

De rol van vegetatieparameters bij regenwaterafvoer over maaiveld

Het simuleren van begroeiing in Tygron Platform

I.M.J. van Rozendaal | s1846981
27 juni 2019

Universiteit Twente
Bachelor Civiele Techniek
Eerste beoordelaar: B.W. Borsje
Vakgroep Waterbeheer (WEM)
Tweede beoordelaar: J.T. Voordijk
Vakgroep Bouw/Infra (CME)

Organisatie: Aveco de Bondt
Eerste supervisor: T. Visser
Tweede supervisor: J. Jager

Voorwoord

Voor u ligt het rapport dat ik geschreven heb als scriptie voor het afronden van de bachelor Civiele Techniek aan de Universiteit Twente in de periode van april tot en met juni 2018. In dit rapport staan mijn bevindingen omschreven omtrent de simulatie van de afvoer van regenwater over maaiveld in de software Tygron Platform. Aan de hand van deze bevindingen is een advies uitgebracht over het gebruik van de software.

Voor het tot stand brengen van dit onderzoek wil ik graag Aveco de Bondt en de Universiteit Twente bedanken. Mijn speciale dank gaat uit naar T. Visser en J. Jager van Aveco de Bondt en B. Borsje van de Universiteit Twente voor hun begeleiding tijdens het onderzoek. Zonder deze personen en de overige collega's van de afdeling Water bij Aveco de Bondt was het niet mogelijk geweest om dit rapport te schrijven.

Irma van Rozendaal

Holten, 12 juni 2019

Samenvatting [NL]

Extreme neerslag zal door klimaatverandering steeds vaker voorkomen in Nederland. Met name in de zomer zullen er vaker intensieve regenbuien optreden. Omdat de infiltratiecapaciteit van de bodem vaak te laag is om de grote hoeveelheid neerslag af te kunnen voeren, zal het regenwater in deze gevallen over het maaiveld afgevoerd worden. Om overlast door water op straat te voorkomen, is het van belang om dit regenwater snel af te voeren naar systemen zoals het riool of oppervlaktewater. Voor het bepalen van de capaciteit van deze systemen, is kennis benodigd over de afvoer van regenwater, zoals de tijd die benodigd is om het water af te voeren en de mate van overlast. Tygron Platform is een software die gebruikt wordt voor dit type vraagstukken. Bij het gebruik hiervan in voorgaande projecten, is de behoefte ontstaan naar meer inzicht in de wijze waarop regenwater door vegetatie wordt geremd en wat hiervan het effect is op de water op straat beelden. Vanuit Aveco de Bondt is daardoor aangegeven dat er meer onderzoek gedaan moet worden naar de waarden van verschillende parameters van vegetatie en hoopt op meer inzicht in de werking van het model.

Het onderzoek richt zich op een klein onderdeel van Tygron Platform. Voor het simuleren in de software wordt gebruik gemaakt van kaartlagen en objecten die dienen als input. Aan deze kaartlagen en objecten kunnen specifieke eigenschappen worden gegeven, door de waarden van de bijbehorende parameters aan te passen. Voor dit onderzoek zijn een hoogtekarte en neerslagkarakteristieken ingevoegd als kaartlagen en de verschillende typen vegetatie worden gezien als object. Daarna rekent het model de afvoer van het regenwater door. Dit resulteert in nieuwe kaartlagen met informatie over de afvoer van het regenwater. Hieruit kan informatie zoals stroomsnelheden en waterdieptes worden gehaald.

Allereerst is een literatuurstudie uitgevoerd. Hiermee zijn verschillende factoren in kaart gebracht die de afvoer van regenwater beïnvloeden. Deze kunnen opgedeeld worden in endogene en exogene factoren. Endogene factoren worden gelinkt aan de eigenschappen van het studiegebied, zoals grondwaterstand en -stroming en vegetatiekarakteristieken. Exogene factoren staan in verband met het klimaat dat heerst in het studiegebied. Hieronder vallen onder andere evapotranspiratie, temperaturen en neerslag. Hierbij wordt aangegeven dat voornamelijk de neerslagintensiteit en endogene mechanismen zoals infiltratiecapaciteit van de bodem en het landgebruik invloed hebben op de afvoer van regenwater. Echter zijn de waarden voor terreinparameters moeilijk vast te stellen. De parameters die in Tygron zijn vastgesteld, zijn allen ingesteld met een standaardwaarde. Met behulp van de literatuurstudie zijn waarden voor verschillende parameters, die ingesteld kunnen worden in Tygron, bepaald. Dit zijn de endogene factoren gewasfactor, interceptie en Manning coëfficiënt. Ook is de exogene factor referentie evaporatie vastgesteld. Omdat de eigenschappen van vegetatie en weersomstandigheden sterk kunnen variëren door het jaar heen, is voor deze parameters zowel een zomer- als winterwaarde vastgesteld. Deze zijn daarna vergeleken met de standaardwaarden in Tygron. Hieruit is gebleken dat in Tygron andere waarden zijn vastgesteld.

Met de gevonden zomerwaarden is een gevoeligheidsanalyse uitgevoerd in Tygron Platform. Hieruit is naar voren gekomen dat het regenwater allereerst volledig wordt opgeslagen door de vegetatie totdat de maximale bergingscapaciteit van de vegetatie is bereikt. Het water dat is opgeslagen wordt daarna niet meegenomen in de verdere berekeningen. Hierdoor heeft het opgeslagen regenwater en de gewasfactor geen invloed op de totale evaporatie. Deze wordt enkel bepaald door de referentie evaporatie en de grondwaterstand. De Manning coëfficiënt blijkt de meest bepalende parameter voor de afvoer van regenwater over het maaiveld. Simulatieresultaten toonden aan dat een hogere Manning coëfficiënt een hogere waterdiepte en een lagere stroomsnelheid oplevert. Ook de neerslagintensiteit is maatgevend voor de waterdiepte en stroomsnelheid. Echter kwam uit alle simulaties naar voren dat er op een flauwere helling de stroomsnelheid groter was dan bij een steilere helling. Dit resultaat spreekt de resultaten uit de literatuurstudie tegen. De softwareontwikkelaar heeft aangegeven dat dit enkel visueel verkeerd wordt weergegeven en dat de gesimuleerde afvoer van het regenwater hier niet door wordt beïnvloed. Na aanleiding van deze resultaten heeft de

softwareontwikkelaar deze fout aangepast, waardoor de stroomsnelheden en waterdieptes nu goed worden weergegeven.

Aan de hand van de resultaten, die voort zijn gekomen uit het literatuuronderzoek en de gevoeligheidsanalyse, zijn aanbevelingen gegeven hoe vegetatie eigenschappen meegenomen moeten worden bij simulaties in Tygron. Hierbij is aangegeven dat de gevonden zomerwaarden het best kunnen worden ingesteld wanneer hevige regenbuien worden gesimuleerd. Bij langdurige, maar minder intensieve buien kunnen de winterwaarden worden gebruikt. Bij het simuleren van vegetatie is het voornamelijk van belang om de Manning coëfficiënt goed vast te stellen, omdat deze samen met de neerslagintensiteit de meeste invloed heeft op de simulatieresultaten. Verder dient er nog meer onderzoek gedaan te worden naar de interceptiewaarden van vegetatie, omdat verwacht wordt dat deze hoger ligt dan nu is aangegeven. In dat geval kan ook deze parameter meer invloed hebben op de verkregen resultaten.

Summary [EN]

Due to climate change, extreme precipitation will occur more often in The Netherlands. More intensive rain showers will appear particularly during summer. Because the infiltration capacity of the soil is often too low to drain high amounts of precipitation, the rainwater will be drained over the surface. To prevent disturbance caused by water, it is of importance to drain the rainwater to systems like the sewers and surface water as quick as possible. To determine the needed capacity of those systems, knowledge about the drainage is needed. Tygron Platform is a software, which is used for these kinds of issues. During the usage of this software in previous projects, the need arose to gain more insight in the manner rainwater was drained over vegetation. Therefore, employees of Aveco de Bondt indicated that more research had to be performed towards the values of multiple vegetation parameters and to gain more insight into how the model functions.

The research focusses on a small part of Tygron Platform. To be able to simulate, map layers and objects must be added as input in the model. Specific features can be added to these layers and objects by setting the values of the parameters. For this research, a height map and precipitation characteristics are added as map layers and different types of vegetation are embedded as objects. Then the model calculates the drainage of the rainwater. This results in new map layers with information about the rainwater drainage. From this, information like flow velocity and water depth can be gained.

First, a literature study has been performed. Multiple factors which affect the rainwater drainage have been indicated this way. These factors can be split into two groups; endogenous and exogenous factors. Endogenous factors are linked to the properties of the study area, like the groundwater table and flow and vegetation characteristics. Exogenous factors are related to the climate of the study area. For example, evapotranspiration, temperatures and precipitation are included to these factors. Mainly the precipitation intensity and endogenous mechanisms like infiltration capacity of the soil and the land use are affecting the drainage of rainwater. However, the values of terrain parameters are difficult to set correctly. The parameters set in Tygron, are all set with a standard value. By the means of the literature study, new values for parameters which can be set in Tygron are determined. These parameters are the endogenous factors interception, crop factor and Manning coefficient. Also, the exogenous factor reference evaporation has been determined. Because the features of vegetation and weather circumstances can vary strongly throughout the year, values for summer- and wintertime are set for the parameters. These are then compared to the standard values used in Tygron. This showed that other values were set in Tygron.

The summer values gained in the literature study are used to perform a sensitivity analysis in Tygron Platform. This showed that all rainwater was first stored by the vegetation until the maximum storage capacity was reached. The stored water is not used in further calculations. Therefore, the stored rainwater and the crop factor have no influence on the simulated amount of evaporation. This value is

only set by the reference evaporation and groundwater table. The Manning coefficient proved to be the most important parameter when simulating the drainage of rainwater. Results show that a higher Manning value results in a higher water depth and lower flow velocity. However, all simulations shown that a less steep hill results into a higher flow velocity. This is in contradiction with the results of the literature study. The software developer has noted that this was only a visual issue and that the results of the simulated drainage is not affected by it. The incorrect visualisation was then adjusted by the software developer, which now shows correct flow velocities and water depths.

The results gained by the literature study and sensitivity analysis are used to write recommendations. These recommendations can be used when using vegetation during simulations in Tygron. It has been indicated that the summer values can best be set when simulating heavy rain showers. When simulation long, less intensive rain showers, the winter values can be used. It is of importance to set the Manning coefficient correct when simulating rainwater drainage, because this factor impacts the simulation results the most together with the precipitation intensity. Furthermore, more research must be done towards the interception values of vegetation. It is expected that these values are higher than indicated in this report. In that case, this parameter can also affect the obtained results.

Inhoud

Voorwoord	1
Samenvatting [NL]	2
Summary [EN].....	3
Overzicht van figuren	7
Begrippenlijst.....	8
1. Introductie.....	11
1.1. Aanleiding.....	11
1.2. Onderzoeksdoel, -vragen en -methode.....	11
1.3. Focus van het onderzoek.....	12
1.4. Modelomschrijving.....	12
2. Afvoer van regenwater.....	15
2.1. De hydrologische cyclus	15
2.2. Kenmerken van het terrein	16
2.3. Invloeden van het klimaat.....	17
2.4. Modelleren van afvoer over maaiveld	18
3. Karakteristieken van vegetatie.....	21
3.1. Evaporatie.....	21
3.1.1. Gewasfactoren-methoden	22
3.2. Interceptie	23
3.2.1. Bepalen van interceptie	24
3.3. Weerstand	25
3.3.1 Bepaling van Manning coëfficiënt	26
4. Resultaten.....	28
4.1. Opzet gevoeligheidsanalyse	28
4.2. Resultaten gevoeligheidsanalyse	30
5. Discussie	35
5.1. Algemene onzekerheden bij het simuleren van regenwaterafvoer.....	35
5.2. Onzekerheden in de waarden van parameters.....	35
5.2.1. Gewasfactoren en referentie evaporatie	35
5.2.2. Opslag door vegetatie	36
5.2.3. Manning coëfficiënt.....	37
5.3. Onzekerheden in de opzet van de gevoeligheidsanalyse	37
5.4. Onzekerheden in modelresultaten.....	37
5.4.1. 2D Saint Venant vergelijkingen	38
5.5. Aanpassingen in Tygron Platform.....	38
5.6. Suggesties voor een vervolgonderzoek.....	40
6. Conclusie en aanbeveling.....	41

6.1.	Vegetatie simuleren in Tygron	41
	Bibliografie	43
	Bijlagen	48
Bijlage A	– Berekeningen in Tygron.....	48
Bijlage B	– Bepaling interceptie in Tygron	53
Bijlage C	– Herhalingstijden neerslag.....	57
Bijlage D	– Formules voor het berekenen van ET_{ref}	58
Bijlage E	– Gegevens meetstation De Bilt	62
Bijlage F	– Berekenen van ET_{ref} in de zomerperiode.....	63
Bijlage G	– Berekenen van ET_{ref} in de winterperiode	65
Bijlage H	– Manning coëfficiënten bij oppervlaktecondities.....	67
Bijlage I	– Waarden voor vegetatieparameters in Tygron	68
Bijlage J	– Resultaten gevoeligheidsanalyse gewasfactor	69
Bijlage K	– Resultaten gevoeligheidsanalyse interceptie	75
Bijlage L	– Resultaten gevoeligheidsanalyse Manning coëfficiënt	81
Bijlage M	– Resultaten gevoeligheidsanalyse referentie evaporatie van agrarisch gras	85
Bijlage N	– Resultaten gevoeligheidsanalyse referentie evaporatie van loofbos	88
Bijlage O	– Resultaten gevoeligheidsanalyse bij een intensiteit van 50 mm/dag	91
Bijlage P	– Maximale waterdiepte en stroomsnelheid bij verschillende neerslagintensiteiten..	93
Bijlage Q	– Resultaten na update van Tygron.....	96

Overzicht van figuren

Figuur 1: Instellingen van kaartlaag Neerslag	13
Figuur 2: Visualisatie van de terreinhoogte en vegetatie zoals gebruikt in de simulaties in Tygron	14
Figuur 3: Visualisatie van maximale waterdiepte op timeframe 60 van de 60.....	14
Figuur 4: De hydrologische cyclus	15
Figuur 5: Endogene factoren die de situatie in het studiegebied beïnvloeden	17
Figuur 6: Hoogtekaart van studiegebied in Tygron	29
Figuur 7: Indeling studiegebied	29
Figuur 8: Maximale waterdiepte op agrarisch gras bij verschillende interceptiewaarden en een intensiteit van 50 mm/uur	31
Figuur 9: Maximale stroomsnelheid op agrarisch gras bij verschillende interceptiewaarden en een intensiteit van 50 mm/uur	31
Figuur 10: Maximale stroomsnelheid op agrarisch gras bij verschillende gewasfactoren en een intensiteit van 50 mm/uur	32
Figuur 11: Maximale waterdiepte op agrarisch gras bij verschillende gewasfactoren en een intensiteit van 50 mm/uur.....	32
Figuur 12: Maximale stroomsnelheid op agrarisch gras bij verschillende Manning coëfficiënten en een intensiteit van 50 mm/uur	32
Figuur 13: Maximale waterdiepte op agrarisch gras bij verschillende Manning coëfficiënten en een intensiteit van 50 mm/uur	32
Figuur 14: Maximale stroomsnelheid op agrarisch gras bij verschillende Manning coëfficiënten en een intensiteit van 70 mm/uur	33
Figuur 15: Maximale waterdiepte op agrarisch gras bij verschillende Manning coëfficiënten en een intensiteit van 70 mm/uur	33
Figuur 16: Doorsnede van cel met water in Tygron op 5% helling	38
Figuur 17: Maximale stroomsnelheid op agrarisch gras	39
Figuur 18: Maximale waterdiepte op agrarisch gras.....	39
Figuur 19: Maximale afvoer op agrarisch gras	39
Figuur 20: Schematische weergave voor de variabelen in de 2D Saint Venant vergelijkingen	51
Figuur 21: Rekenwijze in Tygron	52
Figuur 22: Waterdiepte op maaiveld voorafgaand aan bui	53
Figuur 23: Waterdiepte op maaiveld 5 minuten na begin regenbui	54
Figuur 24: Waterdiepte op maaiveld 24 minuten na begin regenbui	54
Figuur 25: Waterdiepte op maaiveld 29 minuten na begin regenbui	55
Figuur 26: Totale evaporatie vanaf maaiveld 1 uur na regenbui	55
Figuur 27: Waterdiepte op maaiveld bij verschillende vegetatiedichtheden 24 minuten na het begin van de regenbui.....	56
Figuur 28: Locatie van meetstation De Bilt	62

Begrippenlijst

Aan de hand van de Hydrologische woordenlijst (Moors et al., 2002) en Verklarende hydrologische woordenlijst (Commissie voor Hydrologisch Onderzoek TNO, 1986) is de volgende begrippenlijst vastgesteld:

Begrip	Omschrijving	Eenheid	Symbol
Afstroming	Het transport van water uit een (stroom-)gebied.		
Afvoer	Het debiet uit een gebied.	Q	m ³ /s
Afvoer, oppervlakte-	De afstroming van neerslag over het maaiveld.		
Albedo	De fractie van de globale straling die door het aardoppervlak wordt teruggekaatst.	α	-
Berging	Het volume water dat aanwezig is binnen een gebied.	V	m ³
Bergingscapaciteit	Het volume water dat geborgen kan worden.	V	m ³
Bodemwater	Water dat zich bevindt in het bovenste deel van de grond.		
Dampdruk	De partiële druk van waterdamp.	e	kPa
Dampdruk, verzadigings-	De dampdruk waarbij de waterdamp in evenwicht is met een vlak oppervlak van zuiver water van dezelfde temperatuur en druk	e _s	kPa
Dampdrukcurve, helling van de verzadigings-	De afgeleide van de verzadigingsdampdruk e _s naar de temperatuur.	s	kPa/°C
Debiet	Het volume water dat per tijdseenheid door een doorsnede stroomt.	Q	m ³ /s
Diepte, water-	Verticale afstand tussen waterspiegel en bodem.	-	cm
Evaporatie	De overgang van water in vloeibare of vaste vorm in waterdamp.		
Evaporatie, potentiële	De theoretische verdamping die zou optreden wanneer een oppervlak dat voldoende van water is voorzien, blootgesteld wordt aan de heersende meteorologische omstandigheden die onveranderd blijven door het verdampingsproces zelf	ET _{pot}	mm/dag
Evaporatie, referentie	De verdampingssnelheid van een geïdealiseerd gras (het referentiegewas).	ET _{ref}	mm/dag
Evaporatie, totale	De som van de interceptie evaporatie, transpiratie en bodemevaporatie.	ET _{tot}	mm/dag
Evapotranspiratie	De totale verdampingssnelheid van een begroeid oppervlak.	ET	mm/dag
Grondwater	Water beneden het grondoppervlak.		
Grondwaterstand	De hoogte waar het grondwater een drukhoogte van 0 heeft.		

Herhalingstijd	Het gemiddelde tijdsinterval waarin gebeurtenissen een bepaalde grenswaarde overschrijden.		
Hydrologie	De leer van het voorkomen, het gedrag en de chemische en fysische eigenschappen van water in alle verschijningsvormen op en beneden het aardoppervlak, uitgezonderd het water in de zeeën en oceanen.		
Infiltratie	De neerwaartse stroming van water in een gebied		
Infiltratiecapaciteit	De maximale waarde van het volume water dat per tijdseenheid en per eenheid van het horizontaal oppervlak infiltreert.		
Interceptie	Het deel van de bruto neerslag dat door de vegetatie wordt onderschept.	C	mm
Inundatie	Het onder water raken van de begrenzingen van een stroom of oppervlakte lichaam, ofwel van gebieden die normaal niet onder water staan.		
Neerslag	De massa waterdeeltjes die vanuit de atmosfeer het aardoppervlak bereikt.	-	mm
Neerslag, bruto	De gemiddelde neerslag die op en horizontaal vlak valt.	-	mm
Neerslag, netto	Het verschil tussen de bruto neerslag en het interceptieverlies.	-	mm
Neerslagintensiteit	De afgeleide van de bruto neerslag naar de tijd.	-	mm/dag
Oppervlaktewater	Het water dat stroomt over of verblijft op het aardoppervlak.		
Parameter	Een coëfficiënt die de grootte van een systeemkenmerk aangeeft.		
Permeabiliteit	Het vermogen van de grond om vloeistof door te laten.		
Psychrometerconstante	De grootheid die volgt uit de psychrometervergelijking.	γ	kPa/°C
Simulatie	Reproductie of voorstelling van een gebeurtenis in een model		
Straling, globale	De kortgolvlige stralingsstroomdichtheid die uit de hemisfeer invalt op een horizontaal vlak per eenheid van tijd en eenheid van oppervlakte.	$K^\downarrow$	W/m ²
Straling, netto	Het verschil tussen de neerwaartse en opwaartse totale stralingsstroomdichtheid per eenheid van tijd en eenheid van oppervlakte.	Q_{net}	W/m ²
Straling, kortgolvlige	De straling met een golflengte $<4 \mu\text{m}$ per eenheid van tijd en van oppervlakte.	K	W/m ²

Straling, langgolville	De straling met een golflengte tussen 4 en 100 μm per eenheid van tijd en eenheid van oppervlakte	L	W/m ²
Stroomsnelheid	Snelheid van waterdeeltjes	v	m/s
Relatieve luchtvochtigheid	De verhouding van de heersende dampdruk tot de verzadigingsdampdruk bij dezelfde temperatuur.	RH	-
Verdampingswarmte	De hoeveelheid energie die nodig is om een massa-eenheid water zonder temperatuurverhoging van de vloeibare fase in de verdampingsfase te doen overgaan.		
Waterhoogte	Gemiddelde van de hoogteligging van de waterspiegel t.o.v. een referentievlak.	h	M

(Moors et al., 2002)
(Commissie voor Hydrologisch Onderzoek TNO, 1986)

1. Introductie

In dit hoofdstuk wordt de aanleiding van het onderzoek toegelicht. Aan de hand hiervan is een onderzoeksdoel geformuleerd, zijn onderzoeksvragen opgesteld en is de focus van het onderzoek duidelijk gemaakt. De onderzoeksvragen zijn gebruikt om een methode voor het onderzoek op te stellen. De resultaten hiervan zijn beschreven in Hoofdstuk 2, 3 en 4. Hiermee worden later in dit verslag conclusies getrokken en een aanbeveling gegeven.

1.1. Aanleiding

Door klimaatverandering komt extreme neerslag steeds vaker voor (Rijksoverheid, sd). Dit betekent dat in de zomer vaker kortdurende en intensieve buien voor zullen komen en in de winter langdurige maar minder intensieve buien voor zullen komen (Tank et al., 2015). Dit regenwater moet afgevoerd worden. Bij een grote hoeveelheid neerslag in korte tijd, is de infiltratiecapaciteit van de bodem vaak te laag om al deze neerslag af te voeren via de bodem. Om overlast door water op straat te voorkomen, moet het regenwater afgevoerd worden via het oppervlak naar het riool of oppervlaktewater. Om de capaciteit van deze systemen te bepalen, is er kennis benodigd over de hoeveelheid regenwater dat over het maaiveld afgevoerd wordt en de snelheid hiervan. Bij Aveco de Bondt wordt gebruik gemaakt van de software Tygron Platform om deze kennis inzichtelijk te maken. Met deze software kan de afvoer van hevige neerslag worden gesimuleerd. Hierbij kan het studiegebied worden nagemaakt door het gebruik van opendata, zoals hoogtemodellen, en terreinparameters kunnen aangepast worden zodat deze kenmerkend zijn voor het studiegebied. Ook kunnen aanpassingen in het studiegebied worden doorgevoerd, om een indicatie te krijgen van de invloed hiervan. In voorgaande projecten zijn verwachtingsvolle resultaten verkregen met behulp van Tygron. Hierbij zijn simulaties gerund die het afvoeren van hemelwater weergeven en een indicatie geven van bijvoorbeeld hoe het water zal stromen met de bijbehorende stroomsnelheden en waterdieptes in het studiegebied. Dit is gebruikt om wateroverlast in kaart te brengen en bijvoorbeeld een indicatie te krijgen over de benodigde rioleringscapaciteit. Om de resultaten van Tygron beter te kunnen onderbouwen, is behoefte ontstaan bij Aveco de Bondt naar meer inzicht in de wijze waarop de afvoer van regenwater door vegetatie wordt geremd en wat hiervan het effect is op water op straat beelden.

De huidige waarden van vegetatieparameters in Tygron zijn gebaseerd op waarden uit de literatuur. Echter zijn de karakteristieken van vegetatie lastig vast te stellen. De eigenschappen van vegetatie verschillen tussen locaties, maar ook tussen verschillende seizoenen. Hierdoor kunnen de waarden voor de parameters van vegetatie variëren. Door verschillen in parameterwaarden zullen ook de resultaten van simulaties variëren. Wanneer extreme neerslag wordt gesimuleerd in Tygron zorgen deze variaties in verschillen in de afvoer van het regenwater.

1.2. Onderzoeksdoel, -vragen en -methode

De focus van het onderzoek ligt op het simuleren van hevige neerslag over vegetatie in Tygron, zodat er meer inzicht komt in de wijze waarop regenwaterafvoer wordt geremd door vegetatie. Hierbij wordt gekeken naar verschillende vegetatieparameters in het model. In Tygron kan bij elk type vegetatie de waarden voor evaporatie, interceptie en Manning coëfficiënt individueel worden vastgesteld. Deze waarden worden meegenomen in de modelberekeningen en hebben daardoor invloed op de resultaten van het model. Deze zullen dan ook worden besproken in dit verslag. Voor evaporatie en Manning coëfficiënt zijn door de softwareontwikkelaar al standaardwaarden voor elk type vegetatie vastgesteld. Voor interceptie is door gebrek aan informatie nog geen waarde vastgesteld. Het doel van het onderzoek is om Tygron te valideren op de waarden van deze parameters en vervolgens een advies te geven over het gebruik van deze waarden. Dit advies is gebaseerd op de resultaten van het literatuuronderzoek en de gevoeligheidsanalyse uitgevoerd in Tygron. Gebaseerd op dit doel is een hoofdvraag opgesteld:

Wat is de rol van verschillende parameters bij de simulatie van regenwaterafvoer over maaiveld in Tygron?

Om de hoofdvraag te ondersteunen en het onderzoek vorm te geven zijn verschillende deelvragen opgesteld.

- 1. Welke parameters hebben invloed op de oppervlakkige afstroming van regenwater?*
- 2. Welke waarden hebben de parameters in de zomer- en wintermaanden?*
- 3. Welk effect hebben de waarden van de parameters op de simulatie van oppervlakkige afstroming van regenwater?*

De eerste deelvraag is opgesteld om een beeld te vormen van welke verschillende factoren invloed hebben op de afvoer van regenwater. Dit brengt ook in kaart in welke mate deze factoren de afstroming van regenwater beïnvloeden. Daarna zijn de waarden voor de parameters evaporatie, interceptie en Manning coëfficiënt vastgesteld voor de zomer- en winterperioden. Hiertussen is onderscheid gemaakt omdat veel vegetatie zich in verschillende groeistadia bevinden in deze periodes. De eerste twee onderzoeksvragen zijn beantwoord met behulp van een literatuuronderzoek. De resultaten hiervan zijn uitgewerkt in Hoofdstuk 2 en 3. De waarden voor de drie parameters die volgen uit het literatuuronderzoek worden daarna vergeleken met de waarden gebruikt in Tygron en vervolgens gebruikt om een gevoeligheidsanalyse uit te voeren. De resultaten hiervan en de opzet van de gevoeligheidsanalyse wordt besproken in Hoofdstuk 4.

1.3. Focus van het onderzoek

Met behulp van Tygron zal hevige regenval worden gesimuleerd. Hierbij wordt er gekeken naar wat de invloed is van vegetatie op de afvoer van het regenwater. In dit onderzoek zal de focus liggen op de drie parameters evaporatie, interceptie en Manning coëfficiënt. Hiervan wordt per type vegetatie vastgesteld wat de waarde is van deze parameters. Aan de hand van de meest voorkomende typen landgebruik in Nederland is een lijst met vegetatie opgesteld (Hazeu et al., 2014). Hierna is gekeken welke van deze typen vegetatie ingesteld kunnen worden in Tygron. Dit heeft geresulteerd in een aantal typen vegetatie waarop de focus ligt in dit onderzoek. Deze typen vegetatie zijn als volgt:

- Agrarisch gras;
- Mais;
- Granen;
- Overige akkerbouwgewassen;
- Boomgaard;
- Loofbos;
- Naaldbos;
- Gras in bebouwd gebied;
- Rietvegetatie.

Omdat karakteristieken van vegetatie sterk kunnen verschillen per seizoen, wordt er voor dit onderzoek onderscheid gemaakt tussen waarden van de parameters in de zomer en in de winter. Voor deze seizoenen is gekozen omdat vegetatie eigenschappen van met name landbouwgewassen en loofbos het sterkst verschillen. Hierbij wordt aangenomen dat mais, granen en overige akkerbouwgewassen niet worden verbouwd in de winter en dat er op dat moment zich geen andere soorten vegetatie op die locatie bevinden.

1.4. Modelomschrijving

Tygron Platform is een model dat breed kan worden ingezet in de civiele sector. De software wordt gebruikt om de relatie in kaart te brengen tussen geografische data en thema's zoals verkeer, water

luchtkwaliteit en energie (Tygron, 2019). Voor het simuleren van neerslag is het thema water van toepassing. Hierbij wordt een kaartlaag toegevoegd aan het model die onder andere aangeeft hoeveel neerslag er valt, in welke tijd en met welke intensiteit over de tijd (zie Figuur 1). Deze laag wordt gezien als de input van de simulatie en geeft dus aan hoeveel neerslag er per tijdstap wordt toegevoegd aan de modelberekeningen. Ook kan hierbij aangegeven worden welke output weergegeven wordt na de simulatie.

The screenshot shows the 'Rainfall Wizard' application window. On the left is a sidebar with a list of steps: Introduction, Step 1 Rain Event (selected), Step 2 Setup Water System (with sub-steps 2.1 to 2.5.5), Step 3 Hydrologic Coefficients (with sub-steps 3.1 to 3.3), Step 4 Interaction, Step 5 Output Overlays, and Step 6 Input Overlays. The main area is titled 'Rain Event' and contains the following elements:

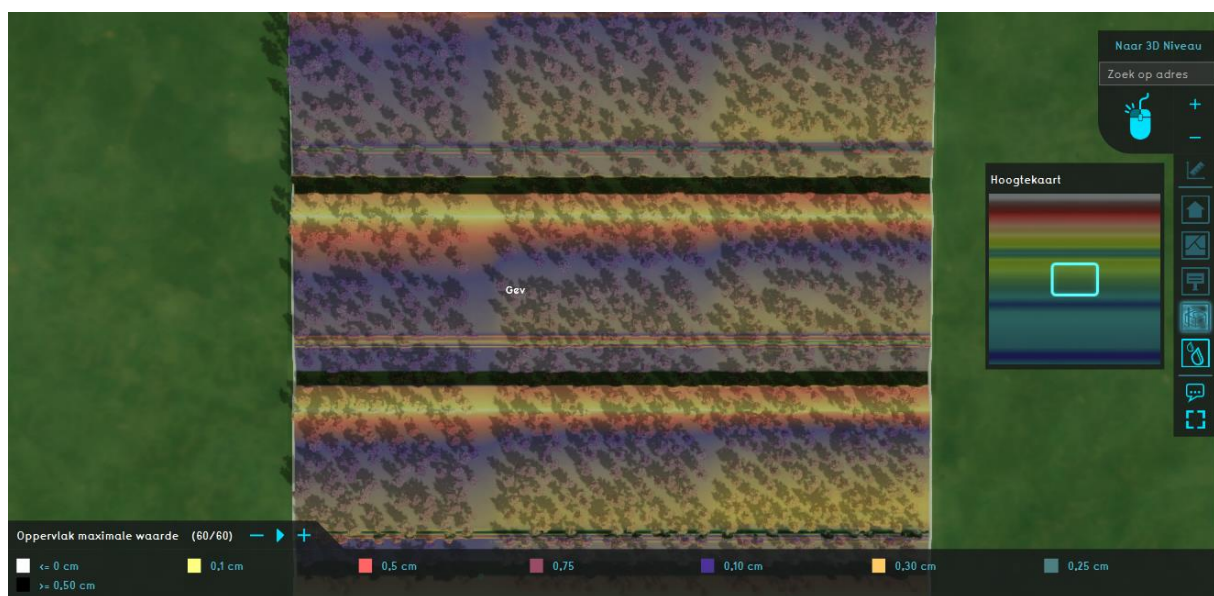
- A prompt: 'Please select a weather event or add a new one.'
- A cloud icon with rain, a dropdown menu showing 'Rain', and 'Add' and 'Rename' buttons.
- A section titled 'Setup rain and dry period durations for model.' containing a line graph. The y-axis is labeled 'mm / hour' with a scale from 0 to 75. The graph shows a constant rainfall rate of 50 mm/hour for a duration of 60 minutes, followed by a dry period.
- Input fields for 'Rain Over Time': 'Rain for' (60 minutes), '0 days', '1 hrs', and '0 minutes dry after Rain'. The 'Total Rainfall' is set to 50 mm.
- A checkbox for 'Limit Rainfall to Active area (water areas, objects, etc)' which is currently unchecked.
- Input fields for 'Evaporation Over Time': 'Surface Evaporation' is set to 3,06 mm/day.
- A summary line: 'A total of 2 hour(s) are simulated.'
- 'Previous' and 'Next' buttons at the bottom right.

