



Stroombanen heuvelruggen Valleien en Veluwe

Waterbom hellende zandgebieden



Rapport

Onderzoeksrapport

Aveco de Bondt BV

Holten - Amstelveen - Breda - Eindhoven - Nieuwegein

Postbus 64, 7450 AB Holten

T +31 88 004 82 12

info@avecodebondt.nl

avecodebondt.nl

Stroombanen heuvelruggen Vallei en Veluwe

project Stroombanen heuvelruggen Vallei en Veluwe
projectnummer 221128
projectleider Thijs Visser

datum 14 oktober 2022
referentie 221128_AdB_RAP_0001_v1

opdrachtgever Manifestregio Klimaat Vallei en Veluwe
postadres Postbus 4142 | 7320 AC Apeldoorn

contactpersoon Sandy Hofland
Simon Troost

status Definitief
auteur Willeke van de Wardt

paraaf
gecontroleerd ir. Thijs Visser



Regionaal delen. Lokaal doen.
KLIMAAT VALLEI EN VELUWE





Inhoudsopgave

Samenvatting	1
1 Introductie	2
1.1 Aanleiding	2
1.2 Opzet onderzoek	3
1.3 Leeswijzer	3
2 Praktijkinformatie	4
3 Modeluitgangspunten	6
4 Resultaten	9
4.1 Koppeling praktijkinformatie en modelresultaten	10
4.2 Beoordeling resultaten	13
5 Bevindingen en aanbevelingen	14
Bijlage 1 Interviews en praktijkinformatie	16
Bijlage 2 Factsheets modelinstellingen	17
Bijlage 3 Achtergrondinformatie	18

Bijlagen

Bijlage 1	Interviews en praktijkinformatie
Bijlage 2	Factsheets modelinstellingen
Bijlage 3	Achtergrondinformatie



Samenvatting

Hevige buien komen steeds vaker voor. Zo viel er een enorme hoeveelheid regen in de zomer van 2021 in Limburg, wat leidde tot grote schade. Afgelopen jaren zijn in onze regio Vallei en Veluwe regionale en lokale klimaatstresstesten uitgevoerd. Hierdoor zijn knelpunten in het stedelijke gebied en in het watersysteem in het landelijk gebied goed in beeld. In het gebieden zonder watergangen is minder kennis en inzicht in oppervlakkige afstroming en weten we dus niet of hevige regen kan leiden tot stroombanen. Denk hierbij aan de Veluwe en Utrechtse Heuvelrug. De toenemende kans op hevige neerslag, ook wel waterbom genoemd en overstroming in Zuid-Limburg geeft aanleiding om goed naar ons hellend landelijk gebied te kijken. Het doel is om inwoners, overheden en andere organisaties goed te kunnen informeren over de impact van zo'n waterbom.

De Manifestregio Klimaat Vallei en Veluwe heeft initiatief genomen om een onderzoek te doen waarbij maaiveldstroming op de flanken van de heuvelruggen in kaart wordt gebracht. Met de kennis van dit onderzoek wordt de impact van een waterbom inzichtelijk.

In het verleden hebben hevige buien op een aantal locaties op de flanken voor wateroverlast gezorgd. Zoals in Elspeet, Wageningen, Hoenderloo en Beekbergen. Deze praktijkinformatie is gekoppeld aan het modelonderzoek. De beschikbare praktijkinformatie is beperkt. Dit komt vooral omdat langdurige intensieve buien nog niet vaak zijn voorgekomen. Ook speelt mee dat risicogebieden in bosgebied niet worden bezocht als het regent en klachtenregisters van wateroverlast niet worden bijgehouden.

Wat hebben we in beeld gebracht

De impact van een waterbom is inzichtelijk gemaakt in vier kaarten: waterdiepte, stroomsnelheid, stroomvolume en risico. Twee verschillende buien zijn doorgerekend: 70 mm in 2 uur en 140 mm in 2 uur. Deze buien komen 'in het klimaat' van 2050 twee keer zo vaak voor als in het huidige klimaat, respectievelijk eens per 50 jaar en eens per 500 jaar. De resultaten bevestigen het beeld dat de Veluwe en de Utrechtse Heuvelrug gevoelig zijn voor deze korte hevige buien. Bij een 70 mm bui in 2 uur stroomt op een aantal locaties het water over het maaiveld met schade tot gevolg. Een 140 mm bui zorgt voor significant meer stroming over het maaiveld en een groot aantal locaties waar risico is op schade en slachtoffers. Deze stroombanen stromen ook langs huizen, recreatieterreinen en (snel)wegen.

De uitkomst van het onderzoek draagt bij aan het urgentiebesef en de afweging van risico's en effecten en hoe daarmee om te gaan. Verschillende partijen, zoals gemeenten, waterschap en natuurbeheerders zullen samen de risico's moeten afwegen en dit meenemen in adaptatieplannen. Bij het maken van ruimtelijke plannen is het aan te raden om risico's van een waterbom mee te nemen. Om te voorkomen dat nieuwbouw op locaties van een stroombaan worden gepland. Daarbij de opmerking dat weinig praktijkkennis over deze stroombanen aanwezig is, het bijhouden van informatie zoals een klachtenregister is aan te raden.



1 Introductie

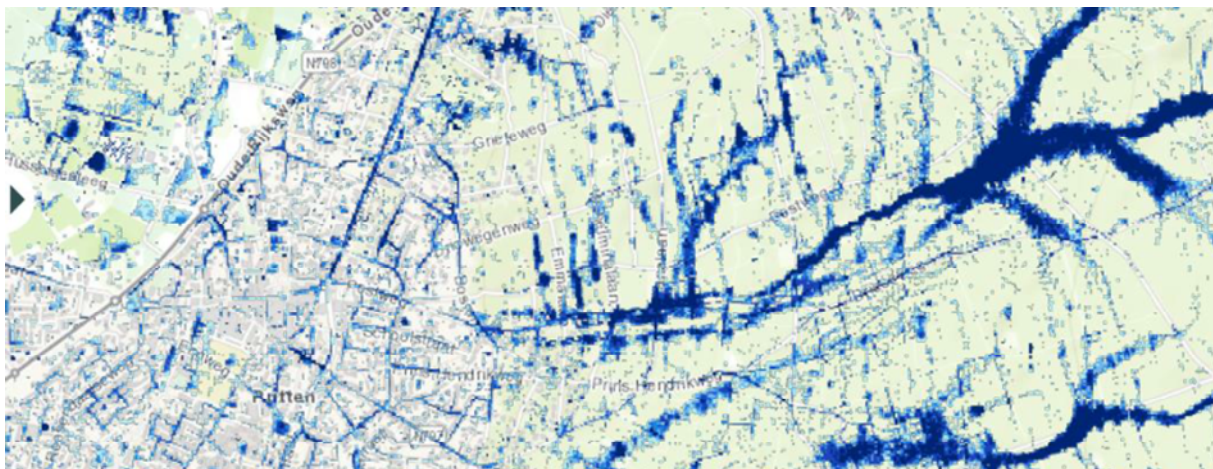
In 2017 hebben de 28 gemeenten in de regio van de Gelderse Vallei en de Veluwe, samen met de twee provincies (Utrecht en Gelderland), Rijkswaterstaat, Waterschap Vallei en Veluwe, Vitens, de GGD's en de Veiligheidsregio's besloten om samen te werken aan het klimaatrobuust inrichten van de manifestregio waterschap Vallei en Veluwe.

Ons klimaat verandert, dat ervaren wij in toenemende mate om ons heen en daarop moeten wij ons gaan aanpassen. Als betrokken overheden in de Gelderse Vallei, Veluwe, Eemland en IJsselvallei wil manifestregio Vallei en Veluwe haar regio ook in de toekomst een plek laten zijn waar het goed wonen, werken en recreëren is en hoge natuurwaarden worden behouden. Daarvoor heeft de manifestregio onder andere het Regionaal Adaptatie Plan opgesteld voor de periode 2021-2027. Het motto is regionaal delen, lokaal doen. Voor het delen van informatie wordt de website www.klimaatvalleienveluwe.nl gebruikt.

1.1 Aanleiding

Hevige buien komen steeds vaker voor. Zo viel er een enorme hoeveelheid regen in de zomer van 2021 in Limburg en zorgde de neerslag in februari 2022 voor een vol watersysteem in regio Vallei en Veluwe. Afgelopen jaren zijn in de regio regionale en lokale stresstesten uitgevoerd. Hierdoor zijn stedelijke watersysteemknelpunten en oppervlaktewaterknelpunten goed in beeld.

Wanneer de neerslagintensiteit de infiltratiecapaciteit van de Veluwe en de Utrechtse Heuvelrug overschrijdt, kunnen stroombanen ontstaan vanaf de heuvelruggen naar de Gelderse en IJsselvallei. Uit de regionale stresstest van waterschap Vallei en Veluwe ontstaan beelden van stroombanen bij een bui van 70 mm in 2 uur (zie Figuur 1). Als deze patronen werkelijk optreden, ontstaan op veel plekken snel stromend water en/of modderstromen en treedt erosie op. Er is geen overzicht in welke mate de informatie over de stroombanen mee is en wordt genomen in de uitwerking van de stresstesten en uitvoeringsagenda's bij de gemeenten. Wel is duidelijk dat bij veel nadere uitwerkingen is ingezoomd op het stedelijk gebied. De situatie van Zuid-Limburg geeft aanleiding om goed naar landelijk gebied te kijken, met als doel om onszelf (overheden), maar ook andere organisaties en de omgeving goed te kunnen informeren over de impact van zo'n 'waterbom'. Daarom heeft manifestregio Vallei en Veluwe initiatief genomen om over te gaan tot een onderzoek waarbij maaiveldstroming in landelijk gebied, op de flanken van de heuvelruggen, in kaart wordt gebracht. Met de kennis van dit onderzoek wordt de impact van een 'waterbom' inzichtelijk en biedt het onderzoek kans om de effecten van mogelijke stroombanen mee te nemen in de adaptatieplannen. De uitkomst van het onderzoek draagt bij aan het urgentiebesef en de afweging van risico's en effecten en hoe daarmee om te gaan.



Figuur 1: Uitsnede klimaatatlas Vallei en Veluwe. Water op maaiveld bij een bui van 70 mm in 2 uur.



1.2 Opzet onderzoek

Binnen dit onderzoek wordt de koppeling gemaakt tussen de praktijk en het model waarmee eventuele stroombanen als gevolg van neerslag worden berekend. Onder stroombanen wordt in dit onderzoek oppervlakkige afstroming over maaiveld, op de flanken van de heuvelruggen, als gevolg van neerslag verstaan. Het onderzoek bestaat uit de volgende stappen:

1. Interviews en ophalen praktijkinformatie

Praktijkinformatie over het optreden van stroombanen, de wijze waarop stroombanen in de klimaatdialogen wordt meegenomen en lokale informatie over infiltratiecapaciteit op de flanken van de heuvelruggen is middels telefoongesprekken met de betreffende medewerkers van gemeenten en het waterschap opgehaald. De informatie uit deze gesprekken is, indien mogelijk, aan opgetreden neerslaggebeurtenissen gekoppeld. Locatiespecifieke informatie is gebundeld en weergegeven op een overzichtskaart. Niet-plaatsgebonden informatie is opgenomen in deze rapportage.

2. Regionale berekeningen stroombanen

De aanpak van deze studie is gericht op het creëren van een regionaal overzicht van het optreden en het gedrag van stroombanen. Hiervoor worden kortdurende neerslagscenario's doorgerekend in Tygron en wordt een regionaal overzicht geboden door de berekeningen voor het gehele beheergebied van manifestregio Vallei en Veluwe uit te voeren (bevat alle flanken van de heuvelruggen binnen het beheergebied). Ten aanzien van de instellingen van de eerdere modelberekeningen die zijn uitgevoerd voor klimaatatlas Vallei en Veluwe (wateroverlast, landelijk gebied, uitgevoerd door Tygron en Deltares), heeft er in deze studie een gevoeligheidsanalyse plaatsgevonden om de meest representatieve instellingen vast te stellen.

