# Maatgevende afvoer en maaiveldafvoer in waterschap Vechtstromen

Beschouwing over de bruikbaarheid van afvoernormen voor bepaling van de maatgevende afvoer, als gevolg van veranderingen in de waterhuishouding en het optreden van maaiveldafvoer

H.Th.L. Massop, P.J.T. van Bakel, P.G.B. de Louw

WAGENINGEN UNIVERSITY & RESEARCH
de bakelse stroom BRON VAN KENNIS
Deltares Enabling Delta Life

# Maatgevende afvoer en maaiveldafvoer in waterschap Vechtstromen

Beschouwing over de bruikbaarheid van afvoernormen voor bepaling van de maatgevende afvoer, als gevolg van veranderingen in de waterhuishouding en het optreden van maaiveldafvoer

H.Th.L. Massop, P.J.T. van Bakel[1], P.G.B. de Louw[2]

1 De Bakelse Stroom

2 Deltares

Dit onderzoek is uitgevoerd door Wageningen Environmental Research (Alterra), De Bakelse Stroom en Deltares in opdracht van en gefinancierd door het waterschap Vechtstromen.

Wageningen Environmental Research
Wageningen, oktober 2017

Rapport 2839
ISSN 1566-7197

Massop, H.Th.L., P.J.T. van Bakel en P.G.B. de Louw, 2017. *Maatgevende afvoer en maaiveldafvoer in waterschap Vechtstromen; Beschouwing over de bruikbaarheid van afvoernormen voor bepaling van de maatgevende afvoer, als gevolg van veranderingen in de waterhuishouding en het optreden van maaiveldafvoer.* Wageningen, Wageningen Environmental Research, Rapport 2839. 74 blz.; 47 fig.; 18 tab.; 28 ref.

Om de status van een waterloop vast te stellen (wel of niet in beheer nemen of houden door het waterschap), heeft waterschap Vechtstromen een methode toegepast waarbij de maatgevende afvoer (de dagafvoer die gemiddeld één keer per jaar wordt bereikt of overschreden) werd bepaald met één metarelatie tussen GHG en maatgevende afvoer. De uitgevoerde evaluatie van die methode leidde tot de conclusie dat deze methode niet goed toepasbaar is voor gedraineerde gebieden, maar ook niet goed was toegepast. Een belangrijke omissie is het ontbreken van kennis over het optreden van maaiveldafvoer. In de zomerperiode is de infiltratiecapaciteit van de bodem het meest bepalend; voor de winterperiode de berging in en op het maaiveld. De ruimtelijke en temporele variabiliteiten ervan zijn groot en moeilijk in het veld vast te stellen. Voor herhalingstijden van 1 en 10 jaar is de kans op maaiveldafvoer berekend. De met GIS-data gemaakte kaartbeelden geven aan dat maaiveldafvoer een belangrijke bijdrage kan leveren aan de maatgevende afvoer en dat die door klimaatverandering zal toenemen.

In determine the status of a watercourse (whether or not to be managed by the waterboard), the Dutch waterboard Vechtstromen applied a method where the design-discharge was generated with a typical relation between mean highest water table and this discharge. Evaluation of this approach led to the conclusion that this method has some drawbacks and it was not applied properly. A major omission is the lack of knowledge about the process of surface runoff. During the summer period the infiltration capacity of the soil is the most important property; during the winter period the storage capacity in and on the soil is the most decisive variable. Its spatial and temporal variabilities are high and difficult to determine in the field. For return periods of 1 and 10 years the probability of surface runoff was calculated. The GIS-based maps indicate that surface runoff can contribute considerably to the discharge, and climate change will have an increasing effect.

Trefwoorden: afvoernormen, maatgevende afvoer, buisdrainage, harmonisatie legger, maaiveldafvoer, infiltratiecapaciteit, klimaatverandering

Dit rapport is gratis te downloaden van https://doi.org/10.18174/425042 of op www.wur.nl/environmental-research (ga naar 'Wageningen Environmental Research' in de grijze balk onderaan). Wageningen Environmental Research verstrekt *geen* gedrukte exemplaren van rapporten.

© 2017 Wageningen Environmental Research (instituut binnen de rechtspersoon Stichting Wageningen Research), Postbus 47, 6700 AA Wageningen, T 0317 48 07 00, E info.alterra@wur.nl, www.wur.nl/environmental-research. Wageningen Environmental Research is onderdeel van Wageningen University & Research.

- Overname, verveelvoudiging of openbaarmaking van deze uitgave is toegestaan mits met duidelijke bronvermelding.
- Overname, verveelvoudiging of openbaarmaking is niet toegestaan voor commerciële doeleinden en/of geldelijk gewin.
- Overname, verveelvoudiging of openbaarmaking is niet toegestaan voor die gedeelten van deze uitgave waarvan duidelijk is dat de auteursrechten liggen bij derden en/of zijn voorbehouden.

Wageningen Environmental Research aanvaardt geen aansprakelijkheid voor eventuele schade voortvloeiend uit het gebruik van de resultaten van dit onderzoek of de toepassing van de adviezen.

Wageningen Environmental Research Rapport 2839 | ISSN 1566-7197

Foto omslag: P.J.T. van Bakel

# Inhoud


**Woord vooraf** **5**

**Samenvatting** **7**

**1 Inleiding** **9**

1.1 Aanleiding 9
1.2 Toepassing MA-methode door waterschap Vechtstromen 9
1.3 Probleem- en doelstelling 10
1.4 Leeswijzer 10

**2 Enige achtergronden bij het gebruik van afvoernormen** **11**

2.1 Historische schets 11
2.2 Van afvoernormen naar MA en gebruik van de MA 13
2.3 Kritische kanttekeningen bij de MA-methode 14
2.4 Conclusies 16

**3 Analyse van de door waterschap Vechtstromen verstrekte informatie voor bepaling van de MA** **17**

3.1 Inleiding 17
3.2 De relatie tussen GHG en afvoernorm 17
3.3 De GHG 21
3.4 De afvoernorm 23
3.5 Buisdrainage 25

**4 Maaiveldafvoer in beeld** **27**

4.1 Inleiding 27
4.2 Uitgangspunten 27
4.3 Werkwijze 27
4.3.1 Zomersituatie 27
4.3.2 Wintersituatie 28
4.4 Basisdata 29
4.4.1 Selectie neerslag-events 29
4.4.2 Infiltratiecapaciteit 32
4.5 Resultaten 33
4.5.1 Potentiële maaiveldafvoer zomer 33
4.5.2 Potentiële maaiveldafvoer winter 35
4.5.3 Berging op het maaiveld 38
4.5.4 Maaiveldafvoer in de zomersituatie 41
4.5.5 Maaiveldafvoer in de wintersituatie 42
4.6 Klimaatverandering 44
4.6.1 Neerslag in 2050 bij $W_H$-centraal-scenario 44
4.6.2 Zomerperiode 45
4.6.3 Winterperiode 45
4.7 Discussie over de bepaling van de maaiveldafvoer 47

**5 Conclusies en aanbevelingen 49**

5.1 Conclusies 49
5.1.1 Conclusies met betrekking tot bepaling van de maatgevende afvoer 49
5.1.2 Conclusies met betrekking tot bepaling van de maaiveldafvoer 49
5.2 Aanbevelingen 50
5.2.1 Aanbevelingen met betrekking tot de bepaling van de maatgevende afvoer 50
5.2.2 Aanbevelingen met betrekking tot bepaling van de maaiveldafvoer 50

**Literatuur 52**

**Bijlage 1 Verloop van enkele geselecteerde buien (in mm) op vliegveld Twente voor de zomerperiode 54**

**Bijlage 2 Verloop van enkele geselecteer-de buien (in mm) op vliegveld Twente voor de winterperiode 55**

**Bijlage 3 Inschatting infiltratiecapaciteit op basis van $k_{sat}$-waarde voor bovenste bouwstenen van de BOFEK2012-profielen 59**

**Bijlage 4 Sorptiviteit van de bodem 60**

**Bijlage 5 Effect van de spreiding in de grootte van de infiltratie-capaciteit op de maaiveldafvoer binnen een bodemeenheid voor bui T1 en T10 63**

**Bijlage 6 Selectie karakteristieke natte periode 65**

**Bijlage 7 Theorie over stroming en oppervlaktewaterafvoer 68**

# Woord vooraf

De auteurs bedanken Bas Worm en Stef Fortkamp voor de opmerkingen bij het rapport. Verder bedanken we Marius Heinen voor de collegiale review. Het rapport is goedgekeurd door Derk Rademaker, teamleider van het team Klimaatverandering.

# Samenvatting

Dit rapport beschrijft (1) een evaluatie van de MA-methodiek (Maatgevende Afvoer) toegepast voor de harmonisatie van de legger[1] van het waterschap Vechtstromen en brengt (2) de maaiveldafvoer voor het waterschapgebied in beeld.

Evaluatie MA-methodiek voor harmonisatie legger

De dimensionering van waterlopen en kunstwerken hangt af van de afvoerdynamiek i.c.m. functie-afhankelijke normen (bijvoorbeeld drooglegging bouwland, grasland, bos, natuur). De klassieke methode om de afvoer te bepalen, zoals beschreven in het Cultuurtechnisch Vademecum (CV), is op basis van afvoernormen de afvoer van een deelgebied te bepalen met een herhalingstijd van één jaar: de zogenoemde Maatgevende Afvoer (MA).

Ter ondersteuning van de gewenste gebiedsdekkende harmonisatie van de legger zijn voor het beheergebied van Vechtstromen afvoernormen bepaald op basis van de Alterra-methodiek, zoals beschreven in Van der Gaast en Massop (2008). In die Alterra-studie zijn voor het stroomgebied van voormalig waterschap Velt en Vecht, op basis van simulatie met SWAP, per stratum (combinatie van hydrotype, bodem en grondwatertrap) relaties gelegd tussen GHG en de MA. Als de GHG bekend is, is daarmee per waterloop de MA te bepalen, mits het bijbehorende stroomgebied bekend is. Deze MA's zijn bij de harmonisatie van de legger gebruikt om een scheiding aan te geven tussen leggerwaterlopen met een maatgevende afvoer groter en kleiner dan 20 l/s, waarbij de laatste categorie in principe uit de legger wordt gehaald (een aantal uitzonderingssituaties daargelaten).

De evaluatie van de MA-methodiek zoals toegepast door waterschap Vechtstromen heeft geleid tot de volgende conclusies:

Algemeen:

1. De relatie tussen GHG en MA is door allerlei waterhuishoudkundige maatregelen beslist niet eenduidig. Zo leidt de aanleg van buisdrainage tot een verstoring van de 'natuurlijke' relatie. Voor bepaling van de afvoernorm is er daarom een uitsplitsing nodig naar gedraineerde en ongedraineerde percelen.
2. Bij gebruik van de GHG berekend met regionale modellen of met perceelsmodellen kunnen er tal van inconsistenties en modelartefacten optreden. Bijvoorbeeld: bij gebruik van model-GHG's is er kans op systematische over-, maar vooral onderschatting van de afvoernorm, omdat de model-GHG veelal geen of onvoldoende rekening houdt met ondiep in het profiel voorkomende slecht doorlatende lagen.
3. Het proces van maaiveldafvoer is de grote onbekende, temeer omdat klimaatverandering en verandering van landgebruik hierop veel effect hebben.

Toegepast voor Vechtstromen:

4. Voor de bepaling van de afvoernormen zijn meerdere metarelaties (relatie tussen GHG en afvoernorm) beschikbaar terwijl slechts één metarelatie voor het gehele waterschap is toegepast. Het gebruik van meerdere metarelaties, afhankelijk van grondgebruik/inrichtingsvariant, geeft een betere benadering van de maatgevende afvoer dan de toepassing van één enkele relatie voor het gehele waterschap.
5. Voor het bepalen van de MA door het toepassen van de metarelaties is een goede schatting van de GHG essentieel. Voor de harmonisatie van de legger is de GHG gebruikt uit de beschikbare regionale grondwatermodellen. Het gebruik van een model-GHG voor het noordelijk gebied leidt tot aanzienlijke lagere afvoernormen dan gebruik van de GHG op basis van Gt-kk2010 uit Van der Gaast et al. (2010). Naar alle waarschijnlijkheid is de model-GHG systematisch te laag berekend in het beheergebied van voormalig Velt en Vecht. Dit blijkt ook uit het opmerkelijke verschil in model-GHG tussen het voormalig Velt en Vecht en het voormalig Regge en Dinkel (gemiddeld hogere GHG) gebied. Dit verschil is waarschijnlijk veroorzaakt door gebruik van verschillende

[1] Harmonisatie houdt in dat voor het gehele beheergebied van het waterschap dezelfde normen gelden en dezelfde service wordt aangeboden. De legger is een openbaar register van de beheerder, waarin onderhoudsplicht en de gewenste of vereiste (onderhouds)toestand van wateren, waterkeringen en andere waterhuishoudkundige werken en voorzieningen staan aangegeven, alsmede de keurbegrenzingen.

modelversies. De systematische verschillen tussen de twee beheergebieden zijn uit het oogpunt van uitlegbaarheid en rechtsgelijkheid ongewenst.

Maaiveldafvoer in beeld voor het waterschap

Piekafvoeren kunnen mede het gevolg zijn van maaiveldafvoer. Echter, de kennis over dit proces is nog beperkt, zowel procesmatig als parametrisch. Bovendien wordt bij gebruik van neerslagsommen op dagbasis de kans op optreden van maaiveldafvoer systematisch onderschat (piekbuien worden hierin niet goed herkend). Met de nu beschikbare kennis is de maaiveldafvoer in het waterschap Vechtstromen in beeld en beschreven in dit rapport.

Eerdere onderzoeken hebben aangetoond dat er een duidelijk verschil is tussen het optreden van maaiveldafvoer in de winter en in de zomer. In de zomer treden intensieve buien op die de bodeminfiltratiecapaciteit overschrijden en maaiveldafvoer optreedt. In de winter komen deze intensieve buien minder voor en zijn het vooral de zeer natte perioden die leiden tot een overschrijding van de bodemberging (grondwaterstand boven maaiveld) waardoor er maaiveldafvoer optreedt. De in dit project ontwikkelde methodiek houdt rekening met beide situaties. Voor zowel een zomerperiode als een winterperiode is een maatgevende bui (of reeks van buien) met een herhalingsinterval van 1 jaar (T1) en 10 jaar (T10) doorgerekend. Voor de zomer is een periode van 1 dag doorgerekend en voor de winter een periode van 8 dagen.

Samengevat komt de methodiek erop neer dat eerst wordt bepaald hoeveel water van de maatgevende bui de bodem infiltreert waarbij het overschot op het maaiveld achterblijft. Voor de zomerbuien is de infiltratiecapaciteit van de bodem hiervoor de beperkende factor. Voor de winterbui wordt bepaald hoeveel water in de bodem geborgen kan worden, waarbij rekening wordt gehouden met berging door het stijgen van de grondwaterstand en ondergrondse afvoer waardoor weer bergingsruimte ontstaat. Hierbij wordt uitgegaan van een GHG-situatie en bijbehorende maatgevende afvoer. Vervolgens wordt bepaald hoeveel water op het maaiveld geborgen kan worden door microreliëf (lokale laagtes) en in de strooisellaag. Door de maatgevende bui te verminderen met de totale bodemberging en maaiveldberging wordt de potentiële maaiveldafvoer verkregen. Vervolgens is deze potentiële maaiveldafvoer per afwateringseenheid gecumuleerd.

Voor de T1-situatie is voor zowel de winter- als zomersituatie voor grote delen van het beheergebied nauwelijks maaiveldafvoer berekend. Voor de T1-zomersituatie is er wel significante maaiveldafvoer berekend voor de omgeving Bargerveen, Vechtdal, dal van Drostendiep-Westerstroom, omgeving Daarle, ten westen van het Twentekanaal, omgeving van Hengelo-Oldenzaal en Dinkeldal. In de T10 is bijna overal maaiveldafvoer berekend, al lijkt er in de zomersituatie meer maaiveldafvoer op te treden dan in de wintersituatie. Gezien de verwachte klimaatverandering (nattere winters en intensievere zomerbuien) zal de kans op maaiveldafvoer in zowel de zomer als in de winter toenemen.

# 1 Inleiding

## 1.1 Aanleiding

De dimensionering van waterlopen en kunstwerken hangt af van de afvoerdynamiek i.c.m. functie-afhankelijke normen (bijvoorbeeld drooglegging bouwland, grasland, bos, natuur). De klassieke methode om de afvoer te bepalen, zoals beschreven in het Cultuurtechnisch Vademecum (CV; Werkgroep Cultuurtechnisch Vademecum, 1988), is op basis van afvoernormen de afvoer van een deelgebied te bepalen met een herhalingstijd van één jaar: de zogenoemde Maatgevende Afvoer (MA). In het vervolg noemen we dit de MA-methode.

De bij de MA behorende waterstanden in het afwateringssysteem wordt de Hoogwaterlijn (HW-lijn) genoemd. De halve en dubbele maatgevende afvoer (0,5 MA resp. 2 MA) hebben een herhalingstijd van 1/25 jaar (10 à 20 dagen per jaar is de dagafvoer hoger) respectievelijk 100 jaar. De bijbehorende waterstanden zijn de, respectievelijk, NW-lijn (Normaal Waternormpeil) en MW-lijn (Maximaal Waternormpeil). Voor zowel NW-, HW- als MW-lijn zijn normen geformuleerd voor de daarbij gewenste drooglegging (verschil tussen maaiveldhoogte en openwaterstand).

Om te toetsen of een watersysteem op orde is, worden tegenwoordig de NBW-normen[2] toegepast waarbij getoetst wordt of voor verschillende vormen van landgebruik de daarbij geformuleerde kans op inundatie wordt behaald, onderschreden of overschreden. Daarvoor wordt meestal een hydrologisch model gebruikt waarmee hetzij een langjarige reeks wordt gesimuleerd, hetzij de stochastenmethode[3] (combinatie van gebeurtenissen) wordt toegepast. Bij de NBW-toetsing wordt dus geen gebruikgemaakt van de eerder vermelde afvoernormen.

Dit betekent niet dat de klassieke MA-methode heeft afgedaan. Voor het waterschap Vechtstromen is recentelijk een variant van de MA-methode, aangeduid als de Alterra-methode, nog gebruikt om onderscheid aan te brengen tussen waterlopen die wel of niet in beheer bij het waterschap moeten blijven. Daarnaast stelt het waterschap zich de vraag hoe belangrijk daarbij de component maaiveldafvoer is in het beheergebied en hoe dit in relatie staat tot de gehanteerde MA.

## 1.2 Toepassing MA-methode door waterschap Vechtstromen

Ter ondersteuning van de gewenste gebiedsdekkende harmonisatie van de legger[4] zijn voor het beheergebied van Vechtstromen afvoernormen bepaald op basis van de Alterra-methodiek zoals beschreven in Van der Gaast en Massop (2008). In deze studie zijn voor het stroomgebied van voormalig waterschap Velt en Vecht op basis van simulatie met SWAP per stratum (combinatie van hydrotype, bodem en grondwatertrap) relaties gelegd tussen GHG en afvoerdichtheid (afvoer per eenheid van oppervlak). De afvoerdichtheid met een herhalingstijd van 1 jaar is de afvoernorm van het desbetreffende stratum. Daarmee is per waterloop de MA te bepalen, mits het bijbehorende stroomgebied bekend is. Deze MA's zijn bij de harmonisatie van de legger gebruikt om een scheiding

[2] Dit zijn normen opgenomen in het Nationaal Bestuursakkoord Water (NBW), Bijlage 2, waarbij de kans op overstroming is gerelateerd aan de economische waarde van landgebruik en de te verwachten schade bij overstroming. De normen drukken de hoogst toelaatbaar geachte kans op overstroming uit (ofwel het wenselijk geachte beschermingsniveau) voor de onderscheiden vormen van landgebruik, bijv. grasland 1/10 jaar, akkerbouw 1/25 jaar en bebouwd gebied 1/100 jaar.

[3] Zie ook http://62.148.170.210/meteobase/downloads/fixed/literatuur/Velner2011_STOWArapport_standaard_werkwijze_toetsen.pdf

[4] Door de fusie van Waterschap Regge en Dinkel met Waterschap Velt en Vecht per 1 januari 2014 werden 2 verschillende leggers gecombineerd tot 1. Daarbij is de wens geuit om hierin zo spoedig mogelijk uniformiteit aan te brengen.

aan te geven tussen leggerwaterlopen met een maatgevende afvoer (MA) groter en kleiner dan 20 l/s, waarbij de laatste categorie in principe uit de legger wordt gehaald (een aantal uitzonderingssituaties daargelaten). De vraag die daarbij gesteld is, is of de gebruikte relatie tussen GHG en afvoernorm correct is.

De afvoernorm is mede afhankelijk van de Gemiddeld Hoogste Grondwaterstand (GHG). Daarvoor is een met een gebiedsdekkend grondwatermodel bepaalde GHG gebruikt. De vraag is of deze model-GHG in voldoende mate in overeenstemming is met de werkelijke GHG.

Ook is het de vraag of door klimaatverandering en veranderingen in landgebruik de relatie tussen GHG en afvoernorm verandert.

Met de Alterra-methode wordt de maaiveldafvoer meegenomen voor zover de grondwaterstanden boven maaiveld uitkomen. Maaiveldafvoer als gevolg van overschrijden van de infiltratiecapaciteit wordt niet meegenomen of onvoldoende meegenomen, omdat wordt gerekend met neerslagsommen op dagbasis. Daarnaast spelen beperkingen door de parametrisatie van de afvoer over maaiveld en de beperkingen van een in essentie een-dimensionaal model als SWAP. Derhalve is een belangrijke vraag in hoeverre de maaiveldafvoer goed is meegenomen.

Bij de MA-methode zoals toegepast door waterschap Vechtstromen zijn de volgende vragen te stellen:
- Is de methode correct toegepast?
- Zijn de gehanteerde uitgangspunten correct? Bijvoorbeeld: is de gebruikte GHG in overeenstemming met de veldsituatie?
- Moet rekening worden gehouden met klimaatveranderingen en toekomstige veranderingen in landgebruik?
- Wordt voldoende rekening gehouden met hoogdynamische hydrologische processen, zoals berging van water op het maaiveld en maaiveldafvoer?

## 1.3 Probleem- en doelstelling

Waterschap Vechtstromen stelt zich de vraag of de MA-methode voor bepaling van de MA van kleine waterlopen correct is toegepast. Doelstelling 1 van het in dit rapport beschreven onderzoek is een oordeel te geven over de gebruikte methode en suggesties te doen voor verbetering of nader onderzoek. Doelstelling 2 van dit onderzoek is een risicokaart voor maaiveldafvoer te vervaardigen op basis van de beschikbare gegevens.

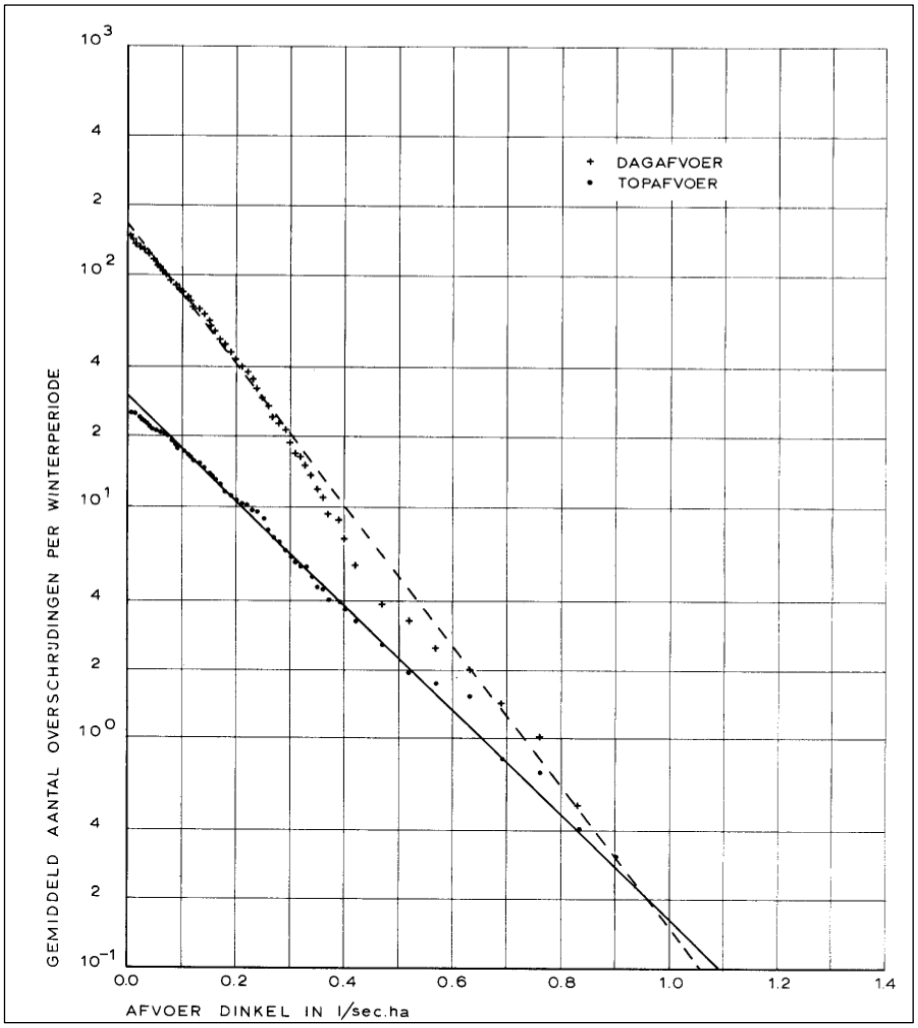
## 1.4 Leeswijzer

Om te voldoen aan de doelstelling zullen allereerst in hoofdstuk 2 enige achtergronden van de MA-methode worden gegeven en zal een evaluatie van de methode worden uitgevoerd waarbij speciale aandacht zal worden geschonken aan de rol van maaiveldafvoer. In hoofdstuk 3 wordt deze analyse toegepast op het gebied van waterschap Vechtstromen waarbij gebruik is gemaakt van de beschikbare (geografische) data van het waterschap. In hoofdstuk 4 wordt de maaiveldafvoer in beeld gebracht. Bij de toepassing van de MA-methode op het stroomgebied van waterschap Vechtstromen kunnen de nodige discussiepunten worden geformuleerd. Het rapport sluit af met Conclusies en Aanbevelingen (hoofdstuk 5).

# 2 Enige achtergronden bij het gebruik van afvoernormen

## 2.1 Historische schets

Uit onderzoek van o.a. Blaauw (1962) kwam naar voren dat de afvoeren van een gebied gerangschikt van hoog naar laag een verband laten zien (Figuur 2.1).




***Figuur 2.1*** *Overschrijdingsfrequentie van de afvoer van de Dinkel in de winterperioden 1951/1952 t/m 1960/1961 (ontleend aan Tweede Interimrapport van de Werkgroep Afvloeiingsfactoren, 1970).*

Uit Figuur 2.1 is op te maken dat de frequentie waarbij een bepaalde afvoer wordt bereikt of overschreden, logaritmisch afneemt met de hoogte van de afvoer. Het op basis van dergelijke metingen afgeleide verband is dat de dagafvoer die 1 keer per 10 jaar wordt bereikt of overschreden, ca. 1,5 maal zo groot is als de dagafvoer die 1 keer per jaar wordt bereikt of overschreden en dat de dagafvoer die 10 à 20 dagen per jaar wordt bereikt of overschreden, ongeveer de helft is van de afvoer die 1 à 2 keer per jaar wordt bereikt of overschreden. Deze verbanden zijn gebruikt om afvoeren te typeren.

Bij afspraak is de dagafvoer met een herhalingstijd van 1 jaar (met een gemiddelde overschrijdingsfrequentie van 1 keer per jaar; overeenkomend met een herhalingstijd van 1 jaar) de Maatgevende Afvoer (MA). Lagere of hogere typerende afvoeren worden uitgedrukt als getal maal MA, bijv. 0,5 MA of 2 MA.

De aanduiding 'maatgevend' komt voort uit het feit dat men bij het ontwerpen van waterlopen en kunstwerken op voorhand moet weten welke afvoeren de waterloop of het kunstwerk na realisatie krijgt te verwerken.

Om de maatgevende afvoer te bepalen, wordt gewerkt met afvoernormen, ook wel aangeduid als afvloeiingsfactoren. De afvoernorm is gedefinieerd als de afvoer per eenheid van oppervlakte met een herhalingstijd van 1 jaar. De afvoernorm wordt uitgedrukt in l/s.ha of mm/d.

Uit de onderzoeken van Bon (1968, 1971, 1973) kwam naar voren dat in zandgebieden een sterke relatie bestaat tussen de natheid van een deelstroomgebied en de afvoeren: hoe natter, hoe hoger de afvoeren bij dezelfde herhalingstijd. Deze kennis heeft geresulteerd in tabellen waarin per type gebied en per groep van grondwatertrappen een afvoernorm is toegekend.

In het proefschrift van De Jager (1965) is de bepaling van de maatgevende afvoeren voorzien van een wiskundige basis. Met de formule van Kraijenhoff van de Leur zijn voor het klimaat typerende neerslagverdelingen omgezet in afvoerverdelingen. Het proces van maaiveldafvoer is daarbij niet expliciet beschouwd.

De Werkgroep Afvoerberekeningen (1979) heeft op basis van die kennis de 'Richtlijnen voor het berekenen van afwateringsstelsels in het landelijke gebied' opgesteld. Dit heeft geresulteerd in de bekende Tabel 4.2.1 in het Cultuurtechnisch Vademecum (CV), die al decennia wordt gebruikt voor ontwerpen van waterlopen en kunstwerken (Tabel 2.1). Deze tabel geldt voor stroomgebieden kleiner dan ca. 10.000 ha. Voor grotere arealen wordt een reductie toegepast.