Figuur 1: Instellingen van kaartlaag Neerslag

Door het invoeren van verschillende kaartlagen en objecten in het model, kan het studiegebied zo veel mogelijk worden aangepast naar de gewenste situatie. Voor dit onderzoek is alleen gebruik gemaakt van de kaartlagen Neerslag en Hoogtekaart. De verschillende typen vegetatie zijn ingevoerd als objecten, waarbij voor ieder object de parameters vastgesteld kunnen worden. Figuur 2 geeft een voorbeeld van de hoogte van het terrein met loofbos daarop, zoals deze gebruikt is in dit onderzoek. De eigenschappen van het terrein en de objecten worden gebruikt om de afvoer van de neerslag te bepalen. Hierbij wordt gebruik gemaakt van verschillende berekeningen. De bijbehorende formules zijn uitgelegd in Bijlage A. Gebaseerd op deze berekeningen worden per opgegeven timeframe resultaten gesimuleerd. Hierbij kan output zoals stroomsnelheden of waterdieptes visueel worden weergegeven. Een voorbeeld van deze output is weergegeven in Figuur 3.



Figuur 2: Visualisatie van de terreinhoogte en vegetatie zoals gebruikt in de simulaties in Tygron



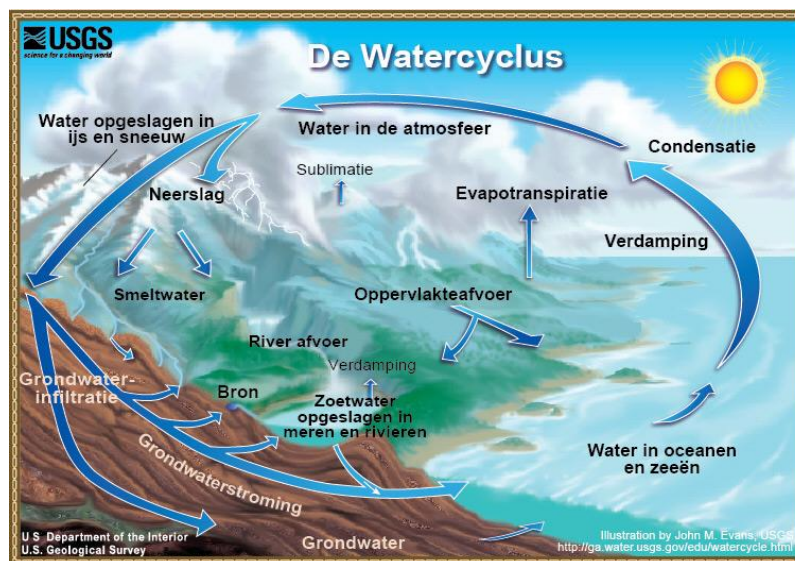
Figuur 3: Visualisatie van maximale waterdiepte op timeframe 60 van de 60

2. Afvoer van regenwater

De afvoer van regenwater is afhankelijk van meerdere factoren, welke allen invloed hebben op de hydrologische cyclus. Een literatuurstudie is uitgevoerd om in kaart te brengen welke factoren hierop invloed hebben en in welke mate. In dit hoofdstuk worden de resultaten gegeven van het literatuuronderzoek. Allereerst wordt de werking van de hydrologische cyclus toegelicht, waarna ingegaan wordt op de invloeden van karakteristieken van het landschap en het klimaat op de hydrologische cyclus en dus op de afvoer van regenwater. Als laatste wordt een indicatie gegeven van de methoden die kunnen worden gebruikt voor het simuleren van regenwaterafvoer over maaiveld en wat van toepassing is voor Tygron.

2.1. De hydrologische cyclus

De hydrologische cyclus is een doorlopend en dynamisch proces van de beweging van water. De cyclus begint bij het water dat verdampt vanuit de oceanen. Wanneer de waterdamp hoger in de lucht komt, koelt het af en condenseert in de vorm van wolken. Dit water komt vervolgens op het land terecht in de vorm van neerslag. Wanneer de infiltratiecapaciteit van de bodem groot genoeg is, zal het regenwater infiltreren. Via het grondwater wordt het dan afgevoerd naar beken en rivieren. Ook kan het water na infiltratie worden opgenomen door de wortels van planten. Door de huidmondjes van de planten kan dit water transpireren en wordt het in de vorm van waterdamp weer opgenomen in de lucht. Naast infiltreren kan het regenwater ook via het maaiveld worden afgevoerd. Hierbij wordt het regenwater oppervlakkig afgevoerd naar beken en rivieren of het evaporeert. Het water dat in de beken en rivieren terecht is gekomen wordt weer terug afgevoerd naar de oceanen (Marshall, 2014).



Figuur 4: De hydrologische cyclus
(Evans)

De conditie, waarin het hydrologische proces plaats vindt, heeft invloed op de mate van infiltratie, verdamping en oppervlakkige afvoer. Deze condities kunnen onderverdeeld worden in twee soorten factoren; endogene en exogene factoren (Deb et al., (2019). Endogene factoren worden gelinkt aan de karakteristieken van het studiegebied, zoals grondwaterstand, grondwaterstroming en vegetatiekarakteristieken (zie Figuur 5). Exogene factoren zijn gebaseerd op het klimaat dat heerst in het studiegebied. Onder deze factoren vallen onder andere evapotranspiratie, temperatuur en neerslag. Deze factoren en hun invloed op de oppervlakkige afstroming van regenwater wordt beschreven in de volgende paragrafen. Hiervan is een overzicht in Tabel 1.

2.2. Kenmerken van het terrein

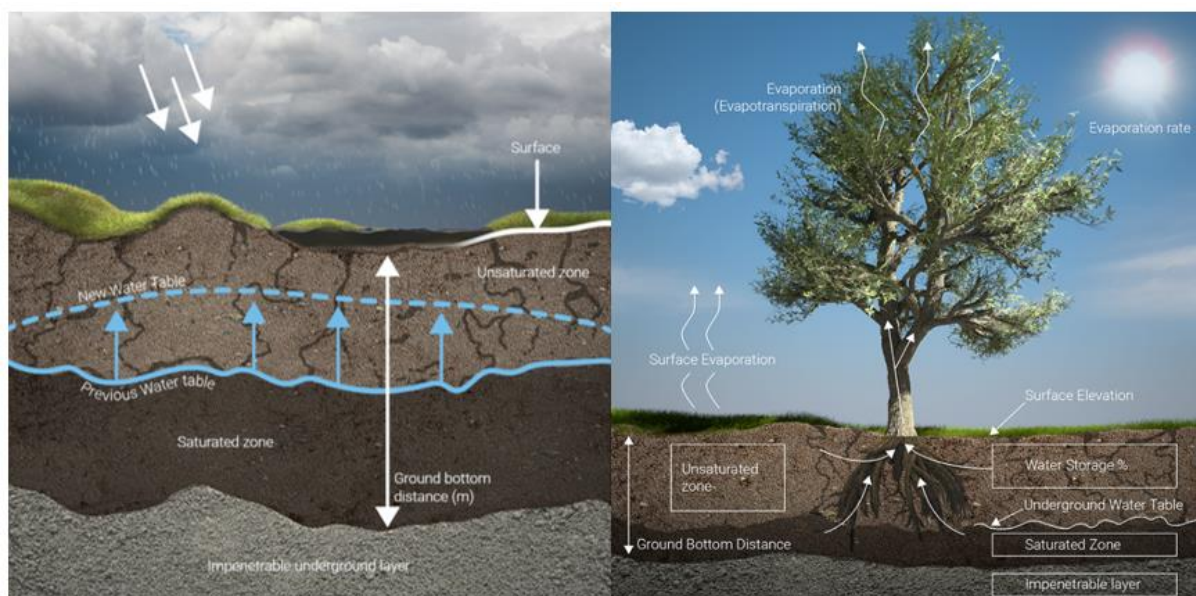
Het terrein heeft grote invloed op de afvoer van regenwater. Hierbij kan gedacht worden aan de functionaliteit van het terrein, maar ook eigenschappen zoals maaiveldhoogte. Zo zorgen verschillen in maaiveldhoogte voor een stimulans van de oppervlakkige afvoer van regenwater. Wanneer de hoek van deze helling groter wordt, zal ook de afvoer over het maaiveld toenemen. Dit effect is merkbaar tot een hoek van 27%, daarna zal een grotere hoek geen toename meer veroorzaken (Descroix et al., 2001). Nederland is relatief vlak. Echter zijn er ook glooiende en heuvelachtige gebieden, gelegen in het zuiden en oosten van het land. Wanneer hellingen aanwezig zijn in het landschap, zal het water sneller gaan stromen en zal het proces van het afvoeren van regenwater naar afvoersystemen zoals sloten of rioleringen versnellen (Fiener et al., 2001). Bij een vlak terrein zal dit proces minder snel verlopen.

Om te voorkomen dat regenwater op maaiveld blijft staan, moet de infiltratie van regenwater in de bodem voldoende zijn. De infiltratie wordt met name bepaald door de bodemsoort. In Nederland komen zand-, grind-, klei-, leem- en veengronden voor (Oosterhoff, 2013). De cohesie, die wordt bepaald door de bindingskracht tussen gronddeeltjes, is bepalend voor het vermogen om water vast te houden en door te laten (Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen, 1996). Zand- en grindbodems hebben een lage cohesie tussen de korrels. Hierdoor is de bindingskracht tussen de watermoleculen en de korrels klein en houdt de bodem minder water vast. Hierdoor zijn zand- en grindbodems zeer permeabel. De permeabiliteit van klei-, leem-, en veengronden zijn vele malen kleiner dan dat van de andere twee bodemsoorten, doordat de cohesie tussen de korrels groter is. Door de plaatachtige structuur van klei- en leemkorrels is de verticale bodemwaterstroming zeer klein in vergelijking met de horizontale bodemwaterstroming. Hetzelfde effect ontstaat in veengronden door de vezelachtige structuur van plantenresten. Hierdoor zal er minder infiltratie van regenwater optreden in gebieden met aan de oppervlakte klei-, leem- of veengronden. Dit verhoogt de kans op oppervlakkige afstroming. Echter is de infiltratiecapaciteit niet alleen afhankelijk van de bodemsoort, maar ook van de diepte van de bodemlaag en de grondwaterstand (Mugo & Odera, 2018).

Wanneer naar de functionaliteit van het terrein wordt gekeken, kan bijvoorbeeld gedacht worden aan het landgebruik. Indien vegetatie aanwezig is, zal de biotische activiteit van de bodem vergroten. Dit zorgt er samen met de wortelpenetratie voor dat de permeabiliteit van de bodem vergroot en dat het grondwater aangevuld kan blijven worden (Marhaento et al., 2018). Het Nederlandse landschap wordt voornamelijk gekarakteriseerd door de agrarische sector. In 2012 was 50,9% geclassificeerd als agrarisch gebied (Hazeu et al., 2014). Deze gebieden bestaan veelal uit relatief kleine (gras)landen die worden omgrensd door sloten. Indien regenwater oppervlakkig afgevoerd moet worden, is het gevolg gering doordat het afstromende water maar een korte afstand af hoeft te leggen naar de sloten toe (Fiener et al., 2001). Verder zorgt de aanwezigheid van akkerbouw ook voor sterk variërende percelen over het jaar. Veel gewassen worden gezaaid in de lente en worden geoogst in de zomer of herfst. In de periode tussendoor groeien de gewassen en in de winter staat er vaak geen gewas op het land. Hierdoor ontstaan sterke verschillen in de situatie van de bodem en de invloeden die de vegetatie op de afvoer van regenwater kan hebben. In de groeiperiode wordt door de aanwezigheid van planten de permeabiliteit van de bodem groter, wat de infiltratiecapaciteit van de bodem vergroot. Echter wordt de weerstand bij oppervlakkige afstroming ook vergroot door de groei van gewassen. Dit zorgt ervoor dat de oppervlakkige afstroming wordt belemmerd en dat er langer last is van water op het maaiveld. De schommelingen in de karakteristieken van het terrein over het jaar maken het lastig om inschattingen te maken over de te verwachten overlast bij hevige regenbuien. Daarnaast kan het ook per seizoen verschillen of oppervlakkige afvoer wordt gezien als overlast. In de winter liggen bijvoorbeeld akkerbouwlanden vaak braak. In dat geval zal water op het land minder problemen veroorzaken dan in de groeiperiode van de gewassen.

De invloed van vegetatie op de afvoer van regenwater wordt medebepaald door de dichtheid van vegetatie. Zoals eerder benoemd vergroot de aanwezigheid van vegetatie de permeabiliteit van de bodem, wat de kans op oppervlakkige afstroming verkleint. Echter vergroot de weerstand die het

water op het maaiveld ondervindt, doordat de oppervlakte ruwer wordt wanneer de vegetatie groeit of wanneer het dichter beplant is. Met dichtheid wordt niet alleen de afstand tussen planten onderling bedoeld, maar ook de dichtheid van de bladeren van de vegetatie. Tijdens buien vangt de vegetatie een deel van de neerslag op. Dit wordt interceptie genoemd. De hoeveelheid opgevangen water is afhankelijk van de hoeveelheid bladeren en takken van de plant en de dichtheid daarvan. De interceptie wordt tijdelijk opgeslagen door de plant en wordt zo vertraagd afgevoerd naar de grond of verdampt nog wanneer het op de bladeren ligt (Marhaento et al., 2018). De vertraagde afvoer zorgt ervoor dat de bodemcapaciteit minder groot hoeft te zijn en dat de kans op oppervlakkige afstroming verkleint. Verder resulteert de aanwezigheid van vegetatie in een betere verdeling van de regenwaterafvoer gedurende het jaar. Doordat de infiltratiecapaciteit van de bodem vergroot, kan meer regenwater in de bodem worden opgeslagen. De stroming van het bodemwater gaat vele malen langzamer dan waterafvoer via sloten en rivieren. Hierdoor verdroogt de bodem minder snel tijdens langdurige droge periodes en kunnen de gevolgen van neerslagschommelingen tussen seizoenen verkleind worden (Marhaento et al., 2018).



Figuur 5: Endogene factoren die de situatie in het studiegebied beïnvloeden (Tygron, 2019) & (Tygron, 2019)

2.3. Invloeden van het klimaat

Weersomstandigheden hebben invloed op de afvoer van regenwater. De periode voorafgaand aan de regenbui heeft een grote invloed op het ontstaan van oppervlakkige afvoer. Wanneer er een natte periode voorafgaand is geweest, zal de grondwaterstand hoog staan en de bodem grotendeels gesatureerd zijn. Hierdoor zal weinig water worden geïnfiltreerd in de bodem en zal dus veel water oppervlakkig afgevoerd worden. Het tegenovergestelde ontstaat wanneer een droge periode voorafgaand aan de bui heeft plaatsgevonden. In deze situatie zal het grondwater laag staan en kan er dus veel regenwater infiltreren. Echter bij een langdurige droge periode kan de bodem dusdanig verdroogd raken waardoor het vermogen om het grondwater aan te vullen achteruitgaat (Deb et al., 2019). Ook heeft een langdurige natte of droge periode invloed op de vegetatie. Wanneer de weersomstandigheden te extreem zijn voor de planten, zullen deze afsterven. Dit heeft invloed op het proces tussen neerslag en de afvoer hiervan, zoals beschreven is in de vorige paragraaf. Ook kan een langdurige natte of droge periode zorgen voor veranderingen in de fysiologie van planten (Deb et al., 2019). Hierdoor ontstaan veranderingen in de hoeveelheid evaporatie en heeft het dus indirect invloed op de afvoer van regenwater.

Evaporatie wordt gestimuleerd door zonnestraling. Bij hogere temperaturen van het aardoppervlak zal er ook meer water transpireren vanuit de bodem. De zonintensiteit en het aantal zonuren kan hierdoor een grote invloed hebben op de mate van evapotranspiratie (Uwizeyimana et al., 2019). Hierdoor ontstaan verschillen in het verdampte water tussen zomer- en winterperioden. Dit verschil wordt verder versterkt door de akkerbouw, waarbij veelal de gewassen worden gekweekt tijdens de zomerperiode en er geen gewassen worden verbouwd tijdens de winter. Hierdoor worden de neerslagschommelingen, waarbij er een neerslagoverschot in de winter is en een neerslagtekort in de zomer, verder versterkt.

Een ander aspect waar klimaat een grote invloed op heeft is het karakter van de buien. Het volume, de intensiteit, de duur en de distributie van de neerslag bepalen hoe het water wordt afgevoerd (Mugo & Odera, 2018). Wanneer grote buien vallen of wanneer de bui intensief is, is de kans aanwezig dat de bodem het water niet kan opnemen door een te lage infiltratiecapaciteit of omdat de bodem dichtslaat. In dit geval zal de neerslag veelal oppervlakkig afgevoerd worden.

Er zijn verschillen tussen de buien in de zomer- en wintermaanden in Nederland (Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut, sd). Tijdens de zomer zijn de buien vaak kort maar intens. In de winter hebben de buien vaak een kleinere intensiteit, maar houden ze langer aan. Hierdoor kunnen er in beide seizoenen dus grote hoeveelheden neerslag vallen. Eigenschappen van de maaiveldberging en de bodem zijn bepalend voor de mate van de oppervlakkige afvoer. Door de grote intensiteit van de zomerbuien is de infiltratiecapaciteit vaak de beperkende factor bij het afvoeren van regenwater via de bodem. In de winter zorgt de langdurige neerslag ervoor dat met name de bodemberging de beperkende factor is (Massop et al., 2017). Door klimaatverandering zullen dit soort buien vaker voorkomen. Het KNMI heeft onderzoek gedaan naar klimaatverandering in Nederland. Hieruit zijn vier verschillende scenario's naar voren gekomen voor 2050 en 2085. Deze klimaatscenario's zijn gebaseerd op de verwachte wereldwijde temperatuurstijging en de veranderingen in de luchtstroompatronen (Hurk et al., 2014). Bij alle klimaatscenario's is onder andere naar voren gekomen dat er meer (extreme) neerslag verwacht wordt tijdens de wintermaanden, meer extreme neerslag tijdens de zomermaanden zal vallen en dat de zonnestraling op het aardoppervlak toe zal nemen in vergelijking met de periode van 1981 tot 2010 in Nederland (Tank et al., 2015). De genoemde gevolgen van klimaatverandering zullen ook veranderingen opleveren in de afvoer van regenwater. Verwacht wordt dat vaker overlast zal ontstaan, doordat regenwater vaker over het maaiveld afgevoerd zal worden. In verharde gebieden wordt met name overlast verwacht bij extreme neerslag, zoals wolkbreuken, door een te lage infiltratiecapaciteit (Kennisportaal Ruitelijke Adaptatie, sd). Volgens het KNMI is een wolkbreuk van toepassing wanneer er in één uur tijd 25 millimeter of meer aan neerslag valt of er in 5 minuten 10 millimeter of meer valt (Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut, sd). Zoals te zien is in Tabel 11 van 0, komt deze intensiteit ongeveer eens per 5 jaar voor. In landelijke gebieden is de capaciteit van de bodemberging groter. Echter kan deze bergingsruimte bij langdurige neerslag vol raken. In dat geval kan er ook wateroverlast optreden (Deltares, 2018). Een voorbeeld hiervan is zware neerslag. Dit is volgens het KNMI van toepassing wanneer er op één dag 50 millimeter neerslag of meer valt (Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut, sd). Deze neerslag heeft een herhalingsdijk van ongeveer 5 jaar zoals weergegeven in Tabel 12 van Bijlage C.

2.4. Modelleren van afvoer over maaiveld

Het modelleren van de afvoer van regenwater is gebaseerd op de hydrologische cyclus. Om de interactie tussen neerslag en afvoer goed in kaart te brengen, is het van belang om de karakteristieken van de omgeving mee te nemen, omdat deze bepalend zijn voor de mate van de afvoer van regenwater (Kisi et al., 2013). Uit het literatuuronderzoek is naar voren gekomen dat voornamelijk neerslagintensiteit en endogene mechanismen zoals de infiltratiecapaciteit van de bodem en het landgebruik invloed hebben op hoeveel regenwater oppervlakkig wordt afgevoerd (Descroix et al., 2001), (Mugo & Odera, 2018) & (Deb et al., 2019). Echter zijn parameterwaarden van het terrein lastig vast te stellen, waardoor er veel onzekerheid ontstaat in de simulatieresultaten (Teng et al.,). Een

ander punt dat onzekerheden in het model veroorzaakt is de data waarop het gebaseerd is. Veel modellen worden gebouwd met historische gegevens, over bijvoorbeeld het klimaat of landgebruik. Echter is deze data vaak verouderd (Deb et al., 2019) & (Samadi et al., 2019). Dit resulteert in onbetrouwbare uitkomsten.

Bij het simuleren van regenwaterafvoer over het maaiveld in Tygron, worden afstromingsmodellen gemaakt om de locaties met overlast vast te stellen. Er zijn verschillende manieren om water op maaiveld te modelleren. Over het algemeen worden 2D modellen gebruikt wanneer ondiepe waterdieptes gesimuleerd moeten worden. Hierbij wordt veelal gebruik gemaakt van de Navier-Stokes vergelijkingen (Teng et al., 2017). Tygron maakt gebruik van de Saint-Venant vergelijkingen (Tygron, 2019). Beide vergelijkingen zijn alleen algebraïsch op te lossen en worden opgelost met de aanname dat massa en momentum in een vlak behouden wordt. Deze methoden worden vaak gebruikt doordat de tijd en duur van inundatie met hoge nauwkeurigheid voorspeld kan worden (Teng et al., 2017). Ook variabelen zoals stroomsnelheid, volume en waterpeil zijn goed te voorspellen. Hierdoor is deze methode zeer goed bruikbaar wanneer veranderingen in studiegebieden doorgerekend moeten worden. Echter dient voor een betrouwbare simulatie de verhouding tussen de grootte van het studiegebied en celgrootte niet te groot te zijn. Het nadeel van 2D modellen is dat het lang kan duren om simulaties te runnen.

Om de rekentijd van simulaties te verkorten wordt vaak gebruik gemaakt van event-based modellen in plaats van doorlopende modellen (Samadi et al., 2019). Tygron is een voorbeeld van een event-based model. Het voordeel van dit soort modellen is dat er minder parameters benodigd zijn, waardoor het gemakkelijker is in gebruik. Echter is het hierbij lastig om initiële condities, zoals bodemvocht, vast te stellen. In Tygron kunnen deze condities vooraf ingevoerd worden. Dit zal mede dienen als input voor de simulatie.

Tabel 1: Overzicht van factoren die bijdragen in simulaties

	Factoren	Specificatie	Uitleg
Endogene factoren	Terrein	Helling	Hellingen stimuleren regenwaterafvoer over maaiveld.
		Gebiedsindeling	Aanwezigheid van sloten zorgt ervoor dat regenwater korter afgevoerd hoeven te worden over maaiveld.
	Bodem	Bodemsoort	Is bepalend voor de mate waarin het regenwater kan infiltreren en hoeveel water geborgen kan worden per diepte-eenheid.
		Diepte van bodemlaag	Geeft aan hoe diep een bepaalde bodemsoort ligt.
		Grondwaterstand	Bepaald de diepte van de verzadigde en onverzadigde zone.
	Vegetatie	Biotische activiteit	Vergroot de permeabiliteit van de bodem.
		Wortelpenetratie	Vergroot de permeabiliteit van de bodem.
		Wrijving	Grotere vegetatie zorgt voor meer weerstand tijdens de afvoer van regenwater over maaiveld.
		Dichtheid	Vergroot de hoeveelheid neerslag opgeslagen door vegetatie. Vergroot de ondervonden weerstand bij regenwaterafvoer over maaiveld.
Exogene factoren	Voorafgaande periode	Natte periode	Verhoogt de grondwaterstand en vergroot de verzadigde zone.
		Droge periode	Verlaagt de grondwaterspiegel en vergroot de onverzadigde zone.
	Zonnestraling	Evaporatie	Wordt gestimuleerd door de hoeveelheid inkomende straling.
	Buien	Volume	Bepaald hoeveel neerslag er valt.
		Tijd	Bepaald met welke intensiteit het volume neerslag valt.
Simuleren	Hydrologische factoren	Endogene factoren	Meest bepalend in afvoer van regenwater.
		Exogene factoren	Voornamelijk neerslagintensiteit is bepalend in de afvoer van regenwater.
	Modeleigenschappen	Type model	Bepaald welke berekeningen worden gemaakt, de resultaten en de benodigde rekentijd.
		Modelopzet	Tijdstappen, celgrootte en grootte van het studiegebied beïnvloeden de rekentijd en nauwkeurigheid van het model.

3. Karakteristieken van vegetatie

Uit het literatuuronderzoek is naar voren gekomen dat de mate van de oppervlakkige afstroming van regenwater mede wordt bepaald door het landgebruik. Zo zorgen de verdamping en opslag ervoor dat er minder water direct oppervlakkig afgevoerd moet worden en is de stroomsnelheid afhankelijk van de ruwheid en de helling van de ondergrond. Per oppervlakte en dus per type vegetatie verschillen de waarden, waarmee gerekend moet worden in de simulatie, voor deze kenmerken. In Tygron kunnen de parameters van evaporatie, wateropslag en Manning coëfficiënt worden ingevoerd om het terrein te typeren. Uit een literatuuronderzoek zijn waarden van de parameters verkregen. Deze zijn verder toegelicht in dit hoofdstuk.

Zoals benoemd in het voorgaande hoofdstuk, kunnen weersomstandigheden grote invloed hebben op de afvoer van regenwater en kunnen de karakteristieken van vegetatie sterk verschillen per seizoen. Om deze reden is ervoor gekozen om onderscheid te maken tussen waarden van de parameters voor de zomer- en winterperiode. Omdat ook het karakter van neerslagbuien varieert per seizoen, worden er verschillen gemaakt in de simulatie van neerslag in zomermaanden en in wintermaanden. Deze verschillen worden verder toegelicht in Hoofdstuk 4.

3.1. Evaporatie

De stimulatie van evaporatie wordt op gang gebracht door uitgestraalde energie van de zon. Deze zonne-energie wordt geabsorbeerd door fothermische materialen, waaronder planten (Zhu et al., 2019). De zonne-energie wordt door de fothermische materialen omgezet in thermische energie. Hierdoor verwarmt het vloeibare water en wordt het gevormd tot waterdamp. Het water dat verdampt vanaf de oppervlakte van de planten wordt evaporatie genoemd. De hoeveelheid water die evaporeert is afhankelijk van verschillende factoren, zoals het klimaat en landgebruik.

Straling

Zonnestraling is het startpunt van het verdampingsproces en daarom de grootste factor hierin (Schuurmans & Droogers, 2009). Vanuit de zon wordt voornamelijk kortgolvlige straling uitgezonden. Een deel hiervan bereikt het aardoppervlak, wat wordt gemeten als globale straling. Deze straling verwarmt het aardoppervlak doordat het gedeeltelijk geabsorbeerd wordt. Door de verwarming van het aardoppervlak zendt de aarde langgolvlige straling uit. De inkomende en uitgaande straling zijn in balans, doordat de overige energie wordt gebruikt voor de waterverdamping en het opwarmen van de bodem en lucht. Hierdoor ontstaat een energiebalans. Het verschil tussen de totale inkomende en uitgaande kortgolvlige en langgolvlige straling wordt de netto straling genoemd. De hoeveelheid netto straling bepaalt de hoeveelheid evaporatie.

De hoeveelheid straling die het aardoppervlak ondervindt is afhankelijk van de locatie ten opzichte van de zon. De geografische ligging en de hoek van de aardas zijn van invloed op de relatieve afstand tussen de zon en de aarde (Schuurmans & Droogers, 2009) & (Meteonet, 2003). Wanneer een locatie zich verder van de evenaar bevindt of de hoek van de aardas kleiner wordt, zal de relatieve afstand groter worden en zal er hierdoor minder straling het aardoppervlak bereiken.

Temperatuur

De temperatuur heeft invloed op de hoeveelheid water die verdampt kan worden. Bij een hogere temperatuur zal de verdampingswarmte van water lager liggen, waardoor het water minder energie nodig heeft om te verdampen. Ook zorgt een hogere temperatuur ervoor dat meer waterdamp opgenomen in de lucht en dat dus een hogere verzadigde dampdruk kan worden behaald.

Dampdruk

Wanneer de actuele dampdruk niet gelijk is aan de verzadigde dampdruk, is er een dampdruktekort (Schuurmans & Droogers, 2009). Dit tekort zorgt ervoor dat waterdamp opgenomen kan worden in de lucht. De verhouding tussen de actuele dampdruk en de verzadigde dampdruk wordt gemeten in de vorm van luchtvochtigheid. Bij een groter dampdruktekort, en dus een lagere luchtvochtigheid, zal water sneller verdampen.

Windsnelheid

De wind zorgt ervoor de aanwezige lucht wordt verplaatst. De mate hiervan is afhankelijk van de windsnelheid. Door het aardoppervlak ondervindt de wind wrijving, waardoor hier de windsnelheid lager zal liggen dan op een grotere hoogte. Door de verplaatsing van lucht zal op dezelfde locatie veranderingen ontstaan in de dampdruk. Wanneer er lucht wordt aangevoerd met een lagere luchtvochtigheid, zal er dus meer water kunnen verdampen.

Vegetatie

Elk type vegetatie heeft zijn eigen karakteristieken. Hierdoor ontstaan er ook verschillen tussen de hoeveelheid evaporatie die plaatsvindt op het oppervlak van de vegetatie. Zo verschilt de hoeveelheid geabsorbeerde en gereflecteerde straling door verschillen in albedo tussen typen vegetatie. Verder zijn er ook verschillen in bijvoorbeeld hoogte of structuur van vegetatie. Hierdoor varieert de luchtweerstand en dus ook lokaal de windsnelheid.

3.1.1. Gewasfactoren-methoden

Voor het berekenen van de potentiële evaporatie vanaf gewasoppervlakten zijn verschillende methoden. Eén hiervan is de gewasfactoren-methode. Bij deze methode wordt een referentie evaporatie berekend met behulp van een referentiegewas. Voor dit gewas wordt over het algemeen gras gebruikt. De berekende referentie evaporatie wordt daarna vermenigvuldigd met een gewasfactor, om op deze manier de potentiële evaporatie voor het desbetreffende type gewas te bepalen. Tygron maakt in zijn simulaties gebruik van de Penman-Monteith methode om de potentiële evaporatie te berekenen. Hierbij wordt gebruik gemaakt van de volgende formule (Tygron, 2018):

$$ET_{pot} = ET_{ref} \cdot K_o \quad \text{Vergelijking 1}$$

Waarin:

ET_{pot}	Potentiële evaporatie	[mm/dag]
ET_{ref}	Referentie evaporatie	[mm/dag]
K_o	Gewasfactor	[-]

In deze formule wordt een referentiegewas gehanteerd om de referentie evaporatie te berekenen. Hierbij wordt uitgegaan van een referentiegewas met een hoogte van 0,12 meter, een oppervlakteweerstand van 70 s/m en een albedo van 0,23 (Schuurmans & Droogers, 2009). De waarde voor de referentie evaporatie wordt vermenigvuldigd met een gewasfactor om het type landgebruik te kenmerken en zodoende de potentiële evaporatie te berekenen behorende bij het landgebruik.

De referentie evaporatie is geen constante waarde, maar is afhankelijk van factoren zoals benoemd in paragraaf 3.1. Deze factoren worden ook meegenomen in de berekening van de referentie evaporatie (Schuurmans & Droogers, 2009) & (Zotarelli et al., 2010):

$$ET_{ref} = \frac{0,408 \cdot s \cdot (Q_{net} - G) + \gamma \cdot \frac{900}{T + 273} \cdot u_2 \cdot (e_s - e_a)}{s + \gamma(1 + 0,34 \cdot u_2)}$$

Vergelijking 2

Waarin:

ET_{ref}	Referentie evaporatie	[m/dag]
s	Helling van de dampdrukcurve	[kPa/°C]
Q_{net}	Netto straling	[MJ/m²dag]
G	Bodemwarmteflux	[0 MJ/m²dag]
γ	Psychrometerconstante	[0,066 kPa/°C]
T	Temperatuur op 2 meter hoogte	[°C]
u_2	Daggemiddelde windsnelheid op 2 meter hoogte	[m/s]
e_s	Verzadigingsdampdruk	[kPa]
e_a	Actuele dampdruk	[kPa]

De vergelijkingen behorende bij de referentie evaporatie en de benodigde variabelen zijn verder toegelicht in Bijlage D. Voor deze berekeningen zijn weergegevens benodigd. Deze zijn verkregen met behulp van data van het KNMI. Hierbij is de verzamelde data van meetstation De Bilt gebruikt. Hiervoor is gekozen omdat dit centraal gelegen is in Nederland. De gegevens van meetstation De Bilt zijn toegelicht in Bijlage E. Van de verkregen data door het KNMI zijn de gegevens geselecteerd die van toepassing zijn voor de zomer- en winterperiode. Bijlage F bevat de data voor het berekenen van de referentie evaporatie in de zomerperiode. Bijlage G bevat de data voor de winterperiode.