3. Combineren praktijkinformatie met rekenresultaten

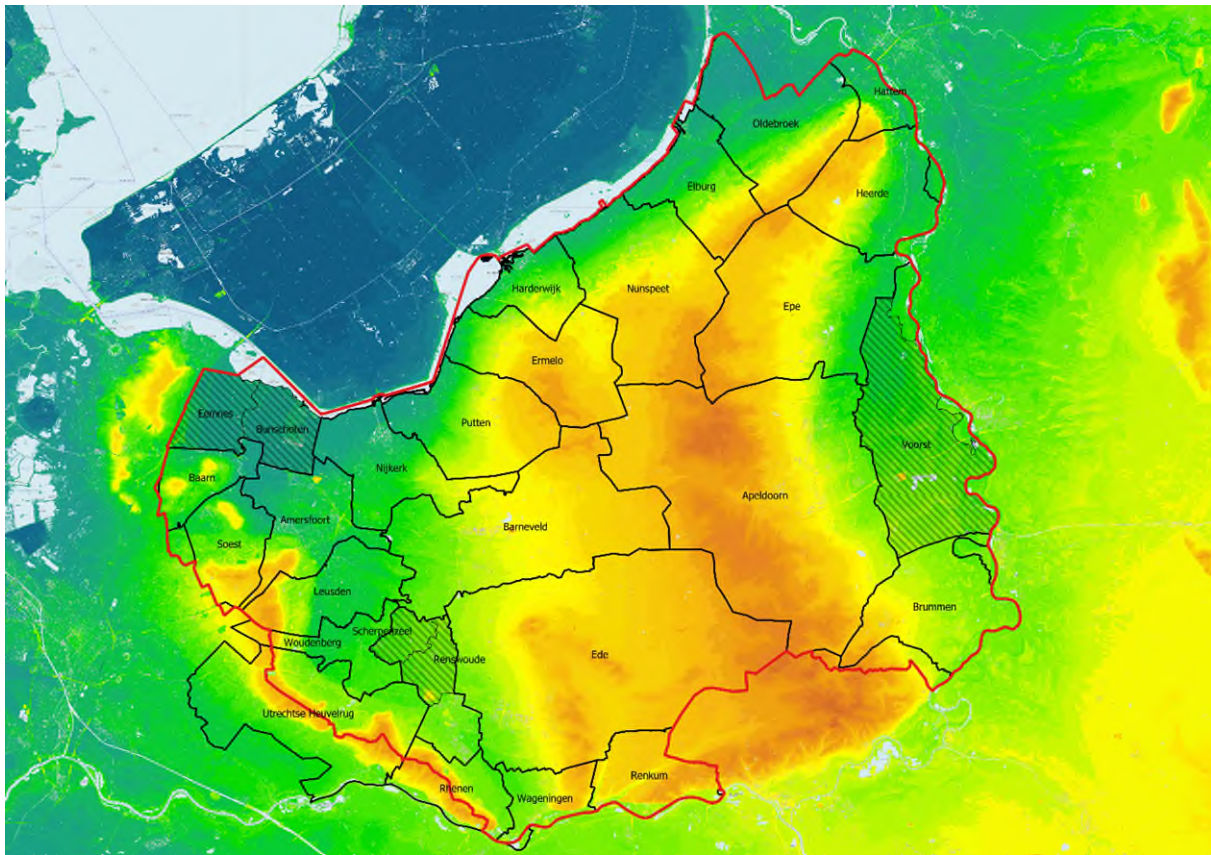
De praktijkinformatie uit stap 1 en resultaten van de berekeningen uit stap 2 zijn in stap 3 gecombineerd om in kaart te brengen in hoeverre model en praktijk vergelijkbaar zijn.

1.3 Leeswijzer

In hoofdstuk 2 is een overzicht van de opgehaalde praktijkinformatie (stap 1) gegeven. Hierbij zijn de belangrijkste bevindingen opgenomen in het betreffende hoofdstuk, met een overzicht van alle praktijkinformatie in de bijlage. In hoofdstuk 3 en 4 zijn opeenvolgend de modeluitgangspunten benoemd en de resultaten van de modelberekeningen gepresenteerd. In hoofdstuk 4 wordt tevens de koppeling gemaakt met de praktijkinformatie. Tot slot is in hoofdstuk 5 een advies opgenomen over hoe de resultaten van dit onderzoek gebruikt kunnen worden en hoe het inzicht in stroombanen verder verdiept kan worden.

2 Praktijkinformatie

Voorafgaande aan de modelberekeningen is praktijkinformatie opgehaald bij de gemeenten binnen het beheergebied van manifestregio Vallei en Veluwe. Er is voor gekozen om enkel de gemeenten te benaderen die op de flanken van de heuvelruggen liggen (zie Figuur 2, de gearceerde gemeenten liggen in een relatief vlak gebied en zijn niet benaderd voor praktijkinformatie). Aanvullend heeft contact plaatsgevonden met de provincie Gelderland en waterschap Vallei en Veluwe.



Figuur 2: Hoogtekaart beheersgebied Vallei en Veluwe, met hierin de verschillende gemeenten. De gemeenten met een arcering liggen in een relatief vlak gebied.

Voor de interviews is onderstaande vragenlijst samengesteld:

- Heeft u ervaring met stroombanen die in het verleden hebben opgetreden? Zo ja; kunt u aangeven waar, wanneer en eventueel bij welke condities deze hebben plaatsgevonden?
- Herkent u de beelden van stroombanen zoals weergegeven in de klimaateffectatlas uit de praktijk?
- Is bij u bekend tot welke gevolgen dit heeft geleid? Herkent u bijvoorbeeld locaties langs de rand van bebouwd gebied waar (diepe) plassen water hebben gestaan of waar schade heeft opgetreden na een neerslaggebeurtenis? Dit kan zowel materiële schade zijn, als het niet kunnen gebruiken van de infrastructuur. Mogelijk herkent u locaties waar meegespoelde objecten van de heuvelrug, zoals hout, zich hebben geaccumuleerd na een neerslaggebeurtenis.
- Wordt het optreden van stroombanen en het mogelijke effect hiervan meegenomen in de adaptatieplannen/klimaatdialogen?
- Hebt u aanvullende gebiedsspecifieke kennis die van toegevoegde waarde kan zijn voor ons onderzoek?



In Bijlage 1 is een tabel opgenomen met daarin een overzicht van de antwoorden per gecontacteerde organisatie. Het is niet gelukt om in contact te komen met de gemeente Epe, Nijkerk, Oldebroek, Rhenen en de Provincie Utrecht. De bevindingen op hoofdlijnen zijn als volgt:

- Bij de meeste gemeenten worden de stroombanen niet meteen herkend. Wel worden enkele plekken binnen de gemeente aangewezen waar water heeft gestaan tijdens een bui. Dit betreft voornamelijk bebouwd gebied, de stroombanen in landelijk gebied worden niet vaak herkend.
- Uitzondering hierop is de gemeente Wageningen. Hier worden de stroombanen wel herkend (overeenkomstig met de resultaten uit de klimaatatlas) en de problemen zijn in het verleden opgelost door drempels aan te leggen, regenwater af te koppelen en verticale drainage toe te passen.
- Schade vanuit de praktijk als gevolg van stroombanen wordt niet als dusdanig herkend.
- Bij de vraag of de resultaten uit de atlas meegenomen worden in de adaptatieplannen, heeft een aantal gemeenten aangegeven nog geen adaptatieplan te hebben, maar bij het opstellen hiervan wel degelijk het optreden van stroombanen mee te willen nemen. Bij de meerderheid wordt het optreden van stroombanen echter niet meegenomen in de adaptatieplannen. De focus ligt hierbij voornamelijk bij het stedelijke gebied.
- Over het algemeen is men geïnteresseerd in het onderzoek. Gemeenten zijn benieuwd naar de uitkomsten en een aantal gemeenten wil graag terugkoppeling ontvangen van de resultaten.
- Eén gemeente heeft aangegeven blij te zijn met de viewer van Vallei en Veluwe omdat dit goed inzicht geeft in de data. Hij had niet scherp dat landelijk gebied hier ook in staat, maar nu hij hiervan op de hoogte is, vindt hij het waardevolle informatie om mee te nemen in de adaptatieplannen.
- Een aantal gemeenten is kritisch op het model en de uitgangspunten die gehanteerd zijn om de resultaten te verkrijgen die in de viewer ontsloten zijn.
- Waterschap Vallei en Veluwe en de gemeente Nunspeet hebben aangegeven dat aan de oostzijde van Elspeet een opvangbak is aangelegd om overtollig regenwater op te vangen. Dit betrof tevens neerslag vanaf de flanken. De man van de gemeente gaf echter aan dat hij, juist omdat hier een bak is aangelegd om water op te vangen, het gek vond dat hier zo weinig water op maaiveld werd gemodelleerd in de klimaatatlas. Hij verwachtte hier meer water dan dat het model had berekend.
- Niet alle gemeenten houden een klachtenregister bij waar overlastmeldingen in opgenomen zijn.
- Door personeelsverloop binnen organisaties is ook praktijkkennis over extreme situaties verloren gegaan.
- Er is weinig informatie beschikbaar over afstroming op de heuvelruggen en er zijn geen meetgegevens beschikbaar die inzicht geven in de gebiedskarakteristieken van de flanken van de heuvelruggen. Er is tijdens het onderzoek maar beperkt inzicht verkregen in uitgevoerde onderzoeken naar bijvoorbeeld infiltratiecapaciteit van de ondergrond.

3 Modeluitgangspunten

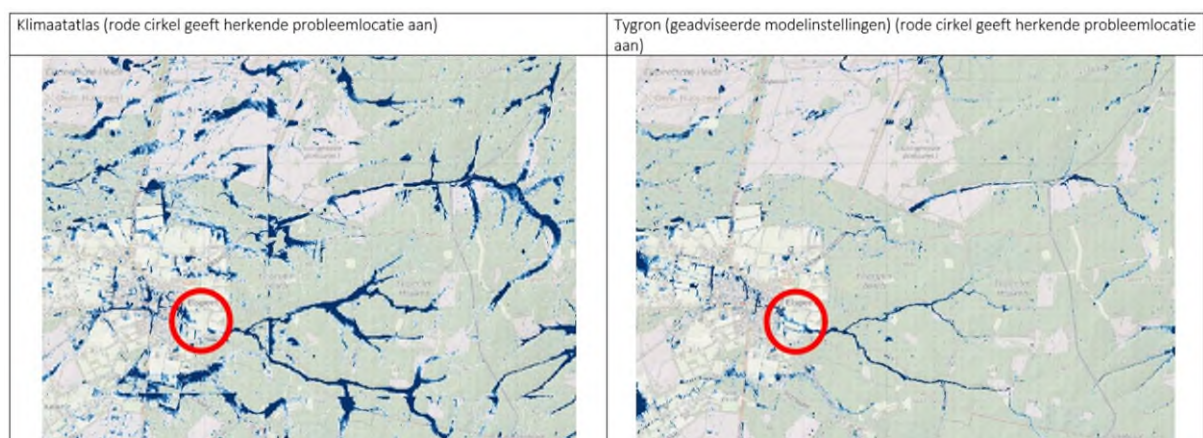
De Veluwe en de Utrechtse Heuvelrug zijn zandgebieden met een lage grondwaterstand, waarbij de intensiteit van neerslag bepalend is voor het optreden van oppervlakkige afstroming. Buien met een grote neerslagsom, maar relatief lage intensiteit, zoals bijvoorbeeld de bui die in 2021 in Limburg, Duitsland en België viel, kunnen infiltreren. Indien de intensiteit van de neerslag hoger is dan de infiltratiesnelheid vindt er oppervlakkige afstroming plaats. Dit oppervlakkig afstromend regenwater kan leiden tot geconcentreerde stroombanen met wateroverlast, schade, erosie of gevaarlijke situaties tot gevolg.

Vanuit de interviews is gebleken dat er een vermoeden bestaat dat de huidige klimaatatlas de situatie in landelijk gebied overschat. Er is behoefte aan enerzijds informatie hoe de berekening is uitgevoerd en anderzijds een meer op het gebied toegespitste berekening die rekening houdt met de infiltratiesnelheid en afstroomvertraging die kenmerkend zijn voor het onderzoeksgebied. Er is gekozen om een nieuwe berekening uit te voeren en om de modelinstellingen teijken op de praktijkervaringen die tijdens de interviews zijn opgehaald.

De berekeningen zijn uitgevoerd met Tygron (versie 2022.7.2.0). In Tygron is het mogelijk om op hoge resolutie de oppervlakkige afstroming van regenwater inzichtelijk te maken. Het model is opgebouwd op basis van openbare informatiebronnen. Voor het maaiveldmodel is gebruik gemaakt van de Algemene Hoogtekaart Nederland versie 3 (AHN3). De ondergrond (met infiltratiecapaciteit, inclusief ruimtelijke variëteit) is gebaseerd op de BRO bodemkaart Nederland (1:50.000). Het landgebruik is gebaseerd op de BGT en de BRP (basisregistratie gewaspercelen). De afstroomsnelheid van neerslag is onder andere afhankelijk van het landgebruik.

Een overzicht van deze modelinstellingen is opgenomen in Tabel 1. Met een gevoeligheidsanalyse is het effect van de verschillende aanpassingen onderzocht. Dit is gedaan voor een gebied ten oosten van Elspeet. Van deze locatie is bekend dat er een opvangbak is gerealiseerd om water op te vangen (zie hoofdstuk 2, praktijkinformatie, laatste punt) en is door de gemeente aangegeven dat hier in de praktijk meer water op maaiveld wordt verwacht vergeleken met de klimaatatlas. Deze locatie is gebruikt om de uitkomsten van de gevoeligheidsanalyse te valideren met praktijkinformatie. De resultaten van de gevoeligheidsanalyse zijn opgenomen in Bijlage 1.

