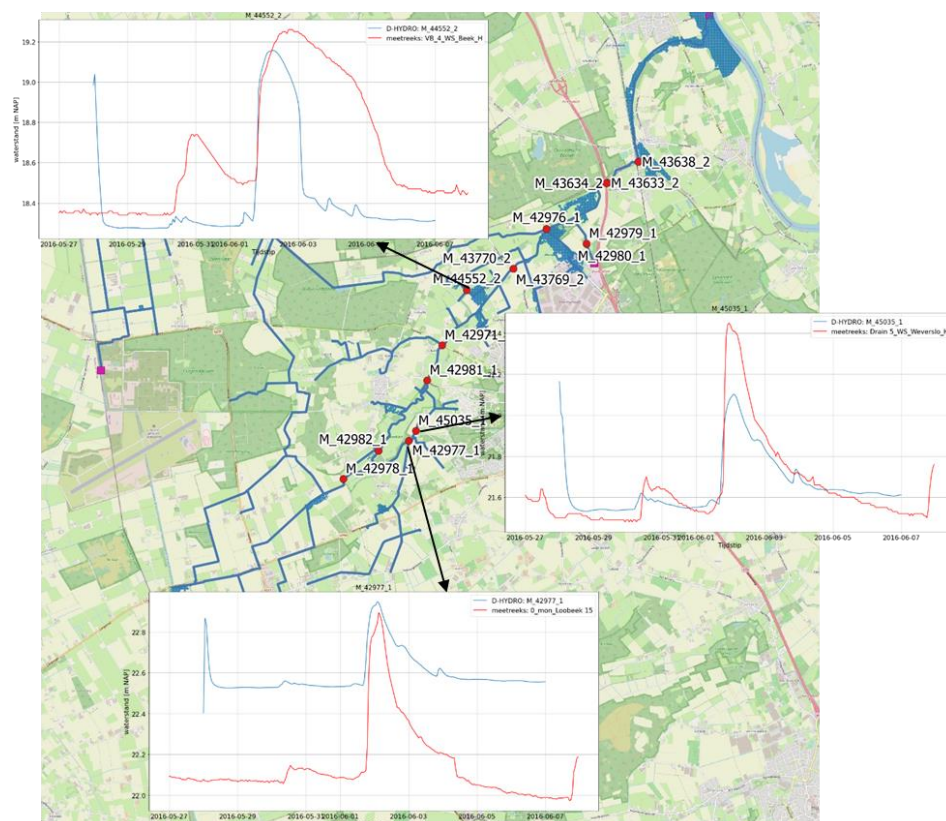
Figuur 81 presenteert de waterstanden in de waterlopen waarop in de schematisatie aanvoeren zijn geschematiseerd. We zien dat met de inlaat bij Vredepeel (linksboven) de waterstand redelijk goed wordt benaderd. In de waterloop met de effluentlozing van RWZI Venray wordt de dynamiek in de waterstand ook goed beschreven. Voor beide meetpunten duidt dit erop dat de randvoorwaarden hier redelijk nauwkeurig zijn geschematiseerd.

Figuur 82 presenteert de waterstanden in de zijbeken. We zien linksboven een opvallend verloop van de gemeten en ook van de gesimuleerde waterstand. In vergelijking met andere meetpunten is de duur van het hoogwater in de meting groot. In de simulatie treedt de waterstandstijging vooral op door inundatie vanuit de Loobeek. Mogelijk is dit in de praktijk ook gebeurd, maar dan in een nog wat grotere mate. De andere twee meetpunten liggen in de Weverslo. We zien dat het gesimuleerde waterstandstijgingen te klein zijn.

Figuur 81
Waterstanden bij
inlaat Vredepaal en
RWZI Venray



Figuur 82
Waterstanden in de
zijbeken



3.12

Slotbeschouwing

De insteek van het onderzoek was vooral gericht op de kalibratie en schematisatie van het onverharde gebied met het Ernst-concept. In het modelgebied komt ook stedelijk gebied voor met overstorten (o.a. Venray). Dit stedelijke gebied is direct ook geschematiseerd en in de loop van het onderzoek kwamen meer gedetailleerde gegevens van de riolering beschikbaar die ook in de schematisatie zijn opgenomen. Na de kalibratie op de basis en intermediaire afvoer is de Ernst-schematisatie gekalibreerd op het hoogwater van juni 2016. Daarbij bleek dat de hoogwatergolven bij meetpunten Overloonseweg en Holthees in de schematisatie voor een belangrijk deel worden bepaald door afvoer vanuit riooloverstorten. Dit compliceert de kalibratie van het model aanzienlijk, omdat over het functioneren van de rioolsystemen in dit gebied in extreem natte omstandigheden, zoals in juni 2016, weinig bekend is. Het is dan ook de vraag op welk deel van de hoogwatergolf het onverharde gebied dient te worden afgeregeld.

Het was binnen het beschikbare budget en doorlooptijd niet mogelijk om de schematisatie van de riolering beter mee te nemen, bijvoorbeeld door gebruik te maken van overstorthoeveelheden uit het INFOWORKS-model van de gemeente Venray. Deze gegevens waren tijdens het onderzoek nog niet beschikbaar. Wel is het model ook beoordeeld op een andere periode waarin de overstorten een kleinere rol spelen (Figuur 58). Voor die periode zien we dat het model het afvoerverloop beter beschrijft. Voor juni 2016 met grote gesimuleerde overstorten blijft het resultaat enigszins onbevredigend. Het model onderschat de afvoerpiek en het volume in de golf bij Overloonseweg en overschat de afvoerpiek en het volume in de golf bij Holthees. Dit gedrag zien we ook grotendeels terug in de vergelijking van gemeten en gesimuleerde waterstanden.

Wij zien ook iets opvallends in de schematisatie van het onverharde gebied. Een groot deel van de in het onverharde gebied gelegen kleinere waterlopen zijn niet geschematiseerd (Figuur 61). De berging en vertraging van de afvoergolven in deze waterlopen is dus ook niet gesimuleerd. Dit zou voor juni 2016 de oorzaak kunnen zijn voor de te snel stijgende hoogwatergolf in de simulatie (Figuur 77) en ook de te smalle afvoergolf (zelfde figuur). Door dichtgroeien van de kleinere waterlopen kan in deze waterlopen een aanzienlijke berging en demping hebben plaatsgevonden.

Daarnaast zien we dat alle gebieden wegzijgingsgebieden zijn geworden, dus ook de gebieden langs de beek die volgens de SIMGRO7 simulatie een kwelflux hebben. Dit komt doordat we de maandgemiddelde grondwaterfluxen uit de SIMGRO7 simulatie met 0.4 mm/dag hebben moeten verlagen om tot een voldoende nauwkeurige cumulatieve afvoer te komen over meerdere jaren. Wij achten dit niet helemaal realistisch en verwachten dat dit komt doordat al het onverharde gebied in het studiegebied als onverhard is geschematiseerd. Het Ernst-concept is vooral bedoeld om de afvoer via drains en bodem naar de relatief dichtbij gelegen drainerende

waterlopen af te voeren en niet zozeer om diepe grondwaterstroming te simuleren naar ver weg gelegen waterlopen. In eerdere onderzoeken, o.a. voor Waterschap De Dommel, hebben we gezien dat dit soort concepten betere resultaten geeft als alleen het direct gedraineerde gebied wordt geschematiseerd. De hoger gelegen gronden met diepe grondwaterstanden (bijvoorbeeld GHG dieper dan 0.75 m) worden dan niet geschematiseerd als onverhard oppervlak, maar indirect meegenomen als kwelflux bij lager gelegen gedraineerde gebieden.

Op basis van deze slotbeschouwing hebben we een aantal aanbevelingen die de schematisatie en kalibratie van 1D2D-RR Ernst modellen vereenvoudigen en verbeteren. Deze hebben we beschreven in het afsluitende hoofdstuk in paragraaf 5.2.

4 WFLOW-SBM model

4.1 Inleiding

Het WFLOW-SBM model is een neerslag-afvoermodel. Dit model is opgezet gebruikmakend van de modelbouwscripts van Deltares. In dit hoofdstuk beschrijven we het WFLOW-SBM model, de basisgegevens die we gebruiken voor de modelbouw, de schematisatie van het model en de kalibratie van het model.

4.2 Modelbeschrijving

4.2.1 WFLOW

WFLOW is een volledig gedistribueerd hydrologisch model. Een groot voordeel hiervan is dat er daardoor maximaal gebruikt gemaakt kan worden van de rastergegevens die beschikbaar zijn (terreinhoogte, neerslag, verdamping, landgebruik, bodemtype, fluxen uit grondwatermodellen etc.). Gedistribueerd modelleren betekent in feite dat er met een rekengrid gewerkt wordt. Voor elke gridcel wordt een waterbalans opgelost en water kan in benedenstrooms richting naar een andere gridcel afstromen, zowel door de bodem als over het landoppervlak. WFLOW is open source en van oorsprong gebouwd in een PCRaster Python raamwerk. Recentelijk (oktober 2020) is het omgezet naar Julia om meer flexibiliteit te hebben bij het versnellen van de code op GPU's. Bij dit omzetten is er tevens ook een grondwatermodule toegevoegd, deze module zit dus nog niet in de PCRaster code.

Binnen WFLOW zijn er meerdere hydrologische modellen beschikbaar, voorbeelden zijn: HBV, SBM, Topoflex etc. Binnen dit project wordt gebruik gemaakt van SBM, oftewel Simple Bucket Model.

4.2.2 SBM PCRaster-Python

Documentatie

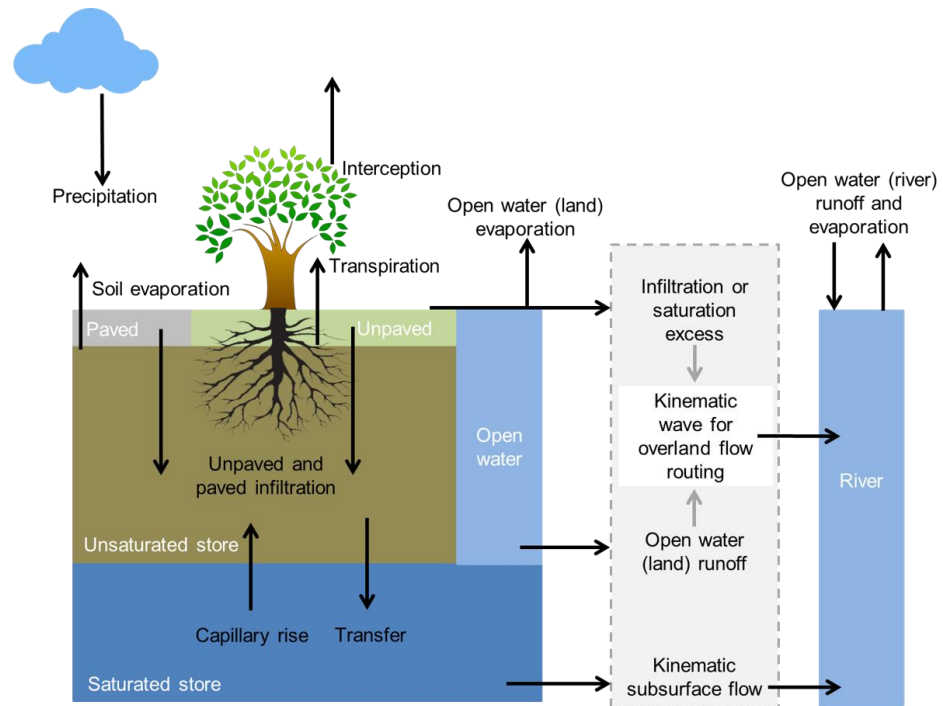
Een beknopte beschrijving van WFLOW en vooral SBM is door Deltares opgenomen op de WFLOW-website [2]. Dit geeft een goede achtergrond voor de lezer die onderzoek is naar meer informatie. Een meer gedetailleerde beschrijving van WFLOW is opgenomen in het WFLOW-techdoc. Dit is al een wat ouder document dat niet meer volledig aansluit bij de nieuwste WFLOW-versie, het bevat echter wel een uitgebreide beschrijving van het model, de parameters en vergelijkingen. Zowel deze pdf als website beschrijven allebei de PCRaster-Python versie, dus zonder grondwater. De nieuwste WFLOW-versie (met grondwatermodellering) is nog niet in detail gedocumenteerd, een werkversie is beschikbaar via github

(<https://deltares.github.io/Wflow.jl/dev/model/sbm/>). Binnen dit rapport beschrijven we in de basis het WFLOW-SBM model en zijn een aantal belangrijke figuren overgenomen. Voor verdere detailinformatie verwijzen we naar de zojuist genoemde bronnen.

Modelachtergrond WFLOW-SBM

De processen die opgenomen zijn in SBM zijn weergegeven in Figuur 83.

*Figuur 83
Overzicht van de
processen in het
SBM-model.
Overgenomen van
[wflow.readthedocs.io](https://deltares.github.io/Wflow.jl/dev/model/sbm/)*

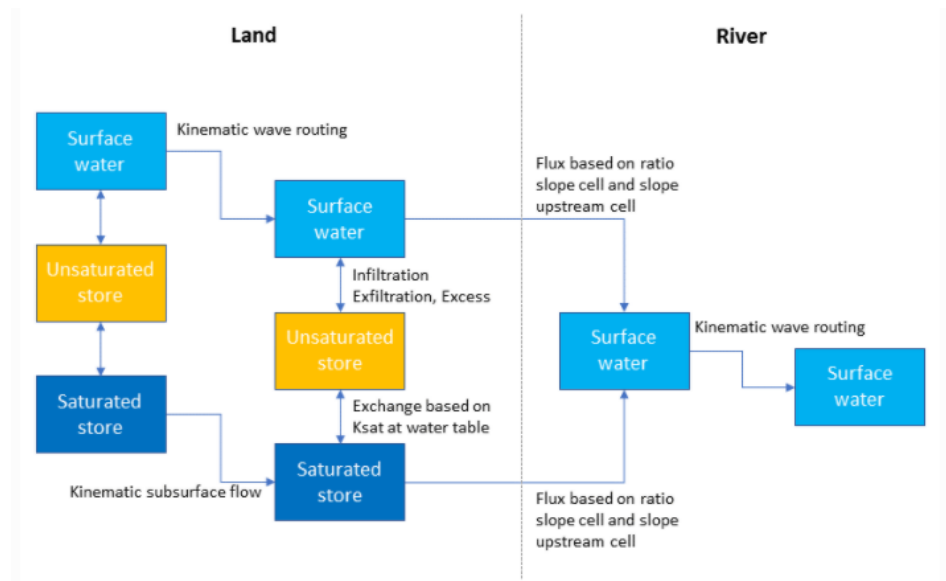


Voor de fysische processen zijn modules opgenomen, het gaan om de volgende:

- Interceptie model gebaseerd op Gash model;
- Bodem module (gebaseerd op TOPOG_SBM-model) incl. laterale grondwaterstroming;
- Sneeuwsmelt module;
- Kinematic wave routing module;
- Reservoirs en meren;
- Irrigatie (gebaseerd op Lintul model).