***Tabel 2.1*** *Tabel 4.2.1 uit het Cultuurtechnisch Vademecum (1988).*

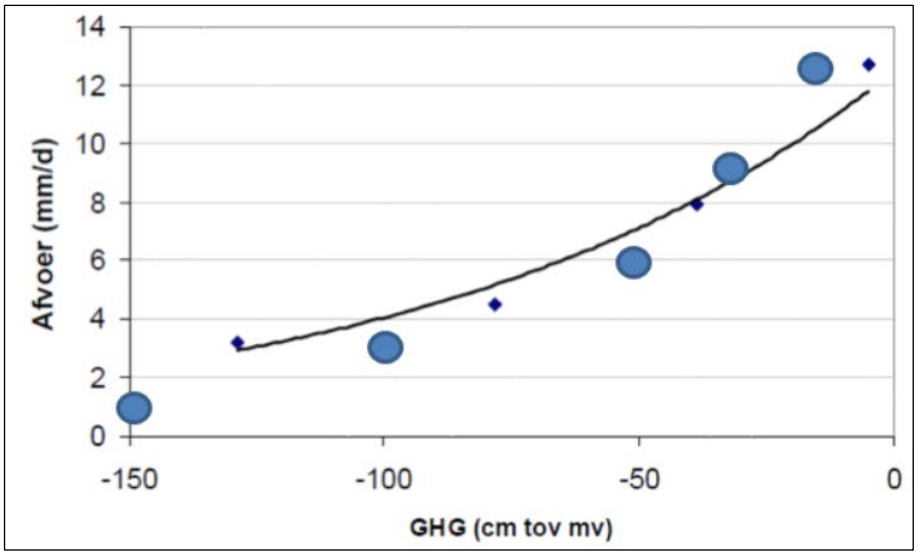
| **Tabel 4.2.1. Richtlijnen voor de grootte van de maatgevende afvoer** | | |
|---|---|---|
| **Bodemgesteldheid en Gt-klasse** | **maatgevende afvoer** | |
| | **l/s.ha** | **mm/d** |
| Drainage-behoeftige gronden (polders) en gronden met Gt I, II en III | 1,33 - 1,67 | 11,5 - 14,4 |
| Zandgronden met Gt IV en V | 1,00 | 8,6 |
| Zandgronden met Gt V* en VI | 0,67 | 5,8 |
| Zandgronden met Gt VII | 0,33 | 2,9 |
| Bosgebieden en overige gronden zonder zichtbare afvoer met Gt VII | 0,10 | 0,9 |

Daarbij zijn in het CV de volgende opmerkingen geplaatst:
- voor gebieden met kwel wordt de afvoernorm verhoogd met de kwelintensiteit;
- de Gt kan veranderen ten gevolge van werken aan het ontwaterings- en/of afwateringsstelsel. In Noord-Brabant wordt in zandgebieden bij verbetering van het primaire afwateringssysteem op basis van de normen uit de tabel, voor de kleinere waterlopen van een 25% lagere afvoernorm uitgegaan.

In het CV wordt de term maatgevende afvoer gebruikt, terwijl het een afvoerdichtheid betreft (een afvoer per hectare). Een betere term is daarom afvoernorm. In het vervolg zullen we het gebruik van deze tabel en andere methoden die werken met afvoernormen voor bepalen van de MA aanduiden als de MA-methode.

In Van Bakel en Hamaker (1998) wordt ook melding gemaakt van afvoernormen voor kassen en stedelijk gebied, van respectievelijk 2,3 en 2,2 l/s.ha.

Door Van der Gaast et al. (2006) is een methode ontwikkeld waarbij op basis van karteerbare kenmerken en met gebruik van metamodellen de maatgevende afvoer kan worden bepaald. Het karteerbare kenmerk GHG is de GHG afkomstig uit de Karteerbare Kenmerken - Grondwatertrappenkaart (Gt-kk2010-kaart). Het metamodel is een relatie tussen GHG en maatgevende afvoer afgeleid van SWAP-simulaties (Figuur 2.2). In Figuur 2.2 zijn ook de afvoernormen ingetekend die zijn af te leiden uit de CV-methode (ronde bolletjes). De conclusie is dat de CV-methode lagere afvoeren geeft bij diepe GHG's en hogere bij ondiepe GHG's, in vergelijking met het metamodel.




***Figuur 2.2*** *Vergelijking metarelatie volgens de Alterra-methode uit Van der Gaast en Massop (2008) (doorgetrokken lijn en diamantjes) met MA-methode (ronde bolletjes).*

## 2.2 Van afvoernormen naar MA en gebruik van de MA

Een bepaald gebied is opgebouwd uit deelgebieden, elk met een eigen afvoernorm. Door vermenigvuldiging met de oppervlakte van elk afzonderlijk deelgebied en bijbehorende afvoernorm en het geheel sommeren, wordt uiteindelijk de MA van het gehele gebied bepaald.

Als je de MA kent, dan zijn er criteria waaraan de waterstand in de waterloop, gemaalcapaciteit of overstorthoogte van een stuw moet voldoen. Bijvoorbeeld een waterloop wordt zodanig ontworpen dat bij een afvoer gelijk aan 2 MA de situatie 'kantje boord' optreedt. Omdat die maatgevende afvoeren worden uitgedrukt ten opzichte van de MA, is het alleen nodig de MA te kennen.

Een bijzondere toepassing van de MA-methode is de bepaling van de MA van deelgebiedjes om zodoende vast te stellen of een bepaalde MA in een waterloop hoger is dan een vooraf vastgestelde grens voor wel of niet opnemen in de legger. Dit is toegepast door waterschap Vechtstromen en kritische evaluatie van deze methode en van de wijze waarop die is toegepast is onderwerp van dit rapport. De kritische kanttekeningen komen in de volgende sectie aan bod; de toepassing door waterschap Vechtstromen wordt in hoofdstuk 3 en 4 behandeld.

## 2.3 Kritische kanttekeningen bij de MA-methode

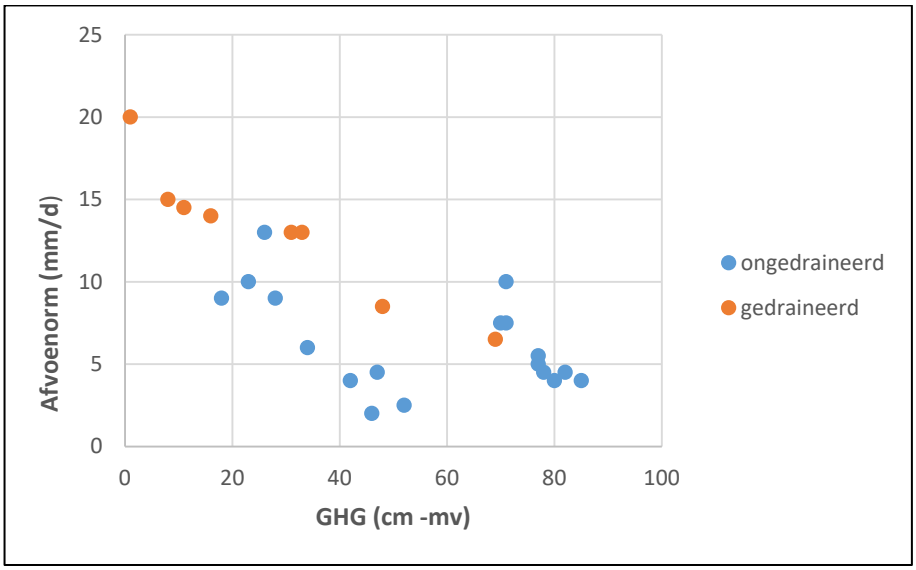
Er zijn de nodige kritische kanttekeningen te plaatsen bij de MA-methode:

a. Door allerlei waterhuishoudkundige maatregelen is de grondwaterstand veranderd waardoor ook de ruimtelijke verdeling van de grondwatertrappen is veranderd. Een illustratief voorbeeld is dat door uitvoering van A2-werken[5] (verbetering afwatering) en de daarop aansluitende verbetering van de detail af- en ontwatering de grondwaterstand van voorheen natte percelen gemiddeld met zo'n 30 cm is gedaald (Werkgroep Achtergrondverlaging, 2017). Volgens Tabel 2.1 resulteert dat in lagere afvoeren en dus is het watersysteem na realisatie van de maatregelen overgedimensioneerd. De achterliggende vraag is of de relatie tussen grondwatertrap (GHG) en MA na de ingrepen nog geldig is.
b. De CV-tabel is een typisch voorbeeld van 'gestolde' kennis die niet goed meer is te reproduceren. Zo is bijvoorbeeld de vraag of maaiveldafvoer tijdens zware zomerbuien of tijdens vorstperioden erin is verwerkt niet goed meer te beantwoorden.
c. Het landgebruik is veranderd. Met name het gebruik van zware machines in de landbouw kan ertoe leiden dat de infiltratiecapaciteit van de grond afneemt. Het gevolg kan zijn dat er frequenter maaiveldafvoer optreedt of dat er schijngrondwaterstanden optreden. Ook de periodieke omzetting van bouwland in permanent grasland of omgekeerd heeft invloed op de kans op optreden van maaiveldafvoer omdat de bergingsmogelijkheden bij beide teelten op het maaiveld verschillend zijn. Ook het areaal bebouwd gebied (verhard) is toegenomen. De CV-tabel heeft hiervoor geen waarden. Het zogenoemde 'hydrologisch neutraal bouwen[6] wordt pas sinds 2000 toegepast. Ook is er in het verleden veel discussie geweest over de MA van bos- en natuurterreinen in verband met de waterschapslasten. Er is wel consensus over dat bij gelijke grondwatertrap bossen een lagere MA hebben, maar de mate waarin is omstreden.
d. Bij gebruik van de GHG berekend met regionale modellen of met perceelmodellen kunnen er tal van inconsistenties en modelartefacten optreden:
   - de GHG gesimuleerd met SWAP (zoals gebruikt bij de Alterra-methode) is berekend voor een andere periode, voor een andere ruimtelijke schematisatie en met andere numerieke schema's;
   - bij gebruik van perceelmodellen wordt de relatie met de omgeving gelegd door specificatie van een onderrandvoorwaarde. Daarmee wordt de interactie met het regionaal hydrologisch systeem feitelijk uitgeschakeld, hetgeen vooral bij open zandgronden kan leiden tot over- of onderschatting van de effecten (omdat men onvoldoende rekening houdt met variatie in regionale kwel en/of infiltratie). Dit was de reden om voor de hydrologie voor STONE (Van Bakel et al. 2008) over te gaan op een koppeling op afstand met een verzadigd grondwatermodel;
   - een regionaal model kan niet of slecht omgaan met verticale gradiënten in de drukhoogte hoog in het profiel die afwijken van de gradiënt bij geen verticale flux. Door het voorkomen van slechter doorlatende lagen in de bovenste 1 à 2 m treedt tijdens het GHG-moment een afwijking op van meer dan 10 cm op diverse plaatsen (zie o.a. Van der Gaast en Massop, 2006). Dit wil zeggen dat de model-GHG de neiging heeft systematisch te laag te zijn. Dit levert uiteraard ook systematisch te lage MA's;
   - het proces van maaiveldafvoer is in alle modellen primitief gemodelleerd, bijvoorbeeld doordat wordt gewerkt met neerslagsommen op dagbasis. Daardoor worden de hoge afvoeren als gevolg van maaiveldafvoer systematisch onderschat. Ook het werken met een gemiddelde infiltratiecapaciteit per bodemtype geeft voor lage neerslagintensiteiten een onderschatting en voor hoge neerslagintensiteiten een overschatting van de maaiveldafvoer als gevolg van hevige neerslagen. Maaiveldafvoer na vorstperioden wordt sowieso niet meegenomen;
   - de opstuwing in de detail ont- en afwatering wordt niet meegenomen. Te beredeneren valt dat daardoor de piekafvoeren systematisch worden overschat.

[5] In het kader van ruilverkaveling en landinrichtingswerken wordt onderscheid gemaakt in A1-werken (aanpassingen van het hoofdsysteem), A2-werken (verbetering van de afwatering) en A3-werken (werken op perceelniveau).

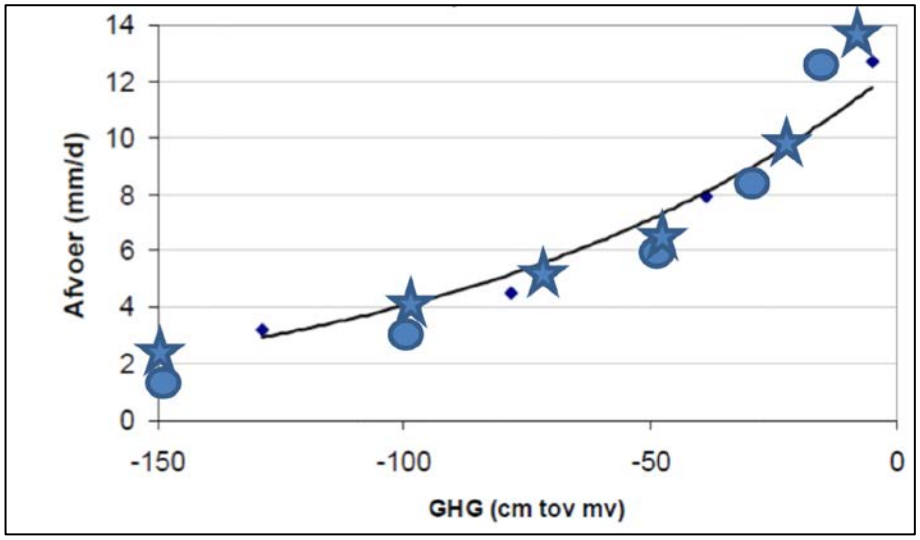
[6] Bij ruimtelijke ontwikkelingen, zoals de bouw van woningen of bedrijven of de aanleg van parkeerterreinen en wegen, neemt de hoeveelheid verharding vaak toe. Het waterschap vindt het belangrijk dat deze verhardingstoename niet leidt tot een versnelde afvoer van het regenwater. De ontwikkeling dient daarom 'hydrologisch neutraal' te zijn. Concreet betekent dit dat:
- De afvoer uit het gebied niet toeneemt;
- De omvang van de grondwateraanvulling gelijk blijft of toeneemt;
- De grond- en oppervlaktewaterstanden in de omgeving gelijk blijven of verbeteren.

e. De eenduidigheid tussen Gt (MA-methode, CV-tabel, Tabel 2.1) respectievelijk GHG (Alterra-methode, Van der Gaast-Massop, 2008) en afvoernorm is twijfelachtig. Je kunt beredeneren dat een grondwatertrap VI die gezien de positie in het landschap natuurlijk is, wegzijging heeft en een hoge drainageweerstand. Een bodem met grondwatertrap III die door drainage overgaat in een grondwatertrap VI heeft van nature al kwel die door de grondwaterstandverlaging ook nog toeneemt. Van nature is de drainageweerstand al laag en die wordt nog verder verlaagd. Deze verschillen moeten hydrologisch gezien resulteren in een verschillende afvoerdynamiek en dus verschillen in MA, terwijl de grondwatertrap dezelfde is. Om dit te illustreren, zijn de resultaten gebruikt die zijn verkregen in het modelonderzoek naar peilgestuurde drainage in Noord-Brabant en Noord-Limburg (Van Bakel et al. 2008). In dit onderzoek zijn voor een groot aantal STONE-plots modelberekeningen met SWAP uitgevoerd waarbij een meteoreeks van 15 jaar is gebruikt. De berekende GHG is vergeleken met de op 10 na hoogste dagafvoer als een maat voor de afvoernorm. De resultaten zijn geplot in Figuur 2.3.




***Figuur 2.3*** *Relatie tussen GHG en afvoernorm zoals berekend met SWAP in Van Bakel et al. (2008).*

Nadere beschouwing van de resultaten leidt tot de volgende opmerkingen:
- de spreiding in afvoer per GHG is groot, zeker als gedraineerd en ongedraineerd bij elkaar worden genomen. Dit illustreert inderdaad dat in hydrologische zin bij gedraineerde percelen de natuurlijke relatie tussen GHG en afvoernorm verloren gaat;
- bij uitsplitsing naar ongedraineerd en naar gedraineerd is het verband tussen GHG en afvoernorm duidelijk, zij het sterk verschillend;
- ongedraineerde plots geven een duidelijk lagere afvoer bij dezelfde GHG als gedraineerde plots (dit is ook verklaarbaar door de hogere drainageweerstand);
- draineren van natte gronden leidt tot een lagere GHG. Stel nu dat de GHG in een perceel door middel van buisdrainage wordt verlaagd van 30 naar 70 cm-mv. Volgens de berekende relaties voor ongedraineerde en gedraineerde bodems neemt de afvoernorm af van 7,5 naar 6,3 mm/d. Het blijven toepassen van de relatie voor ongedraineerde bodems resulteert in een MA van slechts 0,3 mm/d (op basis van extrapolatie van de curve in Figuur 2.3). De laatst vermelde waarde is niet realistisch;
- plotten van enkele punten uit de relatie voor gedraineerd en ongedraineerd samen in Figuur 2.2 levert als verrassend resultaat op dat de punten heel goed passen bij de punten volgens de CV-tabel (Figuur 2.4). Kennelijk houdt de CV-relatie impliciet rekening met het effect van aanleg van drainage;




***Figuur 2.4*** *Relatie tussen GHG en afvoernorm (sterretjes) afgeleid uit simulaties met SWAP geplot in Figuur 2.2 (Alterra-methode). De bolletjes zijn de waarden volgens het Cultuurtechnisch Vademecum (MA-methode).*

- in het CV is reeds gewezen op het effect van ingrepen in de ont- en afwatering op de relatie tussen Gt en afvoernorm. (Zie 2e opmerking bij CV-tabel in § 2.1.) De 20%-reductie sluit exact aan bij de hiervoor vermelde reductie door drainage.

f. Het klimaat is veranderd en zal ook in de toekomst veranderen. De impliciete of expliciete kennis in de CV-tabel is gebaseerd op het klimaat van pakweg de periode 1950-1980. Sindsdien is het klimaat veranderd. Deze klimaatverandering zal ook in de toekomst doorzetten.

g. Specifiek voor de toepassing van waterschap Vechtstromen:
   - Het gebruik van de MA-methode geeft andere resultaten dan de metarelatie volgens de Alterra-methode. In het volgende hoofdstuk zal blijken wat de verschillen zijn.
   - Is de gebruikte Gt-kaart of daarvan afgeleide karakteristieken conform de werkelijkheid? Bekend is dat de oude Gt-kaart 1 : 50.000 niet meer actueel is. Maar er is veel discussie over welke Gt-kaart dan wel actueel is. Ook in het geval er gebruik wordt gemaakt van modelberekeningen en daarvan afgeleide grondwaterstandskarakteristieken is deze vraag aan de orde.

## 2.4 Conclusies

Bovenstaande analyse leidt tot de volgende conclusies:

1. De relatie tussen GHG en afvoernorm is door allerlei waterhuishoudkundige maatregelen beslist niet eenduidig. Zo leidt de aanleg van buisdrainage tot een verstoring van de 'natuurlijke' relatie.
2. Voor bepaling van de afvoernorm is er daarom een uitsplitsing nodig naar gedraineerde en ongedraineerde percelen.
3. De modelberekeningen voor ongedraineerde situaties uit het Brabant-modelonderzoek (Van Bakel et al. 2008) laten duidelijk een lagere afvoernorm zien dan de volgens de MA-methode en de Alterra-methode.
4. Bij gebruik van model-GHG's is er kans op systematische over-, maar vooral onderschatting van de afvoernorm, omdat de model-GHG veelal geen of onvoldoende rekening houdt met ondiep in het profiel voorkomende slecht doorlatende lagen.
5. Het proces van maaiveldafvoer is de grote onbekende, temeer omdat klimaatverandering en verandering van landgebruik hierop veel effect hebben.

In hoofdstuk 3 wordt aan de hand van de data van het beheersgebied van waterschap Vechtstromen geanalyseerd wat de keuze van uitgangspunten en gegevens betekent voor de MA's in algemene zin en voor de MA's van de onderscheiden deelstroomgebiedjes.

# 3 Analyse van de door waterschap Vechtstromen verstrekte informatie voor bepaling van de MA

## 3.1 Inleiding

De vraag die in dit hoofdstuk aan de orde is, luidt: zijn de maatgevende afvoeren, zoals bepaald door het waterschap om te bepalen welke waterlopen wel of niet in beheer moeten blijven, geschikt voor dit doel? Daartoe zullen de resultaten van de analyse uit hoofdstuk 2 worden toegepast op het door het waterschap verstrekte materiaal.

## 3.2 De relatie tussen GHG en afvoernorm

Door Van der Gaast en Massop (2008) is het beheergebied van het voormalige waterschap Velt en Vecht geschematiseerd tot 59 eenheden op basis van bodemeenheid, hydrotype en meteoregio. Voor elke geschematiseerde eenheid zijn modelberekeningen uitgevoerd met het model SWAP. Daarbij zijn de modellen gekalibreerd op een beperkt aantal Gt's (zie Tabel 3.1). De volgende situaties zijn doorgerekend:

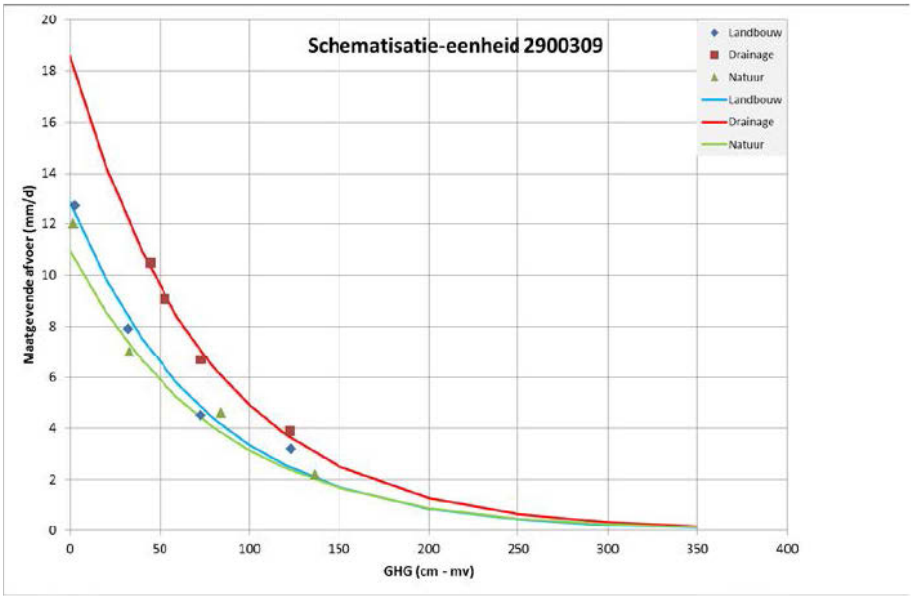
- landgebruik gras zonder buisdrainage (landbouw);
- landgebruik gras met buisdrainage (drainage);
- landgebruik natuur (natuur).

***Tabel 3.1*** *Gekalibreerde modellen voor verschillende situaties en grondwatertrappen.*

| Situatie | Grondwatertrap | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Landbouw | IIa | IIIb | IV | VI | VII |
| Drainage | | IIIb | IV | VI | VII |
| Natuur | IIa | IIIb | | VI | |

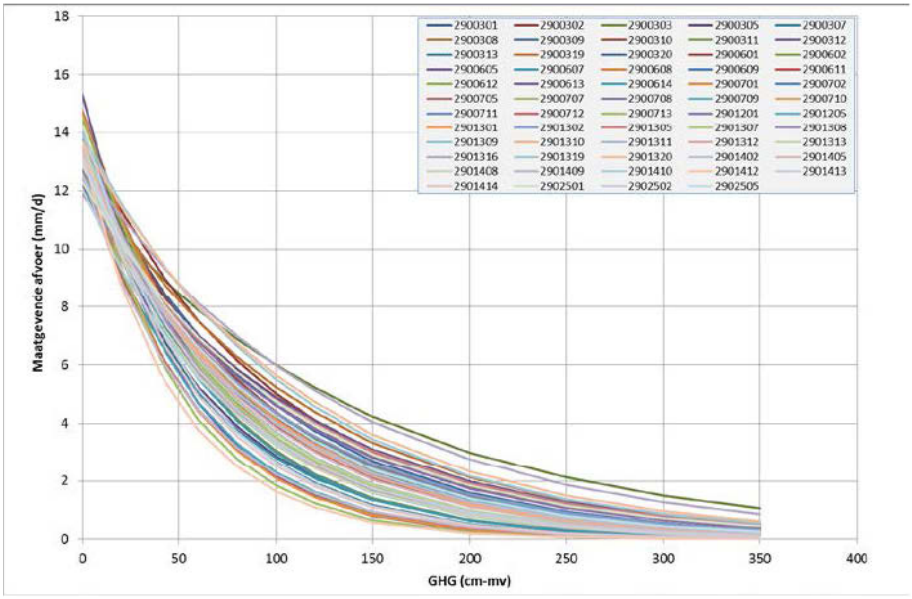
De berekeningen voor landbouw zonder drainage hebben betrekking op de periode 1970-2000, de overige op de periode 1990-2000. Uit de modelresultaten is de maatgevende afvoer afgeleid, evenals andere karakteristieken, zoals de GHG. Uit de combinatie GHG met de maatgevende afvoer zijn voor de drie grondgebruik-/inrichtingsvarianten vervolgens metamodellen afgeleid. In Figuur 3.1 zijn de metarelaties voor drie inrichtingsvarianten weergegeven voor de schematisatie-eenheid 2900309[7]. De metarelatie voor schematisatie-eenheid 2900309 is door het waterschap gebruikt om gebiedsdekkend de maatgevende afvoer te berekenen. Deze eenheid komt veel voor in Oost-Nederland (Van der Gaast et al. 2006).

[7] 2900309 is een combinatie van meteo-station (KNMI-hoofdstation Twente (290)), Hydrotype (Dekzand (03)) en Bodemfysische eenheid (Zwak lemig fijn zand (09)).



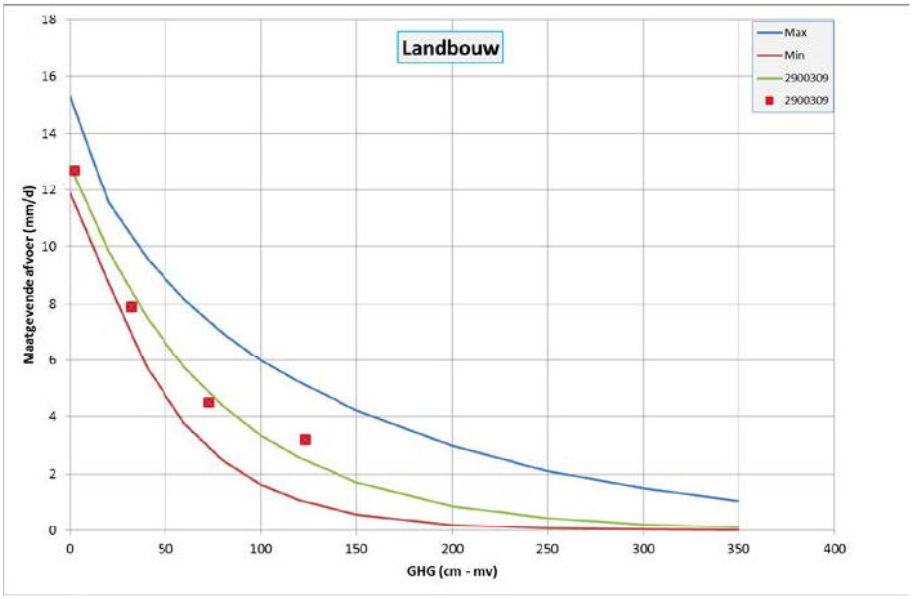

***Figuur 3.1*** *Berekende combinaties van maatgevende afvoer en GHG voor drie grond-gebruik-/inrichtingsvarianten en de daaruit afgeleide metarelaties voor schematisatie-eenheid 2900309.*

Totaal worden er 59 schematisatie-eenheden onderscheiden. In Figuur 3.2 is de bundel met metarelaties voor alle 59 schematisatie-eenheden voor de inrichtingsvariant landbouw weergegeven.



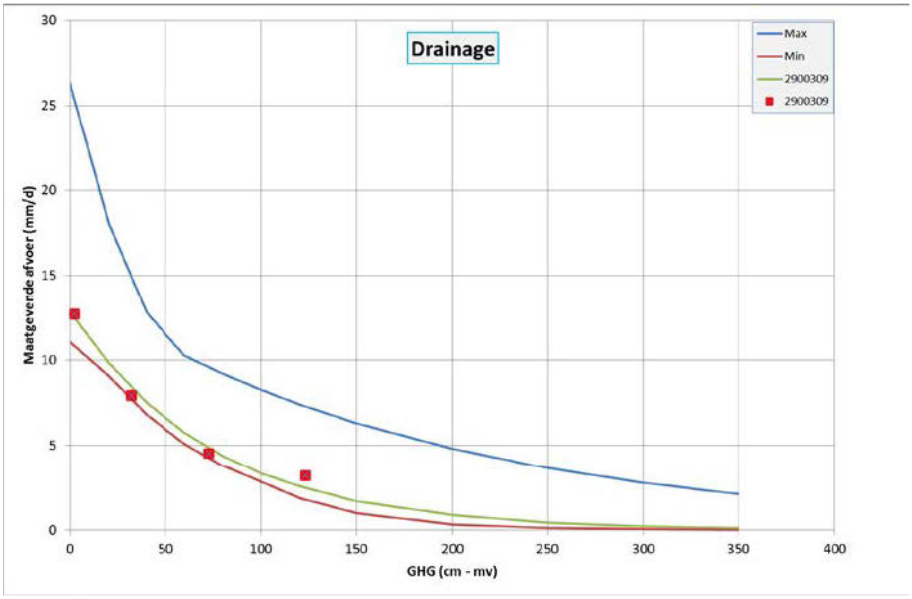

***Figuur 3.2*** *Afgeleide metarelaties voor inrichtingsvariant landbouw.*

Bij bepaling van de maatgevende afvoer voor de leggerharmonisatie binnen waterschap Vechtstromen is slechts één metarelatie gebruikt. Uit Figuur 3.2 blijkt dat de relaties niet identiek zijn, maar dat rekening moet worden gehouden met variatie binnen het waterschap als gevolg van o.a. verschil in bodem, ondergrond. In Figuur 3.3 is de bandbreedte van alle relaties voor de inrichtingsvariant landbouw (zonder drainage) weergegeven, met daarbinnen de schematisatie-eenheid 2900309 in de vorm van de metarelatie en de hiervoor gebruikte combinatie van maatgevende afvoer en GHG.