Op basis van de adviesinstellingen (zie Tabel 1) is het water op maaiveld beeld zoals opgenomen in Figuur 3. De rode cirkel in dit figuur geeft de herkende probleemlocatie aan.



Figuur 3: Validatie resultaten klimaatatlas en de resultaten zoals berekend met Tygron met de geadviseerde modelinstellingen.



Voor het onderzoeksgebied is geen informatie beschikbaar (bijvoorbeeld meetgegevens) om een onderbouwde keuze te maken voor modelinstellingen die afwijken van de standaardinstellingen van Tygron. Er is daarom gekozen voor afvoervertragende parameters die volgen uit wetenschappelijk onderzoek (berging in strooisellaag en microreliëf, zie Bijlage 3) en een infiltratiesnelheid op de natuurgronden die hoger is dan de standaardinstellingen van Tygron. De verhoogde infiltratiesnelheid betreft 0,5 meter per dag. Hiermee wordt de infiltratiesnelheid in sommige gevallen overschat en in sommige gevallen wordt onderschat.

In de klimaatatlas wordt nauwelijks water op maaiveld berekend op de herkende probleemlocatie. De resultaten in de klimaatatlas zijn berekend met de standaardinstellingen van Tygron voor infiltratiesnelheid en waarbij geen rekening is gehouden met eventuele berging in het microreliëf en de strooisellaag. Met de aangepaste modelinstellingen wordt er wel water berekend op de herkende probleemlocatie (zie Figuur 3, rechter figuur). Anderzijds is in de omgeving, waar geen stroombanen worden herkend, een afname van de waterdieptes en de stroombanen zichtbaar. Hiermee is gevalideerd dat de geadviseerde instellingen voldoen voor deze studie.

Tabel 1: Gebruikte instellingen modelberekeningen

Onderdeel	Instellingen modelstudie	Onderbouwing
Buien	70 mm / 2 uur en 140 mm / 2 uur	Gezien de gebiedskarakteristieken van de heuvelruggen, wordt oppervlakkige afstroming verwacht bij hogere neerslagintensiteiten. De gekozen buien komen overeen met de landelijk berekende situaties en kennen een herleidbare terugkeerperiode van 1:100 en 1:1.000 jaar.
Maaiveldhoogte	AHN3	Dit is ten tijde van de studie de meest recente versie van de Algemene Hoogtekaart Nederland.
Bodemopbouw	Bodemkaart 1:25.000	Er is ruimtelijke variatie in de ondergrond en de bijhorende parameters infiltratiesnelheid en porositeit. Er is sprake van 1 bodemlaag.
Grondwaterstand	GLG	Er is gerekend met een gemiddeld laagste grondwaterstand, omdat wordt verondersteld dat de neerslag in de zomer optreedt.
Droogtijd	2 uur	Een droogtijd van 2 uur wordt lang genoeg geacht voor deze studie.
Modelresolutie	1x1 meter	Hoogste betrouwbare resolutie, geen invloed op benodigde inspanning.
Modelomvang	Grote modellen, maatwerk op waterscheidingen	Randeffecten voorkomen en zo min mogelijk nieuwe modellen nodig.
Rioolcapaciteit	30 mm/uur voor bebouwd gebied	Uit ervaring met stresstesten blijkt dat veel rioolstelsels 30 mm in het uur kunnen verwerken zonder water op maaiveld. Enkel binnen bebouwd gebied is rioleringscapaciteit meegenomen.
Accuraatheid	Accurate (hoogste)	Hoogste betrouwbare nauwkeurigheid.
Infiltratiesnelheid	Standaard Tygron en bij bos en heidegrond generiek 0,5 meter / dag	Veel impact verwacht. Belangrijk dat grond ongeroerd is. Daarom alleen bos / heide. Dit is een generieke aanpassing omdat lokale informatie ontbreekt. We weten dat we hierbij op locaties de doorlatendheid overschatten en op locaties onderschatten, maar een nadere onderverdeling op bodemsoort creëert schijnnaauwkeurigheid.
Berging en interceptie	7 – 30 mm afhankelijk van landgebruik (voor agrarisch, bos en heide)	Vertraging van afstroming treedt op. De mate waarin is nog weinig onderzocht. Deze getallen komen uit praktijkonderzoek van Deltares + WUR. Deze getallen zijn opgenomen in Bijlage 3.
Andere aanvullingen	Toevoegen heide in Tygron	Het landgebruik heide is niet standaard opgenomen in Tygron. Er zijn grote vlakken heide in de BGT binnen het interessegebied. Vanwege de benodigde aanpassing op doorlatendheid en berging/interceptie moeten we heide toevoegen aan het model.
Visualisatie op viewer	Alleen hellend gebied, inclusief de gemeenten Arnhem, Rhenen en Utrechtse Heuvelrug.	Geen ruis met vlak gebied. Ter plaatse van bebouwde kommen is maatwerk geleverd, zodat niet de indruk wordt gewekt dat stedelijk gebied wordt doorgerekend met dit onderzoek. Hiermee blijft de focus voornamelijk op het landelijk gebied en stroombanen vanuit het landelijke gebied liggen.



Tijdens het verzamelen van praktijkinformatie is door een aantal gemeenten aangegeven dat er in het verleden maatregelen zijn getroffen om de gevolgen van stroombanen te beperken. Deze specifieke maatregelen zijn niet opgenomen in het model. Enkel maaiveldaanpassingen die terecht zijn gekomen in de AHN3 zijn bij de basisopbouw meegenomen in het model.



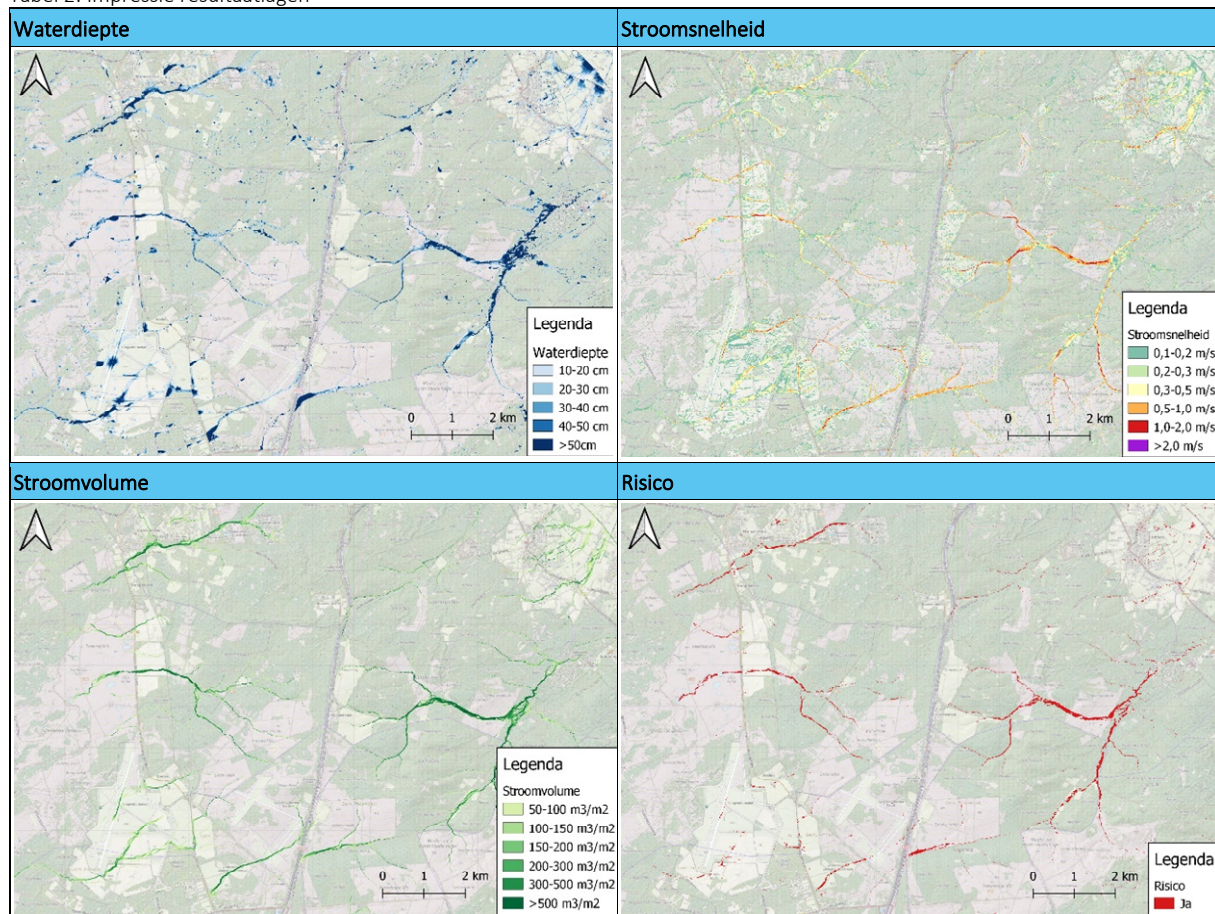
4 Resultaten

De resultaten van deze studie zijn opgenomen in de viewer van Vallei en Veluwe ([Klimaat Vallei & Veluwe » Atlas \(klimaatvalleienveluwe.nl\)](https://klimaatvalleienveluwe.nl)). Met deze studie zijn vier resultaatlagen berekend:

- Waterdiepte. De maximale waterdiepte op maaiveld in meters die is opgetreden tijdens de simulatie.
- Stroomsnelheid. De maximale stroomsnelheid over maaiveld in meter per seconde die is opgetreden tijdens de simulatie.
- Stroomvolume. Het totale stroomvolume over maaiveld in m³/m² tijdens de simulatie.
- Risico. Indien de maximale waterdiepte groter is dan 0,3 m en de maximale stroomsnelheid groter is dan 0,3 m/s wordt een stroombaan als potentieel risicovol gezien. Stroombanen die aan voorgenoemde voorwaarden voldoen zijn opgenomen in deze kaart.

In Tabel 2 is een impressie van de verschillende resultaatlagen opgenomen.

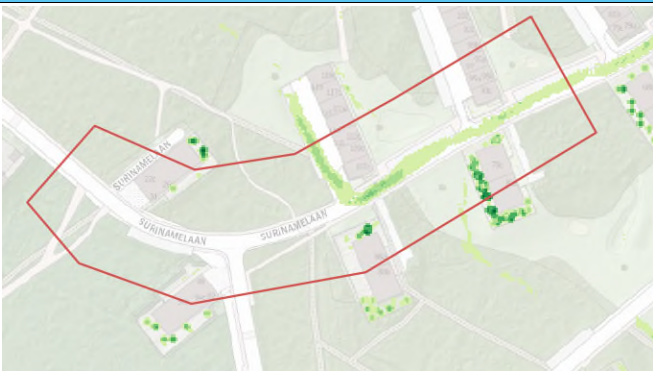
Tabel 2: Impressie resultaatlagen



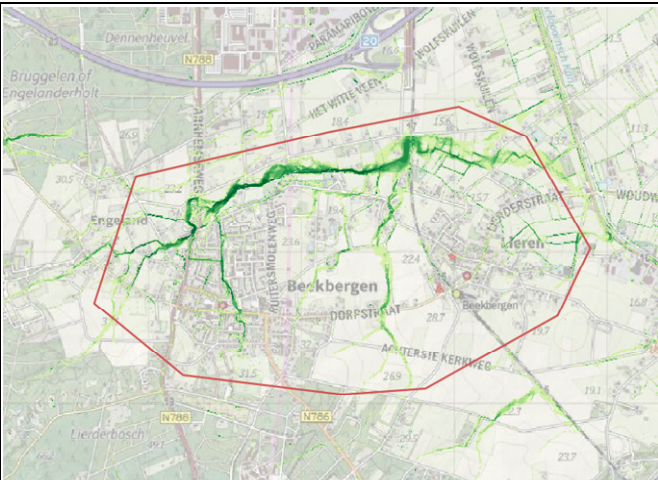
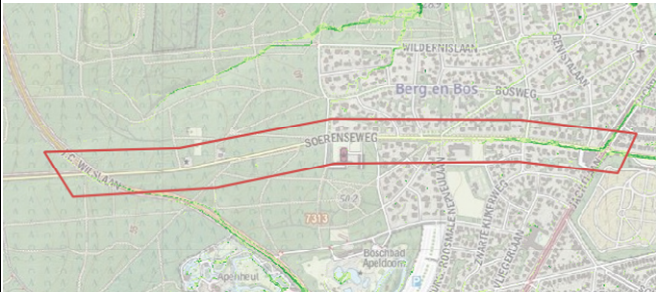
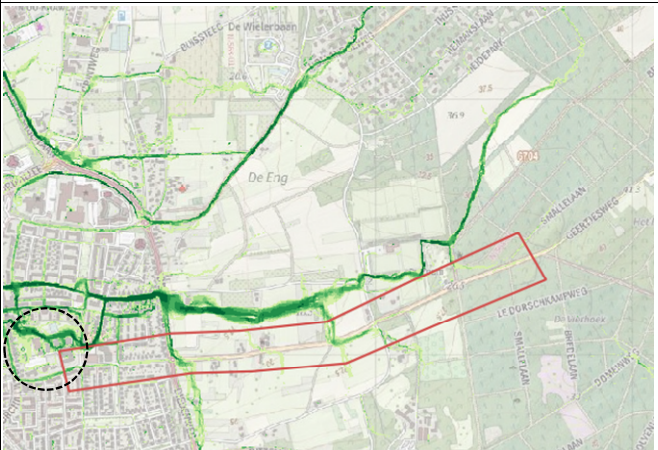
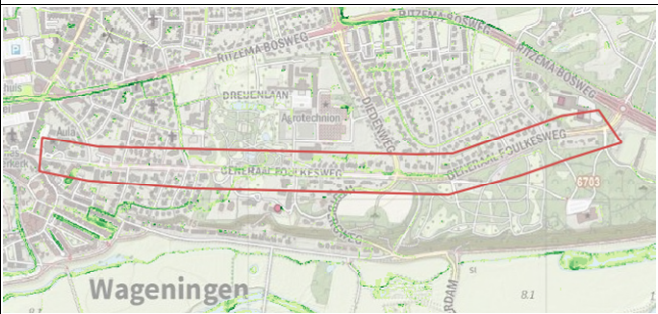
4.1 Koppeling praktijkinformatie en modelresultaten