Uit de berekeningen van Bijlage F en Bijlage G blijkt dat de referentie evaporatie in de zomer gelijk is aan 3,06 mm per dag. Voor de winter is deze waarde lager, namelijk 0,61 mm per dag. Deze waarden worden gebruikt om de potentiële evaporatie per type landgebruik te bepalen. Een overzicht van de gewasfactoren en potentiële evaporatie, behorende bij verschillende typen landgebruik, is weergegeven in Tabel 2.

Tabel 2: Gewasfactoren en potentiële evaporatie voor verschillende typen landgebruik
(Beltman & Koerselman, 1988), (Hooghart & Lablans, 1988), (Spieksma et al., 1995), (Feyen et al., 2001), (Arcadis, 2014) & (Versteegen, 2016)

Landgebruik	Zomerperiode ($ET_{ref} = 3,06$ mm/dag)		Winterperiode ($ET_{ref} = 0,61$ mm/dag)	
	Gewasfactor [-]	Potentiële evaporatie [mm/dag]	Gewasfactor [-]	Potentiële evaporatie [mm/dag]
Agrarisch gras	0,90	2,75	0,90	0,55
Mais	1,00	3,06	0	0
Granen	0,50	1,53	0	0
Overige akkerbouwgewassen	0,67	2,05	0	0
Boomgaard	1,16	3,55	0,70	0,43
Loofbos	0,82	2,51	0,50	0,31
Naaldbos	0,90	2,75	0,70	0,43
Gras in bebouwd gebied	0,80	2,45	0,80	0,49
Rietvegetatie	0,77	2,36	Onbekend	Onbekend

3.2. Interceptie

Wanneer neerslag valt, zal het deels onderschept worden door bijvoorbeeld vegetatie of gebouwen. Het onderschepte water door vegetatie kan vanaf het blad evaporeren of van het blad afdruppen. In het laatste geval kan het water daarna infiltreren in de grond, oppervlakkig geborgen worden of oppervlakkig afgevoerd worden. Dit proces heeft het grootste effect op de hoeveelheid evaporatie in

de hydrologische cyclus (Agelink & Hoeks, 1980). De hoeveelheid regenwater die vertraagd afgevoerd wordt kan bepaald worden door het verschil tussen de maximale interceptie en minimale interceptie te berekenen (Li et al., 2016). Hierbij wordt de maximale interceptie gedefinieerd als de hoeveelheid water die opgeslagen is door de vegetatie net voordat de neerslag stopt. De minimale interceptie is de hoeveelheid water die op het bladerdek ligt nadat de oppervlakkige afstroming is gestopt. De mate van onderschepping is afhankelijk van verschillende factoren. Deze worden hieronder verder toegelicht.

Regenvalkarakteristieken

Het karakter van de regenbui bepaalt hoeveel water kan worden onderschept. Zo zullen meerdere kleine buien zorgen voor een grotere opslag dan één langdurige bui, doordat water tussen de buien door kan evaporeren. Wanneer de vegetatie droog is voorafgaand aan een bui, kan er meer water worden opgeslagen. De verzadiging van de bladeren gebeurt met name in de eerste 10 minuten van de neerslag (Li et al.,). Daarna zijn de bladeren grotendeels gesatureerd en kan er minder regenwater worden onderschept.

Het effect van de intensiteit van neerslag is in meerdere studies onderzocht. Echter volgen daar verschillende resultaten uit. Uit onderzoek van Li et al. (2016) volgt dat de interceptiecapaciteit toe neemt wanneer de intensiteit toeneemt. Uit andere onderzoeken blijkt dat een hogere intensiteit ervoor zorgt dat meer water van het blad afdrupt (Gerrits, 2010). Hierdoor zou de interceptiecapaciteit juist kleiner worden.

Kroonstructuur

De kroonstructuur kan gekenmerkt worden door verschillende parameters zoals bladoppervlakte, bladoppervlakte index, houtoppervlakte en biomassa (Li et al., 2016). De bladeren, takken en stam zijn allen maatgevend voor de hoeveelheid regenwater die onderschept kan worden. Hierdoor ontstaan er grote verschillen in de mate van interceptie tussen verschillende typen vegetatie. Verder heeft ook de hoogte van de vegetatie invloed op de mate van interceptie. Grotere typen vegetatie veroorzaken een hogere aerodynamische weerstand. Hierdoor neemt de potentiële evaporatie toe. Doordat er meer water evaporeert, kan er ook meer water opgeslagen worden door de vegetatie.

Bodembedekking

Nederland bestaat voor 8,5% uit bebost oppervlak en 6,4% uit natuurlijk oppervlak (Hazeu et al., 2014). Deze gebieden worden vaak niet intensief beheerd, waardoor dode plantenresten op de grond blijven liggen (Spijksma et al., 1995). Deze resten vormen de strooisellaag. De strooisellaag belemmert de bodemevaporatie, maar vergroot ook de interceptiecapaciteit van een gebied. De interceptiecapaciteit zorgt ervoor dat tot 15% van de jaarlijkse bruto neerslag kan verdampen (Stuurman et al., 2008).

3.2.1. Bepalen van interceptie

De totale hoeveelheid water die kan worden opgeslagen door vegetatie is afhankelijk van twee componenten: de opslagcapaciteit en de mate van evaporatie. De opslagcapaciteit wordt gedefinieerd als een waterdiepte. Het opgeslagen water zal deels evaporeren, waardoor er daarna extra water opgeslagen kan worden. De samenhang tussen de componenten is te zien in onderstaande vergelijking (Agelink & Hoeks, 1980):

$$V_i = S_i + C_p \cdot E_{pot} \cdot t_r$$

Vergelijking 3

Waarin:

V_i	Totale interceptie gedurende de bui	[mm]
S_i	Bergingscapaciteit op de vegetatie per m ² bodemoppervlak	[mm]
C_p	Verdampend oppervlak per m ² bodemoppervlak	[-]
E_{pot}	Potentiële evaporatiesnelheid per m ² verdampend oppervlak	[mm/uur]
t_r	Regenduur	[uur]

De evaporatiecomponent in bovenstaande vergelijking is afhankelijk van de potentiële evaporatie. Deze is besproken in paragraaf 3.1. Tygron neemt dit automatisch mee in zijn berekeningen en hoeft dus niet meegenomen te worden bij de bepaling van de totale interceptie. Hierdoor is alleen de waarde voor de bergingscapaciteit voldoende. Een overzicht hiervan is weergegeven in Tabel 3 en Tabel 4.

Tabel 3: Bergingscapaciteit in de zomerperiode voor verschillende typen landgebruik
(Agelink & Hoeks, 1980), (Gerrits, 2010) & (Siepel et al., 2018)

Landgebruik	Zomerperiode		
	Bergingscapaciteit van gewas [mm]	Bergingscapaciteit van strooisellaag [mm]	Totale bergingscapaciteit [mm]
Agrarisch gras	4,1	-	4,1
Mais	0,5	-	0,5
Granen	Onbekend	-	Onbekend
Overige akkerbouwgewassen	Onbekend	-	Onbekend
Boomgaard	3,0	-	3,0
Loofbos	1,4	1,8	3,2
Naaldbos	1,7	1,0	2,7
Gras in bebouwd gebied	3,1	-	3,1
Rietvegetatie	Onbekend	-	Onbekend

Tabel 4: Bergingscapaciteit in de winterperiode voor verschillende typen landgebruik
(Agelink & Hoeks, 1980), (Gerrits, 2010) & (Siepel et al., 2018)

Landgebruik	Winterperiode		
	Bergingscapaciteit van gewas [mm]	Bergingscapaciteit van strooisellaag [mm]	Totale bergingscapaciteit [mm]
Agrarisch gras	2,0	-	2,0
Mais	0	-	0
Granen	0	-	0
Overige akkerbouwgewassen	0	-	0
Boomgaard	Onbekend	-	Onbekend
Loofbos	0,6	1,8	2,4
Naaldbos	1,7	1,0	2,7
Gras in bebouwd gebied	1,1	-	3,1
Rietvegetatie	Onbekend	-	Onbekend

3.3. Weerstand

Bij hevige neerslag zal een deel van het regenwater niet kunnen infiltreren in de bodem of opgeslagen kunnen worden. Dit water zal inunderen op het land. Indien het geïnundeerde land zich al op een lichte helling bevindt, zal het water oppervlakkig gaan stromen. De snelheid waarmee het water afgevoerd kan worden is bepalend voor de duur en de mate dat het land geïnundeerd is en wordt onder andere

bepaald door de weerstand die de stroming ondervindt. De weerstand ontstaat door de ruwheid van materialen en wordt vaak uitgedrukt in Manning coëfficiënt. De waarde van deze coëfficiënt is afhankelijk van verschillende factoren.

Landgebruik

De invloed van vegetatie op de Manning coëfficiënt verschilt per type vegetatie en is afhankelijk van onder andere de dichtheid, flexibiliteit en de waterdiepte ten opzichte van de vegetatie (Arcement & Schneider, 1989). Wanneer gewassen een hoge dichtheid hebben en minder flexibel zijn, zal het water minder goed tussen of over de vegetatie kunnen stromen. Echter wordt dit effect verminderd wanneer de waterdiepte boven de gewashoogte uit komt. In dit geval ondervindt het water niet overal evenveel weerstand en zal gemiddeld genomen de weerstand afnemen.

Hoogteverschillen in het oppervlak

Oneffenheden in het oppervlak zorgen ervoor dat het afgevoerde regenwater verschillende weerstanden kan ondervinden. Een glooiend maaiveld heeft een hogere weerstand tot gevolg wanneer deze loodrecht op de stroomrichting staat (Arcement & Schneider, 1989). Ook de steilheid van de helling heeft invloed. Wanneer de helling groter wordt, zal ook de Manning coëfficiënt toenemen (Lau & Afshar, 2013). Dit kan afgeleid worden aan de formule waarmee de Manning coëfficiënt worden vastgesteld. In Vergelijking 4 is te zien dat de Manning coëfficiënt toeneemt wanneer de hydraulische straal en stroomsnelheid gelijk blijven en de helling toeneemt.

$$n = \frac{R^{2/3} \cdot S^{1/2}}{V} \quad \text{Vergelijking 4}$$

Waarin:

n	Manning coëfficiënt	[-]
R	Hydraulische straal	[m]
S	Helling	[-]
V	Stroomsnelheid	[m/s]

Obstakels

Wanneer er zich obstakels – zoals boomstammen of keien – op het oppervlak bevinden, zal het water hier niet kunnen stromen. Hierdoor vergroot de weerstand die het water ondervindt. De toename van de waarde van de Manning coëfficiënt is afhankelijk van hoeveel ruimte de obstakels innemen ten opzichte van het oppervlak.

3.3.1 Bepaling van Manning coëfficiënt

Via een literatuurstudie zijn waarden verkregen voor de Manning coëfficiënt (n) van verschillende typen landgebruik. Een overzicht van de resultaten is weergegeven in Tabel 5. Echter kunnen deze waarden aangepast worden om de condities van het oppervlak in acht te nemen. Een overzicht van de toename van de n-waarde in deze gevallen is opgenomen in Tabel 17 van Bijlage H. Deze zullen echter niet meegenomen worden in het onderzoek.

Tabel 5: Manning coëfficiënt voor verschillende typen landgebruik
(Jong & Sande, 2001), (Manning's n for Channels (Chow,1959), 2006), (Mayo et al., 2014) & (Wijayarathne, 2015)

Landgebruik	Manning coëfficiënt [-]	
	Zomerperiode	Winterperiode
Agrarisch gras	0,039	0,032
Mais	0,036	0,030
Granen	0,033	0,020
Overige akkerbouwgewassen	0,029	0,020
Boomgaard	0,200	0,200
Loofbos	0,218	0,218
Naaldbos	0,193	0,193
Gras in bebouwd gebied	0,033	0,028
Rietvegetatie	0,033	Onbekend

4. Resultaten

De waarden die volgen uit de literatuurstudie voor de parameters referentie evaporatie, gewasfactor, interceptie en Manning coëfficiënt verschillen met de waarden die vastgesteld zijn in Tygron. In Tygron staat de initiële waarde voor referentie evaporatie vastgesteld op 1,5 mm/dag. Dit verschilt met de berekende waarde van 3,06 mm/dag in de zomerperiode en 0,61 mm/dag in de winterperiode. Deze verschillen ontstaan doordat de initiële waarde een gemiddelde waarde is voor het hele jaar. Wanneer de berekeningen van Bijlage D worden toegepast op data van het hele jaar volgt hieruit een waarde van 1,61 mm/dag. Het percentuele verschil tussen deze waarden is slechts +7% in plaats van +104% voor de zomerperiode en -59% voor de winterperiode.

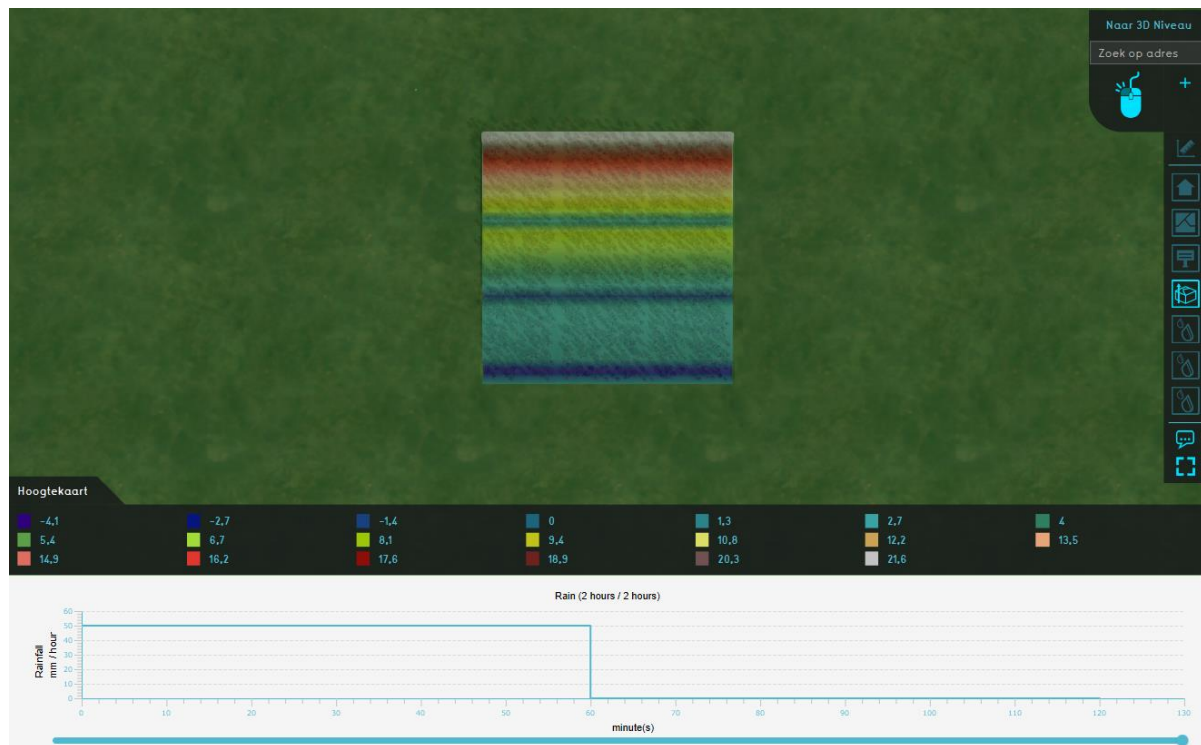
Voor de overige parameters wordt in Tygron per type landgebruik onderscheid gemaakt. De initiële waarden die hierbij zijn toegepast zijn weergegeven in Bijlage I. Ook is aangegeven wat het percentuele verschil is tussen de initiële waarde vastgesteld in Tygron en de waarden verkregen door het literatuuronderzoek in Hoofdstuk 3. Hieruit valt op te merken dat de initiële waarde voor de gewasfactor voor zowel de zomer- als winterperiode te hoog wordt ingesteld. Uit de percentuele verschillen voor Manning coëfficiënt is vast te stellen dat de initiële waarde voor alle typen bomen te laag is ingeschat in beide perioden. Dit geldt ook voor de grassen in de zomerperiode. De overige typen landgebruik worden in beide perioden te laag ingeschat. Verder valt uit Tabel 18 van Bijlage I op te merken dat voor alle typen landgebruik de waarde voor interceptie gelijk is aan 0 m³/m². Dit komt doordat naar de waarde voor de opslag weinig onderzoek is gedaan. Hierom heeft de softwareontwikkelaar ervoor gekozen om geen waarde te geven aan deze parameter.

Om een beeld te vormen hoe vegetatie wordt meegenomen tijdens simulaties in Tygron Platform, zijn in deze software simulaties uitgevoerd. Hierbij zijn de waarden verkregen vanuit de literatuurstudie ingevoerd als standaardwaarden voor de verschillende vegetatieparameters. Daarna zijn deze parameters aangepast om een gevoeligheidsanalyse uit te voeren in Tygron. Hierbij wordt specifiek gekeken naar wat de gevoeligheid van het programma is voor de waarden van de verschillende parameters wanneer de afvoer van regenwater op maaiveld wordt gesimuleerd. De opzet en resultaten van de gevoeligheidsanalyse worden verder toegelicht in dit hoofdstuk.

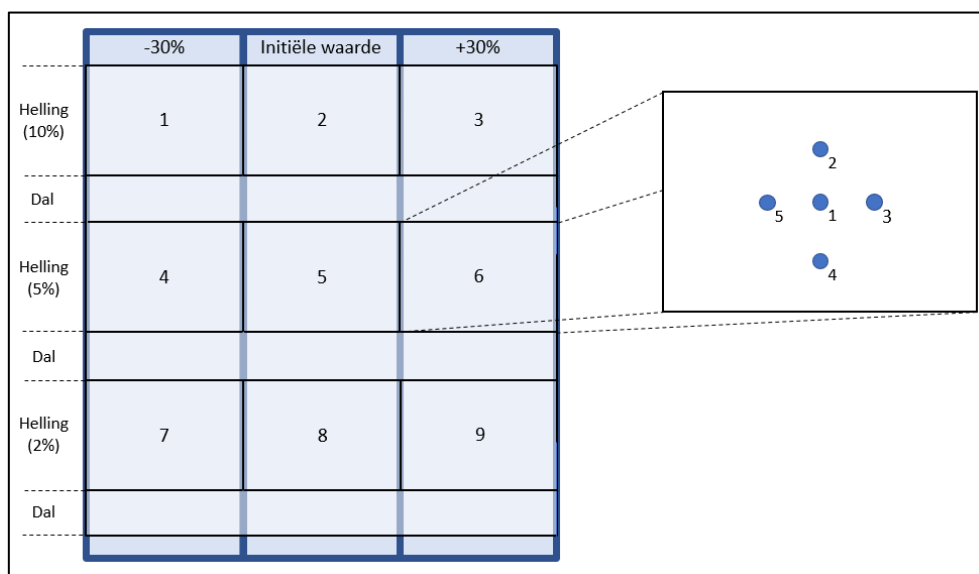
4.1. Opzet gevoeligheidsanalyse

Voor het uitvoeren van de gevoeligheidsanalyse is allereerst een studiegebied gedefinieerd in Tygron Platform met een bijbehorende hoogtekaart. Deze hoogtekaart is weergegeven in Figuur 6. In deze figuur is zichtbaar dat in het studiegebied drie hellingen zijn aangebracht. De noordelijke helling is 10%, de middelste 5% en de zuidelijke helling is 2%. Hiervoor is gekozen omdat in Hoofdstuk 2.2 naar voren is gekomen dat Nederland relatief vlak is. Maar omdat ook heuvelachtige gebieden aanwezig zijn in het zuiden en oosten van het land, zijn ook steilere hellingen meegenomen in de gevoeligheidsanalyse. Onder elke helling is een dal van 5 meter diep en 50 meter breed aangebracht om het afstromende regenwater op te vangen. Hierdoor bevatten de meetpunten alleen data van het regenwater dat gevallen is op de bijbehorende helling. Daarna is het terrein opgedeeld in drie gebieden, die elk alle drie de hellingen bestrijken. Deze gebieden bestaan tijdens een simulatie uit hetzelfde type vegetatie en zullen als waarde voor de parameters gewasfactor, interceptie en Manning coëfficiënt de gevonden zomerwaarden van de literatuurstudie bevatten. Deze waarden worden hierna de initiële waarde genoemd. Per simulatie wordt één van deze parameters gevarieerd in waarde, zodat de gevoeligheid van het model op deze parameter kan worden verkregen. Hierbij zal in het midden de initiële waarde worden ingesteld, in het westen van het studiegebied wordt deze waarde met 30% gereduceerd en in het oosten wordt de initiële waarde met 30% verhoogt (zie Figuur 7). Door deze verdeling ontstaan negen studievlakken met elk een verschil in helling en/of parameterwaarde. Alle studievlakken bevatten 5 meetpunten. De outputwaarde op deze punten zullen gemiddeld worden per studievlak en daarna geanalyseerd worden. Hierdoor kan door middel van één simulatie informatie verkregen

worden over de gevoeligheid van het model voor de waarden van gewasfactor, interceptie en Manning coëfficiënt. Deze resultaten bestaan uit de waterdiepte stroomsnelheid en evaporatie.



Figuur 6: Hoogtekaart van studiegebied in Tygdon



Figuur 7: Indeling studiegebied

De simulatie van hevige neerslag wordt veelal gebruikt voor het in kaart brengen van potentiële wateroverlast. In deze gevallen is de intensiteit van de neerslag dusdanig hoog dat de infiltratiecapaciteit van de bodem vaak te klein is en het regenwater oppervlakkig wordt afgevoerd. Om deze reden wordt voor de gevoeligheidsanalyse ook gebruik gemaakt van hevige regenbuien en is de infiltratie in het studiegebied ingesteld op 0 m/dag. Hierdoor zal al de neerslag over het maaiveld worden afgevoerd.

Voor alle typen vegetatie benoemd in Hoofdstuk 1.3 is de gevoeligheid voor parameters in kaart gebracht met een regenbui van 50 mm per uur. Deze bui heeft een herhalingsdij van ongeveer 50 jaar.

Daarna is de gevoeligheid van de typen vegetatie agrarisch gras, mais, boomgaard en loofbos vastgesteld voor regenbuien van 20 mm per uur en 70 mm per uur. Deze hebben respectievelijk een herhalingsdij van 2 en 200 jaar (zie Bijlage C). De resultaten hiervan zijn opgenomen in Bijlage J, Bijlage K en Bijlage L. De resultaten voor de gevoeligheid van de referentie evaporatie zijn opgenomen in Bijlage M. Hierin is te zien wat de waterdieptes, stroomsnelheden en evaporatie is bij 2,14 en 3,98 mm/dag referentie evaporatie en een bui van 50 mm/uur. Deze waarden zijn gekozen omdat dit -30% en +30% is van initiële waarde voor de referentie evaporatie. In Bijlage O zijn de resultaten weergegeven voor de simulatie van 50 mm neerslag in 24 uur. Allertlaatst zijn de maximale waterdieptes en stroomsnelheden bepaald bij verschillende neerslagintensiteiten. De resultaten hiervan zijn weergegeven in Bijlage P.

4.2. Resultaten gevoeligheidsanalyse

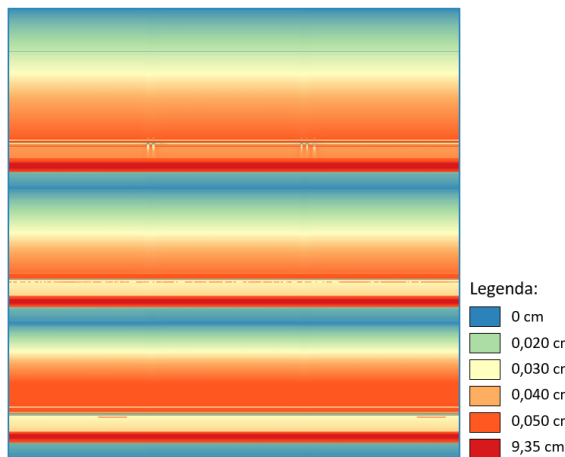
Met behulp van de resultaten in Bijlage J tot en met Bijlage P kan worden vastgesteld hoe Tygron omgaat met de verschillende vegetatieparameters bij het simuleren van hevige neerslag. In deze paragraaf wordt toegelicht welke invloeden de parameterwaarden hebben op de modeluitkomsten en of dit in overeenstemming is met de resultaten van de literatuurstudie in Hoofdstuk 2 en de genoemde berekeningen in Bijlage A.

Interceptie

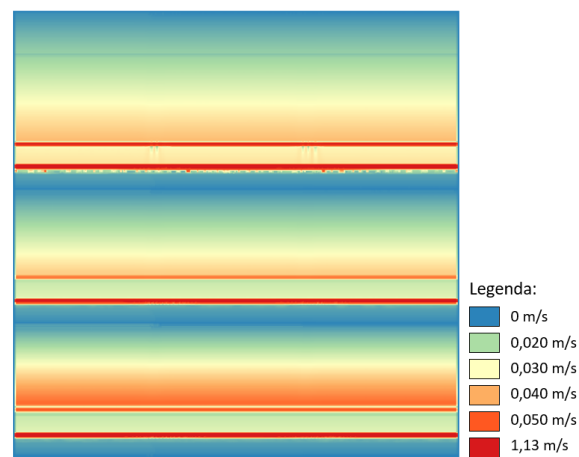
Zoals is geconcludeerd in Bijlage B wordt de hoeveelheid neerslag die het maaiveld bereikt bepaald door de opslagcapaciteit van de vegetatie. Hierbij wordt allereerst al het regenwater opgeslagen door de vegetatie. Wanneer de maximumcapaciteit is behaald, wordt tijdens de resterende periode van de simulatie al het regenwater afgevoerd via het maaiveld.

Uit de resultaten in de bijlagen en Figuur 8 en 9 komt naar voren dat bij het simuleren van een korte periode (één uur neerslag en één uur droog) de interceptie geen invloed heeft op de waterdiepte of stroomsnelheid. Bij de simulatie van een lange periode (één dag neerslag en één dag droog) zijn wel verschillen zichtbaar. Hieruit komt naar voren dat wanneer de interceptie afneemt, de waterdiepte lichtelijk toeneemt en stroomsnelheid constant blijft net nadat de bui is gestopt. Echter gaat dit om kleine verschillen (0,02 mm bij een verandering van 1,2 mm in interceptiewaarde), waardoor dit geen grote veranderingen oplevert in simulatieresultaten.

Een opmerkelijk resultaat weergegeven in Tabel 192 van Bijlage O is dat wanneer de interceptie toeneemt, de evaporatie afneemt. Men zou verwachten dat doordat meer regenwater oppervlakkig opgeslagen wordt er ook meer water zou evaporeren. Echter blijkt dat wanneer Tygron het regenwater opslaat in vegetatie, deze uit de verdere berekeningen wordt gehaald en dus niet wordt meegenomen in het berekenen van de evaporatie.



Figuur 8: Maximale waterdiepte op agrarisch gras bij verschillende interceptiewaarden en een intensiteit van 50 mm/uur



Figuur 9: Maximale stroomsnelheid op agrarisch gras bij verschillende interceptiewaarden en een intensiteit van 50 mm/uur

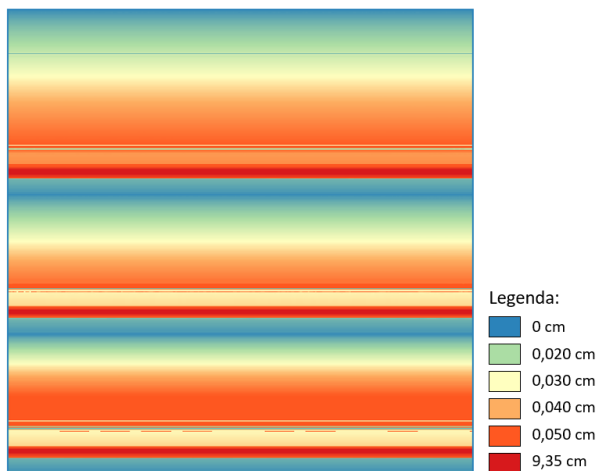
Zoals in Figuur 9 zichtbaar is, resulteert een regenbui van 50 mm/uur op agrarisch gras een waterdiepte van 0 tot 0,5 millimeter. Bij lage vegetatie, zoals mais en gras in bebouwd gebied, zijn soortgelijke resultaten zichtbaar. Bij hogere vegetatie liggen deze waarden hoger. Het tegenovergestelde is zichtbaar in de stroomsnelheid. Bij lage vegetatie ligt de deze waarde lager dan bij hoge vegetatie. Echter kan vastgesteld worden dat met de huidige waarden voor interceptie geen verschillen ontstaan in de modelresultaten wanneer overlast op straat door neerslag wordt gesimuleerd in Tygron. Dit komt doordat er slechts een klein deel van de neerslag wordt onderschept (gemiddeld 4,1 mm). Wanneer voor de opslag van regenwater op vegetatie de maximale waarde is bereikt, wordt al het regenwater over het maaiveld afgevoerd. Na slechts enkele minuten in de simulatie wordt deze waarde al bereikt, waardoor de maximale overlast op straat even groot blijft bij een aflopende helling, alleen treedt deze later op.

Gewasfactor

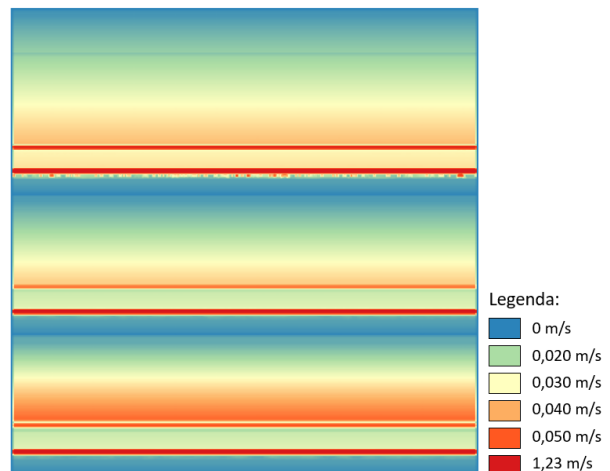
Zoals te zien is in Figuur 10 en 11 en de bijlagen, resulteert een verandering in gewasfactor niet in een verandering in de waarden voor maximale waterdiepte en stroomsnelheid. De resultaten voor gewasfactor zijn hetzelfde als die voor interceptie. Ook de waarde van evaporatie varieert niet in deze situatie van de gevoeligheidsanalyse. Hieruit kan geconcludeerd worden dat de gewasfactor geen invloed heeft op de resultaten wanneer de afvoer van regenwater wordt gesimuleerd. Dit komt doordat het water dat op het land ligt niet wordt meegenomen in de modelberekeningen en dus niet evaporeert.

In Tygron verdampt alleen grondwater via de planten. In dit geval wordt wel de gewasfactor meegenomen. In Tabel 189 is dit wel zichtbaar. Hierbij zijn kleine variaties te zien in de waarde voor evaporatie wanneer een lange periode wordt gesimuleerd. Echter zijn deze verschillen minimaal, waardoor ze geen invloed hebben op de resultaten bij de simulatie van hevige neerslag.

De gewasfactor blijkt bij korte simulaties geen invloed te hebben op de afvoer van regenwater. Zowel de waterdiepte, stroomsnelheid en evaporatie blijven constant. Bij simulaties van een lange periode levert het ook geen verschillen op in de maximale waterdiepte en stroomsnelheid.