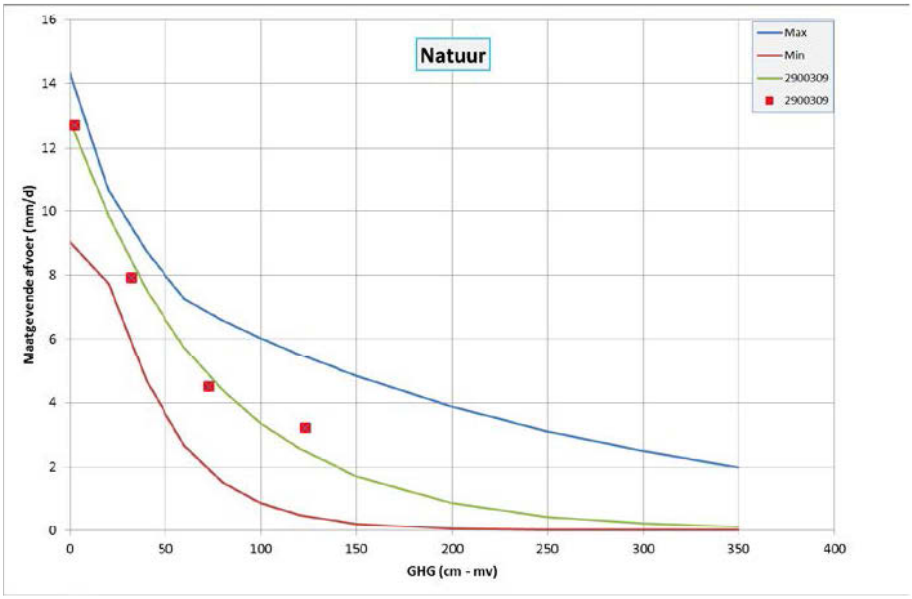



***Figuur 3.3*** *Bandbreedte afgeleide metarelaties voor inrichtingsvariant landbouw met schematisatie-eenheid 2900309 als metarelatie en de punten waarvoor de metarelatie is afgeleid.*

Ook voor drainage (landbouw) en natuur kunnen vergelijkbare figuren worden gemaakt (Figuur 3.4 en 3.5).




***Figuur 3.4*** *Bandbreedte afgeleide metarelaties voor inrichtingsvariant drainage met schematisatie-eenheid 2900309 (inrichtingsvariant landbouw) als metarelatie en de punten waarvoor de metarelatie is afgeleid.*




***Figuur 3.5*** *Bandbreedte afgeleide metarelaties voor inrichtingsvariant natuur met schematisatie-eenheid 2900309 (inrichtingsvariant landbouw) als metarelatie en de punten waarvoor de metarelatie is afgeleid.*

De gebruikte metarelatie om de maatgevende afvoer te berekenen, is de metarelatie voor schematisatie-eenheid 2900309. Deze heeft slechts betrekking op een beperkt deel van het beheergebied van Velt en Vecht, nl. 7400 ha, oftewel minder dan 10% van het landbouw- en natuurareaal van het toenmalige waterschapgebied. In Tabel 3.2 zijn de arealen van de verschillende schematisatie-eenheden weergegeven.

***Tabel 3.2*** *Arealen in ha's van de 59 schematisatie-eenheden, welke opgemaakt zijn uit een combinatie van een bodemfysische eenheid en hydrotype.*

| Bodfys-code | Hydrotype | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Dekzand Profiel 3 | Griendtsveen 25 | Keileem Profiel 6 | Keileem-Peelo Profiel 7 | Peelo Profiel 12 | Singraven-beekdalen 13 | Stuwwallen 14 | Totaal |
| 1 | 383 | 2860 | 131 | 740 | 875 | 632 | | 5621 |
| 2 | 1233 | 188 | 812 | 1765 | | 3438 | 164 | 7599 |
| 3 | 6 | 174 | | | | | | 180 |
| 5 | 11345 | | 6927 | 7953 | 786 | 1988 | 410 | 29408 |
| 7 | 2799 | | 105 | 507 | | 172 | | 3582 |
| 8 | 433 | | 315 | 1763 | | 71 | 78 | 2661 |
| 9 | 7400 | | 2811 | 4675 | | 1820 | 179 | 16885 |
| 10 | 244 | | | 119 | | 140 | 60 | 563 |
| 11 | 556 | | 3699 | 3447 | | 1724 | | 9426 |
| 12 | 888 | | 361 | 53 | | 827 | 27 | 2155 |
| 13 | 1572 | | 988 | 919 | | 2038 | 13 | 5531 |
| 14 | | | 42 | | | | 401 | 444 |
| 16 | | | | | | 138 | | 138 |
| 19 | 283 | | | | | 692 | | 976 |
| 20 | 54 | | | | | 143 | | 196 |
| Totaal | 27196 | 3221 | 16192 | 21941 | 1661 | 13824 | 1331 | 85365 |

## 3.3 De GHG

De GHG die door het waterschap is gebruikt in het proces van leggerharmonisatie, is een model-GHG. Statistisch is deze vergeleken met de grondwatertrappenkaart (Van der Gaast et al. 2010) op basis van karteerbare kenmerken (Gt-kk2010), zoals te vinden is op de http://www.stowa.nl/publicaties/publicaties/grondwaterregime_op_basis_van_karteerbare_kenmerken Allereerst is een vergelijking gemaakt tussen de Gt-klasse van de bodemkaart 1:50.000 en de Gt-klasse op basis van de karteerbare kenmerken (Gt-kk2010). In onderstaande kruistabel (Tabel 3.3) is het resultaat weergegeven. Dit is gedaan voor de klassen zoals in de CV-tabel zijn onderscheiden.

***Tabel 3.3*** *Kruistabel met per veld de procenten dat de combinatie op een bepaalde gridcel voorkomt.*

| | | Gt_klasse Bodemkaart 1 : 50.000 | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | I, II en III | IV en V | V* en VI | VII | Totaal |
| GT-kk2010 | I, II en III | 19.9% | 1.1% | 2.8% | 0.0% | 23.9% |
| | IV en V | 1.5% | 5.8% | 0.0% | 0.3% | 7.6% |
| | V* en VI | 9.4% | 9.5% | 23.8% | 1.2% | 43.9% |
| | VII | 0.1% | 0.4% | 4.6% | 19.5% | 24.7% |
| | Totaal | 30.8% | 16.9% | 31.2% | 21.1% | 100.0% |

Indien de kaarten volkomen identiek zouden zijn, liggen alle waarden op de diagonaal. In Tabel 3.3 is te zien dat 69% op de diagonaal ligt. Er is altijd sprake van onzuiverheid, maar waar het hier nu om gaat, is of er sprake is van systematische afwijkingen. Zoals: klasse 1 scoort bij de Bodemkaart 1 : 50.000 totaal 30,8% (totaal 1$^{e}$ kolom), de Gt-kk2010-kaart 23,9% (totaal 1$^{e}$ rij). Bij de droge klasse 3 is het beeld omgekeerd: De GT-kk2010-kaart scoort 43,9% en de Bodemkaart 1 : 50.000 31,2%. Bij klasse 4 zijn de verschillen kleiner, hetgeen een bekend fenomeen is. De Bodemkaart 1 : 50.000 is door allerlei ingrepen in de waterhuishouding sinds de opnames in de jaren zestig en zeventig niet meer actueel. Deze zal dan ook niet meer in de analyse worden betrokken.

De vergelijking tussen de GHG volgens Gt-kk2010 en de model-GHG levert Tabel 3.4 op.

***Tabel 3.4*** *Kruistabel model-GHG en GHG uit de kk-2010-kaart, met per veld de areaalprocenten aangegeven waarin de combinatie voorkomt binnen waterschap Vechtstromen.*

| GHG_kk2010 | IV en V | GHG_vecht-stromen | 0-25 | 25-40 | 40-80 | 80-120 | 120-140 | >=140 | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | Totaal |
| <0 | 0 | 0.0% | 0.0% | 0.0% | 0.0% | 0.0% | 0.0% | 0.0% | 0.0% |
| 0-25 | 1 | 0.1% | 2.1% | 1.7% | 3.0% | 0.8% | 0.1% | 0.1% | 8.0% |
| 25-40 | 2 | 0.1% | 4.3% | 5.0% | 10.1% | 3.9% | 0.6% | 0.7% | 24.7% |
| 40-80 | 3 | 0.1% | 3.5% | 4.9% | 15.9% | 10.6% | 2.9% | 4.3% | 42.1% |
| 80-120 | 4 | 0.0% | 0.2% | 0.4% | 2.2% | 2.9% | 1.3% | 3.9% | 11.0% |
| 120-140 | 5 | 0.0% | 0.0% | 0.0% | 0.2% | 0.4% | 0.2% | 1.3% | 2.1% |
| >=140 | 6 | 0.0% | 0.2% | 0.2% | 0.8% | 1.3% | 0.9% | 8.7% | 12.0% |
| | | 0.3% | 10.3% | 12.3% | 32.2% | 20.0% | 6.0% | 18.9% | 100.0% |

De som van de percentages op de diagonaal (waar de GHG's overeenkomen) scoort slechts 34,8%. Bij de groen gemarkeerde vakjes is de GHG volgens GHG_vechtstromen droger dan de GHG-kk2010; bij de oranje vakjes omgekeerd. De groene vakjes scoren in totaal 45,4%; de oranje vakjes 19,8%. Hieruit is af te leiden dat de GHG's zoals die door het waterschap zijn gebruikt, duidelijk droger zijn dan volgens de Gt-kk2010. In Tabel 3.4a en 3.4b is Tabel 3.4 opgesplitst naar de voormalige waterschappen Velt en Vecht en Regge en Dinkel.

***Tabel 3.4a*** *Kruistabel model-GHG en GHG uit de kk-2010-kaart, met per veld de areaalprocenten aangegeven waarin de combinatie voorkomt binnen het voormalig waterschap Velt en Vecht.*

| GHG_kk2010 | | GHG_vecht-stromen | 0-25 | 25-40 | 40-80 | 80-120 | 120-140 | >=140 | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | Totaal |
| <0 | 0 | 0.0% | 0.0% | 0.0% | 0.0% | 0.0% | 0.0% | 0.0% | 0.0% |
| 0-25 | 1 | 0.0% | 0.8% | 1.2% | 3.8% | 1.4% | 0.2% | 0.1% | 7.4% |
| 25-40 | 2 | 0.0% | 1.3% | 2.2% | 11.9% | 6.9% | 1.2% | 1.0% | 24.5% |
| 40-80 | 3 | 0.0% | 1.1% | 1.2% | 11.4% | 16.5% | 5.5% | 7.9% | 43.6% |
| 80-120 | 4 | 0.0% | 0.1% | 0.1% | 0.5% | 2.4% | 1.9% | 6.6% | 11.7% |
| 120-140 | 5 | 0.0% | 0.0% | 0.0% | 0.0% | 0.1% | 0.1% | 1.8% | 2.1% |
| >=140 | 6 | 0.0% | 0.3% | 0.1% | 0.4% | 0.7% | 0.5% | 8.7% | 10.6% |
| | | 0.1% | 3.5% | 4.8% | 28.0% | 28.1% | 9.3% | 26.2% | 100.0% |

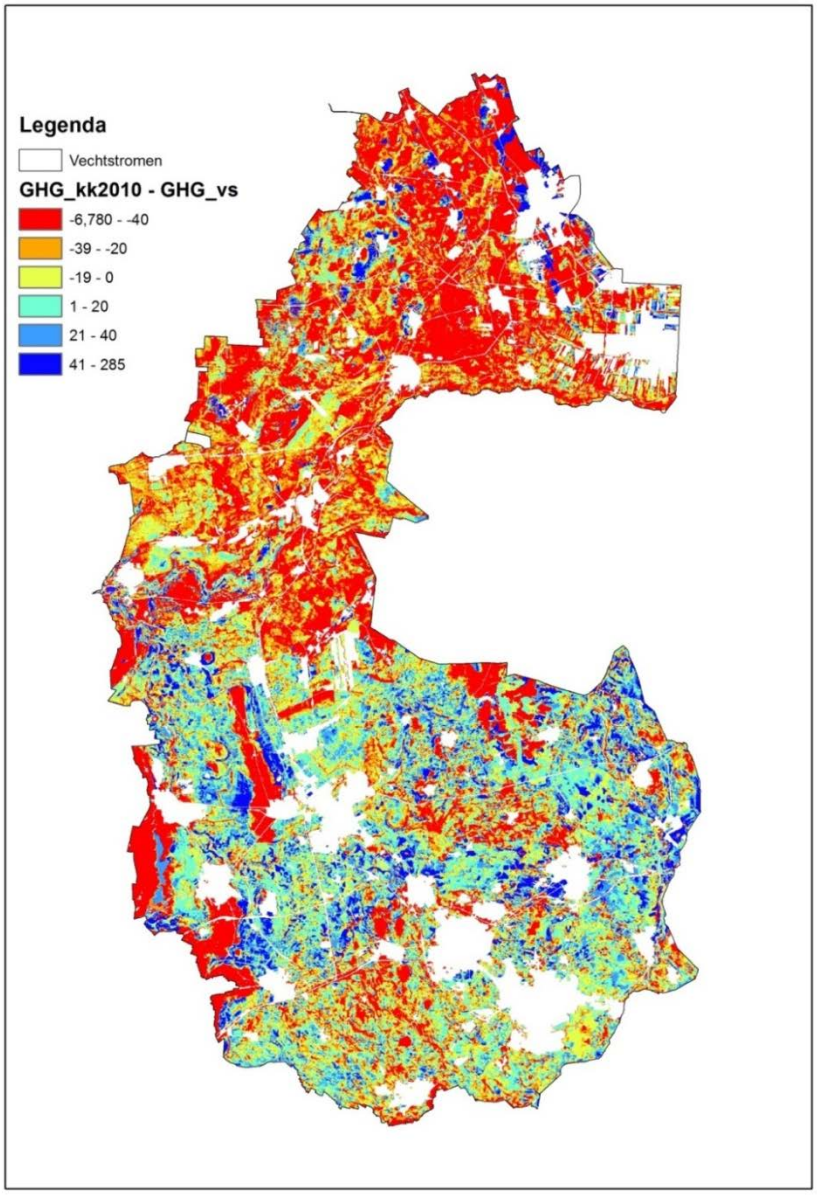
De som van de percentages op de diagonaal in Tabel 3.4a (waar de GHG's overeenkomen) scoort slechts 25,7%. Bij de groen gemarkeerde vakjes is de GHG volgens GHG_vechtstromen droger dan de GHG_kk2010; bij de oranje vakjes omgekeerd. De groene vakjes scoren in totaal 67,9%; de oranje vakjes 6,5%. Hieruit is af te leiden dat de GHG's zoals die door het waterschap zijn gebruikt, in het Velt en Vechtgebied duidelijk droger zijn dan volgens de Gt-kk2010.

***Tabel 3.4b*** *Kruistabel model-GHG en GHG uit de kk-2010-kaart, met per veld de areaalprocenten aangegeven waarin de combinatie voorkomt binnen het voormalig waterschap Regge en Dinkel.*

| GHG_kk2010 | | GHG_vecht-stromen | 0-25 | 25-40 | 40-80 | 80-120 | 120-140 | >=140 | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | Totaal |
| <0 | 0 | 0.0% | 0.0% | 0.0% | 0.0% | 0.0% | 0.0% | 0.0% | 0.0% |
| 0-25 | 1 | 0.1% | 3.0% | 2.1% | 2.4% | 0.5% | 0.1% | 0.1% | 8.4% |
| 25-40 | 2 | 0.2% | 6.4% | 6.9% | 8.9% | 1.9% | 0.3% | 0.4% | 24.9% |
| 40-80 | 3 | 0.1% | 5.2% | 7.5% | 18.9% | 6.6% | 1.1% | 1.8% | 41.1% |
| 80-120 | 4 | 0.0% | 0.3% | 0.6% | 3.4% | 3.3% | 0.9% | 2.0% | 10.4% |
| 120-140 | 5 | 0.0% | 0.0% | 0.0% | 0.3% | 0.6% | 0.3% | 0.9% | 2.1% |
| >=140 | 6 | 0.0% | 0.1% | 0.2% | 1.1% | 1.7% | 1.2% | 8.6% | 13.0% |
| | | 0.4% | 15.0% | 17.4% | 35.0% | 14.5% | 3.8% | 13.9% | 100.0% |

De som van de percentages op de diagonaal (waar de GHG's overeenkomen) scoort slechts 41,0%. Bij de groen gemarkeerde vakjes is de GHG volgens GHG_vechtstromen droger dan de GHG_kk2010; bij de oranje vakjes omgekeerd. De groene vakjes scoren in totaal 30,0%; de oranje vakjes 29,0%. Hieruit is af te leiden dat de GHG's zoals die door het waterschap zijn gebruikt, voor Regge en Dinkel niet duidelijk droger of natter zijn dan volgens de Gt-kk2010.

In Figuur 3.6 zijn de verschillen ook als kaartbeeld weergegeven.

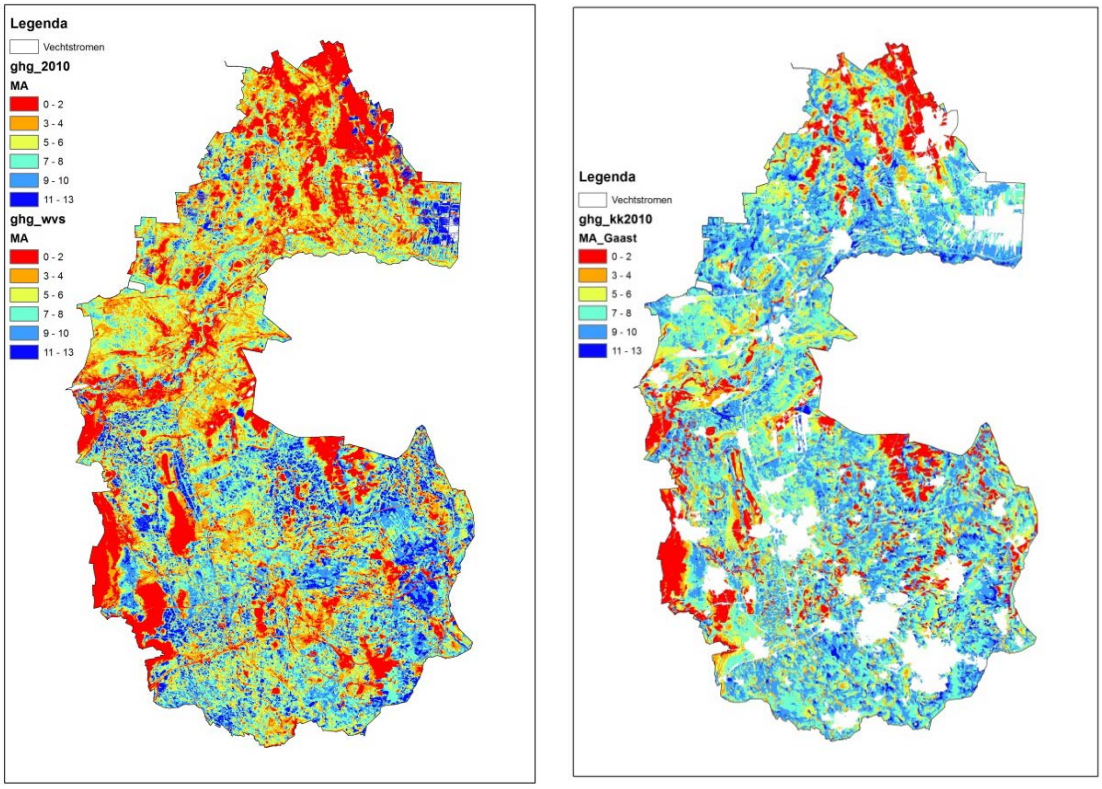



***Figuur 3.6*** *De verschillen in GHG (in cm) ruimtelijk weergegeven. Negatief (rode en oranje kleuren) betekent dat de gebruikte model GHG droger is dan de GHG uit de Gt-kk2010-kaart.*

Uit Tabel 3.4 en Figuur 3.6 blijkt duidelijk dat de model-GHG structureel hoger scoort bij droge Gt's en dat dit met name optreedt in het 'oude' beheersgebied van Velt en Vecht. Het opvallende verschil in model-GHG tussen het oude beheersgebied 'Velt en Vecht' en 'Regge en Dinkel' wordt veroorzaakt door verschillen in het gebruikte grondwatermodel. De door Vechtstromen gebruikte GHG-resultaten stammen uit de tijd dat de grondwatermodellen MIPWA en Regge en Dinkel nog niet geharmoniseerd waren (verschillen in modelopbouw en modelconcepten). GHG-resultaten van het actuele (geharmoniseerde) MIPWA-model zullen een veel eenduidiger beeld laten zien.

## 3.4 De afvoernorm

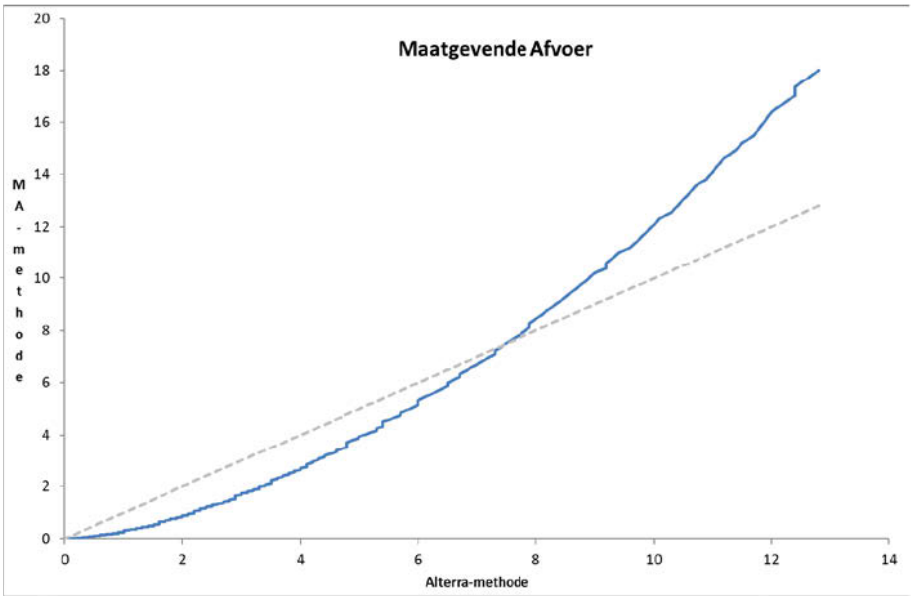
Het eerste kaartbeeld betreft een vergelijking van de afvoernorm berekend met de Alterra-methode toegepast op de model-GHG en de GHG volgens Gt-kk2010. Zie onderstaande Figuur 3.7.




***Figuur 3.7*** *Maatgevende afvoer op basis Alterra-methode toegepast op de GHG-kaarten waterschap (links) en de Gt-kk2010-kaart (rechts).*

Een aantal zaken valt op:

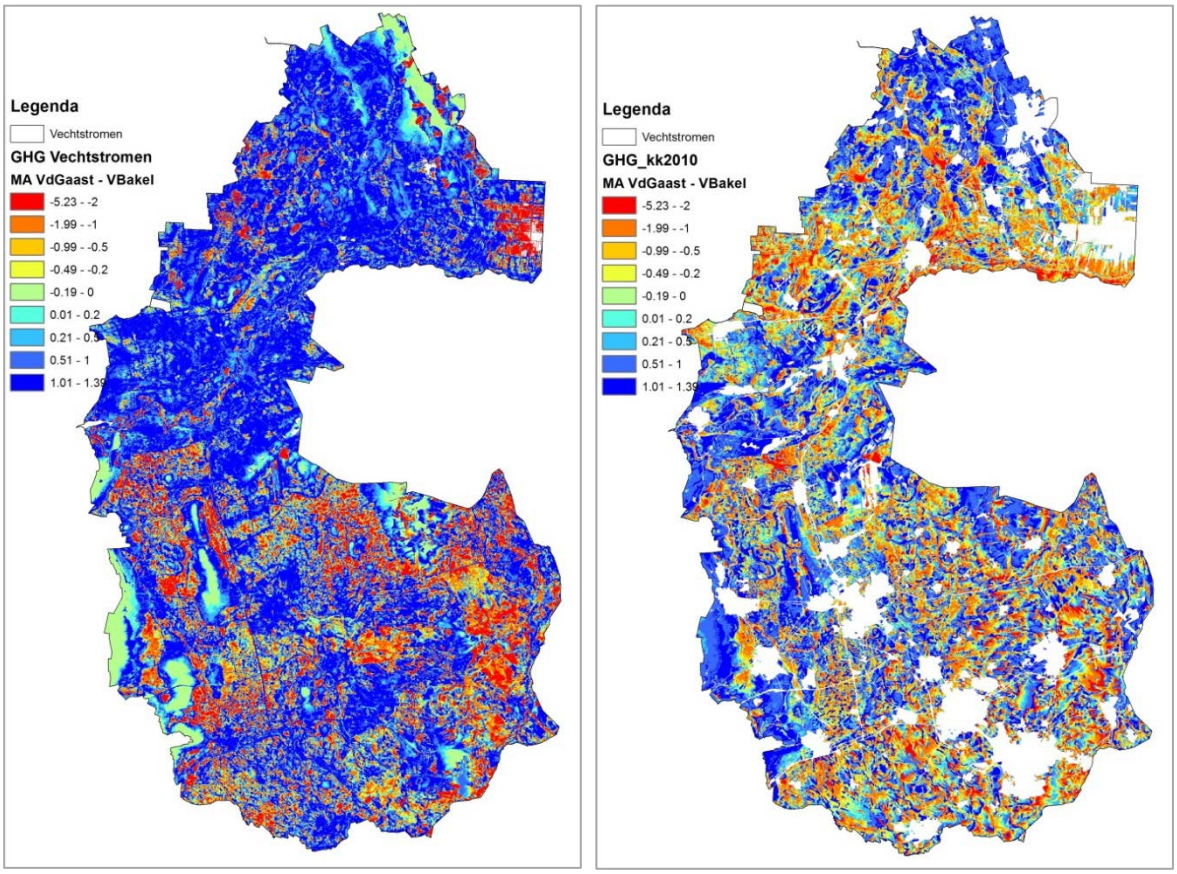
1. In het linkerdeel is een duidelijke tweedeling te zien tussen de beheersgebieden van voormalig Velt en Vecht en van Regge en Dinkel. Dit kan bijna niet anders dan een modelartefact zijn, aangezien er twee verschillende modellen zijn gebruikt.
2. De afvoernormen op basis van de Gt-kk2010 geven voor het beheersgebied van Regge en Dinkel een wat minder gevarieerd beeld dan volgens de model-GHG.
3. De afvoernormen op basis van de Gt-kk2010 zijn in het voormalige Velt en Vecht-gebied duidelijk hoger vergeleken met de MA op basis van model-GHG.




***Figuur 3.8*** *Vergelijking tussen GHG-afvoernorm-relatie volgens Alterra-methode Van de Gaast en de MA-methode (aangeduid met VBakel) weergegeven door blauwe lijn (stippellijn geeft de een-op-eenrelatie weer).*

Vervolgens is nagegaan wat het verschil is op de maatgevende afvoer tussen het gebruik van de Alterra-methode (die ook is gebruikt voor de leggerharmonisatie) en de MA-methode. In vergelijking met de Alterrra-methode geeft de MA-methode (omgezet naar een continue curve in Figuur 3.8) hogere afvoernormen bij natte Gt's en lagere afvoernormen bij drogere Gt's.

Tot welke verschillen in afvoernormen dit leidt is te zien in Figuur 3.9.

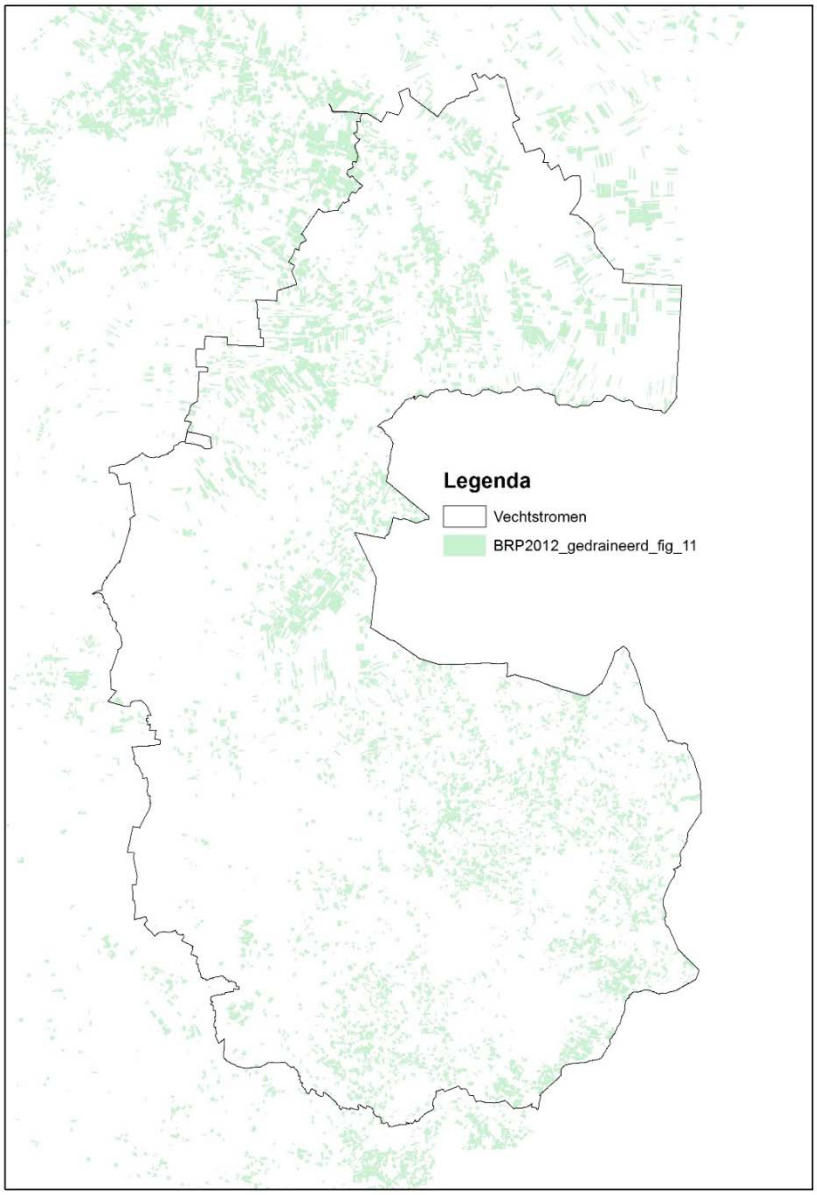



***Figuur 3.9*** *Verschil in afvoernorm (l/s.ha) tussen Alterra-methode (aangeduid als VdGaast) en MA-methode (aangeduid als VBakel) voor de gesimuleerde GHG van het waterschap (links) en de GHG volgens de Gt-kk2010-kaart (rechts).*

Zoals te verwachten, geven droge GHG's bij toepassing van de Alterra-methode hogere afvoernormen en omgekeerd. Dit is goed te zien in het linkerdeel van Figuur 3.9. Bij gebruik van de GHG uit de Gt-kk2010 zijn de verschillen minder, maar er zijn nog steeds patronen in te herkennen.