Om in kaart te brengen in hoeverre de modelresultaten en de praktijkervaring vergelijkbaar zijn, is per herkende praktijklocatie het berekende stroomvolume opgenomen. Het betreft hier de maximale opgetreden waterdiepte tijdens een simulatie met een neerslaggebeurtenis van 70 mm in 2 uur. Indien met deze neerslaggebeurtenis geen stroombaan wordt gemodelleerd ter plaatse van een praktijklocatie, wordt de neerslaggebeurtenis van 140 mm in 2 uur beschouwd om te onderzoeken of hier wel een stroombaan optreedt. Een overzicht van de herkende overlastlocaties en de resultaten van het berekende stroomvolume bij een neerslaggebeurtenis van 70 mm in 2 uur is weergegeven in onderstaande tabel.

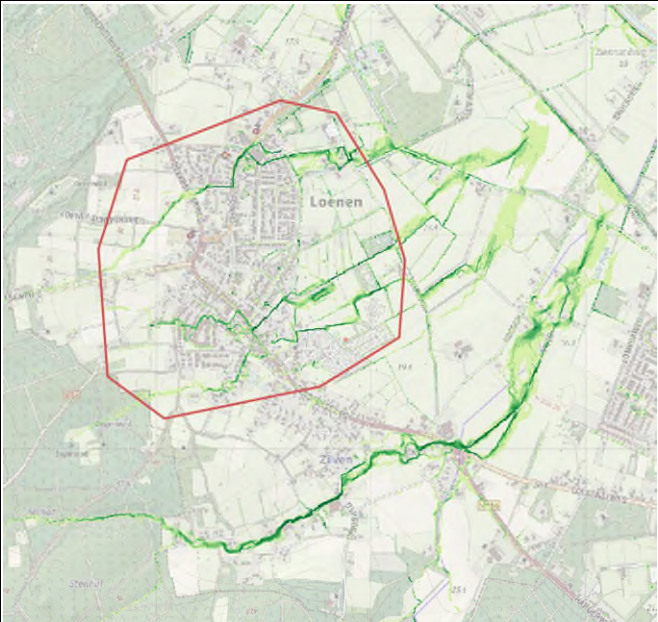
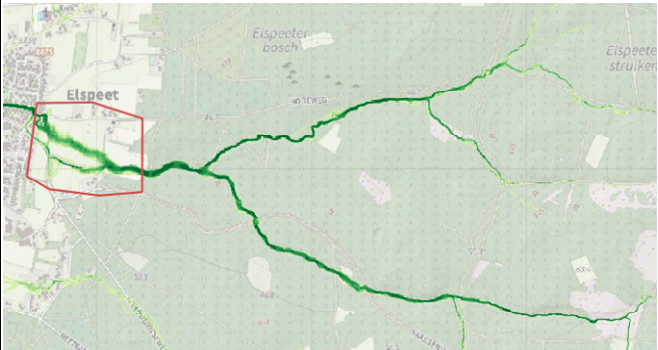
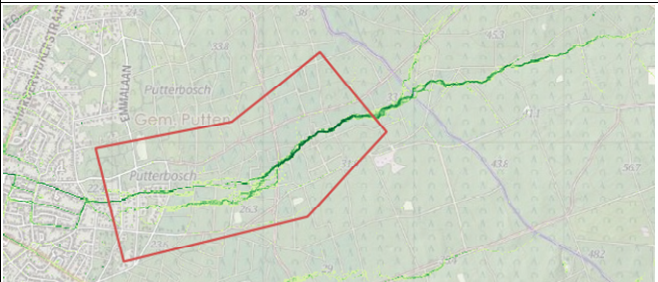
Tabel 3: Herkende overlastlocaties en berekende stroomvolumes bij een neerslaggebeurtenis van 70 mm in 2 uur.

Organisatie	Omschrijving praktijklocatie	Stroomvolume in m ³ /m ² bij neerslaggebeurtenis 70 mm / 2 uur	Analyse
Gemeente Amersfoort	Via zuidzijde Surinamelaan komt water binnen. Niet bekend waar vandaan.	 Stroomvolume bij neerslaggebeurtenis 140 mm / 2 uur 	Bij een neerslaggebeurtenis van 70 mm in 2 uur is deze overlastlocatie niet te linken aan stroombanen vanaf de flanken. Bij een neerslaggebeurtenis van 140 mm in 2 uur is een stroombaan vanuit noordwestelijke richting te herkennen. Deze stroombaan loopt over de Surinamelaan, door de Indische buurt.
Gemeente Apeldoorn	In Hoenderloo wordt water op straat herkend. Via het onverharde maaiveld verzamelt het water zich onderaan de bult. In het verleden is hier een voorziening geplaatst.		In de modelresultaten is op basis van het stroomvolume een stroombaan te herkennen. Hoenderloo ligt op de flanken van de Veluwe en loopt af van noordoostelijke in zuidwestelijke richting.



Gemeente Apeldoorn	Beekbergen en Lieren zijn herkende probleemlocaties met betrekking tot water op straat.		In de modelresultaten is op basis van het stroomvolume een stroombaan te herkennen. Beekbergen en Lieren liggen op de flanken van de Veluwe en lopen af van westelijke in noordelijk en oostelijke richting.
Gemeente Apeldoorn	Via de Soerenseweg komt water de stad binnen. Overtollig water is in het verleden omgeleid naar bosgebied.		Bij een neerslaggebeurtenis van 70 mm in 2 uur kan op basis van het stroomvolume niet worden geconcludeerd dat de Soerenseweg effect ondervindt van stroombanen vanaf de flanken.
Gemeente Wageningen	Calamiteit bij Geertjesweg, laagte bij NVWA liep vol.		Bij de NVWA (zwarte cirkel op kaart) is in het verleden de laagte gevolgd. Deze ligt benedenstrooms, aan het begin van de Geertjesweg. Met het model wordt aan de noordzijde van de Geertjesweg een stroombaan gemodelleerd, welke uitstroomt in het bebouwde gebied van Wageningen. Het is daarom niet onwaarschijnlijk dat deze stroombaan vanuit landelijk gebied overlast verzorgt bij de NVWA.
Gemeente Wageningen	Generaal Foulkesweg was voorheen een stroombaan, maar is in het verleden voorzien van verticale drainage en is nu geen problemen meer. Stroombaan vanaf de hoogte flanken,		Vanuit de modelberekeningen komt deze locatie niet naar voren als stroombaan.



	voert af richting stadsgracht.		
Waterschap Vallei en Veluwe	Blad op weg in Loenen. Exacte locatie onbekend, maar mogelijk gevolg van stroombanen.		Nabij Loenen worden meerdere stroombanen gemodelleerd. Loenen ligt op de flanken van de heuvelrug en loopt af van zuidwestelijke in noordoostelijke richting. Het is daarom niet onwaarschijnlijk dat hier bladmateriaal vanaf hoger gelegen delen richting Loenen wordt gevoerd.
Waterschap Vallei en Veluwe en gemeente Nunspeet	Probleemlocatie aan oostzijde Elspeet. Hier is in het verleden een opvangbak geplaatst om water op te vangen.		Vanuit de modelberekeningen komt deze locatie naar voren als stroombaan. Het water stroomt hier vanaf oostelijke richting de bebouwde kom van Elspeet.
Waterschap Vallei en Veluwe	Aan de oostzijde van Putten worden stroombanen herkend.		Putten ligt onderaan een flank, met de hoogte van de heuvelrug aan de oostzijde. Aan deze zijde wordt een stroombaan berekend. Dit is in lijn met de locatie die vanuit de praktijk bekend is.



Waterschap Vallei en Veluwe en gemeente Ede	Overlast aan de Onderlangs 1, Otterlo.		Vanuit de modelberekening komt op deze locatie geen duidelijke stroombaan vanuit het landelijke gebied naar voren.
---	--	--	---

4.2 Beoordeling resultaten

De resultaten bevestigen het beeld dat de Veluwe en de Utrechtse Heuvelrug gevoelig zijn voor de intensiteit van een neerslaggebeurtenis. Bij een 70 mm bui in 2 uur treedt op een beperkt aantal locaties een stroombaan op en leidt dit in enkele gevallen tot risico's. Een 140 mm bui in 2 uur laat significant meer stroombanen zien dan een 70 mm bui in 2 uur. Wat opvalt is dat er bij beide neerslaggebeurtenissen overal op de flanken nog voldoende ruimte in de ondergrond beschikbaar is, om water te infiltreren. Desalniettemin komt het regenwater tot afstroming en ontstaan stroombanen. Er zijn de laatste jaren maar weinig voorbeelden van neerslaggebeurtenissen met een intensiteit van >35 mm / uur en voldoende volume om tot noemenswaardige stroombanen te leiden. Dit verklaart mede waarom stroombanen in de praktijk maar beperkt herkend worden.



5 Bevindingen en aanbevelingen

In dit onderzoek is voor twee neerslaggebeurtenissen het effect op de oppervlakkige afstroming over maaiveld berekend. Dit is gedaan door vier resultaatlagen te produceren, namelijk 1) waterdiepte, 2) stroomsnelheid, 3) stroomvolume en 4) risico. Voorafgaand aan deze berekeningen heeft contact met gemeenten, provincie en waterschap plaatsgevonden om praktijkinformatie op te halen in hoeverre stroombanen binnen het beheersgebied worden herkend. Deze combinatie van praktijk en theorie maakt dat er een beeld gevormd kan worden in hoeverre de berekende modelresultaten worden herkend vanuit de praktijk. Op basis van het uitgevoerde onderzoek zijn de volgende bevindingen gedaan:

- De Veluwe is een zandgebied met een lage grondwaterstand, waarbij de intensiteit van de neerslag bepalend is voor het optreden van stroombanen. Indien de neerslagintensiteit hoger is dan de infiltratiesnelheid vindt er afstroming plaats. In dit onderzoek is gerekend met twee blokbuien van respectievelijk 70 en 140 mm in 2 uur. In de praktijk is het mogelijk dat de werkelijke intensiteit hoger ligt dan de neerslagintensiteiten die zijn toegepast in dit onderzoek, waarbij de som van de neerslag gelijk of lager kan zijn dan de in deze studie toegepast blokbuien. Het is belangrijk om dit te realiseren bij het bekijken van de resultaten.
- Tijdens het ophalen van praktijkinformatie is naar voren gekomen dat gemeenten vooral inzicht hebben in de effecten in stedelijk gebied. Dit heeft diverse redenen. Water op maaiveld wordt voornamelijk herkend daar waar wateroverlast bij bebouwing wordt ervaren. In het landelijke gebied staat minder tot geen bebouwing, waardoor het lastig is om te achterhalen of stroombanen in landelijke gebied hebben opgetreden. Overlast bij bebouwing resulteert in klachten van bewoners, die idealiter in een klachtenregister terechtkomen. Met een klachtenregister is inzichtelijk wanneer en waar wateroverlast plaats heeft gevonden en hiermee kunnen knelpunten doelgericht opgelost worden en is maatwerk mogelijk. Helaas is uit de gesprekken gebleken dat niet alle gemeenten beschikken over een klachtenregister.
- Er is weinig tot geen beeldmateriaal beschikbaar van locaties waar een stroombaan wordt herkend. Hierdoor is het moeilijk staven of de berekende stroomvolumes, waterdieptes en stroomsnelheden reëel zijn.
- Voor dit onderzoek zijn aannames gedaan ten aanzien van gebiedskarakteristieken die input zijn voor de modelberekeningen. Deze instellingen zijn vastgesteld met een gevoeligheidsanalyse, waarbij gebruik is gemaakt van literatuur, expert judgement en praktijkervaring (validatie met herkende probleemlocatie). Hiermee verwachten we dat de resultaten uit dit onderzoek representatiever zijn voor de werkelijkheid dan de berekening die in het verleden op landelijke schaal is uitgevoerd. Echter zijn de berekeningen nog steeds gebaseerd op aannames omdat er nauwelijks tot geen meetgegevens beschikbaar zijn van het studiegebied.
- Vanuit de interviews is meermaals naar voren gekomen dat men geïnteresseerd is in de resultaten van het onderzoek en het effect van de stroombanen voor de desbetreffende gemeente. Daarbij is genoemd dat er onvoldoende inzicht is in de rekeninstellingen van de huidige berekeningen en dat dit inzicht met de nieuwe berekeningen van belang is om te hebben.