Figuur 11: Maximale waterdiepte op agrarisch gras bij verschillende gewasfactoren en een intensiteit van 50 mm/uur

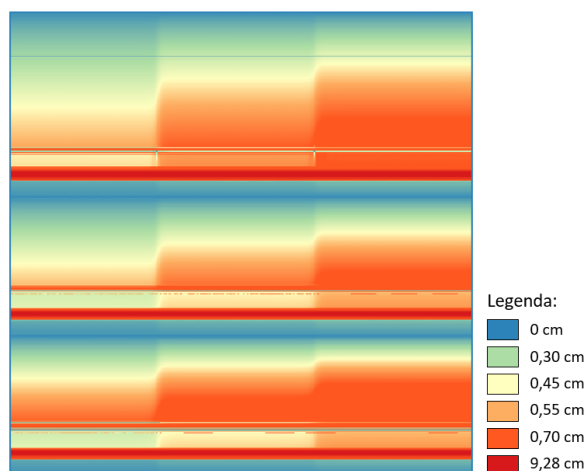


Figuur 10: Maximale stroomsnelheid op agrarisch gras bij verschillende gewasfactoren en een intensiteit van 50 mm/uur

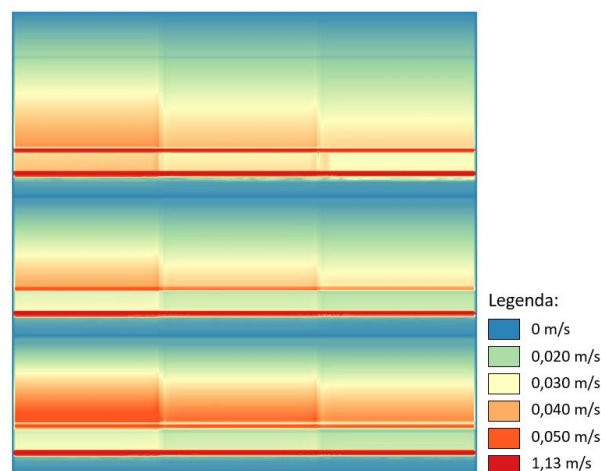
Manning coëfficiënt

De waarde voor Manning coëfficiënt heeft wel invloed op de waterdiepte en stroomsnelheid bij het simuleren van korte perioden (zie Figuur 12 en 13). Uit de resultaten blijkt dat wanneer de Manning coëfficiënt groter wordt de stroomsnelheid afneemt en de waterdiepte toeneemt. Uit de tabellen van Bijlage L komt naar voren dat bij grotere vegetatie de stroomsnelheid lager is en de waterdiepte hoger dan bij lage vegetatie. Ook blijkt uit de modelresultaten dat de waterdiepte gevoeliger is voor de waarden van de Manning coëfficiënt wanneer deze coëfficiënt kleiner is. Wanneer de initiële waarde van de Manning coëfficiënt met 30% afneemt op de helling van 2%, neemt de waarde van de waterdiepte op agrarisch gras af met 35% en dat van loofbos maar met 25%. Het tegenovergestelde is zichtbaar in de gevoeligheid van de stroomsnelheid. Op diezelfde helling neemt de stroomsnelheid over agrarisch gras af met 1% en bij loofbos neemt deze 18% toe.

Doordat het water op het maaiveld niet evaporeert, heeft de Manning coëfficiënt geen invloed op de totale evaporatie die plaats vindt tijdens de simulatie. Wel is zichtbaar dat de hellingen met de initiële waarde voor Manning coëfficiënt dezelfde resultaten oplevert voor waterdiepte en stroomsnelheid als Figuren 8, 9, 10 en 11 over de hele breedte van de hellingen. Hierdoor kan vastgesteld worden dat de Manning coëfficiënt maatgevend is voor de afvoer van regenwater over maaiveld.



Figuur 13: Maximale waterdiepte op agrarisch gras bij verschillende Manning coëfficiënten en een intensiteit van 50 mm/uur



Figuur 12: Maximale stroomsnelheid op agrarisch gras bij verschillende Manning coëfficiënten en een intensiteit van 50 mm/uur

Tabel 6 en Tabel 7 geven met percentages weer wat de veranderingen zijn in bovenstaande figuren in de waarden voor waterdiepte en stroomsnelheid ten opzichte van de initiële waarde op dezelfde helling.

Tabel 6: De percentuele verandering in waterdiepte ontstaan door een verandering in Manning coëfficiënt

Verandering in waterdiepte op agrarisch gras			
Helling	Verandering Manning coëfficiënt		
	-30%	0%	30%
10%	-14%	0%	13%
5%	-20%	0%	17%
2%	-20%	0%	17%

Tabel 7: De percentuele verandering in stroomsnelheid ontstaan door een verandering in Manning coëfficiënt

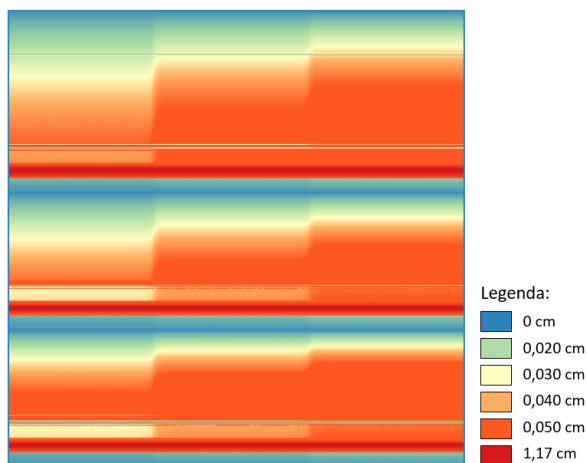
Verandering in stroomsnelheid op agrarisch gras			
Helling	Verandering Manning coëfficiënt		
	-30%	0%	30%
10%	13%	0%	-8%
5%	12%	0%	-8%
2%	12%	0%	-8%

Referentie evaporatie

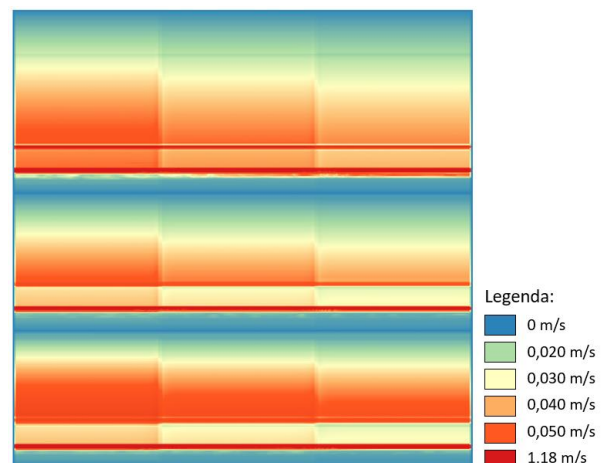
Uit de resultaten van Bijlage M en Bijlage N blijkt dat de referentie evaporatie geen invloed heeft op de stroomsnelheid en waterdiepte. Wel resulteert een hogere referentie evaporatie in meer verdamping. Dit ontstaat doordat de gewasfactor en de referentie evaporatie samen de totale evaporatie bepalen. Zoals eerder in dit hoofdstuk aangegeven, wordt alleen het water uit de bodem verdampt, waardoor de hoeveelheid neerslag en de afvoer hiervan dus geen invloed heeft op de mate van evaporatie. Hierdoor heeft de referentie evaporatie geen invloed op de modelresultaten bij het simuleren van regenwaterafvoer.

Intensiteit

Wanneer Figuur 14 en 15 worden vergeleken met Figuur 12 en 13 is zichtbaar dat de waterdiepte en stroomsnelheid toenemen wanneer de intensiteit van de regenbui toeneemt. Dit komt doordat er in dezelfde tijd meer water op het maaiveld afgevoerd moet worden. In de hiervoor genoemde figuren resulteert een toename van 50 mm/uur naar 70 mm/uur bij de initiële Manning waarde op de 2% helling in een toename van de waterdiepte van 0,70 cm en van de stroomsnelheid van 0,58 m/s. Bij steilere hellingen is deze toename kleiner.



Figuur 15: Maximale waterdiepte op agrarisch gras bij verschillende Manning coëfficiënten en een intensiteit van 70 mm/uur



Figuur 14: Maximale stroomsnelheid op agrarisch gras bij verschillende Manning coëfficiënten en een intensiteit van 70 mm/uur

Tabel 8 en Tabel 9 geven met percentages weer wat de veranderingen zijn in waterdiepte en stroomsnelheid op de hellingen met de initiële waarden wanneer de afvoer van een regenbui met een intensiteit van 50 mm/uur wordt vergeleken met een bui met een intensiteit van 70 mm/uur.

Tabel 8: De percentuele verandering in waterdiepte ontstaan door de verandering van neerslagintensiteit van 50 mm/uur naar 70 mm/uur

Verandering in waterdiepte op agrarisch gras	
Helling	Manning coëfficiënt
	Initiële waarde
10%	23%
5%	23%
2%	22%

Tabel 9: De percentuele verandering in stroomsnelheid ontstaan door de verandering van neerslagintensiteit van 50 mm/uur naar 70 mm/uur

Verandering in stroomsnelheid op agrarisch gras	
Helling	Manning coëfficiënt
	Initiële waarde
10%	31%
5%	27%
2%	26%

Hellingen

Figuur 8 tot en met 15 weergeven dat de stroomsnelheid en waterdiepte van de regenwaterafvoer beïnvloed worden door de aanwezigheid van een helling in het terrein. Hierin is te zien dat een steilere helling resulteert in een lagere waterdiepte en een lagere stroomsnelheid. Uit de resultaten van Hoofdstuk 2.2 kunnen de lagere waterdieptes verklaard worden. De lagere stroomsnelheden echter niet. Hier zal verder op ingegaan worden in Hoofdstuk 5.4. Verder is uit de bijlagen vast te stellen dat de totale evaporatie niet beïnvloed wordt door de hellingen, doordat het water op het maaiveld niet meegenomen wordt voor deze berekeningen.

5. Discussie

In dit hoofdstuk worden de limitaties van de resultaten die volgen uit het literatuuronderzoek en de gevoeligheidsanalyse beschreven. Hierbij wordt gekeken naar het simuleren van de afvoer van regenwater in algemene zin, de waarden van de parameters die zijn besproken in Hoofdstuk 3 en het uitvoeren van simulaties in Tygron. Als laatst worden suggesties voor een eventueel vervolgonderzoek besproken.

5.1. Algemene onzekerheden bij het simuleren van regenwaterafvoer

Bij het modelleren van regenwaterafvoer over het maaiveld ontstaan er onzekerheden. Een aantal van deze onzekerheden is naar voren gekomen uit het literatuuronderzoek. Zo zijn modellen vaak zo ingesteld dat ze gebruik kunnen maken van het type input dat beschikbaar is en wordt de nauwkeurigheid van de output bepaald door de parameters die de maker belangrijk acht (Teng et al., 2017). Het gevolg kan hiervan zijn dat de gevoeligheid van parameters in het model anders is dan in werkelijkheid zo zou zijn. Hierdoor kunnen resultaten worden gegenereerd die minder representatief zijn voor de werkelijke situatie.

Verder moet ook vooraf worden vastgesteld of de waarden van parameters correct zijn ingesteld. Deze kunnen variëren per situatie. Indien bijvoorbeeld voorspellingen gedaan dienen te worden voor de toekomst, moet hierbij rekening gehouden worden met klimaatverandering. In dat geval zullen parameterwaarden zoals neerslaghoeveelheid, neerslagintensiteit, temperatuur, luchtvochtigheid, straling en dergelijke aangepast moeten worden (Tank et al., 2015) & (Hurk et al., 2014). Deze gegevens kunnen aangevuld worden met de verwachte klimaatscenario's voor 2050 en 2085 van het KNMI om fouten te minimaliseren. Ook dienen de eigenschappen, zoals vegetatie, van het studiegebied zo veel mogelijk te worden aangepast naar die van het werkelijke gebied, om onnauwkeurigheden te voorkomen.

5.2. Onzekerheden in de waarden van parameters

Na een grondige literatuurstudie zijn waarden vastgesteld voor de parameters gewasfactor, referentie evaporatie, interceptie en weerstand. Door veel voorgaand onderzoek zijn de Manning coëfficiënt en referentie evaporatie beter vast te stellen dan de andere twee parameters.

5.2.1. Gewasfactoren en referentie evaporatie

De wereldvoedsel organisatie van de Verenigde naties heeft in 1998 aanbevolen om de Penman-Monteith methode te gebruiken om de potentiële evaporatie te bepalen (Allen et al., 1998). Deze methode wordt internationaal gebruikt, omdat hierbij vanuit gegaan wordt dat zowel de straling als aerodynamische factoren bepalend zijn voor evaporatie. Hierdoor wordt niet alleen data meegenomen van de globale straling en de temperatuur, maar ook relatieve luchtvochtigheid en windsnelheid.

Sinds 1987 gebruikt het KNMI de methode van Makkink om de potentiële evaporatie te berekenen (Hurk et al., 2014). Deze methode is gebaseerd op de Priestley en Taylor formule. Voor deze berekeningen is alleen data benodigd van de temperatuur en globale straling. Hierbij wordt ervan uit gegaan dat de inkomende kortgolvlige straling de grootste factor is voor de verdamping.

In de zomerperiode is straling de belangrijkste factor voor evaporatie (Hooghart & Lablans, 1988). Hierdoor levert Makkink in de zomerperiode een betrouwbaardere waarde voor de referentie evaporatie dan in de winter. Echter, door het weglaten van de aerodynamische factor, is de Makkink methode minder betrouwbaar dan de Penman-Monteith methode, met name in de winter (Schuurmans & Droogers, 2009). Doordat beide methoden een andere referentie evaporatie berekenen, verschillen ook de te gebruiken gewasfactoren om de potentiële evaporatie te berekenen.

Doordat de Makkink methode alleen gehanteerd wordt in Nederland, zijn de gewasfactoren die aangegeven worden in de literatuur van toepassing op de vegetatie in Nederland. De gewasfactoren die gebruikt worden bij de Penman-Monteith methode zijn internationaal gebruikt. Hierdoor kunnen de waarden die gevonden worden in de literatuur afwijken, doordat ze niet gespecificeerd zijn voor de vegetatie in Nederland. Echter omdat met deze methode de referentie evaporatie beter vastgesteld kan worden, is deze methode beter om toe te passen.

De referentie evaporatie kan nauwkeurig berekend worden met behulp van de Penman-Monteith formule en gegevens van het KNMI. Op de meeste meetstations van het KNMI worden de weergegevens verzameld die nodig zijn voor de methode. Al deze gegevens worden opgeslagen en staan openbaar. Door historische data te gebruiken kunnen betrouwbare parameterwaarden worden vastgesteld. Tabel 10 weergeeft de resultaten van een gevoeligheidsanalyse voor de zomerwaarde van de referentie evaporatie. Hierin is te zien dat voornamelijk de netto straling, verzadigingsdampspanning en de actuele dampspanning invloed hebben op de waarde van de referentie evaporatie. Het is van belang om deze vooraf goed vast te stellen. Het KNMI beschikt over de dagelijkse data hiervan.

Tabel 10: Gevoeligheidsanalyse ET_{ref} van de zomerwaarde

Percentuele verandering van waarde ET_{ref}		
Parameter	-10%	+10%
s	-1,4%	1,3%
Qnet	-6,6%	6,6%
T	-1,3%	1,3%
u2	-1,5%	1,4%
es	-11,7%	11,7%
ea	7,4%	-7,4%

5.2.2. Opslag door vegetatie

Er is nog maar weinig onderzoek gedaan naar interceptie van regenwater door vegetatie. Hierdoor is er maar weinig data beschikbaar. Veelal is deze data gebaseerd op experimenten met een lage neerslagintensiteit. Bij hogere neerslagintensiteiten kan de interceptiecapaciteit omlaaggaan, doordat er meer water van het blad drupt (Li et al., 2016). Ook andere factoren, zoals wind, hebben invloed op de mate waarmee regenwater wordt onderschept (Agelink & Hoeks, 1980). Dit maakt het lastig om een goede opslagcapaciteit voor vegetatie vast te stellen.

Verder wordt in de literatuur deze capaciteit vaak benoemd als een percentage van de neerslag. Het is onwaarschijnlijk dat al het regenwater in eerste instantie direct wordt opgevangen door de vegetatie, doordat een deel hiervan langs de takken en bladeren van de vegetatie valt. Echter kan de waarde voor interceptie ook niet volledig worden uitgedrukt in een percentage, omdat dit onrealistisch wordt bij grote hoeveelheden neerslag. Een combinatie tussen een maximale opslagcapaciteit en een percentage van de neerslag zou het beste de werkelijkheid representeren.

Door de limiterende hoeveelheid onderzoek die is gedaan en de tegensprekende resultaten, is het moeilijk om een waarde toe te kennen aan de interceptiecapaciteit van vegetatie. Met name van de toegekende waarden voor boomgaard, loofbos en naaldbos zijn onzeker. In literatuur zijn hiervoor veel verschillende waarden te vinden die variëren tussen 0,4 mm en 44 mm. De huidige toegekende waarden kunnen in dit geval worden gezien als minimum capaciteit. Echter wordt verwacht dat deze waarden hoger liggen.

5.2.3. Manning coëfficiënt

De weerstand die het afgevoerde regenwater ondervindt wordt in Tygron bepaald met de Manning coëfficiënt. Deze coëfficiënt wordt internationaal gebruikt en veel onderzoek is gedaan de waarde hiervan. Hierdoor is de waarde voor de Manning coëfficiënt een betrouwbare parameter in de simulatie wanneer de eigenschappen van het terrein bekend zijn.

5.3. Onzekerheden in de opzet van de gevoeligheidsanalyse

De manier waarop de gevoeligheidsanalyse is uitgevoerd, is bepalend voor de resultaten die worden verkregen. Een andere methode zou hierbij kunnen resulteren in andere beoordelingen over het model. Hierom moet er kritisch worden gekeken naar de wijze waarop de gevoeligheidsanalyse is opgezet.

De analyse is uitgevoerd door de initiële zomerwaarden van de parameters te variëren. Hierbij zijn de waarden met 30% verhoogd en verlaagd. Hiervoor is gekozen zodat verschillen in resultaten duidelijk zichtbaar zouden zijn. Dit is namelijk nodig doordat lage waarden worden verkregen in de resultaten, zoals voor de waterdiepte. Bij een verlaging/verhoging van slechts 10% is de gevoeligheid van het model voor de parameterwaarden slechter zichtbaar, waardoor conclusies over de werking van het model minder goed vast te stellen zijn. Echter zijn hierdoor zijn de waarden wel minder representatief, met name de gewasfactor en Manning coëfficiënt. Maar omdat deze waarden alleen worden gebruikt bij de gevoeligheidsanalyse en niet worden aanbevolen om te gebruiken, maakt dit geen verschil in vervolgsimulaties.

Om de waarden voor waterdiepte, stroomsnelheid en evaporatie vast te stellen, zijn per studievak 5 meetpunten geplaatst. Doordat deze punten in elk studievak op dezelfde locatie gesitueerd zijn, zijn de resultaten tussen de studievakken goed te vergelijken. Echter verschillen de waarden binnen een studievak sterk. Wanneer een andere locatie voor de vijf punten gekozen was, waren ook andere resultaten gegenereerd. Wellicht zou de keuze voor meer punten of een gemiddelde waarde over een vlak in plaats van punten resulteren in accuratere bevindingen.

5.4. Onzekerheden in modelresultaten

Een aantal resultaten van Tygron zijn opmerkelijk, deze zijn al aangekaart in Hoofdstuk 4.2 en Bijlage B. Uit de bijlage is naar voren gekomen dat het regenwater dat opgeslagen wordt door vegetatie niet wordt meegenomen in de verdere berekeningen. Hierdoor wordt deze ook niet meegenomen in de calculaties van de totale evaporatie en wordt de gewasfactor niet meegenomen in het model. Het resultaat van het niet meenemen van de interceptie in de evaporatie, is dat de resultaten van simulaties een lagere totale evaporatie weergeven wanneer de interceptie omhooggaat. Dit is voor het simuleren van korte perioden geen probleem, omdat dit om kleine hoeveelheden gaat. Echter wanneer lange perioden gesimuleerd worden, kan het wel degelijk verschillen opleveren in de waterbalans en daardoor ook de resultaten beïnvloeden.

Zoals is aangegeven in paragraaf 5.2.2, bestaat er een onzekerheid in de waarden van interceptie van met name de verschillende boomtypen. Deze waarden zijn nu vastgesteld tussen 2,7 mm en 3,2 mm, wat in vergelijking met de gevallen neerslag in de simulatie relatief klein is, waardoor het weinig invloed heeft op de modelresultaten. Wat ook is aangegeven, is dat in de literatuur waarden worden aangegeven tot wel 44 mm interceptie. Wanneer in dit geval een bui van 50 mm/uur wordt gesimuleerd, geeft deze waarde een groot verschil in de simulatieresultaten. Hierdoor zal er kritisch moeten worden gekeken naar de simulatieresultaten, wanneer beboste gebieden en boomgaarden worden gemodelleerd.

Verder wordt bij de berekening van de totale interceptie de 'Green Space' van de vegetatie niet meegenomen. De Green Space geeft de dichtheid van de vegetatie aan en bepaald dus mede hoeveel water opgeslagen kan worden op de vegetatie per vierkante meter grondoppervlak. Wanneer de

dichtheid van de vegetatie anders is dan dat als standaard wordt aangenomen in Tygron, moet de waarde voor interceptie handmatig worden aangepast.

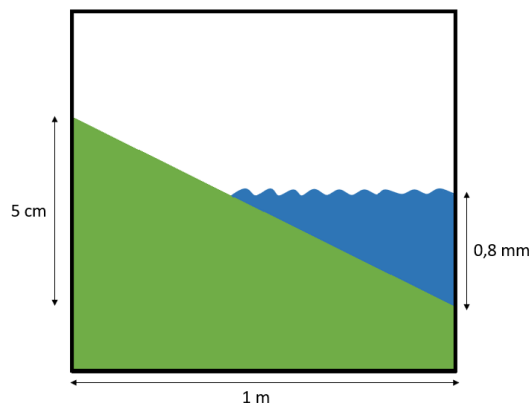
Een opmerkelijke factor die de evaporatie beïnvloedt is de neerslagintensiteit. Voor de simulatie zijn dusdanig hoge neerslagintensiteiten gebruikt dat er ten alle tijden meer water op het maaiveld aanwezig is dan dat er volgens de referentie evaporatie zou verdampen. In dat geval zou de totale evaporatie niet meer moeten stijgen bij een hogere intensiteit. In Tygron is een degressieve trend te zien tussen de totale evaporatie en de neerslagintensiteit, waardoor bij hogere intensiteiten de evaporatie niet veel toeneemt. Hierdoor worden fouten in de waterbalans beperkt.

5.4.1. 2D Saint Venant vergelijkingen

Een opmerkelijk resultaat in Hoofdstuk 4.2 is dat wanneer de helling van het studiegebied kleiner wordt, de stroomsnelheid op de helling toeneemt. Dit resultaat spreekt de resultaten van het literatuuronderzoek in Hoofdstuk 2.2 tegen, waarin is vastgesteld dat wanneer de helling steiler wordt, de stroomsnelheid toeneemt. Waarom deze resultaten worden gemodelleerd in Tygron is onbekend. Het vermoeden bestaat dat dit voort komt uit het gebruik van de 2D Saint Venant vergelijkingen. In Vergelijking 14 van Bijlage A zijn deze vergelijkingen toegelicht. Deze vergelijkingen worden elke tijdstap voor elke cel gebruikt om de stroming van het water te bepalen.

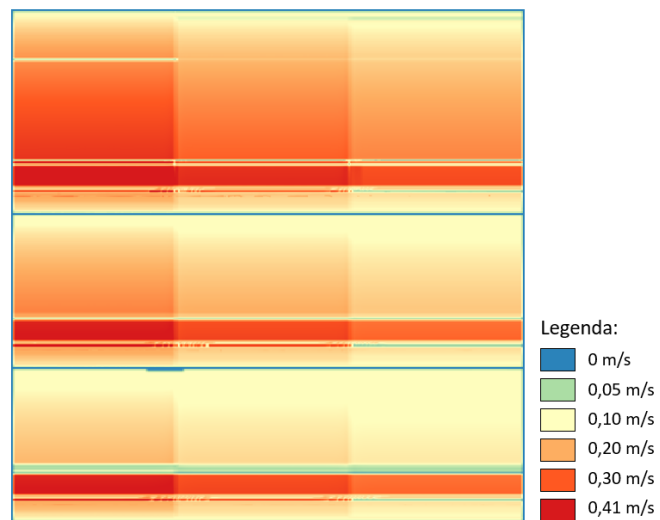
5.5. Aanpassingen in Tygron Platform

Na aanleiding van de verkregen resultaten in Tygron, waarbij een lagere stroomsnelheid verkregen werd bij een steilere helling, is contact opgenomen met de softwareontwikkelaar. Zij hebben de oorzaak van dit verschijnsel vast kunnen stellen. In de uitgevoerde simulaties is naar voren gekomen dat de waterdiepte van het afgevoerde regenwater laag is. Hierbij ontstaat het probleem dat wanneer een cel van 1 bij 1 meter wordt gebruikt, het hoogteverschil van het maaiveld in het terrein hoger is dan de waterdiepte. Figuur 16 geeft weer wat van toepassing was op de 5% helling. Hierbij was de waterdiepte in de cel 0,8 mm en het maaiveldhoogteverschil 5 cm.

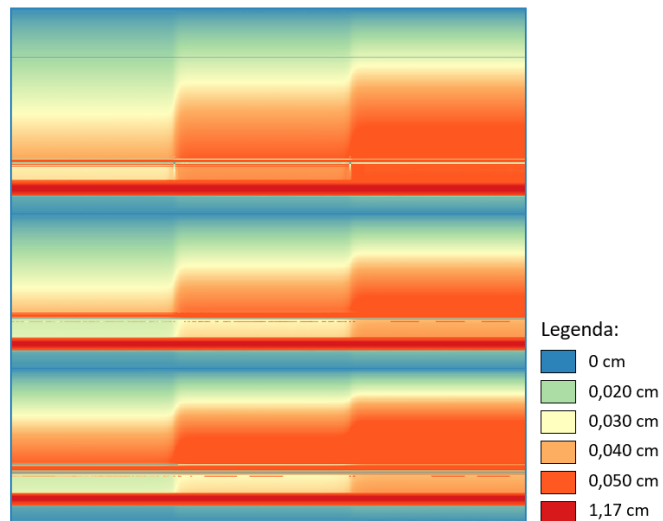


Figuur 16: Doorsnede van cel met water in Tygron op 5% helling

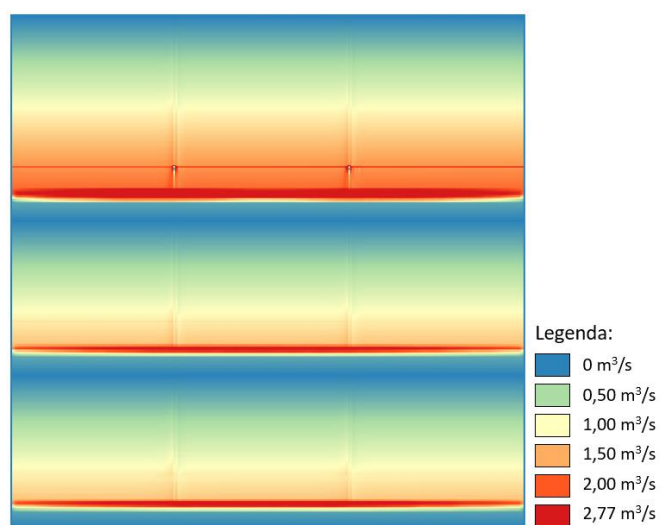
Uit het onderzoek van de softwareontwikkelaar is naar voren gekomen dat er geen fouten zaten in de berekeningen die in het model worden gemaakt. Er blijkt een fout te zitten in de manier waarop stroomsnelheden en waterdieptes weergegeven worden wanneer de waterdiepte onder de maximale maaiveldhoogte ligt. Deze fout heeft de softwareontwikkelaar aangepast. Hierna zijn nieuwe simulaties gerund. De resultaten hiervan zijn weergegeven Figuur 17, Figuur 18, Figuur 19 en in Bijlage Q. Hierin is te zien dat de maximale stroomsnelheid nu afneemt bij een minder steile helling en dat, net zoals voor de update, de waterhoogte dan toeneemt. Ter verificatie is ook de afvoer weergegeven. Hierop is te zien dat het verloop hiervan op alle hellingen hetzelfde is.



Figuur 17: Maximale stroomsnelheid op agrarisch gras



Figuur 18: Maximale waterdiepte op agrarisch gras



Figuur 19: Maximale afvoer op agrarisch gras

5.6. Suggesties voor een vervolgonderzoek

In Hoofdstuk 2.4 is benoemd dat de aanwezigheid van vegetatie de permeabiliteit van de bodem kan beïnvloeden. Hierbij is ook aangegeven dat de permeabiliteit een grote rol speelt bij het afvoeren van regenwater. In dit onderzoek is bodeminfiltratie buiten beschouwing gelaten en is niet gekeken naar de invloed van vegetatie op de permeabiliteit van de bodem. In een vervolgonderzoek zou er een literatuurstudie gedaan kunnen worden die de invloed van vegetatie op de permeabiliteit aantoonst en hier waarden bij geeft. Deze nieuwe permeabiliteit zou daarna in Tygron ingevoerd kunnen worden om het model nog nauwkeuriger te maken.

Zoals paragraaf 5.2.2 is besproken zijn de waarden voor interceptie onzeker, doordat er weinig onderzoek naar is gedaan. Een uitgebreidere literatuurstudie zou er eventueel voor kunnen zorgen dat deze onzekerheden kleiner worden en dat voor meer typen vegetatie een waarde vastgesteld kan worden. De verwachting is dat de waarden voor boomgaard, loofbos en naaldbos hoger uitvallen dan in dit verslag is aangenomen. Dit kan bij hoge waarden grote invloed hebben op de simulatieresultaten bij het simuleren van hevige neerslag.

6. Conclusie en aanbeveling

Uit het literatuuronderzoek is naar voren gekomen dat verschillende factoren een rol spelen bij de afvoer van regenwater. Deze factoren kunnen opgedeeld worden in endogene en exogene factoren. Hierbij wordt met endogene factoren de eigenschappen van het studiegebied worden bedoeld, zoals grondwaterstand en vegetatie eigenschappen. Exogene factoren worden gelinkt aan het klimaat. Onder deze factoren vallen onder andere neerslagintensiteit en temperatuur. Hierbij worden de endogene factoren samen met de neerslagintensiteit als meest bepalend genoemd.

De waarden van de vegetatie eigenschappen gewasfactor, referentie evaporatie, interceptie en weerstand zijn vastgesteld met behulp van een literatuuronderzoek. De resultaten hiervan zijn weergegeven in Tabel 2, Tabel 3, Tabel 4 en Tabel 5. In deze tabellen is onderscheid gemaakt tussen waarden in de zomer- en winterperiode, omdat de eigenschappen van vegetatie tussen deze perioden sterk kan verschillen. Deze waarden zijn ingevoerd in Tygron en met behulp van een gevoeligheidsanalyse is gekeken wat de gevoeligheid van de software is voor de individuele parameters. Hieruit is voortgekomen dat zolang de maximum opslagcapaciteit van de vegetatie niet is bereikt, al de neerslag hierin wordt opgeslagen. Daarna zal het regenwater over het maaiveld worden afgevoerd. Het regenwater dat wordt onderschept wordt daarna niet meer meegenomen in de berekeningen, hierdoor wordt ook de gewasfactor niet meegenomen en heeft daardoor geen invloed op de totale evaporatie. De referentie evaporatie wordt echter wel meegenomen in de simulaties van Tygron en is hierdoor de bepalende factor in de hoeveelheid evaporatie die plaats vindt.

De Manning coëfficiënt lijkt de meeste invloed te hebben op de afvoer van regenwater. Uit simulaties komt naar voren dat een hogere Manning coëfficiënt resulteert in een lagere stroomsnelheid en een hogere waterstand. De gewasfactor, referentie evaporatie en interceptie leveren geen verschillen op in de modelresultaten bij de simulatie van regenwaterafvoer over maaiveld. Hierdoor is de Manning coëfficiënt de meest bepalende factor in dit onderzoek.

De eerste simulatieresultaten laten een hogere waterdiepte en een hogere stroomsnelheid zien bij een minder steile helling. Dit is in tegenstrijd met de resultaten van de literatuurstudie. Na aanleiding van dit onderzoek is dit door de softwareontwikkelaars in Tygron aangepast. Nieuwe simulaties weergeven dat de stroomsnelheid afneemt bij een minder steile helling, zoals ook geconcludeerd is in de literatuurstudie.

6.1. Vegetatie simuleren in Tygron

Bij het simuleren van neerslag in Tygron is het belangrijk om vegetatie eigenschappen mee te nemen doordat deze invloed hebben op de waterbalans. Om resultaten te genereren die representatief zijn voor de werkelijkheid, is het van belang dat deze eigenschappen in simulaties zo veel mogelijk overeenkomen met die van het studiegebied. Voor het uitvoeren van simulaties met vegetatie in Tygron worden de volgende aanbevelingen gegeven:

- Er bestaan onzekerheden in de waarden voor interceptie. Dit is met name het geval voor boomgaard, loofbos en naaldbos. Wanneer deze vegetatie gesimuleerd wordt, dient er kritisch te worden gekeken naar de resultaten.
- Het model houdt geen rekening met de dichtheid van de vegetatie. Hierbij kan zowel de kruindichtheid bedoeld worden als de afstand tussen de vegetatie. Om dit mee te nemen in de calculaties moet de parameter 'Storage' zo worden aangepast dat de opslagcapaciteit gelijk is aan die van het studiegebied. Indien nodig, kan ook de Manning coëfficiënt aangepast worden volgens Tabel 17 wanneer door dichte vegetatie de weerstand in het studiegebied hoger wordt.