## 3.5 Buisdrainage

Op basis van de analyse in hoofdstuk 2 verdient de invloed van de aanleg van buisdrainage op de afvoernormen aparte aandacht. In Figuur 3.10 is de omvang van de buisdrainage in het beheersgebied weergegeven. De figuur maakt duidelijk dat de omvang van het areaal gedraineerde gronden aanzienlijk is.




***Figuur 3.10*** *Gedraineerde percelen in het beheersgebied van waterschap Vechtstromen (Massop en Schuiling, 2016).*

Aanleg van buisdrainage (of vergelijkbare maatregelen zoals graven van sloten en greppels) verstoort de min of meer natuurlijke relatie tussen GHG en MA. Indien de invloed van de aanleg van buisdrainage op de GHG correct zou zijn meegenomen in de model-GHG of de GHG volgens Gt-kk-2010, zou dat bij toepassing van de relaties hebben geleid tot aanzienlijk lagere afvoernormen. De vraag is echter of dat wel het geval is. Voor de Gt-kk2010-GHG blijkt dat in ieder geval niet het geval te zijn, maar voor de model-GHG is dat wel het geval, omdat de drainage in het grondwatermodel is meegenomen.

Niet meenemen van het effect van de aanleg van buisdrainage op de GHG geeft op de betreffende locaties een verkeerde GHG, maar bij toepassing van de foutieve GHG-afvoernorm-relatie is het effect op de afvoernormen beperkt. Dit komt omdat de GHG door drainage lager wordt en dat zou hebben geresulteerd in een lagere afvoernorm, maar bij drainage moet je een andere GHG-afvoernorm-relatie toepassen met een hogere afvoernorm bij dezelfde GHG. Twee keer fout is in dit geval ongeveer goed, maar dat is meer geluk dan wijsheid. Zeker bij het bepalen van de hoeveelheid berging in het profiel dat nodig is om de maaiveldafvoer in de winter te bepalen, moet met de aanwezigheid van drainage rekening worden gehouden.

# 4 Maaiveldafvoer in beeld

## 4.1 Inleiding

Hoge afvoeren kunnen mede het gevolg zijn van maaiveldafvoer. Echter, de kennis over dit proces is nog beperkt, zowel procesmatig als parametrisch. Bovendien wordt bij gebruik van neerslagsommen op dagbasis de kans op optreden van maaiveldafvoer systematisch onderschat (piekbuien worden immers over de dag uitgesmeerd). Een belangrijk aandachtspunt voor toepassing van de MA-methode is of deze beperkte kennis van het proces en van de temporele variatie in neerslag leidt tot een gebrekkig resultaat in die zin dat de MA-methode in gebieden waar maaiveldafvoer met enige regelmaat kan optreden, te lage uitkomsten geeft. In dit hoofdstuk zal daarom de maaiveldafvoer in het waterschap Vechtstromen in beeld worden gebracht op basis van de nu beschikbare (beperkte) kennis.
Onlangs is door het waterschap Vechtstromen een eerste stap gezet de kennis over het proces maaiveldafvoer te vergroten door middel van een uitgebreid veldonderzoek op enkele hellende landbouwpercelen in het stroomgebied van de Springendalse Beek. Het veldonderzoek is uitgevoerd door Deltares (De Louw et al. 2015, 2016) en omvatte intensieve metingen van zowel maaiveldafvoer als van de mogelijke factoren die leiden tot het optreden van maaiveldafvoer. De bevindingen uit deze studie zijn meegenomen bij de hieronder besproken methode voor het in beeld brengen van maaiveldafvoer in het waterschap Vechtstromen.

## 4.2 Uitgangspunten

Voor het in beeld brengen van maaiveldafvoer in het waterschap Vechtstromen wordt een aantal uitgangspunten gehanteerd voor klimaat, herhalingstijden en seizoen:

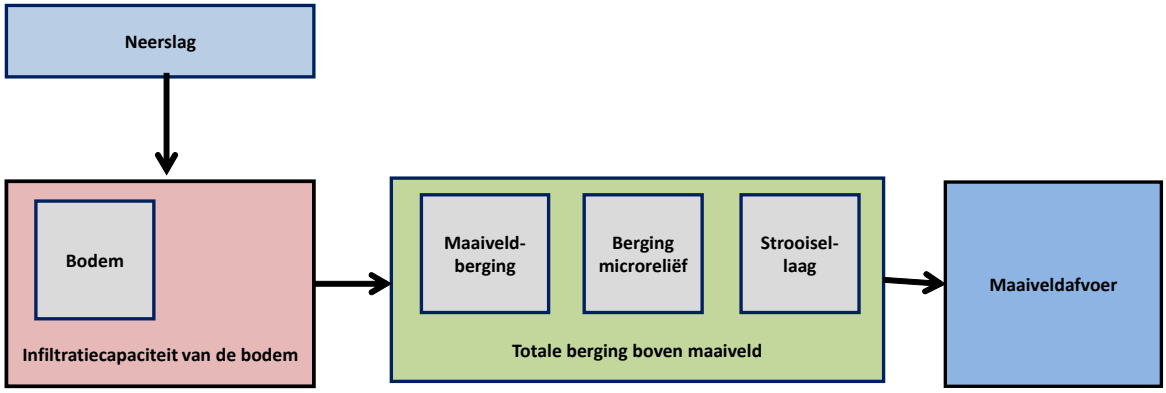
- Klimaat: Huidig en scenario WH2050 (KNMI, 2014)
- Maatgevende buien: T10 en T1
- Seizoen: Onderscheid in zomer met piekbui gedurende 1 dag en winter met aaneengesloten natte periode van 8 dagen.

## 4.3 Werkwijze

De maaiveldafvoer wordt bepaald door bergingseigenschappen van het maaiveld en de bodemeigenschappen in de vorm van infiltratiecapaciteit van de bodem en de bodemberging.
De bergingseigenschappen van het maaiveld bestaan uit maaiveldberging in afvoerloze laagten, bepaald op basis van het AHN2, berging als gevolg van microreliëf op schaal kleiner dan gridgrootte en berging als gevolg van gewas in bijvoorbeeld de strooisellaag. De berekende maaiveldafvoer wordt per afwateringseenheid gecumuleerd.

### 4.3.1 Zomersituatie

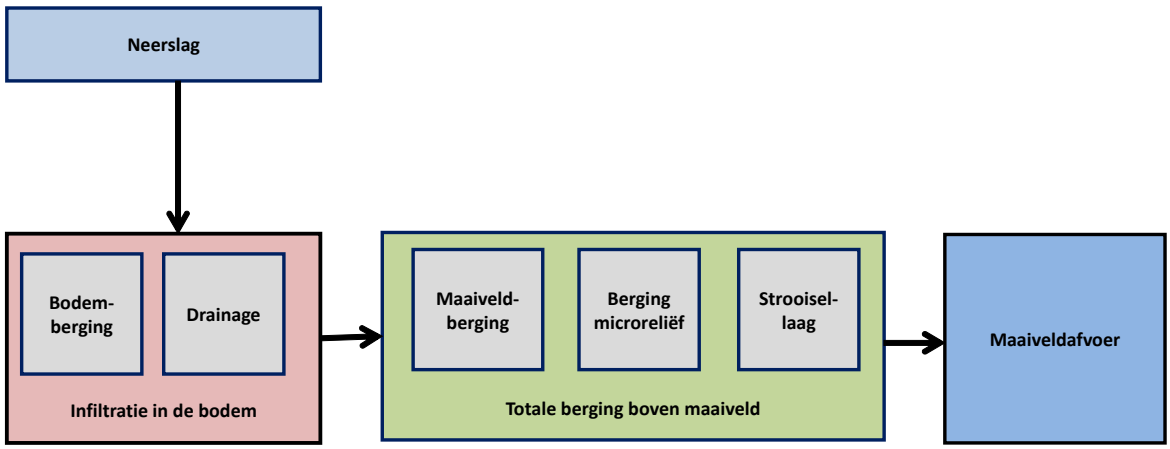
In de zomersituatie (Figuur 4.1) is de bodemberging meestal niet beperkend, maar wel de infiltratiecapaciteit. Namelijk, de zomerbuien kennen (steeds vaker) een veel grotere intensiteit dan winterbuien, waardoor overschrijding van de infiltratiecapaciteit van de bodem kan optreden. Afhankelijk van het bodemtype wordt de bui gecorrigeerd voor de infiltratiecapaciteit op uurbasis, vervolgens wordt de cumulatieve afvoer per dag bepaald. Door rekening te houden met de beschikbare berging is de netto afvoer te bepalen.




***Figuur 4.1*** *Rekenwijze zomersituatie.*

### 4.3.2 Wintersituatie

In de wintersituatie (Figuur 4.2) is de bodemberging in bepaalde gebieden wel beperkend en is de infiltratiecapaciteit vaak geen probleem. Omdat de neerslagperiode meerdere dagen betreft, vindt er via de ondergrond afvoer plaats naar het oppervlaktewaterstelsel, waardoor er extra bodemberging beschikbaar komt; dit wordt in rekening gebracht via de Gt-afvoerrelatie (Tabel 2.1). Door de neerslagreeks te corrigeren op basis van deze afvoer en vervolgens rekening te houden met de beschikbare berging, is de netto afvoer te bepalen.




***Figuur 4.2*** *Rekenwijze wintersituatie.*

Op gridbasis kunnen we dan de berekende maaiveldafvoer bepalen voor de situaties in Tabel 4.1.

***Tabel 4.1*** *Berekende maaiveldafvoer*

| Klimaat | Zomer T10 | Winter T1 | Zomer T10 | Winter T1 |
|---|---|---|---|---|
| Huidig klimaat | X | X | X | X |
| WH2050 | X | X | X | X |

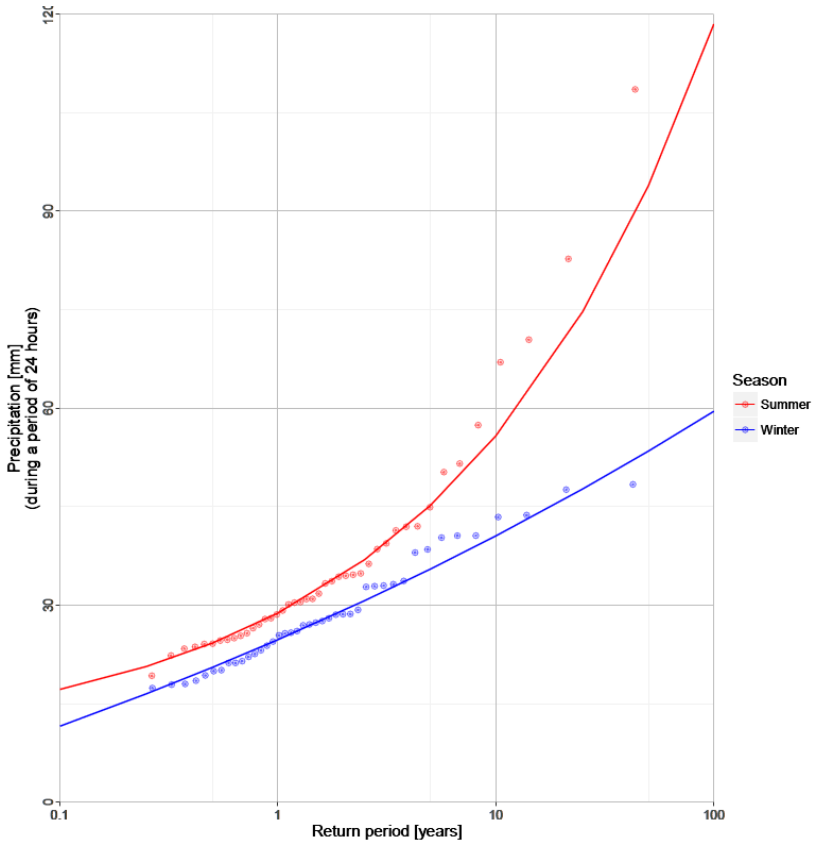
Dit geeft de ruimtelijke verdeling van de maaiveldafvoer en deze kan per deelgebied worden gesommeerd.

## 4.4 Basisdata

### 4.4.1 Selectie neerslag-events

Als representatief neerslagstation voor waterschap Vechtstromen is neerslagstation Twente (290) geselecteerd. Voor dit station zijn vanaf juni 1974 uur-cijfers voor de neerslag beschikbaar. De reeks juni 1974 tot november 2016 is gebruikt voor de analyse. Voor overlappende perioden van 24 uur (totaal ca. 370.000 perioden) is de gesommeerde neerslag berekend. De reeks is opgesplitst in winterperioden (1 oktober t/m 31 maart) en zomerperioden (1 april t/m 30 september). Voor beide perioden zijn neerslag-events geselecteerd voor herhalingstijden van T=1 en T=10 jaar. Piekbuien komen vooral voor in de zomer, terwijl langere natte perioden meer in de winter voorkomen. Bij de selectie van neerslag-events in de zomer wordt uitgegaan van een natte periode van 24 uur en in de winter van 8 dagen (192 uur). De keuze voor de lengte van de perioden is erop gebaseerd dat in de zomer hevige kortdurende zomerbuien kunnen optreden met de kans dat de neerslagcapaciteit de infiltratie-intensiteit overtreft, terwijl in de winterperiode de grondwaterstand, na een langer aanhoudende natte periode, kan stijgen tot in het maaiveld.

**Zomerperiode**
Voor de zomerperiode is voor verschillende herhalingstijden (T) de neerslag voor een periode van 24 uur bepaald (Figuur 4.3).



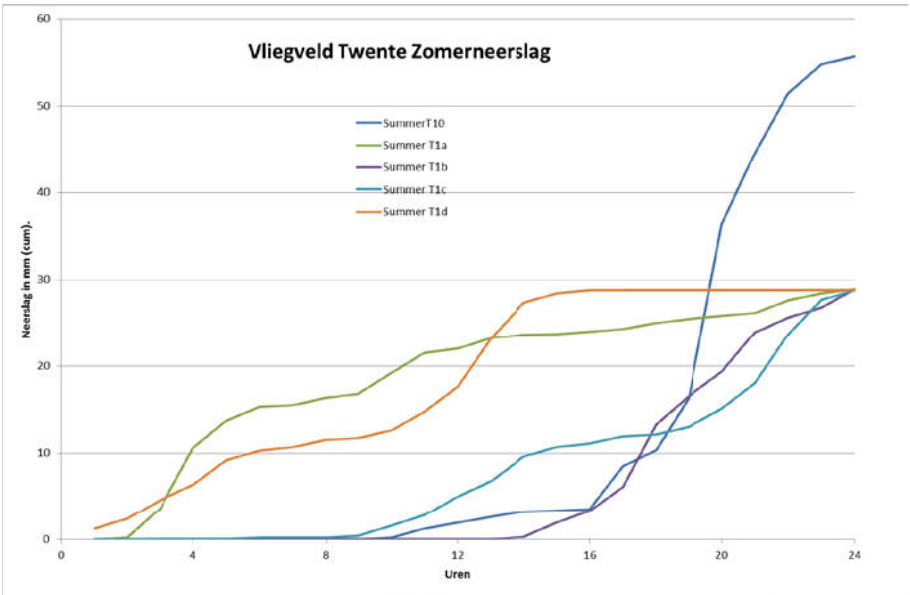

***Figuur 4.3*** *Neerslag voor verschillende herhalingstijden voor de zomer- en winterperiode gedurende 24 uur, gebaseerd op uur-neerslagen voor neerslagstation Twente.*

Figuur 4.3 laat zien dat de zomerneerslagen over 24 uur groter zijn dan de winterneerslagen bij dezelfde herhalingstijd. In Tabel 4.2 zijn voor enkele karakteristieke herhalingstijden waarden weergegeven.

***Tabel 4.2*** *Neerslag over 24 uur in zomer- en winterperiode voor herhalingstijd T=1, 2, 5 en 10 jaar.*

| T | N (mm) Zomer | N (mm) Winter |
|---|---|---|
| 1 | 28.8 | 24.8 |
| 2 | 34.7 | 29.2 |
| 5 | 45.2 | 35.5 |
| 10 | 55.8 | 40.6 |

Voor de herhalingstijd van 1 en 10 jaar is de neerslag gedurende de zomer resp. 28,8 en 55,8 mm/dag. Op basis van deze 2 waarden is gezocht naar natte perioden die hiermee overeenkomen. Voor T=10 is 1 natte zomerperiode geselecteerd en voor T=1 komen 4 natte zomerperioden in aanmerking (Figuur 4.4).

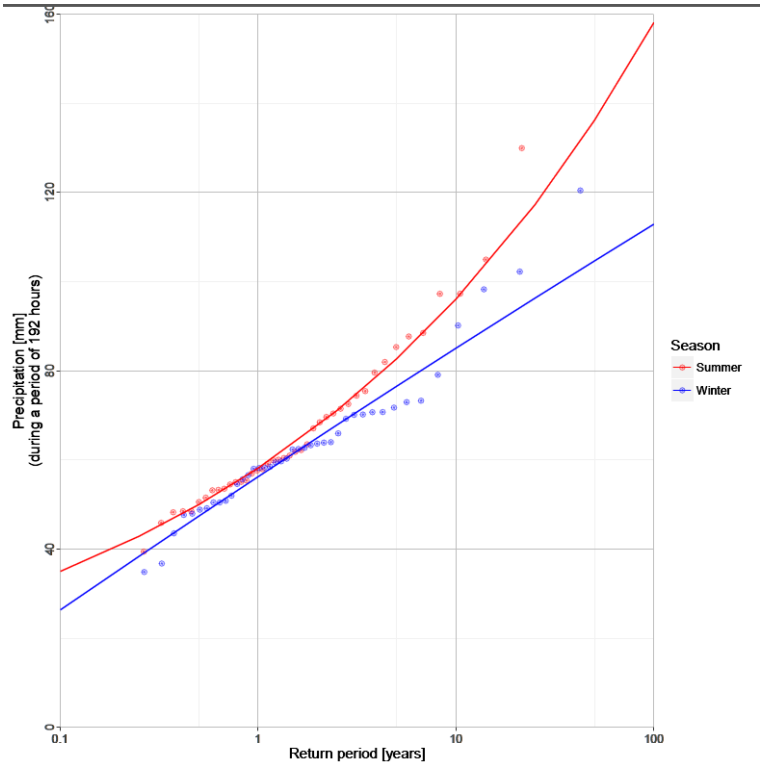



***Figuur 4.4*** *Natte perioden in de zomerperiode (24 h) gemeten op vliegveld Twente voor T=10 en T=1.*

Voor de analyse van de maaiveldafvoer in de zomerperiode wordt de T=10 bui gebruikt en voor de T=1 is gekozen voor bui T1b, omdat deze de hoogste uur-intensiteit heeft, namelijk 7 mm/uur. De uur-sommen zijn weergegeven in Bijlage 1.

**Winterperiode**

Voor de winterperiode is voor verschillende herhalingstijden (T) de neerslag voor een periode van 192 uur (8 dagen) bepaald (Figuur 4.5).

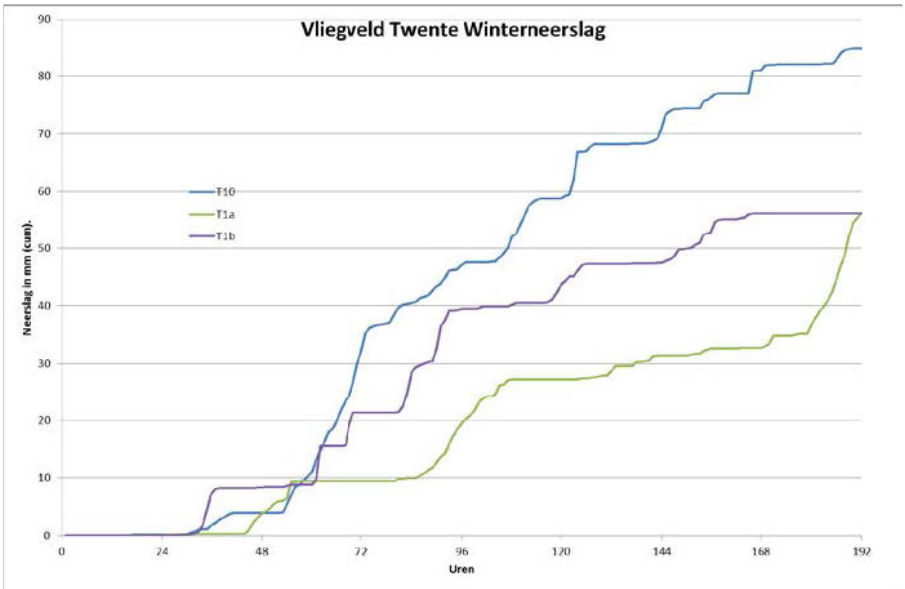



***Figuur 4.5*** *Neerslag voor verschillende herhalingstijden voor de zomer en winterperiode gedurende 192 uur gebaseerd op uur-neerslagen voor neerslagstation Twente.*

In Tabel 4.3 zijn enkele karakteristieke waarden weergegeven voor de neerslag in zomer- en winterperiode met verschillende herhalingstijd.

***Tabel 4.3*** *Neerslag over 192 uur in zomer en winterperiode voor herhalingstijd T=1, 2, 5 en 10 jaar.*

| T | N (mm) Zomer | N (mm) Winter |
|---|---|---|
| 1 | 58.2 | 56.2 |
| 2 | 67.7 | 65.0 |
| 5 | 82.7 | 76.5 |
| 10 | 96. 1 | 85.1 |




***Figuur 4.6*** *Natte perioden in de winterperiode (192 h) gemeten op vliegveld Twente voor T=10 en T=1.*

Voor de herhalingstijd van 1 en 10 jaar is de neerslag gedurende de winter resp. 56,2 en 85,1 mm/dag. Op basis van deze waarden is gezocht naar natte perioden die hiermee overeenkomen. Voor T=10 is 1 natte winterperiode geselecteerd en voor T=1 komen 2 natte winterperioden in aanmerking (Figuur 4.6).

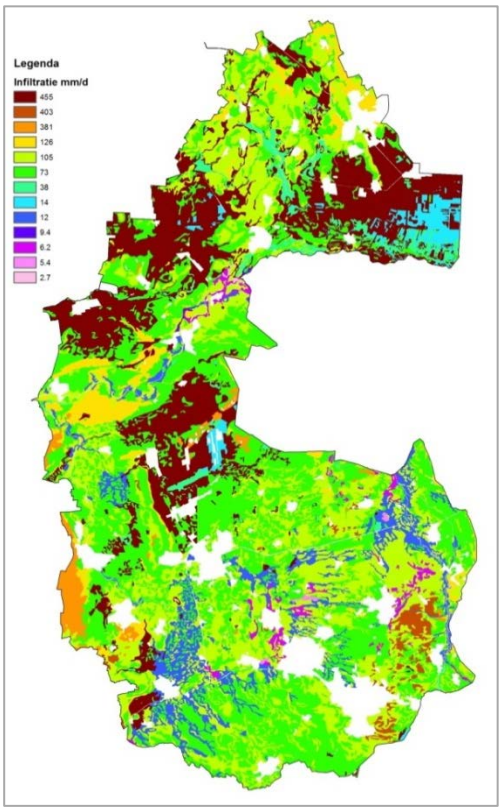
Voor de analyse van de maaiveldafvoer in de winterperiode wordt de T=10 bui gebruikt en voor de T=1 is gekozen voor bui T1a, omdat deze de hoogste dagintensiteit heeft, nl. 23,6 mm/dag. In Tabel 4.4 zijn de 24-uursommen voor de 3 natte perioden weergegeven, in Bijlage 2 de bijbehorende uur-sommen.

***Tabel 4.4*** *24-uursommen cumulatief en op dagbasis van een T=10 en T=1 neerslagperiode voor de winterperiode.*

| dag | $T10_{cum}$ | $T1a_{cum}$ | $T1b_{cum}$ | $T10_{dag}$ | $T1a_{dag}$ |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 0.1 | 0.0 | 0.1 | 0.1 | 0.0 |
| 2 | 3.9 | 3.8 | 8.3 | 3.8 | 3.8 |
| 3 | 32.1 | 9.5 | 21.2 | 28.2 | 5.7 |
| 4 | 47.0 | 19.4 | 39.5 | 14.9 | 9.9 |
| 5 | 58.8 | 27.2 | 43.7 | 11.8 | 7.8 |
| 6 | 70.9 | 31.3 | 47.5 | 12.1 | 4.1 |
| 7 | 81.2 | 32.6 | 56.2 | 10.3 | 1.3 |
| 8 | 85.0 | 56.3 | 56.3 | 3.8 | 23.7 |

### 4.4.2 Infiltratiecapaciteit

Bij intensieve buien in de zomer zorgt een beperkte infiltratiecapaciteit voor plasvorming op het land. De berging in de bodem is meestal geen probleem, omdat de grondwaterstand in de zomer uitzakt waardoor de beschikbare bodemberging toeneemt. Massop et al. (2014) geven waarden voor de grootte van de infiltratiecapaciteit in relatie tot de BOFEK2012-profielen (Bijlage 3). Voor het onderzoeksgebied is de grootte van de infiltratiecapaciteit weergegeven in Figuur 4.7.



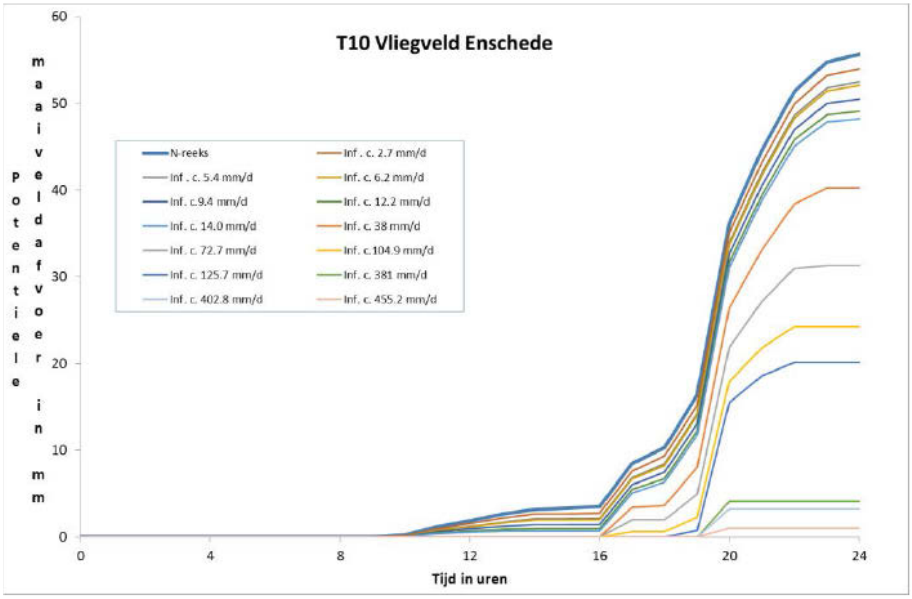

***Figuur 4.7*** *Infiltratiecapaciteit in mm/d (naar Massop et al. 2014).*

## 4.5 Resultaten

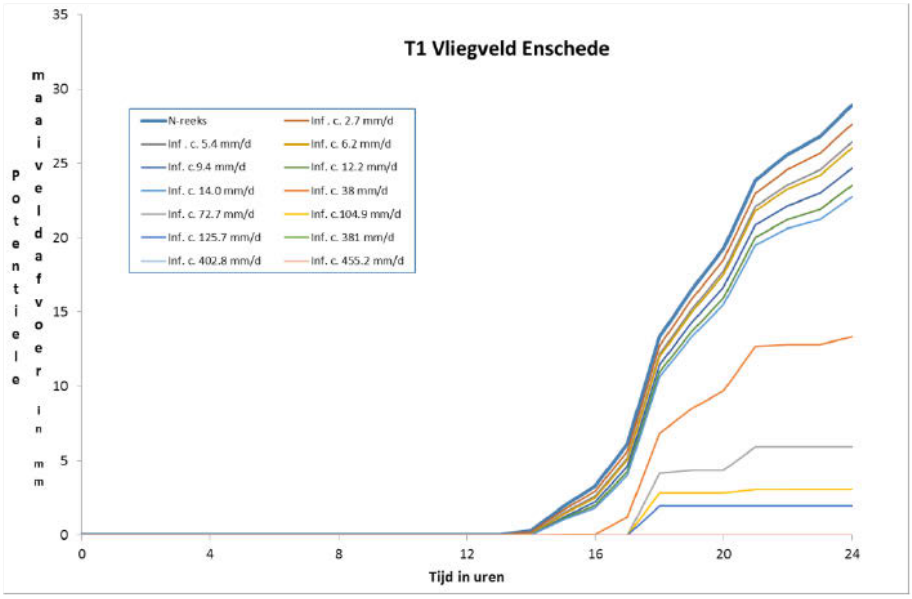
### 4.5.1 Potentiële maaiveldafvoer zomer

Voor de geselecteerde buien uit Figuur 4.4 en 4.6 is, rekening houdend met de infiltratiecapaciteit van de bodem, is de 'potentiële' maaiveldafvoer bepaald voor de buien T1 en T10. Voor de zomerbuien is de potentiële maaiveldafvoer gelijk aan dat deel van de neerslag dat niet in de bodem kan infiltreren, omdat de regenintensiteit de bodemcapaciteit overschrijdt. De vergelijking van de regenintensiteit met de bodeminfiltratiecapaciteit gebeurt op uurbasis.

In Figuur 4.8 is voor een bui T10 de potentiële maaiveldafvoer weergegeven voor verschillende grootten van de infiltratiecapaciteit. De geselecteerde bui heeft als kenmerk dat de neerslag is geconcentreerd in de tweede helft van de periode van 24 uur. Alle gronden geven een potentiële maaiveldafvoer, al is deze voor de beter doorlatende gronden slechts enkele mm's per dag.