De onverzadigde zone kan opgesplitst worden in meerdere lagen. Een kinematic wave wordt gebruikt voor zowel de oppervlaktestroming als de stroming in de verzadigde zone. Weerstand (conductiviteit/ K_{sat}) controleren de fluxen tussen de lagen en de terreinhelling en -ruwheid bepalen de fluxen naar het oppervlaktewater (Figuur 84).

*Figuur 84
Schematisatie van
de bodem en het
oppervlaktewater.
Overgenomen van
wflow.readthedocs.io*



Een WFLOW-SBM model bestaat veelal uit een groot aantal cellen. Voor elke cel wordt een waterbalans opgelost en omliggende cellen zijn met elkaar verbonden. Een cel wordt als land- of rivier-cel gezien. Water kan tussen cellen maar één kant opstromen. Er vindt dus geen opstuwing plaats en water kan ook niet van de watergang de bodem instromen.

Infiltratie

Voor elke cel is er een infiltratiecapaciteit gedefinieerd voor verhard en onverhard oppervlak. Afhankelijk van de verharde fractie bepaalt dit hoeveel water er maximaal kan infiltreren. Op basis van het aanwezige water (neerslag, runoff vanuit een andere cel, verdamping etc.) wordt in combinatie met de capaciteit in de bodem bepaald hoeveel water er daadwerkelijk infiltreert en hoeveel water er via de oppervlakte afstroomt.

Transpiratie en evapotranspiratie

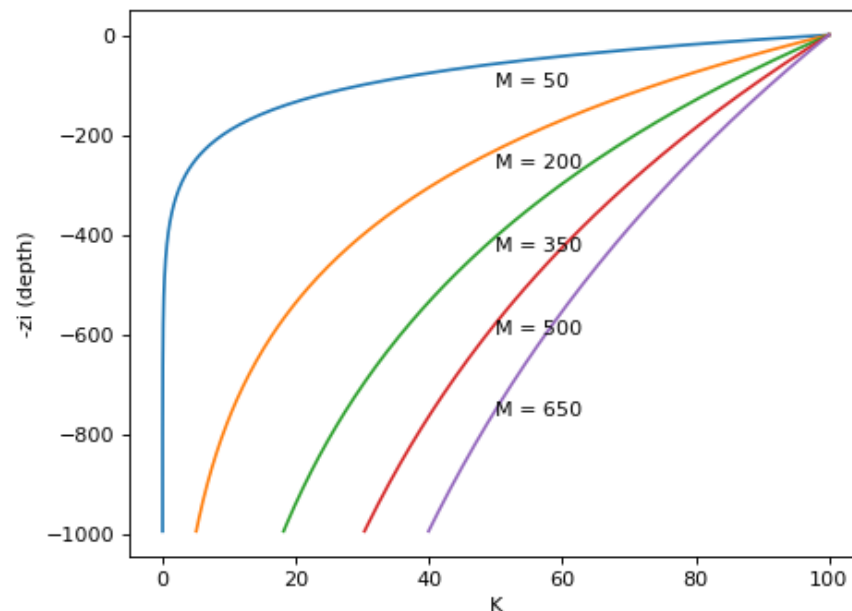
De potentiële verdamping bepaalt de maximum mogelijke verdamping. Hierbij wordt aangenomen dat alleen de bovenste bodemlaag kan verdampen (vaak 100 mm dik). Dit betekent dat eerst het water uit de bovenste laag van de onverzadigde zone verdampt, als er dan nog water over is, verdampt er water uit de verzadigde zone. Dit kan alleen als de verzadigde zone tot aan de bovenste bodemlaag rijkt. Transpiratie wordt bepaald op basis van de worteldiepte (opgegeven per gridcel). Als de verzadigde zone boven de worteldiepte ligt kan er transpiratie vanuit de verzadigde zone plaats vinden, anders alleen uit de onverzadigde zone. Er wordt ook rekening gehouden met capillaire nalevering.

Verzadigde en onverzadigde zone

Zoals eerder genoemd worden de fluxen in de bodem bepaald door de conductiviteit (mm/d). Hiervoor wordt per cel een waarde op gegeven. Deze waarde neemt exponentieel af met de diepte (Figuur 85). Zowel deze e-macht als de conductiviteit zijn aanpasbaar. Hoe groot de onverzadigde zone

en verzadigde zone reservoirs zijn is afhankelijk van de bodemdiepte en porositeit. Deze dieptes, porositeit, conductiviteit en afname van conductiviteit met de diepte zijn aanpasbaar. Verder is het nog mogelijk om reservoirs en irrigatie toe te voegen aan het model.

*Figuur 85
Afname
conductiviteit met
diepte als functie
van de 'M' waarde
(waarde van
exponent).
Overgenomen van
wflow.readthedocs.io*



In de verzadigde zone wordt het water 'gerout' van cel naar cel en uiteindelijk naar het oppervlaktewater. Dit gebeurt met een kinematic wave. Hierin zijn de helling en horizontale weerstand de belangrijkste factoren. De horizontale weerstand wordt bepaald als factor van de verticale weerstand.

Oppervlakkige afvoer en oppervlaktewater

De routing van zowel oppervlakkige afvoer en afvoer in watergangen wordt uitgevoerd met een kinematic wave equation. De vertraging en afvlakking van de golf wordt veroorzaakt door een opgelegde manning ruwheid in combinatie met de helling. Water kan maar één kant opstroomen. In de rivier is dit stroomafwaarts en over het land is dit in de richting van de grootste helling (hiervoor wordt een local drainage direction bepaald).

Kwel en wegzijging

Kwel en wegzijging wordt niet door het WFLOW berekend. Er kan per cel een waarde voor gedefinieerd worden, dit kan ook in de tijd opgegeven worden.

Modelparameters

WFLOW bevat een enorm aantal aanpasbare parameters. Elke parameter waarde moet ruimtelijk opgegeven worden per reken-cel. Het is natuurlijk ook mogelijk om elke cel dezelfde waarde te geven. Daarnaast kan de gebruiker ook kiezen om een parameterwaarde variabel in de tijd te maken, dit is bruikbaar voor bijvoorbeeld de kwel en misschien wat minder logisch voor een fractie verhard oppervlak. De belangrijkste parameters zijn inclusief hun beschrijving opgenomen in Tabel 2.

Tabel 2
Belangrijkste
WFLOW-Parameters

Parameter	Functie
CanopyGapFraction	Fractie neerslag die direct op de bodem terecht komt en niet via de bladeren.
EoverR	Ratio van de gemiddelde verdamping t.o.v. de neerslag voor natte bladeren. Dit bepaalt de verdamping van bladeren tijdens neerslag.
SoilThickness	De maximale bodemdikte
SoilMinThickness	De minimale bodemdikte. Als deze waarde anders is dan SoilThickness dan wordt de bodemdikte bepaald op basis van de topografische natheidsindex (functie van helling en LDD).
MaxLeakage	De maximale wegzijging
MaxPercolation	De maximale kwel
KsatVer	Verticale verzadigde conductiviteit van de bovenste bodemlaag. De M parameter bepaald de afname met diepte.
KsatHorFrac	Vermenigvuldigingsfactor om vanuit de verticale verzadigde conductiviteit de horizontale conductiviteit te bepalen.
InfiltCapPath	Infiltratiecapaciteit van verharde oppervlak
InfiltCapSoil	Infiltratiecapaciteit van onverhard oppervlak
M	De afname van verticale verzadigde conductiviteit met diepte
MaxCanopyStorage	De maximale wateropslag in de vegetatie (interceptie)
N and N_river	Manning N, wordt gebruikt voor de kinematic wave functie voor oppervlakte afvoer (N) en watergang (N_River)
PathFrac	Fractie verhard gebied per gridcel
RootingDepth	Worteldiepte
thetaR	Waterfractie bij verwelkingspunt
thataS	Waterfractie bij veldcapaciteit
c	Coefficient om de verticale flux te bepalen in de onverzadigde zone.

Voor kalibratie zijn de parameters SoilThickness, M, N, N_river en KsatVer en KsatHorFrac de belangrijkste. Vergroten van de bodemdikte vergroot de capaciteit van het bodemreservoir. De M parameter beïnvloedt de recessie na een piek. De manning N kan de piek afvlakken en vertragen. De conductiviteit zorgt voor het afvlakken van de piek en verhogen van de baseflow.

Beperkingen gekozen concept

Op voorhand kent het WFLOW-SBM concept een aantal beperkingen. De belangrijkste heeft te maken met de Kinematic Wave methodiek. De kinematic wave wordt gebruikt voor oppervlaktetroming, verzadigde zone afvoer en afvoer door de watergang. Hierbij wordt de aanname gedaan dat topografie de belangrijkste factor is in het bepalen van de afvoerrichting. Dit

is een valide aanname voor gebieden met een grote helling. Voor vlakke gebieden is de stijghoogte gradiënt echter niet gelijk aan de helling. Daarnaast kan een opstuwing niet meer genegeerd worden als het gebied vlakker is. Dit heeft het volgende gevolg:

- Oppervlaktewater afvoer, en in mindere mate oppervlakkige afvoer, kan onrealistische resultaten geven in vlakke terrein. Dit is vooral van belang als opstuwing relevant wordt.
- Voor de verzadigde zone afvoer wordt geen rekening gehouden met stijghoogteverschillen tussen twee cellen. Vooral in vlakke gebieden, en in nog sterkere mate poldergebieden, leidt dit tot overschattingen.

4.2.3

SBM Julia

De nieuwste WFLOW-versie (met grondwatermodellering) is nog niet in detail gedocumenteerd, een werkversie is beschikbaar via github [3]. Binnen dit rapport beschrijven we in de basis het verschil met de PCRaster versie. Voor verdere detailinformatie verwijzen we naar de zojuist genoemde bronnen.

Binnen het Julia model worden de verticale componenten, oppervlakteafvoer en de watergangen op een vergelijkbare manier uitgerekend als binnen het PCRaster model. Het verschil zit in de horizontale grondwaterstroming. De documentatie is nog heel beperkt en deze paragraaf is dat daardoor ook. Binnen het PCRaster model wordt de horizontale component met een kinematic wave uitgerekend terwijl in het Julia model een grondwatermodel wordt toegepast die extra functionaliteit biedt. Zo wordt onder andere de flux naar de rivier maar ook de flux van rivier naar aquifer bepaald. Het is hiermee dus mogelijk voor water om zowel van aquifer naar rivier als van rivier naar aquifer te stromen.

4.2.4

Toepassing binnen dit project

Binnen dit project is de PCRaster versie van het WFLOW-model toegepast. Deze keuze is gemaakt omdat voor deze versie gedetailleerde documentatie en ook modelbouwscripts beschikbaar waren. De Julia versie heeft nog niet zoveel documentatie en is pas recent ontwikkeld. De modelbouw moet vanuit de basis gedaan worden en hiervoor waren tijdens dit project nog geen scripts beschikbaar of toegankelijk. Met die reden is gekozen om eerst een basis PCRaster model op te bouwen en dit model te kalibreren. Het was de bedoeling om dit model daarna om te zetten naar een Julia-model, maar daarvoor was in het project geen tijd meer beschikbaar.

4.3

Landgebruik, bodemtype en DTM

Voor het opzetten van een WFLOW-model is een hoogtekartaat nodig en moeten meerdere parameterkaarten gemaakt worden. Omdat die parameters veelal een belangrijk link hebben met landgebruik en bodemtypes vormen de landgebruikkaart en bodemkaart een belangrijke basis. Hiervoor wordt

dezelfde informatie gebruikt als bij de Ernst modellering. Figuur 3 en Figuur 5 visualiseren deze kaarten. Het AHN3 is als hoogtemodel gebruikt. De bestaande WFLOW-modelbouwscrippts hebben een beperking in de te gebruiken klasseindelingen voor bodemtype en landgebruik. Deze klassen zijn anders dan in dan Ernst. De Ernst klassen zijn meer op Nederland gericht terwijl dat WFLOW meer internationale landgebruik en bodemtypen onderscheid (Figuur 86).

*Figuur 86
WFLOW-SBM
landgebruik (links)
en bodem (rechts)*

		CODE	VALUE
0	Water		
1	Evergreen Needle leaf Forest	1	clay(heavy)
2	Evergreen Broadleaf Forest	2	silty clay
3	Deciduous Needle leaf Forest	3	clay (light)
4	Deciduous Broadleaf Forest	4	silty clay loam
5	Mixed Forests	5	clay loam
6	Closed Shrublands	6	silt
7	Open Shrublands	7	silt loam
8	Woody Savannas	8	sandy clay
9	Savannas	9	loam
10	Grasslands	10	sandy clay loam
11	Permanent Wetland	11	sandy loam
12	Croplands	12	loamy sand
13	Urban and Built-Up	13	sand
14	Cropland/Natural Vegetation Mosaic		
15	Snow and Ice		
16	Barren or Sparsely Vegetated		

Omdat de beschikbare landgebruik- en bodemklassen niet gelijk zijn aan hetgeen WFLOW vraagt is er een conversietabel opgezet. Voor landgebruik is deze weergegeven in Tabel 3.

*Tabel 3
Conversietabel
landgebruik.*

Landgebruik Basis	Landgebruik WFLOW
Aardappel	Croplands
Graan	Croplands
Suikerbiet	Croplands
Mais	Croplands
Ander gewas	Croplands
Bollen	Croplands
Boomgaard	Closed Shrubland
Gras	Grasslands
Loofbos	Decideous broad leaf forest
Naaldbos	Evergreen neadle leaf forest
Natuur	Woody Savannas
Kale grond	Barren
Open water	Water
Verhard	Urban or Built-up
Kassen	Urban or Built-up

De beschikbare landgebruik klassen komen niet geheel overeen met het niveau van detail zoals in Nederland gangbaar is. Verder komt een Savanne in Nederland niet voor. De meeste conversies zijn logisch, een drietal anderen vraagt om een verduidelijking. Bij natuur is gekozen voor een Savannelandschap met houderige vegetatie omdat dit naar onze mening het meest overeenkomt met een natuurlijk landschap met variatie in gewassen.

Boomgaard is gekoppeld aan Closed Shrubland omdat een boomgaard niet volledig uit bomen bestaat maar doorgaans een mix is van bomen en gras. Als laatste hebben we kassen gekoppeld aan Urban Built up omdat dit niet als gewas te beschouwen is maar meer overeenkomt met een verhard oppervlak.