- Doordat het opgeslagen water niet mee wordt genomen in de verdere berekeningen, wordt de evaporatie van dit water niet meegenomen in de totale verdamping. Hierdoor heeft het aanpassen van de gewasfactor voor de verschillende typen vegetatie geen invloed op het simuleren van de afvoer van regenwater. Bij simulaties van korte perioden levert dit geen grote verschillen op in de totale evaporatie. Bij het simuleren van lange perioden kan het echter wel verschillen opleveren in de waterbalans.
- Bij het simuleren van lange perioden is het van belang om de waarde van referentie evaporatie goed in te stellen, omdat dit verschillen kan opleveren in de waterbalans. Bij het simuleren van korte perioden met grote hoeveelheden neerslag, heeft dit door de lage waarde van de referentie evaporatie weinig invloed op de gesimuleerde afvoer van regenwater.
- De Manning coëfficiënt blijkt de meest bepalende parameter voor de afvoer van regenwater over maaiveld in dit onderzoek. Het is daarom van belang om bij simulaties een accurate waarde voor deze parameter in te stellen.
- In Hoofdstuk 3 zijn waarden gegeven voor de referentie evaporatie, gewasfactor (Tabel 2), interceptiecapaciteit (Tabel 3 en Tabel 4) en de Manning coëfficiënt Tabel 5. Aangeraden wordt om deze waarden te gebruiken bij simulaties in Tygron. Doordat hevige neerslag voornamelijk voorkomt in de zomer, wordt voor het simuleren hiervan aangeraden om de zomerwaarden in te stellen. Bij het simuleren van langdurige, minder intensieve buien wordt aangeraden om de winterwaarden te gebruiken, omdat dit type buien vaak in de winter voorkomen.

Bibliografie

- Agelink, G., & Hoeks, J. (1980). *Onderzoek naar mogelijkheden om de infiltratie van regenwater in een afvalstort te verminderen*. Instituut voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding, Wageningen. Opgeroepen op April 19, 2019, van <https://library.wur.nl/WebQuery/wurpubs/fulltext/254877>
- Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D., & Smith, M. (1998). *FAO Irrigation and Drainage Paper 56*. FAO. Opgeroepen op mei 3, 2019, van <http://academic.uprm.edu/abe/backup2/tomas/fao%2056.pdf>
- Arcadis. (2014). *Geohydrologisch Onderzoek Doortrekking A15*. Opgeroepen op april 16, 2019, van https://www.platformparticipatie.nl/binaries/Bijlage%2012%20Geohydrologisch%20onderzoek%20A_tcm117-337152.pdf
- Arcement, G., & Schneider, V. (1989). *Guide for Selecting Manning's Roughness Coefficients for Natural Channels and Flood Plains*. U.S. Departemnt of Transportation, Federal Highway Administration. Opgeroepen op mei 8, 2019, van <https://pubs.usgs.gov/wsp/2339/report.pdf>
- Beersma, J., Bessembinder, J., Brandsma, T., Versteeg, R., & Hakvoort, H. (2015). *Actualisatie meteogegevens voor waterbeheer 2015*. STOWA, Amersfoort. Opgeroepen op mei 9, 2019, van <https://www.stowa.nl/sites/default/files/assets/PUBLICATIES/Publicaties%202015/STOWA%202015-10.pdf>
- Beersma, J., Versteeg, R., & Hakvoort, H. (2018). *Neerslagstatistieken voor korte duren*. STOWA, Amersfoort. Opgeroepen op mei 9, 2019, van <https://www.stowa.nl/sites/default/files/assets/PUBLICATIES/Publicaties%202018/STOWA%202018-12%20HR.pdf>
- Beltman, B., & Koerselman, W. (1988). *De verdamping van moerasvegetaties*. Opgeroepen op april 16, 2019, van <http://edepot.wur.nl/381307>
- Commissie voor Hydrologisch Onderzoek TNO. (1986). *Verklarende hydrologische woordenlijst*. 's-Gravenhage. Opgeroepen op juni 21, 2019, van <http://edepot.wur.nl/182288>
- Deb, P., Kiem, A. S., & Willgoose, G. (2019, april). Mechanisms influencing non-stationarity in rainfall-runoff relationships in southeast Australia. *Journal of Hydrology*(571), 746-764. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2019.02.025>
- Deltares. (2018). *Overstromingsrisico's door intense neerslag*. Opgeroepen op mei 8, 2019, van https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&ved=2ahUKEwia2df4qo7iAhUNMuwKHxVMBFUQFjAAegQIARAC&url=https%3A%2F%2Fruimtelijkeadaptatie.nl%2Fpublish%2Fpages%2F155772%2Fdeltares_september_2018_overstromingsrisicos_door_intense_neerslag.pdf
- Descroix, L., Viramontes, D., Vauclin, M., Barrios, J. G., & Esteves, M. (2001, maart 5). Influence of soil surface features and vegetation on runoff and erosion in the Western Sierra Madre (Durango, Northwest Mexico). *Catena*, 43(2), 115-135. doi:[https://doi.org/10.1016/S0341-8162\(00\)00124-7](https://doi.org/10.1016/S0341-8162(00)00124-7)
- Evans, J. M. (sd). *Diagram van de watercyclus*. USGS. Opgeroepen op april 16, 2019, van <https://web.archive.org/web/20100331030841/http://ga.water.usgs.gov/edu/watercycledutchhi.html>
- Feyen, J., Deckers, J., Verstraeten, W., Hubrechts, L., Muys, B., Lust, N., . . . Goessens, S. (2001). *Vlaams Impulsprogramma Natuurontwikkeling*. Katholieke Universiteit Leuven, Universiteit Gent & Instituut voor Bosbouw en Wildbeheer. Opgeroepen op april 15, 2019, van <https://pureportal.inbo.be/portal/files/280149/182479.pdf>

- Fiener, P., Auerswald, K., & Oost, K. V. (2001, januari 31). Spatio-temporal patterns in land use and management affecting surface runoff response of agricultural catchments - A review. *Earth-Science Reviews*(106), 92-104. doi:<https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2011.01.004>
- Gerrits, A. (2010). *The role of interception in the hydrological cycle*. Technische Universiteit Delft, Faculty of Civil Engineering, Delft. Opgeroepen op mei 6, 2019, van https://www.hydrology.nl/images/docs/dutch/2010.09.14_Gerrits.pdf
- Hazeu, G., Schuiling, C., Dorland, G., Roerink, G., Naeff, H., & Smidt, R. (2014). *Landelijk Grondgebruiksbestand Nederland versie 7*. Alterra Wagening UR, Wageningen. Opgeroepen op maart 27, 2019, van <http://content.alterra.wur.nl/Webdocs/PDFFiles/Alterrapporten/AlterraRapport2548.pdf>
- Hooghart, J., & Lablans, W. (1988). *Van Penman naar Makkink: een nieuwe berekeningswijze voor de klimatologische verdampingsgetallen: eindrapport van de Project- en Beleidingsgroep Verdampingsberekeningen*. 's-Gravenhage: Commissie van Hydrologisch Onderzoek TNO. Opgeroepen op March 29, 2019, van <http://edepot.wur.nl/182292>
- Hurk, B. v., Siegmund, P., (Eds), A. K., Attema, J., Bakker, A., Beersma, J., . . . Lenderink, G. (2014). *KNMI'14: Climate Change scenarios for the 21st Century - A Netherlands perspective*. KNMI, De Bilt. Opgeroepen op maart 29, 2019, van http://www.klimaatsscenarios.nl/brochures/images/KNMI_WR_2014-01_version26May2014.pdf
- Jong, H. d., & Sande, C. v. (2001). *River flood damage assessment using Ikonos Imagery*. Ispra. Opgeroepen op april 15, 2019, van https://www.researchgate.net/publication/40218937_River_flood_damage_assessment_using_Ikonos_imagery
- Kennisportaal Ruitelijke Adaptatie. (sd). *Achtergrondinformatie wateroverlast*. Opgeroepen op mei 9, 2019, van Ruimtelijke adaptatie: <https://ruimtelijkeadaptatie.nl/stresstest/bijsluiter/wateroverlast/achtergrond/>
- Kisi, O., Shiri, J., & Tombul, M. (2013, February). Modeling rainfall-runoff process using soft computing techniques. *Computers & Geosciences*(51), 108-117. doi:<https://doi.org/10.1016/j.cageo.2012.07.001>
- Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut. (2019, april 23). *Daggegevens van het weer in Nederland*. Opgeroepen op april 23, 2019, van KNMI: <https://www.knmi.nl/nederland-nu/klimatologie/daggegevens>
- Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut. (2019, april 23). *Daggegevens van het weer in Nederland*. Opgeroepen op april 23, 2019, van Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut: <https://www.knmi.nl/nederland-nu/klimatologie/daggegevens>
- Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut. (sd). *Metadata NMI-stations*. Opgeroepen op mei 1, 2019, van KNMI: <http://projects.knmi.nl/klimatologie/metadata/debilt.html>
- Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut. (sd). *Zware neerslag*. Opgeroepen op april 18, 2019, van KNMI: <https://www.knmi.nl/kennis-en-datacentrum/uitleg/zware-neerslag>
- Lau, T., & Afshar, N. (2013). Effect of Roughness on Discharge. *UNIMAS e-Journal of Civil Engineering*, 4(3), 29-33. Opgeroepen op mei 8, 2019, van <http://www.feng.unimas.my/JCEST/images/article/volume4issue32013/papper6encrypted.pdf>
- Li, X., Xiao, Q., Niu, J., Dymond, S., Doorn, N. S., Yu, X., . . . Li, J. (2016, March 15). Process-based rainfall interception by small trees in Northern China: The effect of rainfall traits and crown

- structure characteristics. *Agricultural and Forest Meteorology*(218-219), 65-73.
doi:<https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2015.11.017>
- Manning's n for Channels (Chow,1959)*. (2006). Opgeroepen op mei 16, 2019, van Manning's n Values:
http://www.fsl.orst.edu/geowater/FX3/help/8_Hydraulic_Reference/Mannings_n_Tables.htm
- Marhaento, H., Booij, M. J., & Hoestra, A. Y. (2018). Hydrological response to future land-use change and climate change in a tropical catchment. *Hydrological Sciences Journal*, 63(9), 1368-1385.
doi:10.1080/02626667.2018.1511054
- Marshall, S. (2014, april 4). The Water Cycle. *Reference Module in Earth Systems and Environmental Sciences*, 5. doi:<https://doi.org/10.1016/B978-0-12-409548-9.09091-6>
- Massop, H., Bakel, P. v., & Louw, P. d. (2017). *Maatgevende afvoer en maaiveldafvoer in waterschap Vechtstromen*. De Bakelse Stroom & Deltares, Wageningen. Opgeroepen op mei 21, 2019
- Mayo, T., Butler, T., Dawson, C., & Hoteit, I. (2014, januari 27). Data assimilation within the Advanced Circulation (ADCIRC) modeling framework for the estimation of Manning's friction coefficient. *Ocean Modelling*(76), 43-58. doi:<https://doi.org/10.1016/j.ocemod.2014.01.001>
- Meteonet. (2003, januari 1). *Weer wat geleerd: Zon en Seizoenen*. Opgeroepen op mei 3, 2019, van Memo Kennislink: <https://www.nemokennislink.nl/publicaties/weer-wat-geleerd-zon-en-seizoenen/>
- Moors, E., Ellen, W. v., Mol, J., & Swart, B. (2002). *Hydrologische woordenlijst*. Nederlandse Hydrologische Vereniging. Opgeroepen op juni 21, 2019, van <http://edepot.wur.nl/185586>
- Mugo, G. M., & Odera, P. A. (2018, december 8). Site selection for rainwater harvesting structures in Kimbu County-Kenya. *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science*, 10.
doi:<https://doi.org/10.1016/j.ejrs.2018.05.003>
- Oosterhoff, J. (2013). *Kracht + vorm*. Zoetermeer, Nederland: Bouwen met Staal. Opgeroepen op april 12, 2019
- Rijksoverheid. (sd). *Gevolgen klimaatverandering*. Opgeroepen op april 7, 2019, van Rijksoverheid: <https://www.rijksoverheid.nl/onderwerpen/klimaatverandering/gevolgen-klimaatverandering>
- Samadi, A., Sadrolashrafi, S., & Khologhi, M. (2019, February). Development and testing of a rainfall-runoff model for flood simulation in dry mountain catchments: A case study for the Dez River Basin. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*(109), 9-25.
doi:<https://doi.org/10.1016/j.pce.2018.07.003>
- Schuurmans, J., & Droogers, P. (2009). *Penman-Monteith referentieverdamping: inventarisatie beschikbaarheid en mogelijkheden tot regionalisatie*. FutureWater, Wageningen.
Opgeroepen op april 11, 2019, van https://www.futurewater.nl/downloads/2009_Schuurmans_FW86.pdf
- Siepel, L., Velthuis, D., Zondergeld, W., & Schimmel, W. (2018). *Voedselbos Ketelbroek een zegen in de drup?* Velp. Opgeroepen op mei 2, 2019, van <https://greendealvoedselbossen.nl/wp-content/uploads/2019/03/rapport-VHL-voor-Waterschap-Limburg-waterbalans-voedselbos-ketelbroek.pdf>
- Spieksma, J., Dolman, A., & Schouwenaars, J. (1995). *De parameterisatie van de verdamping van natuurterreinen in hydrologische modellen*. Rijksuniversiteit Groningen, Vakgroep Fysische Geografie. Opgeroepen op April 19, 2019, van https://www.hanscees.com/hatertse-vennen/parametriNOV_4_2.pdf

- Stuurman, R., Baggelaar, P., Barendrecht, W., Buma, J., Louw, P. d., & Essink, G. O. (2008). *Toekomst van de Nederlandse grondwatervoorraad in relatie tot klimaatverandering*. TNO Bouw en Ondergrond, Utrecht. Opgeroepen op mei 6, 2019, van https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwjU8KaL64biAhUqMuwKHUGSACwQFjAAegQIAhAC&url=https%3A%2F%2Fpublic.wiki.deltares.nl%2Fdownload%2Fattachments%2F55640074%2F2008-U-R0074B%2520eindrapport_def_dz.pdf%3Fvers
- Tank, A. K., Beersma, J., Bessembinden, J., Hurk, B. v., & Lenderink, G. (2015). *KNMI'14 klimaatscenario's voor Nederland*. Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut, De Bilt. Opgeroepen op mei 9, 2019, van http://www.klimaatscenario's.nl/images/Brochure_KNMI14_NL.pdf
- Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen. (1996). *Technische rapport klei voor dijken*. Delft. Opgeroepen op juni 24, 2019, van <http://edepot.wur.nl/369272>
- Teng, J., Jakeman, A., Vaze, J., Croke, B., Dutta, D., & Kim, S. (2017, april). Flood inundation modelling: A review of methods, recent advances and uncertainty analysis. *Environmental Modelling & Software*(50), 201-216. doi:<https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2017.01.006>
- Tygron. (2018, augustus 20). *Rainfall overlay calculations*. Opgeroepen op mei 2, 2019, van Tygron Support: http://support.tygron.com/wiki/Rainfall_overlay_calculations
- Tygron. (2019). Opgeroepen op februari 18, 2019, van Tygron Geodesign Platform: <http://www.tygron.com/nl/>
- Tygron. (2019, juni 18). *Infiltration model (Water Overlay)*. Opgeroepen op juni 27, 2019, van Tygron Support: [https://support.tygron.com/wiki/Infiltration_model_\(Water_Overlay\)](https://support.tygron.com/wiki/Infiltration_model_(Water_Overlay))
- Tygron. (2019, april 25). *Rain model (Water Overlay)*. Opgeroepen op mei 7, 2019, van Previewsupport Tygron: [http://previewsupport.tygron.com/wiki/Rain_model_\(Water_Overlay\)](http://previewsupport.tygron.com/wiki/Rain_model_(Water_Overlay))
- Tygron. (2019, april 25). *Surface evaporation formula (Water Overlay)*. Opgeroepen op mei 7, 2019, van Previewsupport Tygron: [http://previewsupport.tygron.com/wiki/Surface_evaporation_formula_\(Water_Overlay\)](http://previewsupport.tygron.com/wiki/Surface_evaporation_formula_(Water_Overlay))
- Tygron. (2019, april 12). *Surface flow formula (Water Overlay)*. Opgeroepen op mei 7, 2019, van Previewsupport Tygron: [http://previewsupport.tygron.com/wiki/Surface_flow_formula_\(Water_Overlay\)](http://previewsupport.tygron.com/wiki/Surface_flow_formula_(Water_Overlay))
- Tygron. (2019, april 4). *Surface infiltration formula (Water Overlay)*. Opgeroepen op mei 13, 2019, van Previewsupport Tygron: [http://previewsupport.tygron.com/wiki/Surface_infiltration_formula_\(Water_Overlay\)](http://previewsupport.tygron.com/wiki/Surface_infiltration_formula_(Water_Overlay))
- Tygron. (2019, april 11). *Surface water level formula (Water Overlay)*. Opgeroepen op mei 7, 2019, van Previewsupport Tygron: [http://previewsupport.tygron.com/wiki/Surface_water_level_formula_\(Water_Overlay\)](http://previewsupport.tygron.com/wiki/Surface_water_level_formula_(Water_Overlay))
- Tygron. (2019, april 30). *Surface water model (Water Overlay)*. Opgeroepen op mei 7, 2019, van Previewsupport Tygron: [http://previewsupport.tygron.com/wiki/Surface_water_model_\(Water_Overlay\)](http://previewsupport.tygron.com/wiki/Surface_water_model_(Water_Overlay))
- Tygron. (2019, maart 26). *Water Overlay*. Opgeroepen op maart 29, 2019, van Previewsupport Tygron: http://previewsupport.tygron.com/wiki/Water_Overlay#Surface_flow_formula
- Tygron Platform Preview. (sd). Opgeroepen op mei 15, 2019
- Uwizeyimana, D., Mureithi, S. M., Mvuyekure, S. M., Karuku, G., & Kironchi, G. (2019, maart). Modeling surface runoff using the soil conservation service-curve number method in a

- drought prone agro-ecological zone in Rwanda. *International Soil and Water Conservation Research*(7), 9-17. doi:<https://doi.org/10.1016/j.iswcr.2018.12.001>
- Versteegen, F. (2016). *Geohydrologische effectberekening Schubbenproject en Polder Waard-Nieuwland*. Eindrapport, Witteveen+Bos Raadgevende ingenieurs B.V. Opgeroepen op april 15, 2019, van <https://repository.officiële-overheidspublicaties.nl/externebijlagen/exb-2019-4709/1/bijlage/exb-2019-4709.pdf>
- Wijayarathne, D. (2015). *Shallow groundwater modeling of the historical Irwin wet prairie in the oak openings of northwest Ohio*. doi:10.13140
- Zhu, L., Gao, M., Peh, C. K., & Ho, G. W. (2019, maart). Recent progress in solar-driven interface water evaporation: Advanced designs and applications. *Nano Energy*(57), 507-518. doi:<https://doi.org/10.1016/j.nanoen.2018.12.046>
- Zotarelli, L., Dukes, M. D., Romero, C. C., Migliaccio, K. W., & Morgan, K. T. (2010). *Step by Step Calculation of the Penman-Monteith Evapotranspiration (FAO-56 Method_*. Agricultural and Biological Engineering Department. Opgeroepen op mei 1, 2019, van <http://edis.ifas.ufl.edu/pdffiles/ae/ae45900.pdf>

Bijlagen

Bijlage A – Berekeningen in Tygron

Tijdens het runnen van de simulatie worden inputgegevens omgezet in output aan de hand van verschillende formules die ingesteld zijn in Tygron Preview. Bij de simulatie van oppervlakkige afstroming van regenwater is data benodigd voor neerslag, evaporatie, opslag en Manning coëfficiënt als input. Ook data van de omgeving kan worden ingevoerd, zoals bodemsoort en grondwaterstand. Echter zullen deze laatste inputgegevens niet worden gevarieerd in het onderzoek. In deze bijlage wordt uitgelegd welke belangrijke stappen er in Tygron worden genomen om de afvoer van regenwater te berekenen.

Tijdstap berekenen (Tygron, 2019)

Allereerst wordt de grootte van de tijdstap berekend. Deze grote wordt per stap opnieuw bepaald om op deze manier de nauwkeurigheid van de berekeningen in het oog te houden. Hierbij wordt rekening gehouden dat bij elke tijdstap het courantnummer kleiner is dan 0,25. De tijdstap wordt met de volgende formule berekend:

$$\Delta t = \frac{\Delta x}{u_{\max}} \quad \text{Vergelijking 5}$$

Waarvoor geldt:

$$C = \frac{u \cdot \Delta t}{\Delta x} \leq 0,25 \quad \text{Vergelijking 6}$$

Waarin:

Δt	Simulatietijdsstap	[s]
Δx	Grootte van de cel	[m]
$u_{\max}$	Maximale rekensnelheid	[m/s]
C	Courantnummer	[-]

De waarde van $u_{\max}$ is afhankelijk van de gewilde nauwkeurigheid. In Tygron wordt hierbij onderscheid gemaakt tussen drie verschillende nauwkeurigheden: 2,5 (SPEED), 5 (AVERAGE) en 10 (ACCURACY). Voor dit onderzoek wordt $u_{\max}$ gezet op 10, zodat resultaten geanalyseerd kunnen worden die zo nauwkeurig mogelijk zijn.

Elke tijdstap worden dezelfde berekeningen per cel achtereenvolgens gemaakt. Allereerst wordt de initiële waarde van de cel vastgesteld. Bij het simuleren van de oppervlakkige afstroming van regenwater, is dit de waterhoogte in de cel. Daarna wordt vastgesteld hoeveel water erbij komt en weggaat in de cel. Dit is afhankelijk van de neerslag, evaporatie, infiltratie en wateropslag. Op basis van de nieuwe waterdiepte in de cel en naburige cellen wordt de stroming van het water bepaald. Hierdoor krijgt de cel een nieuwe waarde voor de waterdiepte. Deze waarde zal dienen als de initiële waarde voor de volgende tijdstap.

Waterhoogte formule (Tygron, 2019)

De waterhoogte in de cel wordt per tijdstap opnieuw berekend. Hierbij wordt een waterhoogte berekend respectievelijk tot de datum, zodat verschillen ontstaan bij hoogteverschillen in het terrein en het water dus gaat stromen zoals het natuurlijk ook zou stromen. Voor de berekening van de waterhoogte wordt de volgende formule gebruikt:

$$w = h + B \quad \text{Vergelijking 7}$$

Waarin:

w	Waterhoogte t.o.v. datum	[m]
h	Hoeveelheid water op het oppervlak	[m]
B	Oppervlaktehoogte t.o.v. datum	[m]

Input regenval (Tygron, 2019)

Regenval wordt in Tygron ingevoerd met twee variabelen: de tijdduur van de regenbui [minuten] en de totale hoeveelheid regenval tijdens de bui [mm/m²]. Deze neerslag zal over het hele studiegebied vallen. Per tijdstap zal berekend worden hoeveel regenwater in de cel is bijgekomen.

$$\Delta h = I \cdot \Delta t \quad \text{Vergelijking 8}$$

$$I = M \cdot T \quad \text{Vergelijking 9}$$

Waarin:

Δh	Hoeveelheid neerslag	[mm]
I	Neerslagintensiteit	[mm/uur]
Δt	Tijdstap	[uur]
T	Tijdduur van regenbui	[uur]
M	Hoeveelheid regenval tijdens bui	[mm/m ²]

Interceptie

Een deel van de neerslag wordt tijdelijk opgeslagen door vegetatie. Deze interceptie wordt vervolgens gebruikt voor het berekenen van de evaporatie. Het overige regenwater zal het oppervlak bereiken en worden toegevoegd aan de hoeveelheid water op het oppervlak (h). De formule voor deze berekening staat niet gedocumenteerd op de site van Tygron Support, maar kan worden genoteerd zoals Vergelijking 10. Dit is gebaseerd op de resultaten weergegeven in Bijlage B.

$$h_t = \Delta h - \frac{O}{\Delta x} \quad \text{Vergelijking 10}$$

Waarin:

h_t	Hoeveelheid water op oppervlak door neerslag	[m]
Δh	Hoeveelheid neerslag	[m]
O	Interceptie door vegetatie	[m ³ /m ²]
Δx	Grootte van de cel	[m ²]

Infiltratie in de bodem (Tygron, 2019)

Wanneer de bodem nog niet gesatureerd is, kan het oppervlakkige water infiltreren. Hierbij wordt de kleinste aanwezige infiltratiecapaciteit aangehouden om de hoeveelheid geïnfiltreerde water te berekenen (Vergelijking 11). Dit wordt vergeleken met de hoeveelheid water dat op het oppervlak ligt. Wanneer er meer water op het oppervlak ligt dan kan infiltreren, wordt de berekende infiltratiehoeveelheid van het oppervlakkige water ontnomen. Indien het oppervlakkige water minder is dan de infiltratiecapaciteit, dan wordt al het oppervlakkige water ontnomen. Dit principe is verwerkt in Vergelijking 12.

$$I = \min(I_b, I_{surf}, K_v) \quad \text{Vergelijking 11}$$

$$\Delta w = \min(h, \Delta t \cdot I) \quad \text{Vergelijking 12}$$

Waarin:

I	Infiltratiecapaciteit	[m/dag]
I_b	Infiltratiecapaciteit behorende bij de constructie op de cel	[m/dag]
I_{surf}	Infiltratiecapaciteit behorende bij de oppervlakte van de cel	[m/dag]
K_v	Infiltratiecapaciteit van de ondergrond	[m/dag]
Δw	Hoeveelheid infiltratie	[m]
h	Hoeveelheid water op het oppervlak	[m]
Δt	Tijdstap	[dag]

Evaporatie vanaf de oppervlakte (Tygron, 2019)

Vanaf de vegetatie zal het opgeslagen water deels evaporeren. Het water dat evaporeert zal uit de cel verdwijnen, waardoor de waterdiepte in de cel verlaagt. De evaporatie wordt met behulp van Vergelijking 13 berekend. Hierbij wordt allereerst de potentiële evaporatie berekend met behulp van de referentie evaporatie en de gewasfactor. Daarna wordt gekeken of dat de waterdiepte in de cel kleiner is, gelijk aan of groter is dan de waarde voor de potentiële evaporatie. Indien de waarde voor waterdiepte kleiner is dan de waarde voor de potentiële evaporatie, zal de waarde voor de waterdiepte gebruikt worden voor Δh , omdat er niet meer water kan evaporeren dan aanwezig is. In de andere gevallen zal de waarde van potentiële evaporatie worden gebruikt voor Δh .

$$\Delta h = \min(h, \Delta t \cdot E_w \cdot E_o) \quad \text{Vergelijking 13}$$

Waarin:

Δh	Hoeveelheid evaporatie	[mm]
h	Hoeveelheid water op het oppervlak	[mm]
Δt	Tijdstap	[uur]
E_w	Referentie evaporatie	[mm/uur]
E_o	Gewasfactor	[-]

Oppervlakkige stroming van water (Tygron, 2019)

Het resterende regenwater in de cel wordt gebruikt voor de berekeningen van de oppervlakkige afstroming. Hiervoor worden de tweedimensionale Saint Venant vergelijkingen gebruikt. Deze vergelijkingen berekenen de stroming van het water in de x- en y-richting van het eendimensionale vlak. Hierbij wordt rekening gehouden dat massa en momentum behouden worden. De 2D Saint Venant vergelijkingen zijn als volgt:

$$\begin{cases} \frac{\partial l}{\partial t} + \frac{\partial(d \cdot u)}{\partial x} + \frac{\partial(d \cdot v)}{\partial y} = q_{in} \\ \frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + g \frac{\partial l}{\partial x} + g \frac{u|\vec{u}|}{C^2 d} = 0 \\ \frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + g \frac{\partial l}{\partial y} + g \frac{v|\vec{u}|}{C^2 d} = 0 \end{cases}$$

Vergelijking 14

$$C = \frac{d^{\frac{1}{6}}}{n}$$

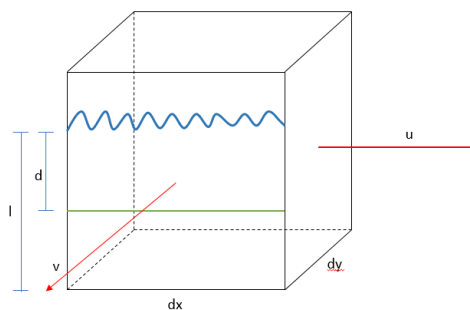
Vergelijking 15

$$|\vec{u}| = \sqrt{u^2 + v^2}$$

Vergelijking 16

Waarin:

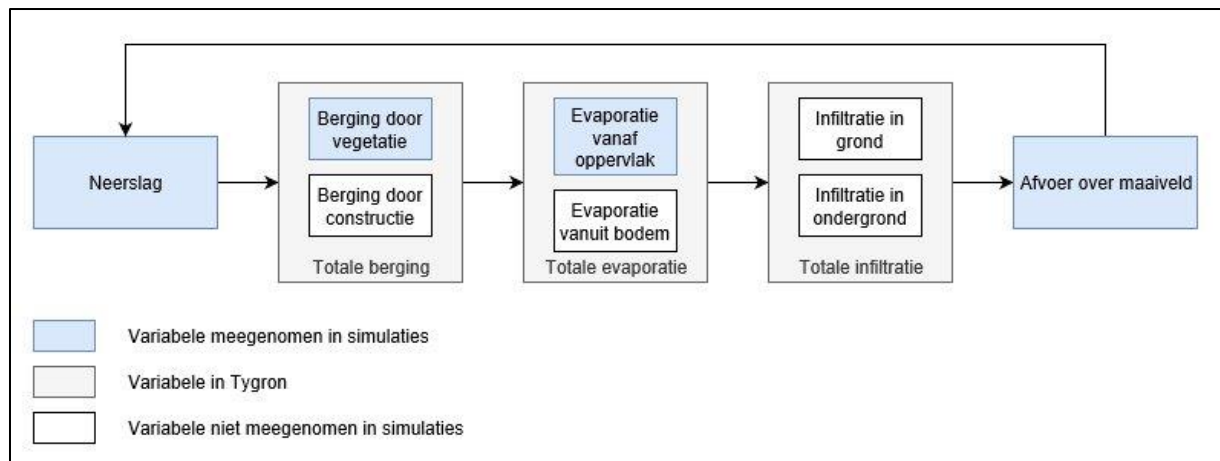
d	Waterdiepte	[m]
l	Waterhoogte	[m]
u	Stroomsnelheid in x-richting	[m/s]
v	Stroomsnelheid in y-richting	[m/s]
q_{in}	Randvoorwaarde	[m/s]
g	Gravetatieconstante	[9,807 m/s ²]
C	Chezy-coëfficiënt	[m ^{1/2} /s]
n	Manning coëfficiënt	[s/m ^{1/3}]
u	Snelheidsmagnitude	[m/s]



Figuur 20: Schematische weergave voor de variabelen in de 2D Saint Venant vergelijkingen

Zoals te zien is in de vergelijkingen, wordt met deze methode onder andere rekening gehouden met de weerstand, helling, waterdruk, hoogteverschillen en snelheidsveranderingen. Op deze manier wordt er berekend hoeveel water er gedurende de tijdstap de cel uitstroomt naar een van de naburige cellen en wat er in de cel bijkomt vanaf naburige cellen. Hierdoor kan de nieuwe waterdiepte in de cel berekend worden.

Figuur 21 laat schematisch zien op welke wijze de hiervoor genoemde stappen worden doorberekend.