***Figuur 4.8*** *Potentiële maaiveldafvoer in mm/dag als gevolg beperkte infiltratiecapaciteit van de bodem bij zomerbui T10.*



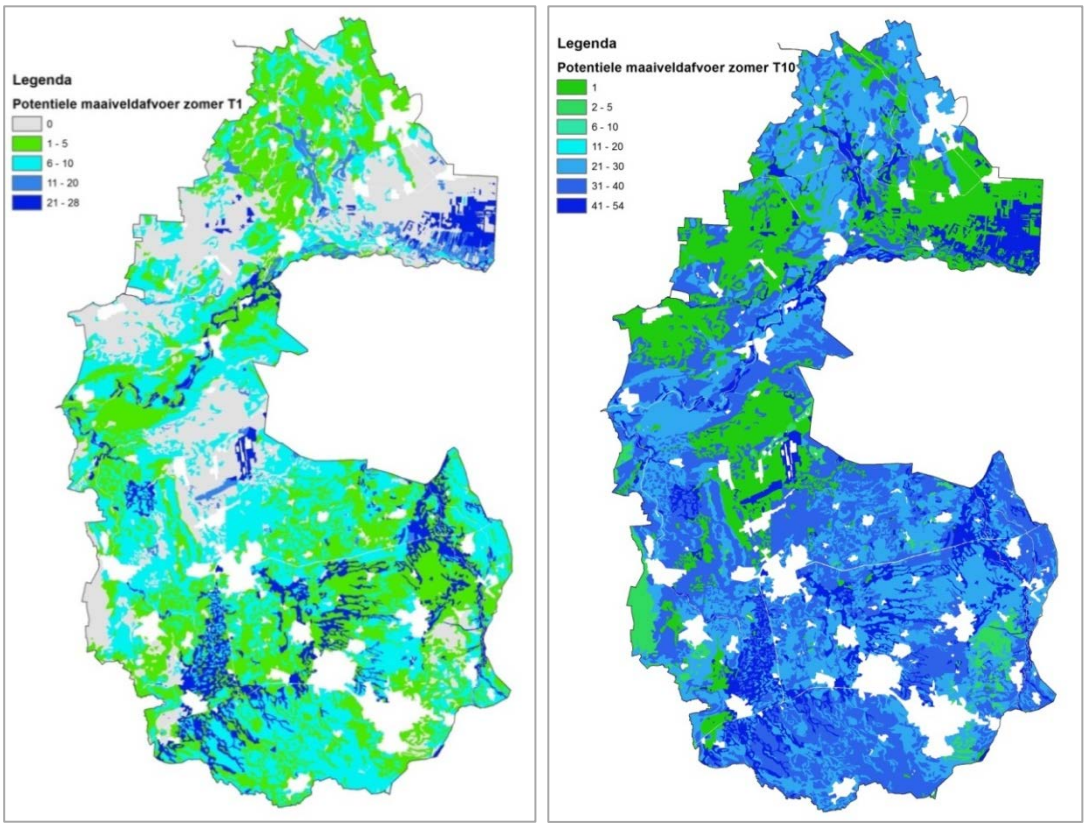

***Figuur 4.9*** *Potentiële maaiveldafvoer in mm/dag als gevolg beperkte infiltratiecapaciteit van de bodem bij zomerbui T1.*

In Figuur 4.9 is voor een bui T1 de potentiële maaiveldafvoer weergegeven voor verschillende grootten van de infiltratiecapaciteit. Evenals de T10-bui wordt de T1-bui gekenmerkt door een concentratie van de neerslag in de tweede helft van de geselecteerde periode. De best doorlatende gronden leiden niet tot potentiële maaiveldafvoer. De potentiële maaiveldafvoer per dag in Figuur 4.8 en 4.9 is tevens samengevat in Tabel 4.5.

***Tabel 4.5*** *Potentiële maaiveldafvoer (mm/dag) voor verschillende infiltratiesnelheden bij T10 en T1 (zomer).*

| Infiltratiecapaciteit mm/d | Potentiële maaiveldafvoer T10 | Potentiële maaiveldafvoer T1 |
|---|---|---|
| N-reeks | 55.7 | 28.9 |
| 2.7 | 54.0 | 27.7 |
| 5.4 | 52.5 | 26.4 |
| 6.2 | 52.1 | 26.1 |
| 9.4 | 50.5 | 24.7 |
| 12.2 | 49.1 | 23.5 |
| 14.0 | 48.2 | 22.8 |
| 38 | 40.2 | 13.3 |
| 72.7 | 31.3 | 5.9 |
| 104.9 | 24.2 | 3.1 |
| 125.7 | 20.2 | 2.0 |
| 381 | 4.1 | 0.0 |
| 402.8 | 3.2 | 0.0 |
| 455.2 | 1.0 | 0.0 |

Deze gesommeerde potentiële maaiveldafvoer (Tabel 4.5) is voor de situatie T1 en T10 ruimtelijk weergegeven in Figuur 4.10.




***Figuur 4.10*** *Potentiële maaiveldafvoer voor T1 en T10 in de zomer.*

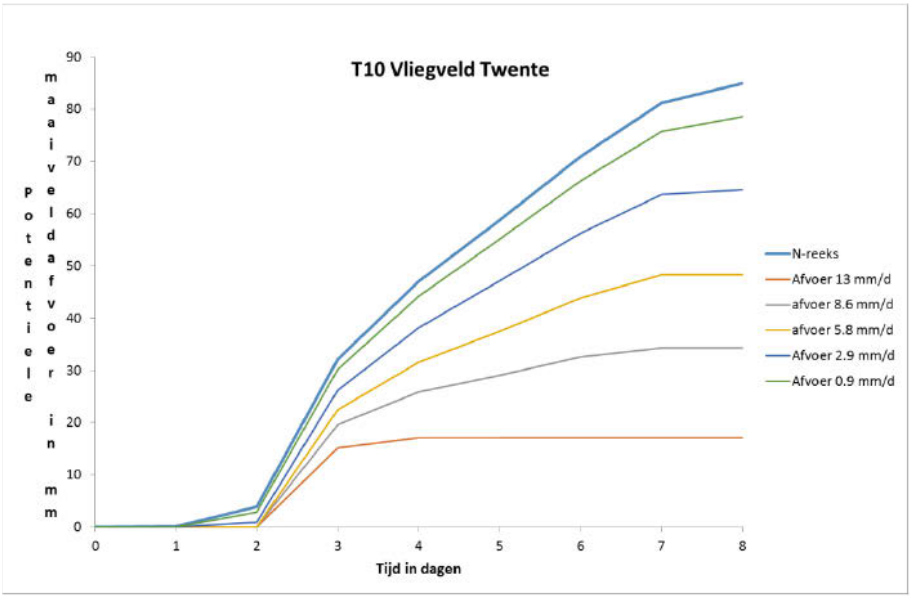
## 4.5.2 Potentiële maaiveldafvoer winter

De bepaling van de potentiële maaiveldafvoer in de winterperiode bestaat in tegenstelling tot de bepaling in de zomerperiode niet uit één deel, maar uit twee delen. In de winter moet namelijk gecorrigeerd worden voor zowel de (1) ondergrondse afvoer als de (2) bodemberging. Voor de bepaling van de potentiële maaiveldafvoer is uitgegaan van GHG volgens het waterschap.

### 4.5.2.1 Ondergrondse afvoer bij GHG

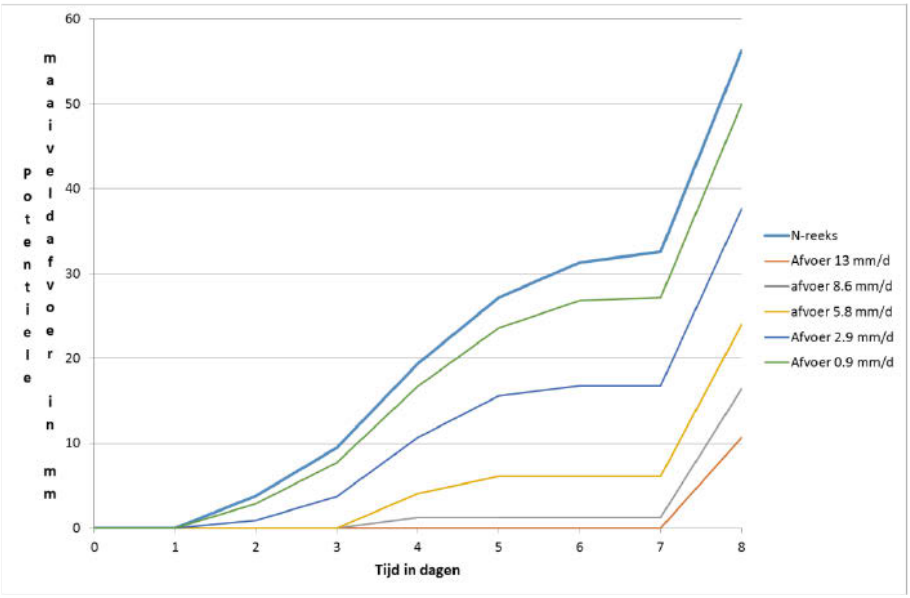
Voor de wintersituatie wordt een langere periode van 8 dagen beschouwd. Voor deze periode is aangenomen dat de infiltratiecapaciteit niet beperkend is. Over een periode van 8 dagen vindt er ondergrondse afvoer plaats (grondwaterafvoer), waardoor er extra bodemberging beschikbaar komt. Om deze factor in rekening te brengen, is uitgegaan van de situatie bij maatgevende afvoer; deze is afhankelijk van bodem en de Gt (zie Tabel 2.1 (Werkgroep Cultuurtechnisch Vademecum, 1988) en hoofdstuk 2).

Om het effect van de ondergrondse afvoer op de neerslag te laten zien, zijn in Figuur 4.11 en 4.12 enkele voorbeelden uitgewerkt op basis van de afvoeren uit Tabel 2.1, waarbij de N-reeks voor een periode van 8 dagen is gecorrigeerd voor de ondergrondse afvoer. Voor elke afzonderlijke reeks is uitgegaan van een constante afvoer gedurende deze 8 dagen.




***Figuur 4.11*** *Neerslag gecorrigeerd voor ondergronds afvoer bij T10 natte periode (winter).*

De eerste twee dagen van de geselecteerde periode (T10) zijn relatief droog met 0,1 en 3,9 mm/dag. De meeste regen valt op dag 3, namelijk 27,3 mm. Daarna volgen nog enkele dagen met 10-14 mm neerslag.

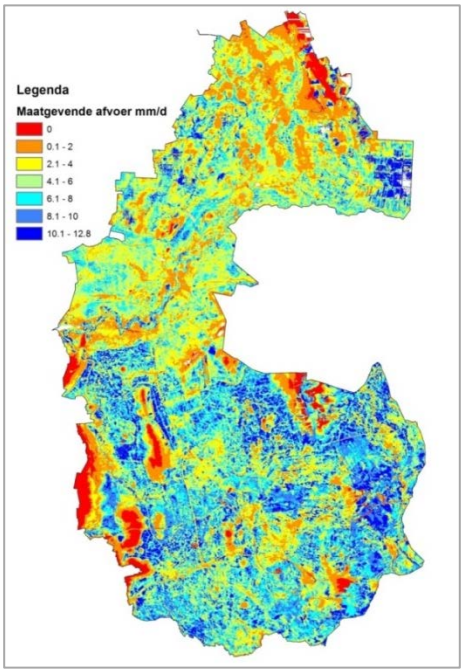



***Figuur 4.12*** *Neerslag gecorrigeerd voor ondergronds afvoer bij T1-natte periode (winter).*

De grootste hoeveelheid (T1) valt op dag 8, namelijk 23,7 mm. Mogelijk geeft dit enigszins een overschatting, omdat een deel van de maatgevende afvoer zou kunnen bestaan uit maaiveldafvoer. Voor de verdere uitwerking is uitgegaan van de in de voorgaande hoofdstukken besproken kaart met maatgevende afvoeren, zoals die door het waterschap is opgesteld.

*Maatgevende afvoer*

Waterschap Vechtstromen heeft een kaart aangeleverd met betrekking tot de maatgevende afvoer (Figuur 4.13). Voor de samenstelling van de kaart voor de maatgevende afvoer is gebruikgemaakt van een relatie tussen de GHG en afvoer. De GHG-kaart bestaat uit twee delen: het oude 'Velt en Vecht'-beheergebied en het oude 'Regge en Dinkel'-gebied. Deze GHG-kaart wordt in hoofdstuk 3 aangeduid als model-GHG en laat een duidelijk verschil zien tussen het oude 'Velt en Vecht'- en 'Regge en Dinkel'-gebied, zoals eerder besproken (zie hoofdstuk 3). Dit verschil uit zich daarom ook duidelijk in de bepaalde maatgevende afvoer zoals in Figuur 4.13 duidelijk te zien is: het noordelijke deel heeft een duidelijk gemiddeld lagere maatgevende afvoer (door drogere GHG) dan het zuidelijke deel.

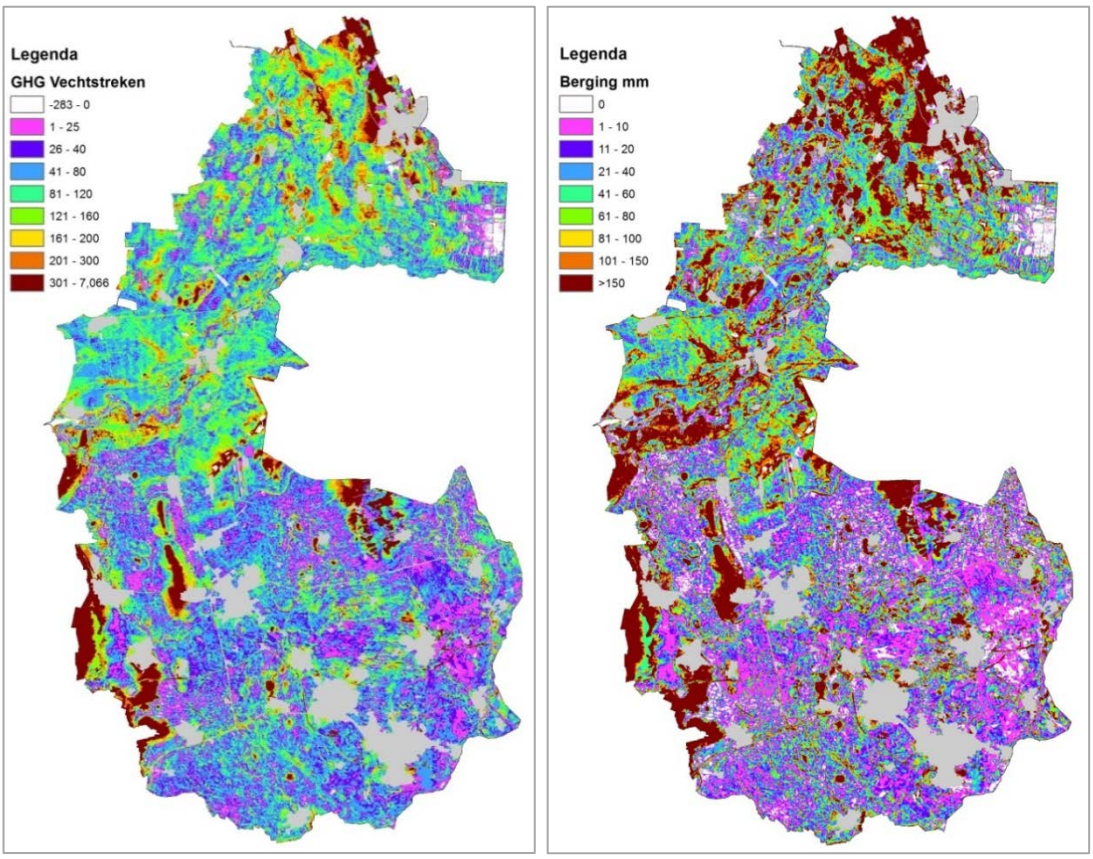



***Figuur 4.13*** *Maatgevende afvoer volgens het waterschap, afgeleid van model-GHG op basis Alterra-methode.*

De neerslag gecorrigeerd voor ondergrondse afvoer voor de wintersituatie is bepaald door de dagsommen van de neerslag te verminderen met de drainage bij maatgevende afvoer (Figuur 4.13).

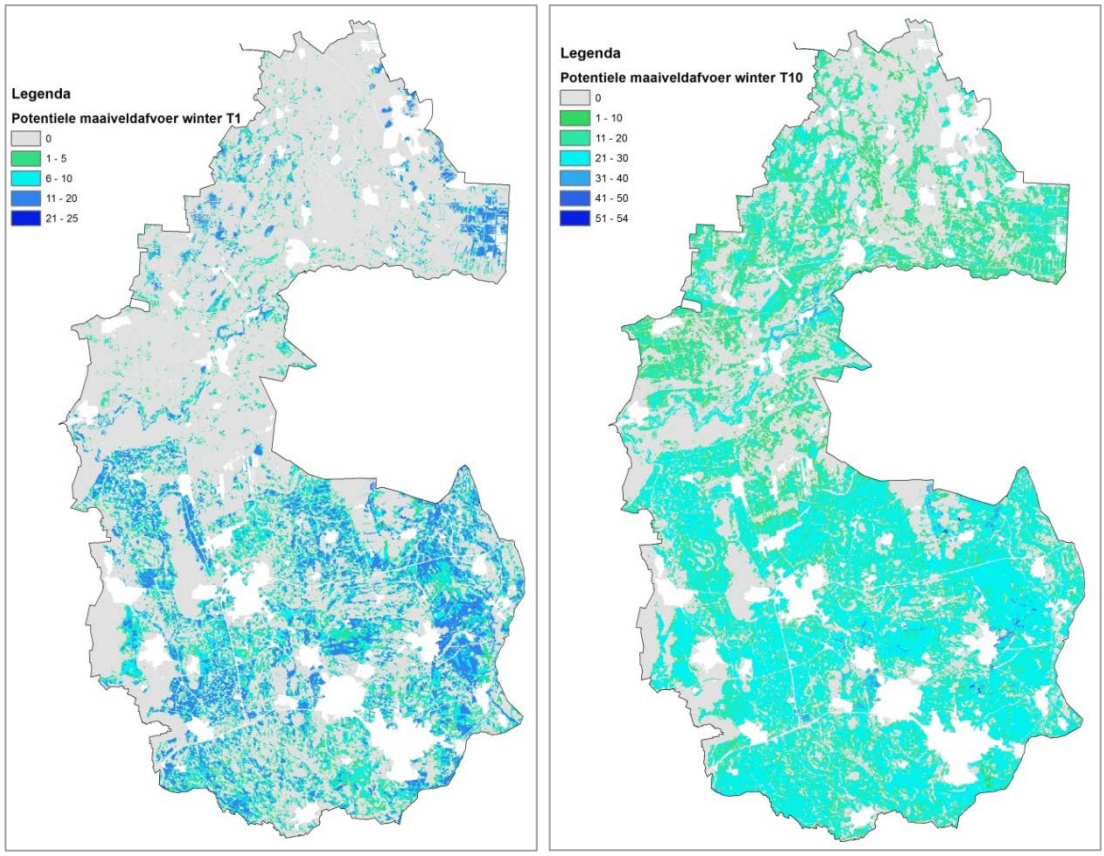
#### 4.5.2.2 Bodemberging bij GHG

De beschikbare bodemberging, tussen het grondwatervlak en maaiveld, is afhankelijk van bodemeigenschappen, de grondwaterstand en de waterflux door het profiel. De bodemeigenschappen zijn ontleend aan de BOFEK-profielen (Wösten et al. 2013) en de grondwaterstand is ontleend aan de GHG-kaart van het waterschap. Verder is een neergaande flux van 2 mm/d aangenomen bij GHG-situatie. Vervolgens is de beschikbare bodemberging in de GHG-situatie bepaald (Figuur 4.14).




***Figuur 4.14*** *GHG (links; cm –mv) en beschikbare berging bij GHG (rechts).*

De potentiële maaiveldafvoer voor de wintersituatie is bepaald door de cumulatieve neerslag over de periode van 8 dagen te verminderen met de ondergrondse afvoer en de bodemberging. We spreken van potentiële maaiveldafvoer, omdat er op het maaiveld ook nog berging plaatsvindt. Dit is in de volgende paragraaf bepaald. De berekende potentiële maaiveldafvoer voor de wintersituatie staat voor T1 en T10 weergegeven in onderstaande figuur.




***Figuur 4.15*** *Potentiële maaiveldafvoer (mm/dag) voor T1 en T10 in de winter.*

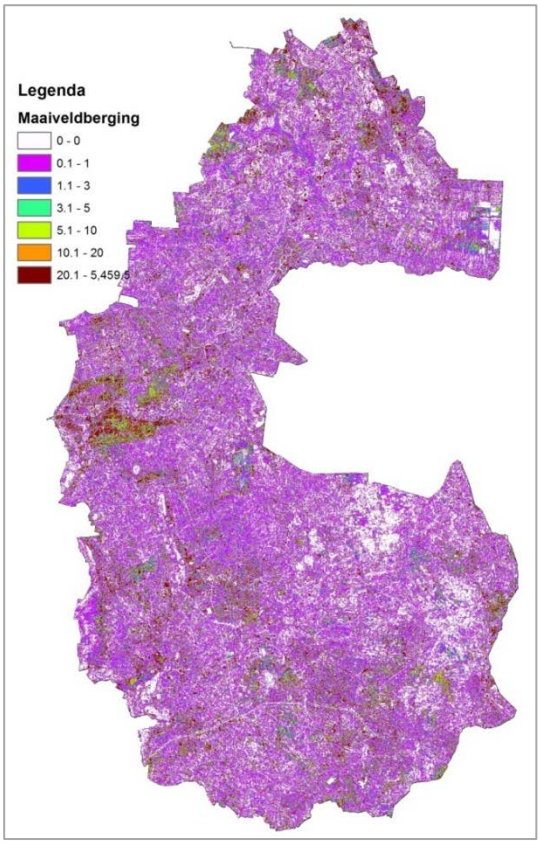
### 4.5.3 Berging op het maaiveld

Het water dat in de zomersituatie niet in de bodem infiltreert en in de wintersituatie niet ondergronds kan worden afgevoerd en geborgen, blijft aan maaiveld staan en kan via afstroming tot afvoer komen. Door lokale laagtes, microreliëf en de strooisellaag kan dit water op maaiveld worden geborgen. De totale berging op het maaiveld is de som van drie bergingscomponenten, namelijk:

1. maaiveldberging (afvoerloze laagten);
2. maaiveldberging a.g.v. aanwezigheid van microreliëf;
3. berging in strooisellaag (indien aanwezig).

#### 4.5.3.1 Maaiveldberging in afvoerloze laagten

De maaiveldberging in afvoerloze laagten is afgeleid van het AHN2 (Massop et al. 2014). Dit bestand heeft een gridgrootte van 0,5*0,5 $m^2$. Voor elke grid kan de afvoerrichting worden bepaald. Indien een grid niet kan afvoeren, wordt deze opgehoogd tot het niveau dat er afvoer kan plaatsvinden naar een naastgelegen gridcel. Dit geeft een nieuw hoogtebestand. Door vergelijking van het oorspronkelijke hoogtebestand met het nieuwe bestand kan de beschikbare maaiveldberging worden berekend. Vervolgens is dit bestand omgezet naar een 25 m-grid (Figuur 4.16). In Figuur 4.16 is te zien dat het voor het grootste deel van het gebied om relatief geringe hoeveelheden gaat.



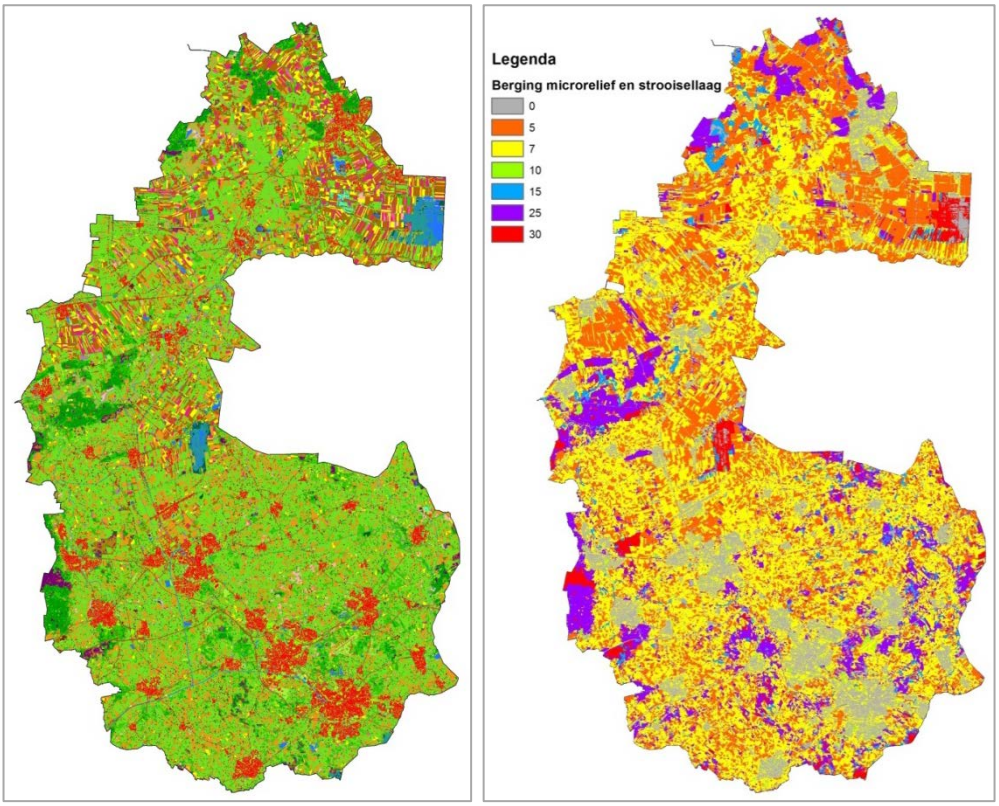

***Figuur 4.16*** *Maaiveldberging in afvoerloze laagten afgeleid uit AHN2.*

#### 4.5.3.2 Berging in microreliëf en strooisellaag

De maaiveldberging als gevolg van de aanwezigheid van microreliëf en de strooisellaag is gekoppeld aan het landgebruik volgens het landelijke LGN7-bestand (Hazeu et al. 2014). Hiervoor hebben we een experttabel, Tabel 4.6, opgesteld. Het resultaat is ruimtelijk weergegeven in Figuur 4.17.

***Tabel 4.6*** *Inschatting van de berging microreliëf en strooisellaag in mm.*

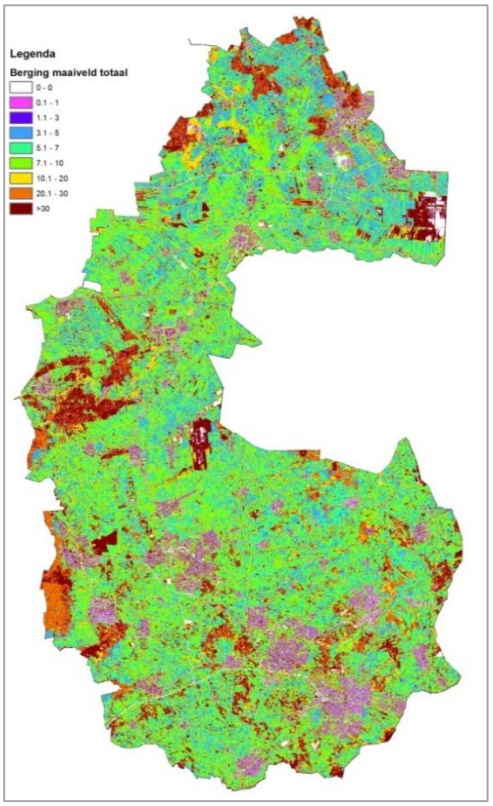
| Landgebruik (LGN7) | Microreliëf | Strooisellaag | Totaal |
|---|---|---|---|
| Gras | 2 | 5 | 7 |
| Natuurgrasland | 10 | 5 | 15 |
| Mais | 5 | 0 | 5 |
| Akkerbouw | 5 | 0 | 5 |
| Heide | 20 | 10 | 30 |
| Bos | 0 | 25 | 25 |
| Bebouwing en infrastructuur<br>Water en moeras | 0 | 0 | 0 |




***Figuur 4.17*** *Landgebruik volgens LGN7 (links) en de daaruit afgeleide aanvullende berging in microreliëf en strooisellaag (rechts).*

#### 4.5.3.3 Maaiveldberging totaal

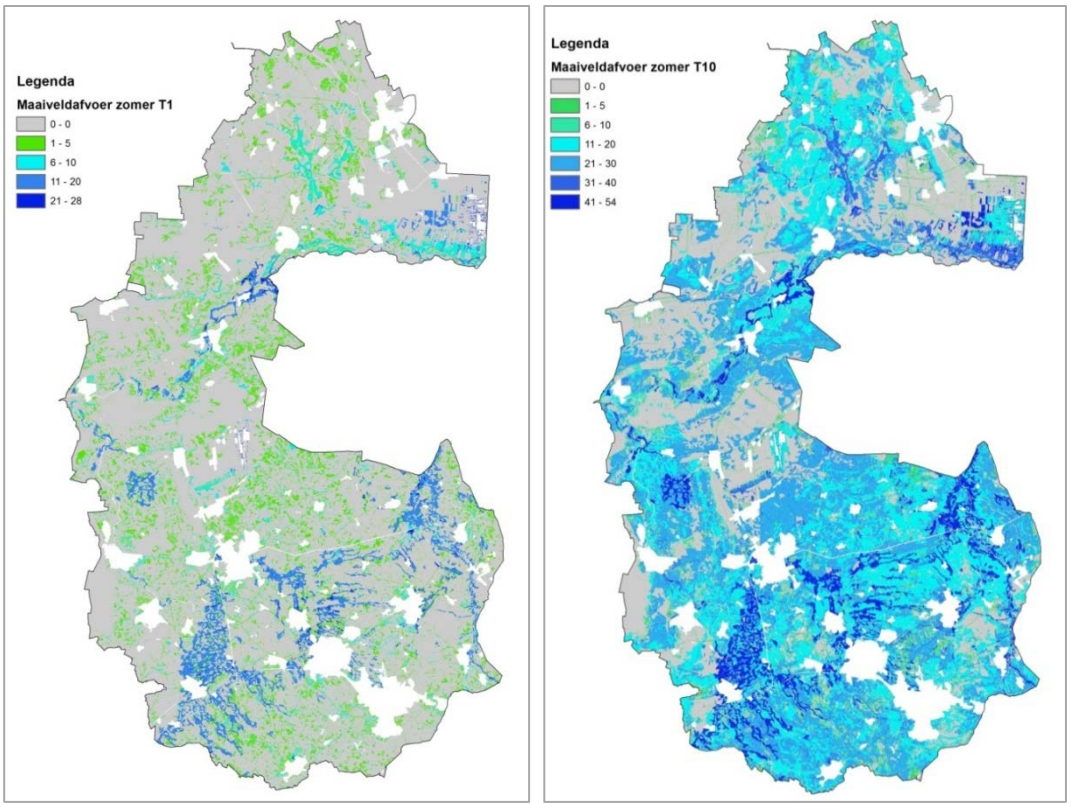
De gesommeerde maaiveldberging van Figuur 4.16 en 4.17 is weergegeven in Figuur 4.18.