Dit leidt tot de volgende aanbevelingen:

- Houdt als gemeente en waterschap een klachtenregister bij.
- Win meer informatie in en probeer te meten bij extreme neerslaggebeurtenissen. Dit kan door het veld in te gaan tijdens deze neerslaggebeurtenissen en door na afloop hiervan de eventuele gevolgen (meegevoerd materiaal en/of uitgesleten bodem) in beeld te brengen met foto en video materiaal voorzien van datum en locatie. De locaties waar dit relevant is, zijn met deze studie inzichtelijk geworden.
- Breng gebiedskarakteristieken in beeld en doe onderzoek naar de infiltratiesnelheid op de flanken van de heuvelruggen. Maak ook inzichtelijk hoe deze infiltratiecapaciteit verandert indien de ondergrond uitgedroogd is en hydrofoob wordt.



- Bij het communiceren van de resultaten van dit onderzoek is het belangrijk om de juiste nuances toe te passen, in lijn met bovenstaand advies. De modeluitgangspunten zijn immers niet op metingen gebaseerd, waarbij het van belang is dat de uitgangspunten inzichtelijk blijven om de resultaten op waarde te kunnen schatten. De berekende resultaten vormen, met dit in het achterhoofd, echter een goede indicatie van de oppervlakkige afstroming op de flanken van de Veluwe en de Utrechtse Heuvelrug. De uitkomsten kunnen gebruikt worden om het gesprek met elkaar (waterschap, provincie en gemeente) aan te gaan waarbij bewustzijn wordt gecreëerd voor water dat afstroomt in landelijk gebied. ‘
- Tijdens het onderzoek is ervoor gekozen om te kijken naar voorgenoemde vier resultaatlagen. Hierbij is niet gekeken naar potentiële erosie of de categorisering naar verschillende risicoprofielen. Door deze analyse wel uit te voeren kan er een verdiepingsslag worden gemaakt in de interpretatie van de resultaten en de vertaling hiervan naar gevolgen.
- Uit de analyse volgen voor veel gemeenten één of meerdere risicolocaties waar een oppervlakkige stroombaan kan ontstaan. Geadviseerd wordt om deze locaties mee te nemen in de risicodialoog en te kijken of er sprake is van een risico op wateroverlast of (levens)bedreigende situaties in het buitengebied of in stedelijk gebied.
- Dit onderzoek geeft een beeld van stroombanen die op kunnen treden bij neerslag en de eventuele gevolgen hiervan in bebouwd gebied. Daarom wordt geadviseerd om de uitkomsten van dit onderzoek mee te nemen bij ruimtelijke plannen en bij het doorlopen van het watertoetsproces.



Bijlage 1 Interviews en praktijkinformatie

			Is bij u bekend tot welke gevolgen dit heeft geleid? Herkent u bijvoorbeeld locaties langs de rand van bebouwd gebied waar (diepe) plassen water hebben gestaan of waar schade heeft opgetreden na een neerslaggebeurtenis? Dit kan zowel materiële schade zijn, als het niet kunnen gebruiken van de infrastructuur. Mogelijk herkent u locaties waar meegespoelde objecten van de heuvelrug, zoals hout, zich hebben geaccumuleerd na een neerslaggebeurtenis.	Wordt het optreden van stroombanen en het mogelijke effect hiervan meegenomen in de adaptatieplannen/klimaatdialogen?	Hebt u aanvullende gebiedsspecifieke kennis die van toegevoegde waarde kan zijn voor ons onderzoek?	Opmerkingen
Organisatie	Heeft u ervaring met stroombanen die in het verleden hebben opgetreden? Zo ja; kunt u aangeven waar, wanneer en eventueel bij welke condities deze hebben plaatsgevonden?	Herkent u de beelden van stroombanen zoals weergegeven in de klimaateffectatlas uit de praktijk?				
Gemeente Amersfoort	Stroombanen worden niet direct herkend. Via Zuid Surinamelaan komt water het bebouwde gebied binnen, het is niet bekend waar dit water vandaan komt en of deze vanaf de flanken komt. Er is weinig landelijk gebied binnen de gemeente en de stroombanen worden niet herkend. Binnen de gemeente wordt niet veel herkend vanuit overlast, op de volgende plekken wordt water op straat herkend: de Leusderweg, bij de tunnel onder de A28 door en op de Utrechtseweg/Amersfoortseweg.	Zie antwoord links.	Alleen overlast op Leusderweg, geen schade. Onderaan Utrechtseweg kwamen putdeksels omhoog, deze zijn vastgezet.	Adaptatie wordt meegenomen bij voorgenomen ontwikkelingen. Er worden geen ontwikkelingen gepland n.a.v. adaptatieplannen.	De gemeente heeft een kaart beschikbaar met afstroomrichtingen. Hij gaat na waar dit te vinden is en stuurt dit op naar Aveco.	Geïnteresseerd in onderzoek.
Gemeente Apeldoorn	2011; water van hoger gelegen gebieden komt de stad in. Er zijn maatregelen getroffen om water op de bult vast te houden. Soerenseweg komt in het westen van Apeldoorn de stad binnen en via hier kwam water naar binnen. Hiervan werd op de ring van Apeldoorn overlast ervaren. Overtollig water is omgeleid naar bosgebied. Zelfde in Hoenderloo in het dorp; maatregelen in verleden (10 tot 5 jaar geleden). Over het onverharde maaiveld verzamelt water onderaan de bult. Dit water wordt via opvangvoorzieningen opgevangen. Loenen en Beekbergen zijn hellend gebied; geen concreet voorbeeld van stroombanen. Wel maatregelen genomen in het verleden om het water af te koppelen.	Zie antwoord links.	Gevolgen worden herkend. Meespoelen zand van hogere delen. Zie antwoord links.	Geen dialogen, gewoon doorvoeren.	Net gewerkt aan SWW. Uitvoerig maaiveld gemodelleerd en koppeling gemaakt tussen maaiveldmodel en rioolmodel. 'Waar ontstaan knelpunten in stedelijk gebied?'	Uit contact met collega: Koningsbeek, Beekbergen en Lieren zijn herkende overlastlocaties. Wegen met landerijen zijn grote probleemlocaties.
Gemeente Baarn & Soest	Kan zich voorstellen dat hier in landelijk gebied wel stroombanen optreden, maar deze zijn niet herkend vanuit praktijk. Rond Lage Vuursche klachten dat er water stond. Geldt ook voor Zevenlindeweg. Wel stroombanen binnen bebouwd gebied van Soest, op de hogere vlakte (tussen Smitsveen en Torenstraat, bij Eng). In de Engebergsteeg en Parklaan komt water naar beneden. Maatregelen: Rooster in pad gelegd en afvoer gaat naar wadi.	Zie antwoord links.	Niet bekend	In uitvoeringsagenda rekening gehouden met stroombanen vanuit lokaal wateroverlast. In Soest komen wel stromen uit onverhard gebied, voornamelijk onverhard gebied binnen het stedelijke gebied. Baarn minder. Er wordt wel gekeken naar stroombanen in stedelijk gebied maar er is geen focus op stroombanen uit landelijk gebied.	Stevige buien in 2014 (juni/juli). Klachtenregister geeft voornamelijk klachten in stedelijk gebied. Contactpersoon nog niet werkzaam bij gemeente in 2014.	
Gemeente Barneveld	Ervaring met water dat over de straat loopt, op sommige locaties ligt ook geen riolering. Via de Hogesteeg stroomt water richting het centrum van Garderen. In het verleden zijn in stedelijk gebied maatregelen getroffen d.m.v. hemelwaterriolen. Koudhoornseweg in Garderen ligt onder afschot, geen kolken, water stroomt langs de weg. Dit water komt niet uit landelijk gebied, maar eerder vanaf de weg en inritten van woningen. Kootwijk de Nieuw Milligenseweg; bij neerslag stroomt water af richting centrum (geen riolering, geen berging om naar af te stromen). Jaren terug maatregelen getroffen om te infiltreren.	Herkent de plaatjes uit de atlas waar water verzamelt en het optreden van water in stedelijk gebied. Minder herkend in landelijk gebied.	Niet bekend	Stroombanen worden niet meegenomen. BRP Garderen beperkt tot verhard oppervlak. Stroombanen zijn geen item.	Voorbeeld Kootwijk waar boerderij lager ligt dan de weg en waar water verzamelt: weinig water van weg, maar water uit tuin (100x100m). Tuin aangepast, nu geen overlast meer. Water is goed te infiltreren in de bodem. Lage grondwaterstanden en veel zandgronden. Biedt mogelijkheid tot oplossen. Probeer vooraf te spreiden of te infiltreren. Wordt nu wel meegenomen bij bebouwd gebied.	Stuwwallen in Garderen, niet logisch dat het over een grotere afstand naar Garderen kan stromen. Kleine walletjes aan noordzijde. Beheer openbare ruimte beschikt over klachtenregister.
Gemeente Brummen	Contactpersoon werkt sinds oktober 2021 bij de gemeente. Stroombanen niet bekend.	Niet herkend.	Niet bekend	De wens bestaat om stroombanen in de adaptatieplannen op te nemen.	Het Broek is nat in februari. Cortenoever is uitenwaardegebied. In droge perioden is de Eerbeekse beek droog (unieke situatie) en na een natte maand is deze snel weer gevuld.	
Gemeente Ede	Contactpersoon sinds 1 februari 2022 in dienst. Geen ervaring met stroombanen.	Mogelijk intern nog een atlas van landelijk gebied. Kritisch of stroombanen uit atlas optreden, i.v.m. hoge k waarde gronden.	Extreme bui in 2018 (?) gevraagd aan bewoners om klachten in te dienen van wateroverlast. Meeste klachten in stedelijk gebied, onderaan de heuvelrug	Zit al in klimaateffectatlas van de gemeente zelf.	Interessant om te kijken naar stromen vanuit landelijk gebied of het leidt tot schade in stedelijk gebied.	
Gemeente Elburg	Werkt sinds 3 jaar bij de gemeente. Geen ervaring met stroombanen. Geïnformeerd bij mensen die langer werken van de buitendienst (30 jaar), fenomeen wordt niet herkend.	Worden niet herkend.	Geen klachten, gevolgen niet bekend.	Wordt niet meegenomen aangezien het vooral in buitengebied optreedt en niet in stedelijk gebied, waar voornamelijk de focus ligt.	wadi gemaakt van 3000 m3. Stedelijk gebied (Wolkamerweg, laagste punt, verzamelbak, 2015 probleem en maatregelen getroffen, hemelwaterafvoeren naar achterland en berging in wadi).	
Gemeente Ermelo (RNV)	Niet in beeld. Onbekend of dit optreedt. Veel watergangen die er liggen zijn niet watervoerend. Ook geen overlast vanuit Leuvense beek.	Niet herkend.	Niet bekend	Omdat er geen ervaring is met de praktijk en geen urgentie wordt ervaren wordt het niet meegenomen.		Benieuwd of andere gemeentes op de Veluwe dit wel ervaren. Meenemen in terugkoppeling. In zuiveringskring met Putten en Harderwijk, vraag is of de stroombanen hier wel worden herkend.
Gemeente Harderwijk (RNV)	Bekend met stroombanen en de kaarten. Harde grens tussen landelijk en stedelijk. Overlast enkel in stedelijk gebied, landelijk gebied niet herkend. Bekend dat water in stedelijk gebied op straat staat, vooral uit riolering. Voornamelijk van Ermelo. Fokko Kortlanglaan staat water vanuit riolering.	Herkent de kaart. Vanuit landelijk gebied geen ervaring met stroombanen.	Niet bekend	Water uit landelijk gebied wordt niet meegenomen. Alleen dialogen wanneer er plannen zijn in de wijk; 'waar nemen we extra maatregelen?' Komen goed weg met buien en weinig overlast. Geen grote schades. Inbreiding Kranenburg Noord bij station; contact met prorail i.v.m. stroombanen. Verhoogd spoor met tunnel op rand flank.	Via riolering Ermelo loopt het water de gemeente in. Zuiveringskring met Putten en Ermelo. Duidelijke plekken in Putten voor nat en droog.	Geen klachtenregister beschikbaar.
Gemeente Hattem	Herkent geen stroombanen. Contactpersoon kort in dienst, mensen met kennis zijn weg.	Niet herkend.	Niet bekend	Optreden wordt niet meegenomen. Wel interessant voor de toekomst, maar prioritering i.v.m. capaciteit binnen de gemeente.	Transitie bedrijventerrein: huidig veen wordt bebouwd. Het plan voldoet aan alle klimaatwensen. 60 mm vasthouden, Bui09 voor riolering. Geen hittestress meegenomen. Woonzorgzone gerekend met 90mm. in samenspraak met V&V afgestemd of het gemaal groot genoeg is om af te voeren richting de IJssel.	Benieuwd naar de uitkomst van omliggende gemeenten. Vooral Oldebroek en Heerde aangezien ze hiermee in een h2o samenwerking zitten.
Gemeente Heerde	Nee, niet ervaren met stroombanen. Aan het zoeken geweest in het systeem, maar niks gevonden. Niet herkend omdat het in bosgebied is. Ook geen schade bekend.	Niet herkend.	Geen schade herkend en ook geen klachtenregister aanwezig. Wel voornemens voor de toekomst. Graag inzicht voor de toekomst waar overlast heeft plaatsgevonden.	Wordt meegenomen in de adaptatieplannen. Ervan uit gaan dat er dingen mis gaan en dat extremen optreden. Moet rekening mee gehouden worden.		Geen onderzoek doen om het onderzoek. Benieuwd naar de uitkomsten en wordt graag meegenomen in de resultaten.
Gemeente Leusden	Meer last van grondwater dan van stroombanen. Er ligt een beek tussen de flanken en bebouwd gebied. Stroombanen worden niet herkend vanuit de praktijk.	Niet herkend.	Niet bekend	Kaarten zijn waardevolle informatie om erbij te pakken bij het opstellen van adaptatieplannen en om aan te tonen dat er een uitdaging is.	Contactpersoon van de gemeente is blij met de site van Vallei en Veluwe en de inzichtelijkheid van data. Landelijk gebied was niet scherp in beeld, maar nu wel onder de aandacht gebracht.	