De bodemconversietabel is weergegeven in Tabel 4. Deze conversie is minder duidelijk te maken dan voor landgebruik. Hier is veel variatie in bodemtype gekoppeld aan dezelfde bodemklasse. Een deel hiervan is zeker te bediscussiëren.

*Tabel 4
Conversietabel
bodem.*

Bodemtype SOBEK RR	BodemtypeCodeWFLOW
Veengrond met veraarde bovengrond	Clay (Heavy)
Veengrond met veraarde bovengrond, zand	Sand
Veengrond met kleidek	Clay (Heavy)
Veengrond met kleidek op zand	Silty clay
Veengrond met zanddek op zand	Sand
Veengrond op ongerijpte klei	Clay (Heavy)
Stuifzand	Sand
Podzol (Leemarm, fijn zand)	Loamy sand
Podzol (zwak lemig, fijn zand)	Loamy sand
Podzol (zwak lemig, fijn zand op grof zand)	Loamy sand
Podzol (lemig keileem)	Loamy sand
Enkeerd	Loamy sand
Beekeerd	Loamy sand
Podzol grof zand	Sand
Zavel	Sandy loam
Lichte klei	Clay (light)
Zware klei	Clay (Heavy)
Klei op veen	Clay (Heavy)
Klei op zand	Clay (Heavy)
Klei op grof zand	Clay (Heavy)
Leem	Loam

Belangrijk om te vermelden is overigens dat de landgebruik- en bodemklassen niet direct gebruikt worden in WFLOW. De landgebruiks- en bodemklassen worden omgezet naar parameters voor de berekeningen. Ze kunnen daarmee handig gebruikt worden om parameterwaarden per landgebruikstype op te leggen en op die manier een ruimtelijk verschil in parameterwaarde te introduceren. Aan het einde van het project bleek dat het daarom wel mogelijk zou moeten zijn om een andere klasseindeling aan te houden die aansluit bij de gegevens zoals ze in Nederland beschikbaar zijn.

4.4

Meteobelasting

Als meteobelasting wordt gebruikt gemaakt van de metingen van meetstation Arcen. Hiervoor zijn de referentieverdamping, temperatuur en neerslag gedownload. Noot: het is ook mogelijk om ruimtelijk gedistribueerde neerslag op te leggen, er is echter gekozen om in eerste instantie gebruik te maken van de puntneerslag en de focus om de modelbouw te leggen.

4.5

Modelbouw WFLOW

Voor het bouwen van een WFLOW-model moet een grid gekozen worden en moeten er een aantal eigenschappen afgeleid worden zoals de Local Drain Direction, de helling en de watergangen. Tevens moet alle informatie (terreinhoogte, bodem, landgebruik) geresampled worden naar de juiste resolutie. Hiervoor zijn een aantal automatisch modelbouwscripts beschikbaar in PCRaster.

Gridresolutie

Als eerste is het belangrijk om een keuze te maken in gridresolutie voor het gedistribueerde model. Er is gekozen om gebruik te maken van een resolutie van 0.0004 graden (WFLOW rekent op een globale projectie). Dit levert een resolutie van ongeveer 50 m. De resolutie is een belangrijke keuze, bij een te grove resolutie wordt het stroomgebied niet goed geschematiseerd omdat de watergangen niet voldoende nauwkeurig worden meegenomen. Bij een te fijne resolutie loopt de rekentijd op. Er zijn geen typische juiste resolutie groottes bekend. Deze resolutie is door trial en error bepaald.

Stroomgebieden en watergangen

Het is mogelijk om in WFLOW een stroomgebied op te leggen en watergangen mee te geven. Hierdoor wordt er in de modelbouw rekening gehouden met de daadwerkelijke ligging van watergangen en de grens van het stroomgebied. Dit wordt echter niet als 'hard' aangenomen maar als richtinggevend. Bij de modelbouw zijn de totale gebiedsgrootte en de ligging van de watergangen meegenomen zoals opgegeven in Figuur 4. Deze gegevens resulteren echter niet een correct model. Het stroomgebied wordt niet goed weergegeven en watergangen worden niet allemaal aan het model toegekend. Dit komt doordat er te weinig hoogteverschillen zijn en de watergangen niet voldoende natuurlijk zijn.

DTM inbranden

Om toch te zorgen dat het model correct wordt gegenereerd, branden we een aantal elementen in het hoogtemodel. Als eerste wordt de rand van het stroomgebied in het DTM gebrand om te zorgen dat de modelbouwscripts de rand van het model duidelijk kunnen zien. Dit wordt gedaan door alle cellen buiten de modelrand een 'geen waarde' te geven als hoogte.

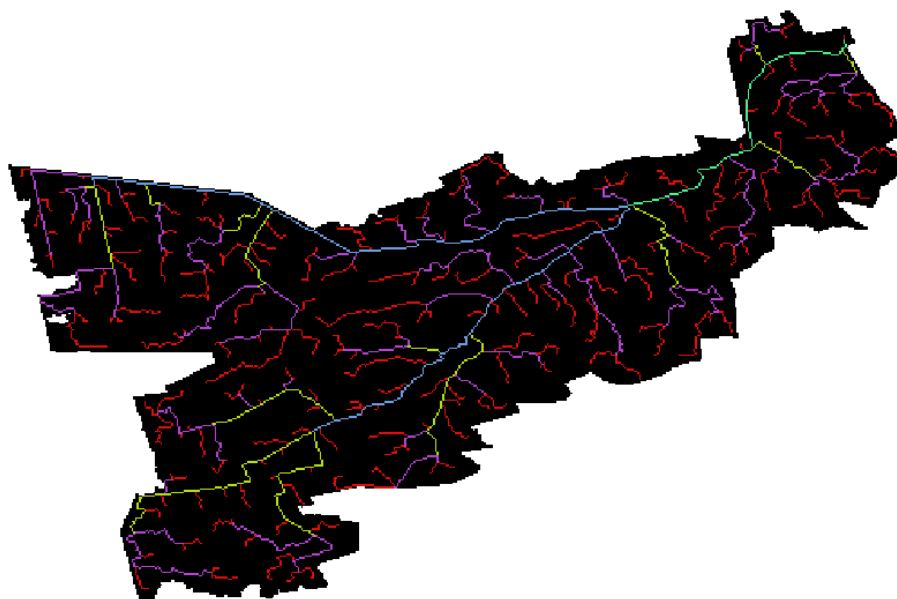
Als tweede worden de watergangen in het model gebrand door het hoogtemodel ter hoogte van de waterlopen met een meter te verlagen.

Hierdoor kunnen de modelbouwscripts de afwateringrichting beter afleiden. Dit was echter nog niet voldoende omdat de watergangen nog steeds op enkele plekken onderbroken werden. Daarom is de watergang op de plekken waar deze onderbroken wordt ingebrand. Dit was het geval bij enkele duikers en bruggen (rotonde Ysselsteyn en duiker A73). Hier is het hoogtegrid handmatig verlaagd tot een hoogte die overeenkomt met de watergang voor en na het obstakel.

Resulterend model

Het resulterende model is gevisualiseerd in Figuur 87.

*Figuur 87
Resulterende
stroomgebied
inclusief
watergangen in
WFLOW. De kleur
van de watergang
geeft aan hoe groot
het bovenstroomse
oppervlak is.*

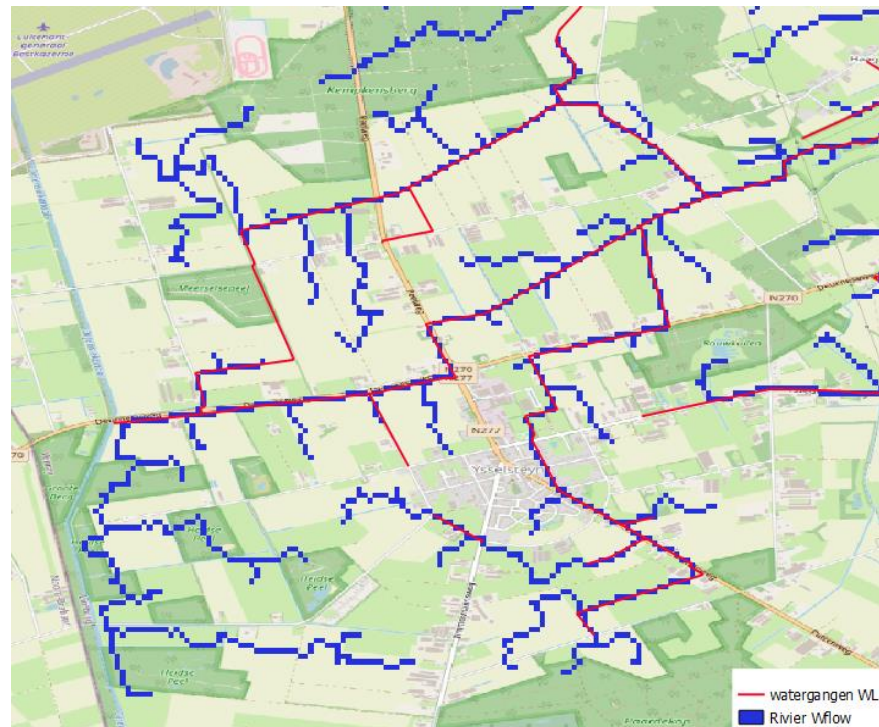


Op het eerste gezicht lijkt dit een goed resultaat te geven en het is ook voldoende correct voor de toepassing binnen deze studie. Er zijn echter nog wel enkele op- en aanmerkingen. Zo laat Figuur 88 zien dat de watergangen in WFLOW op de plek liggen waar ze volgens het waterschap ook liggen, echter zijn er ook extra watergangen opgenomen die in werkelijkheid niet bestaan. Dit komt doordat er een drempelwaarde wordt gebruikt voor het bovenstroomse oppervlak. Als deze drempel wordt overschreden, wordt er een watergang gedefinieerd. Dit is opvallend maar niet problematisch omdat het puur gebruikt wordt als routing. Deze drempelwaarde kan aangepast worden maar dan worden er op andere plekken te weinig waterlopen geschematiseerd.

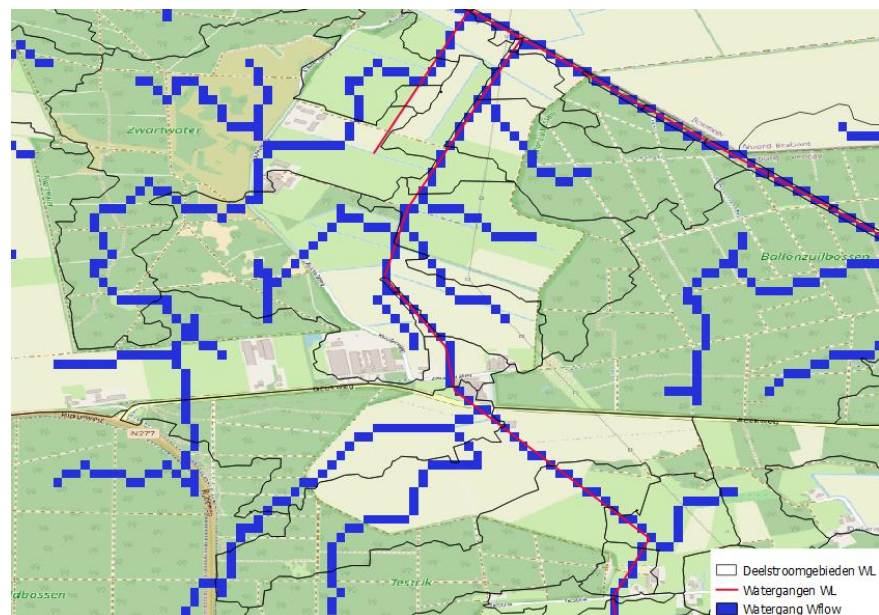
Wat verder opvalt is dat de waterlopen niet passen bij de door het waterschap gedefinieerde afwateringseenheden (Figuur 89). Dit is niet vreemd omdat deze afwateringseenheden niet aan het model zijn meegegeven. Hier is duidelijk zichtbaar dat een deel van de watergangen in WFLOW-afwateringsgebiedsgrenzen doorsnijdt en daarmee via een ander afwateringsgebied afwatert. Dit betekent dat water op een andere plek in de hoofdwaterloop kan terechtkomen dan in werkelijkheid gebeurt. Op sommige

plekken is dit iets verder bovenstrooms en op andere plekken iets verder benedenstrooms, dit is dus niet direct problematisch als op stroomgebiedsschaal gekeken wordt. Wanneer zo'n model echter gekoppeld wordt aan een hydraulisch model kunnen er wel problemen ontstaan. Bijvoorbeeld doordat water aan de verkeerde kant van een stuw in de watergang stroomt. Dit is oplosbaar door elk afwateringsgebied afzonderlijk te beschouwen met een apart model of door het in te branden in het DTM. Voor de huidige toepassing is dit niet gedaan.

Figuur 88
Watergangen
WFLOW WL



Figuur 89
Watergangen en
deelstroomgebieden



Als laatste willen we nog terugkomen op het stedelijk gebied en de kassen. Op dit moment worden deze gewoon opgenomen in het hydrologische model met passende parameterwaarden voor stedelijk gebied. Er wordt echter geen rekening gehouden met een de capaciteiten in het rioolsysteem (buizen en pompen) en overstorten. Dit doen we omdat hier, voor zover bekend, geen aparte workflow voor is in WFLOW. Dit is een belangrijk onderdeel om met Deltares te bespreken als WFLOW wordt gebruikt in gebieden waar het hemelwater via het riool wordt afgevoerd. Het lijkt mogelijk om dit ook op een andere manier te schematiseren indien het niet binnen WFLOW kan. Bijvoorbeeld in een ander model (bijvoorbeeld D-HYDRO paved knoop) of door de rioleringsgebieden als reservoirs in WFLOW te definiëren met een capaciteit en een debiet.

Initiële parameterwaarden

De initiële modelparameters zijn gebaseerd op een combinatie van literatuur, WFLOW-standaardwaarden en expert judgment. Een deel van de waarden is uniform opgelegd (1 getal in tabel) een ander deel is afhankelijk van bijvoorbeeld bodemtype (SO) of landgebruik (LU). Een deel van de waarden wordt in het kalibratieproces aangepast. Deze kalibratie wordt echter niet voor de volledige lijst aan parameters gedaan maar voor een deel. Zie hiervoor de volgende paragraaf.