***Figuur 4.18*** *Beschikbare totale berging op maaiveld (in afvoerloze laagten, microreliëf en strooisellaag) in mm.*

### 4.5.4 Maaiveldafvoer in de zomersituatie

De berekende potentiële maaiveldafvoer voor de zomersituatie (paragraaf 4.5.1) is vervolgens gecorrigeerd voor de beschikbare maaiveldberging, zoals bepaald in paragraaf 4.5.3 (Figuur 4.15). Dit geeft de berekende maaiveldafvoer voor de T1 en T10 situatie, zoals weergegeven in Figuur 4.19.

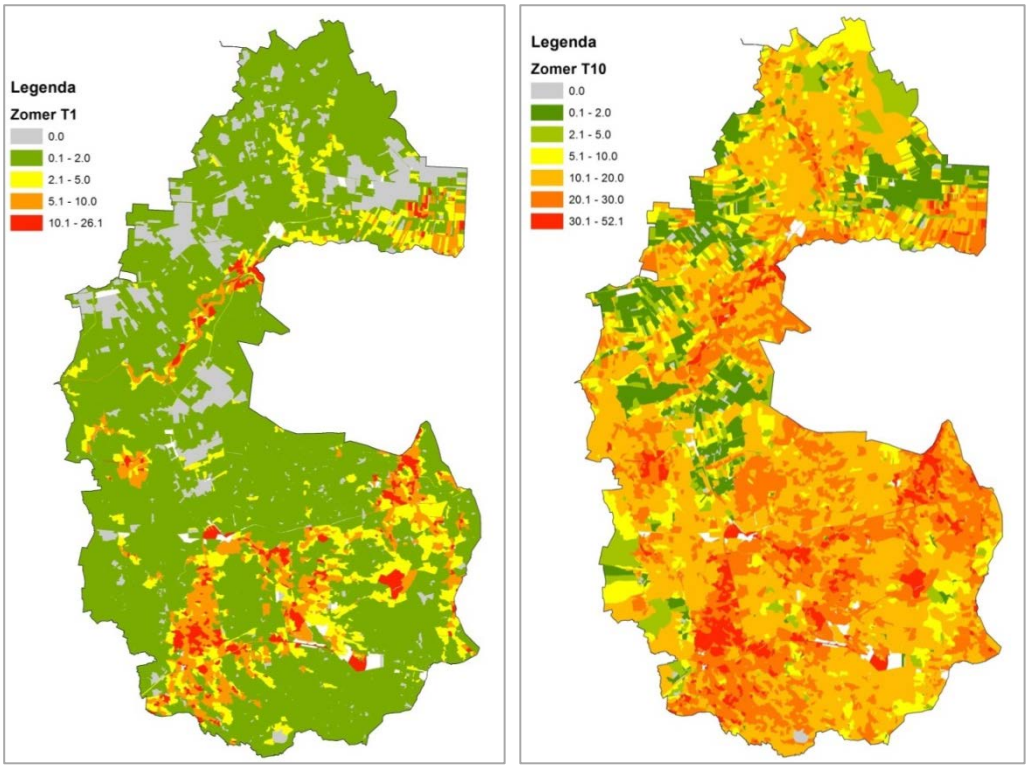



***Figuur 4.19*** *Maaiveldafvoer voor T1 en T10 in de zomer.*

In grote delen van het gebied is de infiltratiecapaciteit van de bodem in combinatie met de maaiveldberging voldoende om een T1-bui te verwerken zonder maaiveldafvoer. In de beek- en rivierdalen, waaronder die van de Vecht, is wel kans op maaiveldafvoer. Ook in het gebied tussen Goor en Almelo liggen flinke gebieden met kans op maaiveldafvoer.
In de situatie T10 neemt het areaal met kans op maaiveldafvoer aanzienlijk toe.

Waterschap Vechtstromen heeft een kaart met afwateringseenheden aangeleverd. Op deze kaart worden 10.599 afwateringseenheden onderscheiden. De afwateringseenheden variëren in grootte van 0,0016 $m^2$ (dit betreft artefacten) tot 1190,6 ha. Aan ruim 9600 afwateringseenheden kunnen een of meerdere gridcellen van Figuur 4.19 worden gelinkt. Door deze te middelen per afwateringseenheid is de gemiddelde bijdrage van de maaiveldafvoer per afwateringseenheid bepaald (Figuur 4.20).

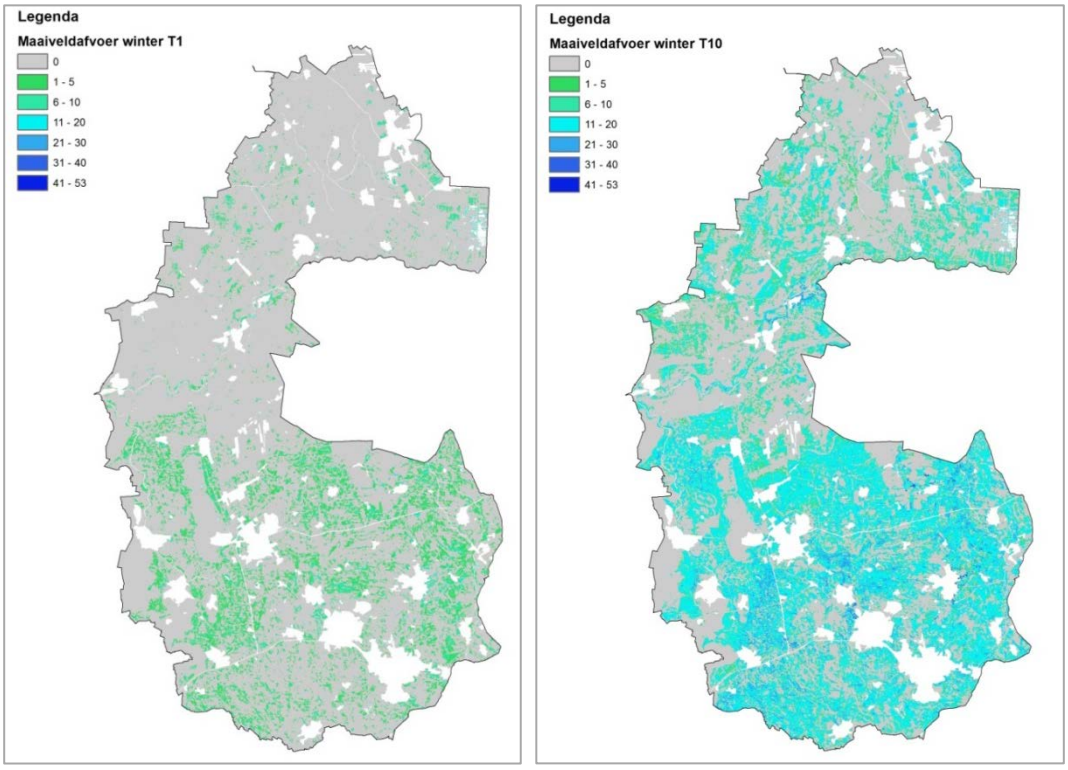
Gebieden waarin al maaiveldafvoer optreedt bij een T1-bui in de zomer, zijn bijvoorbeeld het Bargerveen, het Vechtdal, het dal van het Drostendiep en de Westerstroom, de omgeving van Daarle, het gebied ten westen van het Twentekanaal tussen Goor en Almelo, de beekdalen ten zuiden van het Twentekanaal, de omgeving van Hengelo en Oldenzaal en het dal van de Dinkel.
Bij een T10-bui kennen bijna alle afwateringseenheden maaiveldafvoer (Figuur 4.20).




***Figuur 4.20*** *Maaiveldafvoer per afwateringseenheid voor T1 en T10 in de zomer.*

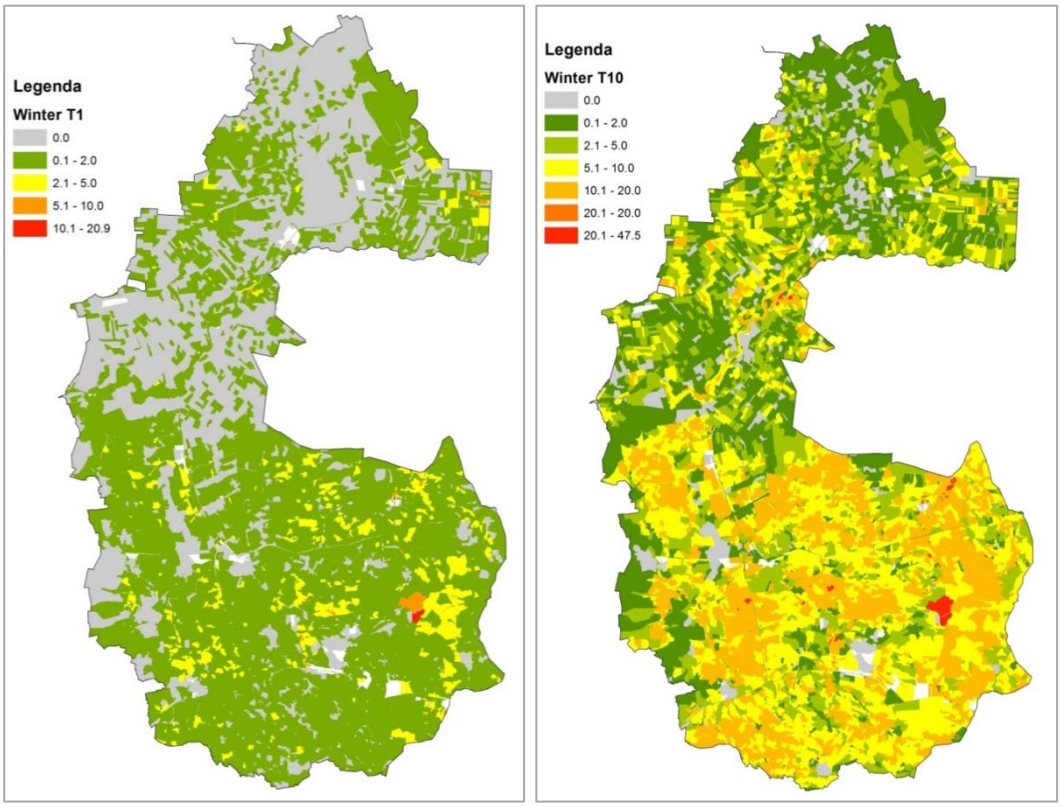
### 4.5.5 Maaiveldafvoer in de wintersituatie

De berekende potentiële 8-daagse maaiveldafvoer in de winter is gecorrigeerd voor de beschikbare maaiveldberging (Figuur 4.18). Dit geeft de berekende maaiveldafvoer voor de T1- en T10-wintersituatie, weergegeven in Figuur 4.21. De T10-situatie laat een veel grotere maaiveldafvoer zien dan de T1-situatie.




***Figuur 4.21*** *8-daagse maaiveldafvoer voor T1 (links) en T10 (rechts) in de winter.*

Deze maaiveldafvoer is ook geaggregeerd per afwateringseenheid en het resultaat staat in Figuur 4.22. Bij een T1 natte periode is de maaiveldafvoer relatief gering. Bij een T10 natte periode is er vrijwel overal sprake van maaiveldafvoer. Het gebied van het voormalige waterschap Regge en Dinkel geeft volgens de kaart meer maaiveldafvoer dan het voormalige waterschap Velt en Vecht. Dit verschil wordt veroorzaakt door het eerdergenoemde verschil in de aangeleverde model-GHG (zie hoofdstuk 3).

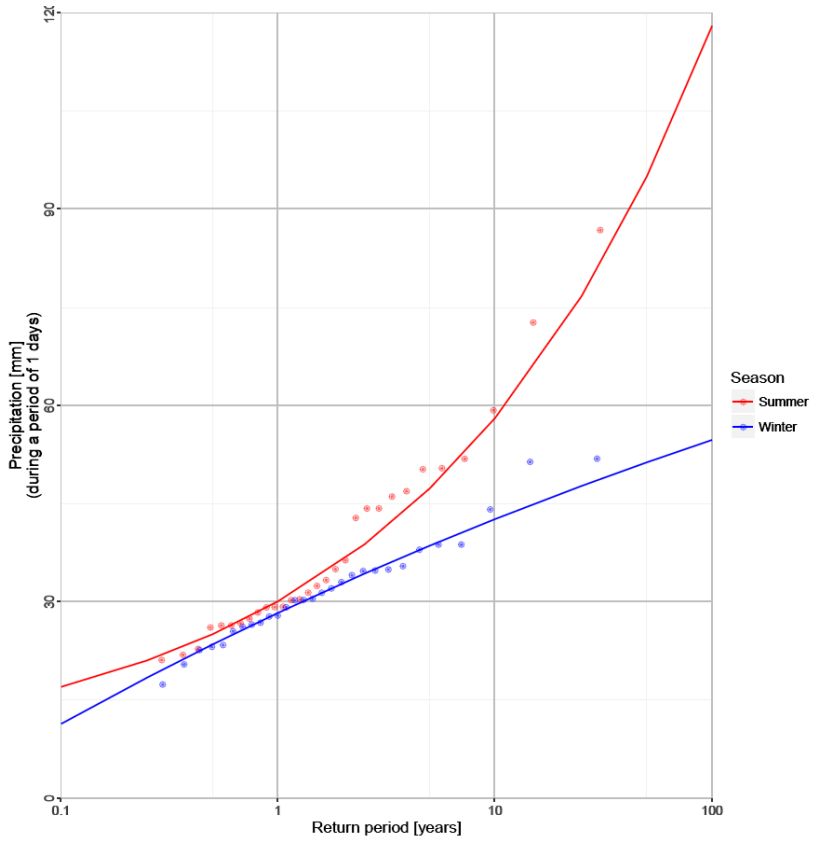



***Figuur 4.22*** *8-daagse maaiveldafvoer per afwateringseenheid voor T1 (links) en T10 (rechts) in de winter.*

## 4.6 Klimaatverandering

### 4.6.1 Neerslag in 2050 bij $W_H$-centraal-scenario

Er zijn geen neerslagreeksen met uur-cijfers voor KNMI'14-klimaatscenario's (KNMI, 2014) beschikbaar. Om de effecten van klimaatverandering te bepalen, is de (gehomogeniseerde) meteoreeks met dagelijkse neerslagen van station Enschede voor de periode 1 januari 1995 t/m 31 december 2010 getransformeerd naar een meteoreeks voor de periode 1 januari 2035 t/m 31 december 2065 volgens het $W_H$ centraal scenario (http://climexp.knmi.nl/scenarios_knmi14_form.cgi). Voor de zomer- en winterperiode is voor verschillende herhalingstijden (T) de dagelijkse neerslag bepaald (Figuur 4.23). Deze aanpak wijkt enigszins af van de eerdere methode, waarbij is uitgegaan van overlappende perioden van 24 uur.




***Figuur 4.23*** *Neerslag gedurende 24 uur voor verschillende herhalingstijden gebaseerd op dagelijkse neerslagen voor de zomer- en winterperiode voor neerslagstation Twente voor de periode 2025-2065 voor het scenario $W_H$-centraal.*

In Tabel 4.7 is voor bepaalde herhalingstijden op basis van de getrokken lijnen in Figuur 4.23 de neerslag over 24 uur weergegeven.

***Tabel 4.7*** *Neerslag over 24 uur in zomer- en winterperiode voor herhalingstijd T=1, 2, 5 en 10 jaar in 2050 bij het $W_H$-centraal scenario.*

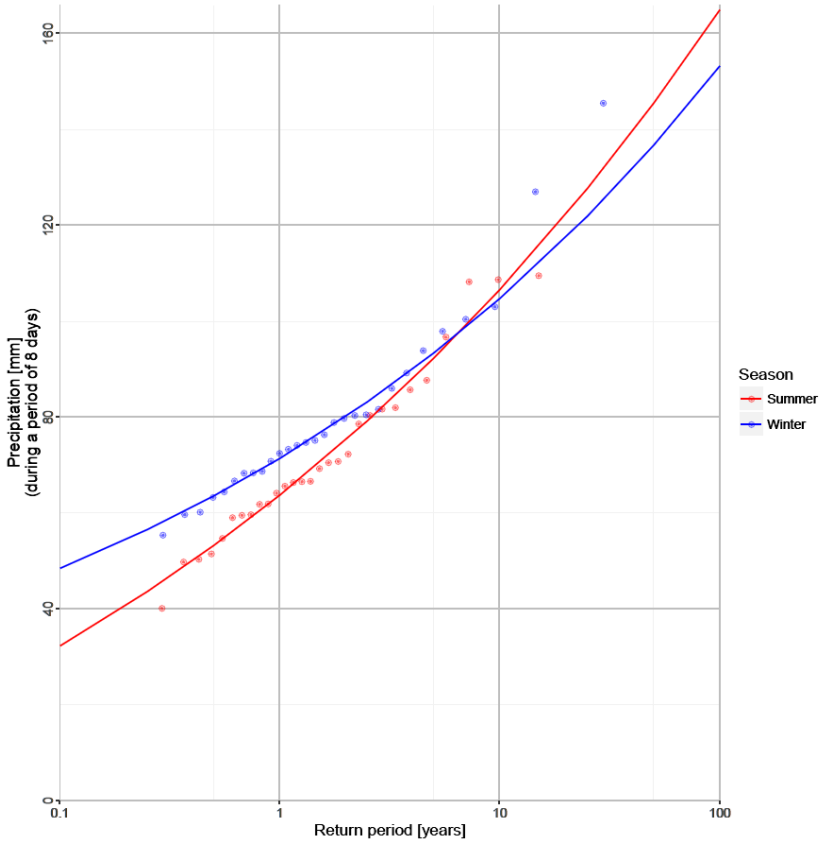
| T | N (mm) Zomer | N (mm) Winter |
|---|---|---|
| 1 | 30.1 | 28.3 |
| 2 | 36.4 | 32.9 |
| 5 | 47.4 | 38.6 |
| 10 | 58.1 | 42.7 |

### 4.6.2 Zomerperiode

Uit Figuur 4.23 en Tabel 4.7 blijkt dat de zomerneerslagen over 24 uur groter zijn de winterneerslagen bij eenzelfde herhalingstijd. Ook neemt het verschil toe met langere herhalingstijden.
Ten opzichte van het actuele klimaat is voor de herhalingstijd van 1 jaar de neerslag toegenomen met 1,3 mm; bij een herhalingstijd van 10 jaar is de toename 2,3 mm (vergelijk Tabel 4.2 met Tabel 4.7). Uit de reeksen met uur-cijfers zou wederom een bui kunnen worden geselecteerd die overeenkomt met neerslag bij een herhalingstijd van 1 resp. 10 jaar. Echter, de toename is relatief gering. KNMI (2014) geeft voor dagelijkse neerslag in de zomer met een herhalingstijd van 10 jaar een waarde van 44 mm voor zowel de periode 1951-1980 alsook voor de periode 1980-2010. Voor klimaatscenario $W_H$ wordt voor 2050 een toename verwacht van 2,5-22%; dit komt overeen met 45,0-53,7 mm. Deze hoeveelheid is geringer dan afgeleid uit de meteoreeks voor Twente.

### 4.6.3 Winterperiode

Voor de winterperiode is voor verschillende herhalingstijden (T) de neerslag voor een periode van 8 dagen bepaald in 2050 op basis van het $W_H$-centraal-scenario. Het resultaat is weergegeven in Figuur 4.24.




***Figuur 4.24*** *Neerslag over 8 dagen voor verschillende herhalingstijden gebaseerd op dagelijkse neerslagen voor de zomer en winterperiode voor neerslagstation Twente voor de periode 2025-2065 voor het scenario $W_H$-centraal.*

Uit Figuur 4.24 en Tabel 4.8 blijkt dat de winterneerslagen over 8 dagen groter zijn dan de zomerneerslagen bij een herhalingstijd kleiner dan 5 jaar. Bij een herhalingstijd van 10 jaar verschillen de neerslaghoeveelheden voor de zomer en winter slechts 1,8 mm.

***Tabel 4.8*** *Neerslag over 192 uur in zomer- en winterperiode voor herhalingstijd T=1, 2, 5 en 10 jaar.*

| T | N (mm) Zomer | N (mm) Winter |
|---|---|---|
| 1 | 63.8 | 71.4 |
| 2 | 75.3 | 80.2 |
| 5 | 92.3 | 93.4 |
| 10 | 106.6 | 104.8 |

In vergelijking met Tabel 4.3 is de winterneerslag bij een herhalingstijd van 1 jaar toegenomen met 15,2 mm en bij 10 jaar met 19,7 mm.

KNMI (2014) geeft enkele indicatoren m.b.t. tot de neerslag voor het huidige klimaat en de scenario veranderingen voor het klimaat rond 2050 (Tabel 4.9).

***Tabel 4.9*** *Indicatoren voor de neerslag huidig klimaat en rond 2050 (KNMI, 2014).*

| Seizoen | Indicator | 1951-1980 | 1981-2010 | 2050 $W_L$ | 2050 $W_H$ |
|---|---|---|---|---|---|
| W | Gemiddelde hoeveelheid | 188 | 211 | +8% | +17% |
| I | 10-daagse neerslagsom die eens in de | 80 | 89 | +12% | +17% |
| N | 10 jaar wordt overschreden | | | | |
| T | Aantal natte dagen (>0.1 mm) | 56 | 55 | -0.4% | +2,4% |
| E | Aantal dagen > 10 mm | 4.1 | 5.3 | +20% | +35% |
| R | | | | | |
| Z | Gemiddelde hoeveelheid | 224 | 224 | +1,4% | -13% |
| O | Dagelijkse hoeveelheid die eens in de | 44 | 44 | +3 tot +21% | +2,5 tot +22% |
| M | 10 jaar wordt overschreden | | | | |
| E | Maximum uur-neerslag per jaar | 14,9 | 15,1 | +12 tot +23% | +13 tot +25% |
| R | Aantal natte dagen (>0.1 mm) | 45 | 43 | +0.7% | -10% |
| | Aantal dagen > 20 mm | 1,6 | 1,7 | +6 tot +30% | -8,5 tot +14% |

De verschillende indicatoren voor de neerslag geven aan dat in de winter voor beide scenario's een toename van de neerslag optreedt. Voor een 10-daagse neerslag in de winter met een herhalingstijd van eens in de 10 jaar bedraagt de neerslag 80 mm voor de periode 1951-1980 en 89 mm voor de periode 1980-2010. Voor klimaatscenario $W_H$ wordt voor 2050 een toename verwacht van 17%, dit komt uit op 104,3 mm. Dit komt overeen met Tabel 4.8, al is de periode korter, resp. 8 en 10 dagen.

Klimaatverandering leidt in de winter voor zowel het $W_h$ als $W_l$ scenario tot een toenemende kans op maaiveldafvoer, voor de zomer bepaalt het werkelijk optredende klimaatscenario of er sprake zal zijn van toenemende kans op maaiveldafvoer. Wel zal de maximale uur-neerslag gaan toenemen. De ervaring van het waterschap is dat in de zomer de kans op wateroverlast is toegenomen, vooral in de vorm van droge perioden gevolgd door intensieve plensbuien. Omdat er geen meteoreeks met uur-neerslagen voor de verschillende klimaatscenario's beschikbaar is, zijn geen berekeningen uitgevoerd voor de maaiveldafvoer onder een toekomstig klimaatscenario.

## 4.7 Discussie over de bepaling van de maaiveldafvoer

Op een relatief eenvoudige wijze is de maaiveldafvoer voor een T1- en T10-situatie, voor zowel een winter- als zomersituatie, voor het gehele waterschap in beeld gebracht. Hierbij is enkel gebruikgemaakt van beschikbare ruimtelijke gegevens. Het is daarmee een eerste aanzet en het is duidelijk dat de methode kan worden verbeterd. Hieronder zijn enkele punten besproken die bij een mogelijke aanpassing van de methode kunnen worden meegenomen.

- Het management van de boer is in deze analyse niet meegenomen. Een van de bepalende factoren is landbewerking (bijvoorbeeld: ploegvoren loodrecht op hoogtelijnen, verslemping op maisakkers). Deze factoren hebben invloed op de grootte van de oppervlakkige afstroming.

- Bij een droge bodem kan de infiltratiecapaciteit aan het begin van het infiltratieproces groter zijn dan later in het infiltratieproces door de sorptiviteit van de bodem. De infiltratiecapaciteit neemt dan af met toenemend vochtgehalte in de bodem (minder sorptiviteit) en bereikt na verloop van tijd een relatieve constante waarde die vaak als de verzadigde doorlatendheid wordt gezien ($K_{sat}$). Er kan dus in het begin van de bui meer water infiltreren dan op basis van de gegeven bodeminfiltratiecapaciteit zou mogen worden verwacht. In Bijlage 4 is het effect van de sorptiviteit verder uitgewerkt. De sorptiviteit is als een bergingscomponent mee te nemen bij de berekening van de maaiveldafvoer.

- Een punt dat niet is meegenomen, is de mogelijke waterafstotendheid van bepaalde bodems. Oorzaak is meestal een vettig laagje waterafstotende organische humuszuren in de bovengrond (Coen Ritsema, NRC 20-2-1999 en Ritsema en Dekker, 2012). Bij waterafstotende gronden zoekt het vochtfront zijn weg via bepaalde stromingsbanen (vingers genoemd). Tussen de stromingsbanen blijft de grond droog. Het verschijnsel doet zich vooral voor in de zomer en in de herfst. Zo weten boeren vaak uit ervaring dat ze bijvoorbeeld bij hun aardappelen niet te lang moeten wachten met beregenen, omdat het water anders niet goed meer de grond in wil.

- Voor de berekening van de maaiveldafvoer is gerekend met één infiltratiecapaciteit per bodem. Uit zowel metingen in het veld (bijv. De Louw et al. 2015) alsook uit de Staringreeks blijkt dat er sprake is van een zekere spreiding in gemeten waarden. Voor een aantal relevante bouwstenen is het effect van de spreiding nader uitgewerkt (Bijlage 5). Het werken met gewogen K-waarden geeft een betere benadering van de werkelijkheid.

- Over het algemeen is er zeer weinig bekend over de bodeminfiltratiecapaciteit. De gebruikte waardes zijn afkomstig van de Staringreeksen die voor verschillende bodems (gemeten) verzadigde doorlatenheden geeft. Het is echter de vraag of deze waarden ook echt kunnen worden gebruikt voor de infiltratiecapaciteit. Ook de beworteling, het bodemleven en de wijze van landbouwbewerking hebben veel effect op de infiltratiecapaciteit. Meer informatie is daarom nodig over de relatie tussen deze componenten en de bodeminfiltratiecapaciteit.

- De aanname dat de maatgevende afvoer overeenkomt met de ondergrondse afvoer leidt mogelijk tot een overschatting van de ondergrondse afvoer, omdat bij hoge afvoeren ook maaiveldafvoer impliciet is meegenomen.

- Als karakteristieke neerslagperiode voor de zomer en winter is gekozen voor een werkelijk voorgekomen natte periode op het meetstation Twente, die voldoet aan T=1 en T=10 gedurende 24 uur voor de zomer en 192 uur (8 dagen) voor de winter. Er zijn echter meerdere natte perioden die voldoen aan T=1 en T=10 gedurende 24 uur, resp. 192 uur. De verdeling van de neerslag binnen deze periode is bepalend voor de grootte van de maaiveldafvoer. In Bijlage 6 is een andere benadering voor de neerslaghoeveelheid uitgewerkt, door voor verschillende periode-lengten 1,2,3 ... 24, 48, 72 ... 192 uur de neerslag te bepalen en vervolgens voor de zomer resp. de winter het maximum per jaar te bepalen. M.b.v. Gumbel-verdelingsfunctie[8] kan hieruit de T1.5 en T10 worden afgeleid. Als alternatief zou deze meteoreeks toegepast kunnen worden.

[8] De Gumbel-verdeling is een kansverdeling die toepassing vindt als verdeling van extreme waarden.

- In het geval van een bevroren bodem is de infiltratiecapaciteit 0; hierdoor zal in de winter over een veel groter gebied oppervlakkige afstroming optreden. Deze afspoeling is dan onafhankelijk van Gt en bodemtype en alleen van het micro-/mesoreliëf.

Hoe wordt in de winterperiode omgegaan met sneeuw?
Hoe wordt rekening gehouden met afsluiting bodem (bebouwing; wegen, e.d.) die gaan veranderen in de toekomst?

# 5 Conclusies en aanbevelingen

## 5.1 Conclusies

### 5.1.1 Conclusies met betrekking tot bepaling van de maatgevende afvoer

Toepassen van gedifferentieerde metarelaties

Voor bepaling van de afvoernormen zijn meerdere metarelaties tussen GHG en afvoernorm beschikbaar. Het gebruik van meerdere metarelaties afhankelijk van grondgebruik/inrichtingsvariant geeft een betere benadering van de maatgevende afvoer dan de toepassing van één enkele relatie voor het gehele waterschap. De verschillen in de metarelaties zijn namelijk gekoppeld aan gebiedskenmerken en toepassing van één relatie leidt derhalve tot overschatting van de Maatgevende Afvoer (MA) in bepaalde regio's en onderschatting van de MA in andere regio's. Vergelijking van de berekende maatgevende afvoer met meerdere metarelaties volgens Van der Gaast en Massop (2008, zie Figuur 7.5) met de maatgevende afvoer in Figuur 3.7 (links) laat zien dat voor 85% van het gebied van het voormalige waterschap Velt en Vecht de berekende maatgevende afvoer in Figuur 3.7 (links) geringer is. Dit verschil wordt niet alleen bepaald door toepassing van één versus meerdere metarelaties, maar ook doordat verschillende GHG-kaarten ten grondslag liggen aan de bepaling van de maatgevende afvoer.