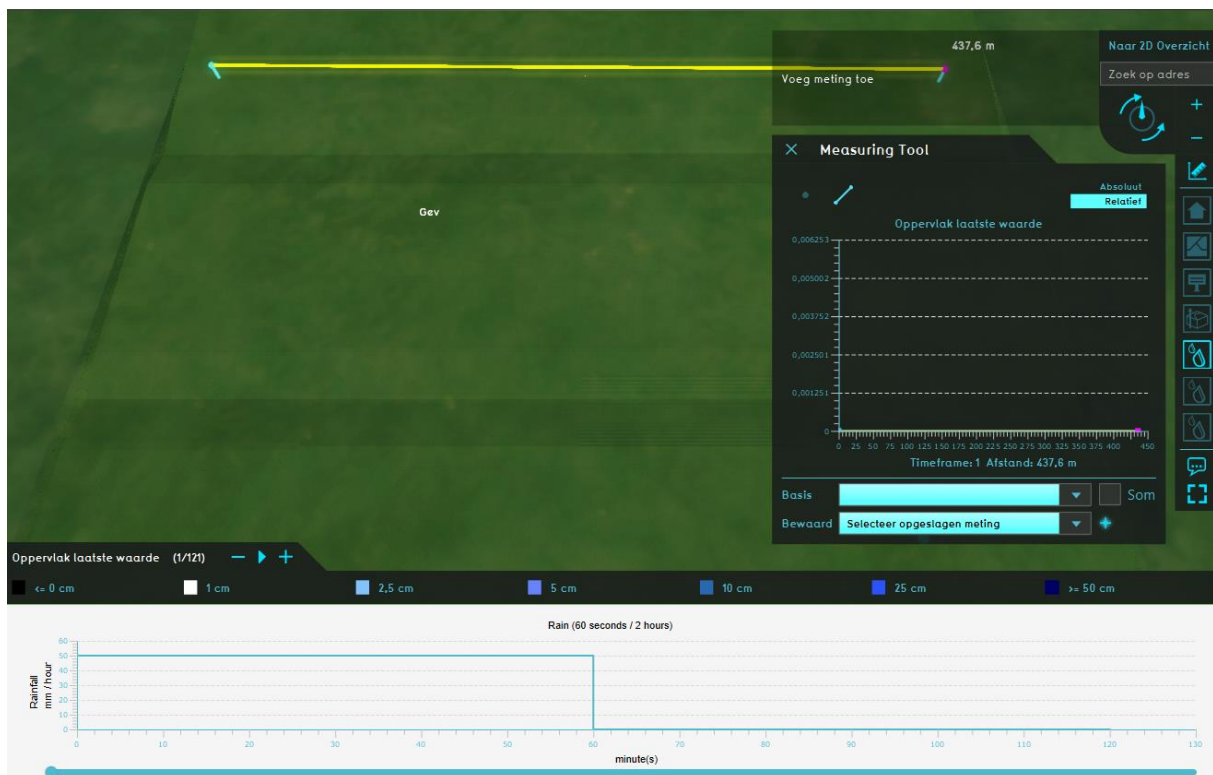


Figuur 21: Rekenwijze in Tygron

Bijlage B – Bepaling interceptie in Tygron

De documentatie van de gebruikte formules in Tygron is vastgelegd op de site van Tygron Support. Echter staat hier niet op gedocumenteerd hoe de interceptie wordt meegenomen in de berekeningen van de afvoer van regenwater. Aan de hand van simulaties in Tygron LTS is vastgesteld hoe interceptie wordt meegenomen in de berekeningen. De resultaten hiervan zijn toegelicht in deze bijlage.

Het studiegebied is opgedeeld in drie verticale vlakken, zoals beschreven in Hoofdstuk 4.1. Elk van deze vlakken bevatten dezelfde parameter waarden behalve voor de interceptie. Voor het westelijke studievlak is een waarde toegekend van $0,02 \text{ m}^3/\text{m}^2$, het middelste vlak heeft een waarde van $0,00041 \text{ m}^3/\text{m}^2$ en het oostelijke vlak $0,05 \text{ m}^3/\text{m}^2$. Over dit studiegebied is een regenbui gesimuleerd met een intensiteit van 50 mm/uur die één uur duurt. De resultaten van deze simulatie zijn weergegeven in Figuur 22 tot en met Figuur 26.



Figuur 22: Waterdiepte op maaiveld voorafgaand aan bui



Figuur 23: Waterdiepte op maaiveld 5 minuten na begin regenbui



Figuur 24: Waterdiepte op maaiveld 24 minuten na begin regenbui



Figuur 25: Waterdiepte op maaiveld 29 minuten na regenbui

In bovenstaande figuren is duidelijk te zien dat bij aanvang van de regenbui de waterdiepte op maaiveld over het hele studiegebied 0 cm is. Daarna begint in het middelste studiegebied langzaam te stijgen. Alleen in dit gedeelte is de opslag volledig gevuld en zal het regenwater oppervlakkig afgevoerd worden. Na 24 minuten begint ook het westelijke studiegebied onder water te staan. In deze periode is $24 \text{ minuten} \cdot \frac{50 \text{ mm}}{60 \text{ minuten}} = 20 \text{ mm}$ gevallen. Dit komt overeen met de berging die is toegepast op het westelijke studiegebied. Na deze tijd neemt de waterdiepte in het westelijke en middelste studiegebied toe. In het oostelijke studiegebied blijft de waterdiepte 0 cm. Hieruit kan geconcludeerd worden dat eerst al het regenwater wordt onderschept door de vegetatie en wanneer de maximale interceptiecapaciteit is bereikt, het regenwater oppervlakkig afgevoerd wordt.



Figuur 26: Totale evaporatie vanaf maaiveld 1 uur na regenbui

Uit dezelfde simulatie zijn resultaten verkregen voor de evaporatie in het studiegebied. Hierin is te zien dat alleen het regenwater dat het oppervlak bereikt wordt meegenomen in de berekening voor de evaporatie. Het water dat wordt opgeslagen op de vegetatie wordt uit de berekeningen gehaald en dus niet meegenomen voor de evaporatie.

Omdat ook de dichtheid van de vegetatie invloed heeft op de hoeveelheid interceptie die kan plaatsvinden, is er een simulatie uitgevoerd waarbij de 'Green Space' aangepast is. Deze Green Space geeft aan hoeveel vierkante meter de vegetatie bezet per vierkante meter landoppervlak [$\text{m}^2_{\text{vegetatie}}/\text{m}^2_{\text{oppervlak}}$]. Een soortgelijk studiegebied is opgezet waarbij het centrale gebied de initiële waarden bevatten voor de parameters met $1 \text{ m}^2/\text{m}^2$ Green Space. Het westelijke gebied heeft een interceptiecapaciteit van $0,02 \text{ m}^3/\text{m}^2$ en $1 \text{ m}^2/\text{m}^2$ Green Space. Het oostelijke gebied heeft dezelfde interceptiecapaciteit als het westelijke gebied en een Green Space van $0,5 \text{ m}^2/\text{m}^2$. Op het studievak is een regenbui van 50 mm in één uur gesimuleerd. Het resultaat is weergegeven in Figuur 27.



Figuur 27: Waterdiepte op maaiveld bij verschillende vegetatiedichtheden 24 minuten na het begin van de regenbui

De grafiek in bovenstaande figuur laat zien dat in zowel het oostelijke als westelijke gebied de interceptiecapaciteit tegelijk wordt behaald en dezelfde waterdiepte op het maaiveld aanwezig is na 24 minuten. Hieruit kan geconcludeerd worden dat de dichtheid van de vegetatie niet meegenomen wordt in de interceptieberekeningen.

Bijlage C – Herhalingstijden neerslag

Tabel 11: Neerslaghoeveelheden behorende bij verschillende herhalingstijden in De Bilt
(Beersma et al., 2018)

Herhalingstijd [jaar]	Neerslaghoeveelheid [mm]	
	Neerslagduur = 10 min	Neerslagduur = 60 min
0,5	8,1	12,6
1	10,2	16,2
2	12,2	20,0
5	17,1	25,8
10	17,5	31,0
20	20,3	37,2
25	21,3	39,5
50	24,7	47,7
100	28,7	57,7
200	33,4	70,0
250	35,0	74,5
500	40,8	90,7
1000	47,6	110,6

Tabel 12: Neerslaghoeveelheden behorende bij verschillende herhalingstijden in De Bilt
(Beersma et al., 2018)

Herhalingstijd [jaar]	Neerslaghoeveelheid in 24 uur [mm]		
	Volledig jaar	Maart t/m oktober	November t/m maart
0,5	30,0	29,2	21,6
1	36,0	35,3	25,7
2	42,4	41,7	29,9
5	51,4	50,7	35,9
10	58,5	57,8	40,7
20	66,1	65,4	45,8
25	68,6	67,9	47,4
50	76,7	76,0	52,8
100	85,1	84,5	58,5
200	94,1	93,5	64,5
500	106,6	106,0	72,9
1000	116,6	116,1	79,6

Bijlage D – Formules voor het berekenen van ET_{ref}

Bij de Penman-Monteith methode wordt de volgende formule gebruikt voor het bepalen van de referentie evaporatie (Schuurmans & Droogers, 2009) & (Zotarelli et al., 2010):

$$ET_{ref} = \frac{0,408 \cdot s \cdot (Q_{net} - G) + \gamma \cdot \frac{900}{T + 273} \cdot u_2 \cdot (e_s - e_a)}{s + \gamma(1 + 0,34 \cdot u_2)} \quad \text{Vergelijking 2}$$

Waarin:

ET_{ref}	Referentie evaporatie	[mm/dag]
s	Helling van de dampdrukcurve	[kPa/°C]
Q_{net}	Netto straling	[MJ/m²dag]
G	Bodemwarmteflux	[0 MJ/m²dag]
γ	Psychrometerconstante	[0,066 kPa/°C]
T	Temperatuur op 2 meter hoogte	[°C]
u_2	Daggemiddelde windsnelheid op 2 meter hoogte	[m/s]
e_s	Verzadigingsdampdruk	[kPa]
e_a	Actuele dampdruk	[kPa]

Met behulp van daggegevens van het KNMI kunnen de waardes per dag voor de temperatuur, windsnelheid en actuele dampdruk worden bepaald (Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut, 2019). De bodemwarmteflux en psychrometerconstante kunnen worden aangenomen als constante waarden in de formule. De overige variabelen kunnen worden bepaald met de volgende vergelijkingen (Schuurmans & Droogers, 2009):

Helling van de dampdrukcurve

$$s = \frac{4098 \cdot \left(0,6108 \cdot e^{\left(\frac{17,27 \cdot T_{gem}}{T_{gem} + 237,3} \right)} \right)}{(T_{gem} + 237,3)^2} \quad \text{Vergelijking 17}$$

$$T_{gem} = \frac{T_{max} + T_{min}}{2} \quad \text{Vergelijking 18}$$

Waarin:

s	Helling van de dampdrukcurve	[kPa/°C]
T_{gem}	Daggemiddelde temperatuur	[°C]
T_{max}	Dagelijkse maximumtemperatuur	[°C]
T_{min}	Dagelijkse minimumtemperatuur	[°C]

Actuele en verzadigde dampdruk

$$e_a = \frac{e_{Tmin} \cdot RH_{max} + e_{Tmax} \cdot RH_{min}}{2} \quad \text{Vergelijking 19}$$

$$e_s = \frac{e_{Tmax} + e_{Tmin}}{2} \quad \text{Vergelijking 20}$$

$$e_T = 0,6108 \cdot e^{\left(\frac{17,27 \cdot T}{T+237,3}\right)} \quad \text{Vergelijking 21}$$

Waarin:

e_a	Actuele dampdruk	[kPa]
e_s	Verzadigde dampdruk	[kPa]
e_{Tmin}	Verzadigde dampdruk bij minimumtemperatuur	[kPa]
e_{Tmax}	Verzadigde dampdruk bij maximumtemperatuur	[kPa]
e_T	Verzadigde dampdruk bij temperatuur T	[kPa]
T	Temperatuur	[°C]
RH_{max}	Maximum relatieve luchtvochtigheid	[-]
RH_{min}	Minimale relatieve luchtvochtigheid	[-]

Netto kortgolvlige straling

$$K^\downarrow - K^\uparrow = (1 - \alpha) \cdot K^\downarrow \quad \text{Vergelijking 22}$$

Waarin:

$K^\downarrow - K^\uparrow$	Netto inkomende kortgolvlige straling	[MJ/m²dag]
$K^\downarrow$	Globale straling	[MJ/m²dag]
α	Albedo	[0,23]

Netto langgolvlige straling

$$L^{\uparrow} - L^{\downarrow} = \sigma \left(\frac{T_{max}^4 + T_{min}^4}{2} \right) (0,34 - 0,14 \cdot \sqrt{e_a}) \left(1,35 \cdot \frac{K^{\downarrow}}{K_0^{\downarrow}} \right) - 0,35 \quad \text{Vergelijking 23}$$

$$K_0^{\downarrow} = (0,75 + 2 \cdot 10^{-5} \cdot z) K_{ext} \quad \text{Vergelijking 24}$$

$$K_{ext} = \frac{G_{sc} \cdot d_r}{\pi} \cdot (\omega_s \cdot \sin(\varphi) \cdot \sin(\delta) + \cos(\varphi) \cdot \cos(\delta) \cdot \sin(\omega_s)) \quad \text{Vergelijking 25}$$

$$d_r = 1 + 0,033 \cdot \cos\left(\frac{2\pi}{365} \cdot J\right) \quad \text{Vergelijking 26}$$

$$\delta = 0,409 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{365} \cdot J - 1,39\right) \quad \text{Vergelijking 27}$$

$$\omega_s = \cos^{-1}(-\tan(\varphi) \cdot \tan(\delta)) \quad \text{Vergelijking 28}$$

Waarin:

$L^{\downarrow} - L^{\uparrow}$	Netto uitgaande langgolvlige straling	[MJ/m ² d]
σ	Stefan-Boltzmann constante	[4,903 · 10 ⁻⁹ MJ/K ⁴ m ²]
T_{max}	Maximale luchttemperatuur	[K]
T_{min}	Minimale luchttemperatuur	[K]
e_a	Actuele dampdruk	[kPa]
$K^{\downarrow}$	Globale straling	[MJ/m ² dag]
$K_0^{\downarrow}$	Onbewolkte globale straling	[MJ/m ² dag]
K_{ext}	Extraterrestrische zonnestraling	[MJ/m ² dag]
z	Stationshoogte t.o.v. NAP	[m]
G_{sc}	Zonneconstante	[78,72 MJ/m ² dag]
d_r	Inverse relatieve afstand tussen aarde en zon	[-]
ω_s	Zonnehoeck	[rad]
ϕ	Geografische breedte	[rad]
δ	Afbuiging zonnestraling	[rad]
J	Dagnummer	[-]

Netto straling

$$Q_{net} = (K^{\downarrow} - K^{\uparrow}) - (L^{\uparrow} - L^{\downarrow}) \quad \text{Vergelijking 29}$$

Waarin:

Q_{net}	Netto straling	[MJ/m ² dag]
$K^{\downarrow} - K^{\uparrow}$	Netto kortgolvlige straling	[MJ/m ² dag]
$L^{\downarrow} - L^{\uparrow}$	Netto langgolvlige straling	[MJ/m ² dag]

Windsnelheid

$$u_2 = u_z \frac{4,87}{\ln(67,8 \cdot z - 5,42)}$$

Vergelijking 30

Waarin:

u_2	Windsnelheid op 2 meter hoogte	[m/s]
u_z	Windsnelheid op z meter hoogte	[m/s]
z	Hoogte van de windmeten	[m]

Constance waarden

In voorafgaande vergelijkingen wordt gebruik gemaakt verschillende constante waarden. Een overzicht van deze waarden is weergegeven in

Tabel 13.

Tabel 13: Constanten in de vergelijkingen voor de berekeningen van de referentie evaporatie
(Zotarelli et al., 2010)

Benaming	Notatie in berekeningen	Waarde	Eenheid
Bodemwarmteflux	G	0	MJ/m ² dag
Psychrometerconstante	γ	0,066	kPa/°C
Albedo	α	0,23	-
Stefan-Boltzmann constante	σ	$4,903 \cdot 10^{-9}$	MJ/K ⁴ m ²
Zonneconstante	G_{sc}	118,08	MJ/m ² dag

Bijlage E – Gegevens meetstation De Bilt

Voor de berekeningen van Bijlage D zijn gegevens benodigd van meetstation De Bilt. In Figuur 28 is de locatie van dit meetstation weergegeven. Tabel 14 bevat de gegevens van het meetstation.



Figuur 28: Locatie van meetstation De Bilt
(Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut, sd)

Tabel 14: Gegevens van meetstation De Bilt
(Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut, sd)

Gegevens over het terrein	
Locatie	52°06' N.B. 05°11' O.L.
Hoogte	+ 1,9 m t.o.v. NAP
Windmetingen	
Meethoogte	20,0 m
Temperatuurmetingen	
Meethoogte	1,50 m
Stralingsmetingen	
Meethoogte	13,0 m
Luchtdrukmetingen	
Meethoogte	+ 3,495 m t.o.v. NAP
Vochtmetingen	
Meethoogte	1,50 m

Bijlage F – Berekenen van ET_{ref} in de zomerperiode

Voor het berekenen van de referentie evaporatie in de zomerperiode is data gebruikt van de periode tussen 1 januari 1994 en 20 maart 2019. Deze periode bevat de gegevens van het KNMI over wind, temperatuur, straling en luchtvochtigheid in De Bilt, die benodigd zijn voor de berekeningen van Bijlage D. Hierbij is alleen gekeken naar de verkregen data tussen 21 juni en 20 september om de zomerperiode te representeren.

Tabel 15: Data zomerperiode van De Bilt
(Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut, 2019)

Gegevens	Notatie in berekeningen	Waarde	Eenheid
Windsnelheid	u_z	2,97	m/s
Gemiddelde dagtemperatuur	T	17,4	°C
Minimumtemperatuur	T_{min}	12,2	°C
Maximumtemperatuur	T_{max}	22,2	°C
Globale straling	$K^\downarrow$	15,59	W/m ² dag
Dagnummer	J	218	-
Maximale relatieve luchtvochtigheid	RH_{max}	0,96	-
Minimale relatieve luchtvochtigheid	RH_{min}	0,58	-

Helling van de dampdrukcurve

$$s = \frac{4098 \cdot \left(0,6108 \cdot e^{\left(\frac{17,27 \cdot 17,2}{17,2 + 237,3} \right)} \right)}{(17,2 + 237,3)^2} = 0,124 \text{ kPa/}^\circ\text{C} \quad (\text{Vergelijking 17})$$

$$T_{gem} = \frac{22,2 + 12,2}{2} = 17,2 \text{ }^\circ\text{C} \quad (\text{Vergelijking 18})$$

Actuele en verzadigde dampdruk

$$e_a = \frac{1,42 \cdot 0,96 + 2,68 \cdot 0,58}{2} = 1,46 \text{ kPa} \quad (\text{Vergelijking 19})$$

$$e_s = \frac{2,68 + 1,42}{2} = 2,05 \text{ kPa} \quad (\text{Vergelijking 20})$$

$$e_{min} = 0,6108 \cdot e^{\left(\frac{17,27 \cdot 12,2}{12,2 + 237,3} \right)} = 1,42 \text{ kPa} \quad (\text{Vergelijking 21})$$

$$e_{max} = 0,6108 \cdot e^{\left(\frac{17,27 \cdot 22,2}{22,2 + 237,3} \right)} = 2,68 \text{ kPa} \quad (\text{Vergelijking 21})$$

Netto kortgolfige straling

$$K^\downarrow - K^\uparrow = (1 - 0,23) \cdot 15,59 = 12,0 \text{ MJ/m}^2\text{dag} \quad (\text{Vergelijking 22})$$

Netto langgolvlige straling

$$L^{\uparrow} - L^{\downarrow} = 4,903 \cdot 10^{-9} \left(\frac{295,2^4 + 285,2^4}{2} \right) (0,34 - 0,14 \cdot \sqrt{1,46}) \left(1,35 \cdot \frac{15,59}{27,0} \right) - 0,35 = 2,56 \text{ MJ/m}^2 \text{ dag} \quad (\text{Vergelijking 23})$$

$$K_0^{\downarrow} = (0,75 + 2 \cdot 10^{-5} \cdot 14,9) \cdot 36,0 = 27,0 \text{ MJ/m}^2 \text{ dag} \quad (\text{Vergelijking 24})$$

$$K_{ext} = \frac{118,08 \cdot 0,97}{\pi \cdot (1,96 \cdot \sin(0,909) \cdot \sin(0,287) + \cos(0,909) \cdot \cos(0,287) \cdot \sin(1,96))} = 36,0 \text{ MJ/m}^2 \text{ dag} \quad (\text{Vergelijking 25})$$

$$d_r = 1 + 0,033 \cdot \cos\left(\frac{2\pi}{365} \cdot 218\right) = 0,97 \quad (\text{Vergelijking 26})$$

$$\delta = 0,409 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{365} \cdot 218 - 1,39\right) = 0,287 \text{ rad} \quad (\text{Vergelijking 27})$$

$$\omega_s = \cos^{-1}(-\tan(0,909) \cdot \tan(0,287)) = 1,96 \text{ rad} \quad (\text{Vergelijking 28})$$

Netto straling

$$Q_{net} = 12,0 - 2,56 = 9,44 \text{ MJ/m}^2 \text{ dag} \quad (\text{Vergelijking 29})$$

Windsnelheid

$$u_2 = 2,97 \cdot \frac{4,87}{\ln(67,8 \cdot 20 - 5,42)} = 2,01 \text{ m/s} \quad (\text{Vergelijking 30})$$

Referentie evaporatie

$$ET_{ref} = \frac{0,408 \cdot 0,124 \cdot (9,44 - 0) + 0,066 \cdot \frac{900}{17,4 + 273} \cdot 2,01 \cdot (2,05 - 1,46)}{0,124 + 0,066 \cdot (1 + 0,34 \cdot 2,01)} \quad (\text{Vergelijking 2})$$

$$= 3,06 \text{ mm/dag}$$

Bijlage G – Berekenen van ET_{ref} in de winterperiode

Voor het berekenen van de referentie evaporatie in de winterperiode is data gebruikt van de periode tussen 1 januari 1994 en 20 maart 2019. Deze periode bevat de gegevens van het KNMI over wind, temperatuur, straling en luchtvochtigheid in De Bilt, die benodigd zijn voor de berekeningen van Bijlage D. Hierbij is alleen gekeken naar de verkregen data tussen 21 december en 20 maart om de winterperiode te representeren.

Tabel 16: Data winterperiode van De Bilt
(Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut, 2019)

Gegevens	Notatie in berekeningen	Waarde	Eenheid
Windsnelheid	u_z	4,12	m/s
Gemiddelde dagtemperatuur	T	4,13	°C
Minimumtemperatuur	T_{min}	1,02	°C
Maximumtemperatuur	T_{max}	7,11	°C
Globale straling	$K^\downarrow$	4,17	W/m ² dag
Dagnummer	J	34	-
Maximale relatieve luchtvochtigheid	RH_{max}	0,95	-
Minimale relatieve luchtvochtigheid	RH_{min}	0,72	-

Helling van de dampdrukcurve

$$s = \frac{4098 \cdot \left(0,6108 \cdot e^{\left(\frac{17,27 \cdot 4,07}{4,07 + 237,3}\right)}\right)}{(4,07 + 237,3)^2} = 0,0575 \text{ kPa/}^\circ\text{C} \quad (\text{Vergelijking 17})$$

$$T_{gem} = \frac{7,11 + 1,02}{2} = 4,07 \text{ }^\circ\text{C} \quad (\text{Vergelijking 18})$$

Actuele en verzadigde dampdruk

$$e_a = \frac{0,658 \cdot 0,95 + 1,01 \cdot 0,72}{2} = 0,676 \text{ kPa} \quad (\text{Vergelijking 19})$$

$$e_s = \frac{1,01 + 0,658}{2} = 0,834 \text{ kPa} \quad (\text{Vergelijking 20})$$

$$e_{min} = 0,6108 \cdot e^{\left(\frac{17,27 \cdot 1,02}{1,02 + 237,3}\right)} = 0,658 \text{ kPa} \quad (\text{Vergelijking 21})$$

$$e_{max} = 0,6108 \cdot e^{\left(\frac{17,27 \cdot 7,11}{7,11 + 237,3}\right)} = 1,01 \text{ kPa} \quad (\text{Vergelijking 21})$$

Netto kortgolvlige straling

$$K^\downarrow - K^\uparrow = (1 - 0,23) \cdot 4,17 = 3,21 \text{ MJ/m}^2\text{dag} \quad (\text{Vergelijking 22})$$

Netto langgolvlige straling

$$L^{\uparrow} - L^{\downarrow} = 4,903 \cdot 10^{-9} \left(\frac{280,1^4 + 274,0^4}{2} \right) (0,34 - 0,14 \cdot \sqrt{0,676}) \left(1,35 \cdot \frac{4,17}{7,9} \right) - 0,35 = 2,36 \text{ MJ/m}^2 \text{ dag} \quad (\text{Vergelijking 23})$$

$$K_0^{\downarrow} = (0,75 + 2 \cdot 10^{-5} \cdot 14,9) \cdot 10,5 = 7,91 \text{ MJ/m}^2 \text{ dag} \quad (\text{Vergelijking 24})$$

$$K_{ext} = \frac{118,08 \cdot 1,03}{\pi \cdot (1,17 \cdot \sin(0,909) \cdot \sin(-0,295) + \cos(0,909) \cdot \cos(-0,295) \cdot \sin(1,17))} = 10,5 \text{ MJ/m}^2 \text{ dag} \quad (\text{Vergelijking 25})$$

$$d_r = 1 + 0,033 \cdot \cos\left(\frac{2\pi}{365} \cdot 34\right) = 1,03 \quad (\text{Vergelijking 26})$$

$$\delta = 0,409 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{365} \cdot 34 - 1,39\right) = -0,295 \text{ rad} \quad (\text{Vergelijking 27})$$

$$\omega_s = \cos^{-1}(-\tan(0,909) \cdot \tan(-0,295)) = 1,17 \text{ rad} \quad (\text{Vergelijking 28})$$

Netto straling

$$Q_{net} = 3,21 - 2,36 = 0,858 \text{ MJ/m}^2 \text{ dag} \quad (\text{Vergelijking 29})$$

Windsnelheid

$$u_2 = 4,12 \cdot \frac{4,87}{\ln(67,8 \cdot 20 - 5,42)} = 2,78 \text{ m/s} \quad (\text{Vergelijking 30})$$

Referentie evaporatie

$$ET_{ref} = \frac{0,408 \cdot 0,0575 \cdot (0,858 - 0) + 0,066 \cdot \frac{900}{4,13 + 273} \cdot 2,78 \cdot (0,834 - 0,676)}{0,0575 + 0,066 \cdot (1 + 0,34 \cdot 2,78)} \quad (\text{Vergelijking 2})$$

$$= 0,614 \text{ mm/dag}$$

Bijlage H – Manning coëfficiënten bij oppervlaktecondities

De waarde van de Manning coëfficiënten gegeven in Tabel 5 kunnen aangepast worden, zodat ze overeenkomen met de condities van het oppervlak waarop de neerslag wordt afgevoerd. In onderstaande tabel wordt aangegeven met welke waarde de Manning coëfficiënt toeneemt wanneer de condities in acht worden genomen.

*Tabel 17: Toename van de Manning coëfficiënt bij oppervlaktecondities
(Arcement & Schneider, 1989)*

Conditie van het oppervlak		Toename n-waarde	Voorbeeld
Mate van onregelmatigheid	Vlak	0,000	Een zo vlak mogelijk oppervlak in vergelijking met dezelfde typen landgebruik.
	Gering	0,001 - 0,005	Het oppervlak is lichtelijk onregelmatig.
	Matig	0,006 - 0,010	Er bevinden zich meerdere verhogingen/ verlagingen in het oppervlak.
	Zwaar	0,011 - 0,020	Het oppervlak is zeer onregelmatig. Er bevinden zich veel verhogingen/verlagingen in het oppervlak.
Effect van obstakels	Verwaarloosbaar	0,000 - 0,004	Een paar obstakels verspreid over het oppervlak. De bezetting is kleiner dan 5% van het totale oppervlak.
	Gering	0,005 - 0,019	De bezetting van obstakels is kleiner dan 15% van het totale oppervlak.
	Aanzienlijk	0,020 - 0,030	De bezetting van obstakels is 15 tot 50% van het totale oppervlak.

Bijlage I – Waarden voor vegetatieparameters in Tygron

Tabel 18: De initiële waarden gebruikt door Tygron voor de parameters gewasfactor, opslag en Manning coëfficiënt (Tygron Platform Preview)

Landgebruik	Gewasfactor [-]	Interceptie [m ³ /m ²]	Manning coëfficiënt [-]
Agrarisch gras	1,0	0	0,035
Mais	1,1	0	0,040
Granen	1,0	0	0,040
Overige landbouw	0,9	0	0,040
Boomgaard	1,2	0	0,100
Loofbos	1,2	0	0,100
Naaldbos	1,2	0	0,100
Gras in bebouwd gebied	1,0	0	0,030
Rietvegetatie	1,1	0	0,060

Tabel 19: Percentueel verschil tussen de initiële waarde en de verkregen waarde voor de parameter gewasfactor

Landgebruik	Percentueel verschil gewasfactor	
	Zomerperiode	Winterperiode
Agrarisch gras	-10%	-10%
Mais	-9%	-
Granen	-50%	-
Overige landbouw	-26%	-
Boomgaard	-3%	-42%
Loofbos	-32%	-58%
Naaldbos	-25%	-42%
Gras in bebouwd gebied	-20%	-20%
Rietvegetatie	-30%	Onbekend

Tabel 20: Percentueel verschil tussen de initiële waarde en de verkregen waarde voor de parameter Manning coëfficiënt

Landgebruik	Percentueel verschil Manning coëfficiënt	
	Zomerperiode	Winterperiode
Agrarisch gras	+11%	-9%
Mais	-10%	-25%
Granen	-18%	-50%
Overige landbouw	-28%	-50%
Boomgaard	+100%	+100%
Loofbos	+118%	+118%
Naaldbos	+93%	+93%
Gras in bebouwd gebied	+10%	-7%
Rietvegetatie	-45%	Onbekend

Bijlage J – Resultaten gevoeligheidsanalyse gewasfactor

J.1. Waterdieptes op maaiveld na 50 mm neerslag in een uur

Tabel 21: Waarde waterdiepte agrarisch gras¹⁾

Waterdiepte op maaiveld van agrarisch gras [cm]			
Helling	Verandering gewasfactor		
	-30%	0%	30%
5%	0,17	0,17	0,17
2%	0,29	0,29	0,29

Tabel 26: Waarde waterdiepte loofbos¹⁾

Waterdiepte op maaiveld van loofbos [cm]			
Helling	Verandering gewasfactor		
	-30%	0%	30%
5%	0,90	0,90	0,90
2%	1,27	1,27	1,27

Tabel 22: Waarde waterdiepte mais¹⁾

Waterdiepte op maaiveld van mais [cm]			
Helling	Verandering gewasfactor		
	-30%	0%	30%
5%	0,16	0,16	0,16
2%	0,26	0,26	0,26

Tabel 27: Waarde waterdiepte naaldbos¹⁾

Waterdiepte op maaiveld van naaldbos [cm]			
Helling	Verandering gewasfactor		
	-30%	0%	30%
5%	0,80	0,80	0,80
2%	1,16	1,16	1,16

Tabel 23: Waarde waterdiepte granen¹⁾

Waterdiepte op maaiveld van granen [cm]			
Helling	Verandering gewasfactor		
	-30%	0%	30%
5%	0,14	0,14	0,14
2%	0,24	0,24	0,24

Tabel 28: Waarde waterdiepte gras in bebouwd gebied¹⁾

Waterdiepte op maaiveld van gras in bebouwd gebied [cm]			
Helling	Verandering gewasfactor		
	-30%	0%	30%
5%	0,14	0,14	0,14
2%	0,24	0,24	0,24

Tabel 24: Waarde waterdiepte overige akkerbouw¹⁾

Waterdiepte op maaiveld van overige akkerbouw [cm]			
Helling	Verandering gewasfactor		
	-30%	0%	30%
5%	0,12	0,12	0,12
2%	0,21	0,21	0,21

Tabel 29: Waarde waterdiepte rietvegetatie¹⁾

Waterdiepte op maaiveld van rietvegetatie [cm]			
Helling	Verandering gewasfactor		
	-30%	0%	30%
5%	0,14	0,14	0,14
2%	0,24	0,24	0,24

Tabel 25: Waarde waterdiepte boomgaard¹⁾

Waterdiepte op maaiveld van boomgaard [cm]			
Helling	Verandering gewasfactor		
	-30%	0%	30%
5%	0,81	0,81	0,81
2%	1,19	1,19	1,19

¹⁾ Resultaten verkregen met Tygron Platform Preview. De resultaten weergeven de waarden net na de bui.

²⁾ Resultaten verkregen met Tygron Platform LTS. De resultaten weergeven de waarden net na de bui.

³⁾ Resultaten verkregen met Tygron Platform LTS. De resultaten weergeven de maximale waarde tijdens de bui.

J.2. Waterdieptes op maaiveld na 20 mm neerslag in een uur

Tabel 30: Waarde waterdiepte agrarisch gras¹⁾

Waterdiepte op maaiveld van agrarisch gras [cm]			
Helling	Verandering gewasfactor		
	-30%	0%	30%
5%	0,13	0,13	0,13
2%	0,20	0,20	0,20

Tabel 31: Waarde waterdiepte mais¹⁾

Waterdiepte op maaiveld van mais cm]			
Helling	Verandering gewasfactor		
	-30%	0%	30%
5%	0,12	0,12	0,12
2%	0,19	0,19	0,19

Tabel 32: Waarde waterdiepte boomgaard¹⁾

Waterdiepte op maaiveld van boomgaard [cm]			
Helling	Verandering gewasfactor		
	-30%	0%	30%
5%	0,53	0,53	0,53
2%	0,74	0,74	0,74

Tabel 33: Waarde waterdiepte loofbos¹⁾

Waterdiepte op maaiveld van loofbos [cm]			
Helling	Verandering gewasfactor		
	-30%	0%	30%
5%	0,55	0,55	0,55
2%	0,80	0,80	0,80

J.3. Waterdieptes op maaiveld na 70 mm neerslag in een uur

Tabel 34: Waarde waterdiepte agrarisch gras¹⁾

Waterdiepte op maaiveld van agrarisch gras [cm]			
Helling	Verandering gewasfactor		
	-30%	0%	30%
5%	0,18	0,18	0,18
2%	0,32	0,32	0,32

Tabel 35: Waarde waterdiepte mais¹⁾

Waterdiepte op maaiveld van mais cm]			
Helling	Verandering gewasfactor		
	-30%	0%	30%
5%	0,17	0,17	0,17
2%	0,29	0,29	0,29

Tabel 36: Waarde waterdiepte boomgaard¹⁾

Waterdiepte op maaiveld van boomgaard [cm]			
Helling	Verandering gewasfactor		
	-30%	0%	30%
5%	0,99	0,99	0,99
2%	1,41	1,41	1,41

Tabel 37: Waarde waterdiepte loofbos¹⁾

Waterdiepte op maaiveld van loofbos [cm]			
Helling	Verandering gewasfactor		
	-30%	0%	30%
5%	1,02	1,02	1,02
2%	1,51	1,51	1,51

¹⁾ Resultaten verkregen met Tygron Platform Preview. De resultaten weergeven de waarden net na de bui.