Parameter	Waarde	Gebaseerd op
CanopyGapFraction	1 voor LU=0, 0.1 voor LU=1-5, 0.2 voor LU=6-9, 0.05 voor LU=10, 0.6 voor LU=11, 0.05 voor LU=12, 0.95 voor LU=13, 0.05 voor LU=14, 1 voor LU=15, 0.9 voor LU=16	Expert oordeel
EoverR	0.11	Standaardwaarde uit WFLOW overgenomen
SoilThickness	5000 mm	Expertoordeel/ kalibratieparameter
SoilMinThickness	2000 mm	Expertoordeel/ kalibratieparameter
MaxLeakage	0.2 mm/dag	Eerste inschatting, leakage lijkt nodig te zijn. Verder is het een Kalibratieparameter
MaxPercolation	0 mm/dag	Simulaties laten een overschot aan afvoer zien. Dus geen percolation nodig.
KsatVer (mm/dag)	2000 voor SO=0, 30 voor SO=1, 400 voor	Gebaseerd op Ritzema (2006) en Todd and

Parameter	Waarde	Gebaseerd op
	SO=2, 300 voor SO=3-4, 200 voor SO=5, 500 voor SO=6, 600 voor SO=7, 450 voor SO=8, 500 voor SO=9, 800 voor SO=10, 1000 voor SO=11-12, 2000 voor SO=13	Mays (2005). Literatuur geeft ranges voor korrelgroottes, dit is als basis gebruikt.
KsatHorFrac	100	Standaardwaarde uit WFLOW. Kalibratieparameter.
InfiltCapPath	5 mm/dag	Lage waarde.
InfiltCapSoil	5000 mm/dag	Zo hoog dat oppervlakkige afvoer niet mogelijk is.
M (mm ⁻¹)	185 voor SO=0-3, 225 voor SO=4-5, 300 voor SO=6, 350 voor SO=4-5, 300 voor SO=6, 425 voor SO=7, 450 voor SO=8, 525 voor SO=9, 600 voor SO=10, 675 voor SO=11, 750 voor SO=12-13	Gebaseerd op de standard range in WFLOW. Hogere waarden voor klei bodems, lagere waarden voor zandbodems. Onderdeel van kalibratie. Noot: Tijdens de kalibratie is geconcludeerd dat de volgorde omgedraaid moet worden. Hogere M-waarden zorgen voor een kleinere afname met diepte en lagere M-waarden voor een grotere afname.
MaxCanopyStorage	0 voor SO=0, 5 voor SO=1-5, 2 voor SO=6-10, 1 voor SO=11, 3 voor SO=12, 5 voor SO=13, 2 voor SO=14, 0 voor SO=15-16	Expert oordeel
N	0.01 voor LU=0, 0.5 voor LU=1-14	Expertoordeel. Hoge waarden voor vegetatie. Onderdeel van kalibratie.

Parameter	Waarde	Gebaseerd op
N_river	0.03	Expertoordeel. Uniform voor alle watergangen. Onderdeel van kalibratie.
PathFrac	0 voor LU=0-12, 1 voor LU=13, 0 voor LU=14-16	Alleen paved voor built-up. Eventueel te verbeteren door in de toekomst per cel van 50x50 m de echte paved fractie te bepalen uit 0.5x0.5 landgebruik.
RootingDepth (mm)	0.0001 voor LU=0, 2000 voor LU=1-5, 1000 voor LU=6-9, 500 voor LU=10-13, 800 voor LU=14, 1 voor LU=15, 1000 voor LU=16	Expert oordeel. Bomen dieper dan gewassen en gras. In eerste instantie relatief hoog om transpiratie te promoten. Onderdeel van kalibratie
thetaR	0.01	Typische waarde voor verwelkingspunt. Kan eventueel nog ruimtelijk gevarieerd worden, is echter niet de belangrijkste parameter.
thetaS	0.6	Typische waarde voor porositeit. Kan eventueel nog ruimtelijk gevarieerd worden, is echter niet de belangrijkste parameter.
C	0.038	Standaardwaarde uit WFLOW

4.6

Kalibratie WFLOW

Binnen de kalibratie van het WFLOW-model zijn we minder ver gekomen dan met het Ernst-concept. Het Ernst-concept is namelijk gebaseerd op SOBEK2 en daarover is veel meer kennis en ervaring binnen de Nederlandse watersector. Bij het WFLOW-model is daardoor meer tijd gaan zitten in het opzetten van het model en onderzoeken welke parameters van belang zijn. Daardoor is minder tijd overgebleven voor kalibratie en moet hetgeen hier wordt gepresenteerd vooral als eerste stap worden gezien.

4.6.1

Gevoeligheid parameters

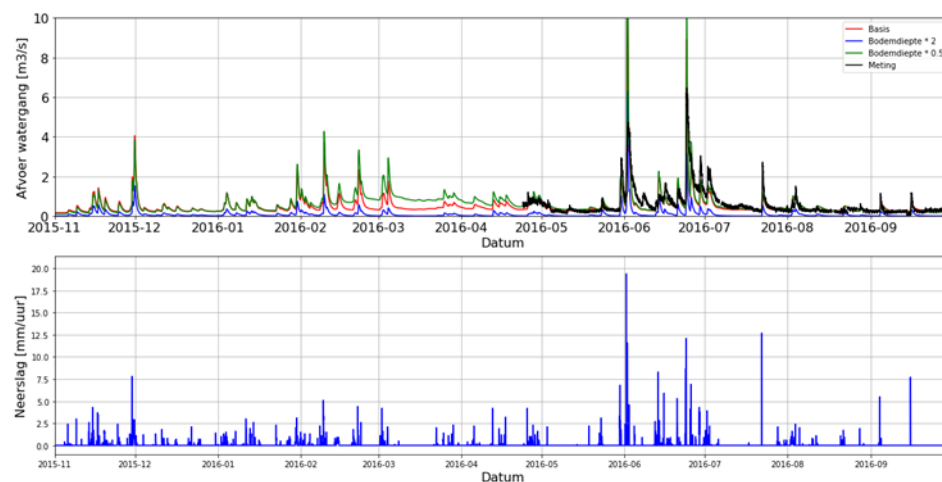
Binnen de WFLOW-documentatie worden een aantal parameters als het belangrijkste omschreven met betrekking tot de kalibratie. Het gaat hier om de bodemdiepte, Ksat, M en N. Om het effect van deze parameters te testen

is een korte gevoeligheidsstudie uitgevoerd waarbij de parameterwaardes telkens zijn gehalveerd en verdubbeld en het resultaat is bekeken ter hoogte van meetpunten Holthees en Overloonseweg. Hierbij is gekeken naar het jaar 2016, het model heeft een koude start gehad vanaf 1 januari 2014 om voldoende inspeelperiode te hebben en effecten van een verkeerde initialisatie te beperken. Een selectie van de resultaten (locatie/tijdperiode) is in het rapport opgenomen. We richten ons hier nog niet op het presteren van het model ten opzichte van de meting.

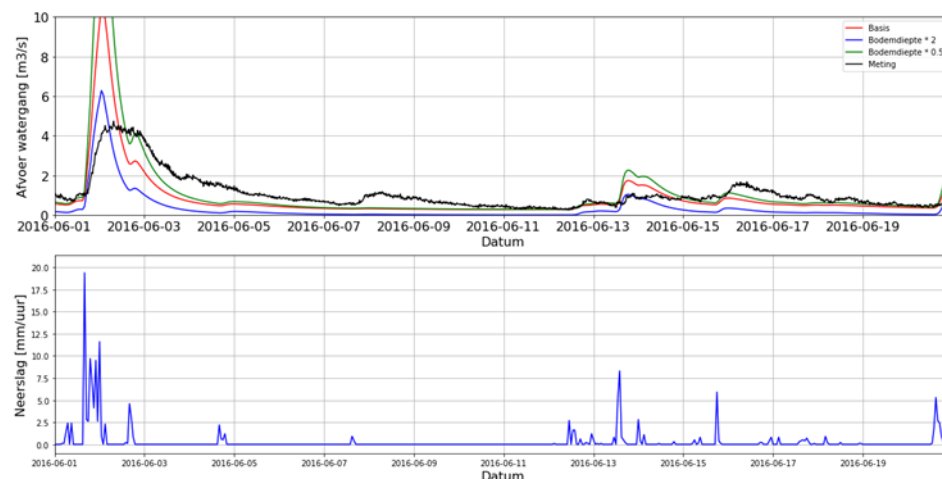
Bodemdiepte

Als eerste is naar de bodemdiepte gekeken. Het vergroten van de bodemdiepte resulteert in een grotere bodemcapaciteit en daarmee een lagere totale afvoer. Dit resulteert in zowel een lagere baseflow als lagere pieken, er komt dus in totaliteit minder water in de watergang terecht. De bodemdiepte is een parameter waar zowel de piekhoogte als de baseflow mee verhoogt of verlaagt kunnen worden. Wat opvalt is dat het verkleinen van de bodemdiepte een veel groter effect in de pieken laat zien maar dat de baseflow beperkt verhoogd wordt. De variant waar de bodemdiepte verhoogd wordt heeft zowel een groot effect op de baseflow als op de pieken. De timing en breedte van de afvoerpieken verandert niet. Het beeld verschilt niet tussen Holthees en Overloonseweg.

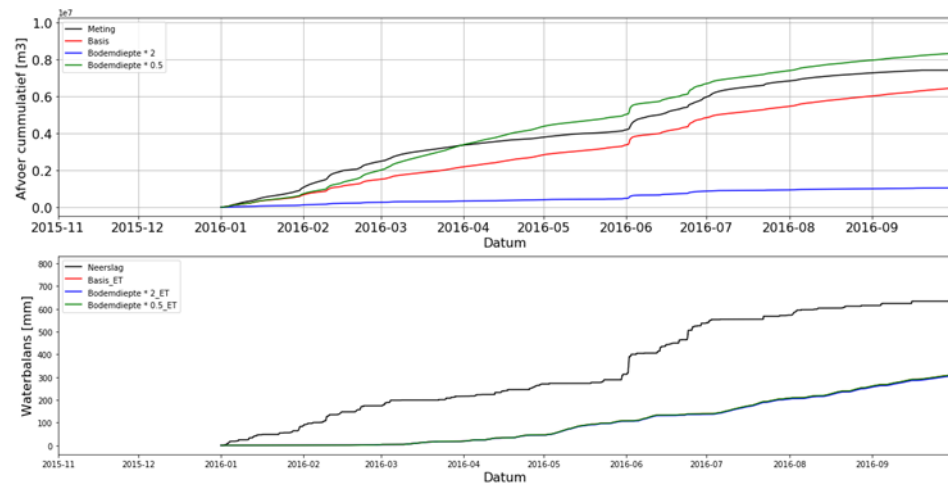
*Figuur 90
Tijdreeksen
meetpunt Holthees*



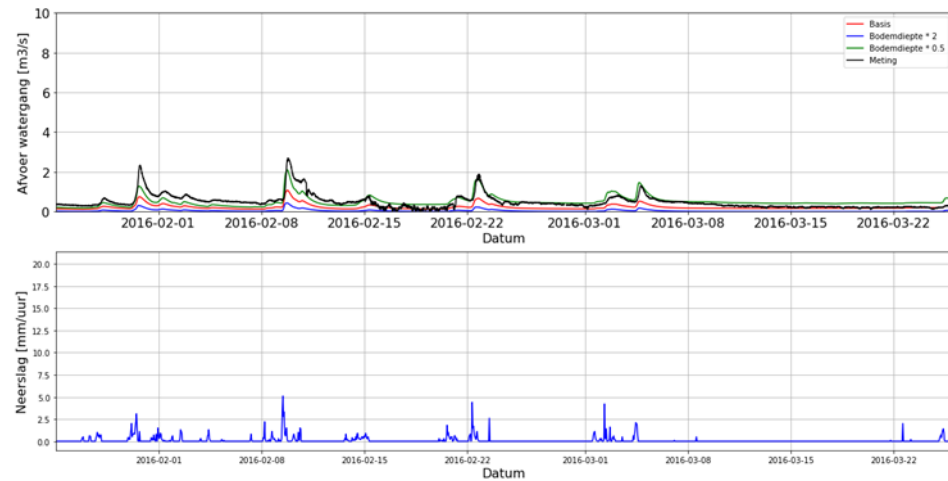
*Figuur 91
Tijdreeksen
meetpunt Holthees
ingezoomd op
periode in juni*



*Figuur 92
Waterbalans
meetpunt
Overloonseweg*



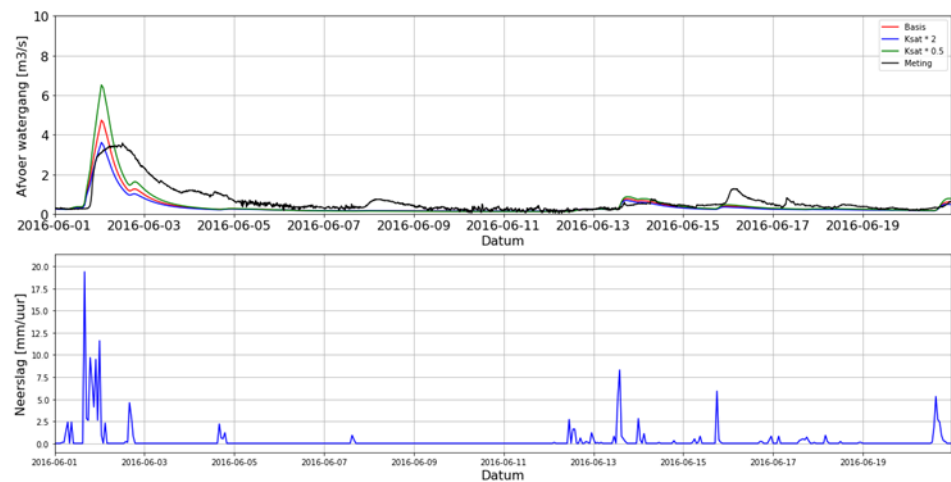
*Figuur 93
Tijdserie meetpunt
Overloonseweg
ingezoomd op
periode februari*



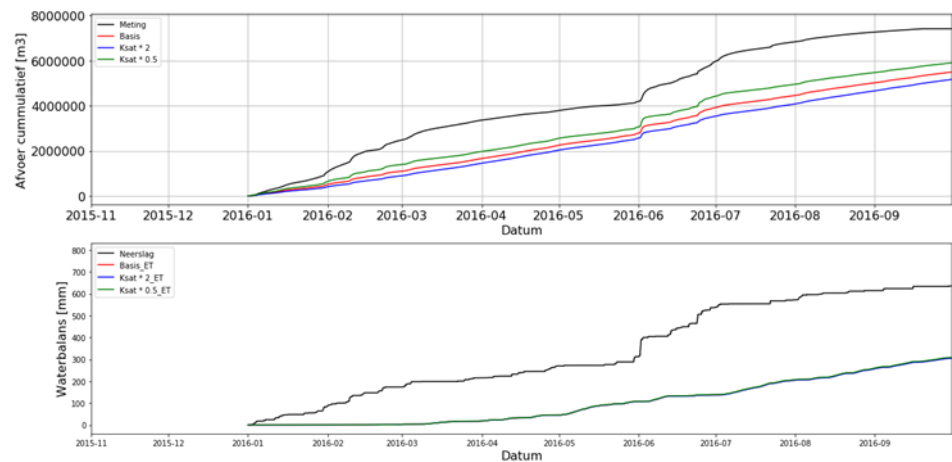
Ksat

Ksat bepaalt de transportsnelheid van de onverzadigde naar de verzadigde laag. Het veranderen van deze waarde resulteert ook in een andere horizontale conductiviteit, die is namelijk afhankelijk van de verticale conductiviteit. Het vergroten van de conductiviteit resulteert voornamelijk in lagere pieken. De parameter heeft weinig invloed op de basisafvoer. Dat is ook goed zichtbaar in de waterbalans (Figuur 95). Het verlagen van Ksat resulteert in hogere pieken. De WFLOW-documentatie geeft aan dat de pieken ook verder uitzakken (verbreden) en dat de baseflow omlaaggaat, dat zien we hier niet terug. Het beeld verschilt niet tussen Holthees en Overloonseweg.