Gemeente Nunspeet	Van stroombanen gehoord, voornamelijk in de omgeving Elspeet.	Wel herkend maar wordt niet teruggezien op de kaart: Hogeweg Elspeet. Stroombaan over weg. In realiteit wordt hier meer water gezien. Stroombanen in bosgebieden niet bekend, omdat niet bekend is wat in het buitengebied gebeurt.	Niet bekend	Bezig met herziening BRP. Focus op knelpunten binnen bebouwd gebied. Niet specifiek stroombanen landelijk gebied meegenomen.	Opvangbak aan het einde van de Hogeweg, aan de dorpsgrens, aangebracht. Gerekend aan bak vanuit modellen en praktijk. Stevige wadi aangelegd met goot over de weg. Aan noordzijde (Vlierse Pad) wordt ook afgevangen. In de praktijk staat de bak regelmatig vol met water. Goot net voor maart 2020 aangepast; berm verhoogd zodat water op straat komt en in goot komt (goot dieper aangelegd). Geen concrete meetgegevens, wel foto's en videos van omwonenden. 21 februari (bui op 20 februari); opvangbak stond vol tot over de helft.	
Gemeente Putten	Input verzameld binnen organisatie. Problematiek wordt over het algemeen niet echt herkend. Wel eens sloten overlopen bij extreme regenval. Zaksloten gedempt. Kunnen wellicht weer opengemaakt worden. Buitengebied; de zaksloten wel of niet opengooien, wordt verschillend over gedacht. Geen gevallen van modderstromen gewend. Putten heeft grootschalig afgekoppeld en verticale infiltratie toegepast. Er zijn testen uitgevoerd in het oosten van Putten m.b.t. waterdoorlatendheid; extreem goed. Ander bodemtype dan Duitsland en België. In Elspeet wel overlast geweest in verleden.	Op kleine schaal wel gezien waar water heeft gestroomd (zandbanen). Drieseweg wordt niet herkend vanuit de praktijk. Geen modder op Bosweg.	Bladeren, takken en ander groenafval vanuit het bosgebied kwamen de woonwijk in na bui juni 2011.	Bezig met omgevingsvisie, volgend jaar programma water. SSW breder maken dan oorspronkelijk BRP, vraagt om update. Samen met zuiveringskring mogelijk buitengebied meenemen. Hele systeem doorlichten qua watersysteem en droogte. Nu bezig met afronden stresstesten bebouwde kom. Na de zomer besluitvorming. Nog geen aandacht voor Veluwemassief, alleen bij natuurbrandrisico. Vooral focus op wateroverlast binnen de bebouwde kom.		Graag terugkoppeling; wat is het resultaat van dit onderzoek? Komt er een advies? Stikstof koppelen met water? Sponswerking ondergrond. Landbouwtransitie en stikstof aanpak als meekoppelkans? Onderzoek Tauw. Niet duidelijk vervolgtraject. Vindt heel sterk dat het waterschap het manifestgebeuren heeft opgetuigd. Onderzoek goed. Volenbeekstelsel; aangewezen als Natura2000 natte natuur, staat al tijden droog. Meer aandacht voor droogte in buitengebied dan nat. Noordelijk deel droog. Watercollega's zijn druk bij veel gemeenten, bijv. riolering. Geen tijd om over dit soort dingen na te denken. Beekweg: bomen van 80 jaar en ouder vallen om, droogte. Wordt steeds slechter.
Gemeente Renkum	Algemeen beeld: De meeste plekken werden herkend. Op plekken waar de overlast te groot was (met name daar waar water bleef staan óf waar zand/takken achterbleven op de weg zijn reeds maatregelen genomen. Bij goed onderhoud (waterlossers 'schoon' en bereikbaar voor het water) hebben zij nog nooit ervaren dat maatregelen onvoldoende zouden zijn. Vraag is dan ook of de kaart net zo blauw zou zijn als de maatregelen wél meegenomen waren.	Belangrijke locaties die er wél zijn in de praktijk en niet op de kaart staan zijn niet gevonden, er wordt met de modellering niets gemist. Een aantal stroombanen (met name in bv het Renkums Beekdal of op de Heelsumse Heide) zijn er vast, maar veroorzaken geen schade of overlast; ze liggen geheel in bos of natuur. Meer info is hierover bij de gemeente niet bekend. Terreinbeheerder is Gelders Landschap, SBB of Natuurmonumenten. Van hen horen wij geen 'horrorverhalen'. De stroombanen aan de oostrand van de gemeente (modelrand?) lijken buiten de gemeentegrens niet verder te kunnen afvoeren (met als gevolg een blauwe vlek, die er in de praktijk niet is omdat het water verder stroomt)	Zie antwoord links	-	Verwachting: Helling met 5% of hoger stroomt af	Een situatie als in Limburg wordt hier heel onwaarschijnlijk ingeschat, omdat de hellingen veel korter zijn. Voordat een stroombaan een omvang kan krijgen dat hij schade veroorzaakt, is hij allang ergens tot stilstand gekomen en weggezakt. "we hebben geen Geul", zoals een collega zei. Over het algemeen is de inschatting dat we bij langdurige intensieve regen wél overlast zullen hebben, maar geen noemenswaardige schade, laat staan doden en gewonden. Schade wordt dan geschat op maximaal rond de ton per gebeurtenis (niet zoals in Limburg ettelijke honderden miljoenen).
Gemeente Veenendaal	Geen ervaring.	Niet herkend.	Niet bekend.	Kijken of ze hier in de toekomst wat mee moeten en met welke intensiteiten ze rekening moeten houden.	Handreiking meerlaagse waterveiligheid samen met gemeente Amersfoort. Meer wateroverlast i.v.m. grondwater. Intern gevraagd of de gemeente hier wat mee wil. Van plan om dit jaar een aantal onderzoeken uit te laten voeren (droogte), want geen goed beeld van. Worden geen problemen voorzien met oppervlakkig water.	
Gemeente Wageningen	Ja, deze worden herkend. In het verleden zijn calamiteiten geweest; één locatie bij de Geertjesweg (bij NVWA liep het water in een kuil). Hier en daar zijn drempels gelegd zodat het water op plekken terechtkomt waar het mag. Muurtje gelegd. Afgekoppeld. Geen idee wanneer dit precies opgetreden heeft, dit was bij extreme neerslag. Einde Nassauweg ook herkend, maatregelen getroffen en probleem opgelost. Generaal Foulkesweg voorheen stroombaan, voorzien van verticale drainage; nu geen problemen meer. Grote stroombaan vanaf de berg, voert af richting stadsgracht.	Ja, zie antwoord links.	Bij de Nassauweg (woning met ondergrondse kelder) als BBB opgetreden. Maatregelen getroffen. Daarna nooit meer voortgekomen. Geertjesweg ook geen calamiteit meer gehad. In deze buurten is zoveel mogelijk afgekoppeld. Blad en/of zand gaan mee. Omdat het via een kolk gaat is dit geen probleem meer (regelmatig reinigen).	Wordt constant meegenomen in adaptatieplannen. Als ergens water op straat ontstaat; wanneer, is het erg en waar gaat het daarna naartoe? Er wordt zoveel mogelijk afgekoppeld. Bij laagtes: oppervlakterwater, afvoer & bergen, afkoppelen en bergen ondergrond	-	Interessant om te koppelen aan droogte. Hoe kunnen we niet alleen het water afvoeren maar ook vasthouden voor droge momenten. Gemeente probeert zoveel mogelijk te infiltreren.
Gemeente Woudenberg	Niet bekend met de stroombanen, aangezien de gemeente grotendeels vlak is. Zowel kern als buitengebied. Geen meldingen van provinciale wegen dat er risico zou zijn.	Niet herkend.	Geen schadebeeld bekend.	Hellend terrein geen aandachtspunt. Plan vestigt zich op bebouwde kom en daar komen geen stroombanen voor.	-	-
Provincie Gelderland	Geen metingen, beelden of ervaring.	Contactpersoon herkent beelden niet en is kritisch op de resultaten. In februari is twee maal neerslag in korte tijd gevallen. Beekdalen Oost Veluwe lopen vol. Beekdal bij Epe loopt niet vol en dat vindt meneer gek. Zandgronden stromen af in atlas en dat vindt meneer gek aangezien hij verwacht dat hier veel meer infiltreert. Bij veel microrelief (zoals het geval op de Veluwe) komt water niet tot stroming. Ervaring dat het in bos niet gaat stromen, wel op gladde stukken en paden.	Niet bekend dat provinciale wegen schade hebben ondervonden.	Niet betrokken bij stresstesten, wel betrokken bij grondwateroverlast.	Dalen lopen oostwest, kleischotten noord zuid. Kleischotten hebben weerstand tegen erosie. Als de grond niet uitgesleten is, is dit een dammetje.	
Waterschap Vallei en Veluwe	Vooral gemeten in watergangen, minder bekend in hogere gebieden. Elspeet (Nunspeet) wordt herkend; daar waar een opvangbak bij de Apeldoornse weg is geplaatst.	Zie antwoord links.	Bekend op rand bos met bebouwd gebied waar strooisel heeft gelegen. Loenen; mogelijk herkend met blad op weg.		Hierdense beek zit in 'schoenlepel' paraglaciaal en is hiermee een losliggend systeem. Bovenstrooms aanwezigheid van Boxtelzanden met een verwachte infiltratiecapaciteit van waarschijnlijk 5 m/d.	