²⁾ Resultaten verkregen met Tygron Platform LTS. De resultaten weergeven de waarden net na de bui.

³⁾ Resultaten verkregen met Tygron Platform LTS. De resultaten weergeven de maximale waarde tijdens de bui.

J.4. Snelheid over maaiveld na 50 mm neerslag in een uur

Tabel 38: Waarde snelheid agrarisch gras¹⁾

Snelheid over maaiveld van agrarisch gras [m/s]			
Helling	Verandering gewasfactor		
	-30%	0%	30%
5%	0,073	0,073	0,073
2%	0,072	0,072	0,072

Tabel 39: Waarde snelheid mais¹⁾

Snelheid over maaiveld van mais [m/s]			
Helling	Verandering gewasfactor		
	-30%	0%	30%
5%	0,074	0,074	0,074
2%	0,074	0,074	0,074

Tabel 40: Waarde snelheid granen¹⁾

Snelheid over maaiveld van granen [m/s]			
Helling	Verandering gewasfactor		
	-30%	0%	30%
5%	0,076	0,076	0,076
2%	0,076	0,076	0,076

Tabel 41: Waarde snelheid overige akkerbouw¹⁾

Snelheid over maaiveld overige akkerbouw [m/s]			
Helling	Verandering gewasfactor		
	-30%	0%	30%
5%	0,078	0,078	0,078
2%	0,075	0,075	0,075

Tabel 42: Waarde snelheid boomgaard¹⁾

Snelheid over maaiveld van boomgaard [m/s]			
Helling	Verandering gewasfactor		
	-30%	0%	30%
5%	0,045	0,045	0,045
2%	0,036	0,036	0,036

Tabel 43: Waarde snelheid loofbos¹⁾

Snelheid over maaiveld van loofbos [m/s]			
Helling	Verandering gewasfactor		
	-30%	0%	30%
5%	0,044	0,044	0,044
2%	0,035	0,035	0,035

Tabel 44: Waarde snelheid naaldbos¹⁾

Snelheid over maaiveld van naaldbos [m/s]			
Helling	Verandering gewasfactor		
	-30%	0%	30%
5%	0,046	0,046	0,046
2%	0,037	0,037	0,037

Tabel 45: Waarde snelheid gras in bebouwd gebied¹⁾

Snelheid over maaiveld van gras in bebouwd gebied [m/s]			
Helling	Verandering gewasfactor		
	-30%	0%	30%
5%	0,076	0,076	0,076
2%	0,076	0,076	0,076

Tabel 46: Waarde snelheid rietvegetatie¹⁾

Snelheid over maaiveld van rietvegetatie [m/s]			
Helling	Verandering gewasfactor		
	-30%	0%	30%
5%	0,076	0,076	0,076
2%	0,076	0,076	0,076

¹⁾ Resultaten verkregen met Tygron Platform Preview. De resultaten weergeven de waarden net na de bui.

²⁾ Resultaten verkregen met Tygron Platform LTS. De resultaten weergeven de waarden net na de bui.

³⁾ Resultaten verkregen met Tygron Platform LTS. De resultaten weergeven de maximale waarde tijdens de bui.

J.5. Snelheid over maaiveld na 20 mm neerslag in een uur

Tabel 47: Waarde snelheid agrarisch gras¹⁾

Snelheid over maaiveld van agrarisch gras [m/s]			
Helling	Verandering gewasfactor		
	-30%	0%	30%
5%	0,060	0,060	0,060
2%	0,058	0,058	0,058

Tabel 49: Waarde snelheid boomgaard¹⁾

Snelheid over maaiveld van boomgaard [m/s]			
Helling	Verandering gewasfactor		
	-30%	0%	30%
5%	0,034	0,034	0,034
2%	0,027	0,027	0,027

Tabel 48: Waarde snelheid mais¹⁾

Snelheid over maaiveld van mais [m/s]			
Helling	Verandering gewasfactor		
	-30%	0%	30%
5%	0,062	0,062	0,062
2%	0,059	0,059	0,059

Tabel 50: Waarde snelheid loofbos¹⁾

Snelheid over maaiveld van loofbos [m/s]			
Helling	Verandering gewasfactor		
	-30%	0%	30%
5%	0,032	0,032	0,032
2%	0,026	0,026	0,026

J.6. Snelheid over maaiveld na 70 mm neerslag in een uur

Tabel 51: Waarde snelheid agrarisch gras¹⁾

Snelheid over maaiveld van agrarisch gras [m/s]			
Helling	Verandering gewasfactor		
	-30%	0%	30%
5%	0,077	0,077	0,077
2%	0,077	0,077	0,077

Tabel 53: Waarde snelheid boomgaard¹⁾

Snelheid over maaiveld van boomgaard [m/s]			
Helling	Verandering gewasfactor		
	-30%	0%	30%
5%	0,051	0,051	0,051
2%	0,041	0,041	0,041

Tabel 52: Waarde snelheid mais¹⁾

Snelheid over maaiveld van mais [m/s]			
Helling	Verandering gewasfactor		
	-30%	0%	30%
5%	0,079	0,079	0,079
2%	0,079	0,079	0,079

Tabel 54: Waarde snelheid loofbos¹⁾

Snelheid over maaiveld van loofbos [m/s]			
Helling	Verandering gewasfactor		
	-30%	0%	30%
5%	0,011	0,011	0,011
2%	0,022	0,022	0,022

¹⁾ Resultaten verkregen met Tygron Platform Preview. De resultaten weergeven de waarden net na de bui.

²⁾ Resultaten verkregen met Tygron Platform LTS. De resultaten weergeven de waarden net na de bui.

³⁾ Resultaten verkregen met Tygron Platform LTS. De resultaten weergeven de maximale waarde tijdens de bui.

J.7. Totale evaporatie binnen één uur na 50 mm neerslag in een uur

De hieronder vernoemde waarden zijn ook verkregen bij het variëren van de Manning coëfficiënt.

Tabel 55: Waarde evaporatie agrarisch gras¹⁾

Evaporatie door agrarisch gras [mm]			
Helling	Verandering gewasfactor		
	-30%	0%	30%
5%	0,318	0,318	0,318
2%	0,318	0,318	0,318

Tabel 60: Waarde evaporatie loofbos¹⁾

Evaporatie door loofbos [mm]			
Helling	Verandering gewasfactor		
	-30%	0%	30%
5%	0,321	0,321	0,321
2%	0,321	0,321	0,321

Tabel 56: Waarde evaporatie mais¹⁾

Evaporatie door mais [mm]			
Helling	Verandering gewasfactor		
	-30%	0%	30%
5%	0,318	0,318	0,318
2%	0,318	0,318	0,318

Tabel 61: Waarde evaporatie naaldbos¹⁾

Evaporatie door naaldbos [mm]			
Helling	Verandering gewasfactor		
	-30%	0%	30%
5%	0,323	0,323	0,323
2%	0,323	0,323	0,323

Tabel 57: Waarde evaporatie granen¹⁾

Evaporatie door granen [mm]			
Helling	Verandering gewasfactor		
	-30%	0%	30%
5%	0,332	0,332	0,332
2%	0,332	0,332	0,332

Tabel 62: Waarde evaporatie gras in bebouwd gebied¹⁾

Evaporatie door gras in bebouwd gebied [mm]			
Helling	Verandering gewasfactor		
	-30%	0%	30%
5%	0,321	0,321	0,321
2%	0,321	0,321	0,321

Tabel 58: Waarde evaporatie overige akkerbouw¹⁾

Evaporatie door overige akkerbouw [mm]			
Helling	Verandering gewasfactor		
	-30%	0%	30%
5%	0,331	0,331	0,331
2%	0,331	0,331	0,331

Tabel 63: Waarde evaporatie rietvegetatie¹⁾

Evaporatie door rietvegetatie [mm]			
Helling	Verandering gewasfactor		
	-30%	0%	30%
5%	0,332	0,332	0,332
2%	0,332	0,332	0,332

Tabel 59: Waarde evaporatie boomgaard¹⁾

Evaporatie door boomgaard [mm]			
Helling	Verandering gewasfactor		
	-30%	0%	30%
5%	0,322	0,322	0,322
2%	0,322	0,322	0,322

¹⁾ Resultaten verkregen met Tygron Platform Preview. De resultaten weergeven de waarden net na de bui.

²⁾ Resultaten verkregen met Tygron Platform LTS. De resultaten weergeven de waarden net na de bui.

³⁾ Resultaten verkregen met Tygron Platform LTS. De resultaten weergeven de maximale waarde tijdens de bui.

J.8. Totale evaporatie binnen één uur na 20 mm neerslag bij verschillende waarden voor gewasfactor

De hieronder genoemde waarden zijn ook verkregen bij het variëren van de Manning coëfficiënt.

Tabel 64: Waarde evaporatie agrarisch gras¹⁾

Evaporatie door agrarisch gras [mm]			
Helling	Verandering gewasfactor		
	-30%	0%	30%
5%	0,297	0,297	0,297
2%	0,297	0,297	0,297

Tabel 66: Waarde evaporatie boomgaard¹⁾

Evaporatie door boomgaard [mm]			
Helling	Verandering gewasfactor		
	-30%	0%	30%
5%	0,307	0,307	0,307
2%	0,307	0,307	0,307

Tabel 65: Waarde evaporatie mais¹⁾

Evaporatie door mais [mm]			
Helling	Verandering gewasfactor		
	-30%	0%	30%
5%	0,327	0,327	0,327
2%	0,327	0,327	0,327

Tabel 67: Waarde evaporatie loofbos¹⁾

Evaporatie door loofbos [mm]			
Helling	Verandering gewasfactor		
	-30%	0%	30%
5%	0,305	0,305	0,305
2%	0,305	0,305	0,305

J.9. Totale evaporatie binnen één uur na 70 mm neerslag bij verschillende waarden voor gewasfactor

De hieronder genoemde waarden zijn ook verkregen bij het variëren van de Manning coëfficiënt.

Tabel 68: Waarde evaporatie agrarisch gras¹⁾

Evaporatie door agrarisch gras [mm]			
Helling	Verandering gewasfactor		
	-30%	0%	30%
5%	0,322	0,322	0,322
2%	0,322	0,322	0,322

Tabel 70: Waarde evaporatie boomgaard¹⁾

Evaporatie door boomgaard [mm]			
Helling	Verandering gewasfactor		
	-30%	0%	30%
5%	0,325	0,325	0,325
2%	0,325	0,325	0,325

Tabel 69: Waarde evaporatie mais¹⁾

Evaporatie door mais [mm]			
Helling	Verandering gewasfactor		
	-30%	0%	30%
5%	0,330	0,330	0,330
2%	0,330	0,330	0,330

Tabel 71: Waarde evaporatie loofbos¹⁾

Evaporatie door loofbos [mm]			
Helling	Verandering gewasfactor		
	-30%	0%	30%
5%	0,324	0,324	0,324
2%	0,324	0,324	0,324

¹⁾ Resultaten verkregen met Tygron Platform Preview. De resultaten weergeven de waarden net na de bui.

²⁾ Resultaten verkregen met Tygron Platform LTS. De resultaten weergeven de waarden net na de bui.

³⁾ Resultaten verkregen met Tygron Platform LTS. De resultaten weergeven de maximale waarde tijdens de bui.

Bijlage K – Resultaten gevoeligheidsanalyse interceptie

K.1. Waterdieptes op maaiveld na 50 mm neerslag in een uur

Tabel 72: waarde interceptie agrarisch gras¹⁾

Waterdiepte op maaiveld van agrarisch gras [cm]			
Helling	Verandering interceptie		
	-30%	0%	30%
5%	0,17	0,17	0,17
2%	0,29	0,29	0,29

Tabel 75: waarde interceptie loofbos¹⁾

Waterdiepte op maaiveld van loofbos [cm]			
Helling	Verandering interceptie		
	-30%	0%	30%
5%	0,86	0,90	0,92
2%	1,27	1,27	1,27

Tabel 73: waarde interceptie mais¹⁾

Waterdiepte op maaiveld van mais [cm]			
Helling	Verandering interceptie		
	-30%	0%	30%
5%	0,16	0,16	0,16
2%	0,26	0,26	0,26

Tabel 76: waarde interceptie naaldbos¹⁾

Waterdiepte op maaiveld van naaldbos [cm]			
Helling	Verandering interceptie		
	-30%	0%	30%
5%	0,79	0,80	0,83
2%	1,17	1,16	1,16

Tabel 74: waarde interceptie boomgaard¹⁾

Waterdiepte op maaiveld van boomgaard [cm]			
Helling	Verandering interceptie		
	-30%	0%	30%
5%	0,83	0,81	0,84
2%	1,19	1,19	1,19

Tabel 77: waarde interceptie gras in bebouwd gebied¹⁾

Waterdiepte op maaiveld gras in bebouwd gebied [cm]			
Helling	Verandering interceptie		
	-30%	0%	30%
5%	0,14	0,14	0,14
2%	0,24	0,24	0,24

¹⁾ Resultaten verkregen met Tygron Platform Preview. De resultaten weergeven de waarden net na de bui.

²⁾ Resultaten verkregen met Tygron Platform LTS. De resultaten weergeven de waarden net na de bui.

³⁾ Resultaten verkregen met Tygron Platform LTS. De resultaten weergeven de maximale waarde tijdens de bui.

K.2. Waterdieptes op maaiveld na 20 mm neerslag in een uur

Tabel 78: waarde interceptie agrarisch gras¹⁾

Waterdiepte op maaiveld van agrarisch gras [cm]			
Helling	Verandering interceptie		
	-30%	0%	30%
5%	0,13	0,13	0,13
2%	0,20	0,20	0,20

Tabel 80: waarde interceptie boomgaard¹⁾

Waterdiepte op maaiveld van boomgaard [cm]			
Helling	Verandering interceptie		
	-30%	0%	30%
5%	0,53	0,53	0,53
2%	0,74	0,74	0,74

Tabel 79: waarde interceptie mais¹⁾

Waterdiepte op maaiveld van mais [cm]			
Helling	Verandering interceptie		
	-30%	0%	30%
5%	0,12	0,12	0,12
2%	0,19	0,19	0,19

Tabel 81: waarde interceptie loofbos¹⁾

Waterdiepte op maaiveld van loofbos [cm]			
Helling	Verandering interceptie		
	-30%	0%	30%
5%	0,55	0,55	0,55
2%	0,80	0,80	0,80

K.3. Waterdieptes op maaiveld na 70 mm neerslag in een uur

Tabel 82: waarde interceptie agrarisch gras¹⁾

Waterdiepte op maaiveld van agrarisch gras [cm]			
Helling	Interceptie		
	-30%	0%	30%
5%	0,18	0,18	0,18
2%	0,32	0,32	0,32

Tabel 84: waarde interceptie boomgaard¹⁾

Waterdiepte op maaiveld van boomgaard [cm]			
Helling	Verandering interceptie		
	-30%	0%	30%
5%	0,99	1,00	0,96
2%	1,41	1,41	1,41

Tabel 83: waarde interceptie mais¹⁾

Waterdiepte op maaiveld van mais [cm]			
Helling	Verandering interceptie		
	-30%	0%	30%
5%	0,17	0,17	0,17
2%	0,29	0,29	0,29

Tabel 85: waarde interceptie loofbos¹⁾

Waterdiepte op maaiveld van loofbos [cm]			
Helling	Verandering interceptie		
	-30%	0%	30%
5%	1,01	1,02	1,06
2%	1,51	1,51	1,51

¹⁾ Resultaten verkregen met Tygron Platform Preview. De resultaten weergeven de waarden net na de bui.

²⁾ Resultaten verkregen met Tygron Platform LTS. De resultaten weergeven de waarden net na de bui.

³⁾ Resultaten verkregen met Tygron Platform LTS. De resultaten weergeven de maximale waarde tijdens de bui.

K.4. Snelheid over maaiveld na 50 mm neerslag in een uur

Tabel 86: waarde interceptie agrarisch gras¹⁾

Snelheid over maaiveld van agrarisch gras [m/s]			
Helling	Verandering interceptie		
	-30%	0%	30%
5%	0,073	0,073	0,073
2%	0,072	0,072	0,072

Tabel 87: waarde interceptie mais¹⁾

Snelheid over maaiveld van mais [m/s]			
Helling	Verandering interceptie		
	-30%	0%	30%
5%	0,074	0,074	0,074
2%	0,074	0,074	0,074

Tabel 88: waarde interceptie boomgaard¹⁾

Snelheid over maaiveld van boomgaard [m/s]			
Helling	Verandering interceptie		
	-30%	0%	30%
5%	0,045	0,045	0,046
2%	0,036	0,036	0,036

Tabel 89: waarde interceptie loofbos¹⁾

Snelheid over maaiveld van loofbos [m/s]			
Helling	Verandering interceptie		
	-30%	0%	30%
5%	0,043	0,044	0,044
2%	0,035	0,035	0,035

Tabel 90: waarde interceptie naaldbos¹⁾

Snelheid over maaiveld van naaldbos [m/s]			
Helling	Verandering interceptie		
	-30%	0%	30%
5%	0,045	0,046	0,047
2%	0,037	0,037	0,037

Tabel 91: waarde interceptie gras in bebouwd gebied¹⁾

Snelheid over maaiveld van gras in bebouwd gebied [m/s]			
Helling	Verandering interceptie		
	-30%	0%	30%
5%	0,076	0,076	0,076
2%	0,076	0,076	0,076

¹⁾ Resultaten verkregen met Tygron Platform Preview. De resultaten weergeven de waarden net na de bui.

²⁾ Resultaten verkregen met Tygron Platform LTS. De resultaten weergeven de waarden net na de bui.

³⁾ Resultaten verkregen met Tygron Platform LTS. De resultaten weergeven de maximale waarde tijdens de bui.

K.5. Snelheid over maaiveld na 20 mm neerslag in een uur

Tabel 92: waarde interceptie agrarisch gras¹⁾

Snelheid over maaiveld van agrarisch gras [m/s]			
Helling	Verandering interceptie		
	-30%	0%	30%
5%	0,060	0,060	0,060
2%	0,058	0,058	0,058

Tabel 94: waarde interceptie boomgaard¹⁾

Snelheid over maaiveld van boomgaard [m/s]			
Helling	Verandering interceptie		
	-30%	0%	30%
5%	0,033	0,034	0,034
2%	0,027	0,027	0,027

Tabel 93: waarde interceptie mais¹⁾

Snelheid over maaiveld van mais [m/s]			
Helling	Verandering interceptie		
	-30%	0%	30%
5%	0,062	0,062	0,062
2%	0,059	0,059	0,059

Tabel 95: waarde interceptie loofbos¹⁾

Snelheid over maaiveld van loofbos [m/s]			
Helling	Verandering interceptie		
	-30%	0%	30%
5%	0,03	0,03	0,03
2%	0,03	0,03	0,03

K.6. Snelheid over maaiveld na 70 mm neerslag in een uur

Tabel 96: waarde interceptie agrarisch gras¹⁾

Snelheid over maaiveld van agrarisch gras [m/s]			
Helling	Verandering interceptie		
	-30%	0%	30%
5%	0,077	0,077	0,077
2%	0,077	0,077	0,077

Tabel 98: waarde interceptie boomgaard¹⁾

Snelheid over maaiveld van boomgaard [m/s]			
Helling	Verandering interceptie		
	-30%	0%	30%
5%	0,051	0,051	0,050
2%	0,041	0,041	0,041

Tabel 97: waarde interceptie mais¹⁾

Snelheid over maaiveld van mais [m/s]			
Helling	Verandering interceptie		
	-30%	0%	30%
5%	0,079	0,079	0,079
2%	0,079	0,079	0,079

Tabel 99: waarde interceptie loofbos¹⁾

Snelheid over maaiveld van loofbos [m/s]			
Helling	Verandering interceptie		
	-30%	0%	30%
5%	0,047	0,048	0,049
2%	0,039	0,039	0,039

¹⁾ Resultaten verkregen met Tygron Platform Preview. De resultaten weergeven de waarden net na de bui.

²⁾ Resultaten verkregen met Tygron Platform LTS. De resultaten weergeven de waarden net na de bui.

³⁾ Resultaten verkregen met Tygron Platform LTS. De resultaten weergeven de maximale waarde tijdens de bui.

K.7. Totale evaporatie binnen één uur na 50 mm neerslag

Tabel 100: waarde evaporatie agrarisch gras¹⁾

Evaporatie door agrarisch gras [mm]			
Helling	Verandering interceptie		
	-30%	0%	30%
5%	0,322	0,318	0,314
2%	0,322	0,318	0,314

Tabel 103: waarde evaporatie loofbos¹⁾

Evaporatie door loofbos [mm]			
Helling	Verandering interceptie		
	-30%	0%	30%
5%	0,324	0,321	0,318
2%	0,324	0,321	0,318

Tabel 101: waarde evaporatie mais¹⁾

Evaporatie door mais [mm]			
Helling	Verandering interceptie		
	-30%	0%	30%
5%	0,330	0,330	0,329
2%	0,330	0,330	0,329

Tabel 104: waarde evaporatie naaldbos¹⁾

Evaporatie door naaldbos [mm]			
Helling	Verandering interceptie		
	-30%	0%	30%
5%	0,325	0,323	0,320
2%	0,325	0,323	0,320

Tabel 102: waarde evaporatie boomgaard¹⁾

Evaporatie door boomgaard [mm]			
Helling	Verandering interceptie		
	-30%	0%	30%
5%	0,325	0,322	0,319
2%	0,325	0,322	0,319

Tabel 105: waarde evaporatie gras in bebouwd gebied¹⁾

Evaporatie door gras in gras in bebouwd gebied [mm]			
Helling	Verandering interceptie		
	-30%	0%	30%
5%	0,324	0,321	0,318
2%	0,324	0,321	0,318

¹⁾ Resultaten verkregen met Tygron Platform Preview. De resultaten weergeven de waarden net na de bui.

²⁾ Resultaten verkregen met Tygron Platform LTS. De resultaten weergeven de waarden net na de bui.

³⁾ Resultaten verkregen met Tygron Platform LTS. De resultaten weergeven de maximale waarde tijdens de bui.

K.8. Totale evaporatie binnen één uur na 20 mm neerslag

Tabel 106: waarde evaporatie agrarisch gras¹⁾

Evaporatie door agrarisch gras [mm]			
Helling	Verandering interceptie		
	-30%	0%	30%
5%	0,308	0,297	0,288
2%	0,308	0,297	0,288

Tabel 108: waarde evaporatie boomgaard¹⁾

Evaporatie door boomgaard [mm]			
Helling	Verandering interceptie		
	-30%	0%	30%
5%	0,314	0,307	0,299
2%	0,314	0,307	0,299

Tabel 107: waarde evaporatie mais¹⁾

Evaporatie door mais [mm]			
Helling	Verandering interceptie		
	-30%	0%	30%
5%	0,328	0,327	0,326
2%	0,328	0,327	0,326

Tabel 109: waarde evaporatie loofbos¹⁾

Evaporatie door loofbos [mm]			
Helling	Verandering interceptie		
	-30%	0%	30%
5%	0,313	0,305	0,297
2%	0,313	0,305	0,297

K.9. Totale evaporatie binnen één uur na 70 mm neerslag

Tabel 110: waarde evaporatie agrarisch gras¹⁾

Evaporatie door agrarisch gras [mm]			
Helling	Verandering interceptie		
	-30%	0%	30%
5%	0,325	0,322	0,319
2%	0,325	0,322	0,319

Tabel 112: waarde evaporatie boomgaard¹⁾

Evaporatie door boomgaard [mm]			
Helling	Verandering interceptie		
	-30%	0%	30%
5%	0,327	0,324	0,322
2%	0,327	0,324	0,322

Tabel 111: waarde evaporatie mais¹⁾

Evaporatie door mais [mm]			
Helling	Verandering interceptie		
	-30%	0%	30%
5%	0,331	0,330	0,330
2%	0,331	0,330	0,330

Tabel 113: waarde evaporatie loofbos¹⁾

Evaporatie door loofbos [mm]			
Helling	Verandering interceptie		
	-30%	0%	30%
5%	0,326	0,324	0,322
2%	0,326	0,324	0,322

¹⁾ Resultaten verkregen met Tygron Platform Preview. De resultaten weergeven de waarden net na de bui.

²⁾ Resultaten verkregen met Tygron Platform LTS. De resultaten weergeven de waarden net na de bui.

³⁾ Resultaten verkregen met Tygron Platform LTS. De resultaten weergeven de maximale waarde tijdens de bui.

Bijlage L – Resultaten gevoeligheidsanalyse Manning coëfficiënt

L.1. Waterdieptes op maaiveld na 50 mm neerslag in een uur

Tabel 114: Waarde waterdiepte agrarisch gras¹⁾

Waterdiepte op maaiveld van agrarisch gras [cm]			
Helling	Verandering Manning coëfficiënt		
	-30%	0%	30%
5%	0,11	0,17	0,23
2%	0,19	0,29	0,38

Tabel 119: Waarde waterdiepte loofbos¹⁾

Waterdiepte op maaiveld van loofbos [cm]			
Helling	Verandering Manning coëfficiënt		
	-30%	0%	30%
5%	0,67	0,90	1,11
2%	0,96	1,27	1,55

Tabel 115: Waarde waterdiepte mais¹⁾

Waterdiepte op maaiveld van mais [cm]			
Helling	Verandering Manning coëfficiënt		
	-30%	0%	30%
5%	0,11	0,17	0,21
2%	0,19	0,29	0,35

Tabel 120: Waarde waterdiepte naaldbos¹⁾

Waterdiepte op maaiveld van naaldbos [cm]			
Helling	Verandering Manning coëfficiënt		
	-30%	0%	30%
5%	0,60	0,80	0,99
2%	0,88	1,16	1,41

Tabel 116: Waarde waterdiepte granen¹⁾

Waterdiepte op maaiveld van granen [cm]			
Helling	Verandering Manning coëfficiënt		
	-30%	0%	30%
5%	0,07	0,14	0,19
2%	0,16	0,24	0,32

Tabel 121: Waarde waterdiepte gras in bebouwd gebied¹⁾

Waterdiepte op maaiveld van gras in bebouwd gebied [cm]			
Helling	Verandering Manning coëfficiënt		
	-30%	0%	30%
5%	0,07	0,14	0,19
2%	0,16	0,24	0,32

Tabel 117: Waarde waterdiepte overige akkerbouw¹⁾

Waterdiepte op maaiveld van overige akkerbouw [cm]			
Helling	Verandering Manning coëfficiënt		
	-30%	0%	30%
5%	0,06	0,12	0,17
2%	0,14	0,21	0,28

Tabel 122: Waarde waterdiepte rietvegetatie¹⁾

Waterdiepte op maaiveld van rietvegetatie [cm]			
Helling	Verandering Manning coëfficiënt		
	-30%	0%	30%
5%	0,07	0,14	0,19
2%	0,16	0,24	0,32

Tabel 118: Waarde waterdiepte boomgaard¹⁾

Waterdiepte op maaiveld van boomgaard [cm]			
Helling	Verandering Manning coëfficiënt		
	-30%	0%	30%
5%	0,62	0,81	0,99
2%	0,88	1,19	1,45

¹⁾ Resultaten verkregen met Tygron Platform Preview. De resultaten weergeven de waarden net na de bui.

²⁾ Resultaten verkregen met Tygron Platform LTS. De resultaten weergeven de waarden net na de bui.

³⁾ Resultaten verkregen met Tygron Platform LTS. De resultaten weergeven de maximale waarde tijdens de bui.

L.2. Waterdieptes op maaiveld na 20 mm neerslag in een uur

Tabel 123: Waarde waterdiepte agrarisch gras¹⁾

Waterdiepte op maaiveld van agrarisch gras [cm]			
Helling	Verandering Manning coëfficiënt		
	-30%	0%	30%
5%	0,08	0,13	0,17
2%	0,14	0,20	0,26

Tabel 125: Waarde waterdiepte boomgaard¹⁾

Waterdiepte op maaiveld van boomgaard [cm]			
Helling	Verandering Manning coëfficiënt		
	-30%	0%	30%
5%	0,40	0,53	0,64
2%	0,56	0,74	0,88

Tabel 124: Waarde waterdiepte mais¹⁾

Waterdiepte op maaiveld van mais [cm]			
Helling	Verandering Manning coëfficiënt		
	-30%	0%	30%
5%	0,06	0,12	0,15
2%	0,13	0,19	0,24

Tabel 126: Waarde waterdiepte loofbos¹⁾

Waterdiepte op maaiveld van loofbos [cm]			
Helling	Verandering Manning coëfficiënt		
	-30%	0%	30%
5%	0,43	0,55	0,68
2%	0,61	0,80	0,95

L.3. Waterdieptes op maaiveld na 70 mm neerslag in een uur

Tabel 127: Waarde waterdiepte agrarisch gras¹⁾

Waterdiepte op maaiveld van agrarisch gras [cm]			
Helling	Manning		
	-30%	0%	30%
5%	0,12	0,18	0,26
2%	0,21	0,32	0,42

Tabel 129: Waarde waterdiepte boomgaard¹⁾

Waterdiepte op maaiveld van boomgaard [cm]			
Helling	Manning		
	-30%	0%	30%
5%	0,71	0,99	1,23
2%	1,06	1,41	1,72

Tabel 128: Waarde waterdiepte mais¹⁾

Waterdiepte op maaiveld van mais [cm]			
Helling	Manning		
	-30%	0%	30%
5%	0,11	0,17	0,24
2%	0,19	0,29	0,39

Tabel 130: Waarde waterdiepte loofbos¹⁾

Waterdiepte op maaiveld van loofbos [cm]			
Helling	Manning		
	-30%	0%	30%
5%	0,77	1,02	1,32
2%	1,14	1,51	1,84

¹⁾ Resultaten verkregen met Tygron Platform Preview. De resultaten weergeven de waarden net na de bui.

²⁾ Resultaten verkregen met Tygron Platform LTS. De resultaten weergeven de waarden net na de bui.

³⁾ Resultaten verkregen met Tygron Platform LTS. De resultaten weergeven de maximale waarde tijdens de bui.

L.4. Snelheid over maaiveld na 50 mm neerslag in een uur

Tabel 131: Waarde snelheid agrarisch gebied¹⁾

Snelheid over maaiveld van agrarisch gras [m/s]			
Helling	Verandering Manning coëfficiënt		
	-30%	0%	30%
5%	0,079	0,073	0,076
2%	0,071	0,072	0,066

Tabel 136: Waarde snelheid loofbos¹⁾

Snelheid over maaiveld van loofbos [m/s]			
Helling	Verandering Manning coëfficiënt		
	-30%	0%	30%
5%	0,051	0,044	0,039
2%	0,041	0,035	0,031

Tabel 132: Waarde snelheid mais¹⁾

Snelheid over maaiveld van mais [m/s]			
Helling	Verandering Manning coëfficiënt		
	-30%	0%	30%
5%	0,079	0,073	0,077
2%	0,071	0,072	0,068

Tabel 137: Waarde snelheid naaldbos¹⁾

Snelheid over maaiveld van naaldbos [m/s]			
Helling	Verandering Manning coëfficiënt		
	-30%	0%	30%
5%	0,054	0,046	0,041
2%	0,044	0,037	0,033

Tabel 133: Waarde snelheid granen¹⁾

Snelheid over maaiveld van granen [m/s]			
Helling	Verandering Manning coëfficiënt		
	-30%	0%	30%
5%	0,040	0,076	0,076
2%	0,074	0,076	0,070

Tabel 138: Waarde snelheid gras in bebouwd gebied¹⁾

Snelheid over maaiveld van gras in bebouwd gebied [m/s]			
Helling	Verandering Manning coëfficiënt		
	-30%	0%	30%
5%	0,040	0,076	0,076
2%	0,074	0,076	0,070

Tabel 134: Waarde snelheid overige akkerbouw¹⁾

Snelheid over maaiveld van overige akkerbouw [m/s]			
Helling	Verandering Manning coëfficiënt		
	-30%	0%	30%
5%	0,027	0,078	0,073
2%	0,077	0,075	0,073

Tabel 139: Waarde snelheid rietvegetatie¹⁾

Snelheid over maaiveld van rietvegetatie [m/s]			
Helling	Verandering Manning coëfficiënt		
	-30%	0%	30%
5%	0,040	0,076	0,076
2%	0,074	0,076	0,070

Tabel 135: Waarde snelheid boomgaard¹⁾

Snelheid over maaiveld van boomgaard [m/s]			
Helling	Verandering Manning coëfficiënt		
	-30%	0%	30%
5%	0,053	0,045	0,039
2%	0,042	0,036	0,032

¹⁾ Resultaten verkregen met Tygron Platform Preview. De resultaten weergeven de waarden net na de bui.