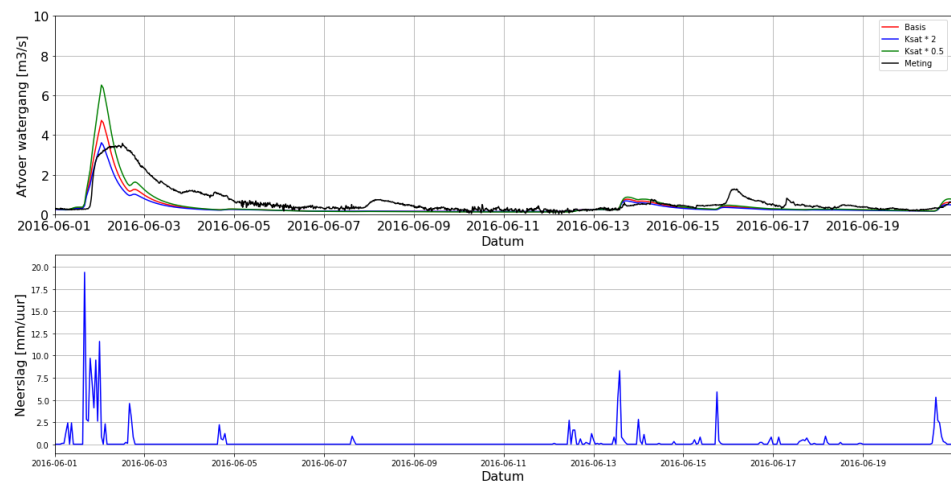
*Figuur 94
Tijdreeksen
meetpunt Holthees
ingezoomd op juni*



*Figuur 95
Waterbalans
Overloonseweg*



*Figuur 96
Tijdreeksen
meetpunt
Overloonseweg
ingezoomd op juni*

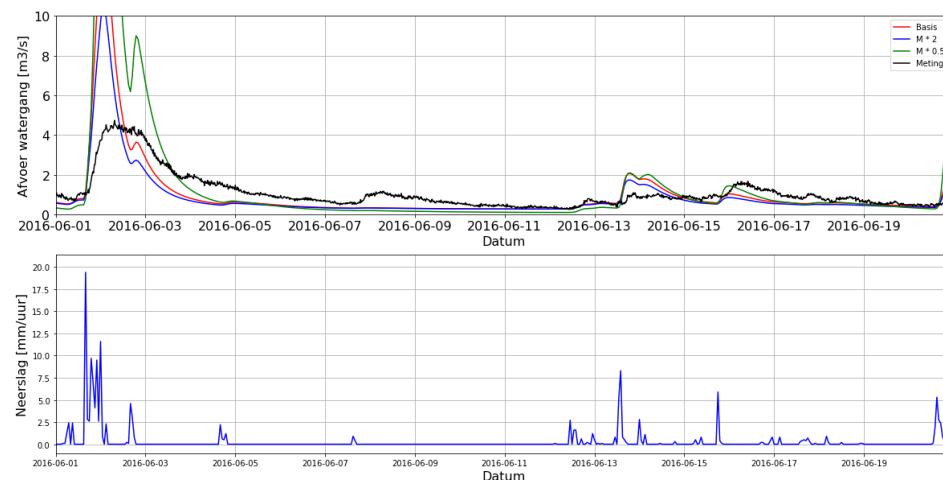


M

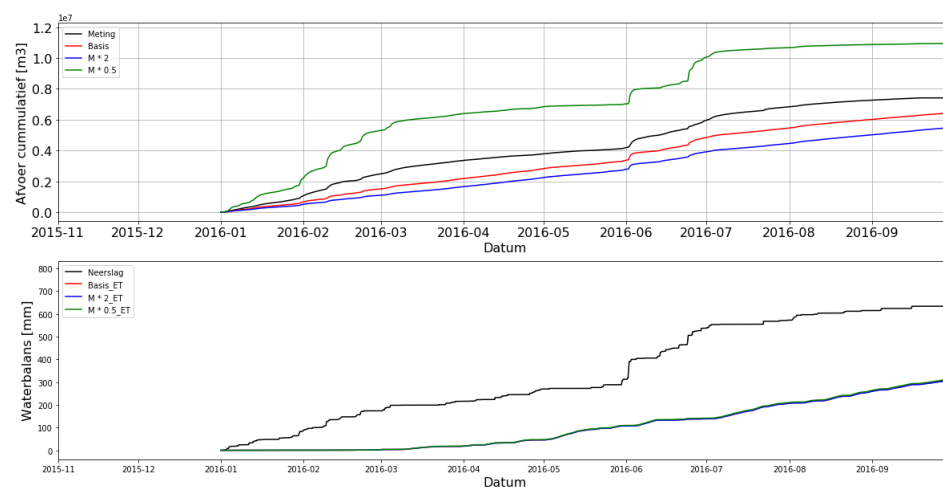
M bepaalt de afname van de conductiviteit met de diepte en wordt gezien als de belangrijkste parameter bij het kalibreren van een WFLOW-model. Hier zien we een vergelijkbaar effect als met Ksat. Voornamelijk op de piek is er invloed en niet op de basisafvoer. Een verhoging resulteert ook hier in een

lagere piek. Wat verder opvalt is dat de resessiecurve beperkt wordt beïnvloed door de M parameter.

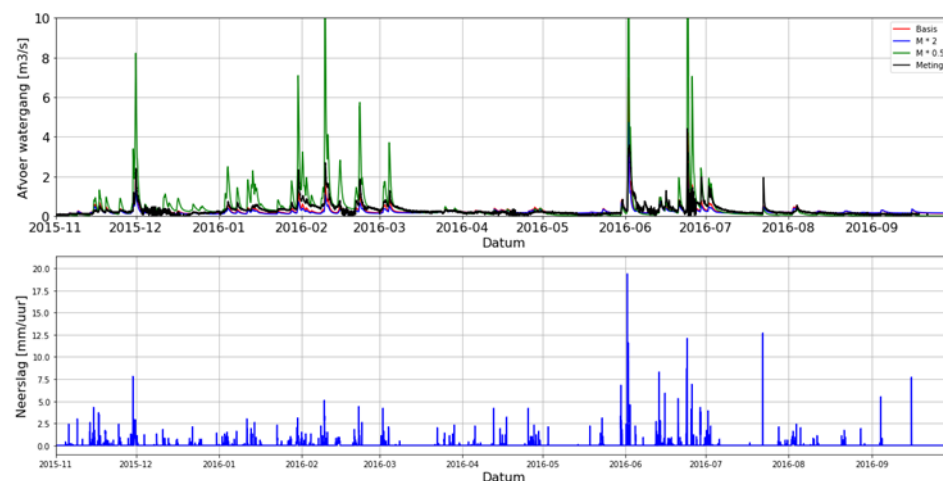
*Figuur 97
Tijdreeksen
meetpunt Holthees
ingezoomd op juni*



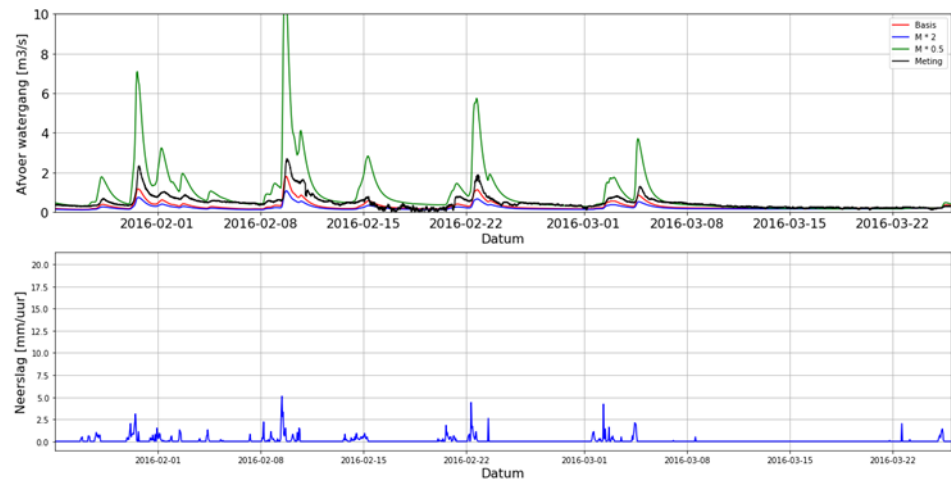
*Figuur 98
Waterbalans
meetpunt
Overloonseweg*



*Figuur 99
Tijdreeksen
meetpunt
Overloonseweg*



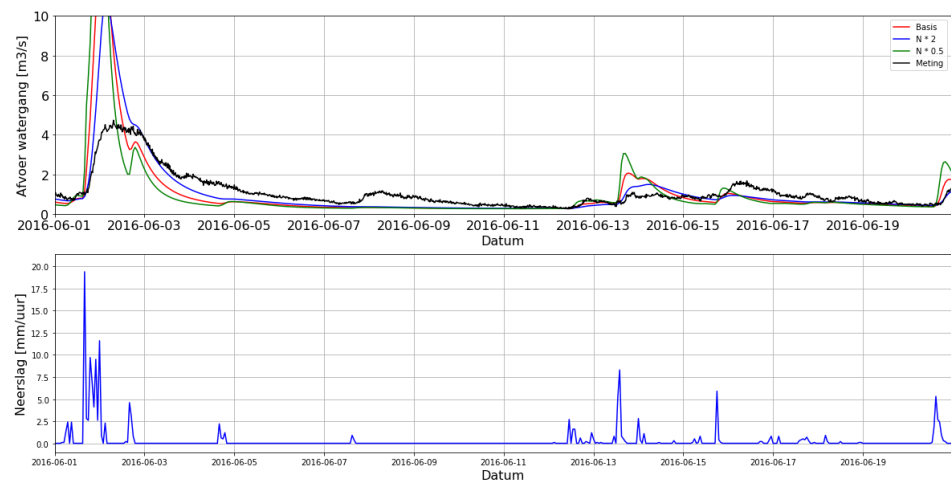
*Figuur 100
Tijdreeksen
meetpunt
Overloonseweg
ingezoomd op
februari*



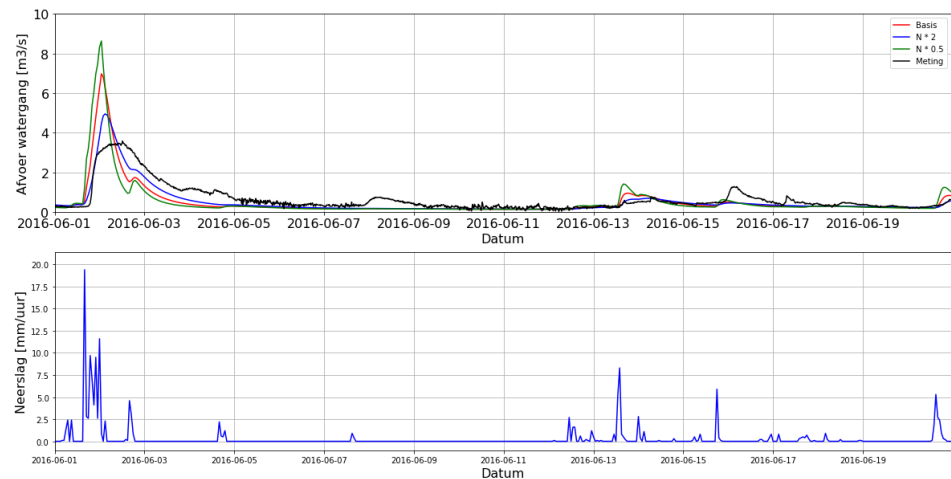
N

N is een ruwheidsparameter die de afstroming naar de watergang beïnvloedt. Deze parameter beïnvloedt met name de pieken. Resultaten laten zien dat een hogere N waarde zorgt voor een latere start van de afvoerpiek en ook een kleine afvlakking tot resultaat heeft. Op de basisafvoer is de invloed beperkt.

*Figuur 101
Tijdreeksen
meetpunt Holthees
ingezoomd op juni*



*Figuur 102
Tijdreeksen
meetpunt
Overloonseweg
ingezoomd op juni*



4.6.2

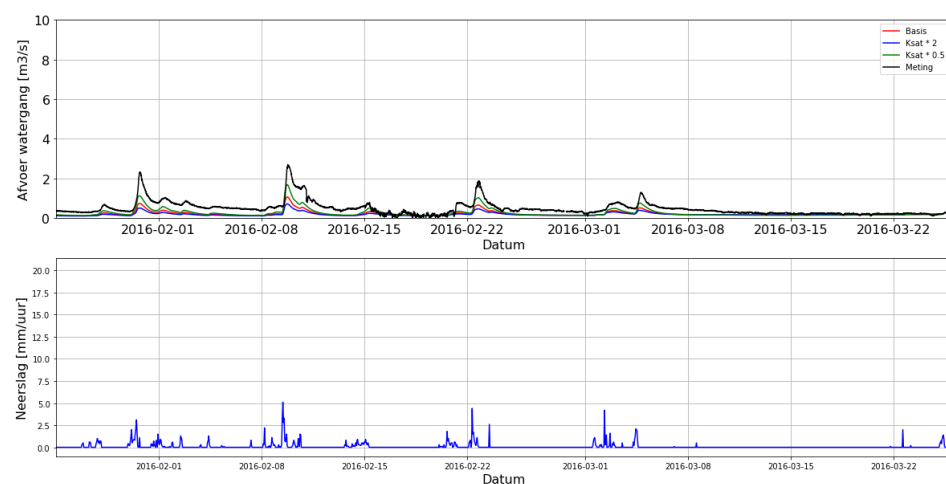
Presteren ten opzichte van meting

De voorgaande paragraaf geeft een beeld van de ruimte binnen de belangrijkste parameters en het effect daarvan op het resultaat. Het model is niet verder gekalibreerd dan is gedaan binnen de gevoeligheidsanalyse. We vergelijken hier de resultaten met de meetpunten bij Holthees en Overloonseweg. Dit is nog zeker geen eindresultaat van een volledige kalibratie maar geeft wel aan hoe goed het model kan presteren en we geven daarmee een vooruitblik naar de haalbaarheid van een verdere kalibratie.