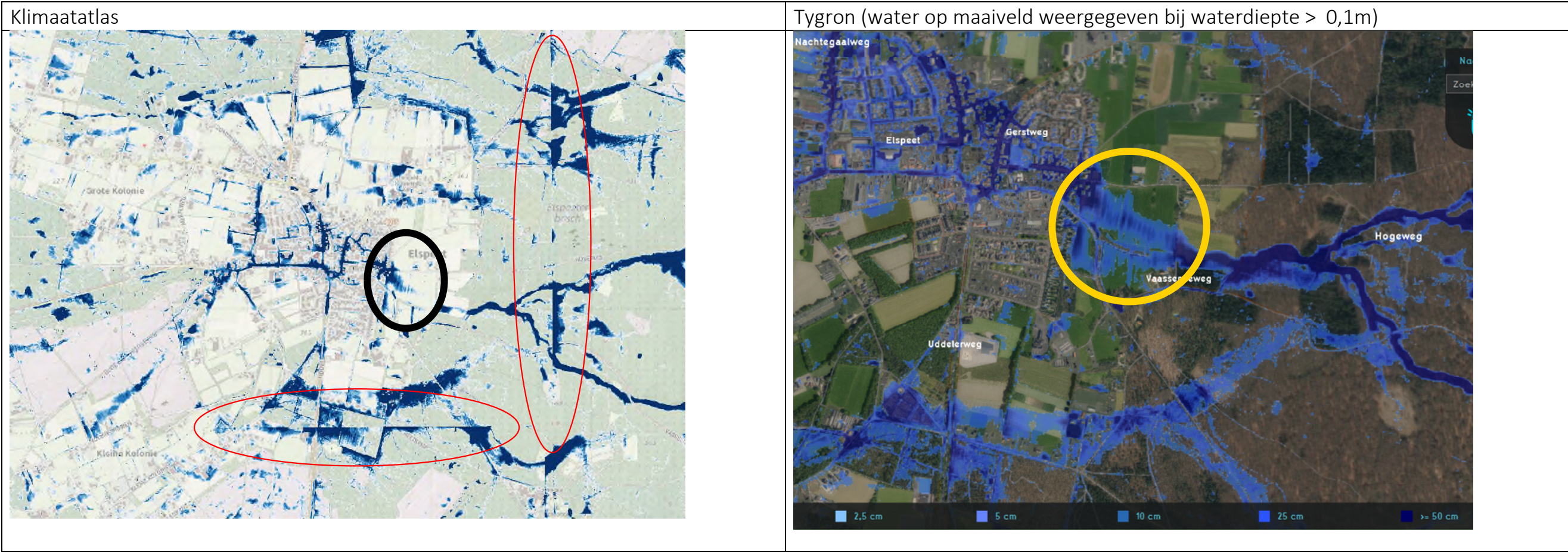
Bijlage 2 Factsheets modelinstellingen

Grenzen modellen

In de klimaatatlas van Vallei en Veluwe is op een aantal plekken te zien dat de modelgrenzen hebben geleid tot randeffecten. Het water komt in onderstaande situatie vanaf de flank, rechter- en onderzijde, richting Elspeet gestroomd. Water kan niet door de modelgrens heen stromen, waardoor er op een aantal locaties water tegen de randen komt te staan (rode cirkels onderstaand linker figuur). Hier treedt mogelijk een overschatting van de waterdiepte op. Anderzijds leidt dit ertoe dat benedenstreams van deze modelgrens water als het ware wordt gestuwd door de modelgrens, waardoor de waterdiepte hier mogelijk wordt onderschat.

In het proefmodel in Tygron zijn de modelgrenzen anders gekozen, waardoor op deze locatie deze randeffecten worden voorkomen (onderstaand rechter figuur). Hier is aan de oostzijde van Elspeet (Hogeweg) te zien dat het water nu wel door kan stromen, wat leidt tot meer water op maaiveld benedenstreams van de modelgrens. Tijdens het gesprek met de gemeente Nunspeet werd door de gemeente aangegeven dat de indruk heerst dat de klimaatatlas de hoeveelheid water op maaiveld onderschat. Het gaat dan voornamelijk om het gebied ten oosten van Elspeet waar in het verleden een voorziening is getroffen (aanleggen opvangbak voor water) om wateroverlast te voorkomen (zwarte cirkel onderstaand figuur links). De resultaten zoals gemodelleerd met Tygron (gele cirkel onderstaand figuur rechts) lagen eerder in lijn der verwachting.

De verschillen in waterdiepte zijn lokaal meer dan 20 cm.



Advies modelkeuze

Op basis van bovenstaande gegevens adviseren wij om te werken met een bufferzone van circa 1-2 km rondom de verschillende submodellen. Hiermee wordt beoogd randeffecten te voorkomen. Door de submodellen met elkaar te laten overlappen, kunnen de bufferzones verwijderd worden uit de resultaten maar ontstaat er nog steeds een gebiedsdekkende kaart voor het beheergebied van waterschap Vallei en Veluwe.



Infiltratiecapaciteit

In onderstaande tabel zijn de resultaten (maximale waterdiepte op maaiveld) weergegeven voor een 70 mm bui in 2 uur, waarbij in het figuur links de standaardinfiltratiewaarden in Tygron zijn toegepast en in het rechter figuur een aangepaste infiltratiewaarde. Hierbij is enkel de infiltratiewaarde voor ondergronden met grof zand aangepast aangezien wordt verwacht dat deze een hogere infiltratiewaarde hebben. De originele infiltratiewaarden in Tygron voor de ondergronden met grof zand binnen het testmodel variëren tussen de 0.205 en 0.4054 m/d. In het testmodel zijn deze op basis van expert judgement aangepast naar 0,5 m/d.

In beide situaties staat op vergelijkbare locaties water op maaiveld. De maximale waterdiepte bij een hogere infiltratiewaarde neemt lokaal met 50 cm. Daarnaast staat op er op minder plekken water op maaiveld wanneer de infiltratiewaarde wordt verhoogd.

Standaard infiltratiecapaciteit (water op maaiveld weergegeven bij waterdiepte > 0,1m)	Aangepaste infiltratiecapaciteit (water op maaiveld weergegeven bij waterdiepte > 0,1m)
Verschil infiltratiecapaciteit (waterdiepte originele infiltratiecapaciteit minus waterdiepte aangepaste infiltratiecapaciteit). De originele infiltratiecapaciteit geeft grotere waterdieptes op maaiveld.	



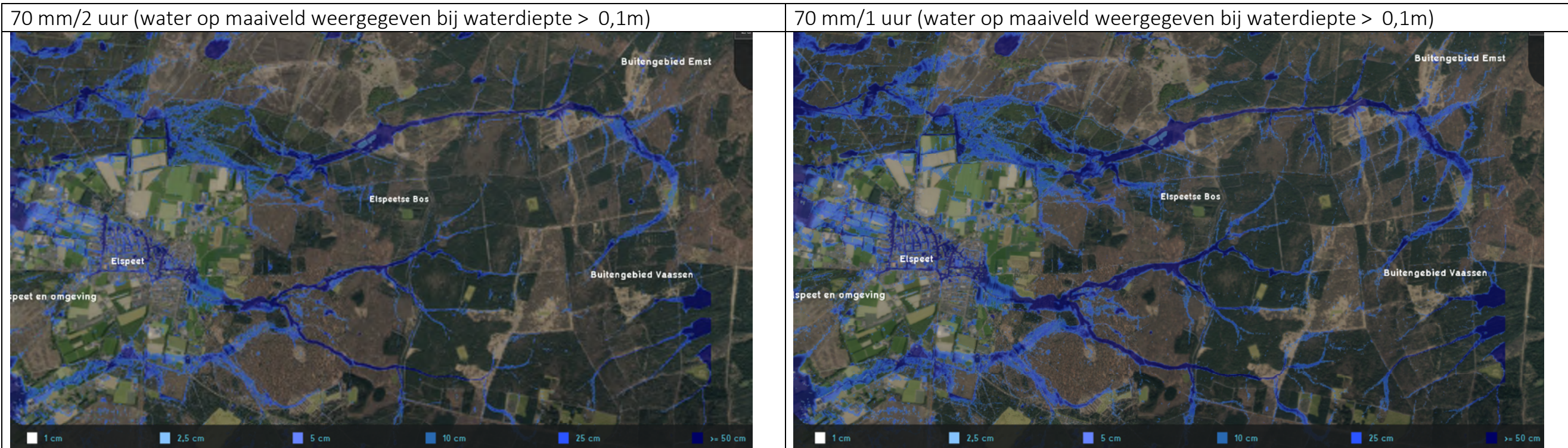
Advies

Tijdens de gesprekken met gemeenten kwam naar voren dat werd verwacht dat er meer water zou infiltreren op de flanken en minder water tot afstroming zou komen. De infiltratiewaarde is afhankelijk van de ondergrond in combinatie met de toplaag. Daar waar de toplaag minder doorlatend is, wordt de infiltratiecapaciteit ook lager geacht. Op de flanken van de heuvelruggen, in het landelijke gebied met voornamelijk bossen en heide, verwachten we echter dat de infiltratiecapaciteit hoger is dan de standaard opbouw van Tygron aangezien de toplaag hier naar verwachting een grotere doorlatendheid heeft (ongeroerd). Daarom stellen we voor om op de locaties waar het landgebruik uit naaldbos, loofbos, gemengd bos en heide bestaat de infiltratiewaarde te verhogen naar 0,5 m/d.

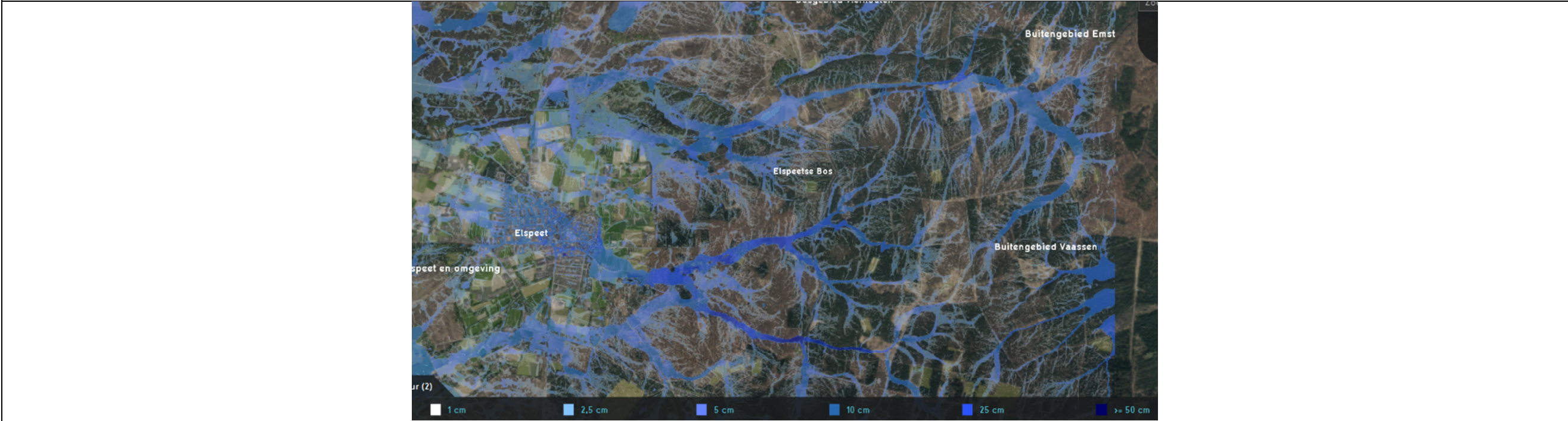


Buien; intensiteit en duur

In onderstaande tabel zijn de resultaten (maximale waterdiepte op maaiveld) weergegeven voor een 70 mm bui in respectievelijk 2 en 1 uur. In beide situaties staat op vergelijkbare locaties water op maaiveld. Echter laat de verschillenkaart onder in de tabel zien dat bij dezelfde hoeveelheid neerslag in een korter tijdsbestek leidt tot grotere waterdieptes. De verschillen in waterdiepte zijn circa 10-30 cm.



Vershil 70 mm in 1 en 2 uur (waterdiepte 70 mm/1 uur minus waterdiepte 70 mm/2 uur). Dezelfde neerslaghoeveelheid in een kortere tijd leidt tot grotere maximale waterdieptes.





In onderstaande tabel zijn de resultaten (waterdiepte op maaiveld) weergegeven voor een 1 uur durende bui met een neerslaghoeveelheid van respectievelijk 70 en 100 mm. In beide situaties staat wederom op vergelijkbare locaties water op maaiveld, waarbij de 100 mm bui op meer locaties water op maaiveld geeft (bijvoorbeeld ten noorden van Elspeet, gele ovaal). Dit wel met de kanttekening dat direct links van Elspeet de modelgrens ligt, waardoor hier op de rand mogelijk water wordt vastgehouden omdat deze niet door de modelgrens kan stromen. De verschillenkaart onder in de tabel zien dat een grotere hoeveelheid neerslag in hetzelfde tijdsbestek leidt tot grotere waterdieptes. De verschillen in waterdiepte zijn circa 10-40 cm.

70 mm/1 uur (water op maaiveld weergegeven bij waterdiepte > 0,1m)	100 mm/1 uur (water op maaiveld weergegeven bij waterdiepte > 0,1m)
Verskil 70 en 100 mm in 1 uur (waterdiepte 100 mm minus waterdiepte 70 mm). Een grotere neerslaghoeveelheid in dezelfde tijd leidt tot grotere maximale waterdieptes en meer natte plekken.	

Advies modelkeuze

Op basis van bovenstaande gegevens adviseren wij om te rekenen met een bui van 70 mm in 2 uur. Dit komt overeen met de klimaatatlas en is conform de uitgangspunten van Deltares (neerslagintensiteiten voor kortdurende buien, STOWA 2018). Aanvullend adviseren we om te rekenen met een bui van 140 mm in 2 uur (tevens berekend door Deltares (Overstromingsrisico's door intense neerslag)). Uit de proefberekening komt naar voren dat een grotere neerslaghoeveelheid (100 mm versus 70 mm) leidt tot een lokale toename van waterdiepte van ruim 40 cm. Door te rekenen met een grotere hoeveelheid neerslag wordt het effect bij extremen inzichtelijk. In het verleden heeft het meetstation in Elspeet een dagsom gemeten van 100 mm, dus deze neerslaghoeveelheden zijn niet irreëel op de Veluwe.