²⁾ Resultaten verkregen met Tygron Platform LTS. De resultaten weergeven de waarden net na de bui.

³⁾ Resultaten verkregen met Tygron Platform LTS. De resultaten weergeven de maximale waarde tijdens de bui.

L.5. Snelheid over maaiveld na 20 mm neerslag in een uur

Tabel 140: Waarde snelheid agrarisch gras¹⁾

Snelheid over maaiveld van agrarisch gras [m/s]			
Helling	Verandering Manning coëfficiënt		
	-30%	0%	30%
5%	0,059	0,060	0,059
2%	0,058	0,058	0,052

Tabel 142: Waarde snelheid boomgaard¹⁾

Snelheid over maaiveld van boomgaard [m/s]			
Helling	Verandering Manning coëfficiënt		
	-30%	0%	30%
5%	0,040	0,034	0,029
2%	0,032	0,027	0,023

Tabel 141: Waarde snelheid mais¹⁾

Snelheid over maaiveld van mais [m/s]			
Helling	Verandering Manning coëfficiënt		
	-30%	0%	30%
5%	0,021	0,062	0,056
2%	0,060	0,059	0,053

Tabel 143: Waarde snelheid loofbos¹⁾

Snelheid over maaiveld van loofbos [m/s]			
Helling	Verandering Manning coëfficiënt		
	-30%	0%	30%
5%	0,038	0,032	0,028
2%	0,031	0,026	0,022

L.6. Snelheid over maaiveld na 70 mm neerslag in een uur

Tabel 144: Waarde snelheid agrarisch gras¹⁾

Snelheid over maaiveld van agrarisch gras [m/s]			
Helling	Verandering Manning coëfficiënt		
	-30%	0%	30%
5%	0,083	0,077	0,081
2%	0,081	0,077	0,071

Tabel 146: Waarde snelheid boomgaard¹⁾

Snelheid over maaiveld van boomgaard [m/s]			
Helling	Verandering Manning coëfficiënt		
	-30%	0%	30%
5%	0,058	0,051	0,045
2%	0,048	0,041	0,036

Tabel 145: Waarde snelheid mais¹⁾

Snelheid over maaiveld van mais [m/s]			
Helling	Verandering Manning coëfficiënt		
	-30%	0%	30%
5%	0,082	0,079	0,082
2%	0,077	0,079	0,073

Tabel 147: Waarde snelheid loofbos¹⁾

Snelheid over maaiveld van loofbos [m/s]			
Helling	Verandering Manning coëfficiënt		
	-30%	0%	30%
5%	0,056	0,048	0,044
2%	0,046	0,039	0,034

¹⁾ Resultaten verkregen met Tygron Platform Preview. De resultaten weergeven de waarden net na de bui.

²⁾ Resultaten verkregen met Tygron Platform LTS. De resultaten weergeven de waarden net na de bui.

³⁾ Resultaten verkregen met Tygron Platform LTS. De resultaten weergeven de maximale waarde tijdens de bui.

Bijlage M – Resultaten gevoeligheidsanalyse referentie evaporatie van agrarisch gras

M.1. Waterdieptes op maaiveld bij een referentie evaporatie van 2,14 mm/dag en 3,98 mm/dag

Tabel 148: Waarde waterdiepte bij 2,14 mm/dag referentie evaporatie²⁾

Waterdiepte op maaiveld van agrarisch gras [cm]			
Helling	Verandering gewasfactor		
	-30%	0%	30%
5%	0,17	0,17	0,17
2%	0,29	0,29	0,29

Tabel 151: Waarde waterdiepte bij 3,98 mm/dag referentie evaporatie²⁾

Waterdiepte op maaiveld van agrarisch gras [cm]			
Helling	Verandering gewasfactor		
	-30%	0%	30%
5%	0,17	0,17	0,17
2%	0,29	0,29	0,29

Tabel 149: Waarde waterdiepte bij 2,14 mm/dag referentie evaporatie²⁾

Waterdiepte op maaiveld van agrarisch gras [cm]			
Helling	Verandering Manning coëfficiënt		
	-30%	0%	30%
5%	0,11	0,17	0,24
2%	0,19	0,29	0,38

Tabel 152: Waarde waterdiepte bij 3,98 mm/dag referentie evaporatie²⁾

Waterdiepte op maaiveld van agrarisch gras [cm]			
Helling	Verandering Manning coëfficiënt		
	-30%	0%	30%
5%	0,11	0,17	0,23
2%	0,19	0,29	0,37

Tabel 150: Waarde waterdiepte bij 2,14 mm/dag referentie evaporatie²⁾

Waterdiepte op maaiveld van agrarisch gras [cm]			
Helling	Verandering interceptie		
	-30%	0%	30%
5%	0,17	0,17	0,17
2%	0,29	0,29	0,29

Tabel 153: Waarde waterdiepte bij 3,98 mm/dag referentie evaporatie²⁾

Waterdiepte op maaiveld van agrarisch gras [cm]			
Helling	Verandering Interceptie		
	-30%	0%	30%
5%	0,17	0,17	0,17
2%	0,29	0,29	0,29

¹⁾ Resultaten verkregen met Tygron Platform Preview. De resultaten weergeven de waarden net na de bui.

²⁾ Resultaten verkregen met Tygron Platform LTS. De resultaten weergeven de waarden net na de bui.

³⁾ Resultaten verkregen met Tygron Platform LTS. De resultaten weergeven de maximale waarde tijdens de bui.

M.2. Snelheid over maaiveld bij een referentie evaporatie van 2,14 mm/dag en 3,98 mm/dag

Tabel 154: waarde snelheid bij 2,14 mm/dag referentie evaporatie²⁾

Snelheid over maaiveld van agrarisch gras [m/s]			
Helling	Verandering gewasfactor		
	-30%	0%	30%
5%	0,007	0,007	0,007
2%	0,014	0,014	0,014

Tabel 157: waarde snelheid bij 3,98 mm/dag referentie evaporatie²⁾

Snelheid over maaiveld van agrarisch gras [m/s]			
Helling	Verandering gewasfactor		
	-30%	0%	30%
5%	0,007	0,007	0,007
2%	0,014	0,014	0,014

Tabel 155: waarde snelheid bij 2,14 mm/dag referentie evaporatie²⁾

Snelheid over maaiveld van agrarisch gras [m/s]			
Helling	Verandering Manning coëfficiënt		
	-30%	0%	30%
5%	0,006	0,007	0,009
2%	0,012	0,014	0,015

Tabel 158: waarde snelheid bij 3,98 mm/dag referentie evaporatie²⁾

Snelheid over maaiveld van agrarisch gras [m/s]			
Helling	Verandering Manning coëfficiënt		
	-30%	0%	30%
5%	0,006	0,007	0,008
2%	0,012	0,014	0,015

Tabel 156: waarde snelheid bij 2,14 mm/dag referentie evaporatie²⁾

Snelheid over maaiveld van agrarisch gras [m/s]			
Helling	Verandering interceptie		
	-30%	0%	30%
5%	0,007	0,007	0,007
2%	0,014	0,014	0,014

Tabel 159: waarde snelheid bij 3,98 mm/dag referentie evaporatie²⁾

Snelheid over maaiveld van agrarisch gras [m/s]			
Helling	Verandering interceptie		
	-30%	0%	30%
5%	0,007	0,007	0,007
2%	0,014	0,014	0,014

¹⁾ Resultaten verkregen met Tygron Platform Preview. De resultaten weergeven de waarden net na de bui.

²⁾ Resultaten verkregen met Tygron Platform LTS. De resultaten weergeven de waarden net na de bui.

³⁾ Resultaten verkregen met Tygron Platform LTS. De resultaten weergeven de maximale waarde tijdens de bui.

M.3. Totale evaporatie binnen één uur na 50 mm neerslag bij een referentie evaporatie van 2,14 mm/dag en 3,98 mm/dag

Tabel 160: waarde evaporatie bij 2,14 mm/dag referentie evaporatie²⁾

Evaporatie door agrarisch gras [mm]			
Helling	Verandering gewasfactor		
	-30%	0%	30%
5%	0,222	0,222	0,222
2%	0,222	0,222	0,222

Tabel 163: waarde evaporatie bij 3,98 mm/dag referentie evaporatie²⁾

Evaporatie door agrarisch gras [mm]			
Helling	Verandering gewasfactor		
	-30%	0%	30%
5%	0,414	0,414	0,414
2%	0,414	0,414	0,414

Tabel 161: waarde evaporatie bij 2,14 mm/dag referentie evaporatie²⁾

Evaporatie door agrarisch gras [mm]			
Helling	Verandering Manning coëfficiënt		
	-30%	0%	30%
5%	0,222	0,222	0,222
2%	0,222	0,222	0,222

Tabel 164: waarde evaporatie bij 3,98 mm/dag referentie evaporatie²⁾

Evaporatie door agrarisch gras [mm]			
Helling	Verandering Manning coëfficiënt		
	-30%	0%	30%
5%	0,414	0,414	0,414
2%	0,414	0,414	0,414

Tabel 162: waarde evaporatie bij 2,14 mm/dag referentie evaporatie²⁾

Evaporatie door agrarisch gras [mm]			
Helling	Verandering interceptie		
	-30%	0%	30%
5%	0,225	0,222	0,219
2%	0,225	0,222	0,219

Tabel 165: waarde evaporatie bij 3,98 mm/dag referentie evaporatie²⁾

Evaporatie door agrarisch gras [mm]			
Helling	Verandering interceptie		
	-30%	0%	30%
5%	0,419	0,414	0,409
2%	0,419	0,414	0,409

¹⁾ Resultaten verkregen met Tygron Platform Preview. De resultaten weergeven de waarden net na de bui.

²⁾ Resultaten verkregen met Tygron Platform LTS. De resultaten weergeven de waarden net na de bui.

³⁾ Resultaten verkregen met Tygron Platform LTS. De resultaten weergeven de maximale waarde tijdens de bui.

Bijlage N – Resultaten gevoeligheidsanalyse referentie evaporatie van loofbos

N.1. Waterdieptes op maaiveld bij een referentie evaporatie van 2,14 mm/dag en 3,98 mm/dag

Tabel 166: Waarde waterdiepte bij 2,14 mm/dag referentie evaporatie²⁾

Waterdiepte op maaiveld van loofbos [cm]			
Helling	Verandering gewasfactor		
	-30%	0%	30%
5%	0,90	0,90	0,90
2%	1,27	1,27	1,27

Tabel 169: Waarde waterdiepte bij 3,98 mm/dag referentie evaporatie²⁾

Waterdiepte op maaiveld van loofbos [cm]			
Helling	Verandering gewasfactor		
	-30%	0%	30%
5%	0,90	0,90	0,90
2%	1,27	1,27	1,27

Tabel 167: Waarde waterdiepte bij 2,14 mm/dag referentie evaporatie²⁾

Waterdiepte op maaiveld van loofbos [cm]			
Helling	Verandering Manning coëfficiënt		
	-30%	0%	30%
5%	0,67	0,90	1,12
2%	0,96	1,27	1,55

Tabel 170: Waarde waterdiepte bij 3,98 mm/dag referentie evaporatie²⁾

Waterdiepte op maaiveld van loofbos [cm]			
Helling	Verandering Manning coëfficiënt		
	-30%	0%	30%
5%	0,67	0,90	1,11
2%	0,96	1,27	1,55

Tabel 168: Waarde waterdiepte bij 2,14 mm/dag referentie evaporatie²⁾

Waterdiepte op maaiveld van loofbos [cm]			
Helling	Verandering interceptie		
	-30%	0%	30%
5%	0,86	0,90	0,92
2%	1,27	1,27	1,28

Tabel 171: Waarde waterdiepte bij 3,98 mm/dag referentie evaporatie²⁾

Waterdiepte op maaiveld van loofbos [cm]			
Helling	Verandering interceptie		
	-30%	0%	30%
5%	0,86	0,90	0,92
2%	1,27	1,27	1,27

¹⁾ Resultaten verkregen met Tygron Platform Preview. De resultaten weergeven de waarden net na de bui.

²⁾ Resultaten verkregen met Tygron Platform LTS. De resultaten weergeven de waarden net na de bui.

³⁾ Resultaten verkregen met Tygron Platform LTS. De resultaten weergeven de maximale waarde tijdens de bui.

N.2. Snelheid over maaiveld bij een referentie evaporatie van 2,14 mm/dag en 3,98 mm/dag

Tabel 172: waarde snelheid bij 2,14 mm/dag referentie evaporatie²⁾

Snelheid over maaiveld van loofbos [m/s]			
Helling	Verandering gewasfactor		
	-30%	0%	30%
5%	0,009	0,009	0,009
2%	0,013	0,013	0,013

Tabel 175: waarde snelheid bij 3,98 mm/dag referentie evaporatie²⁾

Snelheid over maaiveld van loofbos [m/s]			
Helling	Verandering gewasfactor		
	-30%	0%	30%
5%	0,009	0,009	0,010
2%	0,014	0,014	0,014

Tabel 173: waarde snelheid bij 2,14 mm/dag referentie evaporatie²⁾

Snelheid over maaiveld van loofbos [m/s]			
Helling	Verandering Manning coëfficiënt		
	-30%	0%	30%
5%	0,010	0,009	0,009
2%	0,015	0,014	0,017

Tabel 176: waarde snelheid bij 3,98 mm/dag referentie evaporatie²⁾

Snelheid over maaiveld van loofbos [m/s]			
Helling	Verandering Manning coëfficiënt		
	-30%	0%	30%
5%	0,010	0,009	0,009
2%	0,014	0,014	0,017

Tabel 174: waarde snelheid bij 2,14 mm/dag referentie evaporatie²⁾

Snelheid over maaiveld van loofbos [m/s]			
Helling	Verandering interceptie		
	-30%	0%	30%
5%	0,009	0,009	0,010
2%	0,014	0,014	0,014

Tabel 177: waarde snelheid bij 3,98 mm/dag referentie evaporatie²⁾

Snelheid over maaiveld van loofbos [m/s]			
Helling	Verandering interceptie		
	-30%	0%	30%
5%	0,009	0,009	0,010
2%	0,014	0,014	0,014

¹⁾ Resultaten verkregen met Tygron Platform Preview. De resultaten weergeven de waarden net na de bui.

²⁾ Resultaten verkregen met Tygron Platform LTS. De resultaten weergeven de waarden net na de bui.

³⁾ Resultaten verkregen met Tygron Platform LTS. De resultaten weergeven de maximale waarde tijdens de bui.

N.3. Totale evaporatie binnen één uur na 50mm neerslag bij een referentie evaporatie van 2,14 mm/dag en 3,98 mm/dag

Tabel 178: waarde evaporatie bij 2,14 mm/dag referentie evaporatie²⁾

Evaporatie door loofbos [mm]			
Helling	Verandering gewasfactor		
	-30%	0%	30%
5%	0,224	0,224	0,224
2%	0,224	0,224	0,224

Tabel 181: waarde evaporatie bij 3,98mm/dag referentie evaporatie²⁾

Evaporatie door loofbos [mm]			
Helling	Verandering gewasfactor		
	-30%	0%	30%
5%	0,224	0,224	0,224
2%	0,224	0,224	0,224

Tabel 179: waarde evaporatie bij 2,14 mm/dag referentie evaporatie²⁾

Evaporatie door loofbos [mm]			
Helling	Verandering Manning coëfficiënt		
	-30%	0%	30%
5%	0,224	0,224	0,224
2%	0,224	0,224	0,224

Tabel 182: waarde evaporatie bij 3,98 mm/dag referentie evaporatie²⁾

Evaporatie door loofbos [mm]			
Helling	Verandering Manning coëfficiënt		
	-30%	0%	30%
5%	0,418	0,418	0,418
2%	0,418	0,418	0,418

Tabel 180: waarde evaporatie bij 2,14 mm/dag referentie evaporatie²⁾

Evaporatie door loofbos [mm]			
Helling	Verandering interceptie		
	-30%	0%	30%
5%	0,226	0,224	0,222
2%	0,226	0,224	0,222

Tabel 183: waarde evaporatie bij 3,98 mm/dag referentie evaporatie²⁾

Evaporatie door loofbos [mm]			
Helling	Verandering interceptie		
	-30%	0%	30%
5%	0,422	0,418	0,414
2%	0,422	0,418	0,414

¹⁾ Resultaten verkregen met Tygron Platform Preview. De resultaten weergeven de waarden net na de bui.

²⁾ Resultaten verkregen met Tygron Platform LTS. De resultaten weergeven de waarden net na de bui.

³⁾ Resultaten verkregen met Tygron Platform LTS. De resultaten weergeven de maximale waarde tijdens de bui.

Bijlage O – Resultaten gevoeligheidsanalyse bij een intensiteit van 50 mm/dag

O.1. Gevoeligheid voor Manning coëfficiënt

Tabel 184: Waarde waterdiepte van agrarisch gras²⁾

Waterdiepte op maaiveld van agrarisch gras [cm]			
Helling	Verandering Manning coëfficiënt		
	-30%	0%	30%
5%	0,06	0,07	0,08
2%	0,07	0,09	0,10

Tabel 186: Waarde evaporatie van agrarisch gras²⁾

Evaporatie door agrarisch gras [mm]			
Helling	Verandering Manning coëfficiënt		
	-30%	0%	30%
5%	4,13	4,12	4,12
2%	4,12	4,12	4,12

Tabel 185: Waarde stroomsnelheid van agrarisch gras²⁾

Snelheid over maaiveld van agrarisch gras [m/s]			
Helling	Verandering Manning coëfficiënt		
	-30%	0%	30%
5%	0,005	0,004	0,004
2%	0,005	0,004	0,004

O.2. Gevoeligheid voor gewasfactor

Tabel 187: Waarde waterdiepte van agrarisch gras²⁾

Waterdiepte op maaiveld van agrarisch gras [cm]			
Helling	Verandering gewasfactor		
	-30%	0%	30%
5%	0,07	0,07	0,07
2%	0,08	0,09	0,08

Tabel 189: Waarde evaporatie van agrarisch gras²⁾

Evaporatie door agrarisch gras [mm]			
Helling	Verandering gewasfactor		
	-30%	0%	30%
5%	4,12	4,12	4,12
2%	4,12	4,12	4,12

Tabel 188: Waarde stroomsnelheid van agrarisch gras²⁾

Snelheid over maaiveld van agrarisch gras [m/s]			
Helling	Verandering gewasfactor		
	-30%	0%	30%
5%	0,005	0,005	0,005
2%	0,008	0,008	0,008

¹⁾ Resultaten verkregen met Tygron Platform Preview. De resultaten weergeven de waarden net na de bui.

²⁾ Resultaten verkregen met Tygron Platform LTS. De resultaten weergeven de waarden net na de bui.

³⁾ Resultaten verkregen met Tygron Platform LTS. De resultaten weergeven de maximale waarde tijdens de bui.

O.3. Gevoeligheid voor interceptie

Tabel 190: Waarde waterdiepte van agrarisch gras²⁾

Waterdiepte op maaiveld van agrarisch gras [cm]			
Helling	Verandering interceptie		
	-30%	0%	30%
5%	0,07	0,07	0,07
2%	0,09	0,09	0,09

Tabel 192: Waarde evaporatie van agrarisch gras²⁾

Evaporatie door agrarisch gras [mm]			
Helling	Verandering interceptie		
	-30%	0%	30%
5%	4,23	4,12	4,01
2%	4,23	4,12	4,00

Tabel 191: Waarde stroomsnelheid van agrarisch gras²⁾

Snelheid over maaiveld van agrarisch gras [m/s]			
Helling	Verandering interceptie		
	-30%	0%	30%
5%	0,029	0,029	0,029
2%	0,040	0,040	0,040

¹⁾ Resultaten verkregen met Tygron Platform Preview. De resultaten weergeven de waarden net na de bui.

²⁾ Resultaten verkregen met Tygron Platform LTS. De resultaten weergeven de waarden net na de bui.

³⁾ Resultaten verkregen met Tygron Platform LTS. De resultaten weergeven de maximale waarde tijdens de bui.

Bijlage P – Maximale waterdiepte en stroomsnelheid bij verschillende neerslagintensiteiten

P.1. Gevoeligheid van waterdiepte en stroomsnelheid voor Manning coëfficiënt

Tabel 193: Waarde waterdiepte bij neerslagintensiteit van 20 mm/uur³⁾

Waterdiepte op maaiveld van agrarisch gras [cm]			
Helling	Verandering Manning coëfficiënt		
	-30%	0%	30%
10%	0,18	0,21	0,24
5%	0,21	0,26	0,30
2%	0,27	0,33	0,39

Tabel 197: Waarde stroomsnelheid bij neerslagintensiteit van 20 mm/uur³⁾

Snelheid over maaiveld van agrarisch gras [m/s]			
Helling	Verandering Manning coëfficiënt		
	-30%	0%	30%
10%	0,009	0,008	0,007
5%	0,013	0,012	0,011
2%	0,019	0,017	0,015

Tabel 194: Waarde waterdiepte bij neerslagintensiteit van 50 mm/uur³⁾

Waterdiepte op maaiveld van agrarisch gras [cm]			
Helling	Verandering Manning coëfficiënt		
	-30%	0%	30%
10%	0,32	0,37	0,42
5%	0,36	0,44	0,52
2%	0,47	0,58	0,68

Tabel 198: Waarde stroomsnelheid bij neerslagintensiteit van 50 mm/uur³⁾

Snelheid over maaiveld van agrarisch gras [m/s]			
Helling	Verandering Manning coëfficiënt		
	-30%	0%	30%
10%	0,018	0,016	0,014
5%	0,026	0,023	0,021
2%	0,035	0,032	0,029

Tabel 195: Waarde waterdiepte bij neerslagintensiteit van 70 mm/uur³⁾

Waterdiepte op maaiveld van agrarisch gras [cm]			
Helling	Verandering Manning coëfficiënt		
	-30%	0%	30%
10%	0,39	0,46	0,52
5%	0,44	0,54	0,64
2%	0,57	0,71	0,84

Tabel 199: Waarde stroomsnelheid bij neerslagintensiteit van 70 mm/uur³⁾

Snelheid over maaiveld van agrarisch gras [m/s]			
Helling	Verandering Manning coëfficiënt		
	-30%	0%	30%
10%	0,023	0,021	0,019
5%	0,032	0,029	0,027
2%	0,045	0,040	0,037

Tabel 196: Waarde waterdiepte bij neerslagintensiteit van 50 mm/dag³⁾

Waterdiepte op maaiveld van agrarisch gras [cm]			
Helling	Verandering Manning coëfficiënt		
	-30%	0%	30%
10%	0,06	0,06	0,07
5%	0,06	0,07	0,08
2%	0,07	0,09	0,10

Tabel 200: Waarde stroomsnelheid bij neerslagintensiteit van 50 mm/dag³⁾

Snelheid over maaiveld van agrarisch gras [m/s]			
Helling	Verandering Manning coëfficiënt		
	-30%	0%	30%
10%	0,002	0,002	0,002
5%	0,005	0,004	0,004
2%	0,005	0,004	0,004

¹⁾ Resultaten verkregen met Tygron Platform Preview. De resultaten weergeven de waarden net na de bui.

²⁾ Resultaten verkregen met Tygron Platform LTS. De resultaten weergeven de waarden net na de bui.

³⁾ Resultaten verkregen met Tygron Platform LTS. De resultaten weergeven de maximale waarde tijdens de bui.

P.2. Gevoeligheid waterdiepte en stroomsnelheid voor gewasfactor

Tabel 201: Waarde waterdiepte bij neerslagintensiteit van 20 mm/uur³⁾

Waterdiepte op maaiveld van agrarisch gras [cm]			
Helling	Verandering gewasfactor		
	-30%	0%	30%
10%	0,21	0,21	0,21
5%	0,26	0,26	0,26
2%	0,33	0,33	0,33

Tabel 205: Waarde stroomsnelheid bij neerslagintensiteit van 20 mm/uur³⁾

Snelheid over maaiveld van agrarisch gras [m/s]			
Helling	Verandering gewasfactor		
	-30%	0%	30%
10%	0,008	0,008	0,008
5%	0,012	0,012	0,012
2%	0,017	0,017	0,017

Tabel 202: Waarde waterdiepte bij neerslagintensiteit van 50 mm/uur³⁾

Waterdiepte op maaiveld van agrarisch gras [cm]			
Helling	Verandering gewasfactor		
	-30%	0%	30%
10%	0,37	0,37	0,37
5%	0,44	0,44	0,44
2%	0,58	0,58	0,58

Tabel 206: Waarde stroomsnelheid bij neerslagintensiteit van 50 mm/dag³⁾

Snelheid over maaiveld van agrarisch gras [m/s]			
Helling	Verandering gewasfactor		
	-30%	0%	30%
10%	0,016	0,016	0,016
5%	0,023	0,023	0,023
2%	0,032	0,032	0,032

Tabel 203: Waarde waterdiepte bij neerslagintensiteit van 70 mm/uur³⁾

Waterdiepte op maaiveld van agrarisch gras [cm]			
Helling	Verandering gewasfactor		
	-30%	0%	30%
10%	0,46	0,46	0,46
5%	0,54	0,54	0,54
2%	0,71	0,71	0,71

Tabel 207: Waarde stroomsnelheid bij neerslagintensiteit van 70 mm/uur³⁾

Snelheid over maaiveld van agrarisch gras [m/s]			
Helling	Verandering gewasfactor		
	-30%	0%	30%
10%	0,021	0,021	0,021
5%	0,029	0,029	0,029
2%	0,040	0,040	0,040

Tabel 204: Waarde waterdiepte bij neerslagintensiteit van 50 mm/dag³⁾

Waterdiepte op maaiveld van agrarisch gras [cm]			
Helling	Verandering gewasfactor		
	-30%	0%	30%
10%	0,06	0,06	0,06
5%	0,07	0,07	0,07
2%	0,08	0,09	0,08

Tabel 208: Waarde stroomsnelheid bij neerslagintensiteit van 50 mm/dag³⁾

Snelheid over maaiveld van agrarisch gras [m/s]			
Helling	Verandering gewasfactor		
	-30%	0%	30%
10%	0,002	0,002	0,002
5%	0,005	0,005	0,005
2%	0,008	0,008	0,008

¹⁾ Resultaten verkregen met Tygron Platform Preview. De resultaten weergeven de waarden net na de bui.

²⁾ Resultaten verkregen met Tygron Platform LTS. De resultaten weergeven de waarden net na de bui.

³⁾ Resultaten verkregen met Tygron Platform LTS. De resultaten weergeven de maximale waarde tijdens de bui.

P.3. Gevoeligheid waterdiepte en stroomsnelheid voor interceptie

Tabel 209: Waarde waterdiepte bij neerslagintensiteit van 20 mm/uur³⁾

Waterdiepte op maaiveld van agrarisch gras [cm]			
Helling	Verandering interceptie		
	-30%	0%	30%
10%	0,21	0,21	0,21
5%	0,26	0,26	0,26
2%	0,33	0,34	0,34

Tabel 213: Waarde stroomsnelheid bij neerslagintensiteit van 20 mm/uur³⁾

Snelheid over maaiveld van agrarisch gras [m/s]			
Helling	Verandering interceptie		
	-30%	0%	30%
10%	0,008	0,008	0,008
5%	0,012	0,012	0,012
2%	0,017	0,017	0,017

Tabel 210: Waarde waterdiepte bij neerslagintensiteit van 50 mm/uur³⁾

Waterdiepte op maaiveld van agrarisch gras [cm]			
Helling	Verandering interceptie		
	-30%	0%	30%
10%	0,38	0,37	0,37
5%	0,44	0,44	0,44
2%	0,58	0,58	0,58

Tabel 214: Waarde stroomsnelheid bij neerslagintensiteit van 50 mm/uur³⁾

Snelheid over maaiveld van agrarisch gras [m/s]			
Helling	Verandering interceptie		
	-30%	0%	30%
10%	0,016	0,016	0,016
5%	0,023	0,023	0,023
2%	0,032	0,032	0,032

Tabel 211: Waarde waterdiepte bij neerslagintensiteit van 70 mm/dag³⁾

Waterdiepte op maaiveld van agrarisch gras [cm]			
Helling	Verandering interceptie		
	-30%	0%	30%
10%	0,46	0,46	0,46
5%	0,54	0,54	0,54
2%	0,71	0,71	0,71

Tabel 215: Waarde stroomsnelheid bij neerslagintensiteit van 70 mm/uur³⁾

Snelheid over maaiveld van agrarisch gras [m/s]			
Helling	Verandering interceptie		
	-30%	0%	30%
10%	0,016	0,016	0,016
5%	0,023	0,023	0,023
2%	0,032	0,032	0,032

Tabel 212: Waarde waterdiepte bij neerslagintensiteit van 50 mm/dag³⁾

Waterdiepte op maaiveld van agrarisch gras [cm]			
Helling	Verandering interceptie		
	-30%	0%	30%
10%	0,06	0,05	0,05
5%	0,07	0,07	0,07
2%	0,09	0,09	0,09

Tabel 216: Waarde stroomsnelheid bij neerslagintensiteit van 50 mm/dag³⁾

Snelheid over maaiveld van agrarisch gras [m/s]			
Helling	Verandering interceptie		
	-30%	0%	30%
10%	0,021	0,021	0,021
5%	0,029	0,029	0,029
2%	0,040	0,040	0,040

¹⁾ Resultaten verkregen met Tygron Platform Preview. De resultaten weergeven de waarden net na de bui.

²⁾ Resultaten verkregen met Tygron Platform LTS. De resultaten weergeven de waarden net na de bui.

³⁾ Resultaten verkregen met Tygron Platform LTS. De resultaten weergeven de maximale waarde tijdens de bui.

Bijlage Q – Resultaten na update van Tygron

Deze resultaten zijn verkregen na een update van Tygron na aanleiding van voorgenoemde resultaten. Onderstaande tabellen weergeven de resultaten bij een neerslagintensiteit van 50 mm/uur.

Tabel 217: Waarde snelheid van agrarisch gras

Snelheid over maaiveld van agrarisch gras [m/s]			
Helling	Verandering Manning coëfficiënt		
	-30%	0%	30%
10%	0,23	0,19	0,16
5%	0,19	0,15	0,13
2%	0,15	0,12	0,11

Tabel 220: Waarde snelheid van agrarisch gras

Snelheid over maaiveld van agrarisch gras [m/s]			
Helling	Verandering gewasfactor		
	-30%	0%	30%
10%	0,19	0,19	0,19
5%	0,15	0,15	0,15
2%	0,12	0,12	0,12

Tabel 223: Waarde snelheid van agrarisch gras

Snelheid over maaiveld van agrarisch gras [m/s]			
Helling	Verandering interceptie		
	-30%	0%	30%
10%	0,19	0,19	0,19
5%	0,15	0,15	0,15
2%	0,12	0,12	0,12

Tabel 218: Waarde waterdiepte van agrarisch gras

Waterdiepte op maaiveld van agrarisch gras [cm]			
Helling	Verandering Manning coëfficiënt		
	-30%	0%	30%
10%	0,29	0,35	0,41
5%	0,36	0,45	0,53
2%	0,48	0,59	0,69

Tabel 221: Waarde waterdiepte van agrarisch gras

Waterdiepte op maaiveld van agrarisch gras [cm]			
Helling	Verandering gewasfactor		
	-30%	0%	30%
10%	0,36	0,36	0,36
5%	0,45	0,45	0,45
2%	0,59	0,59	0,59

Tabel 224: Waarde waterdiepte van agrarisch gras

Waterdiepte op maaiveld van agrarisch gras [cm]			
Helling	Verandering interceptie		
	-30%	0%	30%
10%	0,35	0,35	0,35
5%	0,45	0,45	0,45
2%	0,59	0,59	0,59

Tabel 219: Waarde afvoer van agrarisch gras

Afvoer over maaiveld van agrarisch gras [m³/s]			
Helling	Verandering Manning coëfficiënt		
	-30%	0%	30%
10%	0,553	0,553	0,553
5%	0,575	0,575	0,575
2%	0,575	0,575	0,575

Tabel 222: Waarde afvoer van agrarisch gras

Afvoer over maaiveld van agrarisch gras [m³/s]			
Helling	Verandering gewasfactor		
	-30%	0%	30%
10%	0,553	0,553	0,553
5%	0,575	0,575	0,575
2%	0,575	0,575	0,575

Tabel 225: Waarde waterdiepte van agrarisch gras

Afvoer over maaiveld van agrarisch gras [m³/s]			
Helling	Verandering interceptie		
	-30%	0%	30%
10%	0,567	0,553	0,538
5%	0,591	0,575	0,560
2%	0,590	0,575	0,560