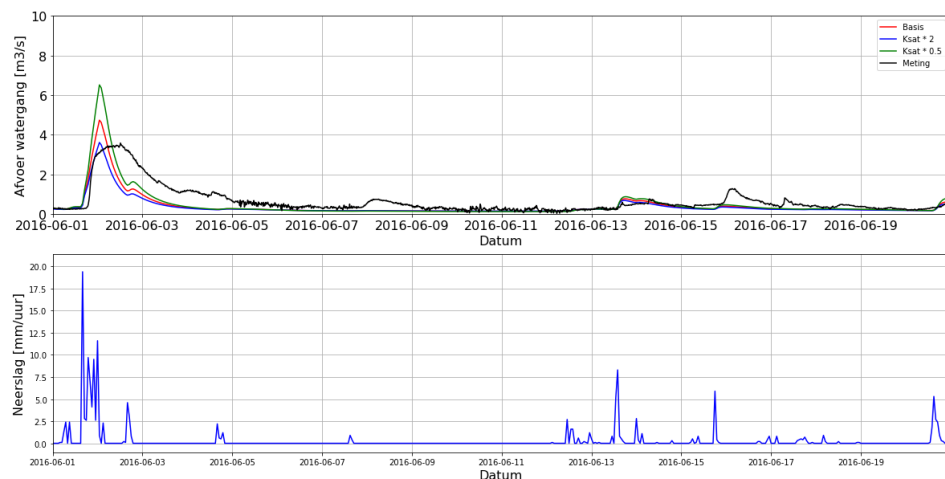
Wat opvalt vanuit de gevoeligheidsstudie is het volgende:

- Het model is in algemene zin goed in staat om hydrologische gedrag te representeren. Wanneer er in detail naar de resultaten wordt gekeken zijn er nog te veel afwijkingen tussen meting en simulatie.
- De basisafvoer is redelijk makkelijk te beïnvloeden en gelijk aan de metingen te krijgen. Dit kan door de bodemdiepte aan te passen (zie ook Figuur 90) en de ingeschatte kwel- en wegzijgingscomponenten aan te passen. De resulterende kwel en wegzijgingscomponenten zijn eerder gepresenteerd in 4.5. De waterbalans is daarmee naar verwachting ook redelijk sluitend te krijgen (zie ook Figuur 92).
- Het gedrag in de maanden juni en februari is duidelijk anders. Waar in februari de afvoeren te laag liggen in het model (Figuur 103) zijn deze in juni te hoog (Figuur 104). De gevoeligheidsstudie laat zien dat het mogelijk is om de pieken in één van de twee periodes op de juiste hoogte te krijgen met aanpassing van M, N en Ksat, maar in de andere periode worden deze dan slechter. Dit kan te maken hebben met de opgelegde kwel en wegzijgingsfluxen. Deze zijn op dit moment uniform in zowel ruimte als tijd. Deze kunnen ook variabel opgelegd worden in ruimte en tijd en worden gebaseerd op bijvoorbeeld een grondwatermodel.

*Figuur 103
Modelresultaat bij
Overloonseweg
periode februari
2016*



*Figuur 104
Modelresultaat bij
Overloonseweg
periode juni 2016*

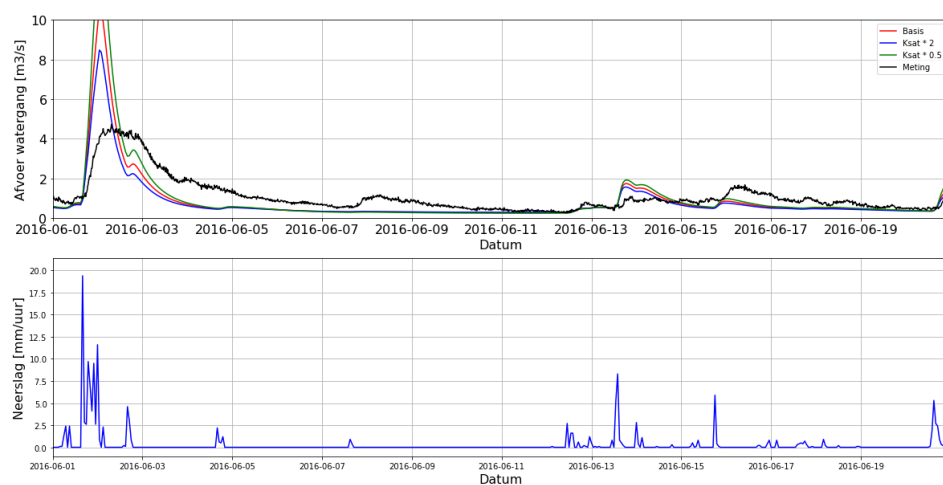


- Niet alle afvoerpieken zijn terug te zien in het model. Bijvoorbeeld de pieken van 8 juni en 16 juni komen niet terug (Figuur 104). In de invoer neerslag zijn ze wel terug te zien maar het model reageert daar niet op. Dit komt waarschijnlijk doordat de pieken te snel uitzakken en de reservoirs daardoor leeg zijn. Het gevolg daarvan is dat het model niet reageert op een kleine bui.
- De timing van de pieken is te vroeg, zowel bij de start van de golf als de piekhoogte zelf. Met behulp van de ruwheid (N) is dit te beïnvloeden maar ruwheden zoals in Figuur 102 ($N \cdot 2$) zijn zeer hoog om dat effect te halen.
- Het valt op dat de golf veel sneller uitzakt en de piek minder breed is. Voornamelijk bij de afvoergolven in juni is dit verschil groot. De gevoeligheidsanalyse laat zien dat er wel mogelijkheden zijn om dat uitzakken te beïnvloeden door het aanpassen van M en het verhogen van N. Het lukt binnen de gevoeligheidsanalyse echter niet in voldoende mate.
- Als laatste valt op dat de meetpunten Holthees en Overloonseweg een ander modelresultaat geven in vergelijking tot de meting. In de periode juni is dit duidelijk zichtbaar, hier is de afwijking bij Overloonseweg (Figuur 106) veel kleiner dan bij Holthees (Figuur 105). Dit betekent ook dat het verbeteren van het resultaat bij één van de twee meetpunten tijdens kalibratie zorgt voor een verslechtering bij de andere. Dit heeft mogelijk te maken met de berging in het stedelijk gebied die niet is meegenomen in WFLOW. Verder zijn de watergangen hier ook versimpeld meegenomen en is de bufferende werking beperkt.

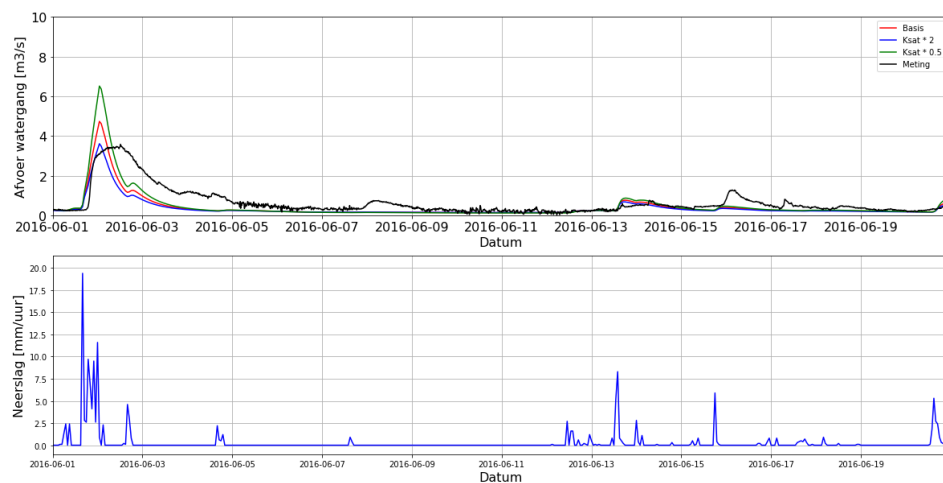
Er is slechts een begin gemaakt met de kalibratie en er zijn nog veel verbeteringen mogelijk. Daarop vooruitkijkend lijkt het wel lastig om het modelresultaat jaarrond op de metingen te krijgen op de twee afvoermmeetpunten. De belangrijkste factor hierin lijkt het ontbreken van een aparte modellering in het stedelijk gebied te zijn, deze bleek in de kalibratie van het D-HYDRO model een belangrijke rol te spelen. Daarnaast liet de kalibratie van het D-HYDRO model ook zien dat het toevoegen van het hydraulische model nog veel effect kan hebben in het verbreden van de

afvoergolf. Dat is zonder een gedetailleerd hydraulisch model nog te beperkt in WFLOW.

*Figuur 105
Modelresultaat juni
voor meetpunt
Holthees*



*Figuur 106
Modelresultaat juni
voor meetpunt
Overloonseweg*



5 Advies

5.1 Inleiding

Wij starten dit hoofdstuk met onze aanbevelingen op basis van het onderzoek, voordat we de onderzoeksvragen beantwoorden. Dit doen we omdat het opvolgen van de aanbevelingen belangrijk is voor de geschiktheid van de concepten voor het waterschap. We zijn er daarna bij de beantwoording van de onderzoeksvragen vanuit gegaan dat deze aanbevelingen worden opgevolgd.

5.2 Aanbevelingen

We hebben onze aanbevelingen separaat uitgewerkt voor het 1D2D-model, het Ernst-concept en het WFLOW-SBM concept.

5.2.1 1D2D-model

We hebben op basis van het uitgevoerde onderzoek de volgende aanbevelingen:

1. Schematiseer ook de kleinere waterlopen met bijbehorende kunstwerken en begroeiing in het model als deze belangrijk zijn voor het bergen en afvoeren. Hiermee kan de demping en vertraging van afvoergolven worden gesimuleerd. Dit is met name belangrijk bij kleinschalige neerslag-afvoerconcepten zoals Ernst die het neerslag-afvoerproces op perceels- of peilvakniveau beschrijven en die de afvoer in waterlopen niet dempen of vertragen. Met de opname van deze kleinere waterlopen zullen de afwateringsgebieden ook verkleinen en kan de interactie tussen het grondwater en het oppervlaktewater ook beter worden gesimuleerd.
2. De gegevens van deze kleinere waterlopen zijn vaak niet direct beschikbaar. Voor de afleiding hiervan is in het kader van de ontwikkeling van het model van de Roer een Python-script ontwikkeld, dat profielen genereert op basis van het AHN3, de ligging van de waterlopen, informatie over de hoogteligging van duikers (indien beschikbaar) en door de gebruiker op te geven waarden voor de diepte van het profiel en het talud. Wij adviseren dit script te gebruiken om een schematisatie voor de kleinere waterlopen af te leiden.
3. Gegevens van kunstwerken in deze kleinere waterlopen zijn vaak ook niet beschikbaar. Maar duikers kunnen wel worden gepositioneerd op kruisingen tussen (spoor)wegen en waterlopen en worden voorzien van een hoogte op basis van de geschematiseerde bodemhoogte van de waterloop (zie voorgaande punt) en standaardafmetingen. Wij adviseren hiervoor een script te ontwikkelen.
4. Schematiseer ook dwarsprofielen in het model benedenstrooms van de A73 in het beheergebied van Aa en Maas.

5.2.2

Ernst

We beschouwen het Ernst-concept in onze aanbevelingen breder en nemen daarin ook mee het paved-concept voor de afvoer van verhard gebied en het greenhouse-concept voor afvoer van glastuinbouwgebieden. We hebben op basis van het uitgevoerde onderzoek de volgende aanbevelingen:

1. Als er overstorten in het studiegebied voorkomen, adviseren we voor de kalibratie van het Ernst-concept een periode zonder significante overstorten en een periode met significante overstorten te kiezen. Hiermee kan het Ernst-concept enigszins onafhankelijk van de stedelijke afvoer worden gekalibreerd en wordt het kalibratieproces eenvoudiger. Wij adviseren daarbij ook om deze periodes op basis van een modelsimulatie te selecteren en daarbij de afvoer van overstorten en van de Ernst-knopen afzonderlijk te presenteren voor het gebied bovenstrooms van het afvoermeetpunt dat wordt beschouwd. Hiermee ontstaat direct inzicht in de bijdrage van de overstorten op het gesimuleerde afvoerverloop.
2. Wij adviseren het verharde gebied buiten de rioleringsgebieden, zoals wegen, daken van boerderijen en dergelijke, niet als verhard gebied te schematiseren in paved-concept, maar bijvoorbeeld als braakliggend terrein met het Ernst-concept. Afvoer van deze verharding zal veelal in de bodem terechtkomen, waarna het vertraagd tot afvoer komt naar de waterlopen. Als dit gebied wel in het paved-concept wordt geschematiseerd komt verharde gebied binnen een afwateringsgebied instantaan tot afvoer op de locatie waar ook het Ernst-concept van het afwateringsgebied loost.
3. Wij adviseren alleen het direct gedraineerde gebied te schematiseren met het Ernst-concept. Wij verwachten op basis van onze ervaring in andere modelstudies dat het neerslag-afvoerproces hiermee nauwkeuriger kan worden beschreven. Het gebied kan worden bepaald op basis van de grondwatertrappen (bijvoorbeeld GHG ondieper dan 0.75 m) of op basis van de afstand tot drainerende waterlopen (bijv. 200 m). De invloed van het niet direct gedraineerde gebied, dat veelal hoog ligt, wordt dan opgelegd aan de direct gedraineerde gebieden middels een grondwaterflux. Deze grondwaterflux kan initieel worden bepaald uit een SIMGRO7 simulatie en kan worden afgeregeld op metingen op basis de langjarige cumulatieve afvoer.
4. Om de schematisatie zoals in de vorige stap beschreven mogelijk te maken, dient D-HyDAMO nog wel te worden aangepast. In de in dit project toegepaste D-HyDAMO versie 1.1.2 wordt gerioleerd gebied alleen geschematiseerd als dit ligt binnen afwateringsgebieden. Als de afwateringsgebieden worden verkleind tot alleen die delen van afwateringsgebieden die direct gedraineerd zijn, dan zal een aanzienlijk deel van het hoog liggende gerioleerde ten onrechte niet worden geschematiseerd.
5. De grondwaterfluxen zijn maandgemiddeld opgelegd om de afhankelijkheid van de grondwatermodellering te verkleinen. Bij grote jaarlijkse verschillen in fluxen kan dit tot onnauwkeurigheden leiden. Wij adviseren om hier nader onderzoek naar te doen.