Zorgvuldig nagaan wat de actuele GHG is

Gebruik van een model-GHG voor het noordelijke gebied leidt tot aanzienlijke lagere afvoernormen dan gebruik van de GHG op basis van Gt-kk2010. Naar alle waarschijnlijkheid is de model-GHG systematisch te laag berekend in het beheergebied van voormalig Velt en Vecht. De systematische verschillen tussen de twee beheergebieden zijn uit het oogpunt van uitlegbaarheid en rechtsgelijkheid ongewenst. Maar ook de GHG op basis van Gt-kk2010 is het resultaat van een model.

Het niet meenemen van de invloed van de aanleg van buisdrainage op de afvoernormen is door het mechanisme 'twee keer fout is ongeveer goed' beperkt. Maar in wetenschappelijke zin is deze uitkomst onbevredigend.

### 5.1.2 Conclusies met betrekking tot bepaling van de maaiveldafvoer

De grote onbekende in de analyse is het optreden van maaiveldafvoer. Maaiveldafvoer zit impliciet wel verwerkt in de CV-tabel, maar zowel klimaatverandering als grondgebruik is sinds de publicatie van die tabel sterk veranderd.

De risico's op maaiveldafvoer zijn in beeld gebracht. Voor de zomersituatie is de maaiveldafvoer berekend op basis van een T=1 en T=10 situatie, waarbij de infiltratiecapaciteit van de bodem op uurbasis en de berging op maaiveld in rekening is gebracht. Voor de T=1 situatie is voor grote delen van het beheergebied nauwelijks maaiveldafvoer berekend, wel is maaiveldafvoer berekend voor de omgeving Bargerveen, Vechtdal, dal van Drostendiep-Westerstroom, omgeving Daarle, ten westen van het Twentekanaal, omgeving van Hengelo-Oldenzaal en Dinkeldal. In de T=10 situatie is bijna overal maaiveldafvoer berekend.

Ook voor de wintersituatie is de maaiveldafvoer berekend, waarbij vooral is gekeken naar de beschikbare bodem- en maaiveldberging en de ondergrondse afvoer en niet naar de infiltratiecapaciteit op basis van 8-daagse perioden. Voor de T=1 situatie is de maaiveldafvoer relatief gering en voor de T=10 situatie valt op dat de berekende 8-daagse maaiveldafvoer in het beheergebied van Regge en Dinkel groter is dan in het gebied van Velt en Vecht. Dit wordt mogelijk verklaard door een geringere bodemberging als gevolg van een hogere GHG in het Regge en Dinkel-gebied. Het gevonden verschil in GHG tussen de twee gebieden is geen werkelijkheid, want is te

wijten aan een te laag berekende model-GHG in het beheersgebied van voormalig Velt en Vecht (model-artefact).

Door klimaatverandering wordt een toename verwacht van buien met hoge intensiteit. Het beste inzicht geven uur-cijfers. Er zijn momenteel uur-cijfers beschikbaar voor het huidige klimaat, onder andere van vliegbasis Twente. Helaas ontbreken voor dit station de uur-cijfers onder het toekomstige klimaat. De maximum-uur-neerslag voor De Bilt per jaar neemt in het $W_H$-scenario in 2050 toe met 13-25% (Tabel 4.9). Dagcijfers voor de neerslag voor het huidige en toekomstige klimaat zijn voor Twente wel beschikbaar. De dagcijfers voor de zomer laten voor T=1 en T=10 een toename zien van enkele mm's over 24 uur. Voor de winterperiode geeft de 8-daagse neerslag voor T=1 een toename te zien van 56,2 naar 71,4 mm; voor de T=10 is de toename ca. 20 mm.
Klimaatverandering leidt in de winter tot een toenemende kans op maaiveldafvoer, voor de zomer bepaalt het klimaatscenario dat werkelijkheid wordt of er sprake is van toenemende kans op maaiveldafvoer. Wel geven cijfers voor De Bilt aan dat de maximale uur-neerslag zal gaan toenemen.

## 5.2 Aanbevelingen

### 5.2.1 Aanbevelingen met betrekking tot de bepaling van de maatgevende afvoer

Het verdient aanbeveling gebiedsspecifieke relaties tussen GHG en afvoernorm toe te passen.

Evaluatie van de MA-methode op basis van gebruik van de GHG uit de Gt-kk2010-kaart en de CV-metarelatie en vervolgens voor een beperkt aantal (bijvoorbeeld 10) deelstroomgebieden de consequenties voor de aanwijzing van waterlopen nagaan en evalueren.

Het effect van buis-gedraineerde percelen op de afvoernorm kwantificeren en voor dezelfde deelgebieden nagaan wat de consequenties van het wel/niet meenemen van gedraineerd zijn. Het voorstel is om 25% reductie aan te brengen in de afvoernorm van gedraineerde percelen.

### 5.2.2 Aanbevelingen met betrekking tot bepaling van de maaiveldafvoer

<u>Rekening houden met de sorptiviteit</u>
Een verbetering van de bepaling van de maaiveldafvoer kan worden bereikt door rekening te houden met sorptiviteit en spreiding in de grootte van de infiltratiecapaciteit. Sorptiviteit is afhankelijk van bodemsoort, initiële vochttoestand van de bodem en de drukhoogte aan het maaiveld. Het rekening houden met sorptiviteit leidt tot een geringere maaiveldafvoer, omdat bij aanvang van de bui meer water infiltreert en na enige tijd de infiltratie constant wordt.

<u>Rekening houden met de spreiding in infiltratiecapaciteit</u>
De infiltratiecapaciteit varieert van plaats tot plaats binnen dezelfde Staringreeksbouwsteen. Door rekening te houden met de spreiding blijkt dat een aantal bouwstenen die op basis van een constante infiltratiecapaciteit geen maaiveldafvoer geven, wel maaiveldafvoer geeft. Verder laten bouwstenen met hoge waarden voor de maaiveldafvoer veelal een afname zien van enkele mm's als rekening wordt gehouden met de spreiding.

<u>Zorgvuldige vaststelling van de infiltratiecapaciteit</u>
Evaluatie van de gebruikte waarden van de infiltratiecapaciteit (uit de Staringreeks) met beschikbare metingen en eventueel additioneel uit te voeren metingen. Daarbij is het wenselijk het effect van het landgebruik en -bewerking op de bodeminfiltratiecapaciteit mee te nemen (verslemping, verdichting, macro-poriën, faunagangen etc.).

<u>Zorgvuldige selectie van de karakteristieke bui</u>
Voor de selectie van een karakteristieke bui voor T=1 of T=10 zijn vaak meerdere mogelijkheden beschikbaar. De grootte van de maaiveldafvoer wordt sterk bepaald door de verdeling van de bui binnen de beschouwde periode van 24 respectievelijk 192 uur. Een alternatief is om uit te gaan van de cumulatieve maximale neerslag voor 24 en 192 uur.

Rekening houden met klimaatverandering

Door klimaatverandering veranderen ook de voor de maaiveldafvoer bepalend zijnde karakteristieke buien. Het is noodzakelijke het effect daarvan op de maaiveldafvoer te kwantificeren.

Vergroting kennis over invloed maaiveldhelling

Bij stroming over maaiveld vindt er extra berging op het maaiveld plaats, onder andere afhankelijk van de maaiveldhelling (Bijlage 7). Kennis over de invloed van de maaiveldhelling op de berging van water op het maaiveld is beperkt en moet worden vergroot door het uitvoeren van een literatuurstudie en het uitvoeren van modelexperimenten. In de, in dit rapport gepresenteerde, resultaten is dit effect onvoldoende meegenomen.

# Literatuur


Bakel, P.J.T. van en Ph. Hamaker, 1998. Gewenste grond- en oppervlaktewatersituatie voor de landbouw in Friesland. Landelijke normen en toepassing daarvan op vier peilgebieden. Rapport 595. SC-DLO, Wageningen.

Bakel, P.J.T. van, H.Th.L. Massop, J.G. Kroes, J. Hoogewoud, M.J.H. Pastoors en T. Kroon, 2008. Actualisatie Hydrologie voor STONE 2.3. Aanpassing randvoorwaarden en parameters, koppeling tussen NAGROM en SWAP, en plausibiliteitstoets. WOT-rapport 57.

Bakel, P.J.T. van, E.M.P.M. van Boekel en G.J. Noij, 2008. Modelonderzoek naar effecten van conventionele en samengestelde, peilgestuurde drainage op de hydrologie en nutriëntenbelasting. Wageningen, Alterra, Alterra-rapport 1647.

Blaauw, H., 1962. Afvoernormen. Cultuurtechnisch Tijdschrift. 2(2):102-111.

Bon, J., 1968. Gebruik van afvoerverhoudingen bij het bepalen van de maatgevende afvoer in stroomgebieden. Diverse jaartallen. Waterschapsbelangen 1968 nr.3. Verspreide overdrukken ICW, 63.

Bon, J., 1971. Afvoernormen. ICW-nota 631.

Bon, J., 1973. Het hanteren van afvoernormen in stroomgebieden op de zandgronden in Nederland. Waterschapsbelangen 1973, nr. 4. Verspreide overdrukken ICW no. 136.

Gaast, J.W.J. van der, H.Th.L. Massop, H.R.J. Vroon en I.G. Staritsky, 2006. Hydrologie op basis van karteerbare kenmerken. Wageningen, Alterra, Alterra-rapport 1339.

Gaast, J.W.J. van der en H.Th.L. Massop, 2006. Verdroging meestal systematisch onderschat. $H_2O$ nr 21.

Gaast, J.W.J van der en H.Th.L. Massop, 2008. De hydrologie voor het beheergebied van waterschap Velt en Vecht; Een karakterisering op basis van karteerbare kenmerken. Wageningen, Alterra, Alterra-rapport 1686.

Gaast, J.W.J. van der, H.R.J. Vroon en H.Th.L. Massop, 2010. Grondwaterregime op basis van karteerbare kenmerken. STOWA, Amersfoort, Stowa-rapport 2010-41.

Hazeu, G.W., C. Schuiling, G.J. Dorland, H.S.D. Naeff en R.A. Smidt, 2014. Landelijk Grondgebruiksbestand Nederland 7 (LGN7); Vervaardiging, nauwkeurigheid en gebruik. Wageningen, Alterra, Alterra-rapport 2548.

Jager, J.A.W. de, 1965. Hoge afvoeren van enige Nederlandse stroomgebieden. Dissertatie.

Louw, P.G.B. de, M. Kuijper, R. Drost, D. Hendriks, J. Rozemeijer en L. Stuyt, 2015. Veldonderzoek oppervlakkige afstroming en regelbare drainage in het kader van DROP. Opzet meetnet en eerste resultaten. Deltares-rapport 1208453-000.

Louw, P.G.B. de en M. Kuijper, 2016. Uitkomsten aanvullende metingen ten behoeve van het veldonderzoek oppervlakkige afstroming en regelbare drainage. Deltares-rapport 1208453-000.

KNMI, 2014. KNMI'14 Klimaatscenario's voor Nederland. Leidraad voor professionals in klimaatadaptatie.

Massop, H.Th.L., J. Clement en C. Schuiling, 2014. Plassen op het land: een landsdekkende kaart van potentiele risicolocaties voor oppervlakkige afspoeling. Wageningen, Alterra-rapport 2546.

Massop, H.Th.L. en C. Schuiling, 2016. Buisdrainagekaart 2015. Update landelijke buisdrainagekaart op basis van de landbouwmeitellingen van 2012. Wageningen, Alterra Wageningen UR, Alterra-rapport 2700.

Nortier, I.W. en H. van der Velde, 1963. Hydraulica voor waterbouwkundigen. Leerboek voor de HTS, 2$^{e}$ druk. Technische Uitgeverij H. Stam NV. Haarlem.

Oosterom, H.P., 1979. Opzet en uitvoering van een vooronderzoek (maart 1979) naar oppervlakkige afstroming op lage zandgrond. Wageningen, ICW-nota 1149.

Otto, W.M., 1959. Grondverbetering op lage zandgronden. Verslag Landbouwkundig Onderzoek 65.2. Pudoc Wageningen.

Philip, J.R., 1957. The Theory of infiltration: 4. Sorptivity and algebraic infiltration equations. Soil Science 84: 257-264

Ritsema, C.J. and L.W. Dekker, 2012. Soil water repellency. Occurrence, consequences, and amelioration. Elsevier, Amsterdam.

Werkgroep Afvloeiingsfactoren, 1970. Tweede Interimrapport.
Werkgroep Afvoerberekeningen, 1979. Richtlijnen voor het berekenen van afwateringsstelsels in landelijke gebieden.
Werkgroep Cultuurtechnisch Vademecum, 1988. Cultuurtechnisch Vademecum.
Werkgroep Achtergrondverlaging, 2017. Zicht op achtergrondverlaging. www.nhv.nl
Wösten, J.H.M., F. de Vries, T. Hoogland, H.Th.L. Massop, A.A. Veldhuizen, H.R.J. Vroon, J.G. Wesseling, J. Heijkers en A. Bolman, 2013. BOFEK2012, de nieuwe bodemfysische schematisatie van Nederland. Wageningen, Alterra-rapport 2387.

# Bijlage 1 Verloop van enkele geselecteerde buien (in mm) op vliegveld Twente voor de zomerperiode

| Uur | T=10 | T=1 | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | SummerT10 | Summer T1a | Summer T1b | Summer T1c | Summer T1d |
| 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1.2 |
| 2 | 0 | 0.2 | 0 | 0 | 2.4 |
| 3 | 0 | 3.6 | 0 | 0.1 | 4.6 |
| 4 | 0 | 10.6 | 0 | 0.1 | 6.4 |
| 5 | 0 | 13.7 | 0 | 0.1 | 9.2 |
| 6 | 0 | 15.3 | 0 | 0.2 | 10.3 |
| 7 | 0 | 15.5 | 0 | 0.2 | 10.7 |
| 8 | 0 | 16.3 | 0 | 0.2 | 11.5 |
| 9 | 0.0 | 16.8 | 0 | 0.4 | 11.7 |
| 10 | 0.2 | 19.2 | 0 | 1.6 | 12.6 |
| 11 | 1.2 | 21.5 | 0 | 2.8 | 14.7 |
| 12 | 1.9 | 22 | 0 | 5 | 17.6 |
| 13 | 2.6 | 23.2 | 0 | 6.8 | 23.2 |
| 14 | 3.2 | 23.6 | 0.3 | 9.6 | 27.3 |
| 15 | 3.3 | 23.7 | 1.9 | 10.7 | 28.4 |
| 16 | 3.5 | 24 | 3.3 | 11.1 | 28.8 |
| 17 | 8.5 | 24.3 | 6.1 | 11.9 | 28.8 |
| 18 | 10.3 | 25 | 13.3 | 12.1 | 28.8 |
| 19 | 16.3 | 25.5 | 16.5 | 13 | 28.8 |
| 20 | 36.3 | 25.8 | 19.3 | 15.1 | 28.8 |
| 21 | 44.6 | 26.2 | 23.9 | 18 | 28.8 |
| 22 | 51.4 | 27.6 | 25.6 | 23.6 | 28.8 |
| 23 | 54.8 | 28.4 | 26.8 | 27.7 | 28.8 |
| 24 | 55.7 | 28.9 | 28.9 | 28.8 | 28.8 |

# Bijlage 2 Verloop van enkele geselecteerde buien (in mm) op vliegveld Twente voor de winterperiode

| Uur | T=10 | T=1 | |
|---|---|---|---|
| | WinterT10 | WinterT1a | WinterT1b |
| 1 | 0 | 0 | 0 |
| 2 | 0 | 0 | 0 |
| 3 | 0 | 0 | 0 |
| 4 | 0 | 0 | 0 |
| 5 | 0 | 0 | 0 |
| 6 | 0 | 0 | 0 |
| 7 | 0 | 0 | 0 |
| 8 | 0 | 0 | 0 |
| 9 | 0 | 0 | 0 |
| 10 | 0 | 0 | 0 |
| 11 | 0 | 0 | 0 |
| 12 | 0 | 0 | 0.025 |
| 13 | 0 | 0 | 0.05 |
| 14 | 0 | 0 | 0.05 |
| 15 | 0.025 | 0 | 0.05 |
| 16 | 0.05 | 0 | 0.05 |
| 17 | 0.075 | 0 | 0.05 |
| 18 | 0.1 | 0 | 0.05 |
| 19 | 0.125 | 0 | 0.05 |
| 20 | 0.125 | 0 | 0.05 |
| 21 | 0.125 | 0 | 0.05 |
| 22 | 0.125 | 0 | 0.05 |
| 23 | 0.125 | 0 | 0.05 |
| 24 | 0.125 | 0 | 0.05 |
| 25 | 0.125 | 0.1 | 0.05 |
| 26 | 0.125 | 0.125 | 0.05 |
| 27 | 0.125 | 0.225 | 0.05 |
| 28 | 0.15 | 0.225 | 0.05 |
| 29 | 0.175 | 0.225 | 0.15 |
| 30 | 0.2 | 0.225 | 0.25 |
| 31 | 0.5 | 0.25 | 0.35 |
| 32 | 0.7 | 0.275 | 0.35 |
| 33 | 1 | 0.275 | 0.75 |
| 34 | 1.1 | 0.275 | 1.85 |
| 35 | 1.125 | 0.275 | 4.45 |
| 36 | 1.725 | 0.275 | 7.15 |
| 37 | 2.225 | 0.275 | 8.15 |
| 38 | 2.725 | 0.275 | 8.175 |
| 39 | 3.225 | 0.275 | 8.175 |
| 40 | 3.625 | 0.275 | 8.175 |
| 41 | 3.925 | 0.275 | 8.175 |
| 42 | 3.925 | 0.275 | 8.175 |
| 43 | 3.925 | 0.275 | 8.175 |
| 44 | 3.925 | 0.3 | 8.175 |
| 45 | 3.925 | 1 | 8.175 |
| 46 | 3.925 | 2.3 | 8.175 |
| 47 | 3.925 | 3 | 8.275 |
| 48 | 3.925 | 3.8 | 8.3 |
| 49 | 3.925 | 4.2 | 8.4 |

| Uur | T=10 | T=1 | |
|---|---|---|---|
| | WinterT10 | WinterT1a | WinterT1b |
| 50 | 3.925 | 4.7 | 8.4 |
| 51 | 3.925 | 5.4 | 8.4 |
| 52 | 3.925 | 6 | 8.4 |
| 53 | 4.025 | 6.025 | 8.425 |
| 54 | 5.425 | 6.525 | 8.625 |
| 55 | 7.125 | 9.325 | 8.825 |
| 56 | 8.425 | 9.35 | 8.825 |
| 57 | 8.825 | 9.45 | 8.825 |
| 58 | 9.525 | 9.475 | 8.825 |
| 59 | 10.325 | 9.5 | 8.825 |
| 60 | 11.025 | 9.5 | 8.825 |
| 61 | 13.125 | 9.5 | 9.625 |
| 62 | 14.725 | 9.5 | 15.525 |
| 63 | 16.225 | 9.5 | 15.525 |
| 64 | 18.025 | 9.5 | 15.525 |
| 65 | 18.525 | 9.5 | 15.525 |
| 66 | 19.925 | 9.5 | 15.525 |
| 67 | 21.725 | 9.5 | 15.525 |
| 68 | 23.425 | 9.5 | 15.625 |
| 69 | 24.225 | 9.5 | 19.225 |
| 70 | 26.725 | 9.5 | 21.225 |
| 71 | 30.025 | 9.5 | 21.225 |
| 72 | 32.125 | 9.5 | 21.225 |
| 73 | 35.225 | 9.5 | 21.25 |
| 74 | 36.125 | 9.5 | 21.25 |
| 75 | 36.525 | 9.5 | 21.275 |
| 76 | 36.725 | 9.5 | 21.275 |
| 77 | 36.825 | 9.5 | 21.3 |
| 78 | 36.925 | 9.5 | 21.3 |
| 79 | 37.225 | 9.5 | 21.3 |
| 80 | 38.625 | 9.5 | 21.3 |
| 81 | 39.625 | 9.8 | 21.4 |
| 82 | 40.225 | 9.9 | 22.4 |
| 83 | 40.325 | 9.925 | 24.6 |
| 84 | 40.525 | 9.95 | 28.5 |
| 85 | 40.725 | 9.975 | 29.4 |
| 86 | 41.325 | 10.375 | 29.7 |
| 87 | 41.525 | 10.775 | 30 |
| 88 | 41.825 | 11.275 | 30.3 |
| 89 | 42.625 | 11.675 | 30.4 |
| 90 | 43.325 | 12.675 | 32.5 |
| 91 | 43.925 | 13.675 | 36.5 |
| 92 | 44.825 | 14.175 | 37.4 |
| 93 | 46.125 | 15.875 | 39.1 |
| 94 | 46.225 | 17.275 | 39.2 |
| 95 | 46.325 | 18.375 | 39.3 |
| 96 | 47.025 | 19.375 | 39.5 |
| 97 | 47.525 | 20.175 | 39.5 |
| 98 | 47.55 | 20.775 | 39.5 |
| 99 | 47.575 | 21.675 | 39.5 |
| 100 | 47.575 | 23.075 | 39.525 |
| 101 | 47.6 | 23.775 | 39.825 |
| 102 | 47.625 | 24.275 | 39.85 |
| 103 | 47.65 | 24.3 | 39.875 |
| 104 | 47.675 | 24.6 | 39.875 |
| 105 | 48.375 | 26.2 | 39.875 |
| 106 | 48.975 | 26.3 | 39.875 |

| Uur | T=10 | T=1 | |
|---|---|---|---|
| | WinterT10 | WinterT1a | WinterT1b |
| 107 | 50.075 | 27.1 | 39.9 |
| 108 | 51.975 | 27.2 | 40.2 |
| 109 | 52.575 | 27.2 | 40.5 |
| 110 | 54.275 | 27.2 | 40.5 |
| 111 | 55.775 | 27.2 | 40.5 |
| 112 | 57.375 | 27.2 | 40.5 |
| 113 | 57.975 | 27.2 | 40.5 |
| 114 | 58.475 | 27.225 | 40.5 |
| 115 | 58.775 | 27.225 | 40.5 |
| 116 | 58.775 | 27.225 | 40.5 |
| 117 | 58.8 | 27.225 | 40.7 |
| 118 | 58.8 | 27.225 | 41.2 |
| 119 | 58.8 | 27.225 | 42.3 |
| 120 | 58.8 | 27.225 | 43.7 |
| 121 | 59.3 | 27.225 | 44.3 |
| 122 | 59.5 | 27.225 | 45.1 |
| 123 | 62.1 | 27.225 | 45.125 |
| 124 | 66.9 | 27.25 | 46.125 |
| 125 | 66.925 | 27.45 | 47.025 |
| 126 | 66.95 | 27.475 | 47.225 |
| 127 | 67.75 | 27.575 | 47.25 |
| 128 | 68.25 | 27.675 | 47.25 |
| 129 | 68.25 | 27.775 | 47.275 |
| 130 | 68.25 | 27.975 | 47.275 |
| 131 | 68.25 | 27.975 | 47.275 |
| 132 | 68.25 | 28.775 | 47.275 |
| 133 | 68.25 | 29.575 | 47.275 |
| 134 | 68.25 | 29.6 | 47.275 |
| 135 | 68.275 | 29.6 | 47.275 |
| 136 | 68.275 | 29.6 | 47.275 |
| 137 | 68.3 | 29.625 | 47.375 |
| 138 | 68.3 | 30.325 | 47.375 |
| 139 | 68.3 | 30.35 | 47.375 |
| 140 | 68.3 | 30.375 | 47.375 |
| 141 | 68.5 | 30.475 | 47.375 |
| 142 | 68.7 | 31.275 | 47.4 |
| 143 | 69.2 | 31.3 | 47.425 |
| 144 | 70.9 | 31.3 | 47.45 |
| 145 | 73.4 | 31.3 | 47.75 |
| 146 | 74 | 31.3 | 48.05 |
| 147 | 74.3 | 31.3 | 48.65 |
| 148 | 74.325 | 31.325 | 49.75 |
| 149 | 74.35 | 31.35 | 49.775 |
| 150 | 74.35 | 31.35 | 49.975 |
| 151 | 74.35 | 31.55 | 50.075 |
| 152 | 74.375 | 31.65 | 50.575 |
| 153 | 74.4 | 31.675 | 50.875 |
| 154 | 75.6 | 32.175 | 52.375 |
| 155 | 75.9 | 32.375 | 52.675 |
| 156 | 76.2 | 32.575 | 52.775 |
| 157 | 76.9 | 32.575 | 54.675 |
| 158 | 76.925 | 32.575 | 55.075 |
| 159 | 76.925 | 32.575 | 55.175 |
| 160 | 76.95 | 32.575 | 55.2 |
| 161 | 76.975 | 32.575 | 55.225 |
| 162 | 76.975 | 32.6 | 55.225 |
| 163 | 76.975 | 32.625 | 55.425 |

| Uur | T=10 | T=1 | |
|---|---|---|---|
| | WinterT10 | WinterT1a | WinterT1b |
| 164 | 76.975 | 32.625 | 55.525 |
| 165 | 77 | 32.625 | 56.025 |
| 166 | 81.1 | 32.625 | 56.225 |
| 167 | 81.125 | 32.625 | 56.225 |
| 168 | 81.225 | 32.625 | 56.225 |
| 169 | 82.025 | 33.025 | 56.225 |
| 170 | 82.125 | 33.525 | 56.225 |
| 171 | 82.15 | 34.825 | 56.225 |
| 172 | 82.175 | 34.85 | 56.225 |
| 173 | 82.175 | 34.875 | 56.225 |
| 174 | 82.175 | 34.875 | 56.225 |
| 175 | 82.175 | 34.875 | 56.225 |
| 176 | 82.175 | 34.9 | 56.225 |
| 177 | 82.175 | 35.1 | 56.225 |
| 178 | 82.175 | 35.125 | 56.225 |
| 179 | 82.175 | 35.15 | 56.225 |
| 180 | 82.175 | 36.75 | 56.225 |
| 181 | 82.175 | 37.95 | 56.225 |
| 182 | 82.175 | 39.15 | 56.225 |
| 183 | 82.275 | 39.85 | 56.225 |
| 184 | 82.3 | 40.95 | 56.225 |
| 185 | 82.325 | 42.45 | 56.225 |
| 186 | 83.025 | 44.55 | 56.225 |
| 187 | 84.125 | 46.95 | 56.225 |
| 188 | 84.625 | 48.85 | 56.225 |
| 189 | 84.925 | 52.15 | 56.225 |
| 190 | 84.95 | 54.45 | 56.225 |
| 191 | 84.975 | 55.45 | 56.225 |
| 192 | 85 | 56.25 | 56.25 |

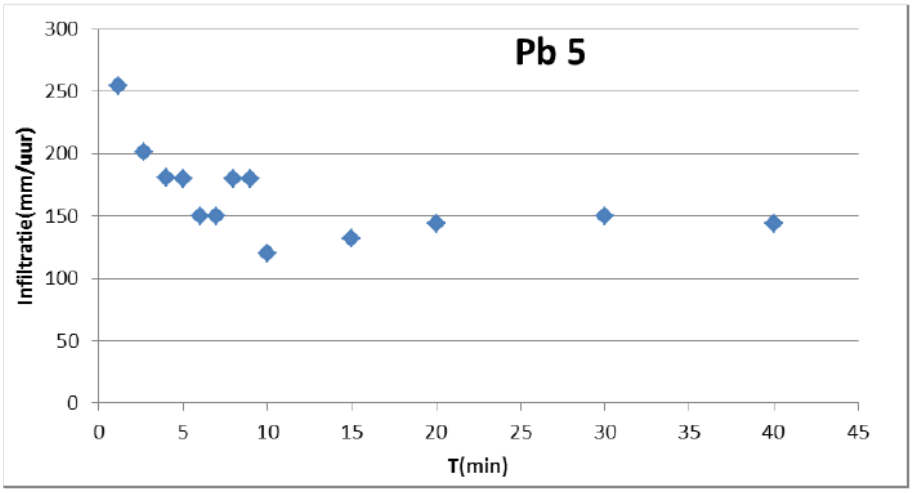
# Bijlage 3 Inschatting infiltratiecapaciteit op basis van $k_{sat}$-waarde voor bovenste bouwstenen van de BOFEK2012-profielen[9]

| Bouwsteen Staringreeks | Aantal | Ksat Staringreeks in cm/d | | | Reductie-factor | Infiltratie capaciteit mm/d |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 1987 | 1994 | 2001 | | |
| **B1** | 4 | 33.34 | 17.46 | 23.41 | 0.72 | 125.7 |
| **B2** | 10 | 32.21 | 9.56 | 12.52 | 0.76 | 72.7 |
| **B3** | 7 | 17.81 | 17.81 | 15.42 | 0.68 | 104.9 |
| **B5** | 3 | | | 52.91 | 0.72 | 381.0 |
| **B6** | 1 | | | 100.69 | 0.4 | 402.8 |
| **B8** | 9 | 22.91 | 2.25 | 2.36 | 0.54 | 12.2 |
| **B9** | 11 | | 1.54 | 1.54 | 0.4 | 6.2 |
| **B11** | 4 | 63.59 | 5.26 | 4.53 | 0.12 | 5.4 |
| **B12** | 1 | 98.18 | 15.46 | 5.37 | 0.05 | 2.7 |
| **B15** | 4 | | | 81.28 | 0.56 | 455.2 |
| **B16** | 3 | 13.44 | 13.44 | 6.79 | 0.56 | 38.0 |
| **B17** | 4 | | 4.46 | 4.46 | 0.21 | 9.4 |
| **B18** | 1 | 34.82 | 6.67 | 6.67 | 0.21 | 14.0 |
| | Volgens Hendriks (pers. meded.) | | | | | |
| | Ingeschat op basisomschrijving bouwsteen | | | | | |

[9] Uit Massop et al., 2014

# Bijlage 4 Sorptiviteit van de bodem

Door P. de Louw zijn 10 infiltratiemetingen uitgevoerd op 1 perceel op de stuwwal van Ootmarsum in Twente (De Louw et al. 2015). In Figuur A4.1 is een voorbeeld gegeven van de metingen op locatie Pb 5.