Strooisellaag

In Tygron wordt het effect van een strooisellaag en microreliëf gemodelleerd door het toekennen van waterberging aan verschillende landgebruiken. Dit hebben we in het proefmodel gedaan voor de landgebruiken akkerbouwgewassen, maisvelden, graanvelden, grasland, koeienweide, fruitbomen, loofbomen en boomgaard. In onderstaande tabel zijn de resultaten weergegeven voor een neerslagsituatie van 70 mm in 2 uur, waarbij in het linker figuur geen strooisellaag aanwezig is en in het rechter figuur wel. Onderin is wederom de verschillenkaart opgenomen. Een positieve waarde in deze kaart betekent dat de waterdiepte groter is wanneer er geen strooisellaag aanwezig is in vergelijking met wanneer deze wel aanwezig zou zijn. In beide situaties treedt op dezelfde locaties water op maaiveld op. De impact van de strooisellaag varieert in onderstaande situatie tussen de 5 en 15 cm.

Zonder strooisellaag (water op maaiveld weergegeven bij waterdiepte > 0,1m)	Met strooisellaag (water op maaiveld weergegeven bij waterdiepte > 0,1m)
Verschil zonder en met strooisellaag (waterdiepte zonder strooisellaag minus waterdiepte met strooisellaag). Indien er geen strooisellaag aanwezig is, is de maximale waterdiepte op maaiveld groter.	

Advies modelkeuze

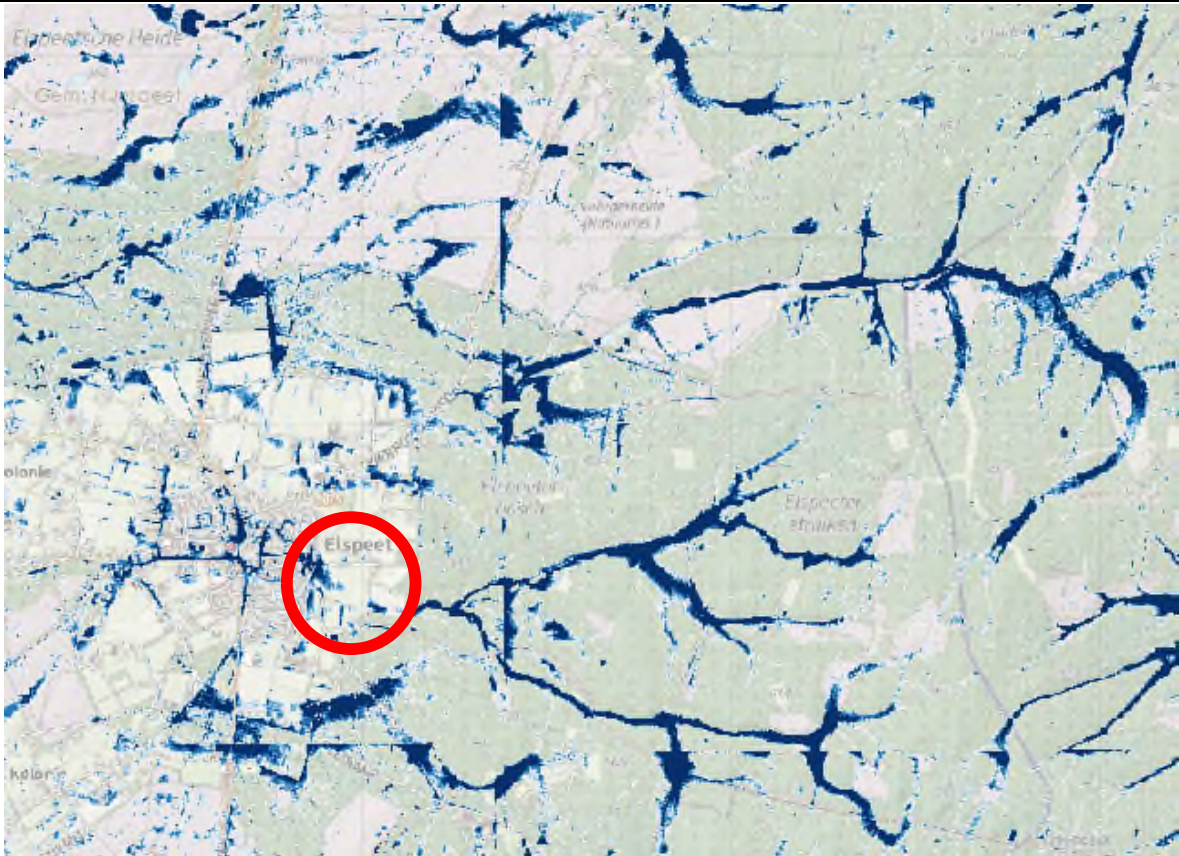
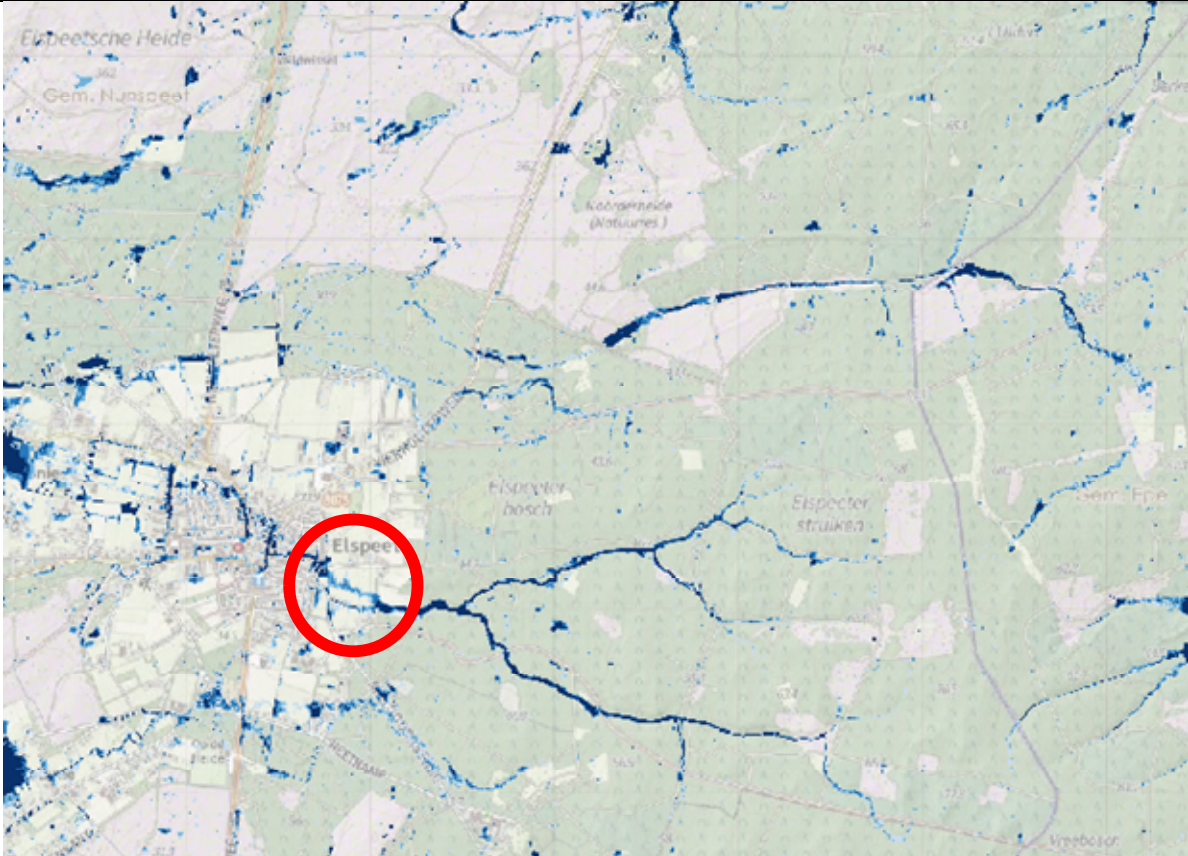
Ons advies is om te rekenen met strooisellaag. Wij verwachten dat dit een betere benadering van de daadwerkelijke situatie is, aangezien vertraging van afstroming wel degelijk optreedt. Voor de strooisellaag gebruiken we waarden tussen de 7 en 30 mm. Deze getallen komen uit praktijkonderzoek van Deltares + WUR. Op basis van het landgebruik op de Veluwe stellen we voor een strooisellaag toe te passen op de volgende landgebruiken: naaldbos, loofbos, gemengd bos, heide en agrarische gronden.



Advies

Op basis van bovenstaande resultaten adviseren we het volgende voor de verschillende modelinstellingen:

- Grenzen modellen**
De gekozen modelgrenzen leiden tot randeffecten in de modellen. Op sommige locaties neemt aan de randen de maximale waterdiepte toe met meer dan 20 cm. In het model benedenstrooms van deze locatie leidt dit weer tot een onderschatting van de waterdiepte. Daarom adviseren wij te werken met een bufferzone van circa 1-2 km rondom de verschillende submodellen. Hiermee wordt beoogd randeffecten te voorkomen. Door de submodellen met elkaar te laten overlappen, kunnen de bufferzones verwijderd worden uit de resultaten maar ontstaat er nog steeds een gebiedsdekkende kaart voor het beheergebied van waterschap Vallei en Veluwe.
- Infiltratiecapaciteit**
We stellen voor om op de locaties waar het landgebruik uit naaldbos, loofbos, gemengd bos en heide bestaat, de infiltratiewaarde van de ondergrond te verhogen naar 0,5 m/d. Tijdens de gesprekken met gemeenten kwam naar voren dat werd verwacht dat er meer water zou infiltreren op de flanken en minder water tot afstroming zou komen. De infiltratiewaarde is afhankelijk van de ondergrond in combinatie met de toplaag. Daar waar de toplaag minder doorlatend is, wordt de infiltratiecapaciteit ook lager geacht. Op de flanken van de heuvelruggen, in het landelijke gebied, verwachten we echter dat de infiltratiecapaciteit hoger is dan de standaard opbouw van Tygron aangezien de toplaag hier naar verwachting een grotere doorlatendheid heeft (ongeroid).
- Intensiteit/buiduur**
Doorrekenen van een tweetal buien: 70 mm in 2 uur en 140 mm in 2 uur. Dit komt overeen met de klimaatatlas en is conform de uitgangspunten van Deltares (neerslagintensiteiten voor kortdurende buien, STOWA 2018). Uit de proefberekening komt naar voren dat een grotere neerslaghoeveelheid (100 mm versus 70 mm) leidt tot een lokale toename van waterdiepte van ruim 40 cm. Door te rekenen met een grotere hoeveelheid neerslag wordt het effect bij extremen inzichtelijk. In het verleden heeft het meetstation in Elspeet een dagsom gemeten van 100 mm, dus deze neerslaghoeveelheden zijn niet irreëel op de Veluwe.
- Strooisellaag**
Meenemen berging in strooisellaag en microreliëf voor de volgende landgebruiken: naaldbos, loofbos, gemengd bos, heide en agrarische gronden. Wij verwachten dat dit een betere benadering van de daadwerkelijke situatie is, daar waar in de gesprekken met de gemeenten ook meermaals werd aangegeven dat werd verwacht dat er minder water tot afstroming zou komen dan werd gemodelleerd in de klimaatatlas (zonder strooisellaag).
- Aanvullen model**
In de standaard opbouw van een Tygronmodel is heide niet opgenomen als landgebruik. Omdat we verwachten dat dit een veelvuldig voorkomend landgebruik is op de Veluwe en de berging in de strooisellaag en het microreliëf relatief groot is (30 mm), stellen we voor het model aan te vullen met data uit de bgt waarin heide wel is meegenomen. Zonder de heidevlakken toe te voegen kunnen we aanpassingen zoals berging toekennen aan het landgebruik heide niet toepassen. Het niet toepassen van deze berging (strooisellaag en microreliëf met samen 30 mm) leidt naar verwachting tot een overschatting van de stroombanen.

Klimaatatlas (rode cirkel geeft herkende probleemlocatie aan)	Tygron (geadviseerde modelinstellingen) (rode cirkel geeft herkende probleemlocatie aan)
	



Bijlage 3 Achtergrondinformatie

Berging microreliëf en strooisellaag in mm

Landgebruik (LGN7)	microreliëf	Strooisellaag	Totaal
Gras	2	5	7
Natuurgrasland	10	5	15
Mais	5	0	5
Akkerbouw	5	0	5
Heide	20	10	30
Bos	0	25	25
Bebouwing en infrastructuur	0	0	0
Water en moeras			

Figuur 4: Berging microreliëf en strooisellaag in mm (bron: Van Bakel en Massop, <https://edepot.wur.nl/457438>, bladzijde 47) .