5.2.3

WFLOW-SBM

We hebben op basis van het uitgevoerde onderzoek de volgende aanbevelingen:

1. Onderzoek een koppeling met een hydraulisch model voor het open water gelijk aan hetgeen uitgevoerd is voor het Ernst-concept. Een modellering in D-HYDRO is nuttig omdat het oppervlaktewatersysteem gedetailleerder kan worden geschematiseerd, met de werkelijk voorkomende dwarsprofielen en (gestuurde) kunstwerken. Dat is nodig voor het gebruik van het model binnen het waterschap.
2. Binnen het in dit rapport opgezette model is gebruik gemaakt van een uniforme kwel- en wegzijgingsflux. Het is mogelijk om deze variabel te maken (zowel ruimte als tijd), dit kan vooral belangrijke verschillen opleveren voor in modelresultaat in zomer en winter.
3. Vanuit de Ernst modellering is geconcludeerd dat de stedelijke overstorten een belangrijke bijdrage hebben en ook een onzekere factor vormen. Binnen WFLOW is er geen stedelijke modelcomponent beschikbaar en wordt het stedelijk gebied op een vergelijkbare manier gemodelleerd als het landelijke gebied, waarbij overigens wel afwijkende parameters worden toegepast. Wij bevelen daarom het volgende aan:
 - a. In overleg treden met Deltares om te kijken of het mogelijk is het stedelijk gebied inclusief overstorten te schematiseren in WFLOW.
 - b. Het stedelijk gebied verwijderen uit het model en met een ander model modelleren, zoals bijvoorbeeld de paved knoop uit D-HYDRO.
4. De landgebruik- en bodemkaart van het model met bijbehorende WFLOW-parameters opnieuw opbouwen, rekening houdend met de indeling van Nederlandse bodem- en landgebruikklassen en de ervaring met beschikbare parameters voor bijvoorbeeld METASWAP.
5. Binnen het in dit rapport opgezette model wordt gebruik gemaakt van een uniforme in de tijd variabele neerslag. Het is mogelijk om de neerslag ook ruimtelijk variabel op te leggen. Dit is waarschijnlijk niet de belangrijkste te nemen stap in het verbeteren van de modelprestatie, maar het kan wel helpen om de timing beter te krijgen.
6. Na uitvoeren van de bovenstaande punten het model kalibreren.
7. Testen van de nieuwe WFLOW versie in JULIA waarin grondwater beter geschematiseerd wordt. We adviseren om dit te doen op basis van de conclusies en ervaringen uit TKI3.

5.3

Beantwoording onderzoeksvragen

We beantwoorden de onderzoeksvragen op basis van de resultaten in dit onderzoek en op basis van onze ervaring met deze concepten en vergelijkbare concepten in andere onderzoeksprojecten. We zijn er daarbij vanuit gegaan dat de aanbevelingen uit de vorige paragrafen worden opgevolgd. De beantwoording vindt plaats in de volgende paragrafen per concept.

5.3.1

Ernst

1 Wat is de geschiktheid van het modelconcept voor Noord- en midden Limburg voor zowel zeer natte, als gewone en droge situaties?

Door het gekoppelde 1D-RR model langjarig te kalibreren op droge en gewone situaties, kunnen deze situaties naar verwachting voldoende nauwkeurig worden gesimuleerd. Voor het voldoende nauwkeurig simuleren van het verloop van de basisafvoer is echter wel ruimtelijk gedifferentieerde informatie over grondwaterfluxen nodig uit een SIMGRO7 simulatie. Deze grondwaterfluxen worden opgelegd aan het direct gedraineerde gebied en gekalibreerd op de gemeten langjarige cumulatieve afvoer. Om de afhankelijkheid van de grondwatermodellering te beperken, kan worden gekozen om de fluxen maandgemiddeld te bepalen, zodat niet voor elke nieuwe periode eerst een grondwatersimulatie hoeft te worden gemaakt.

Wij maken hierbij wel de aantekening dat de geschiktheid voor zeer droge situaties over het algemeen niet te toetsen is. Dit is dan ook niet onderscheidend ten opzichte van bijvoorbeeld SIMGRO7. Reden hiervoor is dat zelfs zeer nauwkeurige meetmethoden (ADCP en ADM's) veelal niet in staat zijn om stroomsnelheden kleiner dan 5 cm/s voldoende nauwkeurig te meten. Metingen met een gestandaardiseerde V-vormige stuw zouden dit wel mogelijk maken, maar dergelijke kunstwerken liggen veelal niet in de grotere waterlopen.

Het Ernst concept is ook geschikt voor het simuleren van natte tot zeer natte situaties in beperkt hellend terrein. Hiervoor dient het model wel te worden afgeregeld op een extreme situatie, rekening houdend met afvoeren uit gerioleerd gebied. Hierbij dient dan zowel een periode zonder significante overstorten als een periode met significante overstorten te worden beschouwd. Als de terreinhelling zeer groot wordt en oppervlakkige afvoer dominant is in het neerslag-afvoerproces, zoals bijvoorbeeld het geval bovenstrooms van regenwaterbuffers, adviseren wij om hiervoor een ander concept te kiezen.

Het Ernst-concept is ook geschikt voor het beoordelen van effecten van maatregelen in het oppervlaktewater, als dit oppervlaktewater ook in het 1D2D-RR model is geschematiseerd. Het Ernst-concept is beperkt geschikt voor het beoordelen van maatregelen in het afwateringsgebied waarvoor het

Ernst-model is opgezet. De maatregelen moeten dan worden vertaald in de modelparameters van het Ernst-concept, waarbij dat voor een deel niet zo'n probleem zal zijn, zoals voor de gewassen en het bodemtype. Maar voor de parameters die gekalibreerd zijn, zoals de drainageweerstand en de afgeregelde grondwaterfluxen is dat niet zo eenduidig. De maatregel kan dan minder nauwkeurig fysisch gebaseerd worden geschematiseerd als bijvoorbeeld in SIMGRO7.

2 Is het modelconcept goed te koppelen aan andere modelconcepten?

Het Ernst-concept is in D-HYDRO goed te koppelen aan andere neerslag-afvoerconcepten zoals het paved-concept en het greenhouse-concept. In de modelgenerator D-HYDAMO wordt op dit moment al zo'n gekoppeld model opgezet. Ook kan een online gekoppeld oppervlaktewater-rioleringsmodel worden opgezet in D-HYDRO. D-HyDAMO is overigens (nog) niet geschikt om zo'n rioleringsmodel op te bouwen.

3 Hoe goed laat het model zich kalibreren?

Het kalibreren van het neerslag-afvoerproces van onverhard gebied is voor alle modelconcepten deels lastig. Dat heeft te maken met de nauwkeurigheid, beschikbaarheid en ruimtelijke dichtheid van afvoermeetpunten. En daarnaast ook met de mate waarin de afvoergolf wordt bepaald door het neerslag-afvoerproces vanuit overstorten. De complexiteit kan worden verminderd door de metingen nauwgezet te valideren en daar een bandbreedte aan toe te kennen, zodat het model binnen deze bandbreedte kan worden gekalibreerd. Daarnaast is het verstandig om bij de kalibratie te kalibreren op hoogwaters zonder en hoogwaters met overstorten. Hiermee kan het onverharde gebied los van gerioleerd gebied worden gekalibreerd en kan ook een indruk worden verkregen van de nauwkeurigheid van de gesimuleerde overstorten.

Los van deze problematiek die voor alle modelconcepten geldt, is het Ernst-concept goed en volgens een standaard aanpak te kalibreren. Het is belangrijk om ervoor te zorgen dat de initiële conditie geen rol meer speelt in de periode waarin het model worden beoordeeld. Vervolgens worden eerste de basisafvoer en intermediaire afvoer gekalibreerd (Figuur 7). Voor deze componenten is demping en vertraging in het oppervlaktewater nog niet van belang en kan worden volstaan met een simulatie met een relatief snel rekenend 1D-RR model. De grondwaterfluxen worden daarbij eerst gekalibreerd, zodanig dat de langjarige gemeten en gesimuleerde cumulatieve afvoer goed met elkaar overeenkomen. Vervolgens worden de drainweerstand in het bodempakket tussen de maaiveld drainage (0.10-0.30 m onder het maaiveld) en de drainerende middelen (0.50 – 1.50 m onder het maaiveld) afgeregeld op de intermediaire afvoer.

Als de basisafvoer en intermediaire afvoer zijn gekalibreerd, kan de maaiveld drainage weerstand (maaiveld tot 0.10 tot 0.30 m onder maaiveld) en de oppervlakkige afvoerweerstand worden afgeregeld. De dynamiek in deze afvoer is zodanig dat demping en vertraging een belangrijke rol kunnen spelen en is het nodig om een 1D2D-RR model in te zetten.

4 Is het modelconcept geschikt om hoogwaterstatistiek te bepalen met de stochastenmethode en/of tijdreeksmethode?

Het Ernst-concept wordt in SOBEK2 al ruim 20 jaar gebruikt voor het bepalen van hoogwaterstatistiek met de stochastenmethode en de tijdreeksmethode. De toepasbaarheid van het concept in D-HYDRO is vergelijkbaar. D-HYDRO heeft ten opzichte van SOBEK2 wel een aantal eigenschappen waarmee inundaties nauwkeuriger kunnen worden gesimuleerd, door toepassing van hoge lijnelementen en een flexibel rooster. Een nadeel van het huidige D-HYDRO ten opzichte van SOBEK2 is dat RR niet zelfstandig kan worden gesimuleerd met vaste benedenstroomse waterstandsranden. Dat maakt een 100-jarige simulatie met RR lastiger en in ieder geval zal de simulatie langer duren. We hebben in het project ook niet getoetst of we een 100-jarige simulatie kunnen maken met 1D-RR. We hebben maximaal 3 jaar gesimuleerd.

5 Welke data, software en hardware zijn nodig om een model te bouwen en te simuleren?

Voor het maken van 1D2D-RR-model met het Ernst concept zijn de volgende gegevens nodig:

- Voor het 1D2D model:
 - Waterlopen conform HyDAMO;
 - Dwarsprofielen conform HyDAMO;
 - Kunstwerken conform HyDAMO;
 - Een begrenzing van het 2D-rooster;
 - Maaiveldhoogteraster;
 - Shape met de ruwheden van het maaiveld;
 - Hydraulische randvoorwaarden conform HyDAMO;
- Voor het RR-model:
 - Afwateringsgebieden conform HyDAMO;
 - Rioleringsgebieden en overstorten conform D-HyDAMO wiki;
 - Een grondgebruikraster conform D-HyDAMO wiki;
 - Een maaiveldhoogteraster;
 - SIMGRO7 idf bestanden voor de grondwaterfluxen;
 - Neerslag- en verdampingsraster uit Meteobase;

Voor het genereren van het model is een Pythoninstallatie nodig met een omgeving met alle packages die nodig zijn voor D-HyDAMO. Het aanmaken van een Pythonomgeving met de benodigde packages en de installatie van D-HyDAMO is beschreven op Github. Voor het simuleren van het 1D2D-RR model is een DIMR-installatie van D-HYDRO nodig. Wat hardware betreft volstaat een eenvoudige machine, zoals een laptop of een thuis-pc.

6 Neemt het concept de fysische processen in het grondwater voldoende nauwkeurig mee en wanneer is dit relevant?

De fysische processen in het grondwater zijn in het hier gepresenteerde modelconcept meegenomen als de grondwaterfluxen die aan het gebied worden opgelegd. Deze grondwaterfluxen worden uit een SIMGRO7 simulatie overgenomen. Dat zou voldoende nauwkeurig moeten zijn. Als we de fluxen verder schematiseren, bijvoorbeeld tot maandgemiddelden om de

afhankelijkheid van de grondwatermodellering te verkleinen, kunnen wel onnauwkeurigheden optreden. Dit wordt relevant als er grote jaarlijkse verschillen zitten tussen de grondwaterfluxen. Wij adviseren om hier nader onderzoek naar te doen, zoals voorgesteld in de aanbevelingen.

5.3.2

Walrus

Het Walrus concept is vergelijkbaar met het Ernst-concept qua toepasbaarheid en ook qua beantwoording van de onderzoeksvragen. Er zijn een paar verschillen die we hier willen opmerken:

- Voor het Ernst-concept zijn de bodem fysische parameters standaard ingevuld op basis van bodemtypen op basis van de BOFEK2012 bodemtypes. Voor Walrus dient de gebruiker deze zelf op te geven en deels ook te kalibreren. Hierdoor is het aantal kalibratieparameters van Walrus wat groter. Het concept is overigens ook goed te kalibreren volgens een standaard aanpak, vergelijkbaar met die van het Ernst concept.
- De verdampingsreductie kan met een parameter in Walrus worden beïnvloed, waardoor de overgang van een droge toestand in de zomer naar het eerste hoogwater beter kan worden gekalibreerd dan met het Ernst-concept.
- Het is mogelijk een deel van het oppervlaktewater te schematiseren in het Walrus concept, waardoor het ook mogelijk is hiermee berging in deze waterlopen te simuleren. De vertraging en de looptijd van afvoergolven kan hiermee niet worden gesimuleerd.

5.3.3

WFLOW-SBM

1 Wat is de geschiktheid van het modelconcept voor Noord- en midden Limburg voor zowel zeer natte, als gewone en droge situaties?

De kalibratie van het WFLOW-modelconcept is binnen deze studie nog niet ver genoeg doorgevoerd om te kunnen aangeven of het wel of niet voldoet voor verschillende typen hydrologische situaties. We gaan daarom in het algemeen in op het gebruik van het model voor dit type berekeningen.

Het WFLOW-model kan zowel langjarig rekenen als met een warme start. Dit betekent dat het mogelijk is om rekening te houden met de voorgeschiedenis. Op dit moment zijn de simulatieresultaten nog niet goed genoeg en zien we verschillen in modelprestatie tussen verschillende typen hydrologische periodes.

Binnen de gebruikte modellen wordt nu nog een constante grondwaterflux opgelegd in tijd en ruimte. De verwachting is dat de modelprestatie beter kan worden door ruimtelijk en temporeel gedifferentieerde grondwaterfluxen op te leggen, gebruik makend van een SIMGRO7 simulatie. Om de afhankelijkheid van de grondwatermodellering te beperken, kan worden gekozen om over een langere simulatie maandgemiddelde fluxen te bepalen. Hierbij ontstaat dan een gemiddeld jaar dat is opgebouwd uit gemiddelde

maanden. Op deze manier hoeft niet voor elke nieuwe periode eerst een grondwatersimulatie te worden gemaakt. Het model zal beter te kalibreren zijn met een ruimtelijke en temporele variatie in grondwaterflux. Daarmee worden de jaarrond prestaties naar verwachting beter.