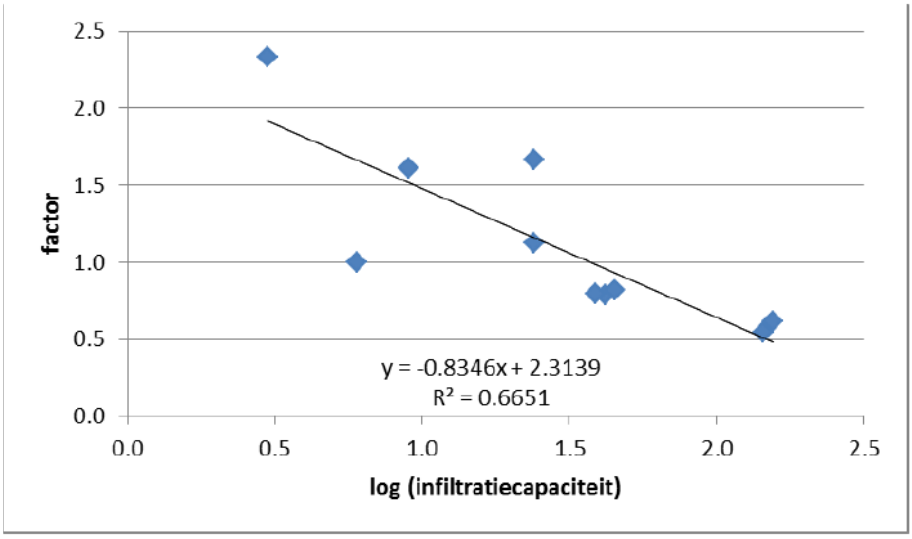

***Figuur A4.1*** *Verloop van de Infiltratiesnelheid gedurende 45 minuten per plaatse van Pb 5 (bron: P. de Louw et al. 2015).*

Uit het verloop van de infiltratiesnelheid blijkt dat deze aanvankelijk hoog is en na enige tijd nadert de infiltratiesnelheid een constante waarde. Omdat in het begin van de bui als gevolg van de sorptiviteit[10] de infiltratiesnelheid hoger is, zal er minder water oppervlakkig afstromen. Om dit effect in rekening te brengen, is gebruikgemaakt van de beschikbare metingen. Op basis van deze gegevens (Figuur A4.2) is door De Louw de volgende relatie afgeleid.

**I (30min) = (-0.83 * log (BI) + 2.31) * BI**

I = de cumulatieve infiltratie voor de eerste 30 minuten (in mm)
BI = de bodeminfiltratiecapaciteit (in mm/uur)

[10] Sorptiviteit (sorptivity) is door J.R. Philip (1957) gedefinieerd als een maat voor de capaciteit van de bodem om water te absorberen of desorberen in de poriën. Sorptiviteit is de cumulatieve infiltratie in het begin van het infiltratieproces, het is de dominante parameter in het begin van de infiltratie en is afhankelijk van het bodemtype, de initiële vochttoestand van de bodem en de opgelegde drukhoogte.



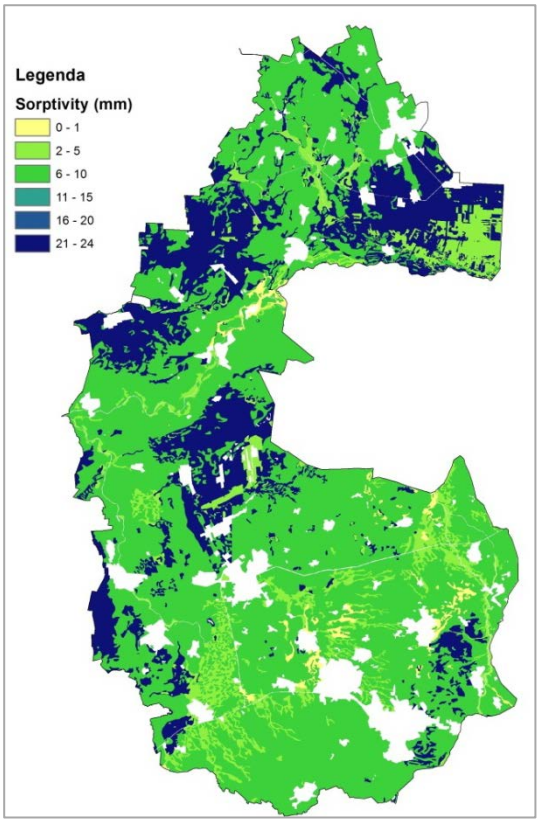

***Figuur A4.2*** *Relatie tussen de cumulatieve infiltratie over 30 minuten en de bodeminfiltratiecapaciteit(BI). Vermenigvuldiging van de BI met de factor (y-as) geeft de cumulatieve infiltratie over 30 minuten.*

Met deze relatie is voor verschillende infiltratiecapaciteiten de sorptiviteit bepaald (Tabel A4.1).

***Tabel A4.1*** *Sorptiviteit bij verschillende infiltratiesnelheden.*

| Infiltratiecapaciteit | | Sorptiviteit |
|---|---|---|
| mm/d | mm/u | mm |
| 2.7 | 0.1 | 0.3 |
| 5.4 | 0.2 | 0.6 |
| 6.2 | 0.3 | 0.7 |
| 9.4 | 0.4 | 1 |
| 12.2 | 0.5 | 1.3 |
| 14 | 0.6 | 1.5 |
| 38 | 1.6 | 3.4 |
| 72.7 | 3.0 | 5.8 |
| 104.9 | 4.4 | 7.8 |
| 125.7 | 5.2 | 9 |
| 381 | 15.9 | 20.8 |
| 402.8 | 16.8 | 21.6 |
| 455.2 | 19.0 | 23.6 |

De sorptiviteit varieert tussen de 0,3 en 23,6 mm.
De resultaten uit Tabel A4.1 zijn ruimtelijk weergegeven in Figuur A4.3.




***Figuur A4.3*** *Grootte van de sorptiviteit afgeleid met de formule van De Louw.*

In een aantal gebieden wordt via sorptiviteit een belangrijke hoeveelheid water geborgen.

# Bijlage 5 Effect van de spreiding in de grootte van de infiltratie-capaciteit op de maaiveldafvoer binnen een bodemeenheid voor bui T1 en T10

Voor de bepaling van de potentiele maaiveldafvoer is gerekend met één waarde voor de infiltratiecapaciteit per BOFEK-profiel. Uit zowel veldmetingen als uit de Staringreeks blijkt dat de doorlatendheid van de bodem varieert van plaats tot plaats binnen dezelfde Staringreeksbouwsteen. Om na te gaan wat het effect is van deze variatie zijn voor de relevante bouwstenen uit de Staringreeks aanvullende analyses uitgevoerd. Om inzicht te krijgen in de spreiding van de k-waarden is gebruikgemaakt van de met Van Genuchten gefitte $k_{sat}$-waarden voor de bouwstenen van de Staringreeks (Wosten et al. 2001). Omdat de $k_{sat}$ niet normaal verdeeld is, is de logaritme van de $k_{sat}$ gebruikt om het gemiddelde en de standaarddeviatie te berekenen. Vervolgens is op twee manieren de maaiveldafvoer berekend, nl. op basis van:

- de gemiddelde infiltratiecapaciteit en
- infiltratiecapaciteit rekening houdend met de spreiding.

Om rekening te houden met de spreiding in de $k_{sat}$-waarde is als volgt te werk gegaan:
Het bereik van de k-waarde wordt begrensd tussen het gemiddelde ±3* de spreidingslengte (99,7% van het oppervlak onder de normaalverdeling). Dit traject is verdeeld in 120 gelijke intervallen. Voor elk interval wordt de k-waarde bepaald, de maaiveldafvoer horend bij deze k-waarde en het oppervlak van dit traject onder normaalverdeling. Vervolgens worden de berekende maaiveldafvoeren vermenigvuldigd met het bijbehorende oppervlak onder de normaalverdeling. Tot slot worden de gewogen maaiveldafvoeren gesommeerd tot de totale maaiveldafvoer. Het resultaat staat weergegeven in Tabel A5.1.

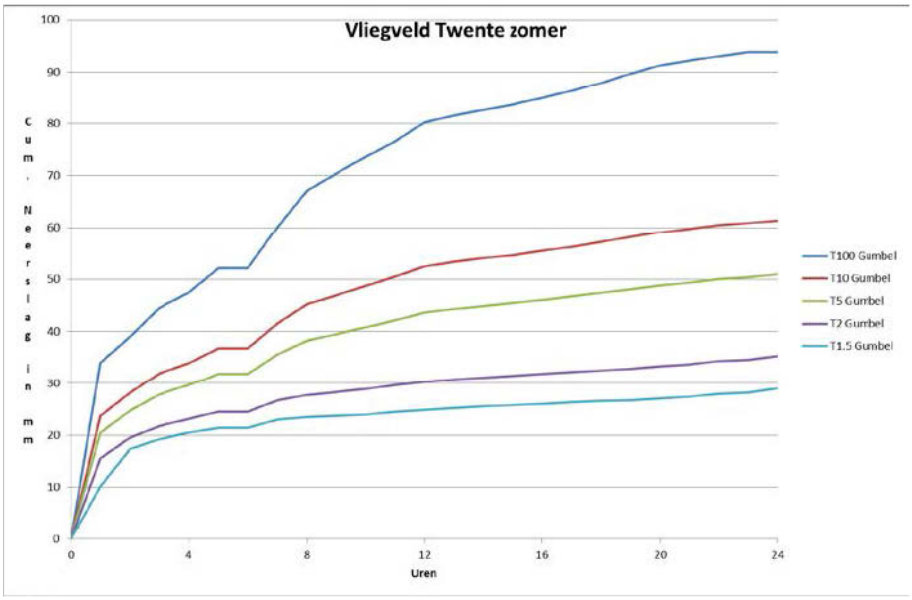
***Tabel A5.1*** *Resultaten van de maaiveldafvoer uitgaande van één waarde per bouwsteen (IC) en op basis van de normaalverdeling voor bui T1 en T10, voor verschillende bouwstenen van de Staringreeks.*

| Bouwsteen | | IC | Staringreeks (ksat) | | | Maaiveldafvoer (mm) | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | mm/d | $k_{sat}$ (mm/d) | | | T1 | | T10 | |
| | | | Getrans-formeerd | Loggemiddeld | Standaard Deviatie | Gemiddeld | Gewogen | Gemiddeld | Gewogen |
| 1 | B1 | 125.7 | 241.3 | 2.38 | 0.59 | 0.0 | 3.2 | 35.6 | 33.0 |
| 2 | B2 | 72.7 | 89.1 | 1.95 | 0.55 | 4.4 | 7.5 | 48.3 | 46.7 |
| 3 | B3 | 104.9 | 166.3 | 2.22 | 0.58 | 0.3 | 4.5 | 41.8 | 38.2 |
| 4 | B5 | 381 | 430.4 | 2.63 | 0.60 | 0.0 | 1.7 | 27.1 | 25.0 |
| 5 | B6 | 402.8 | 1361.1 | 3.13 | 0.37 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 7.1 |
| 6 | B8 | 12.2 | 36.3 | 1.56 | 0.76 | 13.9 | 13.5 | 56.2 | 56.5 |
| 7 | B9 | 6.2 | 22.9 | 1.36 | 0.49 | 19.1 | 16.9 | 63.0 | 63.2 |
| 8 | B11 | 5.4 | 79.4 | 1.90 | 1.01 | 5.2 | 10.2 | 49.1 | 46.3 |
| 9 | B12 | 2.7 | 79.8 | 1.90 | 0.61 | 5.2 | 8.5 | 49.1 | 47.8 |
| 10 | B15 | 455.2 | 868.7 | 2.94 | 0.47 | 0.0 | 0.2 | 8.8 | 14.3 |
| 11 | B16 | 38 | 73.7 | 1.87 | 0.86 | 5.8 | 10.0 | 49.8 | 47.7 |
| 12 | B17 | 9.4 | 44.1 | 1.64 | 0.60 | 11.7 | 12.2 | 54.0 | 55.2 |
| 13 | B18 | 14 | 105.0 | 2.02 | 0.73 | 3.1 | 7.7 | 47.0 | 43.8 |

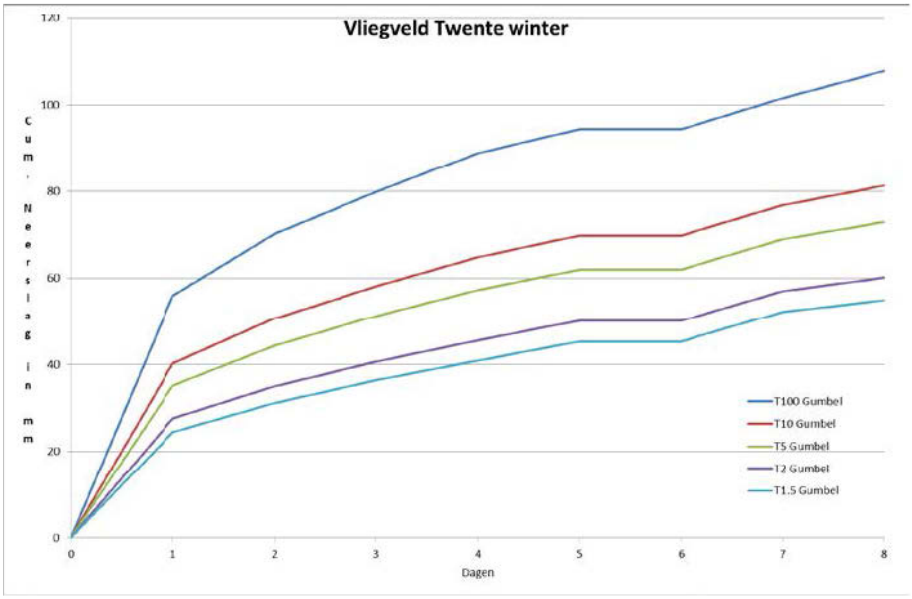
Uit Tabel A5.1 blijkt dat bouwstenen die gemiddeld geen maaiveldafvoer geven, leiden tot maaiveldafvoer als rekening wordt gehouden met spreiding in de infiltratiecapaciteit. Verder laten bouwstenen met hoge waarden voor de maaiveldafvoer veelal een afname van enkele mm zien als rekening wordt gehouden met de spreiding in de infiltratiecapaciteit.

# Bijlage 6 Selectie karakteristieke natte periode

Voor de bepaling van de maaiveldafvoer in de zomer is gekozen voor een periode van 24 uur en voor de winter voor een periode van 192 uur/8 dagen. Als basis zijn de uur-cijfers voor vliegveld Enschede gebruikt over de periode 1-6-1974 t/m 8-11-2016. Voor overlappende perioden van 24 uur en 192 uur zijn vervolgens m.b.v. GEV (Generelized Extreme Value) waarden afgeleid voor 24 uur en 192 uur behorend bij een situatie die eenmaal per jaar resp. eenmaal per 10 jaar wordt overschreden. Met deze berekende waarden is vervolgens een periode gezocht die werkelijk is gemeten en voldoet aan de T1- resp. T10-waarde. Bij de berekening van de maaiveldafvoer is de verdeling van de totale hoeveelheid neerslag over de afzonderlijke uren bepalend voor de grootte van de maaiveldafvoer: een gelijkmatige bui geeft andere resultaten dan een bui met een grote piekneerslag.
Om de variatie binnen de 24 uur resp. 8 dagen meer statistisch te benaderen, is een andere werkwijze gevolgd om karakteristieke natte perioden te bepalen.
Uitgangspunt is de reeks met uur-cijfers voor vliegveld Twente. In de reeks is onderscheid gemaakt naar zomer en winter. Vervolgens is voor overlappende perioden van t=1, 2, ... 24, 48, ... 192 uur de som van de neerslag bepaald. Uit deze reeksen is per jaar (41) en per zomer- (41) resp. winterperiode (42) het maximum bepaald voor t=1, 2, ... 24, 48, ... 192 uur. Voor deze maxima is m.b.v. de Gumbel-verdelingsfunctie de neerslaghoeveelheid voor verschillende overschrijdingskansen afgeleid. Met deze methode is de T1 niet te bepalen, daarom is de T1.5 bepaald.
In Figuur A6.1 en A6.2 zijn voor resp. de zomer en de winter de resultaten weergegeven.

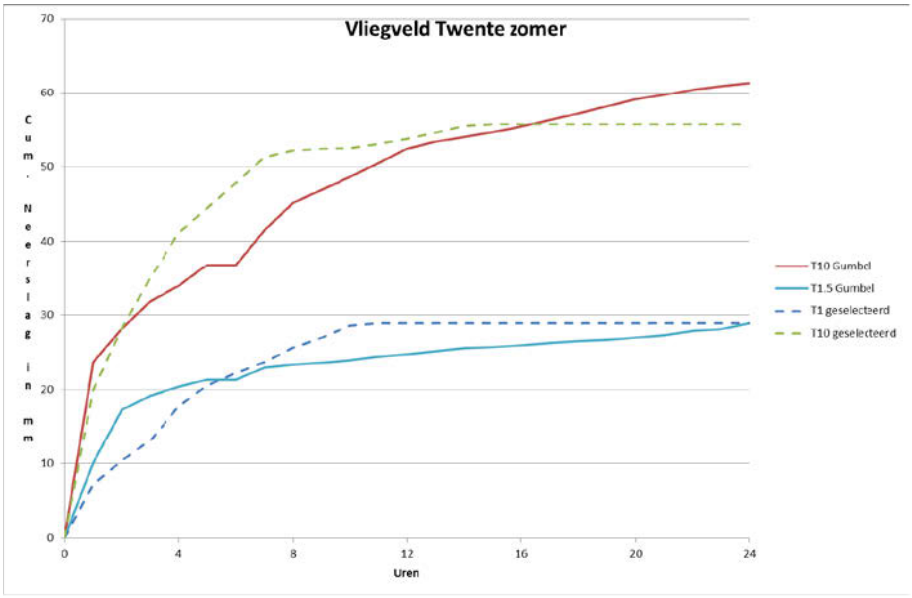



***Figuur A6.1*** *Cumulatieve maximale neerslag gedurende 24 uur in de zomer voor vliegveld Twente bepaald m.b.v. de Gumbel-verdelingsfunctie.*

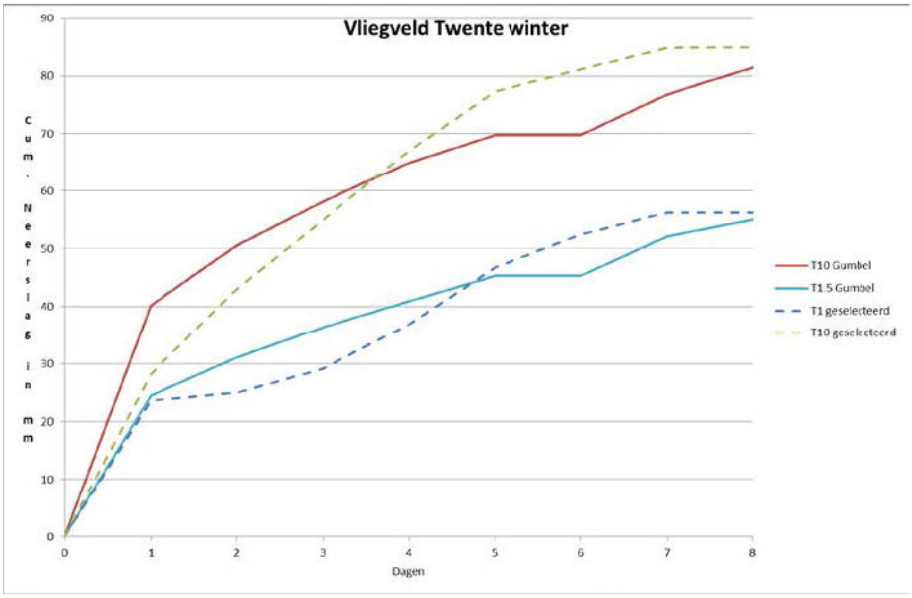



***Figuur A6.2*** *Cumulatieve maximale neerslag gedurende 8 dagen in de winter voor vliegveld Twente bepaald m.b.v. de Gumbel-verdelingsfunctie.*

In Figuur A6.3 en A6.4 zijn de gekozen neerslagverdelingen, gebruikt voor de bepaling van de maaiveldafvoer, omgezet naar een verdeling die vergelijkbaar is met de afgeleide Gumbel-verdeling voor resp. de zomer en de winter.




***Figuur A6.3*** *Geselecteerde bui over 24 uur in de zomer voor T=1 en T=10 vergeleken met de jaarmaxima.*




***Figuur A6.4*** *Geselecteerde bui over 8 dagen in de winter voor T=1 en T=10 vergeleken met de jaarmaxima.*

De geselecteerde T1 en T10 na resp. 24 uur in de zomer en 8 dagen in de winter bepaald m.b.v. GEV verschillen enigszins met de waarden bepaald m.b.v. Gumbel-verdelingsfunctie.
De met behulp van Gumbel-verdelingsfunctie afgeleide neerslagreeksen komen niet exact overeen met de toegepaste neerslagreeksen gebruikt voor de bepaling van de overschrijding van de infiltratiecapaciteit. Vooral de berekende neerslag in de eerste uren resp. de eerste dagen in zomer resp. winter is sterk bepalend voor de grootte van de berekende maaiveldafvoer.

# Bijlage 7 Theorie over stroming en oppervlaktewaterafvoer

Oosterom (1979) geeft onderstaande beschouwing over stroming en oppervlakteafvoer.

De formule van De Chézy leent zich goed om afvoerberekeningen uit te voeren (Nortier en Van Der Velde, 1963). Deze formule luidt:

$$v = C\sqrt{RS} \qquad (1),$$

waarin: v =gemiddelde snelheid (m.s- 1)
C= coefficient van De Chézy (m.s)
R= hydraulische straal (m)
S = verhang

De C-waarde is een maat voor de wandruwheid. Voor een hydraulische ruwe wand kan deze worden berekend uit de volgende formule:

$$C = 18 \log(12R/k) \qquad (2),$$

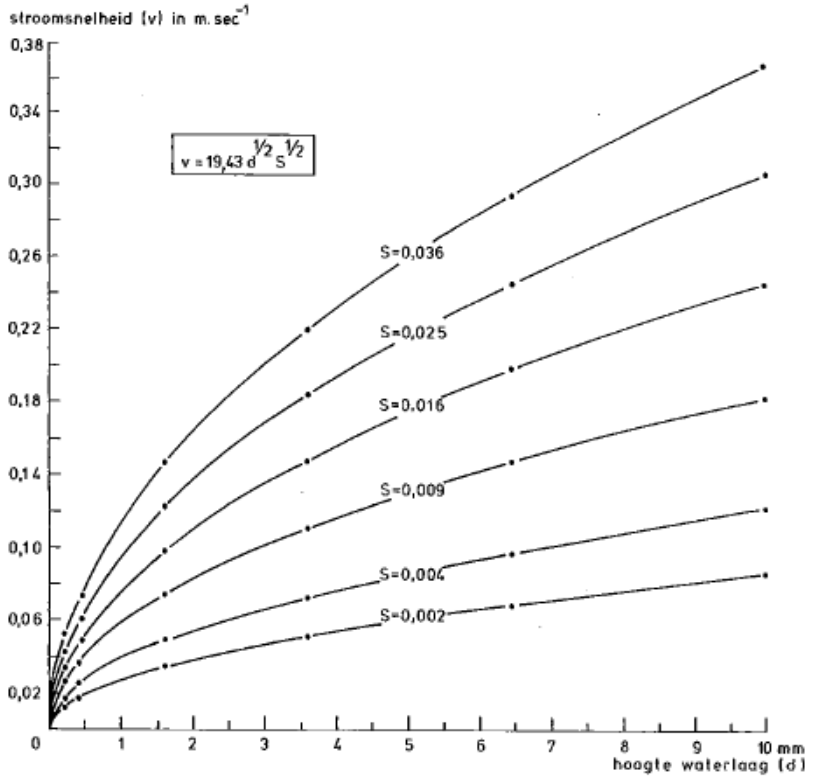
waarin k de hoogte (m) van de oneffenheid is. We gaan ervan uit dat het grasland een ideaal vlak is, waarop de oneffenheid veroorzaakt wordt door bodem en gras. Het vlak heeft een constante helling in de richting van de sloot. Het gras heeft een zodanige lengte dat het steeds boven de waterlaag uit zal komen. De oneffenheid, veroorzaakt door het gras, is dan gelijk aan de waterlaag d. De hydraulische straal is eveneens gelijk aan d, omdat er sprake is van een breed wateroppervlak.
Na substitutie in (2) en (1) ontstaat de formule:

$$v = 18 \log 12/RS$$

of

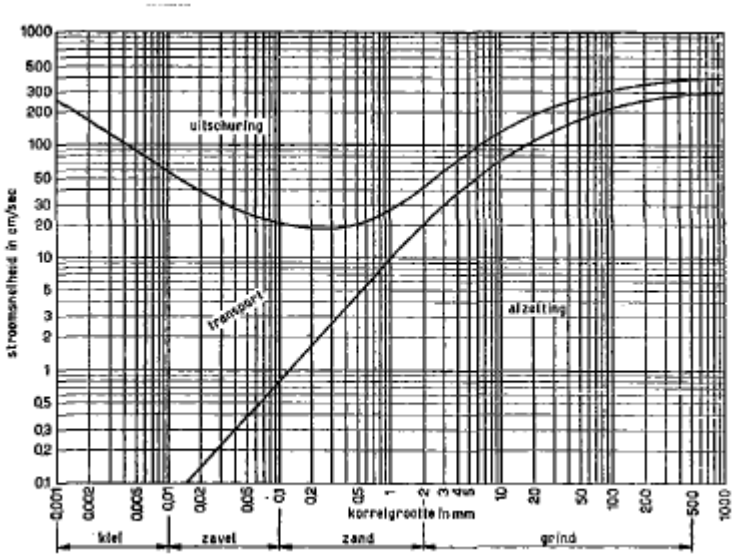
$$v = 19.43\ d^{1/2}\ S^{1/2}$$

Door verschillende waarden voor d en S in te vullen, kan de snelheid berekend worden en vervolgens de bijbehorende regenintensiteit of afvoer Q ($m^3.s^{-1}$), die gelijk is aan v x A ($m.s^{-1}$x $m^2$).




***Figuur A7.1*** *Verband tussen stroomsnelheid en oppervlakkig afstromende waterhoeveelheden bij verschillend verhang volgens de formule: $v = 19{,}43.d^{1/2}.S^{1/2}$.*

In Figuur A7.1 is voor verschillende waarden van S bij een bepaalde waterlaag de stroomsnelheid af te lezen. De uiterste waarde voor de terreinhelling is ontleend aan het onderzoek van Otto (1959). Hieruit blijkt dat in de Gelderse Vallei binnen perceelsgrenzen de terreinhelling voor 80% kleiner is dan 1% en dat slechts 2% van de oppervlakte een helling vertoont groter dan 3%. Deze laatste worden veelal aangetroffen bij de overgang van grasland naar bouwland. Bij algehele egalisatie was het uit landbouwkundig oogpunt gebruikelijk dat het maaiveld horizontaal of onder een helling van hoogstens 1 à 2‰ gelegd werd. De hellingen in dit gebied hebben voor Nederlandse omstandigheden hoge waarden. Zoals uit voornoemde figuur blijkt, is de afstromingssnelheid sterk afhankelijk van het verhang. Naarmate echter de stroomsnelheid toeneemt, zal eveneens de kans op erosie toenemen, Een hulpmiddel bij de beoordeling omtrent de kans op erosie van de bodem geeft de diagram van Hjulström (Figuur A7.2). Deze figuur laat zien dat stroomsnelheden lager dan 20 $cm.s^{-1}$ de bodem niet aantasten. Uit het volgende rekenvoorbeeld zal blijken onder welke extreme omstandigheden voor Nederland erosie kan optreden. Volgens de formule is bij een verhang van 0,03 en een stroomsnelheid van 0,2 $m.s^{-1}$ de waterhoogte 3,5 mm. De hoeveelheid afstromend water dat aan één zijde over 1 m slootlengte de sloot bereikt, is dan $0{,}2 \times 3{,}5 \times 10^{-3}$ $m^3s^{-1}$. Indien de aangrenzende kavel 70 m breed is, dan is bij genoemde afvoer de regenintensiteit 73 mm per uur.




***Figuur A7.2*** *Invloed van de stroomsnelheid op het bodemmateriaal volgens Hjulström (Nortier en Van der Velde, 1963).*

Een ander aspect in dit kader is de mechanische invloed van regenbuien op de structuur van de bodem. Regendruppels kunnen met een zodanige snelheid op de bodem terechtkomen dat de bodemdeeltjes hun structuur verliezen, zodat de 'fijne' deeltjes in 'oplossing' gaan (zgn. spateffect). De grens tussen 'fijne' en 'grove' deeltjes blijkt in de praktijk op 0,07 mm korreldiameter gesteld te kunnen worden. Zoals de diagram van Hjulström aangeeft, bezinken bijvoorbeeld de kleideeltjes eerst bij een zeer geringe stroomsnelheid, namelijk bij ongeveer 0,001 $m.s^{-1}$, zodat men aan kan nemen dat de 'fijne' deeltjes die losgeslagen zijn met het watertransport over het maaiveld meegevoerd worden naar het oppervlaktewater.

Wageningen Environmental Research
Postbus 47
6700 AA Wageningen
T 0317 48 07 00
www.wur.nl/environmental-research

Wageningen Environmental Research
Rapport 2839
ISSN 1566-7197

De missie van Wageningen University & Research is 'To explore the potential of nature to improve the quality of life'. Binnen Wageningen University & Research bundelen Wageningen University en gespecialiseerde onderzoeksinstituten van Stichting Wageningen Research hun krachten om bij te dragen aan de oplossing van belangrijke vragen in het domein van gezonde voeding en leefomgeving. Met ongeveer 30 vestigingen, 5.000 medewerkers en 10.000 studenten behoort Wageningen University & Research wereldwijd tot de aansprekende kennisinstellingen binnen haar domein. De integrale benadering van de vraagstukken en de samenwerking tussen verschillende disciplines vormen het hart van de unieke Wageningen aanpak.

To explore the potential of nature to improve the quality of life

Wageningen Environmental Research
Postbus 47
6700 AB Wageningen
T 317 48 07 00
www.wur.nl/environmental-research

Rapport 2839
ISSN 1566-7197

De missie van Wageningen University & Research is 'To explore the potential of nature to improve the quality of life'. Binnen Wageningen University & Research bundelen Wageningen University en gespecialiseerde onderzoeksinstituten van Stichting Wageningen Research hun krachten om bij te dragen aan de oplossing van belangrijke vragen in het domein van gezonde voeding en leefomgeving. Met ongeveer 30 vestigingen, 5.000 medewerkers en 10.000 studenten behoort Wageningen University & Research wereldwijd tot de aansprekende kennis-instellingen binnen haar domein. De integrale benadering van de vraagstukken en de samenwerking tussen verschillende disciplines vormen het hart van de unieke Wageningen aanpak.