Op dit moment lijkt het ontbreken van een concept voor de stedelijke modellering het grootste struikelblok. Dit is een onderdeel dat met Deltares besproken kan worden. Misschien zijn er work arounds voor beschikbaar in WFLOW. Anders kan hiervoor een ander model worden gebruikt.

WFLOW is van oorsprong bedoeld voor het simuleren van hydrologische processen in sterk hellend terrein. Het model dat in deze studie is opgezet is ook niet geschikt voor vlak terrein. Voor vlakker terrein, waar stijghoogteverschillen een dominantere rol spelen, moet gebruik gemaakt worden van de nieuwe Julia variant van WFLOW. Deze is voor zover bekend nog niet uitvoerig getest in Nederlandse omstandigheden. Het is mogelijk om een PCraster model om te zetten naar een Julia model. Het model zou dan ook geschikt moeten zijn voor het simuleren van oppervlakkige afvoer op steile hellingen, maar dit moet uiteraard nog wel worden getest op een regenwaterbuffer van het waterschap.

WFLOW kan rekenen zonder apart hydraulisch modelconcept. De hydraulica wordt echter wel eenvoudig meegenomen via het kinematic wave routing concept. Als er een fijnmazig oppervlaktewaterennetwerk is, er sprake is van een sterke beïnvloeding van benedenstrooms (opstuwing), sturing van kunstwerken, er hoge eisen worden gesteld zijn aan correctheid van golfvormen of lokale resultaten, dan raden we aan het model in combinatie door te rekenen met een hydraulisch model.

Doordat er een koppeling bestaat tussen modelparameterwaarden en landgebruik en bodemtype kan het model ook gebruikt worden om maatregelen door te rekenen. Het gaat hier dan bijvoorbeeld om landgebruik veranderingen en ligging van watergangen. Daarnaast is het ook mogelijk om complexere maatregelen te parametriseren. Zo kunnen functionaliteiten van het model gebruikt worden om bijvoorbeeld een regenwaterbuffer te schematiseren. Belangrijk is wel dat dit geen gedetailleerd fysisch model is en dat maatregelen dus altijd geparametriseerd moeten worden.

2 Is het modelconcept goed te koppelen aan andere modelconcepten?

Het WFLOW-model is te koppelen aan andere modelconcepten. Dit moet binnen de huidige modelopzet wel op een offline manier gebeuren. Er kunnen invoer reeksen opgelegd worden binnen elke gridcell en het is mogelijk om op elke gridcell uitvoer te genereren. Als WFLOW ook wordt opgenomen binnen D-HYDRO dan wordt het combineren met andere modelconcepten in D-HYDRO makkelijker.

3 Hoe goed laat het model zich kalibreren?

Binnen deze studie hebben we slechts een begin gemaakt met het kalibreren van het model. Hierdoor is het niet mogelijk om deze vraag volledig te

beantwoorden. We gaan hieronder wel in iets meer detail op onze ervaringen in.

Het model beschikt over een lange lijst aan parameters wat het kalibreren in eerste instantie lijkt te bemoeilijken. Een groot deel van deze parameters heeft slechts een beperkte invloed en hoeft alleen initieel vastgesteld te worden. Hierdoor is de lijst met kalibratieparameters beperkter. De belangrijkste lijken de bodemdiepte, de worteldiepte, Ksat, M, N, wegzijging/kwel en interceptie. Het kalibratieproces wordt vergemakkelijkt doordat er met parameterwaarde tabellen wordt gewerkt. Hiermee zijn de parameterwaarden gekoppeld aan bodemtype, landgebruik en stroomgebiedID en zijn ze snel aanpasbaar. Daarnaast is het mogelijk om parameterwaarden ook ruimtelijk op te geven en eventueel ook in de tijd. Een modelberekening duurt wel relatief lang in het normale gebruik door een modelleur. In dit project ongeveer 10 uur voor drie jaar met een standaard laptop. Door met een warme start te werken kan dit worden verkort.

De resultaten van de gevoeligheidsanalyse laten zien dat een kalibratie zeker betere resultaten kan opleveren maar dat er ook nog extra werk nodig is. Het gaat dan met name om toevoegen van een ruimtelijke en temporele variatie in kwel- en wegzijging en het verbeteren van de stedelijke modellering.

4 Is het modelconcept geschikt om hoogwaterstatistiek te bepalen met de stochastenmethode en/of tijdreeksmethode?

Met WFLOW kan langjarig worden gerekend en zou een berekening voor de tijdsreeksmethode mogelijk moeten zijn. We hebben echter maximaal 3 jaar doorgerekend en kunnen op basis van deze ervaring niet aangeven of het mogelijk is om een tijdreeks van 100 jaar te simuleren. Als we de rekentijd extrapoleren naar 100 jaar, komen we op een duur van 13 dagen. Maar de simulatie kan ook in meerdere periodes worden opgedeeld en over meerdere processoren worden verdeeld, waardoor de simulatietijd geen beperking hoeft te zijn. Het is daarnaast goed te weten dat Deltares op dit moment bezig is om WFLOW te versnellen binnen Julia. Of er andere beperkingen zijn in de vorm van opslagcapaciteit of grootte of het geheugengebruik van variabelen, hebben we niet kunnen testen in dit project.

Het is mogelijk om met een warme start te werken. Dit maakt dat het model ook gebruikt kan worden voor stochastenmethode.

Doordat er geen online koppeling zit tussen WFLOW en D-HYDRO-1D is het niet mogelijk om de invloed van bijvoorbeeld een hogere stuwstand op het WFLOW-model mee te nemen. Dit is een beperking voor zowel de stochasten- als tijdreeksmethode.

Doordat WFLOW zelfstandig kan rekenen is het mogelijk om de koppeling met D-HYDRO-1D2D alleen te maken voor bepaalde periodes. Dit maakt de toepassing binnen stochastenmethode en tijdreeksmethode haalbaar.

5 Welke data, software en hardware zijn nodig om een model te bouwen en te simuleren?

Voor het maken van een WFLOW-model zijn de volgende gegevens nodig:

- Een grondgebruikraster;
- Een maaiveldhoogteraster;
- Een bodemtyperaster;
- SIMGRO7 idf bestanden voor de grondwaterfluxen;
- Neerslag- en verdampingsraster of tijdseries uit Meteobase;
- Een stroomgebiedsshape.

Voor het genereren en doorrekenen van het model is een Pythoninstallatie nodig met minimaal het WFLOW-package. Daarnaast is een GIS-programma handig. Wat hardware betreft volstaat een eenvoudige machine, zoals een laptop of een thuis-pc.

6 Neemt het concept de fysische processen in het grondwater voldoende nauwkeurig mee en wanneer is dit relevant?

De fysische processen in het grondwater worden in het WFLOW-concept niet direct meegenomen. Het model schematiseert alleen naar de bovenste laag. Er kunnen wel grondwaterfluxen aan het model worden toegevoegd of onttrokken. Deze kunnen eventueel ruimtelijk en temporeel variërend opgelegd worden. Deze grondwaterfluxen kunnen uit een SIMGRO7 simulatie overgenomen worden. Huidige resultaten suggereren dat het belangrijk is om deze temporele variatie mee te nemen. Op basis van de SIMGRO7 resultaten kan bepaald worden of het voldoende is om met een vaste jaarlijkse reeks te werken of dat een directe koppeling nodig is.

6 Referenties

- [1] Naudin-Ten Cate, R., Tjootink, T., Wentink, M., **Cultuurtechnisch Vademecum, Handboek voor inrichting en beheer van land,** water en milieu. ISBN: 90.5439.089.1, 2000.
- [2] **WFLOW website:**
https://wflow.readthedocs.io/en/latest/wflow_sbm.html.
- [3] **WFLOW Githubsite:**
<https://deltares.github.io/Wflow.jl/dev/model/sbm/>

Bijlagen

A Landgebruik Ernst

Hieronder zijn de landgebruik omzettingen weergegeven per basisbestand naar SOBEK2 grondgebruik codering. De SOBEK2 grondgebruikcoderingen zijn direct hieronder weergegeven als sbk_types. De omzetting van het landgebruik is uitgevoerd met de Jupyter Notebook '20201102_RR_genereer_landgebruik_raster.ipynb'.

```
sbk_types={
  1: 'aardappelen',
  2: 'graan',
  3: 'suikerbiet',
  4: 'mais',
  5: 'overige_gewassen',
  6: 'bolgewassen',
  7: 'boomgaard',
  8: 'gras',
  9: 'loofbos',
  10: 'naaldbos',
  11: 'natuur',
  12: 'kale_grond',
  13: 'open_water',
  14: 'verhard',
  15: 'kassen'
}
```

```
bgt_begroeidterreindeel={
  'bouwland':5,
  'grasland overig':8,
  'grasland agrarisch':8,
  'struiken':8,
  'gemengd bos':9,
  'duin':12,
  'groenvoorziening':8,
  'houtwal':8,
  'heide':11,
  'loofbos':9,
  'fruitteelt':7,
  'boomteelt':7,
  'moeras':11,
  'naaldbos':10,
  'rietland':11
}
```

```
bgt_onbegroeidterreindeel = {
  'erf':8,
  'open verharding':14,
```



```

        'onverhard':8,
        'gesloten verharding':14,
        'half verhard':14,
        'zand':12
    }

    bgt_ondersteunendwaterdeel = {
        'oever, slootkant':8,
        'slik':8
    }

    bgt_ondersteunendwegdeel = {
        'berm':8,
        'verkeerseiland':8
    }

    bgt_overigbouwwerk={
        'lage trafo':14,
        'niet-bgt':14,
        'opslagtank':14,
        'open loods':14,
        'overkapping':14,
        'bassin':14,
        'windturbine':14,
        'bezinkbak':14
    }

    bgt_waterdeel={
        'waterloop':13,
        'watervlakte':13,
        'greppel, droge sloot':8,
    }

    bgt_wegdeel={
        'rijbaan lokale weg':14,
        'inrit':14,
        'voetpad':14,
        'fietspad':14,
        'rijbaan regionale weg':14,
        'parkeervlak':14,
        'voetpad op trap':14,
        'overweg':14,
        'spoorbaan':12,
        'OV-baan':14,
        'voetgangersgebied':14,
        'rijbaan autosnelweg':14,
        'woonerf':14
    }

```

```
bgt_pand_V={
  'pand_V':14
}
```

```
bgt_scheiding_V={
  'muur':14,
  'kademuur':14,
  'hek':14,
  'niet-bgt':14,
  'walbescherming':14,
  'geluidsscherm':14
}
```

```
top10_gebouwen={
  'kas, warenhuis':15
}
```

De brp codes zijn als volgt omgezet in SOBEK2 landgebruikcodes:

brp	sbk
174	12
233	2
234	2
235	2
236	2
237	2
244	5
256	4
257	4
258	5
259	4
262	5
263	5
265	8
266	8
311	5
314	5
316	4
317	4
331	8
332	8
333	8
334	8
335	11
337	8
343	8

346	5
347	5
372	8
383	5
426	5
427	5
428	5
511	5
516	5
657	5
663	5
665	5
670	5
795	7
796	7
799	5
800	5
814	4
853	5
854	5
863	5
965	5
967	5
979	5
982	5
991	5
998	6
1002	6
1006	6
1012	6
1019	5
1025	5
1047	5
1051	6
1054	5
1067	7
1070	7
1071	7
1072	7
1073	7
1074	7
1075	7
1076	7
1077	7

1078	7
1079	7
1080	7
1088	7
1089	7
1094	12
1096	7
1098	7
1869	5
1874	5
1921	8
1923	5
1926	5
1932	5
1933	5
1935	12
1936	9
2014	1
2015	1
2017	1
2300	12
2325	5
2328	7
2700	5
2701	5
2702	5
2704	5
2706	5
2710	5
2711	5
2712	5
2715	5
2719	5
2723	5
2727	5
2735	5
2747	5
2751	5
2755	5
2759	5
2761	5
2763	5
2767	5
2769	5

2771	5
2773	5
2779	5
2782	5
2783	5
2785	5
2793	5
2797	5
2799	5
2801	5
3512	5
3519	5
3802	12
3803	11
3804	11
1084	7

B Terreinruwheid

BGTPlusTyp	Count BGTPlusTyp	Average Nikuradse
	82112	3,1793
bassin	15	10
bezinkbak	15	10
gemaal	4	0,75
greppel, droge sloot	701	0,15
kademuur	23	10
lage trafo	153	10
muur	420	10
niet-bgt	757	9,9633
niet-bgt:bunker	13	10
niet-bgt:duiker	4	0,75
niet-bgt:keermuur	13	0,75
niet-bgt:schuur	243	10
niet-bgt:voedersilo	1077	10
oever, slootkant	3748	0,5
open loods	192	10
opslagtank	82	10
overkapping	68	10
perron	3	0,75
steiger	42	0,75
stuw	105	0,75
waterloop	3435	0,05
waterloop:sloot	216	0,05
watervlakte	176	0,05
watervlakte:meer, plas, ven, vijver	28	0,05
windturbine	1	10

fysiekVoor	Count fysiekVoor	Average Nikuradse
	35307	7,664
boomteelt	25	0,5
bouwland	540	0,2
bouwland:braakliggend	2	0,2
erf	15914	0,6
fruitteelt	10	0,5
gemengd bos	1082	0,5
gesloten verharding	1068	0,2
gesloten verharding:asfalt	2027	0,2
gesloten verharding:cementbeton	641	0,2
gesloten verharding:kunststof	61	0,2
grasland agrarisch	514	0,5
grasland overig	850	0,5
groenvoorziening	3744	0,5
groenvoorziening:bodembedekkers	1255	0,5
groenvoorziening:bosplantsoen	394	0,5
groenvoorziening:gras- en kruidachtigen	6206	0,5
groenvoorziening:heesters	2054	0,5
groenvoorziening:planten	277	0,5
groenvoorziening:struikrozen	97	0,5
half verhard	683	0,2
half verhard:grasklinkers	213	0,2
half verhard:gravel	6	0,2
half verhard:grind	80	0,2
half verhard:puin	18	0,2
heide	53	0,5
houtwal	257	1
loofbos	233	0,5
moeras	1	0,5
naaldbos	13	0,5
onverhard	2100	0,2
onverhard:zand	159	0,2
open verharding	13177	0,2
open verharding:beton element	34	0,2
open verharding:betonstraatstenen	2714	0,2
open verharding:gebakken klinkers	595	0,2
open verharding:sierbestrating	90	0,2
open verharding:tegels	877	0,2
rietland	11	0,5
struiken	59	1
zand	203	0,2
zand:zandverstuiving	2	0,2

**Hoofdkantoor**

HKV lijn in water BV
Botter 11-29
8232 JN Lelystad

Nevenvestiging

Informaticalaan 8
2628 ZD Delft

0320 294242
info@hkv.nl
www.hkv.nl